



ОТКРИЙТЕ КОСМОСА

Астрономия
в училище

МЕТОДИЧЕСКО ПОМАГАЛО ЗА УЧИТЕЛИ



ОТКРИЙТЕ КОСМОСА

Астрономия в училище

МЕТОДИЧЕСКО ПОМАГАЛО ЗА УЧИТЕЛИ

EXPOL PEDAGOGIKA, s.r.o.

Heydukova 12 – 14
811 08 Bratislava

Телефон: 00421/232 66 18 50

Имейл: info@expolpedagogika.sk

Уеб страница: www.expolpedagogika.sk, www.skolskyportal.sk

Управител на издателството: Mgr. Miroslava Bianchi Schrimpelová

Copyright:

© 2020 EXPOL PEDAGOGIKA, s. r. o. Всички права запазени.

Информация за авторските права

Съдържанието на настоящия методичен наръчник, с изключение на фигурите и илюстрациите, е достъпно при условията Creative Commons Attribution Non-Commercial 3.0 Unported (CC BY-NC 3.0). По този лиценз на всеки е позволено да го използва за свои собствени цели като го копира, възпроизвежда изцяло или частично в неограничен брой копия, може да го публикува, представя и дава достъп до него, както и да го разпространява, редактира и превежда. Потребителят на съдържанието обаче винаги е длъжен да цитира източника и да спазва авторските права. В случай на редактиране и превод, носителят на авторските права не носи отговорност за така модифицираното съдържание на методичния наръчник. Потребителят не може да използва настоящия методичен наръчник за търговски цели. Фигурите и илюстрациите в него подлежат на защита на авторските права в различна степен в зависимост от техните собственици, и следователно не могат да бъдат отделени от методичния наръчник и използвани по какъвто и да е друг начин.

Автори:

PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.; RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.; PhDr. Václav Kohout, Ph.D.;
Bc. Pavel Kůs; Mgr. Lukáš Richterech, Ph.D.; doc. RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.;
Jakub Vošmera, BA (Hons), MMath; Antoaneta Antonova, Assoc. Prof., PhD;
Valeri Golev, Assoc. Prof., PhD; Ivanka Stateva, Assoc. Prof., PhD; Yoanna Kokotanekova, MSc

Превод:

Mgr. Lucia Foltasová; Mgr. Eli Vanyova Kanova

Графично оформление:

Lucia Horineková, M7 s.r.o.

Настоящата публикация отразява единствено представите на авторите и нито Словашката Национална агенция, нито Европейската комисия носят отговорност за използването по какъвто и да е начин на съдържанието в нея информация. Този проект е финансиран със съдействието на програмата Еразъм+, КД2, „Стратегически партньорства в областта на образованието, обучението и младежта“.

Име на проекта: STARS (Successfully Teaching AstRonomy in Schools)

Номер на проекта: 2017-1-SK01-KA201-035344

ISBN: 978-80-8091-693-0

Издание: първо

Година на издаване: 2020

СЪДЪРЖАНИЕ

1. СЪЗВЕЗДИЯ (ОБЯСНЕНИЯ, СПИСЪК НА СЪЗВЕЗДИЯТА, МИТОВЕ, ЛЕГЕНДИ)	5
2. ДВИЖЕНИЕ НА НЕБЕСНИТЕ ТЕЛА (ВИДИМИ И РЕАЛНИ)	25
Закони на Кеплер	35
Конични сечения. Орбити на небесните тела	61
3. ЗАКОН НА НЮТОН ЗА ГРАВИТАЦИЯТА	79
Закон на нютон за гравитацията. Трета космическа скорост. Маса. Тегло.	79
Безтегловност	89
4. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВСЕЛЕНАТА	108
Основна ориентация на небето: най-лесно различими съзвездия, Полярна звезда, дълбоки обекти, Месие и NGC каталози	108
Измерване на времето (време, часове)	120
5. СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА	141
Планети в Слънчевата система	141
Планети-джуджета	172
Малки тела в Слънчевата система	196
Лунно затъмнение	216
Слънчево затъмнение	232
Разстояния и величини	257
6. ГАЛАКТИЧЕСКА СРЕДА	275
Живот във Вселената	275
Екзопланети	288
7. СЛЪНЦЕТО И ЗВЕЗДИТЕ	305
Източници на енергия: ядрени реакции	305
Звездна еволюция: базисно обяснение	315
Звездна еволюция: крайни стадии	325
Слънцето като звезда: еволюция на Слънцето	333

8. НАШАТА ГАЛАКТИКА И ДРУГИ ГАЛАКТИКИ	340
Измерване на разстоянията в космоса (светлинна година, парсек, паралакс)	340
Разстояния във Вселената	354
9. ВСЕЛЕНАТА	381
Вселената – история, теория на големия взрив, радиация	381
10. ОБСЕРВАТОРИИ	394
Астрономически обсерватории	394
Астрономически телескопи	408
Електромагнитен спектър	428

СЪЗВЕЗДИЯ

(Обяснения, списък на съзвездията, митове, легенди)

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Често наричат астрономите звездобройци. Истината е, че астрономите не „броят“ звездите, а ги изучават. И все пак ние знаем, че на небето могат да се видят с просто око около 6000 звезди общо, като в даден момент над главите ни има около 3000 звезди. Тези 3000 звезди са една минимална част от всички звезди във Вселената, но ако трябва да ги познаваме по имена и да знаем какво представляват и как се движат, ще ни бъде много трудно.

В тази тема ще дефинираме понятията съзвездие и астеризъм. Ще направим кратък преглед на историята на възникването на съзвездията и съвременната номенклатура. Ще представим някои митове и легенди за съзвездия. Ще обясним понятието зодиакално съзвездие. В приложение ще предоставим списък на съзвездията. В практическата част предлагаме занимателни игри и упражнения свързани със съзвездията.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

съзвездие

астеризъм

митове и легенди

зодиакални съзвездия

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

2.1 Съзвездия. История и номенклатура

Съзвездия Днес ние имаме часовници, календари, компаси и много други инструменти, но преди хиляди години хората са се ориентирали във времето и пространството предимно по **звездите**. За да им е по-лесно, те са ги разделили на групи, които днес наричаме съзвездия. По-ярките звезди, които образували някакви фигури, били оприличавани на предмети (Лира, Везни, Триъгълник, Стрела, Северна корона, Чаша, Щит и т.н.); животни (Риби, Овен, Бик, Рак, Лъв, Скорпион, Голяма мечка, Малка мечка, Голямо куче, Малко куче, Лебед, Орел и др.); митични същества като Дракон, Пегас, Кентавър; или хора (Херкулес, Персей, Орион, Цефей, Касиопея, Андромеда) и получавали имена, свързани най-вече с традиционните за даден народ митове и легенди. Така почти всеки народ си имал свои съзвездия и свои имена за тях. Днес имаме намерени свидетелства за съзвездията на древните месопотамци, шумери, вавилонци, персийци, египтяни, китайци, май и т.н

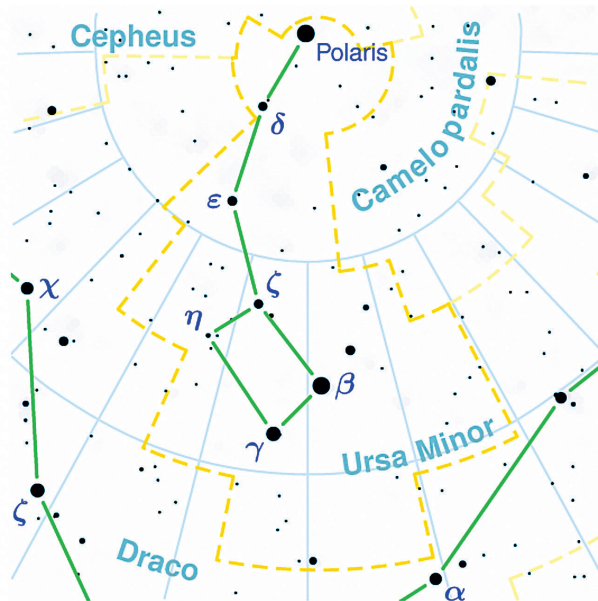


Фиг. 1: Звездното небе на древните гърци (а), на древните май (б) и на древните египтяни (в)

Този начин на групиране на звездите много помагал на астрономите, жреците и на обикновените хора да се ориентират по небето, да следят изгревите и залезите, движението на Слънцето, Луната и планетите между тях. Векове наред това било достатъчно за хората, за земеделието, за скотовъдството, за пътуването на близки и по-далечни разстояния, за военните дейности, за ритуалите. Но в тогавашните съзвездия не влизали слабите звездички. Имало и по-големи области от небето, които не участвали в съзвездия. Когато бил изобретен телескопът, хората видяли, че има още много невидими с просто око звезди, после били открити и доста „мъгляви обекти“. Започнали да се въвеждат нови съзвездия, да се запълват празните пространства. Имало опити за промяна на имената на съзвездията. Великите географски открития и пътуването на европейците по южните морета довели до необходимостта да се раздели и южното небе на части.

Развитие на астрономията През това време астрономите от различни държави започнали все повече да комуникират, да обменят идеи. Астрономията се развивала с бурни темпове. Наложило се да се „въведе ред“ на небето. Така на своя конгрес през 1922 г. създаденият малко по-рано Международен астрономически съюз поставил началото на съвременната единна за целия свят карта на небето. Те разделили

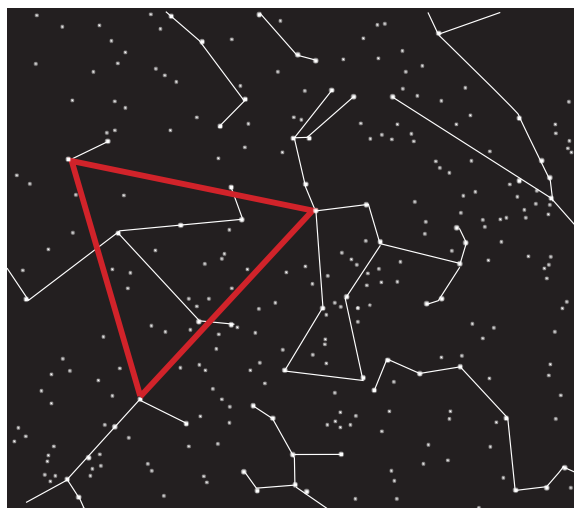
цялото небе на **88 области**, които представляват съвременните 88 съзвездия. Сега вече под „съзвездие“ не се разбира само характерната фигура от по-ярки звезди, а всички обекти – **звезди, звездни купове, мъглявини или галактики**, видими или невидими с просто око, които влизат в границите на дадена област, **принадлежат на това съзвездие**. Самите граници на съзвездията са очертани по небесните паралели и меридиани и са утвърдени от Международния астрономически съюз през 1930 г.



Фиг. 2: Съзвездието Малка мечка с неговите граници и астеризма „Малкия черпак“

Фигурите, образувани от по-ярките звезди днес носят названието „астеризъм“. Те често са част от съзвездия и примери за това са „Големият черпак“ (от съзвездието Голяма мека), „Малкият черпак“ (от Малката мека, Фигура 2), „Чаена лъжичка (от Средец). Други астеризми са образувани от най-ярките звезди на няколко съзвездия – „Летния триъгълник“, образуван от Вега (най-ярката звезда на съзвездието Лира), Денеб (от Лебед) и Алтаир (от Орел).

Астеризъм



Фиг. 3: Астеризмът „Зимен триъгълник“, образуван от трите ярки звезди – Бетелгейзе от съзвездието Орион, Сириус от съзвездието Голямо куче и Процион от съзвездието Малко куче

Мнозинството от съвременните съзвездия съвпадат с фигурите и имената на съзвездията от ерата на древните гърци и са свързани с древногръцките легенди и митове. Това са предимно съзвездията от Северното небе, които са се виждали от Древна Гърция и се виждат от почти цяла Европа. 48 от тези съзвездия са запазили древногръцките имена – изброените по-горе съзвездия, всички зодиакални съзвездия и други като Колар, Воловар, Кит, Косите на Вероника, Хидра.

Съзвездията в Южното полукълбо носят имената отново на животни (митични или по-екзотични) – Тукан, Феникс, Паун, Райска птица, Летяща риба и т.н. Друга част от южните съзвездия са отражение на ерата, в която са били създавани – ерата на Великите мореплавания, на Великите географски открития, на Научно-техническата революция – Телескоп, Микроскоп, Секстант, Октант, Квадрант, Пневматична машина и др.

2.2 Митове и легенди за съзвездия

Митологията е свързала съзвездията Цефей, Касиопея, Андромеда, Кит и Персей с удивителна легенда, която е вълнувала хората от всички времена.

Далече, в най-южния край на Земята, се намирала цветущата страна Етиопия, която управлявал цар Цефей със съпругата си царица Касиопея.*

Една единствена дъщеря имали цар Цефей и царица Касиопея, която се казвала Андромеда. Под грижите на родителите си тя израсла и станала красива девойка, по-красива от всички етиопки. Възгордяла се от красотата на дъщеря си, царица Касиопея навсякъде се хвалила, че Андромеда е по-красива и от морските нимфи — nereидите, които предели със златни хурки в морските глъбини.

Оскърбени и огорчени от царица Касиопея, nereидите, облени в сълзи, излели мъката си пред владетеля на моретата и морските глъбини бог Посейдон. Свъсил вежди Посейдон и разгневен изпратил на Етиопия невиджано бедствие. Всеки ден, щом Хелиос политал със златната си колесница по небесните простори, от бурното море излизало страхотното чудовище Кит. От огромната му уста и страшни очи изригвали огнени пламъци, а от ушите му — черни облаци, от които настъпвал злоещ мрак.

Всеки ден излизал от морето чудовищният Кит и се развихрял по бреговете на Етиопия. Където минел, всичко изгаряло и се превръщало в пепел от буйните пламъци, които бълвал на всички страни. Над цветущата Етиопия надвиснала опасността да се превърне в една опожарена, мъртва пустиня. Секнали песните на птиците, нямало вече стада из полята, страх и ужас обхванал всички етиопци. Навсякъде се чували само плач и ридания. Никой не можел да спаси страната от страхотното бедствие, което я споляляло.

Отчаян, цар Цефей запитал оракула как може да се спаси страната от сполялялото я бедствие. Оракулът му отговорил:

„Китът ще престане да опожарява страната ти само ако му дадеш да изяде твоята единствена дъщеря Андромеда. Такава е волята на боговете!

Задавен от сълзи, цар Цефей казал на Касиопея каква е волята на боговете. Разплакала се и тя и от сълзи нищо не могла да каже.

Дълго плакали цар Цефей и царица Касиопея, но като гледали как всеки ден пламъците от устата на Кита изгаряли страната и я превръщали в пустиня, решили да изпълнят волята на боговете. Рано една сутрин, още преди розовопръстата Еос да разтвори вратите, за да излезе Хелиос със златната си колесница, Цефей и Касиопея отвели дъщеря си Андромеда на скалистия морски бряг. Оковали я във вериги, привързали я здраво за една стръмна скала и я оставили разплакана там. Само лъчите на Хелиос милвали прекрасното лице на Андромеда.

Изведнъж страхотно забучало морето. Огромни вълни с трясък се разбивали в крайбрежните скали... От дълбочините му излязъл чудовищният Кит. Широко разтворил страшната си уста, яростно бълвал огнени пламъци. Дългата му опашка, покрита с дебели черни люспи, се мятала по бурните вълни.

Видял Китът Андромеда на скалата, разтворил още по-широко страшната си уста, от която се показвали остри като мечове зъби, а от очите му излитали кървави светкавици, и с ярост се насочил към нея. Изпищяла Андромеда. Още миг и чудовището ще я разкъса... Но от висините, носен на крилатите си сандали, Персей видял чудовището да се приближава до скалата и чул писъците на превързаната към нея девойка. Като стрела полетял Персей към ужасното чудовище и го промушил с меча си, но то още повече се разярило и забълвало още по-огромни пламъци, които достигали до краката на нещастната Андромеда. Нямало време да продължава борбата Персей. Бръкнал в торбата, извадил главата на Медуза и като извърнал главата си да не я гледа, насочил погледа ѝ към чудовището. В миг Китът се превърнал в огромен скалист остров сред бурното море. Сложил Персей главата на Медуза отново в торбата, разковал Андромеда и я запитал коя е тя и защо е оставена окована на скалата.

Обляна в сълзи от преживяния ужас, Андромеда разказала на Персей злочестата си участ. Той я завел в двореца на баща ѝ. Сълзи от радост избликнали в очите на цар Цефей и на царица Касиопея, когато видели жива своята прекрасна Андромеда. Възхитени от невиджания подвиг на Персей, те му дали за съпруга дъщеря си Андромеда, която той спасил.

Дори на някои от „новите“ съзвездия (въведени през 17 – 19 век) са давани имена, свързани с древногръцката митология. Такъв е примерът със съзвездието Ловджийски кучета.

ЛЕГЕНДА ЗА Голямата, Малката мечка, Воловар и Ловджийски кучета

Според древногръцката легенда Голямата мечка е красавицата Калисто, която върховният бог Зевс много обичал и от която имал син Аркас. Но жената на Зевс, която много ревнувала Зевс, решила с хитрост да унищожи своята съперница като я превърне в мечка. Една вечер, когато Аркас се връщал от лов, той видял на прага на къщата мечка. Опънал лъка и тъкмо стрелата да полети към звяра, бог Зевс видял това от небето. В този миг той хванал мечката за опашката и я отнесъл на небето, където я оставил да свети като съзвездието Голямата мечка (затова и тя има такава неестествено дълга опашка). В съзвездие били превърнати и

Аркас, който днес свети като ярката звезда Арктур от съзвездието Воловар. В съзвездието Малка мечка древните гърци виждали и любимата прислужница на Калисто. Едва през 1690 г. в звездния атлас на Ян Хевелий се появява ново съзвездие, което се намира в бедната на ярки звезди и „празна“ до тогава област от небето под опашката на Голямата мечка. Той нарича това съзвездия Ловджийски кучета, с което „допълва“ картината и мита за едни от най-популярните съзвездия.



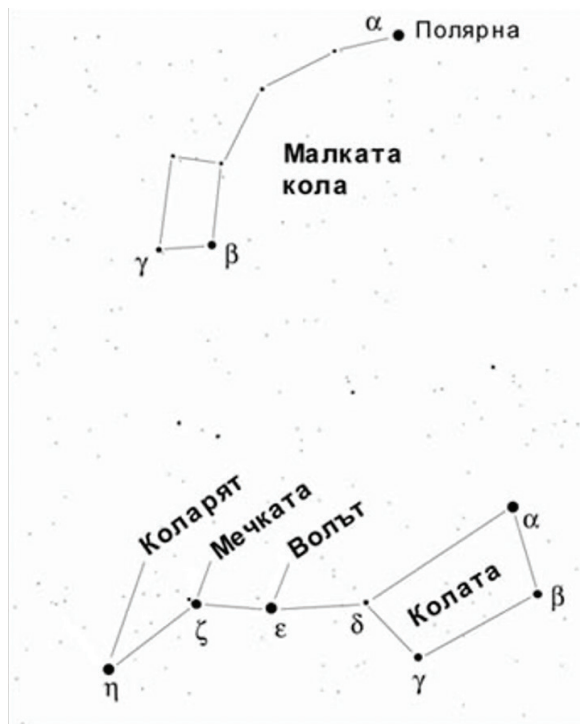
Фиг. 4: Съзвездието Голяма мечка

Българският народ също е имал „свои“ съзвездия. Макар и да не е запазено много от песните и фолклора ние знаем, че в областта на съзвездията Орион, Голямо куче и Малко куче българите са разпознавали фигурите на Орач, Рало, Волове, Остен и Куче. И тази сцена на небето много добре съвпадала с времето на нейната видимост – когато видят тези съзвездия високо в небето около полунощ, хората са знаели, че е дошло време за оран и сеитба.



Фиг. 5: Българският вариант на съзвездията Орион, Голямо куче и Малко куче

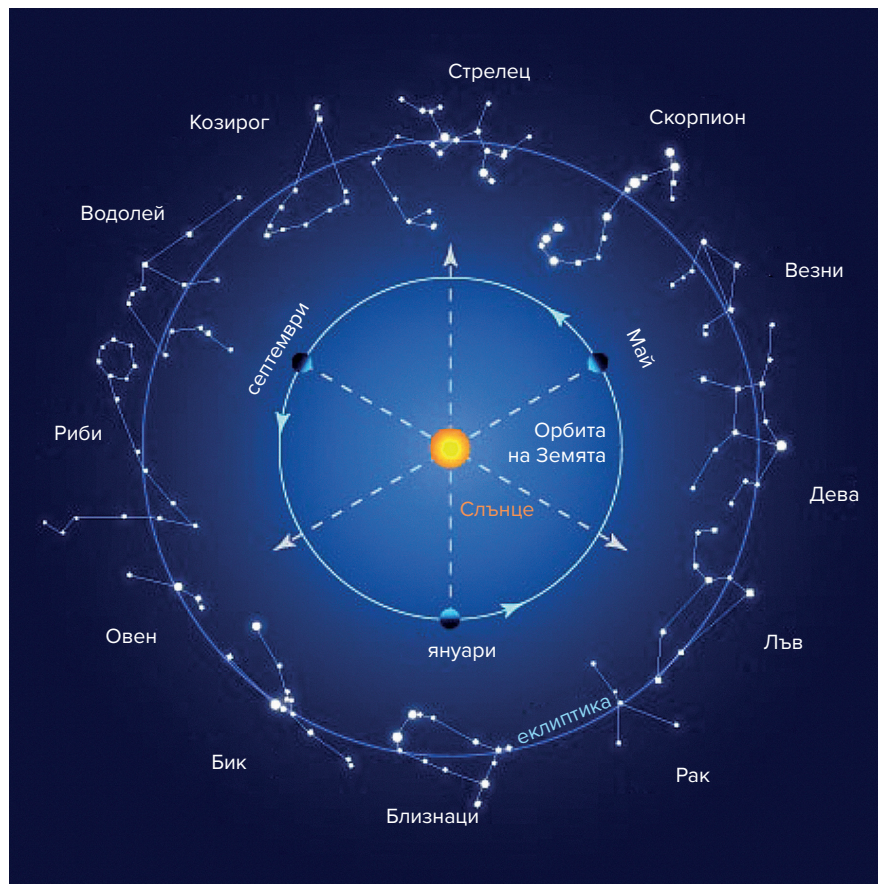
Една от небесните български легенди интерпретира съзвездието Голямата мечка (неговата основна фигура) с Колар, Мечка, Вол и Кола (каруца). Историята разказва, че докато Коларят събирал дърва в гората, мечка стръвница изляла единия от воловете. Тогава Коларят (звездата Алкаид) хванал мечката (звездата Мицар) и я впрегнал до другия вол (звездата Алиот) в каруцата (четирите звезди Дубхе, Мерак, Фегда и Мегрец), а до мечката подскачало и лаело кучето на дърваря (звездата Алкор).



Фиг. 6: Българските имена на звездите от българското съзвездие „Колата“ (Голямата мечка)

2.3 Зодиакални съзвездия

Специално място сред съзвездиата заемат зодиакалните съзвездия. Това са съзвездиата, през които преминава Слънцето при своето видимо движение по небето за една година. Тези съзвездия са 13, но астролозите, страхувайки се от „фаталното“ число 13, налагат през вековете „Зодиака“, който се състои от 12 „зодии“ – Риби, Овен, Бик, Близнаци, Рак, Лъв, Дева, Везни, Скорпион, Стрелец, Козирог и Водолей. Тринадесетото зодиакално съзвездие е Змиеносец и се намира между и над Скорпион и Стрелец. Понеже всички тези съзвездия (без Везни) носят имената на живи същества, то този кръг от небесната сфера е наречен „животински“ – на гръцки думата „зоо“ означава животно. Сред тези съзвездия се движат и Луната, и всички планети, поради което зодиакалните съзвездия са много добре познати и разпознаваеми (извън техния астрологичен подтекст).



Фиг.7: Зодиакалните съзвездия

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – СПИСЪК НА СЪЗВЕЗДИЯТА

№	БЪЛГАРСКО НАЗВАНИЕ	СЪКРАЩЕНИЕ	ЛАТИНСКО НАЗВАНИЕ
1	Андромеда	And	Andromeda
2	Помпа	Ant	Antlia
3	Райска птица	Aps	Apus
4	Водолей	Aqr	Aquarius
5	Орел	Aql	Aquila
6	Жертвеник	Ara	Ara
7	Овен	Ari	Aries
8	Колар	Aur	Auriga
9	Воловар	Boo	Boötes
10	Длето	Cae	Caelum
11	Жираф	Cam	Camelopardalis
12	Рак	Cnc	Cancer
13	Ловджийски кучета	CVn	Canes Venatici
14	Голямо куче	CMa	Canis Major
15	Малко куче	CMi	Canis Minor
16	Козирог	Cap	Capricornus
17	Кил	Car	Carina
18	Касиопея	Cas	Cassiopeia
19	Центавър	Cen	Centaurus
20	Цефей	Cep	Cepheus
21	Кит	Cet	Cetus
22	Хамелеон	Cha	Chamaeleon
23	Пергел	Cir	Circinus
24	Гълъб	Col	Columba
25	Косите на Вероника	Com	Coma Berenices
26	Южна корона	CrA	Corona Australis
27	Северна корона	CrB	Corona Borealis
28	Гарван	Crv	Corvus
29	Чаша	Crt	Crater
30	Южен кръст	Cru	Cruce
31	Лебед	Cyg	Cygnus
32	Делфин	Del	Delphinus
33	Златна риба	Dor	Dorado
34	Дракон	Dra	Draco
35	Жребче	Equ	Equuleus
36	Еридан	Eri	Eridanus
37	Пещ	For	Fornax
38	Близнаци	Gem	Gemini
39	Жерав	Gru	Grus
40	Херкулес	Her	Hercules
41	Часовник	Hor	Horologium
42	Хидра	Hyd	Hydra
43	Водна змия	Hyi	Hydrus
44	Индианец	Ind	Indus

№	БЪЛГАРСКО НАЗВАНИЕ	СЪКРАЩЕНИЕ	ЛАТИНСКО НАЗВАНИЕ
45	Гушер	Lac	Lacerta
46	Лъв	Leo	Leo
47	Малък лъв	LMi	Leo Minor
48	Заек	Lep	Lepus
49	Везни	Lib	Libra
50	Вълк	Lup	Lupus
51	Рис	Lyn	Lynx
52	Лира	Lyr	Lyra
53	Маса	Men	Mensa
54	Микроскоп	Mic	Microscopium
55	Еднорог	Mon	Monocerus
56	Муха	Mus	Musca
57	Ъгломер	Nor	Norma
58	Октант	Oct	Octans
59	Змиеносец	Oph	Ophiuchus
60	Орион	Ori	Orion
61	Паун	Pav	Pavo
62	Пегас	Peg	Pegasus
63	Персей	Per	Perseus
64	Феникс	Phe	Phoenix
65	Живописец	Pic	Pictor
66	Риби	Psc	Pisces
67	Южна риба	PsA	Piscis Austrinus
68	Кърма	Pup	Puppis
69	Компас	Pyx	Pyxis
70	Мрежичка	Ret	Reticulum
71	Стрела	Sge	Sagitta
72	Стрелец	Sgr	Sagittarius
73	Скорпион	Sco	Scorpius
74	Скулптор	Scl	Sculptor
75	Щит	Sct	Scutum
76	Змия	Ser	Serpens
77	Секстант	Sex	Sextans
78	Бик	Tau	Taurus
79	Телескоп	Tel	Telescopium
80	Триъгълник	Tri	Triangulum
81	Южен триъгълник	TrA	Triangulum Australe
82	Тукан	Tuc	Tucana
83	Голяма мечка	UMa	Ursa Major
84	Малка мечка	Umi	Ursa Minor
85	Корабни платна	Vel	Vela
86	Дева	Vir	Virgo
87	Летяща риба	Vol	Volans
88	Лисиче	Vul	Vulpecula

3. ПРАКТИЧЕСКИ ЗАДАЧИ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Имена на съзвездия

Учениците да изброят имена на съзвездия, които знаят по памет.

Практическо упражнение 2: Видове съзвездия

Цел

Да разпределят съзвездията според техните имена – на животни (птици, водни, сухоземни и митични), на хора (жени и мъже), на предмети (научни прибори и други) – според нивото на децата.

Ресурси

- Приложение 1 – Списък на съзвездията
- Приложение 2 – Таблица за разделяне на съзвездията по групи

Съзвездия									
	ХОРА		ЖИВОТНИ					ПРЕДМЕТИ	
	МЪЖЕ	ЖЕНИ	СУХОЗЕМНИ	ВОДНИ	ПТИЦИ	МИТИЧНИ	НАУЧНИ ПРИБОРИ	ДРУГИ	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									

Инструкции за учителя

На децата се предоставя списък на съзвездията и празна таблица, в която да попълнят имената на съзвездията, разделени по групи. В таблицата има **3 основни групи съзвездия** – хора, животни и предмети. Групата на хората може да бъде разпределена на 2 подгрупи – мъже и жени. Групата на животните се разделя на сухоземни животни, водни животни (не риби), на птици и на митични същества. Групата на предметите е разделена на научни прибори и други. При по-големите деца може в отделна графа да бъдат отделени приборите, използвани в астрономията.

Първоначално на децата се предоставя възможност сами да разпределят съзвездията по тези критерии. Във всички случаи на даден етап е добре учителят да подпомогне процеса, защото децата ще срещнат затруднение с доста имена на съзвездия. Много от имената на героите от древногръцката митология са непознати за учениците. Част от съзвездията носят лични имена – Цефей, Персей, Андромеда, Касиопея, Херкулес, Орион; други са „професии“ – Водолей, Колар, Воловар, Живописец, Скулптор, Змиеносец, Стрелец; в трета подгрупа са Близнаци и Дева. Случаят със Стрелец е малко особен, защото той е и митично същество – кентавър или същество с глава на човек и тяло на кон. Подобна е ситуацията и с Косите на Вероника – това име може да се включи при съзвездията, носещи имена на жени, а може да се включи и при предметите. Може да се остави на учениците да преценят къде да сложат тези съзвездия в таблицата. Това от своя страна ще предизвика дискусия, което ще помогне още повече на децата да запомнят и осмислят имената на съзвездията.

При животните почти няма проблем с разпределянето им в четирите групи и децата би трябвало да се справят сравнително лесно. Част от учениците могат да се затруднят с Тукан като непозната за нашите ширини и по-малко известна птица. Златна риба и Летяща риба също могат да предизвикат съмнения у децата дали съществуват реално, но се оказва, че такива видове риби наистина съществуват. Такъв е случаят и с Райска птица, каквато група птици действително съществува в природата.

В групата на митичните същества се включват някои „животни“, които също могат да заблудят учениците. Повечето от имената на тези същества са доста популярни и дори възрастните могат да се объркат дали такива животни има в природата. Най-голямо внимание е добре да се обърне на съзвездието Кит. Кит е реално съществуващо животно, но древните гърци са виждали в това съзвездие чудовището с много глави от легендата за Цефей, Касиопея, Андромеда, Персей, Пегас и Кит.

Много съзвездия са кръстени на предмети и уреди. Учителите могат да направят и по-подробно разделяне на тези съзвездия, но в предложената таблица те са разделени условно на прибори, които се използват в науката, и предмети от ежедневието.

Детайлни инструкции за ученика

Разпределете съзвездията от предоставения списък по групи в празната таблица. В таблицата има 3 основни групи съзвездия – хора, животни и предмети. Групата на хората може да бъде разпределена на 2 подгрупи – мъже и жени. Групата на животните се разделя на сухоземни животни, водни животни (не риби), на птици и на митични същества. Групата на предметите е разделена на научни прибори и други.

След попълване на таблицата могат да бъдат зададени някои от следните въпроси на учениците:

- Колко мъже им на небето? – 14 (Близнаците са двама)
- Колко са жените на небето? – 4
- Колко кучета има сред съзвездията? – 4 (В Ловджийски кучета са две)
- Колко коне има? – 3 (Малък кон/Жребче – единственото реално животно, Пегас и Еднорог). Учениците биха могли да причислят към конете и Стрелец и Кентавър като полу-коне – полу-хора.
- Колко са рибите на небето? – 5 (в съзвездието Риби с панделка са вързани 2 риби). Ако говорим за водни животни, то тогава техният брой е 8.

Подобни въпроси могат да бъдат измислени много, с което учениците по-лесно да запомнят имената на съзвездията, да бъде провокирано тяхното въображение, по-лесно да ги разпознават на звездни карти или на небето и т.н.

Допълнение

За учениците ще бъде интересно да оцветят в определен цвят зодиакалните съзвездия и така да установят самостоятелно, че всички зодиакални съзвездия с изключение на Везни са живи същества, откъдето и идва названието на тази група съзвездия, сред които преминава Слънцето.

На по-напредналите ученици може да бъде поставена задачата да оцветят с различни цветове екваториалните съзвездия, незалязващите съзвездия и тези, през които преминава Млечния път. За тази задача, обаче, се изисква учениците да разполагат със звездна карта или компютърна програма. Тази задача може да се постави и след третата тема, когато учениците вече са запознати с другите класификации на съзвездията и с реалното и видимо движение на небето. В зависимост от нивото на децата, учителите могат да импровизират многобройни варианти на задачите и въпросите.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Попълнена е таблица за учителите, в които съзвездията са оцветени, както следва:

- в жълто поле – зодиакалните съзвездия,
- в синьо поле – незалязващите съзвездия,
- със зелен цвят – екваториалните съзвездия.

СЪЗВЕЗДИЯ									
ХОРА			ЖИВОТНИ				ПРЕДМЕТИ		
МЪЖЕ	ЖЕНИ	СУХОЗЕМНИ	ВОДНИ	ПТИЦИ	МИТИЧНИ	НАУЧНИ ПРИБОРИ	ДРУГИ		
1	Водолей	Овен	Рак	Райска птица	Козирог	Пергел	Помпа		
2	Колар	Касиопея	Делфин	Орел	Центавър	Часовник	Жертвеник		
3	Воловар	Ловджийски кучета	Златна риба	Гълъб	Кит	Везни	Длего		
4	Цефей	Дева	Водна змия	Гарван	Дракон	Микроскоп	Кил		
5	Близнаци	Малко куче	Риби	Лебед	Хидра	Ъгломер	Южна корона		
6	Херкулес	Хамелеон	Южна риба	Жерав	Еднорог	Оконтант	Северна корона		
7	Индианец	Жребче	Летяща риба	Паун	Пегас	Компас	Чаша		
8	Змиеносец	Гущер		Тукан	Феникс	Секстант	Южен кръст		
9	Орион	Лъв				Телескоп	Еридан		
10	Персей	Малък лъв				Тригълник	Пещ		
11	Живописец	Заек				Южен тригълник	Лири		
12	Стрелец	Вълк					Маса		
13	Скулптор	Рис					Кърма		
14		Муха					Мрежичка		
15		Скорпион					Стрела		
16		Змия					Щит		
17		Бик					Корабни плагна		
18		Голяма мечка							
19		Малка мечка							
20		Лисиче							

Зодиакални съзвездия

Екваториални съзвездия

Незаявяващи съзвездия

Колко мъже	14
Колко кучета	4
Колко змии	2
Колко коне	2
Колко риби	5
Колко съзвездия са зодиакални и екваториални	5

Практическо упражнение 3: Игрословица

Цел

Да се разпознаят имена на съзвездия.

Инструкции за учителя

Игрословици с имената на съзвездията са предложена в приложенията. Тези игрословици са само примерни. В зависимост от възрастта и нивото на децата може да се подготвят различни по сложност и големина игрословици.

Тук предлагаме два варианта – на български и на латински. Преподавателите в различните държави могат да подготвят такива на собствените си езици като изберат произволни имена на съзвездия. Могат да бъдат само зодиакални съзвездия, могат да са само съзвездия, които се виждат от съответната държава и т.н.

Във варианта на български 15 × 16 са дадени и други думи, които обаче не са имена на съзвездия (20 имена на съзвездия и 20 други думи). Това е задача с повишена трудност за най-подготвените ученици или за такива в извънкласни форми.

Решение

Съзвездия I

О	Р	А	К	П	Ф	Х	А	Д	Ц
Р	Г	Й	И	Л	Л	Е	Б	Е	Д
М	Ц	Е	Ф	Е	Й	Л	Б	В	Е
В	О	Д	О	Л	Е	Й	Г	А	С
Б	И	К	Х	Д	С	Р	К	Я	К
Ч	Д	Б	И	Р	Ч	А	Ш	А	О
Ж	Н	П	Д	А	К	Ъ	К	Б	Р
И	Х	Е	Р	К	У	Л	Е	С	П
Р	С	Г	А	О	Х	Р	И	Б	И
А	Ж	А	У	Н	К	М	С	Е	О
Ф	О	С	В	К	О	Р	И	О	Н

Съзвездия II

Д	Л	Е	Т	О	А	Ф	К	К	О	Т	А	Р	А	К
Р	Ж	В	О	Д	О	Л	Е	Й	Х	И	У	А	Л	К
А	Ф	Р	О	Д	И	Т	А	Х	Н	К	Ж	М	Д	З
К	А	Я	З	Р	И	Б	И	Т	С	В	И	К	Е	М
О	О	В	Е	Н	Ж	И	Х	Й	Л	И	Р	А	Б	И
Н	Р	Н	В	А	Ф	К	Л	Ц	О	М	А	Н	А	Е
Е	И	Ц	С	Б	Б	Л	А	Е	Н	З	Ф	Д	Р	Н
Л	О	К	Т	О	П	О	Д	Ф	А	Р	Я	Р	А	О
Е	Н	О	Т	Х	О	И	Р	Е	К	А	К	О	Н	С
Н	М	Л	П	Е	Р	С	Е	Й	Л	К	Г	М	Д	Е
В	Е	А	Т	Р	Р	Х	С	И	Н	И	Г	Е	Р	Ц
Б	И	Н	О	К	Ъ	Л	Н	Л	Е	Б	Е	Д	Л	К
С	Е	Х	М	У	Г	Л	В	Ъ	Д	И	Ц	А	И	О
З	Ъ	Г	Ъ	Л	Ъ	Б	Ф	В	Ъ	Л	К	О	Н	Т
П	Е	Р	Г	Е	Л	Й	О	К	У	Л	Я	Р	Е	В
А	Б	К	М	С	К	О	Р	П	И	О	Н	И	Т	А

Съзвездия

Съзвездия I

О	Р	А	К	П	Ф	Х	А	Д	Ц
Р	Г	Й	И	Л	Л	Е	Б	Е	Д
М	Ц	Е	Ф	Е	Й	Л	Б	В	Е
В	О	Д	О	Л	Е	Й	Г	А	С
Б	И	К	Х	Д	С	Р	К	Я	К
Ч	Д	Б	И	Р	Ч	А	Ш	А	О
Ж	Н	П	Д	А	К	Ъ	К	Б	Р
И	Х	Е	Р	К	У	Л	Е	С	П
Р	С	Г	А	О	Х	Р	И	Б	И
А	Ж	А	У	Н	К	М	С	Е	О
Ф	О	С	В	К	О	Р	И	О	Н

Решение:

РАК
ЛЕБЕД
ЦЕФЕЙ
ВОДОЛЕЙ
БИК
ЧАША
ХЕРКУЛЕС
РИБИ
ОРИОН
ЖИРАФ
ПЕГАС
ХИДРА
ДРАКОН
ДЕВА
СКОРПИОН

Съзвездия II

Д	Л	Е	Т	О	А	Ф	К	К	О	Т	А	Р	А	К
Р	Ж	В	О	Д	О	Л	Е	Й	Х	И	У	А	Л	К
А	Ф	Р	О	Д	И	Т	А	Х	Н	К	Ж	М	Д	З
К	А	Я	З	Р	И	Б	И	Т	С	В	И	К	Е	М
О	О	В	Е	Н	Ж	И	Х	Й	Л	И	Р	А	Б	И
Н	Р	Н	В	А	Ф	К	Л	Ц	О	М	А	Н	А	Е
Е	И	Ц	С	Б	Б	Л	А	Е	Н	З	Ф	Д	Р	Н
Л	О	К	Т	О	П	О	Д	Ф	А	Р	Я	Р	А	О
Е	Н	О	Т	Х	О	И	Р	Е	К	А	К	О	Н	С
Н	М	Л	П	Е	Р	С	Е	Й	Л	К	Г	М	Д	Е
В	Е	А	Т	Р	Р	Х	С	И	Н	И	Г	Е	Р	Ц
Б	И	Н	О	К	Ъ	Л	Н	Л	Е	Б	Е	Д	Л	К
С	Е	Х	М	У	Г	Л	В	Ъ	Д	И	Ц	А	И	О
З	Ъ	Г	Ъ	Л	Ъ	Б	Ф	В	Ъ	Л	К	О	Н	Т
П	Е	Р	Г	Е	Л	Й	О	К	У	Л	Я	Р	Е	В
А	Б	К	М	С	К	О	Р	П	И	О	Н	И	Т	А

Решение:

ДЛЕТО
ВОДОЛЕЙ
РИБИ
ОВЕН
ЛИРА
ПЕРСЕЙ
ЛЕБЕД
ГЪЛЪБ
ВЪЛК
ПЕРГЕЛ
СКОРПИОН
ДРАКОН
ОРИОН
ХЕРКУЛЕС
ЦЕФЕЙ
ЛЪВ
РАК
ЖИРАФ
АНДРОМЕДА
ЗМИЕНОСЕЦ

Решение:

КОТАРАК
АФРОДИТА
ОКТОПОД
ФАР
ЕНОТ
РЕКА
СИНИГЕР
БИНОКЪЛ
ВЪДИЦА
КОН
ОКУЛЯР
ЕЛЕН
КОЛАН
ЗЕВС
АДРЕС
СЛОН
ТИКВИ
РАМКА
АЛДЕБАРАН
КОТВА

Практическо упражнение 4: Разпознаване на съзвездия

Цел

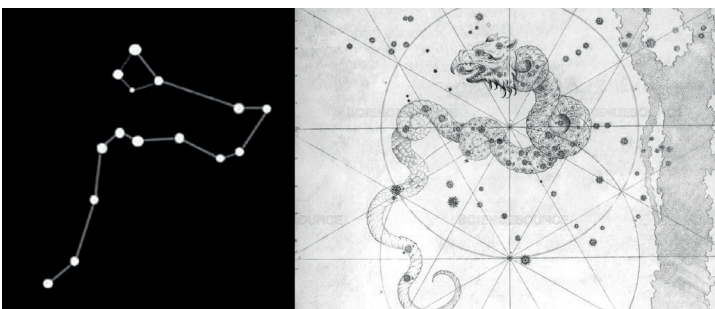
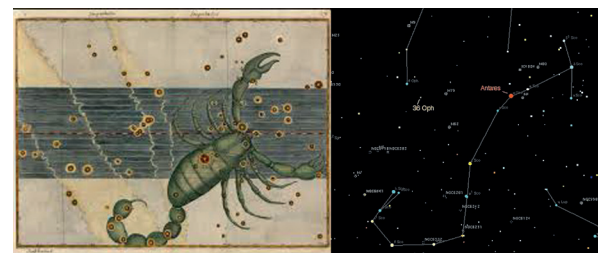
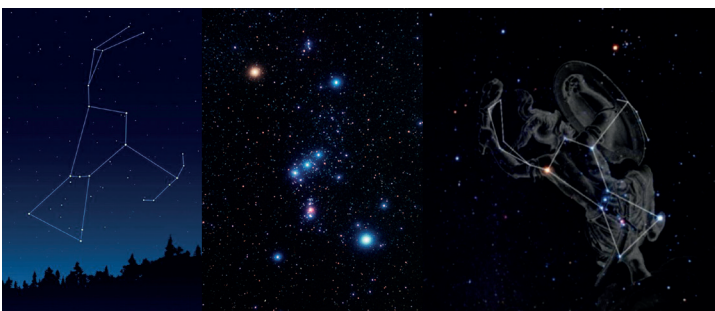
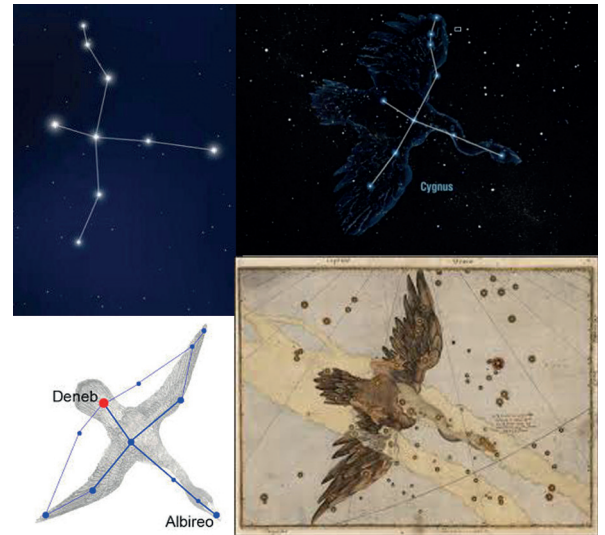
Да се разпознаят съзвездия.

Инструкции за учителя

Учителят може да отпечата картинки на съзвездията с техните изображения от каталога на Байер и да изисква от учениците да назоват техните имена. Вариант на тази задача е и с компютърни изображения.

Ресурс (примерен)

- изображения на различни съзвездия



Практическо упражнение 5: Фигури на съзвездия

Цел

Да се разпознаят форми и звезди от някои съзвездия.

Инструкции за учителя

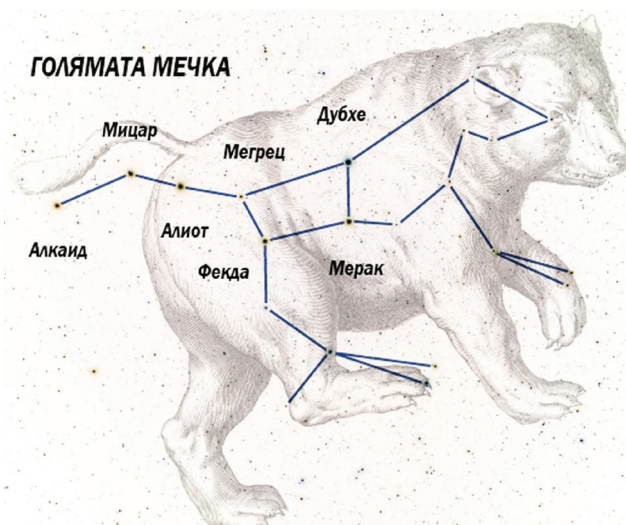
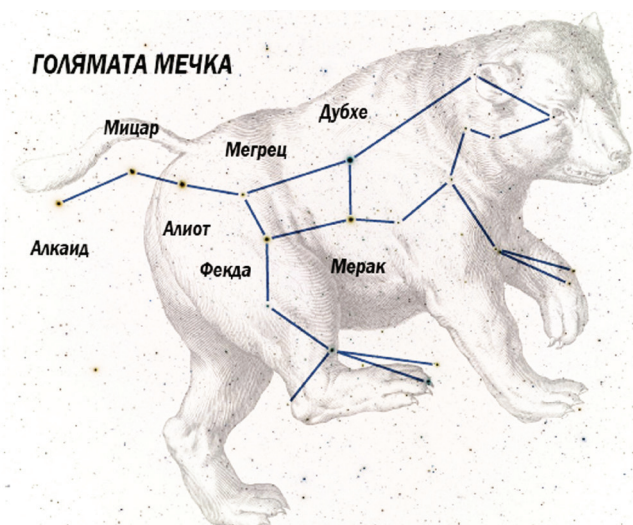
Задачата на учениците е да изрязват и залепят звездички върху предварително разпечатана схема на по-популярни съзвездия (за по-талантливи или напреднали деца може големината на звездите да отговаря на тяхната яркост – макар, че в темата няма информация за звездите); а може и да запишат имената на някои звезди върху схемата.

Предложената схема (Приложение 5) е на съзвездието Голяма мечка и по-конкретно на астеризма Големия черпак. Звездичките за предпочитане е да се изрязват от самозалепващо се цветно фолио с подходящи перфоратори.

Ако такива не са налични могат да бъдат изрязвани кръгчета от цветна хартия и да бъдат залепвани с лепило върху схемата.

Инструкции за ученика

Изрежете и залепете звездички (или цветни кръгчета) върху предварително разпечатаната схема съзвездията (за по-напредналите – съобразете големината на звездите/кръгчетата да отговаря на тяхната яркост). Запишете имената на звезди, които разпознавате върху схемата



ДВИЖЕНИЯ НА НЕБЕСНИТЕ ТЕЛА

(Видими и реални.)

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Още от малки са ни учили, че всеки ден Слънцето изгрява от изток и залязва на запад и всеки сам може да види как след като изгрее нашето небесно светило, то се издига, около обяд достига максимална височина, и след това започва да „пада“, докато се скрие под западния хоризонт. Същото нещо можем да видим и при Луната – и тя изгрява от изток, качва се високо на небето, и после залязва на запад. Планетите, кометите и астероидите имат същото поведение.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

изгрев

залез

изгряващи и залязващи съзвездия

неизгряващи и незалязващи съзвездия

денонощно движение

годишно движение

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Любопитна информация

Още от малки са ни учили, че всеки ден Слънцето изгрива от изток и залязва на запад и всеки сам може да види как след като изгриве нашето небесно светило, то се издига, около обяд достига максимална височина, и след това започва да „пада“, докато се скрие под западния хоризонт. Същото нещо можем да видим и при Луната – и тя изгрива от изток, качва се високо на небето, и после залязва на запад. Планетите, кометите и астероидите имат същото поведение. Думата „изток“ на български (а може би и на други славянски езици) произхожда от (или има нещо общо с) думите „изтичам“, „извор“ и е близка с думата „изгрев“. Думата „Запад“ по същия начин вероятно произхожда от Западам и е в основата на думата „Залез“.

Слънцето е изиграло важна роля във формирането на думи в славянските езици.

Проследявайки етимологията на думата „изток“ откриваме, че тя е съставена въз основа на признака на Слънцето да изгрива – наблюдаваме преместването му от хоризонта нагоре. Представката ИЗ- означава извършване на действие, насочено навън или нагоре, а –ТОК може да се свърже с течение, поток. В другите славянски езици думата „изток“ е съставена аналогично (восток – на руски; wschód – на полски; Na východě – на чешки; východ – на словашки език).

Ако се замислим за произхода на думата „запад“, отново ще намерим връзката между състава ѝ и признака на Слънцето да залязва - наблюдаваме движение надолу към хоризонта. Представката ЗА- носи значение на извършване на действие докрай, а –ПАД идва от „падам“. Справка с други славянски езици потвърждава това твърдение (запад – на руски; zachód – на полски; západně – на чешки; západ – на словашки език).

Същата връзка между славянските езици може да бъде направена и с думите „изгрев“ и „залез“. За „изгрев“ се използват следните думи: восход солнца – на руски, wschód słońca – на полски, východ slunce – на чешки език. Думата „залез“ на различните езици звучи така: zachód słońca – на полски; západ slunce – на чешки; západ slnka – на словашки език.

Движения на звездите

Ако в безоблачна нощ излезем навън и проследим за по-дълго време какво се случва със звездите, ще забележим, че едни звезди изгриват на изток, а други залязват на запад. При по-дълго наблюдение, ще се убедим, че всяка звезда повтаря същото като Слънцето и Луната – изгрива някъде в източна посока, достига най-високата си точка по небето (която астрономите наричат горна кулминация) и залязва някъде в западна посока.

Изключение правят малка група звезди, които нито изгриват, нито залязват. Те също се издигат до своята най-висока точка (горна кулминация), после слизат до най-ниската си точка (тяхната долна кулминация), но никога не пресичат хоризонта. Тези звезди сякаш обикалят около Полярната звезда и ако ги снимаме в продължение на часове, ще видим, че описват по небето дъги, които са част от (концентрични) окръжности с център някъде близо до Полярната звезда (или Северния небесен полюс). **Такива съзвездия наричаме незалязващи или околополюсни.**

За България незалязващи са съзвездията Малка мечка, Голяма мечка, Дракон, Цефей, Касиопея, Жираф и Рис.



Фиг. 1: Околополюсно въртене на звездното небе

Е, има и такива звезди, които ние от Европа никога не можем да видим. Те, и съзвездията, в които се намират, се наричат незалязващи. Групите на незалязващите и неизгряващите съзвездия са различни за различните точки от Земята и това зависи от географската ширина или от това колко мястото е отдалечено от екватора. Когато човек е на екватора, вижда всички съзвездия. Колкото е по-близо до екватора, толкова по-малко са неизгряващите и незалязващите съзвездия. С отдалечаване от екватора техният брой расте. От полюса (и от северния, и от южния) можем да видим точно половината звезди, които никога не залязват и описват по небето окръжности, успоредни на хоризонта. Другата половина от звездите никога не се качват над хоризонта и остават завинаги невидими от този полюс.

За Европа невидими са част от южните съзвездия, които са близо до Южния небесен полюс (Южен кръст, Тукан, Октант, Маса, Муха и т.н.).

Движението на небесните тела, което наблюдаваме в рамките на едно денонощие – техният изгрев, издигане до горна кулминация, залез и отново изгрев на следващия ден, наричаме **видимо денонощно движение (на небесната сфера).**

**Видими
движения
на небесните
тела**

Нека си представим, че направим наблюдение след няколко седмици или месеци. Това, което веднага ще ни направи впечатление е, че в същия час като предишното наблюдение сега небето не е същото. Съзвездията, които сме виждали преди да изгряват, сега са се качили по-високо по небето, а на тяхно място на източния хоризонт изгряват нови съзвездия. Поглеждайки на запад, виждаме да залязват съзвездията, които преди са били по-високо над главите ни, а вече не виждаме тези звезди, които преди са залязвали.

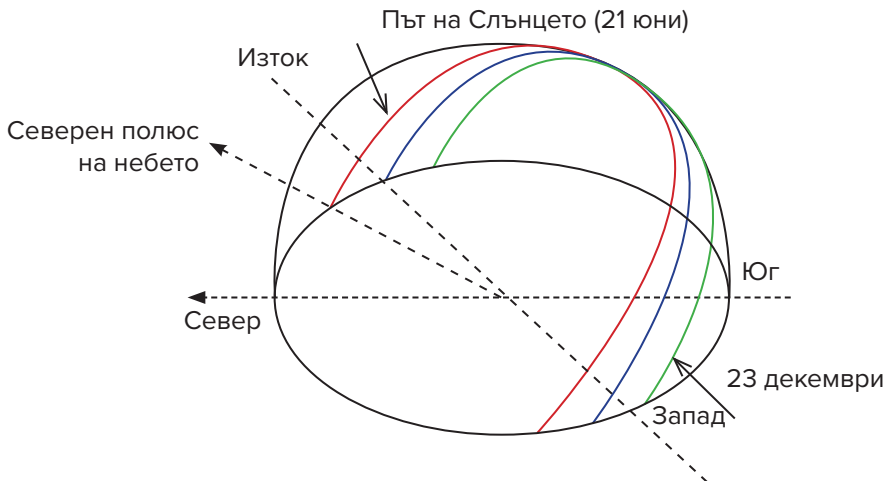
2. Движения на небесните тела

След още няколко месеца картината още повече ще се е променила. Вече ще виждаме съвсем други звезди с изключение на незалязващите съзвездия, които винаги са над хоризонта, но само малко са се завъртели. Това е причината да разделяме условно съзвездията на „зимни“, „пролетни“, „летни“ и „есенни“ според това дали се виждат вечер след залеза на Слънцето през съответния сезон. За северното полукълбо на Земята (където се намира и Европа) „зимни“ са съзвездията Орион, Бик, Близнаци, Голямо куче, Малко куче и др. „Пролетни“ са съзвездията Лъв, Дева, Хидра, Гарван, Чаша и т.н. Част от „летните“ съзвездия са Стрелец, Скорпион, Змиеносец, Лира, Лебед, Орел. Като „есенни“ могат да се определят Андромеда, Персей, Пегас, Козирог, Риби, Овен.



Фиг. 2: Звездното небе през различните сезони вечер след залеза на Слънцето

Движението на Слънцето, Луната и планетите през годината също се променя. През зимата Слънцето изгрява късно сутринта, много на югоизток, издига се ниско над хоризонта, залязва рано, на югозапад, и денят е много къс за сметка на дългата нощ. През лятото е точно обратно – Слънцето изгрява много рано, на североизток, издига се много високо по обяд, залязва късно, на северозапад, и денят е много дълъг с къса нощ. Поведението на Луната също има сезонен характер, но то е много по-сложно за описване.



Фиг.3: Дневният път на Слънцето по небето през различните сезони

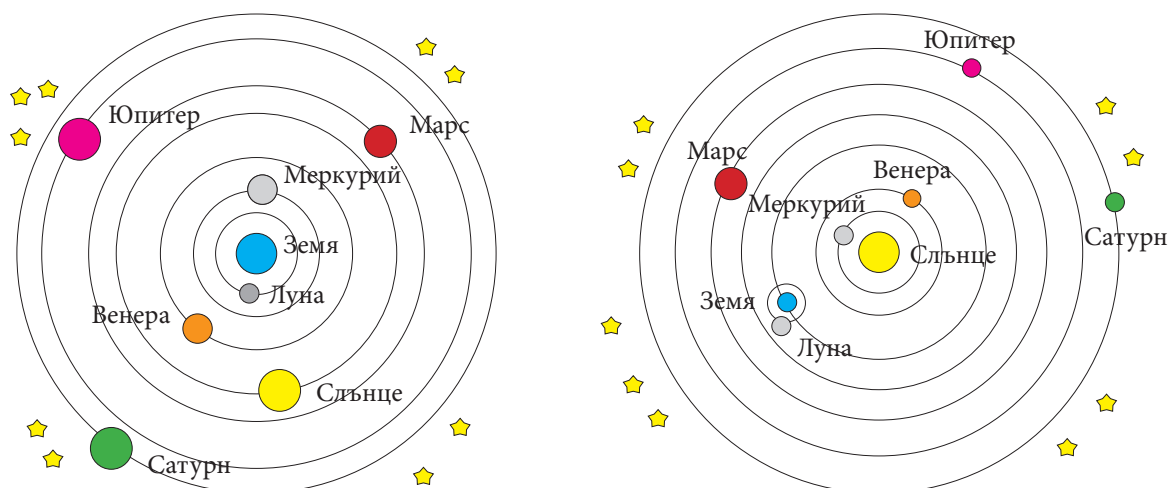
Тези различия в движението на Слънцето през годината също зависят от географската ширина и мястото на наблюдателя по Земята. Те са по-малко забележими около екватора и напълно противоположни на полюса. В околполярните области на Земята говорим за **полярен ден** или **полярно лято**, когато Слънцето не залязва в продължение на месеци до половин година, и за **полярна нощ** или **полярна зима**, през които Слънцето въобще не се издига над хоризонта.

Движението на небесните тела през годината – тяхната различна видимост през различните сезони, наричаме **видимо годишно движение (на небесната сфера)**.

Преди хиляди години се е смятало, че тези движения, които днес наричаме **видими денонощни или годишни движения** се дължат на самото движение на звездите, Слънцето, Луната и планетите около Земята (или на капризите на боговете). Тогава хората вярвали, че Земята е център на Вселената и всички други небесни тела се въртят около нея. Това ние днес наричаме „**Геоцентрична система**“ от Гея – богинята на Земята в древногръцката митология. Векове наред е било необходимо на астрономите да се преборят с това схващане и дори с цената на живота си да убедят хората (и църквата), че не Земята, а Слънцето заслужава да заеме централното място. Така през 16 и 17 век се налага „**Хелиоцентричната система**“ от Хелиос – бога на Слънцето. Днес ние знаем, че Слънцето е център само на Слънчевата система, че Вселената е безкрайна и няма център.

Геоцентризъм и хелиоцентризъм

2. Движения на небесните тела



Фиг.4: Схема на Геоцентричната и Хелиоцентричната система

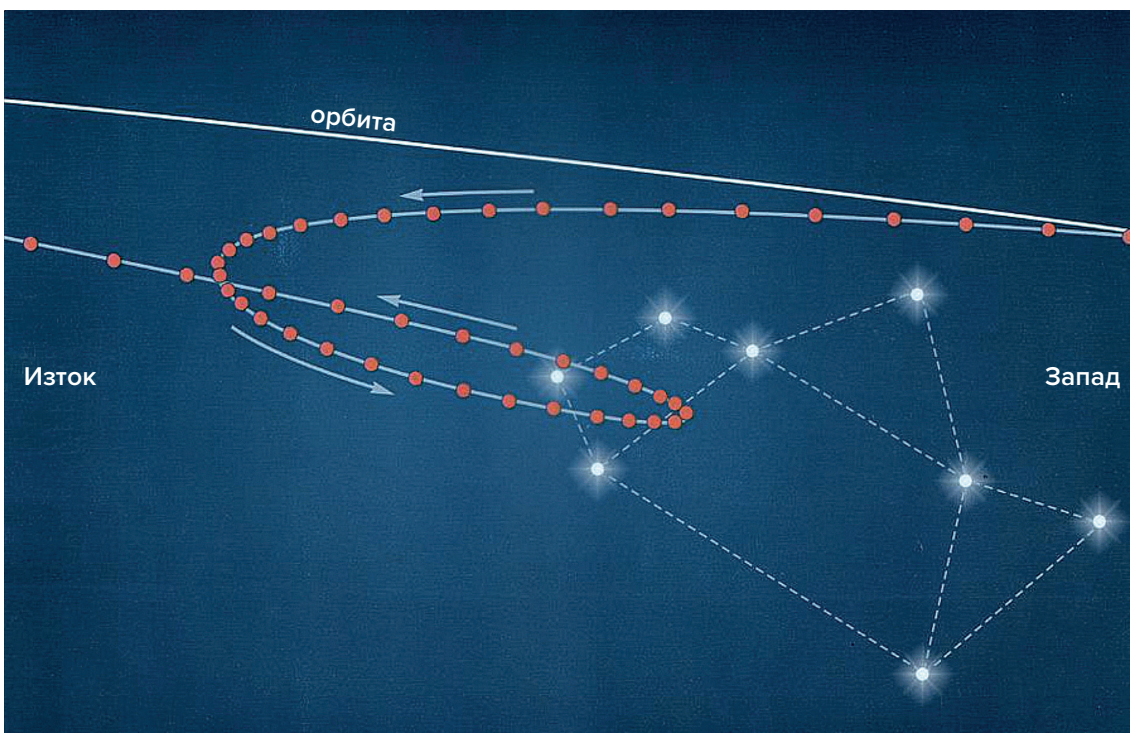
Вярванията на хората в Геоцентричната система са резултат от факта, че ние, хората на Земята, не усещаме нейното движение. А Земята се движи! На първо място Земята се върти около собствената си въображаема ос за почти 24 часа (по-точно 23 ч 56 м 04 с) или точка от екватора се движи около центъра на Земята със скорост около половин километър в секунда (0,47 км/с или 1674,4 км в час). Една ротация (едно завъртане) на Земята около оста и ние наричаме **денонощие (звездно денонощие)**. Всички точки от повърхността на Земята описват за едно денонощие окръжност с център върху оста ѝ. Тези окръжности са с различен радиус и скоростта, с която се движат различните точки от Земята е различна – колкото се отдалечаваме от екватора, толкова с по-малка скорост се въртим около оста. Но все пак денонощните пътища на всяка точка от Земята са окръжности, а всяка окръжност има 360 градуса. Ако разделим 360 градуса на 24 часа, то се получава, че Земята се завърта около оста си за един час на 15 градуса.

Движение на Земята Това е **реалното денонощно движение** на Земята, на което се дължи **видимото денонощно движение** на небесните тела. Земята се върти около оста си в посока, обратна на часовниковата стрелка, гледано от към нейния северен полюс, или от запад на изток, и това е причината да виждаме как всички светила на небето изгряват от изток и залязват на запад. И това видимо денонощно движение става със скоростта, с която се върти Земята – 360 градуса на денонощие или 15 градуса за един час.

Около Слънцето Земята обикаля по елипса като за това са ѝ необходими 365 дни 6 часа 9 минути 10 секунди. Този период ние наричаме година (звездна година). Макар да не усещаме и това движение, се оказва, че ние хората заедно с планетата Земя летим около Слънцето със скорост почти 30 км за една секунда (107 218 км/ч)! Това обикаляне на Земята около Слънцето наричаме **реално годишно движение** на Земята, на което се дължи **видимото годишно движение** на небесните тела. На това се дължи всъщност факта, че виждаме през различните сезони различни съзвездия по едно и също време на денонощието

Това е причината да виждаме как Слънцето обикаля по небето видимо в посока от запад на изток като за една година описва окръжност (наречена еклиптика) и преминава последователно през зодиакалните съзвездия. Това негово движение наричаме **видимо годишно движение на слънцето**.

Планетите, които също изгряват от изток и залязват на запад отново са повлияни както от **реалното денонощно и годишно движение на земята**, така и от **тяхното собствено реално обикаляне около слънцето**. Ето защо можем да забележим как една планета се премества сред звездите ден след ден в посока от запад на изток, като понякога „обръща“ посоката си (движи се ретроградно), прави причудливи „примки“ по небето, и отново тръгва в „правилната“ посока. Това е **видимото годишно движение на планетите**. Времето, за което планетата се връща отново в същото съзвездие, е времето, за което тя реално обикаля около Слънцето. Така още преди векове астрономите са изчислили периодите на тяхното орбитално движение.



*Фиг. 5: Видимият път на Марс по небето през годината –
право и обратно (ретроградно) движение*

Като единственото естествено тяло, което обикаля около **Земята**, **видимото движение на луната по небето също зависи не само от нейното реално движение, но и от реалното денонощно и годишно движение на земята**. И Луната изгрява от изток и залязва на запад, но сред звездите тя, както и Слънцето и планетите, се премества от запад на изток. Това преместване, обаче, става за 27,32 дни, колкото е нейното реално обикаляне около Земята. Ако към всички тези движения добавим и факта, че Луната заедно със Земята обикаля около Слънцето, ще можем да си обясним и нейните фази, както много други явления като слънчевите и лунни затъмнения.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Работа с подвижна звездна карта или компютърна програма тип планетариум

С помощта на програмата да проследят в посока Север кои съзвездия не залязват под хоризонта за съответното място. Ако се работи с подвижна звездна карта, то на горната прозрачна част обикновено са оградени областите, които са под и над хоризонта. Въртейки тази горна част (с което се сменя деня и часа), учениците трябва да установят, че част от звездите и съзвездията, които са близо до северния небесен полюс (около Полярната звезда) винаги остават над хоризонта (линията на подвижната част на картата, която разделя видимата от невидимата част на небето за дадено място).

Ако учениците работят с компютърна програма, то те трябва да изберат да „гледат“ в посока север. Тогава повечето програми позволяват да се ускори естественото въртене на звездното небе. Добре е програмата да има пейзаж и да може да показва естествената осветеност на небето през деня и нощта. Но дори и да няма тези опции, то би трябвало да има очертаване на линията на хоризонта. Забързвайки въртенето на небето, учениците могат да проследят как околополярните съзвездия слизат ниско до хоризонта, но някои звезди никога не се скриват под хоризонта.

Независимо по кой метод и с коя програма работят, учениците трябва да изброят и запишат кои са тези съзвездия за тяхната географска ширина, които са „незалязващи“.

Практическо упражнение 2: Сезони

Да потърсят информация и попълнят следната таблица:

№	За Северното полукълбо							Съзвездие, в което е Слънцето
	Дата	Име на позицията	Начало на сезона	Ден/Нощ	Изгрев на Слънцето	Залез на Слънцето	Височина на Слънцето	
1	20 март							
2	21 юни							
3	23 септември							
4	22 декември							

Практическо упражнение 3: Видимо движение на звездното небе
(ПРИЛОЖЕНИЯ 2a, 2b а 2c – могат да се разпечатат или да се покажат в електронен вариант)

Дадени са 3 изображения на звездното небе в 3 различни момента за една и съща вечер за наблюдател в северното полукълбо. По положенията на познатите зимни съзвездия (Орион, Бик, Близнаци, Голямо куче и т.н.) и посоките, означени на хоризонта, да се подредят изображенията в правилната последователност.



Фиг. 6: Приложение 2a



Фиг. 7: Приложение 2b

2. Движения на небесните тела



Фиг. 8: Приложение 2с

Отг.: Правилният ред е 2b, 2с, 2а.

ЗАКОНИ НА КЕПЛЕР

1. ВЪВЕДЕНИЕ

1.1 Въведение в проблематиката

Законите на Кеплер са три физически закона, които описват движението на планетите в Слънчевата система. Въпреки, че законите на Йохан Кеплер са формулирани изключително за планетите, обикалящи около Слънцето, те са по-общи и описват движението на всяко едно тяло в централно гравитационно поле. Пример е движението на спътник около Земята или на комета около Слънцето. Няколко десетилетия по-късно Исак Нютон показва, че Законите на Кеплер са резултат от неговата теория за гравитацията и механиката. Тук ще бъдат формулирани трите закона на Кеплер и ще бъде обяснено значението им.

Преди да формулираме законите на Кеплер, да погледнем историята. **Измерванията на датския астроном Тихо Брахе (1546 – 1601), който е направил много точни астрономически измервания на планетните позиции през втората половина на 16 век, са изиграли ключова роля при формулирането на законите за движението на планетите.** Това се е случило през далечната 1599 г., когато той се преместил в двора на император Рудолф II в Прага, където се срещнал и си е сътрудничил (до смъртта си през 1601 г.) с немския астроном и математик Йохан Кеплер. Понякога за него се говори като за най-големия експериментатор и теоретик на своето време. **Анализирайки данните на Брахе, Кеплер открил моделите за движение на планетите, които сега се наричат закони на Кеплер именно в негова чест.**

Има много формулировки на законите на Кеплер, които се различават по своята обобщеност. На първо място ще представим най-честите формулировки на законите, като постепенно ще ги уточняваме.

За да разберем целия контекст, ще са ни необходими някои знания по математика и физика, които не се преподават в началните училища. Тук ще направим едно бързо обяснение на степенуването и коренуването, ще опишем елипсата, а от гледна точка на физиката ще разгледаме закона за гравитацията на Нютон; ще спрем вниманието си върху центробежната сила и центростремителната сила.

2. Движение на небесните тела

1.1 Ключови думи

степен и степенуване

корен и коренуване

елипса

фокус

вектор на положението

голяма и малка полуос

ексцентрицитет на елипсата

централно поле

гравитационна сила

орбитален период

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

2.1 Степен и степенуване. Корен и коренуване

Първоначално ще дефинираме степените и степенуването, и ще продължаваме с мотивационни примери, за да се запознаем с правилата за работа с тях. Ще продължим с корените и коренуването, и тяхното отношение спрямо степените и степенуването. Ще илюстрираме как с помощта на степените можем да записваме числата в научен формат и защо степените и корените са важни във физиката.

В уроците по математика използваме умножаването, за да напишем сумата от няколко еднакви числа, например:

$$5 + 5 + 5 + 5 = 5 \cdot 4$$

Цифрата „5“ казва какво се повтаря, а цифрата „4“ - броят на повтарянията. Разбира се, може да се твърди, че това е просто още едно обозначение на цифрата „20“. Ако заместим събирането с умножение, многократното умножаване по едно и също число се записва така:

$$5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 5^4$$

Това се нарича степенуване, цифрата „5“ е основата на степента, а цифрата „4“ е показателят на степента. Основата на степента ни казва какво се умножава, а показателят колко пъти се умножава.

Трябва да осъзнаем това, защото $5^4 \neq 4^5$, по-точно $5^4 = 625$ а $4^5 = 1\,024$.

Използването на този запис може да бъде използвано и за по-сложни изрази:

$$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 2^3 \cdot 3 \cdot 5^4$$

Друг пример може да бъде:

$$2 \cdot 10 \cdot 10 = 2 \cdot 10^2$$

Това също може да бъде записано като:

$$2 \cdot 10 \cdot 10 = 2 \cdot (2 \cdot 5) \cdot (2 \cdot 5) = 2^3 \cdot 5^2$$

И двата начина на записване са равностойни, използват се само различни основи на степенуването.

Заслужава да се отбележи, например, че числото 10 бихме записали като 10^1 , т.е. $10 = 10^1$. Също $1 = 10^0 = 5^0 = 1,5^0$. Това означава, че в израза на числото 10, съответно 5 и съответно 1,5 то се среща „нула пъти“, т.е. изобщо не присъства¹.

¹) С умножаването на число по единица не се променя нищо. Пример: $5 = 5 \cdot 1 = 5 \cdot 10^0 = 5 \cdot 5^0 = \dots$

**Определение
на степента**

2. Движение на небесните тела

Разсъждения за избрани свойства на степените Ще се опитаме да илюстрираме с примери валидността на тези отношения:

а) $a^u \cdot a^v = a^{u+v}$

б) $\frac{a^u}{a^v} = a^{u-v}$

в) $(a^u)^v = a^{u \cdot v}$

г) $(ab)^v = a^v b^v$

където u и v са произволни реални числа, с които учениците биха могли да се срещнат в своето изследване (не искаме да говорим за реални показатели, защото реалните числа не са част от учебната програма на началните училища).

В горните операции, приемаме, че $a > 0$. За $a < 0$ правилата за операции със степени също имат смисъл, но тъй като примерите в случая няма да са от полза, няма да се задълбочаваме допълнително с разглеждането тази проблематика.

а) Нека вземем числото 10 000 и се опитаме да го запишем с помощта на степените на числото 10:

$$\begin{aligned} 10\,000 &= 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^1 \cdot 10^1 \cdot 10^1 \cdot 10^1 \\ &= 100 \cdot 100 = 10^2 \cdot 10^2 \\ &= 1\,000 \cdot 10 = 10^3 \cdot 10^1 \\ &= 10^4 \end{aligned}$$

Ако се вгледаме в показателите, можем да видим, че показателите на равните степени се събират:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 2 + 2 = 3 + 1 = 4$$

В общия случай, за показатели u и v на основа a , записваме:

$$a^u \cdot a^v = a^{u+v}$$

б) Нека сега напишем числото 100, използвайки числата 1000 и 10, както и използвайки степенуването с основа 10:

$$10^2 = 100 = \frac{1\,000}{10} = \frac{10^3}{10^1}$$

За да се приложи уравнението $10^2 = \frac{10^3}{10^1}$, показателите трябва да се извадят: $3 - 1 = 2$.

Ето още един пример:

$$\begin{aligned} 100\,000 &= \frac{1\,000\,000}{10} = \frac{10^6}{10^1} \\ &= \frac{100\,000\,000}{1\,000} = \frac{10^9}{10^3} \\ &= \frac{100\,0}{0,01} = \frac{10^4}{10^{-2}} \\ &= 10^5 \end{aligned}$$

Следователно, за показателите важи: $6 - 1 = 9 - 3 = 4 - (-2) = 5$

В общия случай:

$$\frac{a^u}{a^v} = a^{u-v}$$

в) Сега ще напишем числото 1 000 000, използвайки степените с основа 10, както и използвайки по-горе изведеното правило а):

$$\begin{aligned} 1\,000\,000 &= 100 \cdot 100 \cdot 100 = 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^2 = (10^2)^3 \\ &= 1\,000 \cdot 1\,000 = 10^3 \cdot 10^3 = (10^3)^2 \\ &= 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = (10^1)^6 \\ &= 10^6 \end{aligned}$$

За показателите важи: $2 \cdot 3 = 3 \cdot 2 = 1 \cdot 6 = 6$

В общия случай: $(a^u)^v = a^{u \cdot v}$

г) Нека напишем числото 10 като произведене $2 \cdot 5$, а после нека го степенуваме и напишем със степените на тези числа:

$$(2 \cdot 5)^2 = 2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 5 = 2^2 \cdot 5^2$$

В общия случай:

$$(ab)^v = a^v b^v$$

Ако въведем $c = \frac{1}{b}$, тогава бихме написали горното равенство по следния начин:

$$\left(\frac{a}{c}\right)^v = \frac{a^v}{c^v}$$

2. Движение на небесните тела

Научно записване на числата, използвайки степенуване В науката записването с помощта на степенуването с основа 10 е широко разпространено. Нека посочим няколко конкретни примера:

- средно разстояние между Земята и Слънцето:

$$150\,000\,000\,000\text{ m} = 1,5 \cdot 10^{11}\text{ m}$$

- маса на Земята:

$$5\,970\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\text{ kg} = 5,97 \cdot 10^{24}\text{ kg}$$

- гравитационна константа:

$$0,000\,000\,000\,066\,7\text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

Корен, коренуване Изразът за изписване на числото 100 със степени е $100 = 10^2$. **Корен квадратен** на числото 100 бихме нарекли изразът $\sqrt{100}$, който е равен на 10. Квадратният корен ни дава отговор на въпроса каква би трябвало да бъде основата на степенята, за да можем при показател 2 да получим числото 100.

Ето още примери:

Квадратният корен на 4 е 2 (т.е. $\sqrt{4} = 2$), защото $2^2 = 4$.

Квадратният корен на 25 е 5 (т.е. $\sqrt{25} = 5$), защото $5^2 = 25$.

Квадратният корен на 64 е 8 (т.е. $\sqrt{64} = 8$), защото $8^2 = 64$.

Кубичният корен на 8 е 2 (т.е. $\sqrt[3]{8} = 2$), защото $2^3 = 8$.

Кубичният корен на 27 е 3 (т.е. $\sqrt[3]{27} = 3$), защото $3^3 = 27$.

Ако степенуваме числото 10 на втора степен, а после вземем корен квадратен от резултата, отново бихме получили 10. Валидно е и обратното:

$$\sqrt{10^2} = (\sqrt{10})^2 = 10$$

Съгласно точка г) в част 1.2 получаваме:

$$(10^2)^{\frac{1}{2}} = 10^{2 \cdot \frac{1}{2}} = 10^1 = 10$$

Следователно, коренуването може да се изрази и като дробна степен, като числителят е степенният показател, а знаменателят е коренът, например

$$\sqrt[3]{10} = 10^{\frac{1}{3}}$$

За това, предишният пример можем да запишем така:

$$\sqrt[2]{10^2} = (10^2)^{\frac{1}{2}} = 10^{2 \cdot \frac{1}{2}} = 10^1$$

Следователно, общата формула е следната:

$$\sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}}$$

където n и m са реални числа, а основата приемаме за положителна (за по-лесно).

За даденото равенство трябва да изразим a :

$$\frac{T^2}{T_0^2} = \frac{a^3}{a_0^3}$$

Пример

Първо записваме за:

$$a^3 = \frac{T^2}{T_0^2} a_0^3$$

Решението за a се получава като кубичен корен от израза $\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3$, или:

$$a = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3} = \left(\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{T^2}{T_0^2}\right)^{\frac{1}{3}} (a_0^3)^{\frac{1}{3}} = a_0 \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2}} = a_0 \sqrt[3]{\left(\frac{T}{T_0}\right)^2} = a \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{2}{3}}$$

2.2 Закон за гравитацията на Нютон

Законът за гравитацията на Нютон описва гравитационното привличане на две тела с маси M и m , които могат да бъдат еднородни топки (масата е равномерно разпределена по целия обем на тялото), или размерите на телата да са незначителни в сравнение с разстоянието между тях. В този случай ние идеализираме телата **като точки**, характеризиращи се само с тяхната маса.²⁾

Отношението за величината на гравитационната сила между две тела е дадено с формулата:

$$F_G = \frac{GMm}{r^2},$$

където $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ е гравитационната константа, M и m са масите на телата (точките), r е разстоянието между точките, съответно между центровете на сферичните тела.

Забележка: При тела с по-сложни форми гравитационната сила не може да бъде изчислена чрез просто заместване на стойностите на масите и разстоянията в закона на Нютон. Необходимо е да се използва по-сложна математика, с която учениците ще се срещнат в по-горните класове на средното училище.

²⁾ Всъщност е достатъчно тялото да бъде хомогенно на всяка от радиусните си „обвивки“, но хомогенността в целия обем не е предпоставка за валидността на закона на Нютон. За нашите цели обаче това опростяване ще е достатъчно.

2.3 Центростремителна сила

Вторият закон на Нютон гласи, че ако върху тяло с определена маса m действа сила с големина F , то тя ще предизвика ускорение a , или:

$$F = ma.$$

Ако едно тяло с определена маса m се движи равномерно по дадена кръгова траектория с радиус r , то посоката на движение на тялото се променя, въпреки че скоростта му v не се променя по стойност (променя се „само“ нейната посоката). Това обстоятелство изразява т. нар. центростремително ускорение a_d , за което е възможно да се изведе следното:

$$a_d = \frac{v^2}{r}.$$

Центростремителната сила F_d следователно, е равна на:

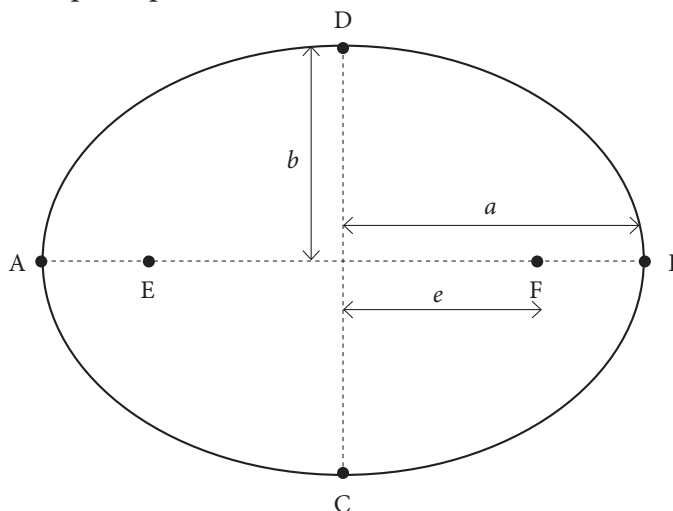
$$F_d = \frac{mv^2}{r}.$$

Забележка: За да се изведе отношението за центростремителното ускорение, е необходимо да се дефинират векторите за ускорение и скорост, което се прави в часовете по математика в средните училища. Тук няма да извеждаме дефинициите, само ще ги посочим.

2.4 Елипса. Описание на елипсата

Елипсата е затворена равнинна крива, съставена от точки, за които сумата от разстоянията до две неподвижни точки, наречени фокуси (E и F на Фиг. 1), е винаги постоянна. Основните параметри на елипсата са голямата полуос a , малката полуос b , както и линейният ексцентрицитет e (вж. Фиг. 1).

Въведен е и численият ексцентрицитет, който, за разлика от линейния ексцентрицитет е безразмерен.



Фиг. 1: Елипса: върхове: A и B, ко-върхове: C и D, фокуси: E и F, голяма полуос: a , малка полуос: b , линейен ексцентрицитет : e

2.5 Закони на Кеплер

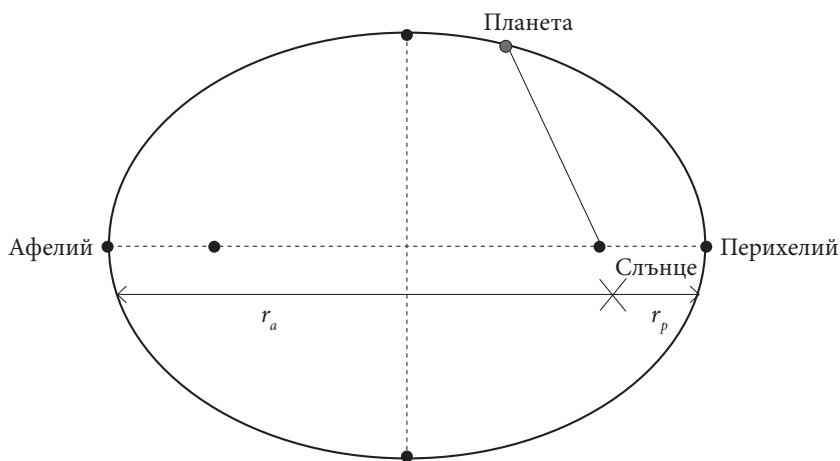
Орбитите на планетите са елипси, в единия от фокусите на които се намира Слънцето. Орбитите на планетите са много слабо сплеснати елипси и почти не се отличават от окръжност.

Първи закон на Кеплер

От Първия закон на Кеплер следва, че планетите се движат по равнинни затворени криви. Фиг. 2 показва орбитата на една планета със Слънцето в единия фокус. Точката на елипсата, която е най-близката до Слънцето, се нарича **перихелий**, а най-отдалечената точка се нарича **афелий**. Разстоянията от фокуса до перихелия и афелия са обозначени r_p и r_a съответно. Фиг. 2 показва и разстоянието r от Слънцето до планетата. Фигура 2 може да се прочете по следния начин:

$$r_p = a - e = a(1 - \varepsilon)$$

$$r_a = a + e = a(1 + \varepsilon)$$



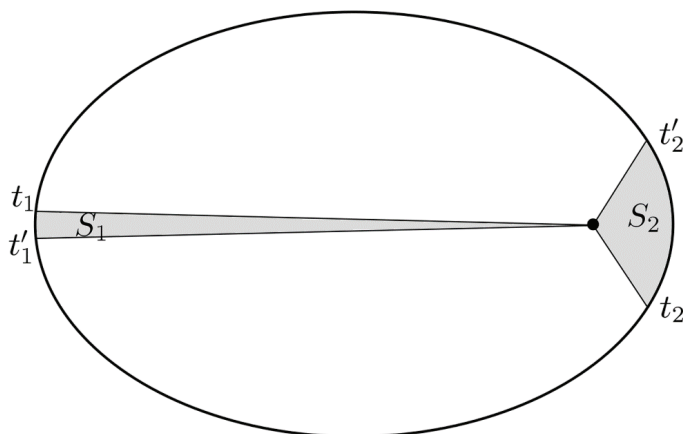
Фиг. 2: Орбита на планета около Слънцето

При движението на планетите около Слънцето техните радиус-вектори описват равни площи за равни интервали от време.

Втори закон на Кеплер

Смисълът на втория закон на Кеплер е илюстриран на Фиг. 3. Отбелязани са два времеви интервала $\tau_1 = t'_1 - t_1$ а $\tau_2 = t'_2 - t_2$, които отговарят на площите S_1 а S_2 , съответно, описани от радиус-вектора на планетата. От Втория закон на Кеплер следва, че ако $\tau_1 = \tau_2$, то $S_1 = S_2$.

2. Движение на небесните тела



Фиг. 3: Към тълкуването на Втория закон на Кеплер

Трети закон на Кеплер

Ако означим орбиталните периоди на две планети, обикалящи около Слънцето с T_1 и T_2 , а дължините на големите полуоси на техните орбити с a_1, a_2 , то

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

което четем като:

Отношението на квадратите на орбиталните периоди на двете планети е равно на големата на кубовете на техните големи полуоси.

В Слънчевата система има смисъл орбиталните периоди да се изчисляват в земни години, а големите полуоси - в астрономически единици (съкращение „au“ от англ. „astronomical unit“). За Земята важи следното: $a_{\oplus} = 1 \text{ au}$, $T_{\oplus} = 1 \text{ год}$.

Забележка: Внимателният читател може да забележи, че тази формулировка на закона важи независимо от използваните единици. С други думи, можем да изчисляваме периода в години, както и в секунди или в часове – отношението важи. Същото важи и за големата полуос. Тя може да бъде изчислявана в астрономически единици, но също така и в метри, километри и т.н.

Нека вземем този пример:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{10 \text{ години}}{2 \text{ години}} = \frac{10 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}{2 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{10 \text{ s}}{2 \text{ s}} = 5$$

Отношението на периодите не зависи от мерните единици, в които изчисляваме, защото коефициентът на преобразуване е еднакъв (числителят и знаменателят се делят/умножават на едно и също число).

Сега ще продължим и ще покажем, че можем да работим дори с безразмерни величини. Нека дефинираме (безразмерните) относително разстояние a' и относителен период T' , които показват колко разстоянието и периодът са по-големи от a и T :

$$a' = \frac{a}{a_{\oplus}}, T' = \frac{T}{T_{\oplus}},$$

където a_{\oplus} е голямата полуос, а T_{\oplus} е периодът на Земята.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T'_1}{T'_2}, \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{a'_1}{a'_2}$$

Ако тогава $a = 1,5$ а.у., то $a' = 1,5$.

2.6 Законите на Кеплер за втори път

Законите са по-общи и не се отнасят само за движението на планетите в Слънчевата система. Тук ги формулираме по-общо.

В гравитационното поле на силов център, телата се движат по едно от коничните сечения – кръг, елипса, хипербола, парабола, като силовият център се намира в един от фокусите (в центъра, ако орбитата е кръгова).

Първи обобщен закон на Кеплер

Тази формулировка означава, че законите на Кеплер се отнасят и за описанието на движението на спътник около Земята, орбитите на луните около Юпитер и др., където ролята на централното тяло във фокуса се поема от планетата.

За равни интервали от време, радиус-векторът на орбитиращото тяло описва равни площи.

Втори закон на Кеплер

Не е задължително телата да обикалят около Слънцето. Това може да е, например, друга звезда или планета.

Площта, описана от радиус-вектора за краткия период от време, когато планетата преминава близо до перихелия, съответно афелия, може да се определи като (виж Фиг. 3³⁾⁴⁾

$$S_p = \frac{1}{2} r_p v_p \tau,$$

³⁾ Описаните площи от елипсата са почти равностранни триъгълници, ако интервалите от време са достатъчно малки.

⁴⁾ Ако векторите на скоростта и радиус-векторите не са перпендикулярни един на друг, а под ъгъл, областта, описана от радиус-вектора за кратък период от време, е равна на: $S = \frac{1}{2} r v \tau \sin \alpha$.

2. Движение на небесните тела

съответно
$$S_a = \frac{1}{2} r_a v_a \tau.$$

От втория закон на Кеплер $S_p = S_a$ получаваме:

$$r_p v_p = r_a v_a,$$

От геометрията на елипсата (виж Фиг. 1) знаем, че $r_p = a - e = a(1 - \epsilon)$ и $r_a = a + e = a(1 + \epsilon)$

Следователно

$$\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a + e}{a - e} = \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon}$$

Планетата има най-висока скорост в перихелий и най-ниска скорост в афелий. Скоростта в афелий е толкова пъти по-малка от скоростта в перихелий, колкото пъти планетата е по-далеч от Слънцето, отколкото е била в перихелий. Съотношението на скоростите в перихелий и афелий се определя от параметъра на елипсата ϵ .

Трети закон на Кеплер

Движението на тялото в централното поле на значително по-масивно тяло се управлява от отношението

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2},$$

където голямата полуос a е в метри, периодът T е в секунди, масата M е в килограми, а G е гравитационната константа $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Тази формулировка на Третия закон на Кеплер не е напълно обща, но вече не се отнася само до движението на планетите в Слънчевата система.

Ще изведем третия закон на Кеплер в тази форма. В този случай конкретно, ние приемаме, че **едно тяло с маса m обикаля по кръгова траектория с радиус r около център със значително по-голяма маса M , т.е. $m \ll M$.**

Ние знаем, че гравитационната сила действа като центростремителна сила:

$$\frac{GMm}{a^2} = \frac{mv^2}{a}$$

където $v = \frac{2\pi a}{T}$ е кръговата скорост.

След заместване на кръговата скорост в уравнение получаваме:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2},$$

Всъщност горното отношение се прилага дори ако планетата не се движи по кръгова, а по елипсовидна орбита.

За произволни две планети на Слънчевата система е приблизително вярно, че се движат по кръгови орбити около Слънцето и имат незначителна маса в сравнение със Слънцето. Следователно, за две планети горепосоченото уравнение задължително е вярно:

Трети закон на Кеплер за Слънчевата система

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{GM}{4\pi^2}, \quad \frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{GM}{4\pi^2}.$$

Следователно

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}.$$

Въпреки, че през цялото време сме работили в единици SI, последното уравнение се прилага независимо от избора на единиците. Обсъдихме причината в бележката в 2.5.3. Така доказахме първата формулировка на Третия закон на Кеплер.

Взаимното движение на тела с маси M_1 и M_2 около общ център се управлява от отношението

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M_1 + M_2)}{4\pi^2},$$

където голямата полуос е в метри, периодът е в секунди, масите са в килограми, а $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ е гравитационната константа.

Трети закон на Кеплер за трети път

Нека сега помислим. Тъй като масата на Земята m_{\oplus} е пренебрежима в сравнение с масата на Слънцето M_{\odot} , е възможно да напишем опростената формулировка на Третия закон на Кеплер така:

$$\frac{a_{\oplus}^3}{T_{\oplus}^2} = \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2}$$

Чрез съотношението на последните две уравнения получаваме

$$\left(\frac{a}{a_{\oplus}}\right)^3 \left(\frac{T_{\oplus}}{T}\right)^2 = \frac{M_1}{M_{\odot}} + \frac{M_2}{M_{\odot}}.$$

В този момент, ако дефинираме безразмерните (относителни) величини $a' = \frac{a}{a_{\oplus}}$, $T' = \frac{T}{T_{\oplus}}$, $M'_1 = \frac{M_1}{M_{\odot}}$

$M'_2 = \frac{M_2}{M_{\odot}}$, можем да напишем последната обща формулировка на Третия закон на Кеплер в по-опростена форма

$$\frac{a'^3}{T'^2} = M'_1 + M'_2$$

2. Движение на небесните тела

За изчисление, a' заменяме със стойността на голямата полуос, изразена в астрономически единици (подчертаваме, че размерността е „au“, но в този контекст „au“ няма размерност и изразява колко пъти голямата полуос е по-голяма от 1 au), T' заменяме с числовата стойност на орбиталния период в години (той е също така безразмерен) M'_1 и M'_2 са масите, изразени в Слънчеви маси (и те отново са безразмерни величини).

Ако $M_1 \ll M_2$, то общият израз на Третия закон на Кеплер се свежда до специалния случай, обсъден по-горе.

Източници и използвана литература

[1] ŠANTAVÝ I.: *Mechanika*, SPN, Praha, 1993

[2] VOLF I., JAREŠOVÁ M.: *Fyzika je kolem nás (Pohyby těles v planetární soustavě)*, online odkaz: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/fyzika5.pdf>, cit. 8.7.2018

[3] ŠEDIVÝ P., VOLF I.: *Pohyb tělesa po eliptické trajektorii v radiálním gravitačním poli*, online odkaz: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/druzice.pdf>, cit. 8.7.2018

[4] MIKULČÁK J., MACHÁČEK M., ZEMÁNEK F.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro SŠ*, Prometheus, Praha, 2003

Източници и препоръчана литература

[5] ŠIROKÝ J., ŠIROKÁ M.: *Základy astronomie v příkladech*, SPN, Praha, 1966, online odkaz: <http://physics.ujep.cz/~zmoravec/astronomie/siroky/siroky.html>, cit. 8.7.2018

[6] ŠTEFL V., KORČÁKOVÁ D., KRTIČKA J.: *Úlohy z astrofyziky*, PřF MUNI, Brno, 2010, online odkaz: <http://www.physics.muni.cz/astroulohy/>

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ДЕЙНОСТИ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
Задача 1: Движение около Слънцето	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	преобразуване на единици, Трети закон на Кеплер, движение по окръжност
Задача 2.: Луната е на разстояние..., но какво?!	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	преобразуване на единици, Закон за гравитацията на Нютон, Трети закон на Кеплер
Задача 3: Това обича и съседът	5 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	Трети закон на Кеплер
Задача 4: Извънземно и човек	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	елипса, Втори и Трети закон на Кеплер
Задача 5: Планетата-джудже Плутон	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	елипса, Втори и Трети закон на Кеплер
Задача 6.: Марс!..... Къде е?	12 минути	може да е по-предизвикателна, защото трябва да включим въображението си, включва концепцията за ъгловата скорост и синодично време	12 и повече годишни	калкулатор	Трети Закон на Кеплер, ъглова скорост, синодично време
Задача 7.: Полет до Марс по полуелипса	8 минути	интересна концепция, стандартни действия	12 и повече годишни	калкулатор	Трети Закон на Кеплер, Хоманова траектория
Задача 8: Геостационарен спътник	8 минути	може да е по-предизвикателна, защото трябва да включим и въображението си, стандартни действия	12 и повече годишни	калкулатор	Втори и Трети закон на Кеплер, Закон за гравитацията на Нютон, Центростремителна сила
Задача 9.: Сблъсък със Слънцето	5 минути	нестандартен вид задача	12 и повече годишни	калкулатор	Трети закон на Кеплер, падане на Слънцето по отсечка
Задача 10.: Лек като... супер черна дупка!	15 минути	работа с графика, по-сложни действия	12 и повече годишни	калкулатор, линия	работа с графики, работа с ъглови разстояния, Трети закон на Кеплер

Методически инструкции за учителите - ученици със СОП, надарени ученици

1. Учениците със СОП имат нужда от 50% допълнително време.
2. Надарените ученици могат самостоятелно да изпълнят всички задачи, учителят им се посвещава поотделно. Ако ученик прояви интерес към тази тема, той може да работи с допълнителни теории и примери [2], [3], [5] а [6].
3. Времената на задачите са ориентировъчни. След изтичане на препоръчаното време за самостоятелно решаване на задачите е препоръчително да преминете към представяне на решенията на дъската.

Задача 1: Движение около Слънцето

Земята се движи около Слънцето по идеално кръгла орбита с радиус $a = 1 \text{ au}$ и период $T = 365,25$ дни.

- От Третия закон на Кеплер определете масата на Слънцето в килограми. За сравнение определете колко пъти Слънцето е по-масивно от Земята (масата на Земята е $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$).
- Ако приемем, че Земята се движи по точно кръгова орбита около Слънцето, изчислете скоростта на Земята по нейната орбита.

Решение

- Първо преобразуваме единиците на величините в системата SI: $a \doteq 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$,

$T \doteq 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}$. Остава да ги заместим в Третия закон на Кеплер:

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} \doteq 2,00 \cdot 10^{30} \text{ kg} \doteq 335\,000 M_{\oplus}$$

Действителната маса на Слънцето е $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, така че изчислената от нас стойност е правилна.

- Орбитата на Земята се приема като окръжност, т.е. Земята за 1 година ще измине $s = 2\pi a$, така че орбиталната ѝ скорост е равна на $v = \frac{2\pi a}{T} \doteq 29,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Орбитата на Земята около Слънцето всъщност не е точно окръжност – скоростта ѝ варира между $29,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ и $30,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Задача 2.: Луната е на разстояние... , но какво?!

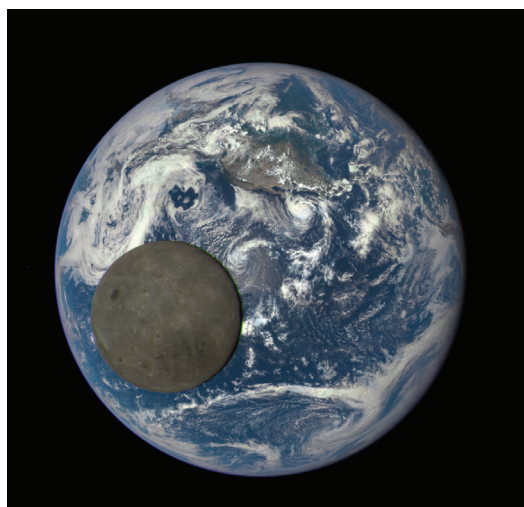
В тази задача ще се опитате да прецените разстоянието на Луната от Земята.

- Гравитационно ускорение на земната повърхност е $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, радиусът на Земята е $R = 6\,378 \text{ km}$. Определете масата на Земята от Закона за гравитацията на Нютон.⁶⁾
- Орбиталният период на Луната около Земята е $T = 27,3$ дни. Използвайте Третия закон на Кеплер, за да прецените средното разстояние на Луната от

⁵⁾ Ексцентрицитетата на елиптичната траектория на Земята е само $\varepsilon_{\oplus} = 0,0167$

⁶⁾ Ние не правим разлика между различните видове ускорения.

Земята (пренебрегнете масата на Луната, което ще направи изчислението само приблизително).



Фиг. 4: Земята и Луната на обща снимка

(Източник: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/from-a-million-miles-away-nasa-camera-shows-moon-crossing-face-of-earth> , цитирано на 05.07.2018)

Решение:

а) Гравитационното ускорение определяме от Закона за гравитацията на Нютон.

Гравитационната сила, действаща върху тяло с определена маса при повърхността на Земята, е $F_G = \frac{GM_{\oplus}m}{R_{\oplus}^2}$.

Общото отношение към силата е дадено от Втория закон на Нютон $F = m\alpha$, където α е ускорението на тялото. Ако обозначим гравитационното ускорение с g , то тогава от Закона за гравитацията на Нютон и

Втория закон за движението получаваме:⁷⁾ $g = \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$

От това отношение изразяваме масата $M_{\oplus} = \frac{gR_{\oplus}^2}{G} \doteq 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Истинската маса на Земята е $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, така че нашите изчисления са правилни.

б) Орбиталното време ще изразим в секунди $T = 27,3$ денонощия $\doteq 2,36 \cdot 10^6 \text{ s}$. Тук пренебрегваме масата на Луната, която всъщност не е нищожна.

Така получаваме приблизителното средно разстояние $a = \sqrt[3]{\frac{GM_{\oplus}T^2}{4\pi^2}} \doteq 3,83 \cdot 10^8 \text{ m}$.

Истинската стойност на голямата полуос (средното разстояние) е $a = 384\,400 \text{ km}$.

⁷⁾ Вече по подразбиране, ускорението се обозначава с буквата „а“ от английската дума „acceleration“. Тъй като буквата „а“ вече използвахме за обозначаване на главната полуос, ние избрахме друга буква за ускорение, а именно „q“.

2. Движение на небесните тела

Нашето изчисление е почти напълно точно, което се дължи на това, че масата на Луната в сравнение с масата на Земята е много малка, т.е. $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}} \doteq 81$.

Задача 3: Това обича и съседът

Средното разстояние между Земята и Луната е $a = 384\,400$ km а масата на Земята е $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg. Орбиталния период на Луната вече познавате от Задача 2. Определете масата на Луната. Колко пъти масата на Земята е по-голяма от масата на Луната?

Решение:

Масата на Луната се изчислява от Третия закон на Кеплер:

$$M_{\text{J}} = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} - M_{\oplus} \doteq 6,62 \cdot 10^{22} \text{ kg.}$$

Орбиталният период сме заместили с $T \doteq 2,36 \cdot 10^6$ s. Тъй като масата на Земята е

$M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg, то Земята е $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}}$ пъти по-масивна от Луната.

Действителната маса на Луната е $7,35 \cdot 10^{22}$ kg, следователно $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}} \doteq 81$, и изчисленият резултат е разумен и близък до реалната стойност.

Обърнете внимание, че изчислената маса на Луната зависи много от точността на останалите величини. Ако в уравнението за орбиталния период заместим $27,3 \cdot 24 \cdot 3\,600$, но без да закръгляваме, бихме получили $M_{\text{J}} \doteq 7,27 \cdot 10^{22}$ kg, което е очевидно по-точен резултат. Това обаче е „съвпадение“, правилният начин е да преобразувате орбиталния период от дни в секунди и да посочите резултата като число с еднакъв брой цифри като началната стойност, умножен по съответния множител на десета, т.е. $27,3$ денонощия $\doteq 2,36 \cdot 10^6$ s.

Забележка: По-точно би било да се каже, че резултатът трябва да има същия брой „значещи цифри“ като началната стойност. Терминът „значеща цифра“ не е въведен в средните училища, затова се опитахме да го избегнем.

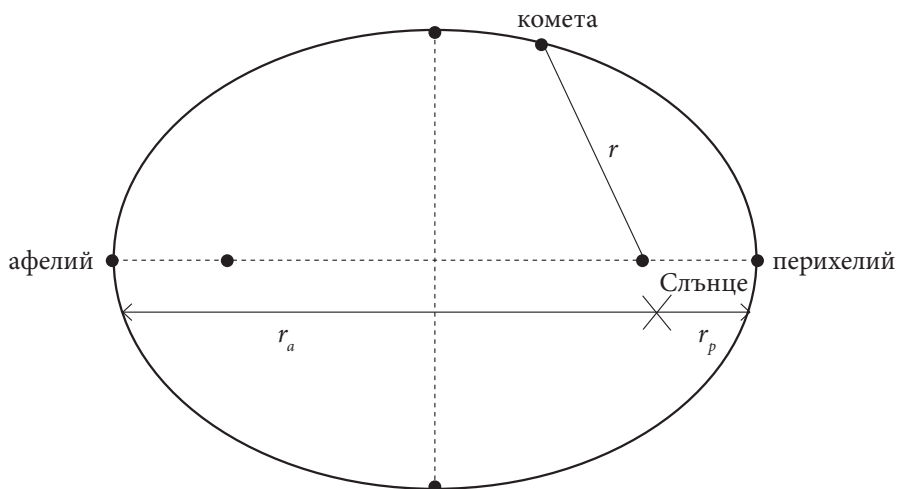
Задача 4: Извънземно и човек

Комета обикаля около Слънцето. Нейният перихелий е на разстояние $r_p = 0,5$ au, а афелият е на разстояние $r_a = 31,5$ au, вж. Фиг. 2.

Определете:

- голямата и малката полуоси, линейния ексцентрицитет и числения ексцентрицитет,
- периода на кометата,

в) колко пъти скоростта на кометата е по-голяма в перихелия в сравнение с афелия.



Фиг. 5 : Схематична скица на траекторията на кометата

Решение:

От геометрията на елипсата получаваме:

$$a = \frac{r_p + r_a}{2} = 16 \text{ au}, e = r_a - a = a - r_p = 15,5 \text{ au}, \varepsilon = \frac{e}{a} \doteq 0,97$$

$b = \sqrt{a^2 - e^2} \doteq 4,0 \text{ au}$. Орбитата на кометата (предсказуемо) е много ексцентрична.

б) Третият закон на Кеплер ще запишем като $\frac{a'^3}{T'^2} = M'$, където a' е в астрономически единици, T' е в години, а M' е в слънчеви маси. Тъй като ние се занимаваме с движението на комета в Слънчевата система, то автоматично се изпълнява $M' = 1$. Следователно $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 64$. Както знаем, при дадената формулировка на закона всички величини са безразмерни. Числовата стойност показва колко пъти периодът е по-голям от периода на въртене на Земята около Слънцето (т.е. колко пъти периодът е по-голям от една година). Следователно, периодът е $T = T' \cdot T_{\oplus} = T' \cdot 1 \text{ година} \doteq 64 \text{ години}$.

Възможно е да се използва и друго (но разбира се еквивалентно) изписване на Третия закон на Кеплер. Ако работим в SI системата, ще запишем Третия закон на Кеплер така: $\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M$

Знаем масата на Слънцето, която е $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, гравитационната константа е $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ а голямата полуос е $a = 16 \text{ au} \doteq 16 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} = 2,4 \cdot 10^{12} \text{ m}$.

От Третия закон на Кеплер изразяваме периода: $T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{GM}} \doteq 2,03 \cdot 10^9 \text{ s} \doteq 64 \text{ години}$.

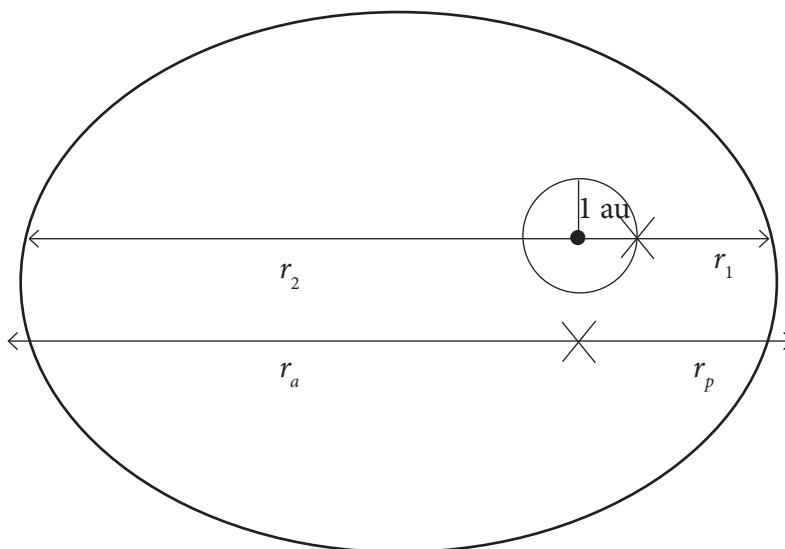
в) От Втория закон на Кеплер следва $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a+e}{a-e} = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} \doteq 63$.

Задача 5: Газовият гигант наречен Юпитер

Когато Юпитер е най-близко и най-далеч, разстоянията са $r_1 = 3,95$ au и $r_2 = 6,46$ au, съответно. Нека приемем, че Земята се движи по кръгова орбита, а орбитите на Земята и Юпитер лежат в една равнина, вж. Фиг. 3.

След това определете:

- перихелия и афелия на орбитата на Юпитер,
- голямата и малката полуоси, линейния ексцентрицитет и числения ексцентрицитет,
- периода на орбитата,
- колко пъти скоростта на Юпитер е по-голяма в перихелия в сравнение с афелия.



Фиг. 6: Към разбора на задачата

Решение:

- Най-близкото разстояние от Юпитер до Слънцето е $r_p = r_1 + a_{\oplus} = 4,95$ au.

Най-голямото разстояние тогава е равно на $r_a = r_2 - a_{\oplus} = 5,46$ au.

- Завсяка една елипса определяме голямата полуоската $a = \frac{r_p + r_a}{2} \doteq 5,21$ au, линейния ексцентрицитет както е показано на фигурата $e = r_a - a = a - r_p \doteq 0,25$ au, числения ексцентриситет е по дефиниция $\varepsilon = \frac{e}{a} \doteq 0,048$, а малката полуос определяме от Питагоровата теорема $b = \sqrt{a^2 - e^2} \doteq 5,20$ au. Виждаме, че орбитата на Юпитер е почти кръгова.

- Ще работим като в в Задача 4. Ако искаме да използваме формулировката на Третия

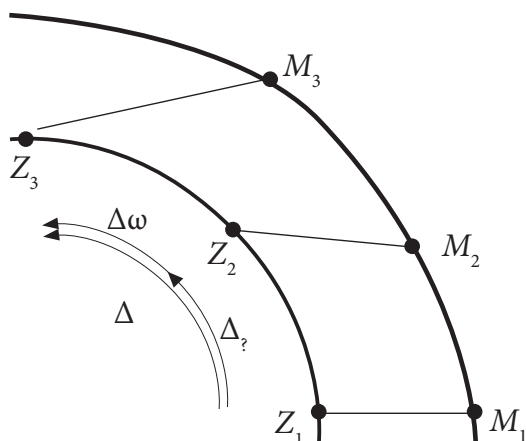
закон на Кеплер във вида $\frac{a'^3}{T'^2} = M'$, то тогава $M' = 1$, Следователно, периодът е $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 11,9$ години.

- От Втория закон на Кеплер следва, че $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a+e}{a-e} = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} \doteq 1,10$.

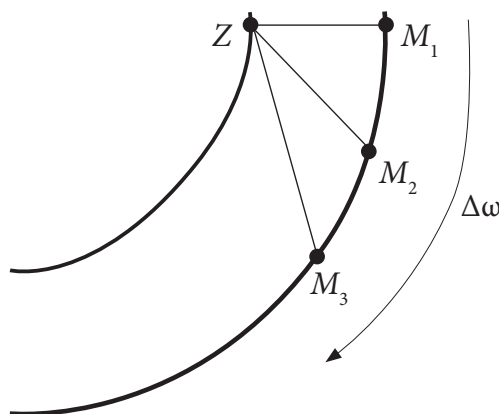
Задача 6: Марс!.....къде е?

Голямата полуос на орбитата на Марс е $a_{\sigma} = 1,52 \text{ au}$, а голямата полуос на орбитата на Земята е $a_{\oplus} = 1,00 \text{ au}$. Да предположим, че планетите обикалят в една и съща равнина в една и съща посока.

- а) Определете периода на орбитата на Марс около Слънцето.
- б) Определете ъгловата скорост на Марс около Слънцето, както и ъгловата скорост на Земята.
- в) Тъй като планетите се движат в една и съща посока, извадете ъгловите скорости една от друга, за да получите отношението на ъгловите скорости една спрямо друга (вижте фигури 7 и 8).
- г) Определете т. нар. синодичен орбитален период P , който е периодът, за който Земята, Марс и Слънцето отново се подреждат в една линия.



Фигура 7: Ъгловата скорост на Марс около Слънцето е по-малка от тази на Земята



Фигура 8: От гледна точка на земния жител Марс се движи с ъглова скорост Delta omega

Решение:

- а) Ще използваме Третия закон на Кеплер по същия начин, както в задачи 4 и 5:

$$T'_{\sigma} = \sqrt{a'_{\sigma}{}^3} \doteq 1,87, \text{ следователно орбиталният период е } T = 1,87 \text{ години.}$$

- б) Ъгловата скорост се определя като „ъгълът, описан от радиус-вектора за единица време“. Тъй като в един орбитален период T радиус-векторът ще опише ъгъл 360° , средната ъглова скорост ще е равна на $\omega = \frac{360^{\circ}}{T}$. Тъй като считаме, че орбитите на Земята и Марс са точно кръгови, това е и моментна ъглова скорост, която е една и съща във всеки момент.

Ъгловата скорост на Земята около Слънцето е $\omega_{\oplus} = \frac{360^{\circ}}{T_{\oplus}} = 360^{\circ} \cdot \text{година}^{-1}$,

а на Марс ъгловата скорост около Слънцето е $\omega_{\sigma} = \frac{360^{\circ}}{T_{\sigma}} \doteq 193^{\circ} \cdot \text{година}^{-1}$.

2. Движение на небесните тела

- в) Планетите се движат в една и съща посока, следователно относителната ъглова скорост е равна на

$$\Delta\omega = \omega_{\oplus} - \omega_{\sigma} = \frac{360^{\circ}}{T_{\oplus}} - \frac{360^{\circ}}{T_{\sigma}} = 360^{\circ} \frac{T_{\sigma} - T_{\oplus}}{T_{\sigma} T_{\oplus}} \doteq 167^{\circ} \cdot \text{година}^{-1}$$

- г) За синодичния период P се прилага: $360^{\circ} = \Delta\omega P$, следователно $P = \frac{360^{\circ}}{\Delta\omega} \doteq 2,16 \text{ години} \doteq 788 \text{ денонощия}$.

Ако е необходимо, може да се получи и обобщителен резултат $P = \frac{T_{\sigma} T_{\oplus}}{T_{\sigma} - T_{\oplus}}$.

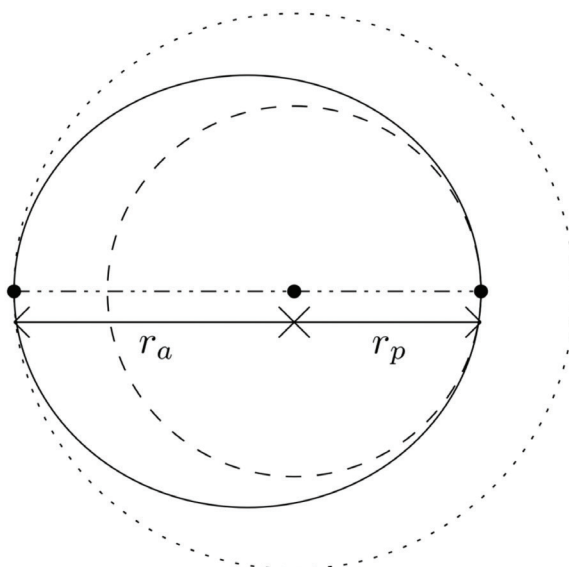
Задача 7: Полет до Марс по полуелипса

От Земята излита космически кораб, който се движи по елиптична орбита със Слънцето във фокуса на елипсата. Параметрите на полета са зададени така, че Земята (мястото, от което е изстрелян корабът) е в перихелий (или перицентър), а корабът достига точка точно от противоположната страна на елипсата, т.е. афелий (или апоцентър), където ще се намира Марс. По този начин корабът се движи по полуелипса (т. нар. Хоманова траектория).

Големите полуоси на орбитите на Земята и Марс са $a_{\oplus} = 1,00 \text{ au}$ а Marsu и $a_{\sigma} = 1,52 \text{ au}$.

Определете:

- голямата полуос на елипсата, описваща орбитата на кораба,
- колко време t ще трябва да прекара екипажът в космическия кораб, преди корабът да достигне Марс.



Фиг. 9: Начертани са три точки (отляво надясно): Марс, Слънцето, Земята

Решение:

а) От Фигура 6 става ясно, че $a_{\oplus} + a_{\sigma} = 2a$, teda $a = \frac{a_{\oplus} + a_{\sigma}}{2} = 1,26 \text{ au}$.

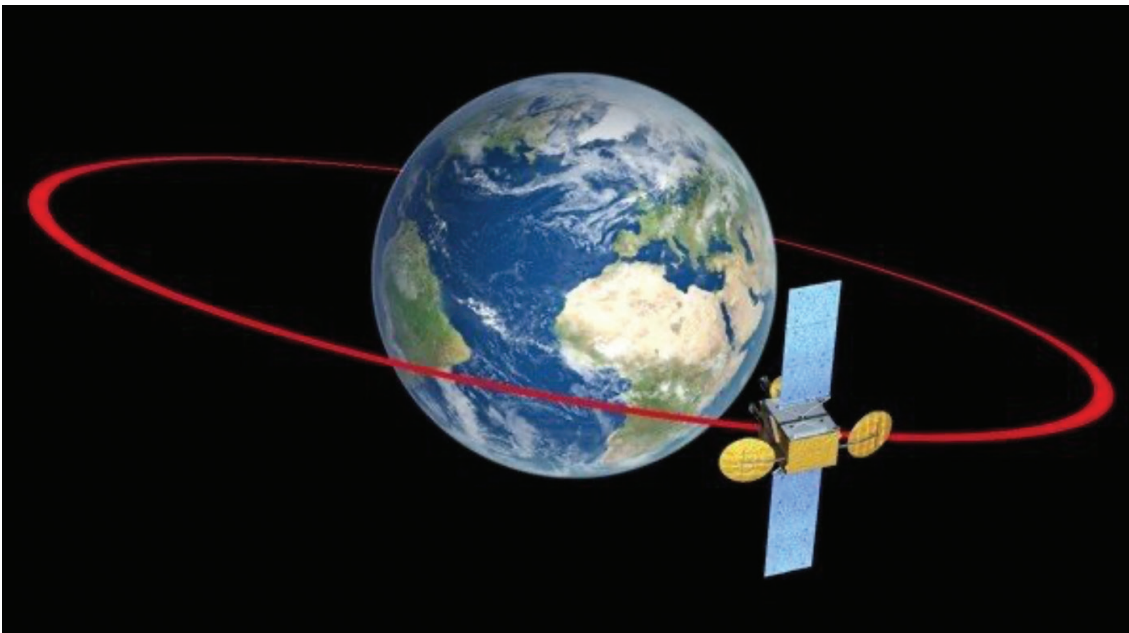
б) Определяме орбиталния период от Третия закон на Кеплер: $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 1,42$,

т.е. периодът е $T = 1,42$ години. Корабът се движи по полуелипса и затова времето, необходимо за достигане на Марс, е половината от периода, т.е. $t = 0,71$ години = 8,5 месеца.

Задача 8: Геостационарен спътник

Геостационарният спътник е такъв спътник, който земляните виждат като „неподвижно висящ“ на небето. Сателитът трябва да се намира в равнината на Екватора и да обикаля по окръжност в същата посока като посоката на въртене на Земята около оста си, вж. Фиг. 10.

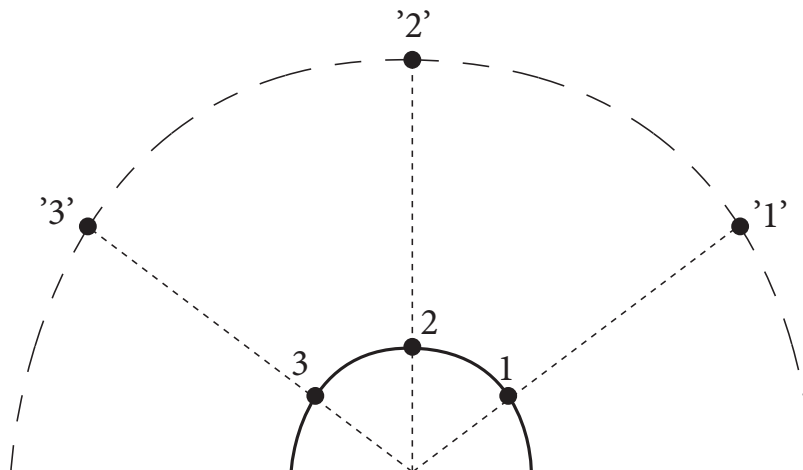
- а) Обяснете защо не е възможно спътникът да се движи в друга равнина.
 б) Масата на Земята е $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, а да се завърти около оста си ѝ отнема $T = 24$ часа. Определете на каква височина орбитира спътникът над земната повърхност.



Фиг. 10: Геостационарен спътник

(Източник: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2009/03/Geostationary_orbit, cit. 05.07.2018)

2. Движение на небесните тела



Фиг. 11: Геостационарният спътник от гледна точка на наблюдателя "виси" над над една и съща точка над земната повърхност (илюстрация)

Решение:

- а) Равнината на орбитата на спътника трябва да преминава през центъра на Земята (центъра на нейната маса). Ако един спътник трябва да остане в една и съща точка от гледна точка на наблюдателя, свързан със земната повърхност, то спътникът трябва да се върти в посоката на въртене на Земята. Това означава обаче, че равнината на въртене трябва да е перпендикулярна на оста на въртене. Геометрично, следователно, става ясно, че съществува само една такава равнина.
- б) Голямата полуос (радиусът на кръговата орбита) ще намерим от Третия закон на Кеплер

$$a = \sqrt[3]{\frac{GM T^2}{4\pi^2}} \doteq 42\,200 \text{ km}$$

Центърът на кръговата орбита на спътника се намира в центъра на Земята (в центъра на масата, съответно във фокуса).

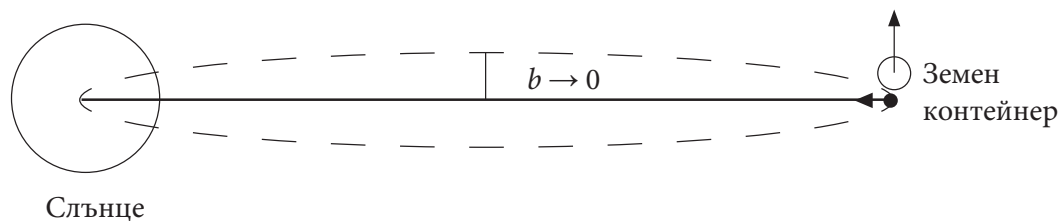
Тогава разстоянието на спътника над земната повърхност е:

$$h = a - R_{\oplus} \doteq 42\,200 \text{ km} - 6\,378 \text{ km} \doteq 35\,800 \text{ km}.$$

Задача 9: Сблъсък със Слънцето

Да предположим, че имаме контейнер, пълнен с опасен материал, от който трябва да се отървем и искаме да използваме Слънцето като един вид „място за изгаряне“. Трябва да изстреляме контейнера от Земята с такава скорост, че той да спре в свободно пространство и след това да започне да пада по права към Слънцето (вж. Фиг. 9). Използвайте подходящия за случая Трети закон на Кеплер и изчислете времето на падане на контейнера върху Слънцето.

Съвет: Контейнерът по време на своето падане чак до момента на сблъскване със Слънцето, ще премине отсечка, която може да разглеждаме като специален случай на елипса (елипса с $a = e$, $b = 0$).



Фиг. 12: Контейнерът се движи по отсечка, която можем да си представим като елипса с много мъничка малка полуос. Началото на отсечката (вдясно) отговаря на точката на изстрелване, а края на отсечката (вляво) отговаря на центъра на Слънцето. Фигурата не е пропорционална на действителните разстояния, тя е само илюстративна.

Решение:

От начертаната фигура разбираме, че голямата полуос на „елипсата“ е $a = \frac{a_{\oplus}}{2} = 0,5 \text{ au}$.

Ако използваме Третия закон на Кеплер във формата

$$\frac{a'^3}{T'^2} = M', \text{ то } M' = 1, \text{ и следователно } T' = \sqrt{a'^3} \doteq 0,35.$$

Периодът е приблизително $T = 0,35$ години = 128 дни. Контейнерът, обаче, няма да се върне в точката, от която е започнал да пада. Той ще изгори в Слънцето, преминавайки само половината от „елипсата“, така че времето на падане отговаря на половината от изчисления период, или 64 дни.

Забележка: От фигурата може да изглежда, че контейнерът ще стигне до Слънцето по-рано, отколкото за време $\frac{T}{2}$ което, разбира се, е вярно. Важно е да се отбележи, че въпреки че размерите на Слънцето са „огромни“ (в сравнение с това, с което се срещаме в ежедневието си; само за да добиете представа посочваме, че радиусът на Слънцето е $R_{\odot} = 695\,508 \text{ km} = 109 R_{\oplus}$), те са нищожни в сравнение с разстоянието между Земята и Слънцето. В това приближение Слънцето може да се счита за точка с маса и затова предишното изчисление е направено добре.

Задача 10: ЛЕК КАТО... СУПЕР ЧЕРНА ДУПКА!⁸⁾

В тази задача ще определим приблизителната маса на супер черната дупка Sgr A*, разположена в центъра на Галактиката. Години наред астрономите наблюдават звезда S2, която обикаля около Sgr A*. Докато една звезда обикаля около черна дупка, тя променя видимото си положение спрямо звездния фон. Прогресивното положение на звездата е показано на фигурата по-долу, вж. Фиг. 10.⁹⁾

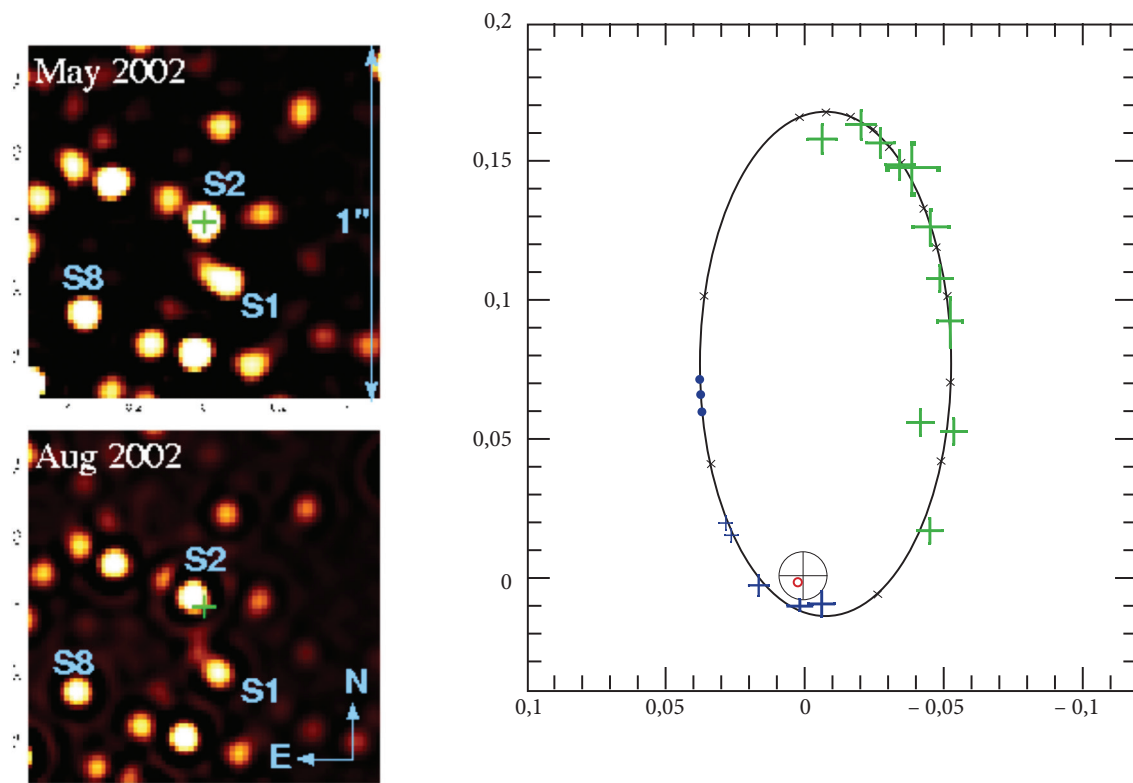
- а) Използвайки графиката и Третия закон на Кеплер, опитайте се да изчислите масата на Sgr A*, като знаете, че звездата S2 е на 25 900 светлинни години от Земята, а орбиталният ѝ период е 16 години. За да опростите задачата, вземете предвид, че орбиталната равнина е перпендикулярна на равнината на наблюдение (т.е. наклона на орбиталната равнина към посоката на наблюдение е 90°).

⁸⁾ Точният термин е „свръхмасивна черна дупка“, но за да избегнем ненужната сложна терминология, използваме по-популярното име „супер черна дупка“.

⁹⁾ „Галактика“ е името на нашата галактика, но често се използва и изразът „Млечен път“ (на английски „Milky way“).

2. Движение на небесните тела

- б) Каква е масата на супер черната дупка, ако използвате истинския наклон $i = 133^\circ$ на орбиталната равнина?



Фигура 13: Положение на звездата

(Източник: <https://www.astro.uni-koeln.de/node/236>, цитирано на 05.07.2018)

Решение:

а) Ние изчисляваме ъгловия размер на голямата полуос като $\theta \doteq 0,09''$ (правим измерването от графиката, $2\theta \doteq 0,18''$). Разстоянието между S2 и Земята е $l = 25\,900$ св. години $= 25\,900 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3\,600 \text{ m} \doteq 2,45 \cdot 10^{20} \text{ m} \doteq 1,64 \cdot 10^9 \text{ au}$. По-лесно е да си представим, че $\text{tg } \theta = \frac{a}{l}$, т.е. $a \doteq 795 \text{ au}$. Правим заместване в Третия закон на Кеплер $\frac{a^3}{a'^2} = M' \doteq 2 \cdot 10^6$, следователно масата на супер черната дупка е приблизително $2 \cdot 10^6 M_\odot$.

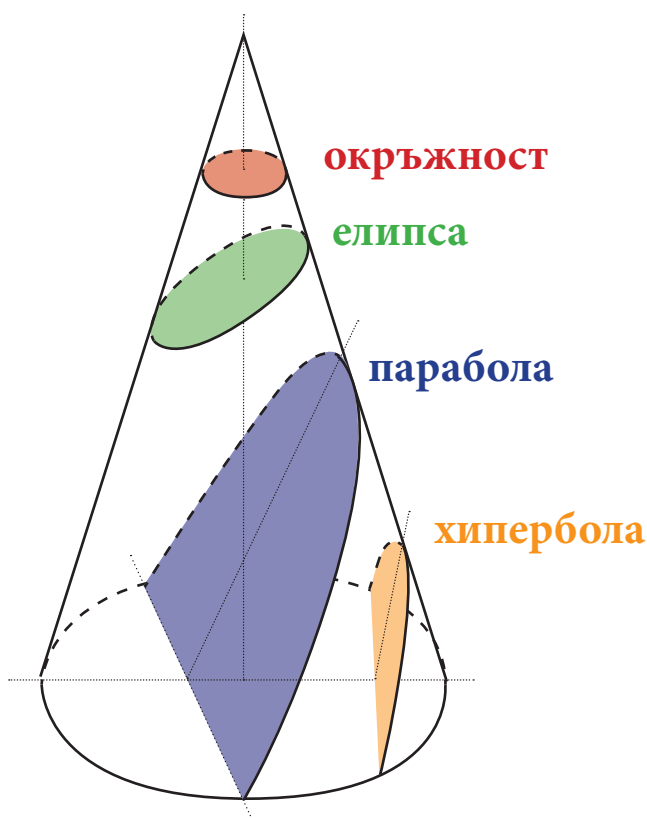
б) Ако орбиталната равнина не е перпендикулярна на посоката на наблюдение, т.е. $i \neq 90^\circ$, ние виждаме проекцията на орбитата в посока на наблюдението. Ако наклонът е $i = 133^\circ$, то действителната стойност на голямата полуос е $a = \frac{a_{\text{poz}}}{\sin 133^\circ} \doteq \frac{a_{\text{poz}}}{\cos 43^\circ} \doteq \frac{795 \text{ au}}{\cos 43^\circ} \doteq 1\,090 \text{ au}$. където a_{poz} е размера на проектираната голяма полуос. От Третия закон на Кеплер получаваме: $M' \doteq 5 \cdot 10^6$, следователно масата на супер черната дупка е около $M' \doteq 5 \cdot 10^6 M_\odot$.

Например, според https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l8_p7.html, масата на супер черната дупка е около $M = 4 \cdot 10^6 M_\odot$, следователно стойността, която сме изчислили е правилна.

КОНИЧНИ СЕЧЕНИЯ – ОРБИТИ НА НЕБЕСНИТЕ ТЕЛА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Коничните сечения са едни от най-древните и продължително изучавани геометрични криви. Предполага се, че те първоначално са открити от Менехм (един от учителите на Александър Македонски) през 4 век пр. н. е. По-късно те са изучавани от Евклид (около 300 г пр. н. е.) и Аполоний Пергски (около 200 г. пр. н.е.), като Аполоний е този, който дава имената им, които ползваме и до днес – елипса, парабола и хипербола. В математиката конично сечение се дефинира като крива, която може да се получи от сечението на повърхнината на конус с равнина (Фиг.1). Коничните сечения имат важно приложение и в астрономията: те се използват за описване на движението на небесните тела под въздействието на гравитацията. Траекториите на тези движения се наричат орбити на небесните тела.



Фиг. 1: Конични сечения

(Източник: http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Magister_Mathematicae - File:Secciones_cónicas.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18556148>)

2. Движение на небесните тела

1.1 Съдържание на темата

В частта за учителя към тази тема първо ще опишем видовете конични сечения и техните параметри, след което ще разгледаме приложението им в астрономията за описване на движението на небесните тела под действието на гравитацията. Ще се спрем на орбитите на телата от Слънчевата система. Накрая ще опишем елементите на една орбита. В частта с практически упражнения за ученика ще предложим няколко интересни практически упражнения и въпроси, които имат за цел да илюстрират материала и да спомогнат за неговото по-добро усвояване.

1.2 Ключови думи

конични сечения

елипса

парабола

хипербола

ексцентрицитет

орбита

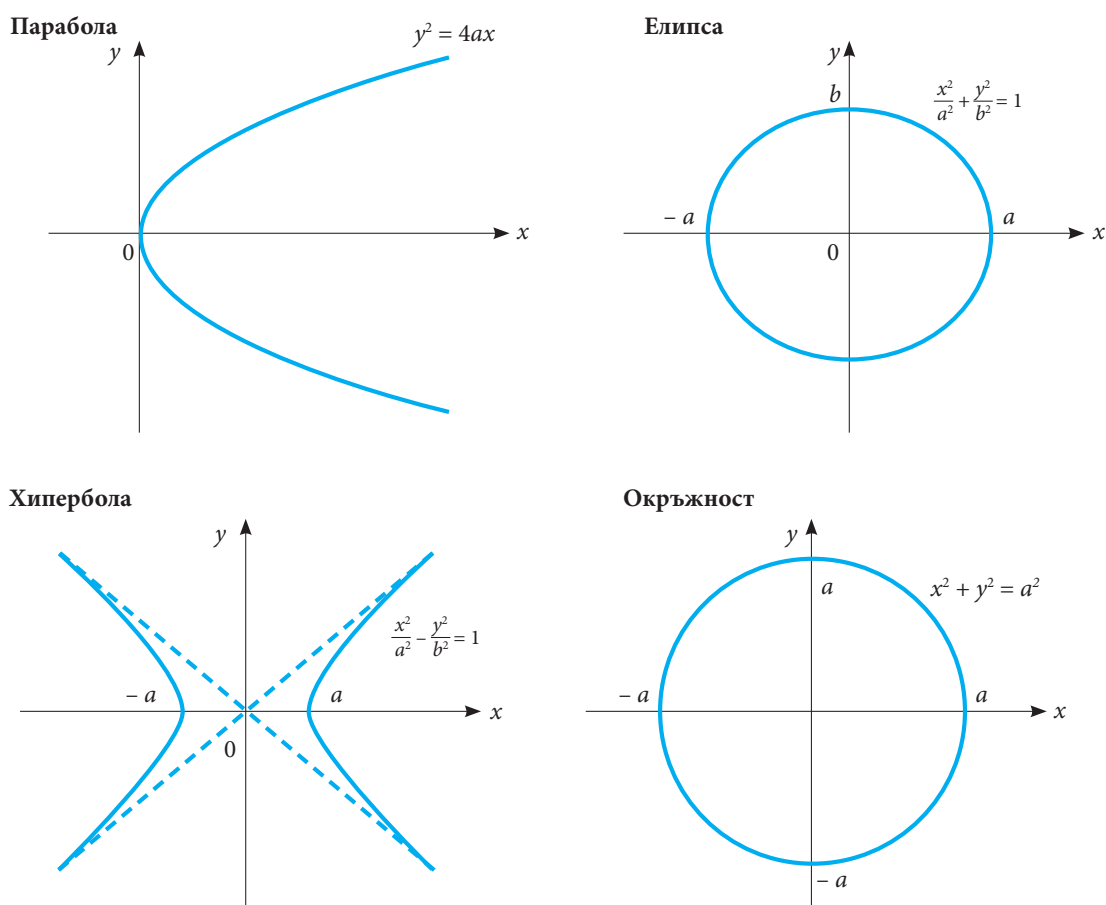
елементи на орбитата – наклон, голяма полуос, ексцентрицитет

2. ИНФОРМАЦИЯ ЗА УЧИТЕЛЯ

2.1 Видове конични сечения. Параметри

В математиката конично сечение се дефинира като *крива (от втора степен), която може да се получи от сечението на повърхнината на конус с равнина*. Видовете конични сечения са.

Видове конични сечения



Фиг. 2: Коничните сечения

(Източник: http://amsi.org.au/ESA_Senior_Years/SeniorTopic2/2a/2a_3links.html)

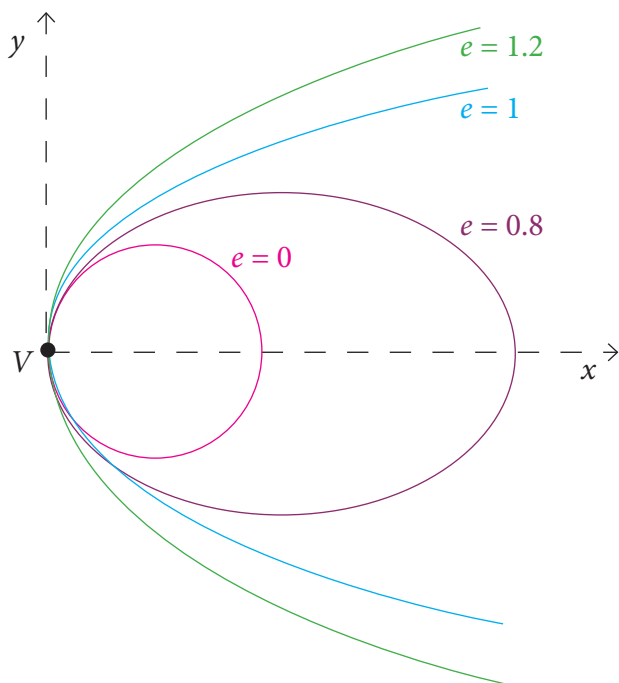
Елипса – затворена крива с два фокуса. Елипсата изглежда като сплеснат кръг, като сплеснатостта се определя от **ексцентрицитетът** (бележи се с e и заема стойности от нула до по-малко от 1). Елипсата има 2 оси (голяма и малка), които минават през центъра и я разделят на 2 равни половини. Половините от осите се наричат голяма полуос (бележи се с a) и малка полуос (бележи се с b). Фокусите на елипсата лежат на големите полуоси. Разстоянието на фокусите от центъра се определя от произведението на a и e .

Окръжност – частен случай на елипса. Получава се при пресичане на прав кръгов конус с равнина, перпендикулярна на оста му. Ексцентрицитетът е точно $e = 0$.

Парабола – отворена крива с един фокус. Получава се при пресичане на конуса с равнина, успоредна на образувателната му. Ексцентрицитетът е $e = 1$.

2. Движение на небесните тела

Хипербола – отворена крива с два фокуса, състояща се от два клона. Тя е сечение на двата ръкава на конуса с равнина, която не е успоредна на негова образувателна. Ексцентрицитетът е $e > 1$.



Фиг. 3: Ексцентрицитет на различните конични сечения

(Източник: By Ag2gaeh – Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56338953>)

Ексцентрицитет Характерен параметър, общ за всички сечения е **ексцентрицитетът (e)**. Той може да се приеме като мярка за това колко голямо е отклонението на дадено конично сечение от кръг. Тогава за окръжност, ексцентрицитетът е нула (т.е. няма отклонение); за елипсата той ще е по-голям от нула, но по-малък от 1 (точната формула е $e = ((a^2 - b^2)^{1/2}) / a$); за параболата ще е точно равен на 1; за хиперболата ще е по-голям от 1 (Фиг. 3)

Окръжност: $x^2 + y^2 = a^2$

Уравненията на коничните сечения с:

Елипса: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Парабола: $y^2 = 4ax$ or $x^2 = 4ay$

Хипербола: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ or $\frac{x^2}{b^2} - \frac{y^2}{a^2} = -1$

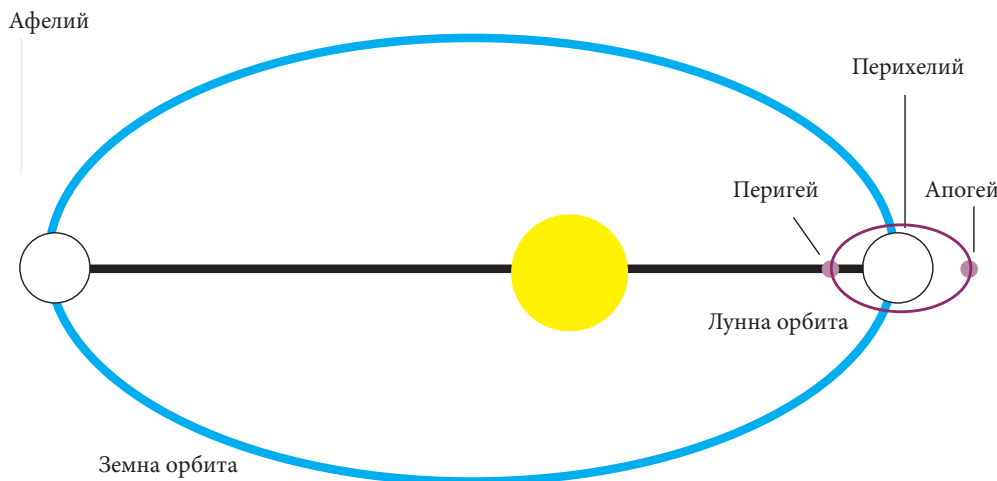
$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

Ексцентрицитетът e:

2.2 Приложение на коничните сечения в астрономията. Орбити. Орбитни елементи.

В астрономията коничните сечения се използват за описване на орбитите небесните тела. **Орбита** на небесно тяло се нарича траекторията, която то описва при движението си около друг небесен обект под действие на гравитацията (Фиг. 4).

В една планетна система всички тела (планети, планети-джуджета, комети, астероиди и др.), които са гравитационно свързани, имат елиптични орбити, като в единия фокус (еднакъв за всички тела) е централната звезда. Аналогично, спътниците (естествени и изкуствени) имат елиптични орбити около родителската им планета (Фиг. 4).



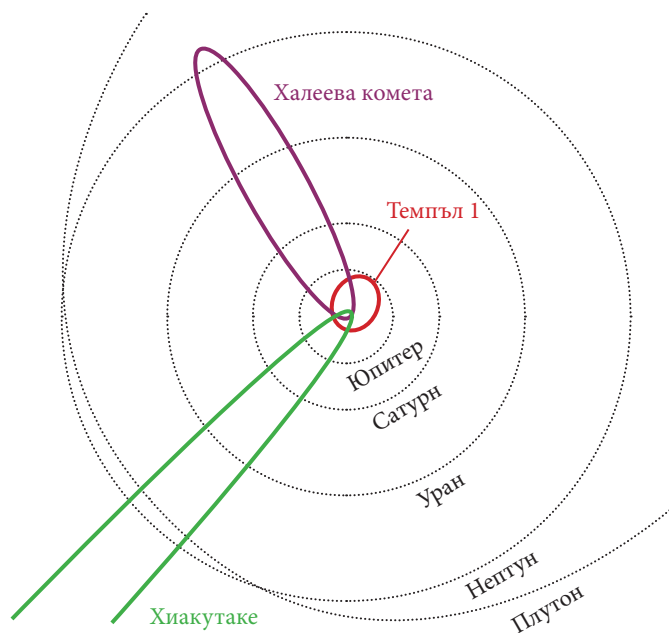
Фиг. 4: Орбитата на Земята около Слънцето и орбитата на Луната около Земята.

(Източник: NOAA (<https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html>))

Точката от орбитата, в която един спътник е най-близо до Земята, се нарича перигей, а тази, в която е най-далече – апогей. Ако движението е на планета около Слънцето, тези точки са перихелий и афелий, съответно (Фиг. 4); за система от две звезди – периастръ и апоастръ, а най-общо те се наричат перицентър и апоцентър.

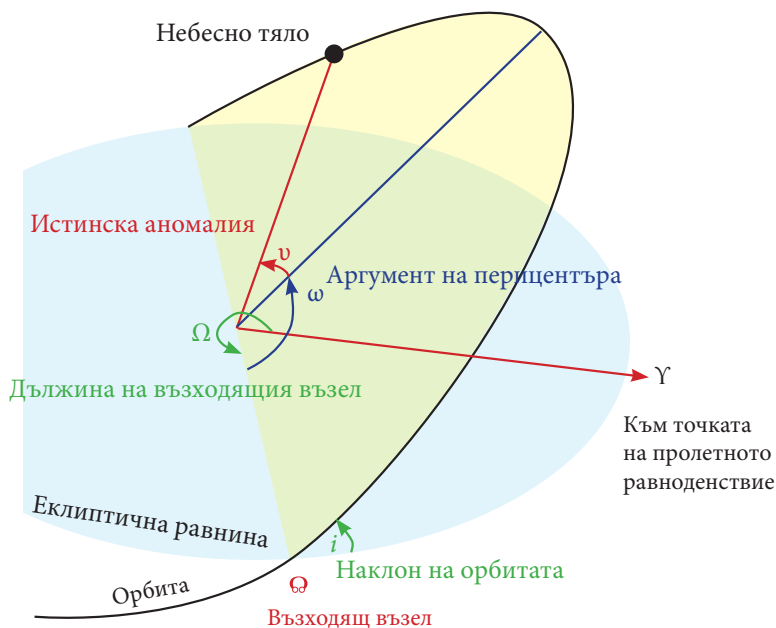
Орбитите на планетите в нашата Слънчева система са елипси с малък ексцентricитет (т.е. те са близки до кръгове), като най-голям е ексцентricитетът на орбитата на Меркурий ($e = 0.206$), а най-малък – този на орбитата на Венера ($e = 0.007$). За разлика от тях, кометите имат силно ексцентrichни орбити (Фиг. 5)

2. Движение на небесните тела



Фиг. 5: Сравнение между орбитите на планетите Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун с тези на Халеевата комета, Темпъл 1 и Хиакутаке. Вижда се, че орбитите на кометите са много по-сплеснати елипси, т.е. те са с много по-голям ексцентрицитет.
(Източник: <http://deepimpact.umd.edu/gallery/orbits3.html> CREDIT: Tony Farnham)

За всяка орбита съществува набор от параметри, които дефинират нейния вид, размери, ориентацията относно фиксирана равнина и др., наречени **орбитни елементи**. При изучаване на движенията на телата в Слънчевата система като основна се приема равнината на земната орбита, наречена еклиптика (оцветена в синьо на Фиг. 6).



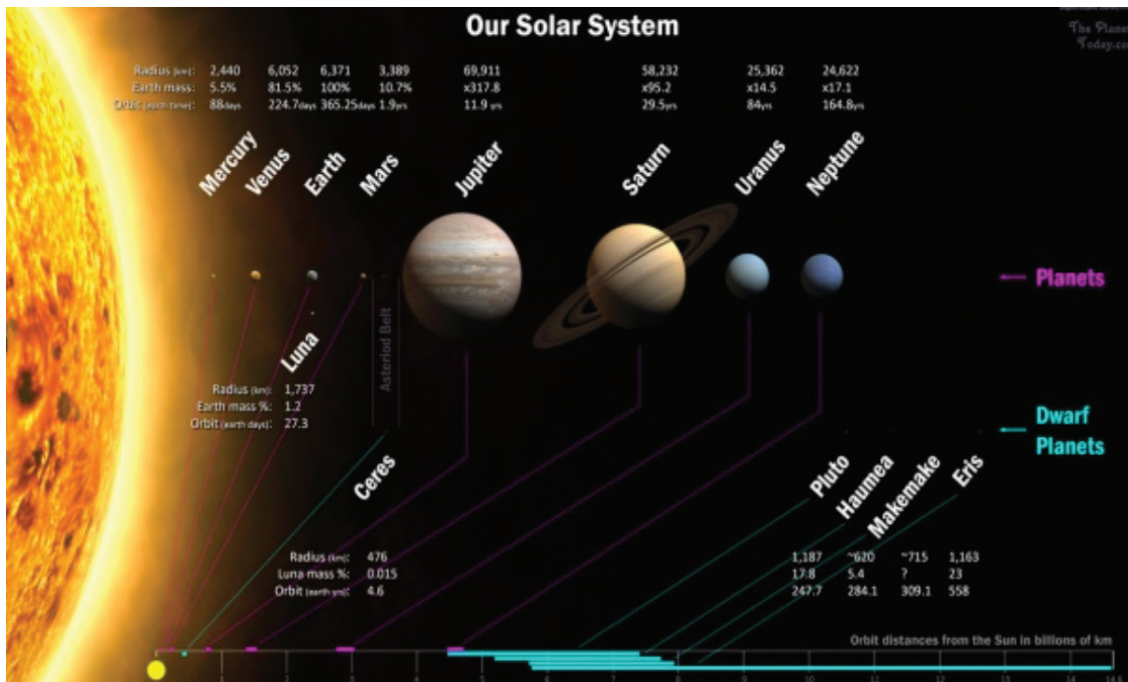
Фиг. 6: Орбитни елементи. Равнината на орбитата е оцветена в жълто, а тази на еклиптиката – в синьо.

(Източник: Lasunncty at the English Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8971052>)

За една елиптична орбита основните елементи са:

- **голяма полуос (a)** – половината от голямата ос, преминаваща през центъра и двата фокуса на елипсата (Фиг. 2); съгласно третия закон на Кеплер **голямата полуос еднозначно определя орбиталния период** (времето за което се описва една пълна орбита) на небесния обект. Размерът на голямата полуос определя и на какво разстояние от Слънцето се намират планетите и другите тела от Слънчевата система. Схематична подредба е показана на Фигура 7,
- **ексцентрицитет на орбитата (e)**, който **заедно с голямата полуос определят размерите и формата на орбитата**,
- **наклон на орбитата (i)** това е ъгълът между равнината на орбитата и еклиптиката (Фигура 6). Повечето планети от Слънчевата система имат доста малък наклон (за Земята той, разбира се, е нула) – между 0.8 градуса (Уран) и 7 градуса (Меркурий). Илюстрация е показана на Фиг. 8. Доста по-големи са наклоните на голяма част от планетите джуджета и кометите (напр. орбитата на Плутон има наклон от 17 градуса, а тази на Ерида - 43 градуса).

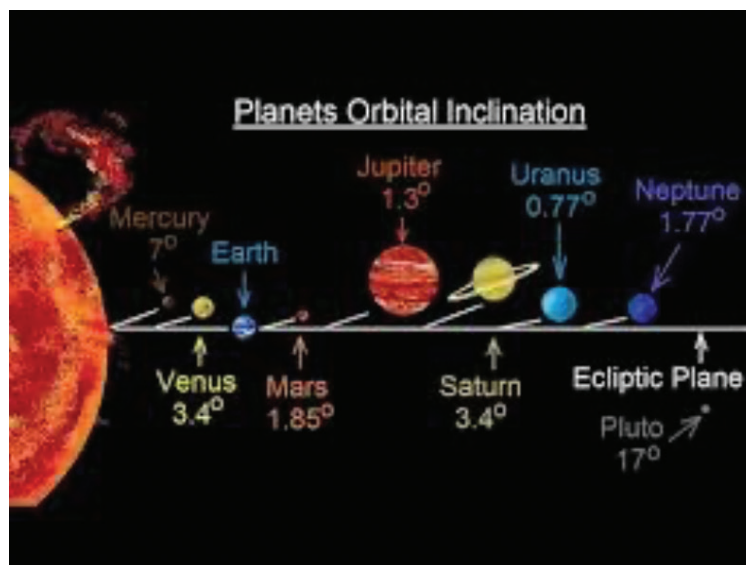
Елементи
на елиптичната
орбита



Фиг. 7: Карта на Слънчевата система. Разстоянието на дадена планета или тяло от Слънцето зависи от размера на голямата полуос на орбитата на планетата или тялото..

Освен горните три, **има още три елемента**, които помагат за определяне на пространственото положение на орбитата относно еклиптиката, ориентацията на орбитата в собствената ѝ равнина и преминаването на тялото през перихелия. Така, ако знаем всички елементи на орбитата, можем да определим положението на даден небесен обект във всеки един момент. Или, обратно – по достатъчно продължителни и точни наблюдения на небесния обект можем да получим елементите на неговата орбита.

2. Движение на небесните тела



Фиг. 8: Наклон на орбитите на планетите от Слънчевата система.

За сравнение е показан и Плутон. Източник:

<https://www.youtube.com/watch?v=gdfAteCln9M&list=RDCMUCiGxYawhEp4QyFcX0R60YdQ&index=1>

3. ПРАКТИЧЕСКИ ЗАДАЧИ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

3.1 Конични сечения

Предлагаме две практически упражнения, които да илюстрират коничните сечения.

Подготвителни въпроси:

1. Колко са коничните сечения?
О: Три – елипса, парабола, хипербола, като окръжността е частен случай на елипсата. Алтернативен отговор: четири: окръжност, елипса, парабола, хипербола.
2. Кои от сеченията НЕ са затворени криви?
О: параболата и хиперболата.
3. Елипсата има голяма полуос (a) и малка полуос (b), като a е винаги по-голяма от b. Как се отнасят a и b, когато разглеждаме окръжност?
О: a е точно равно на b, като и двете са всъщност радиуса на окръжността.
4. На колко е равен эксцентрицитетът на окръжност?
О: Нула.
5. На колко е равен эксцентрицитетът на елипса?
О: По-голям от нула, но по-малък от 1.
6. Какво се случва с елипсата когато увеличаваме стойността на эксцентрицитетът?
О: Тя става все по-сплесната.
7. Какво се случва с елипсата, когато эксцентрицитетът стане точно равен на едно?
О: Елипсата се разкъсва и се превръща в парабола.
8. Каква крива получаваме, ако увеличим эксцентрицитетът до по-голям от 1?
О: Хипербола.
9. Колко са фокусите на елипсата и къде лежат те?
О: Два фокуса; лежат на голямата ос.

Задача 1: Тримерно онагледяване на получаването на различните видове конични сечения**Цел**

Учениците саморъчно да направят конус от пластелин и да „изрежат“ коничните сечения. Това упражнение може да се прави самостоятелно, или по двойки (за да може учениците да си помагат взаимно).

Необходими материали

- Парче картон с размер А5
- парче паус с размер А5
- пергел
- молив
- ножица
- тиксо
- мек пластелин (глина)
- парче конец за почистване на зъби (около 40 см)

Инструкции за учителя

От картоната и пауса се изрязва полуокръжност, от която след това се оформя конус, който се запълва с пластелин. Пауса се слага от вътрешната страна на картоната, за да може лесно да се извади пластелинения конус, без да се къса картонената обвивка. След премахване на обвивката, учениците разполагат с конус, от който, с помощта на конаца, могат да „изрежат“ коничните сечения. Ще е много трудно да се изрежат всички конични сечения (особено хиперболата) едно след друго, без да се възстанови формата на конуса поне веднъж.

Детайлни инструкции за ученика

1. Намира се средата на дългата страна на листа картон и листа паус, която се маркирате. Това ще е центъра на полуокръжността.
2. Пергела се разтваря до 9 см., едното му рамо се поставя на маркираната среда на дългата страна и се изчертава половин окръжност (с радиус 9 см).
3. Окръжността се изрязва и огъва до оформянето на конус. Картонения конус се фиксира от външната страна на стената с тиксо. От вътрешната страна се поставя пауса.
4. Вътрешността на конуса се запълва с размекнатия пластелин (глина). Целта е добре да се оформи конус от пластелина. Картоната и пауса се премахват. Останал е конус от пластелин.
5. Първо ще получим окръжност. Конаца се хваща в двете ръце и се опъва добре. Правата, образувана от конаца трябва да е успоредна на основата на конуса. С добре опънатия и успореден на основата конец, режете близо до върха на конуса. Резултата е окръжност.

6. Накланяте конеца под ъгъл, но не прекалено голям (разреза с конеца не трябва да пресича основата на конуса) и правите разрез под вече отрязания връх. Би трябвало да сте получили елипса.
7. Ако сте отрязали елипсата доста надолу по конуса, възстановете формата му като използвате картона и пауса.
8. Увеличавате наклона на конеца, така че той да е успореден на образувателната на конуса и разреза да минава през основата. Това ще даде парабола.
9. За да получите хиперболата накланяте конеца почти вертикално, но внимавайте разреза да не минава през върха на конуса.

Въпроси (на които учениците трябва да отговорят след приключване на упражнението)

1. Кое сечение е перпендикулярно на оста на конуса?
О: Окръжността.
2. Кое сечение е успоредно на образувателната на конуса?
О: Параболата.
3. Как можете да получите окръжности с различни размери?
О: Като отсичаме конуса на различни разстояния от върха (основата).
4. Коя е окръжността с най-голям радиус в един прав конус?
О: Основата му.

Задача 2: Изчертаване на коничните сечения с помощта на карфици и конец

Цел

Учениците саморъчно да начертаят коничните сечения, като за окръжност и елипса се работи самостоятелно, но параболата е необходимо да се чертае по двойки.

Необходими материали

- Милиметрова хартия (формат А4)
- две карфици с по-големи глави (може такива за коркова дъска)
- подложка, върху която да се постави хартията и в която да могат да се забият карфиците
- моливи (4 цвята)
- линия
- триъгълник
- два по-дебели конеца, единия с дължина около 35 – 40 см, другия поне 2 m

2. Движение на небесните тела

Инструкции за учителя

С помощта на горните материали могат последователно да се изчертаят коничните сечения. Могат да се илюстрират сечения с различни параметри като се варират разстояния между карфиците или дължината на конеца.

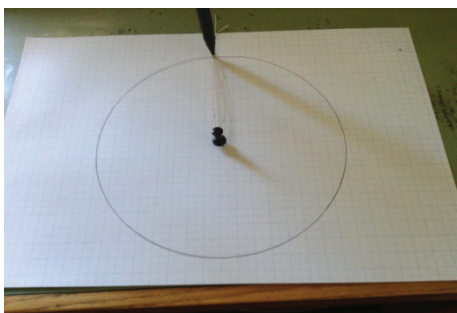
Детайлни инструкции за ученика

Как да начертаем окръжност:

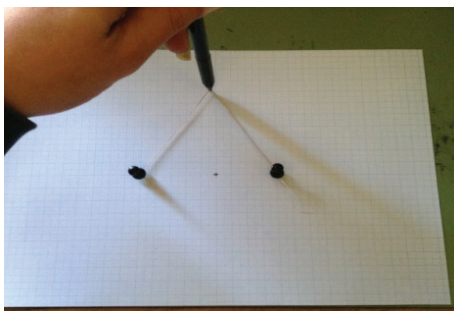
1. Поставяме милиметровата хартия върху картона.
2. Забиваме карфицата в средата на листа милиметрова хартия.
3. Стъваме конец с дължина около 35 – 40 см на две и го завързваме на възел, така че да получим дължина 15 – 18 см.
4. Единия край на конеца поставяме около карфицата, а другия – около молива, както е показано на картинката.
5. Опъваме добре конеца и започваме да движим молива в кръг около карфицата така, че конеца винаги да е опънат.
6. Когато направим пълно завъртане около карфицата сме начертали окръжност.
7. Ако промените дължината на конеца, можете да получите окръжности с различни размери.

Как да начертаем елипса:

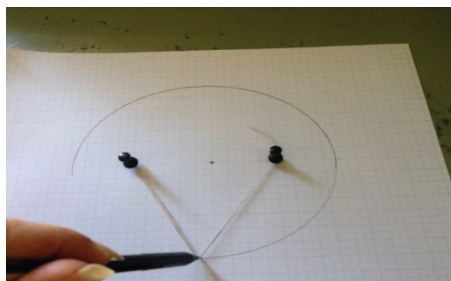
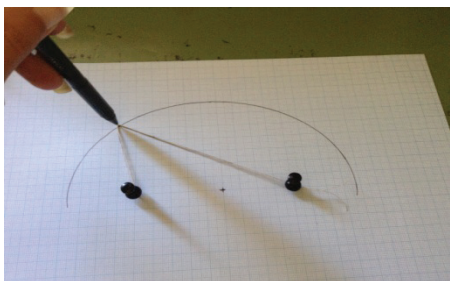
1. Върху милиметровата хартия, по дългата страна на листа, измерваме с линия по 5 см от двете страни на центъра (където беше забита карфицата от предната задача) и отбелязваме точките с молив.



2. Забиваме по една карфица в тези две точки.



3. Прехвърляме конеца около двете карфици и го опъваме към горния край на листа с помощта на молива както е показано на първата картинка.



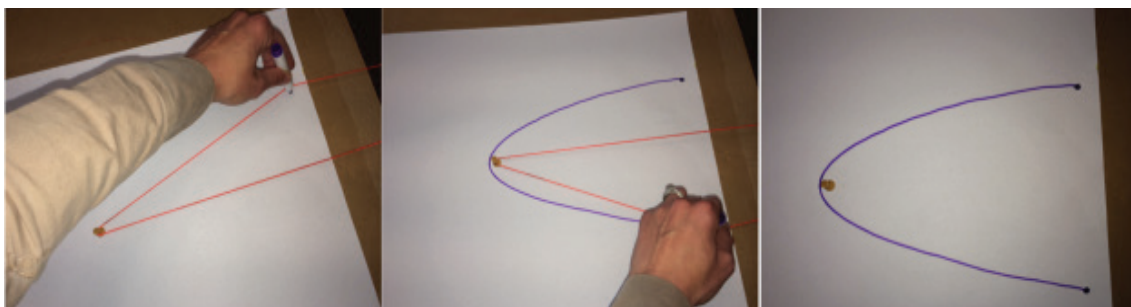
4. Като държим конеца опънат, местим молива първо наляво, докато той не се изравни с карфицата, после надясно, докато не се изравни с другата карфица. Начертали сме половин елипса втора картинка.
5. За да начертаем и другата половина, с молива опъваме конеца към долната част на листа и отново движим молива наляво и надясно. Опъваме добре конеца и започваме да движим молива в кръг около карфицата така, че конеца винаги да е опънат трета картинка.
6. Повторете горните стъпки, но като отдалечите карфиците на още по 2 см от центъра. Използвайте молив с различен цвят.
7. Върнете карфиците на по 5 см от центъра, но намалете дължината на конеца с около 1 см и изчертайте елипса. Използвайте молив с различен цвят.

Изчертаване на парабола с конец и карфица:

1. В центъра на лист милиметрова хартия забивате карфица.
2. Връзвате краищата на конец, дълъг поне 2 м. Единия край на конеца се прехвърля около карфицата. Другия край се държи от вашият съученик, който се е отдалечил дотолкова, че конеца да е почти напълно опънат.

2. Движение на небесните тела

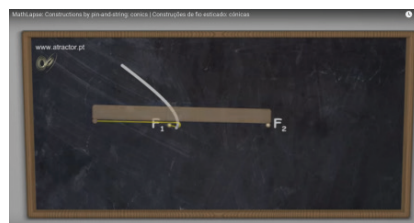
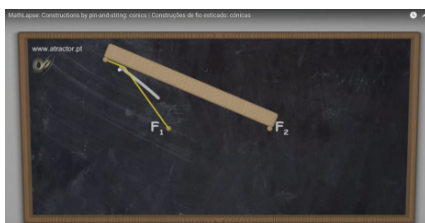
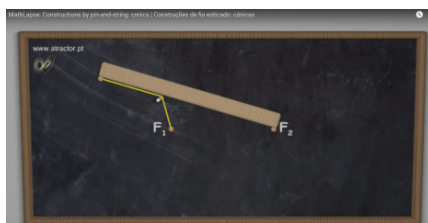
3. Поставете молива от вътрешната страна на края, близо до края на листа и опънете края. Чертайте към карфицата и от другата и страна до края на листа (вижте картинката). Трябва да сте получили парабола.



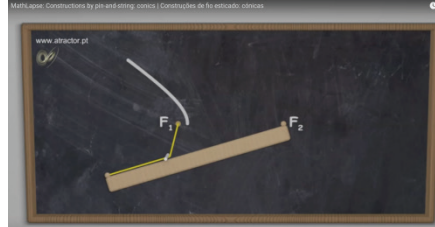
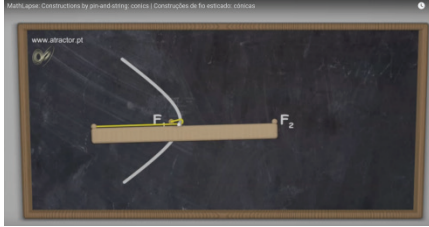
(Източник: <https://hollymath.com/2014/05/14/drawing-conic-sections-with-push-pin-and-string/>)

Изчертаване на хипербола с конец и карфица:

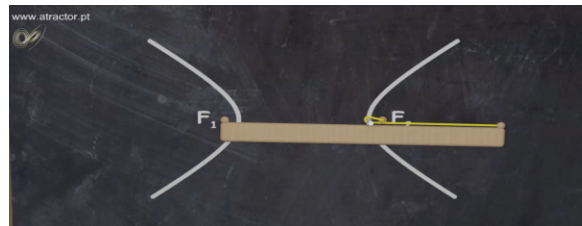
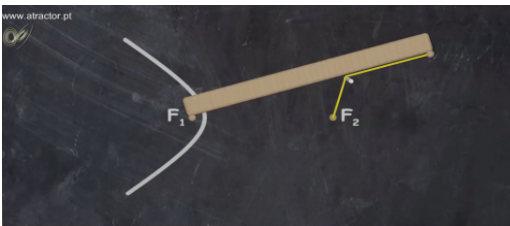
1. Отбележете две точки на лист милиметрова хартия (например на разстояние около 5 см от двете страни на центъра на листа). Кръстете ги F_1 и F_2 .
2. Залепете здраво с тиксо единия край на конец с дължина около 10 см към единия край на измервателна линия.
3. Към другия край залепете тиксо (перпендикулярно на линията), но така че част от него да стърчи извън нея.
4. Захванете стърчащото от линията тиксо към F_2 с карфица.
5. Захванете свободния край на края с карфица към F_1 и разположете линията така, че тя да е над фокуса F_1 (както е показано на картинката – панел 1).
6. Поставете молива от вътрешната част на края и движете молива към края на линията, в който е захванат края и после надолу към фокуса (F_1) докато линията не опре в карфицата в F_1 . Конецът трябва да е винаги опънат (вижте картинката, панел 2 и 3). Изчертали сме половината от едното рамо на хиперболата.



7. Обръщаме линията така (огледално), че единият и край отново да е захванат в F_2 , но този път от долната страна на F_2 , а другият (с края) – да е отдолу на F_1 . Повтаряме движенията на молива от 4.6 (показано на панел 4 от картинката) докато не изчертаем и другата половина от това рамо (около фокус F_1 , виж панел 5).



8. Като обърнем линията така, че да застопорим с карфица края на линията без конец към F_1 , по начина описан по-горе изчертаваме и другото рамо на хиперболата (около фокус F_2 , виж панели 6 и 7).



(Източник: https://www.youtube.com/watch?v=mldZ_7QwLvs)

Въпроси (на които учениците трябва да отговорят след приключване на упражнението):

1. Как се нарича точката, в която поставихте карфицата, за да начертаете окръжността?
О: Център.
2. Как се наричат точките, в които поставихте карфиците, за да начертаете елипсата?
О: Фокуси на елипсата.
3. Как се нарича началната точка, от двете страни на която забихте карфиците?
О: Център на елипсата.
4. Как се нарича правата, която преминава през центъра и двата фокуса на елипсата?
О: Голяма ос на елипсата.
5. Как се нарича правата, която преминава през центъра и е перпендикулярна на голямата ос?
О: Малка ос на елипсата.

2. Движение на небесните тела

6. Кой параметър на елипсата отчита нейната сплеснатост?
О: Ексцентрицитетът.
7. Какво се промени и какво не се промени като отдалечихте фокусите от центъра?
О: Елипсата стана по-сплесната (увеличи се ексцентрицитетата), малката ос стана по-къса. Размера на голямата ос не се промени.
8. Какво се промени и какво не се промени като скъсихте конца спрямо първата елипса?
О: Промениха се размерите на двете осина на елипсата. Не се промени ексцентрицитетът.

3.2 Орбити. Орбитни елементи.

Предлагаме упражнения, които да илюстрират орбитите и основните орбитни елементи.

Подготвителни въпроси

1. Какви са формите на орбитите на планетите от Слънчевата система?
О: Елипси.
2. Какви са формите на орбитите на кометите от Слънчевата система?
О: Елипси.
3. Каква е разликата между орбитите на планетите и кометите?
О: Ексцентрицитетата на орбитата. При кометите той е по-голям, т.е. елипсите са по-разтегнати.
4. Какви са формите на орбитите на планетите, които обикалят около други звезди?
О: Елипси.
5. Имаме ли орбити на тела в Слънчевата система, които НЕ лежат в равнината на еклиптиката? Кои?
О: На практика всички освен Земята. Дори и да са малки, наклоните на орбитите са различни от нула.
6. Дайте някои примери за тела с орбити с големи наклони.
О: Плутон, Ерида, доста други планети-джуджета и комети.

Задача 1: Изчертаване на орбити

Цел

Да се демонстрира разликата в орбитите в зависимост от орбитните елементи.

Необходими материали

- Милиметрова хартия (формат А4)
- две карфици с по-големи глави (може такива за коркова дъска)
- подложка, върху която да се постави хартията и в която да могат да се забият карфиците
- моливи (4 цвята)
- линия
- триъгълник
- по-дебел конец с дължина поне 45 – 50 см

Инструкции за учителя

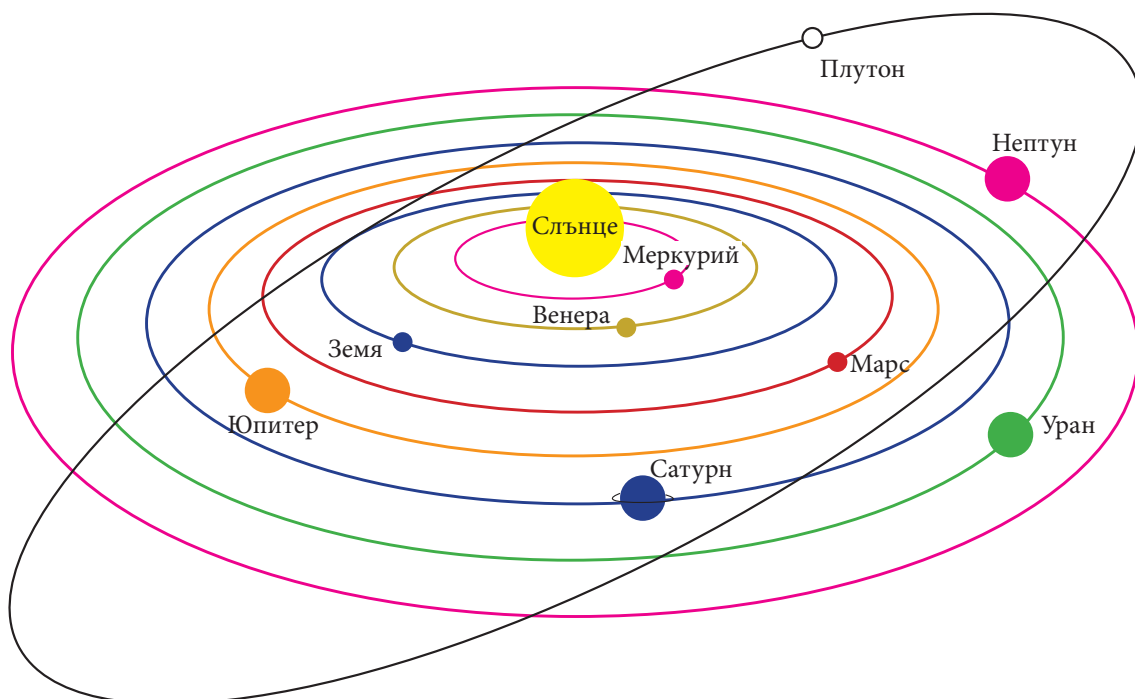
Чрез вариране на разстояния между фокусите и дължината на конца да се начертаят няколко различни орбити и да се определят/сравнят техните големи полуоси и ексцентрицитет.

Детайлни инструкции за ученика

1. Поставете лист милиметрова хартия върху меката подложка.
2. Забийте едната карфица в средата на листа. Отбележете тази точка с С.
3. Отрежете конец с дължина 17 см и го завържете в единия край.
4. На разстояние от по 2.5 см наляво и надясно от т. С забийте по една карфица (махнали сте тази от т. С) Отбележете с F1 точката, в която сте забиили карфицата в дясно от С, а с F2 – точката с карфицата в ляво от С.
5. Преметнете по-дългия конец около двете карфици и изчертайте елипса.
6. Преметнете по-късия конец около двете карфици и изчертайте втора елипса (с друг цвят).
7. Преместете карфиците още по 1 см наляво и надясно от С. С по-дългия конец изчертайте трета елипса с трети цвят а с по-късия – четвърта (с четвърти цвят).
8. Сравнете получените елипси. Кои параметри са различни?
9. Пресметнете ексцентрицитетите на елипсите по формулата $e = c/a$, където c е разстоянието от центъра до който и да е от фокусите, а a е голямата полуос. Сравнете ги.
10. Нека предположим, че това са орбити на тела от Слънчевата система, а самото Слънце се намира в точка F1. Отбележете на една от орбитите перихелия и афелия на тялото.

Задача 2: Орбитни елементи

На фигурата долу са показани орбитите на планетите от Слънчевата система и Плутон. Да предположим, че орбитите на планетите практически лежат в равнината на еклиптиката. Какво тогава ще кажете за орбитата на Плутон – лежи ли тя в същата равнина? Как се нарича орбитния елемент, който отразява положението на орбитата на дадено тяло от Слънчевата система спрямо еклиптиката? Изчертайте го за орбитата на Плутон на картинката.



(Източник: <http://www.rfcafe.com/references/general/solar-system.htm>)

Въпроси (на които учениците трябва да отговорят след приключване на упражнението):

1. Кой елемент на орбитата определя подредбата на планетите по отдалеченост от Слънцето? Как?
О: Голямата полуос. Колкото е по-голяма тя, толкова по-отдалечена е планетата от Слънцето.
2. Кой параметър определя кои орбити са по-издължени елипси, а кои – почти окръжности? Как?
О: Ексцентрицитетът. Колкото е по-голям, толкова по-сплесната е орбитата.
3. Какъв е наклона на орбитата на Земята?
О: Нула.

ЗАКОН НА НЮТОН ЗА ГРАВИТАЦИЯТА, КОСМИЧЕСКА СКОРОСТ. МАСА. ТЕГЛО

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Йохан Кеплер постулира своите закони за движението на планетите от Слънчевата система, основавайки се на наблюдателни данни. Но неговият модел не обяснява ЗАЩО планетите се движат по този начин. Това прави сър Исак Нютон в края на 17 век чрез закона за всеобщото привличане. Това е закон за една нова сила – гравитацията, която не само обяснява движенията на небесните тела, но също и кара телата да падат на повърхността на Земята.

1.1 Съдържание на темата

В частта за учителя към тази тема ще първо ще опишем закона на Нютон за гравитацията, как този закон, заедно с другите закони на Нютон за движението обобщават законите на Кеплер, как се дефинират космическите скорости и какъв е техния смисъл. Накрая ще разгледаме понятията маса и тегло и разликата между тях. В частта с практически упражнения за ученика ще предложим няколко интересни практически упражнения и въпроси, които имат за цел да илюстрират материала и да спомогнат за неговото по-добро усвояване.

1.2 Ключови думи

гравитация

гравитационно ускорение

космическа скорост

маса

тегло

2. ИНФОРМАЦИЯ ЗА УЧИТЕЛЯ

2.1 Закон на Нютон за гравитацията

Нека разгледаме системата Земя – Слънце. Според закона на Нютон за всеобщото привличане, Земята усеща гравитационно привличане, което е пропорционално на произведението на масите на Земята и Слънцето и обратно пропорционално на квадрата на разстоянието между Земята и Слънцето:

$F = G (m_1 M_2 / d^2)$, където G е гравитационната константа ($G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$), m_1 – масата на Земята, M_2 – масата на Слънцето, d – разстоянието между центровете на Земята и Слънцето.

Интерактивно представяне на силата на привличане между планета и неин спътник може да се види тук: <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Circular-and-Satellite-Motion/Gravitational-Fields/Gravitational-Fields-Interactive>.

Първоначално Нютон представя закона така: силата която принуждава планетите да се движат по елиптични орбити около Слънцето е винаги насочена към него (т.е. тя е централна сила) и е обратно пропорционална на квадрата на разстоянието между планетата и Слънцето. По-късно той обобщава закона: две материални точки се привличат взаимно с гравитационна сила, насочена по линията, пресичаща двете точки, пропорционална на произведението на техните маси и обратнопропорционална на квадрата на разстоянието между тях.

Понеже гравитационната сила е винаги насочена по линията, свързваща двете тела, то можем да приложим закона за гравитацията и за тяло, падащо към земната повърхност. Тогава, в уравнението за гравитационната сила, m_1 ще е масата на тялото, M_2 е масата на Земята, а d ще бъде радиусът на Земята. Но според закона на Нютон за движението, силата е равна на масата, умножена по ускорението:

$$m_1 a = G (m_1 M_2 / d^2).$$

Тогава, можем да изразим ускорението на падащото тяло:

$$a = G M_2 / d^2 = g,$$

g се нарича земно ускорение (още гравитационно ускорение или ускорение при свободно падане), равно е на 9.8 m/s^2 (приблизително) и се отнася до гравитационната сила на привличане, която изпитват всички тела в близост до земната повърхност.

Законите на Нютон за гравитацията и ускорението могат да се използват, за да се обобщят законите на Кеплер:

1. Орбитите на две тела, движещи се около общ център на масите под влиянието на взаимно привличане винаги ще описват някое от коничните сечения – елипса, парабола, или хипербола.
2. Линията, свързваща двете тела ще описва еднакви площи за еднакви интервали от време. Този закон предполага, че телата ще се движат по-бързо по орбитите си, когато разстоянието до центъра на масите е по-малко, и по-бавно, когато разстоянието е по-голямо.
3. Този закон се отнася за относителната орбита на едното тяло около другото. Тогава, сумата от масите на двете тела, умножена по квадрата на орбиталния период на движещото се тяло е равна на голямата полуос на орбитата на трета степен: $(m_1 + m_2) P^2 = a^3$. Този вид на закона е изключително полезен за пресмятането на масите на звездите

2.2 Космически скорости. Кеплерово движение

Да разгледаме отново движението по различните видове орбити. Нека си представим, че изстрелваме изкуствен спътник от Земята. Видът и размерът на орбитата на спътника ще зависят от неговата начална скорост (тук ще пренебрегнем неговата маса, понеже тя е пренебрежима в сравнение с масата на Земята). Ако тя е прекалено ниска, спътникът ще започне да описва елипсовидна орбита, но нейният размер ще е недостатъчен и той ще се разбие на повърхността на Земята. Ако увеличим скоростта, докато тя достигне специална стойност, наречена още кръгова скорост $v = (GM/r)^{1/2}$ (**М е масата на Земята**), то спътникът ще се движи по кръгова орбита около Земята, като радиусът на орбитата ще е r (смятано от центъра на Земята), а ексцентрицитетът ще е нула.

Ако увеличим още скоростта, така че тя да надмине кръговата, спътникът ще се движи по елипсовидна орбита, в единия от фокусите на която ще е Земята. Колкото повече увеличаваме скоростта, толкова повече ще се увеличава и ексцентрицитетът на орбитата. Докато не се достигне критична скорост $v = (2GM/r)^{1/2}$, при която елиптичната орбита ще се “разкъса” и ще се превърне в парабола. Ако продължим да увеличаваме скоростта, орбитата ще е хипербола, като колкото по-голяма е скоростта от параболичната, толкова по-разтворени ще са крилата на хиперболата.

Във всички изредени по-горе случаи, скоростта винаги е обратно пропорционална на корена от разстоянието. Движение със скорост по този закон се нарича **Кеплерово движение**.

Приложена за планетите от Слънчевата система тази зависимост показва, че колкото по-отдалечена е планетата от центъра (Слънцето), толкова по-ниска е нейната орбитална скорост. Тогава, Меркурий ще е с най-висока скорост (средно около 47 km/s, т.е. един период отнема близо 88 дни), а Нептун – с най-ниска (средно 5.5 km/s или орбитален период от около 165 години).

Космически скорости

Да се върнем за кратко към нашия спътник. Ако неговата орбита е елиптична, то той е гравитационно свързан към Земята, а скоростта за постигане на такава орбита се нарича **първа космическа скорост** относно Земята.

космическа скорост

3. Закон на нютон за гравитацията

Ако орбитата е параболична, или хиперболична, то той ще се откъсне от гравитационното поле на Земята. Скоростта, необходима на едно тяло да се откъсне от гравитационното поле на друго тяло се нарича **втора космическа скорост**. За звезда или планета, втора космическа скорост се изчислява по формулата $v = (2GM/r)^{1/2}$, т.е. това е скоростта, необходима за постигане на параболична орбита. В общия случай, G е гравитационната константа, M е масата на тялото, чието гравитационно поле обекта напуска, а r е разстоянието от обекта до центъра на масите. За повърхността на Земята, втора космическа скорост е 11.2 km/s.

Трета космическа скорост е скоростта, необходима един обект да се откъсне от гравитационното поле на Слънцето. Тя отново е параболична скорост, но с разстояние r , равно на разстоянието Слънце – Земя.

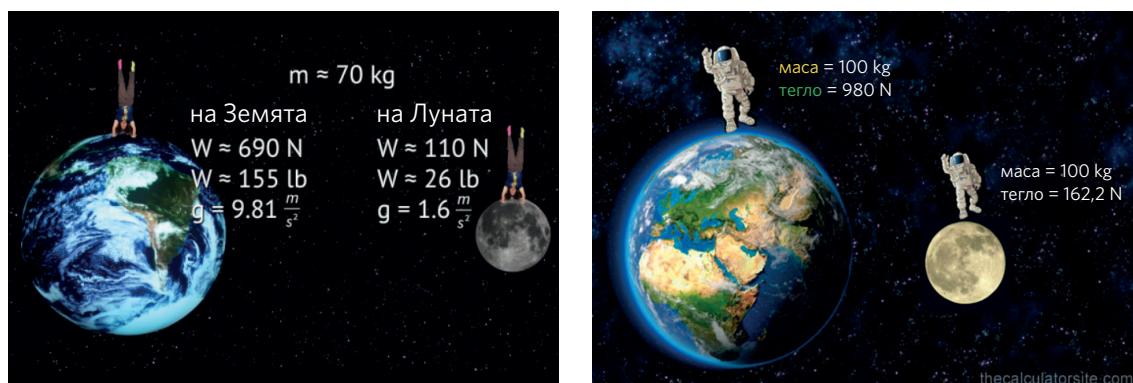
2.3 Маса и тегло

Маса Масата е фундаментално свойство на всеки обект и е мярка за количеството вещество, съдържащо се в обекта. В нормални условия масата е постоянна, неизменяща се величина. Обикновено масата се бележи с m (или M) и се мери в килограми.

Тегло Теглото на един обект е мярка за гравитационна сила. Дефинира се като $w = mg$, където m е масата на обекта, а g – гравитационното ускорение. Понеже теглото е мярка за сила, мерната единица за тегло е Нютон ($1 \text{ N} = 1 \text{ m kg/s}^2$).

За да направим разликата между маса и тегло по-ясна, нека разгледаме един астронавт, запътил се към Луната. Когато астронавтът е все още на Земята, колегите му са измерили, че неговата маса е 100 kg. При земно ускорение 9.8 m/s^2 , теглото на астронавта ще е 980 N. След кацането на астронавта на Луната, масата му все още ще е 100 kg, но при гравитационно ускорение на Луната от 1.6 m/s^2 , теглото на астронавта ще е 162 N.

Друга основна разлика между маса и тегло е, че масата е скаларна величина, докато теглото е вектор (т.е. масата има числена стойност, докато теглото има и числена стойност и посока).



Фигура 1: Разлика между маса и тегло.

Да обясним два често използвани термина – свободно падане и безтегловност. **Свободно падане и безтегловност** е движението на един обект ЕДИНСТВЕНО под влияние на гравитационната сила. Т.е. при свободно падане върху обекта не се упражняват други сили.

Безтегловност е състояние, в което един обект не е под влияние на гравитационно поле. Това което хората имат в предвид, когато говорят за безтегловност е всъщност **усещане за безтегловност** и се наблюдава по време на свободно падане. Тъй като тогава на тялото не действат други сили, то усещането е за намалено тегло. В действителност теглото не се е променило, но понеже гравитационната сила не се усеща така, както контактните сили (нормална сила, сила на триене, опъване и др.), се получава и това усещане за безтегловност.

Често срещана грешка е да се смята, че астронавтите на Международната космическа станция са в безтегловност защото там те не усещат влиянието на гравитацията, или защото гравитационната сила е значително по-малка. И двете твърдения са грешни – гравитацията се усеща така, както и на повърхността, а гравитационното ускорение е само с около 10% по-малко по стойност от това на повърхността. Действителната причина да се усеща безтегловност на Международната космическа станция, е че цялата станция, заедно със оборудването и астронавтите в нея е в състояние на свободно падане. Те падат към Земята под влияние на гравитацията, но без да се сблъскат с нея, понеже тяхната тангенциална скорост им позволява да останат в орбита, докато гравитационната сила ги привлича към Земята.

3. ПРАКТИЧЕСКИ ЗАДАЧИ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Пропорционалности в закона на Нютон за гравитацията

Цел

Да се онагледят как гравитационната сила е директно пропорционална на произведението на масите на две тела и обратно пропорционална на квадрата на разстоянието между телата. Това упражнение може да се прави самостоятелно, или по двойки.

Инструкции за учителя

Разпечатва се Приложение Н1 и се раздава на учениците, които трябва да попълнят липсващите стойности за F в дадените примери.

Детайлни инструкции за ученика

На илюстрацията графично е показана зависимостта на гравитационната сила от масите на телата и разстоянието между тях. Два от примерите са решени, а вие по подобен начин трябва да решите останалите

Практически упражнения 2 и 3: Маса и тегло. (Mass and weight)**Цел**

Да се покаже промяната в гравитационната сила с промяна в разстоянието или масите на телата. Да се покаже, че гравитационното ускорение g е всъщност равно на отношението $(G M_{\text{Земя}})/(R_{\text{Земя}})^2$. Това упражнение се прави самостоятелно. Обсъждането на резултатите е общо.

Инструкции за учителя

В упражнение 3.2, във формулата $F = G (m_1 M_2 / d^2)$, m_1 е масата на ученика, M_2 е масата на Земята, а d е разстоянието от центъра на Земята до ученика, т.е. $6,38 \times 10^6$ м в подусловие (а) и $6,39 \times 10^6$ м в подусловие (б). Отговор (а) $F = 491,81$ N (или приблизително 492 N); (б) $F = 490,28$ N (или приблизително 490 N).

Обсъдете малката разлика в силата на морското равнище и на височина 10 км. Сравнете с отговор (а) на упражнение 3.3 и обърнете внимание на учениците, че всъщност $g = (G M_{\text{Земя}})/(R_{\text{Земя}})^2$.

Практическо упражнение 2

Да се определи силата на привличане между Земята (маса $M = 6 \times 10^{24}$ kg) и ученик с маса 50 kg, намиращ се на:

- морското равнище (на разстояние $6,38 \times 10^6$ m от центъра на Земята);
-) в самолет, на височина 10 000 m над повърхността.

Инструкции за ученика:

Използвайте формулата за гравитационната сила между две тела. Гравитационната константа е $G = 6,667 \times 10^{-11}$ N m²/kg².

Практическо упражнение 3

Да се определи силата на привличане върху:

- a) ученик с маса 50 kg,
- b) автобус с маса 10 тона, като се използва земното ускорение g ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$).

Отговор:

- a) 490 N, b) 98 000 N.

Практическо упражнение 4

Пресметнете теглото на един човек с маса 80 kg на изброените в таблицата тела от Слънчевата система.

Цел

Да се онагледат разликата между маса и тегло. Да се покаже как теглото на човека се мени (а масата не) в зависимост от гравитационното ускорение на притеглящото тяло (което от своя страна зависи от неговата маса и радиус).

Инструкции за учителя

В таблицата са изброени тела от Слънчевата система и са дадени техните ускорения. Учениците трябва да пресметнат гравитационната сила, която всяко тяло упражнява върху човека, което е всъщност неговото тегло на съответното небесно тяло. Задачата показва разликата между маса и тегло. Докато масата на разглеждания човек винаги е еднаква, теглото му се мени в зависимост от това на кое небесно тяло се намира той (и с каква гравитационна сила го привлича това тяло). Алтернативен начин за обяснение е, че теглото се определя от това колко е силно гравитационното притегляне и ако сравняваме две тела с различни маси на Земята (упражнение 3.3), тези тела се привличат от еднаква сила, така че това с по-голяма маса тежи повече. Но в космоса, където гравитационното привличане е много по-слабо, телата могат да са почти безтегловни (т.е. да са с много малко тегло). Но дори и в космоса телата съдържат материал, следователно имат тегло.

3. Закон на нютон за гравитацията

Таблица:

Име	Маса, kg	Радиус, km	Гравитационно ускорение, m/s ²	Тегло на човека, kg
ЛУНА	$7,342 \times 10^{22}$	1 737	1,62	
МЕРКУРИЙ	$3,301 \times 10^{23}$	2 440	3,7	
ВЕНЕРА	$4,8675 \times 10^{24}$	6 052	8,87	
МАРС	$6,4171 \times 10^{23}$	3 390	3,72	
ЮПИТЕР	$1,8982 \times 10^{27}$	69 911	24,79	
САТУРН	$5,6834 \times 10^{26}$	58 232	10,44	
УРАН	$8,6810 \times 10^{25}$	25 362	8,87	
НЕПТУН	$1,024 \times 10^{26}$	24 622	11,15	

Практическо упражнение 5: Втора космическа скорост

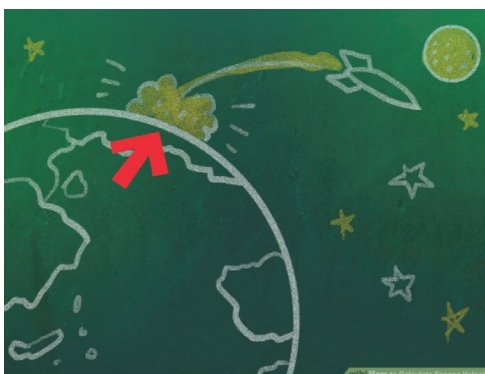
Цел

Учениците да разберат какво точно представлява втората космическа скорост.

Инструкции за учителя

Трябва внимателно да се обясни поднесената по-долу информация.

Инструкции за ученика



За да разберете как точно се извежда формулата за втора космическа скорост, проследете внимателно следните стъпки:

- 1. Дефиницията за втора космическа скоросте:** скоростта, която един обект трябва да има, за да преодолее гравитационното привличане на планетата, на която обекта се намира и да „избяга“ в космоса. По-големите планети имат по-голяма маса и изискват по-висока втора космическа скорост от по-малките планети с по-малка маса.

2. **Законът за запазване на енергията** твърди, че пълната енергия на една затворена система не се изменя. Да разгледаме една система Земя – ракета като изолирана. Тогава в закона за запазване на енергията приравняваме началните (с индекс 1) и крайни (с индекс 2) потенциални (U) и кинетични (K) енергии:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

3. **Дефинираме потенциална и кинетична енергия.** Кинетичната енергия е енергия на движението и е $K = (\frac{1}{2}) mv^2$, където m е масата на ракетата, а v е нейната скорост. Потенциалната енергия е енергия в резултат от местоположението на обекта спрямо другите обекти в системата. Във физиката, потенциалната енергия на безкрайно голямо разстояние от Земята обикновено се приравнява на нула. Понеже гравитационната сила е сила на привличане, то потенциалната енергия на ракетата винаги ще е отрицателна, както и намаляваща по стойност с приближаване към Земята. Тогава, потенциалната енергия на системата Земя – ракета може да се запише като:

$$U = (GMm)/r,$$

където G е универсалната гравитационна константа, M е масата на Земята, m – масата на ракетата, а r – разстоянието между центровете на двете маси.

4. **Заместваме тези уравнения в закона за запазване на енергията.** Когато ракетата придобие минималната скорост, необходима за преодоляване на гравитационното поле на Земята, тя в един момент ще се забави до спиране в безкрайност (относно Земята). Така че $K_2 = 0$. Тогава ракетата няма да усеща земното привличане и няма никога да „падне“ отново на Земята, така че $U_2 = 0$ също. Тогава:

$$(\frac{1}{2}) m v^2 - (GMm)/r = 0$$

5. Решаваме горното уравнение за v :

$$(\frac{1}{2}) m v^2 = (GMm)/r$$

$$v^2 = (2GM)/r$$

$$v = [(2GM)/r]^{1/2}.$$

Това е втора космическа скорост, или в случая – минималната необходима на ракетата скорост, за да преодолее гравитационното поле на Земята и да излети в космоса.

Практическо упражнение 6: Пресмятане на втора космическа скорост за небесни тела с различни маси

Цел

Да се получат вторите космически скорости за небесни тела с различни маси и да се добие представа за скалата на тези скорости.

Инструкции за учителя

На базата на данни за радиусите и масите на различните планети (и техни спътници) от Слънчевата Система, както и за самото Слънце и други значително по-масивни или по-маломасивни звезди (които могат да се намерят в Уикипедия), да се пресметнат вторите космически скорости за тези тела. Да се подредят тези скорости в низходящ ред, което ще помогне да добие представа за скалата на скоростите (т.е., че по-маломасивните тела изискват по-ниски скорости за напускане на гравитационното поле, отколкото по-масивните.)

Допълнителни материали

Как да изстреляме снаряд в космоса: <https://spaceplace.nasa.gov/how-orbits-work/en/#>

ЗАКОН НА НЮТОН ЗА ГРАВИТАЦИЯТА – ПРИЛОЖЕНИЕ

Разстояние (метри)	Сила (Нютони)
0,20	25,00
0,25	16,00
0,30	11,11
0,35	8,16
0,40	6,25
0,45	5,00
0,50	4,00
0,60	2,70
0,70	2,04
0,80	1,56
0,90	1,23
1,00	1,00
1,20	0,60
1,40	0,51
1,60	0,39
1,80	0,31
2,00	0,25

Име:

Клас:

Дата:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

По-горе са дадени данни за това как гравитационната сила между две тела се изменя с промяна на разстоянието между тях.

Начертайте данните в графика, като на оста у поставите силата, а на оста x поставите разстоянието.

Насоки:

1. Наименувайте графиката Сила – разстояние.
2. Сложете име на оста у (не забравяйте мерните единици)
3. Осначете оста x (не забравяйте мерните единици)
4. Определете скалите на двете оси
5. Начертайте точките, отговарящи на данните
6. Свържете точките с линия, показваща зависимостта



БЕЗТЕГЛОВНОСТ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Безтегловност е състояние, при което гравитационната сила, действаща върху тяло, се компенсира с друга сила, така че се създава впечатлението, че върху тялото не действа гравитацията. Типична ситуация, при която се създава състояние на безтегловност в близост до земната повърхност, е свободно падане на тяло, което е хвърлено нагоре **във въздуха**. Така може да се постигне усещане за безтегловност, но за много кратко време, максимум няколко секунди. В дългосрочен план безтегловността възниква, когато едно тяло се движи в космическото пространство, например, когато спътник обикаля около Земята. Състоянието на безтегловност обаче довежда до различни здравословни проблеми на човека. От друга страна, безтегловността може да се използва за редица технологични процеси. Тази употреба е все още в експериментална фаза.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

безтегловност

гравитационна сила

сила на тежестта

тегло

инертна сила

центробежна сила

неинтерциална отправна система

космически пътувания

земни спътници

свободно падане

хвърляне на тяло

изолирана система

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Основна информация Безтегловност наричаме състоянието, в което гравитационната сила, упражнявана върху тялото, е компенсирана от друга сила, така че крайният резултат е впечатлението или чувството на наблюдателя, че върху тялото не действа гравитационната сила. **Състоянието на безтегловност възниква във всяка неинерциална отправна система, която се движи с ускорение, което е еднакво по величина и посока с гравитационното ускорение на даденото място.** В такава неинерциална отправна система се проявява привидна инертна сила, която е равна на гравитационната сила, но е с обратна посока. Получената сила, която възниква, е сбор от гравитационната сила и инертната сила и е равна на нула. Това обаче не означава, че силата на гравитацията е изчезнала.

Свободно падане

Типична ситуация, при която възниква състояние на безтегловност в близост до земната повърхност, е свободното падане. При него тялото се движи под силата на тежестта $F_g = mg$ с ускорение, насочено към земната повърхност, наречено земно ускорение $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. В неинерциалната отправна система (ускоряваща се с ускорение g), свързана с това тяло, се появява привидна инертна сила $F_s = -F_g = ma_s$, където a_s е инерциалното ускорение ($a_s = -g$). Получената сила, действаща върху падащото тяло в свързаната с него неинерциална система, е $F_g - F_s = 0$.

Фактът, че такава привидна инертна сила наистина възниква в ускоряващата се отправна система, може да бъде проверен с **мисловен експеримент**. Да предположим, че седим в кола, която се движи по права линия с ускорение $a \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$ в хоризонтална посока. (Такава кола би достигнала скорост от 100 км/ч за 2,8 секунди, което е наистина един мощен състезателен автомобил.) Инертната сила е точно тази сила, която ни „залепва“ за седалката по време на това ускорение. В този случай обаче инертната сила и силата на тежестта не се анулират – инертната сила ни тласка обратно в облегалката на седалката, а силата на тежестта ни натиска надолу към седалката, така че усещаме и двете. Ако обаче движението на отправната система се ускорява надолу с ускорение $a = -g$, инертната сила и силата на тежестта се обезсилват и се усеща безтегловност.

Терминологична бележка Подходящо е да се разграничат гравитационна сила, сила на тежестта и тегло. Гравитационната сила (F_g) е силовото взаимодействие на два материални обекта, тя е една от основните физически взаимодействия. Ако отправната система е свързана със земната повърхност, трябва да се вземе предвид, че Земята се върти и самата отправна система е неинерциална. Това създава привидна центробежна сила, причинена от въртенето на Земята. **Резултатът от гравитационната сила и тази центробежна сила е силата на тежестта (F_G).** Следователно, на повърхността на Земята, говорим за силата на тежестта и вече не е необходимо да включваме ефекта от въртенето на Земята при по-нататъшните разсъждения.

Следователно, при описването на състоянието на безтегловност, възникващо при локални движения в близост до земната повърхност (свободно падане и др.), е подходящо да се използва терминът **сила на тежестта**. **Описвайки безтегловността на обектите в космическото пространство (спътници, космически станции и кораби, космически сонди) използваме термина гравитационна сила.**

Терминът тегло (G) се дефинира като силата на тежестта (гравитационната сила съгласно закона за всеобщото привличане), упражнявана върху тяло с маса m намиращо се в дадено гравитационно поле, в случая – това на Земята. Върху тялото действа силата на тежестта в посока надолу, а тялото действа върху повърхността със своето тегло. (Реакцията на тази тежест, т.е. на силата, упражнявана от повърхността върху тялото, е причината тялото да лежи на нея и да не пада.) В безтегловно състояние тялото „плава“, не упражнява натиск върху повърхността (например асансьорът не натиска пода, когато пада свободно). Следователно, теглото е наистина нулево и обозначението „безтегловност“ е на място. Трябва обаче още веднъж да се подчертае, че нито силата на тежестта, нито силата на гравитацията са нулеви в този случай.

2.1 Как да постигнем състояние на безтегловност

Както вече споменахме, ако едно тяло свободно пада към Земята, то е в безтегловност. Същата ситуация се наблюдава при сложни движения, при които единият компонент е свободното падане, т.е. във всички случаи - вертикално, хоризонтално и диагонално. Пример за вертикално падане може да бъде скачането на батут, при което скачащият е в безтегловност през цялото време, когато не е в контакт с батута. Същата категория включва гореспоменатото свободно падане на асансьорната кабина. Всички тези движения позволяват безтегловност за много краткото време от десети от секундата или най-много до няколко секунди. Например падането на парашутист отнема много по-дълго време. Той обаче е в състояние на безтегловност само малко след началото на падането. След само няколко секунди скоростта на парашутиста се увеличава до такава степен, че съпротивлението на средата е равно на силата на тежестта и по-нататъшното падане вече се осъществява чрез равномерно движение, при което безтегловно състояние не настъпва.

Свободно падане и хвърляне на тела

Движението по хоризонтална и вертикална траектория се използва за симулиране на безтегловността в някои самолети. Ако самолетът се движи по параболична траектория, по която би се движило хвърленото тяло, в самолета възниква безтегловност. По този начин е възможно да се създаде състояние на безтегловност за приблизително 25 секунди.

Когато едно тяло се движи в космическото пространство настъпва продължително състояние на безтегловност. Началното условие все още обаче трябва да е валидно, т.е. тялото трябва да бъде в неинерциална отправна система, която се движи с ускорение, имащо размера и посоката на гравитационното ускорение на даденото място. Ако върху тялото се приложи допълнителна сила, например тягата на ракетните двигатели, безтегловност няма да настъпи.

Движение по земната орбита на Земята

3. Закон на Нютон за гравитацията

При обикалянето на един спътник около Земята по кръгова траектория, върху него действа гравитационната сила, насочена към центъра на Земята. Именно тази сила, в отправната система, свързана със Земята, е централностремителната сила, която кара траекторията му да се извие в кръг. Ако наблюдаваме ситуацията от отправната система, свързана със сателита, отново става въпрос за референтна неинерциална отправна система, а върху спътника (обектите вътре в спътника) влияние оказва привидна инерционна центробежна сила, голяма колкото гравитационната сила, но имаща обратна посока. Резултатът от взаимодействието между гравитационната сила и центробежната сила е нула.

Движение в космическото пространство Не е задължително едно тяло в космоса да обикаля около Земята - то може да се движи по напълно различен начин. В този случай безтегловното състояние възниква в отправната система, свързана с тялото, а именно в случая, когато тялото се движи само под въздействието на гравитационните сили, т.е. с ускорение, равно на гравитационното ускорение на даденото място. Следователно, не е необходимо гравитационната сила, действаща върху тялото, да е нулева. Повечето от космическите обекти се движат по този начин, т.е. под действието на гравитационните сили. Единствените изключения са тези моменти от полета, когато изкуственото космическо тяло повишава или намалява скоростта си под тягата (действието) на двигателите или с тяхна помощ променя посоката си. В тези моменти от полета безтегловност не настъпва.

Симулация на състоянието на безтегловност Във връзка с космическите полети, са много важни изучаването на безтегловността и тренирането на престоая в космоса. Както вече споменахме, постигането на състоянието на безтегловност на повърхността на Земята е възможно само за много кратко време. За някои цели не е необходимо да се използва директно състоянието на безтегловност, а е достатъчна само симулацията на състоянието в безтегловност.

В такива случаи се използват скафандри, потопени в басейн с вода. Скафандърът е направен така, че подемната сила, действаща върху него да е толкова голяма, колкото силата на тежестта. Това позволява на човека в скафандъра във водата да се чувства като в състояние на безтегловност. Тази симулация обаче има два недостатъка. Съпротивлението на водната среда е значително по-голямо от съпротивлението на въздуха, така че някои движения се забавят във водата и по този начин се улесняват. Подемната сила действа само върху повърхността на скафандъра а той повдига човека със силата, действаща върху кожата. Върху вътрешните органи на човека действа напълно нормалната сила на тежестта, така че не се стига до нарушаване на равновесието или гадене, причинявани от истинската безтегловност.

Вторият начин да симулирате безтегловността е да бъдете във вятърен тунел. В него човек е повдиган вертикално нагоре от въздуха (във вертикален тунел). Възможно е да се регулират приложената сила и степента на въздействието на въздуха. Недостатъците на тази симулация са подобни на тези на басейн – само че вместо по-голямото съпротивление на водата, влияние върху костюма оказва въздухът.

Състоянието на безтегловност има неблагоприятни ефекти върху човека (и другите висши организми). В краткосрочен план (няколко часа или дни) в човека се появява морска болест, свързана със стомашно разстройство и главоболие (чувство за натиск в главата). То се причинява от нестандартно дразнене на центъра на равновесието във вътрешното ухо, който в нормално състояние определя посоката на действието на силата на тежестта.

Трудности при движенията в състояние на безтегловност

В дългосрочен план се стига до преразпределение на течностите в тялото. На повърхността на Земята сърцето изблъсква кръвта нагоре по тялото срещу силата на гравитацията, а в безтегловно състояние кръвта тече към горната половина на тялото много по-лесно. При космонавтите се появява зачервяване, а понякога – и подуване на лицето. Различният характер на движенията в безтегловност, когато не е необходимо да се преодолява силата на тежестта и цялостното физическо усилие е много по-малко, постепенно води до мускулна атрофия. Освен това са наблюдавани и хормонални промени, загуба на калций в костите, а при опитните животни – признаци на увреждане на черния дроб. Някои от последиците на състоянието на безтегловност могат да бъдат премахнати, например чрез редовни упражнения, а други трябва да бъдат подложени на допълнителни задълбочени изследвания в бъдеще.

Пълната промяна на двигателните навици при изпълнението на рутинни дейности в орбита също може да се счита за проблем, причинен на човешкото тяло по време на престоя му в състояние на безтегловност. Безтегловността трябва да се взема предвид и при спазването на личната хигиена, храненето, ходенето по нужда, а разбира се - и при извършването на монтажните работи вътре и извън космическата станция. Голяма част от нормалните действия, извършвани на земната повърхност, разчитат на силата на тежестта, присъстваща навсякъде и осигуряваща един вид „опора“.

2.2 Физични явления в състояние на безтегловност

В състояние на безтегловност „разлята“ вода не пада на пода, а свободно се носи в пространството. Тъй като общата външна сила, действаща върху течното тяло, е равна на нула, силите, които са почти незабележими на земната повърхност, започват да играят важна роля – говорим за т. нар. сили на повърхностно напрежение. Под влиянието на силите на повърхностното напрежение течността се оформя в голяма топка (капка с формата на топка). Когато докосне повърхност, намокрена с течност, тя се разлива по повърхността.

Вода без опаковка

В състояние на безтегловност подезната сила в течността, която, по закона на Архимед, съществува на земната повърхност, е равна на нула. Затова и пламъкът на горящата свещ не е изтеглен в посока нагоре, а е много по-малък, гори лошо и прилича на топка. На повърхността на Земята, имайки предвид закона на Архимед, горещите димящи газове се издигат нагоре, а мястото им се заема от въздуха от околната среда, осигурявайки кислород на пламъка. Поради това варенето на вода в

Закон на Архимед

3. Закон на Нютон за гравитацията

безтегловно състояние е проблематично. При обикновеното загряване на течността в съдинка на Земята, първо настъпва загряване на дъното на съдинката, което води до нагряване на течността на дъното, която по-топла част после се издига нагоре (под влияние на подезната сила), а останалата по-студена част постепенно заема мястото ѝ долу и така цялата течност се нагрява. В състояние на безтегловност този механизъм на автоматично смесване на течността не работи, и тя трябва да се разбърква ръчно. Но от друга страна, няма значение дали я нагряваме отгоре или отдолу. При безтегловност понятията „долу“ и „горе“ нямат смисъл.

Изолирана система от обекти На повърхността на Земята ние сме постоянно в контакт със Земята, привлечени от нейната сила на тежест и получаваме „опора“ от триенето на обувките си с повърхността, върху която стоим. **При повечето си дейности ние несъзнателно и напълно автоматично използваме пренасянето на частта от енергията, импулса или момента на импулса към Земята.** Когато скачаме, отскачаме от Земята и получаваме силен импулс в посока нагоре. При безтегловност възможността за отскок е много по-малка. При един удар с чук, чукият действа върху обекта, но поради реакцията му, и обектият действа върху чука, и по този начин му дава импулс да се върне в посока назад. Тази реакция се елиминира от силата на Земята, защото ние „здраво сме стъпили на Земята“. В състояние на безтегловност, след като космонавтът приложи удар с чук, самият той ще „отлети“ в обратна посока. Когато боравите с гаечен ключ, моментът на импулса се придобива и от инструмента, и от лицето, което борави с него. Всъщност, на повърхността на Земята ние „задвижваме“ цялата Земя, която, разбира се, „не помръдва“. На космическата станция опитът за затягане на винта с гаечен ключ означава, че космическият кораб се завърта в обратна посока. Космонавт, който би взел и включил настолен вентилатор, също ще се завърти в посока, обратна на посоката на перката на вентилатора. (За щастие, с по-ниска скорост, която зависи от съотношението на моментите на инерция на двата обекта.)

Използване на състоянието на безтегловност Използването на безтегловността все още е на експерименталния етап. Вече е ясно, че безтегловността е идеална за по-добър растеж на някои видове монокристали, при които гравитационната сила може да причини неравномерно разпределение на различно тежките частици и цялостен дефект на кристална решетка. **По този начин, например, могат да бъдат произведени нови видове полупроводници.** Дори някои органични вещества в безтегловно състояние създават по-съвършена и правилна структура, която вече се използва за разработване на по-добри лекарства. Подобно на кристалите, в безтегловно състояние също могат да се получат превъзходни сплави. **В момента се провеждат експерименти с начина на горене в състояние на безтегловност, което може да доведе до подобряване на двигателите с вътрешно горене на Земята, както и до получаването на нови видове въглеродородни горива.**

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ДЕЙНОСТИ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Продължителност на дейността	Трудност на дейността	Препоръчителна възраст на децата	Помощни средства и материали	Цел на дейността
1. Гравитационно поле около Земята	20 – 40 минути	средна трудност	от 6 до 8 клас	калкулатор, MS Excel	Учениците ще разберат, че гравитационната сила действа на безкрайно голямо разстояние. Ще осъзнаят, че за съществуването на състоянието на безтегловност не е задължително необходимо гравитационната сила да е равна на нула. Те ще могат да си представят геометрията на ниската орбита.
2. Демонстрация на състоянието на безтегловност при свободно падане	20 – 40 минути	средна трудност	от 4 до 8 клас	Пластмасова бутилка с вода, кутия от сок с отвор за сламка, напълнена с вода, силомер	Учениците ще осъзнаят, че състояние на безтегловност може да възникне и на Земята. Те ще разберат, че безтегловността може да бъде постигната на земната повърхност и при свободно падане. Това обаче е ограничено до кратки периоди от време.
3. Поведение на течността в състояние на безтегловност	20 – 40 минути	средна трудност	от 4 до 8 клас	фотоапарат с ръчен режим на фокусиране и избор на времето за отваряне/затваряне на блендата	Учениците ще видят, че течността в състояние на безтегловност придобива сферична форма. Те ще разберат, че безтегловността може да бъде постигната на земната повърхност и при свободно падане.

Задача 1: Гравитационно поле около земата

1. Опитайте се чрез изчисление да проверите дали гравитационната сила действа и в състояние на безтегловност. В космоса, в състояние на безтегловност, и в „непосредствена“ близост до Земята, се намира Международната космическа станция (МКС, на английски ISS). По-далеч от Земята има геостационарни спътници, които се намират постоянно над една и съща точка от земната повърхност. Още по-далече се намира Луната. На какво разстояние изчезва гравитационната сила на Земята?

3. Закон на Нютон за гравитацията

2. На височина h над повърхността на едно сферично тяло (напр. Земята) с маса M_Z и радиус R_Z , върху друго тяло с маса m действа гравитационна сила

$$F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2};$$

$$M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; \quad R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

Изчислете и сравнете гравитационната сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг, когато то е:

- на повърхността на Земята,
 - на височина 400 км, където се движи Международната космическа станция,
 - на височина 35 800 км, на която се намират геостационарните спътници,
 - на Луната, която е на разстояние 380 хиляди км.
3. След това, начертайте графика на зависимостта между тази гравитационна сила и разстоянието от повърхността на Земята, което е от 0 км до 40 000 км. Използвайте подготвената таблица с разстояния от по 2 000 км. Графиката може да бъде създадена и в MS Excel или в друга подобна програма. Използвайки графиката, определете кога, т. е. на какво разстояние от Земята, гравитационната сила на Земята ще бъде равна на нула.
4. Международната космическа станция се движи в т. нар. ниска орбита, т. е. на 400 км над земната повърхност. С колко процента гравитационната сила е по-малка, отколкото на повърхността? Защо космонавтите не усещат ефекта на гравитационната сила, когато са на Международната космическа станция? Начертайте изображение на траекторията на Международната космическа станция в мащаб 1 : 100 000 000 (радиусът на Земята ще бъде 6,4 см, а разстоянието на траекторията на станцията от земната повърхност ще бъде 4 мм).

Цел на задачата

Целта на тази дейност е учениците да разберат, че гравитационната сила действа на безкрайно голямо разстояние. Учениците ще осъзнаят, че за съществуването на състоянието на безтегловност не е задължително необходимо гравитационната сила да е равна на нула. Типичен пример за това е т. нар. ниска орбита и Международната космическа станция, където гравитационната сила е само с 12% по-малка, отколкото гравитационната сила на земната повърхност.

Методически бележки за учителите

- Изчисляването на гравитационната сила не е сложно, но обърнете внимание на преобразуването на всички единици за дължина в метри.
- На учениците трябва да се обърне внимание, че изчислената гравитационна сила, действаща върху едно тяло с тегло от 1 кг, намиращо се върху земната повърхност, всъщност е т. нар. константа $g = 10 \text{ N/kg}$, която познават от уроците по физика.

- Ако учениците знаят как се правят графики в MS Excel или в друга подобна програма, то се препоръчва те да използват това. По този начин отпада нуждата от досадни изчисления.
- Още в този момент е необходимо да се насърчават учениците да вземат предвид, че в състоянието на безтегловност гравитационната сила се компенсира от една друга сила – от центробежната сила (в случаите, в които става въпрос за обикаляне около Земята).
- Графичното изобразяване на траекторията на Международната космическа станция води до създаване на представа колко близко всъщност е тя до Земята. И въпреки това е в безтегловност. Интересна бележка към скицата е сравнението между отдалечеността на станцията от Земята с височината на най-високите планини (около 8 км).

Примерно решение

На повърхността на Земята върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила в размер на 9,84 N.

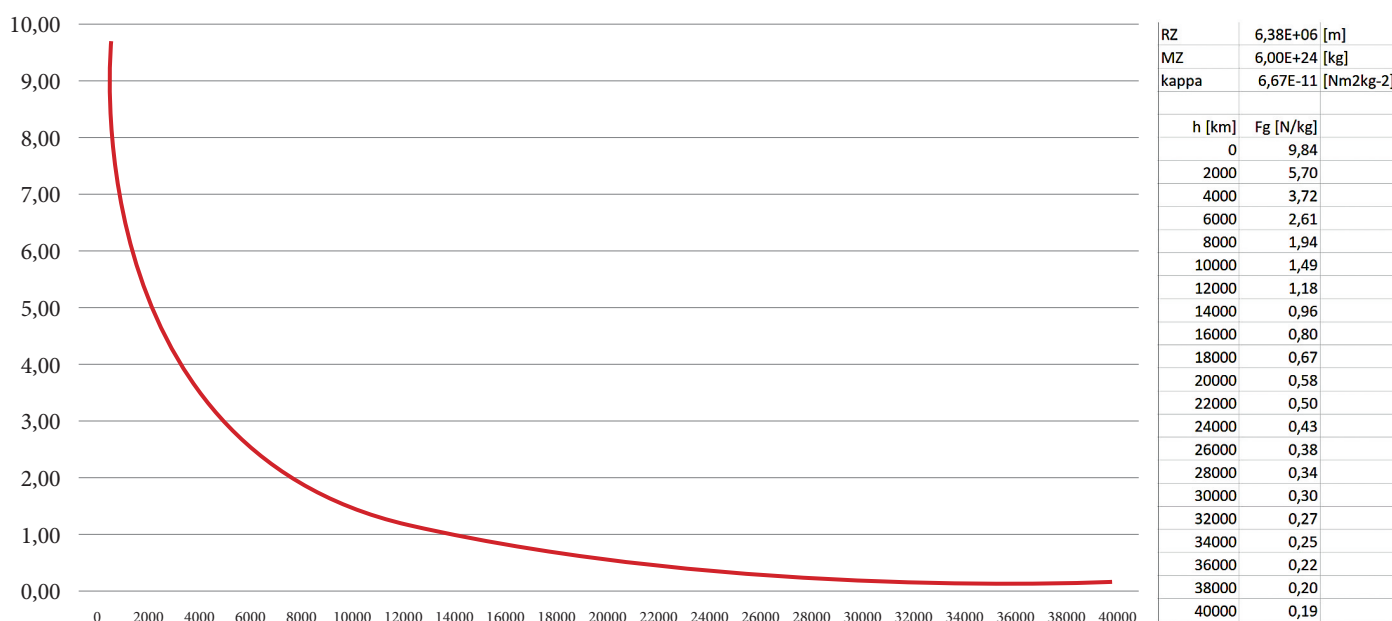
На височина от 400 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила в размер на 8,71 N.

На височина от 35 800 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила в размер на 0,199 N.

На разстояние от 380 000 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила в размер на 0,0027 N.

Като примерна направа на графика на зависимостта между гравитационната сила и разстоянието от повърхността на Земята, използваме MS Excel, вж. фигурата.

Гравитационна сила над повърхността на Земята



3. Закон на Нютон за гравитацията

Кривата в графиката все повече се доближава до оста x (асимптотично), но никога не я докосва. Затова и никога, на никакво разстояние от Земята, гравитационната сила няма да бъде равна на нула. Разбира се, на известно разстояние тя ще бъде толкова малка, че наистина ще бъде нищожна в сравнение с действието на други, по-близки обекти.

На височина от 400 км над повърхността на Земята гравитационната сила е само с 12% по-малка, отколкото на земната повърхност. Космонавтите се намират в състояние на безтегловност, защото гравитационната сила, действаща върху тях и върху станцията, се компенсира от центробежната сила, действаща върху тях, докато те се движат около Земята по приблизително кръгова траектория.

Данните за скицата са дадени в заданието. Земен радиус – 64 мм, разстояние на Международната космическа станция от повърхността на Земята – 4 мм (радиусът на траекторията на станцията е 68 мм).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП**Ученици с увреждания**

Учителите могат да изчислят силата на гравитацията вместо учениците с увреждания, при което тези учениците например могат да определят, че на разстояние от геостационарен спътник силата на гравитацията е 50 пъти по-малка. Като алтернатива те могат, от предварително подготвената графика, да определят на какво разстояние силата е на половината от силата на повърхността и т.н. Важно е заключението, че силата намалява с разстоянието, но никога не е равна на нула.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да решат числово обратната задача - на какво разстояние гравитационната сила е наполовина, на какво разстояние тя е десет пъти по-малка, отколкото на повърхността на Земята и т.н. Скицата на траекторията на Международната космическа станция може да се използва и за една по-обща преценка на разстоянията. На какво разстояние ще бъдат геостационарните спътници, на какво разстояние ще бъде Луната (Слънцето) в този мащаб?

Работен лист 1: Гравитационно поле около земята

Задача

Опитайте се чрез изчисление да проверите дали гравитационната сила действа и в състояние на безтегловност. В космоса, в състояние на безтегловност, и в „непосредствена“ близост до Земята, се намира Международната космическа станция (МКС, на английски ISS). По-далеч от Земята има геостационарни спътници, които се намират постоянно над една и съща точка от земната повърхност. Още по-далече се намира Луната. На какво разстояние изчезва гравитационната сила на Земята?

На височина h над повърхността на едно сферично тяло (напр. Земята) с маса M_Z и радиус R_Z , върху друго тяло с маса m действа гравитационна сила

$$F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2};$$

$$M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; \quad R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

- a) Изчислете и сравнете гравитационната сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг, когато то е:
 - 1) на повърхността на Земята,
 - 2) на височина 400 км, където се движи Международната космическа станция,
 - 3) на височина 35 800 км, на която се намират геостационарните спътници,
 - 4) на Луната, която е на разстояние 380 хиляди км.
- b) След това, начертайте графика на зависимостта между тази гравитационна сила и разстоянието от повърхността на Земята, което е от 0 км до 40 000 км. Използвайте подготвената таблица с разстояния от по 2 000 км. Графиката може да бъде създадена и в MS Excel или в друга подобна програма. Използвайки графиката, определете кога, т. е. на какво разстояние от Земята, гравитационната сила на Земята ще бъде равна на нула.
- c) Международната космическа станция се движи в т. нар. ниска орбита, т. е. на 400 км над земната повърхност. С колко процента гравитационната сила е по-малка, отколкото на повърхността? Защо космонавтите не усещат ефекта на гравитационната сила, когато са на Международната космическа станция?
- d) Начертайте изображение на траекторията на Международната космическа станция в мащаб 1 : 100 000 000 (радиусът на Земята ще бъде 6,4 см, а разстоянието на траекторията на станцията от земната повърхност ще бъде 4 мм).

3. Закон на Нютон за гравитацията

Решение:

a)

1) Гравитационна сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг - на повърхността на Земята.

.....
.....

На земната повърхност върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила, която е равна на N.

2) Гравитационна сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг - на височина от 400 км над земната повърхност.

.....
.....

На височина от 400 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила, която е равна на N.

3) Гравитационна сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг – на височина от 38 500 км над земната повърхност.

.....
.....

На височина от 38 500 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила, която е равна на N.

4) Гравитационна сила, действаща върху тяло с маса от 1 кг - на разстояние от 380 000 км от земната повърхност.

.....
.....

На разстояние от 380 000 км върху тяло с маса от 1 кг действа гравитационна сила, която е равна на N.

b) Попълнете таблицата и направете графика:

височина [km]	0	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000
сила [N]							

височина [km]	14 000	16 000	18 000	20 000	22 000	24 000	26 000
сила [N]							

височина [km]	28 000	30 000	32 000	34 000	36 000	38 000	40 000
сила [N]							

c) На височината, на която се намира Международната космическа станция гравитационната сила е само с ... % по-малка, отколкото на земната повърхност.

Защо космонавтите не усещат ефекта на гравитационната сила, когато са на Международната космическа станция?

.....

.....

.....

.....

3. Закон на Нютон за гравитацията

d) Скица на Земята и траекторията на Международната космическа станция:



Задача 2: Демонстрация на състоянието на безтегловност

Състояние на безтегловност може да наблюдавате и на повърхността на Земята по време на свободно падане. Ако едно тяло пада свободно, то се движи по-бързо и инертната му сила компенсира гравитационната сила. Състояние на безтегловност може да се наблюдава например при следните падащи тела:

- a) Пластмасова бутилка, пълна с вода. Ако пълна, но отворена пластмасова бутилка пада с отвора си надолу, течността няма да изтече от нея. Това е така, защото е в състояние на безтегловност и няма сила, която да накара течността да изтече от бутилката. Експериментът може да се извърши и с напълнена с вода кутия за сок с отвор за сламка. И в този случай течността няма да изтече по време на падането.
- b) Специално устройство – прозрачна кутия, в която има силомер, на който е окачена тежест. За да се демонстрира състоянието на безтегловност при свободно падане, е възможно да се произведе специално устройство – прозрачна кутия, в която е поставен силомер, на който е окачена тежест. Устройството трябва да бъде направено доста издръжливо, за да издържи на удар и след падане, макар и върху мека подложка. В покой, силомерът показва изместване, съответстващо на масата на тежестта. Ако оставим устройството да пада, вътре в него ще се получи състояние на безтегловност, а силомерът ще показва нулево отклонение. Силомерът ще се държи по същия начин и когато кутията бъде хвърлена нагоре, хоризонтално или диагонално. Опитайте.

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да покаже на учениците, че състояние на безтегловност може да съществува на повърхността на Земята, и че то не се ограничава само до космическото пространство. На повърхността на Земята обаче продължителността на състоянието на безтегловност е ограничено само до кратки периоди от максимум до няколко секунди.

Методически бележки за учителите

- Всички разновидности на експеримента са еквивалентни.
- Общият проблем на всички разновидности на експеримента обаче е, че свободно падане върху земната повърхност може да бъде постигнато само за много кратък период от време, през който може да се наблюдава и експериментът. Препоръчително е да заснемете експеримента с фотоапарат с кратко време на експонация.
- Друг проблем е, че падащото тяло определено трябва да бъде спряно в края на експеримента, а за предпочитане по такъв начин, че да не се счупи. От тази гледна точка падащата пластмасова бутилка или кутия за сок с отвор за сламка са подходящи. От друга гледна точка, провеждането на експеримента със силомер с нулево изместване е по-убедително.
- Също така си струва да се отбележи, че така, както в кутия с окачено на пружина тяло вътре в нея, състояние на безтегловност би настъпило и в свободно падаща кабина на асансьор, както и при някои влакчета на ужасите.

Примерно решение

Става въпрос за качествена дейност и затова не е подходящо да се представя примерно решение. Конкретният начин за изпълнение на упражнението зависи от възможностите на изпълнителя (вж. бележките по-горе).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП**Ученици с увреждания**

Няма нужда от специално приспособяване на експеримента за учениците с увреждания.

Надарени ученици

Надарените ученици могат сами да предложат специфичен експеримент, който да демонстрира появата на състоянието на безтегловност на повърхността на Земята. Дадено е началното условие - безтегловността се появява при свободно падане. Самите ученици могат да измислят как да „видят“ това състояние на безтегловност.

Работен лист 2: Демонстрация на състоянието на безтегловност**Задача**

Състояние на безтегловност може да наблюдавате и на повърхността на Земята по време на свободно падане. Ако едно тяло пада свободно, то се движи по-бързо и инертната инерчната му сила компенсира гравитационната сила. Състояние на безтегловност може да се наблюдава например при следните падащи тела:

- a) **Пластмасова бутилка, пълна с вода.** Ако пълна, но отворена пластмасова бутилка пада с отвора си надолу, течността няма да изтече от нея. Това е така, защото тя е в състояние на безтегловност и няма сила, която да накара течността да изтече от бутилката. Експериментът може да се извърши и с напълнена с вода кутия за сок с отвор за сламка. И в този случай течността няма да изтече по време на падането.
- b) **Специално устройство – прозрачна кутия, в която има силомер, на който е окачена тежест.** За да се демонстрира състоянието на безтегловност при свободно падане, е възможно да се произведе специално устройство – прозрачна кутия, в която е поставен силомер, на който е окачена тежест. Устройството трябва да бъде направено доста издръжливо, за да издържи на удар и след падане, макар и върху мека подложка. В покой, силомерът показва изместване, съответстващо на масата на тежестта. Ако оставим устройството да пада, вътре в него ще се получи състояние на безтегловност, а силомерът ще показва нулево отклонение. Силомерът ще се държи по същия начин и когато кутията бъде хвърлена нагоре, хоризонтално или диагонално. Опитайте.

Решение

Подгответе и изпълнете експеримента според заданието. Наблюдавайте появата на състоянието на безтегловност при свободното падане. Препоръчително е да заснемете експеримента с фотоапарат с кратко време на експонация.

Задача 3: Поведение на течностите в състояние на безтегловност

В състояние на безтегловност общата сила, действаща върху течното тяло, е нула, така че течното тяло „плава“ в пространството. В такава ситуация и силите на повърхностното напрежение ще бъдат по-значими, тъй като в нормална ситуация те са малки и често могат да бъдат пренебрегнати. Плаващото течното тяло ще придобие форма с възможно най-малка повърхност (под въздействието на силите на повърхностно напрежение), която всъщност е сферична.

На повърхността на Земята е възможно да се наблюдава състоянието на безтегловност по време на свободно падане. Поведението на течността в състояние на безтегловност може да се наблюдава върху капещите и падащи капки вода. Формата на водните капки е сферична, което отговаря на описаното по-горе. Капките трябва да бъдат заснети с камера с кратко време на експонация - при добра светлина и на контрастен фон.

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да покаже на учениците, че едно течното тяло в състояние на безтегловност ще придобие сферична форма и че състояние на безтегловност, може да се постигне и на повърхността на Земята по време на свободно падане.

Методически бележки за учителите

- Наблюдаването на капки с просто око не е много убедително. Затова, ако е възможно, опитайте се да заснемете капките с фотоапарат.
- Когато снимате източника на капещата вода, трябва да използвате кратко експозиционно време (1/1000 секунди или по-малко), което изисква добро осветяване и/или висока чувствителност на сензорния чип. Също така е подходящо да направите няколко серийни снимки, като по този начин ще увеличите вероятността да заснемете капките в желаната форма. Освен това е препоръчително да използвате режима за ръчно фокусиране, така че обективът винаги да е фокусиран върху равнината на падащите капки, за да не се налага повторно фокусиране.



3. Закон на Нютон за гравитацията

- В резултат на посоченото по-горе, падащите капки могат да бъдат заснети с всеки един любителски фотоапарат, имащ ръчен режим на фокусиране и избор на времето за отваряне/затваряне на блендата. Но имайте предвид, че за да получите една използваема снимка, трябва да направите много, наистина много снимки. Вижте приложената снимка.
- Друга възможност е да използвате спортна видеокамера с възможност за избор на честотата на кадрите, която трябва да е много голяма.

Примерно решение

Става въпрос за качествена дейност и затова не е подходящо да се представя примерно решение. Конкретният начин за изпълнение на упражнението зависи от възможностите на изпълнителя (вж. бележките и снимките по-горе).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици с увреждания

Не е необходимо експериментът специално да се променя за учениците с увреждания.

Надарени ученици

Надарените ученици сами могат да проектират конкретния експеримент, за да направят ефекта от снимките възможно най-голям.

Работен лист 3: Поведение на течностите в състояние на безтегловност**Задача**

В състояние на безтегловност общата сила, действаща върху течното тяло, е нула, така че течното тяло „плава“ в пространството. В такава ситуация и силите на повърхностното напрежение ще бъдат по-значими, тъй като в нормална ситуация те са малки и често могат да бъдат пренебрегнати. Плаващото течено тяло ще придобие форма с възможно най-малка повърхност (под въздействието на силите на повърхностно напрежение), която всъщност е сферична.

На повърхността на Земята е възможно да се наблюдава състоянието на безтегловност по време на свободно падане. Наблюдавайте състоянието на безтегловност на течността, използвайки капещите и падащи капки вода. Формата на водните капки е сферична, което отговаря на описаното по-горе. Заснемете капките с камера с кратко време на експозиция при добра светлина на контрастен фон.

Решение

Подгответе и изпълнете експеримента според заданието. Заснемете сферичната форма на водните капки с фотоапарата.

Препоръка

- Когато снимате източника на капещата вода, трябва да използвате кратко експозиционно време (1/1000 секунди или по-малко), което изисква добро осветяване и/или висока чувствителност на сензорния чип. Също така е подходящо да направите няколко серийни снимки, като по този начин ще увеличите вероятността да заснемете капките в желаната форма. Освен това е препоръчително да използвате режима за ръчно фокусиране, така че обективът винаги да е фокусиран върху равнината на падащите капки, за да не се налага повторно фокусиране.
- В резултат на посоченото по-горе, падащите капки могат да бъдат заснети с всеки един любителски фотоапарат, имащ ръчен режим на фокусиране и избор на времето за отваряне/затваряне на блендата. Но имайте предвид, че за да получите една използвана снимка, трябва да направите много, наистина много снимки.
- Друга възможност е да използвате спортна видеокамера с възможност за избор на честотата на кадрите, която трябва да е много голяма.

ОСНОВНА ОРИЕНТАЦИЯ НА НЕБЕТО: НАЙ-ЛЕСНО РАЗЛИЧИМИ СЪЗВЕЗДИЯ, ПОЛЯРНА ЗВЕЗДА, ДЪЛБОКИ ОБЕКТИ, МЕСИЕ И NGC КАТАЛОЗИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Разделянето на небето на съзвездия вероятно е продиктувано от необходимостта хората по-лесно да се ориентират по небето. Естествено е ориентирането да започва с най-характерните съзвездия, които съдържат ярки звезди или лесно различими фигури.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

звезди

Полярна звезда

небесен полюс

прецесия

съзвездие

астеризъм

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

2.1 Ориентация по небето. Полярна звезда

Една от най-важните причини да познаваме съзвездията, е за да можем да определяме по тях посоките на света. Още от дълбока древност хората забелязали, че почти всички звезди се движат по небето като за една нощ описват полукръг и сякаш обикалят около една звезда, която на пръв поглед изглежда неподвижна. Тази звезда всяка нощ, независимо от сезона или частта от денонощието, оставала на едно и също място. Това било достатъчно тази звезда да бъде основната звезда на небето и да служи на всички като днешния компас. Наречена е „Северна звезда“ или „Полярна звезда“ и днес ние знаем, че тя е винаги на север и се намира в точката, която наричаме „Северен небесен полюс“ на небесната сфера.

Полярна звезда



Фиг. 1: Околоосно въртене на звездите. Най-близката до центъра ярка звезда е Полярната звезда.

Поради „пумпалообразното“ движение на Земята (наречено прецесия) звездите, които биват най-близо до Северния небесен полюс, се менят, но за един доста дълъг период от време – в рамките на няколко века, Полярна е една и съща звезда. Днес тази „най-важна звезда“ на небето е най-ярката звезда от съзвездие Малката мечка. **Тя далеч не е най-ярката звезда на небето**, а и самото съзвездие не е от най-лесните за разпознаване особено днес в големите населени места с голямо светлинно замърсяване. Ето защо, за да се намери Полярната звезда, обикновено се използва Голямата мечка.

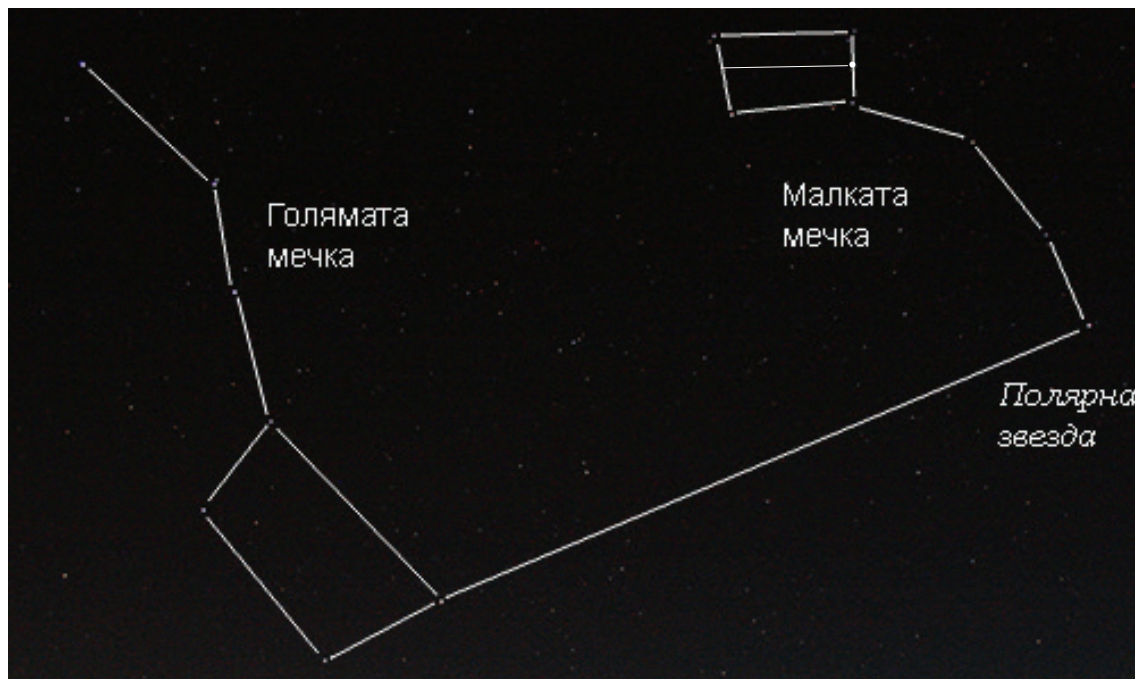
Въртене на Земята

Едва ли има човек, който да не разпознава на небето фигурата на съзвездие Голямата мечка или по-скоро на „Големия черпак“ – фигурата, съставена от седем почти еднакво ярки звезди, която българският народ (а и някои други народи) наричат „Колата“. Свързваме мислено първите две звезди от „черпака“ на Голямата

Голямата мечка

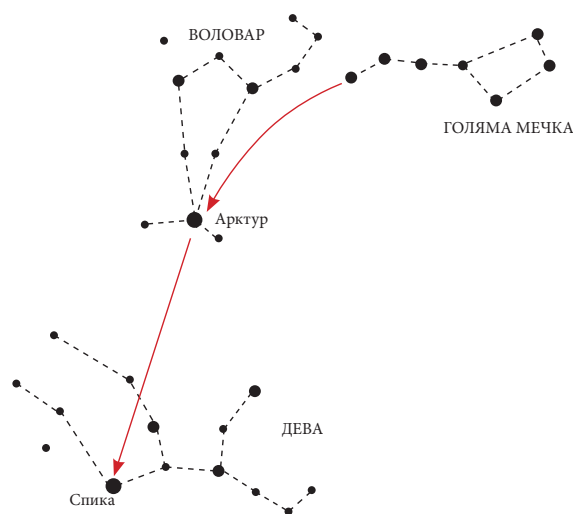
4. Откриване на Вселената

мечка, продължаваме линията нагоре от черпака, нанасяме пет пъти разстоянието между тези две звезди и така достигаем до Полярната звезда.



Фиг. 2: Правило за намиране на Полярната звезда чрез съвездието Голяма мечка.

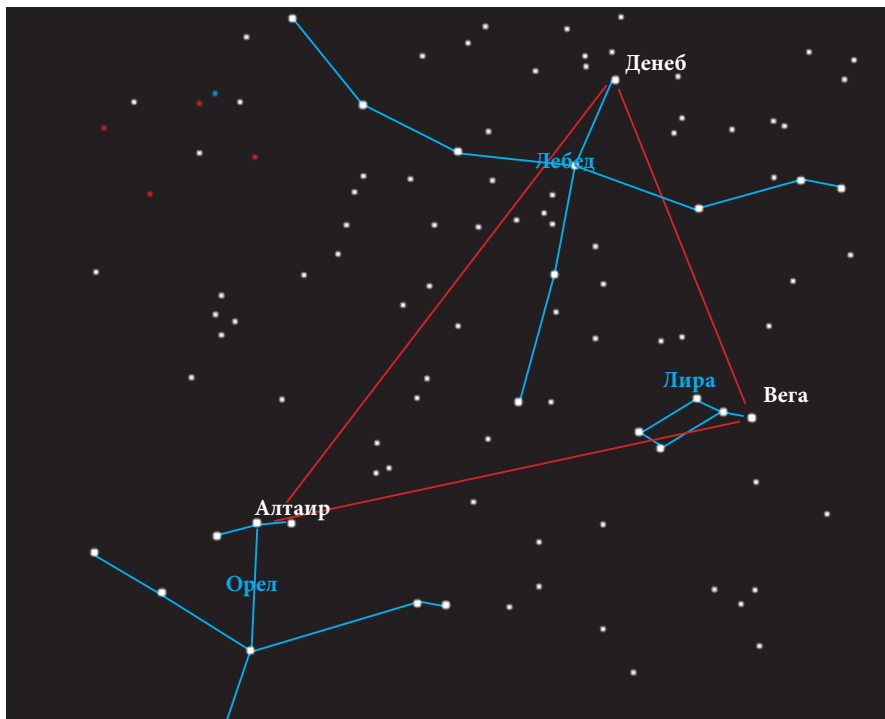
Арктур и Спика От Голямата мечка можем да намерим и една от най-ярките звезди на небето – Арктур от съвездието Воловар. До нея се достига като продължим дъгата на „дръжката на черпака“. Ако продължим още тази дъга стигаме и до друга много ярка звезда – Спика от съвездието Дева. Но за да видим Дева, е необходимо да бъде пролет. А тогава високо над хоризонта са и другите красиви пролетни съвездия – Северна корона с ярката звезда Гема и небесният герой Херкулес. Друго съвездие през този сезон, което има не една, а две ярки звезди (Ригел и Денебола) е зодиакалното съвездие Лъв.



Фиг. 3: Правило за намиране на звездата Арктур от съвездието Воловар и на звездата Спика от съвездието Дева чрез съвездието Голяма мечка.

През лятото е най-добре ориентацията по небето да започне от един друг много популярен астеризъм – Летния триъгълник. Той свързва най-ярките звезди от три красиви съзвездия – Вега от съзвездието Лири, Денеб от съзвездието Лебед и Алтаир от съзвездието Орел. Съзвездието Лири представлява един ромбоид от почти еднакво ярки звезди, като Вега е близо до една от звездите на ромбоида. За да си представим един Лебед в полет от звездите на това съзвездие не е необходимо много въображение. Ярката звезда Денеб е в опашката на Лебеда, шията му се точи по дължината на Млечния път, а крилата му са напречно на шията, образувайки кръст, което е дало повод българският народ да нарича това съзвездие „Кръста“. „Северния кръст“ е и популярен астеризъм сред много други народи.

Астеризъм
„Летен
триъгълник“

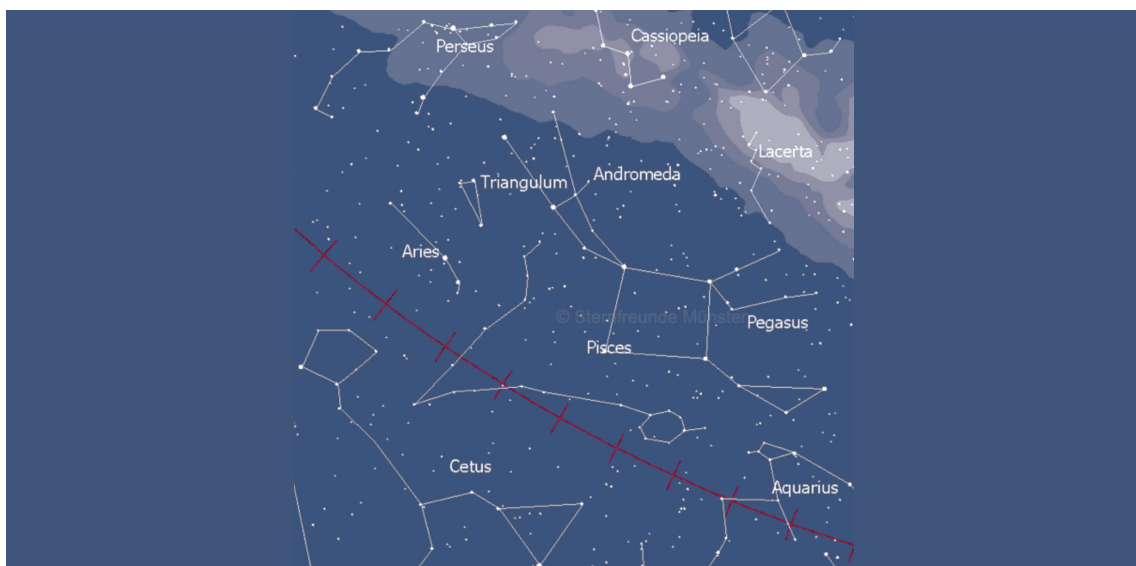


Фиг. 4: „Летния триъгълник“, съставен от трите ярки звезди – Вега от съзвездието Лири, Денеб от съзвездието Лебед и Алтаир от съзвездието Орел.

Съзвездието Пегаз е естествен ориентир на есенното звездно небе. „Големият квадрат“ – астеризъм на Пегаз се намира сравнително лесно на небето. От неговата най-близка до северния полюс звезда започва съзвездието Андромеда. Всъщност тази звезда принадлежи на Андромеда, въпреки, че мислено я свързваме в квадрата, чиито други три звезди са от Пегаз. Андромеда се асоциира с една дъга от три еднакво ярки звезди, а на някои карти и с две дъги, излизащи от „Квадрата“. Под дъгата на Андромеда можем да видим малките съзвездия Триъгълник и Овен, а още по-надолу, обграждащи половината „Квадрат“, се простират Рибите. Ако още малко продължим основната дъга на Андромеда, достигаем до съзвездието Персей. То има формата на гръцката буква λ, но може би по-интересното за него е, че в двата му края има ярки звездни купове. От неговия северен край се виждат като „размазани петънца“ звездните купове χ и ѱ. От южния му край е яркият и много впечатляващ звезден куп Плеяди. Но Плеяди е част от съзвездието Бик, което значи, че там трябва да намерим и характерната фигура на това зодиакално съзвездие с най-ярка звезда – оранжевата Алдебаран.

Астеризъм
„Голем квадрат“

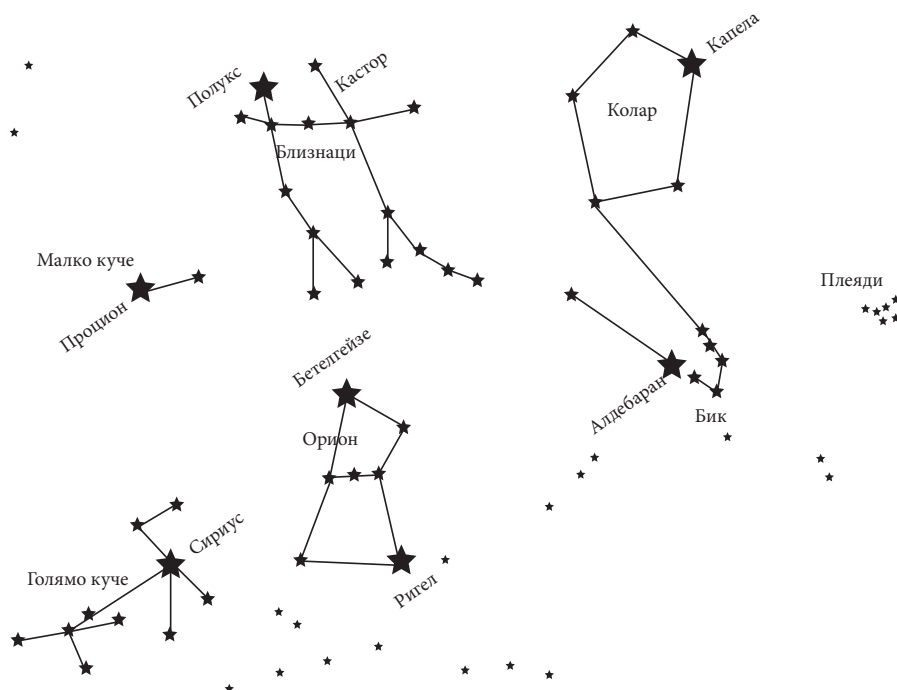
4. Откриване на Вселената



Фиг. 5: „Есенното звездно небе“ със съзвездията Пегас, Андромеда, Персей, Риби, Овен, Триъгълник и др.

Зимен триъгълник

Така постепенно достигахме до зимното звездно небе, което много хора смятат за най-красивото небе. Ако излезем в студена, но безоблачна зимна вечер навън, няма начин да не ни завладее могъщата фигура на небесния ловец Орион. Някои оприличават тази фигура на пясъчен часовник, други буквално „виждат“ фигурата на ловец, който в дясната си ръка държи боздуган, високо вдигнат над рамото му (червената звезда Бетелгейзе), в лявата ръка (звездата Белатрикс) държи лъвска кожа за щит, виждат пояса, съставен от три еднакво ярки и еднакво отдалечени една от друга звезди, мечът, който виси от пояса и краката на гиганта, в които блестят звездите Ригел и Саиф. Звездата Бетелгейзе е част и от един друг астеризъм, наречен „Зимен триъгълник“. Другите две звезди са най-ярката звезда на небето – Сириус от съзвездието Голямо куче и звездата Процион от съзвездието Малко куче. Тази част от небето, през която се простира и Млечния път (нашата Галактика), е осеяна и с други ярки звезди – Полукс и Кастор от съзвездието Близнаци и звездата Капела от съзвездието Колар.



Фиг. 6: Зимните съзвездия Орион, Голямо куче, Малко куче, Близнаци, Бик и Колар.

2.2 Имена на звезди.

Опознавайки небето с помощта на съзвездията, ние научаваме и имената на звездите. Но имена имат само малка част от тях – около 300 от най-ярките или най-интересните и важни звезди. Както съзвездията носят имена, свързани с фигурата, образувана от най-ярките им звезди, така и самите звезди са назовани предимно на мястото, което заемат в съзвездието. Примерите за това са много: Денеб на арабски означава опашка и тази звезда наистина е в опашката на Лебеда; Денебола („опашката на Лъва“ на арабски) се намира в опашката на Лъва, а Регул, което от латински означава „царствен“ е най-ярката звезда на Лъв; Алдебаран (също от арабски) означава „окото на бика“, където се намира тя във фигурата на Бик.

Интересното в случая е, че разделението на небето на днешните съзвездия основно идва от Египет, древните гърци запазват тези фигури, но дават имена на съзвездията, които са свързани с техните легенди и митове; а повечето имена на звездите са от арабски произход и въпреки това отговарят в повечето случаи на местоположението им в съзвездието.

2.3 Мъгляви (дълбоки) обекти. Каталог на Месие

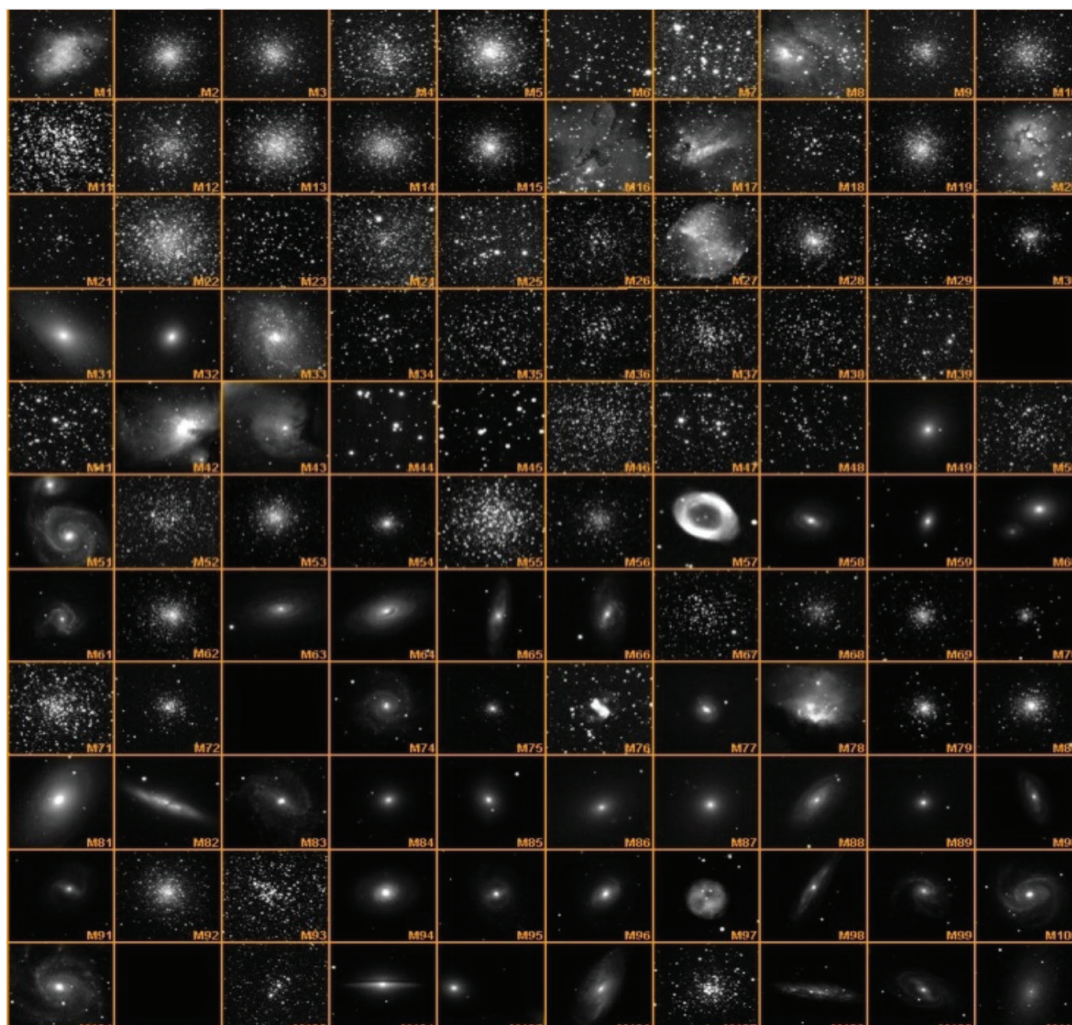
Естествено е да обръщаме най-голямо внимание на най-ярките звезди, но те далеч не са единствените интересни обекти на небето. С телескоп могат да се видят още безброй по-слаби звезди, могат да се видят малки планети, спътници, астероиди, комети. Така, докато търсел да открие нови комети, един френски астроном на име Шарл Месие забелязал, че на небето има неподвижни мъгляви обекти, които приличали на комети. Тогава той започнал да ги номерира и отбелязва на своите звездни карти. Така възникнал прочутият „Каталог на Месие“. Той съдържа в окончателния си вариант 110 такива „мъгляви“ или „дълбоки“ обекти. Днес ние разделяме тези обекти на звездни купове, мъглявини и галактики и те са предмет на особен интерес и сред професионалните, и сред любителите астрономи.

С усъвършенстването на телескопите са открити още хиляди такива обекти, което наложило създаването на други, много по-пълни и прецизни каталози, познати като Caldwell Catalogue, NGC (New General Catalogue), IC (Index Catalogue) и др.

Каталогът на Месие е първият каталог на астрономически обекти от дълбокия Космос, съставен и публикуван от френския астроном Шарл Месие през 18 век. Обектите са били наблюдавани и описвани от Месие и от неговия приятел и помощник Пиер Мешен.

**Каталог
на Месие**

4. Откриване на Вселената



Фиг. 7: Обекти от Каталога на Месие.

В каталога са включени различни астрономически обекти, измежду които спирални и елиптични галактики (39), мъглявини (7), планетарни мъглявини (5), разсеяни и кълбовидни звездни купове (55). Обектите в него не са подредени нито по вид, нито по местоположение. Номерата са давани по-скоро по реда на наблюдение или откриване на обекта. По-късно в чест на Месие каталогът бива наречен „Каталог на Месие“, а обектите се означават с буквата „М“ и поредния им номер в него (от М1 до М110).

Тъй като Месие живял и извършвал астрономическите си наблюдения във Франция, каталогът съдържа единствено обекти, разположени между северния небесен полюс и небесна ширина около -35° . Наблюденията си Месие правил с бинокли или малки телескопи, което при съвременното ниво на астрономическата техника прави обектите лесно достъпни за наблюдение и от днешните любители-астрономи. Почти всички от обектите в каталога са и сред най-близките до Земята представители на своите класове, поради което са и много добре изследвани от професионалните астрономи.

2.4 ШАРЛ МЕСИЕ /любопитна информация/ (1730 – 1817 г.)



ШАРЛ МЕСИЕ е френският астроном, съставител на известния „Каталог на Месие“. Месие е роден на 26 юни 1730 година в Бадонвийе, Франция.

Интересът му към астрономията бил пробуден от две последователни събития: появата на голяма комета с шест опашки през 1744 г. и пръстеновидното слънчево затъмнение на 25 юли 1748. Първото документирано наблюдение, което Месие прави, е на пасажа на Меркурий на 6 май 1753 г.

През 1764 г. Месие става член на Кралското общество. През 1769 г. е избран за чуждестранен член на Шведската кралска академия на науките. На 30 юни 1770 г. е избран за член на Френската академия на науките. Мечтата на Шарл Месие била да стане известен като открие комета. Уви, когато Шарл гледал през телескопа си, той често виждал размазани обекти на небето, които вече били познати (и не били комети). Затова той решил да си спести малко време и всеки път, когато откриел мъгляв обект, който не се движел по небето (кометите се движат), той го отбелязвал.

През 1774 г. Месие публикува в списанието на Френската академия на науките първата версия на своя каталог, съдържащ 45 обекта, сред които мъглявини и звездни купове. До 1781 г., списъкът нараства до 103 обекта. Целта на каталога била да помогне на астрономите и „ловците“ на комети (какъвто е бил самият Месие) да различават преходните от постоянните небесни обекти. Въпреки че е открил 13 комети през живота си, Шарл Месие остава известен със своя каталог! И до днес каталогът се използва както от любители, така и от професионални астрономи. На 12 април 1817 г. Месие умира в дома си в Париж. Погребан е в гробището Пер Лашез. В чест на Шарл Месие са кръстени кратер на Луната и астероида 7359.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Работа с компютърна програма или приложение за смартфон тип планетариум

В зависимост от възможностите е добре учителят да покаже на учениците най-елементарните възможности на някоя безплатна компютърна програма от типа „планетариум“ – например Stellarium. С нейна помощ могат да се демонстрират описаните в урока ориентации по съзвездията.

4. Откриване на Вселената

След това учениците могат да инсталират на мобилните си устройства (телефони или таблети) безплатно приложение от типа „звездна карта“ – например SkyMap, SkySafari и др . Поставя се задача на учениците да намерят с кои съзвездия граничи съзвездието Малка мечка. С тази програма учениците могат да се запознаят и с имената на най-ярките звезди от отделните съзвездия.

Учениците могат да се разделят на групи и да разгледат съзвездиата на зимното, пролетното, лятното и есенното небе.

Практическо упражнение 2: Имена на звезди

Учениците трябва да попълнят в следната таблица липсващите имена на съзвездия или звезди. Това може да го направят отново с компютърна програма, приложение за телефон или печатна звездна карта в зависимост от възможностите и наличната материална база.

СЪЗВЕЗДИЯ	НАЙ-ЯРКА ЗВЕЗДА В СЪЗВЕЗДИЕТО
Лира	
Голямо куче	
Лебед	
	Капела
Бик	
Лъв	
Дева	
	Бетелгейзе
Скорпион	
	Процион

Отговор

СЪЗВЕЗДИЯ	НАЙ-ЯРКА ЗВЕЗДА В СЪЗВЕЗДИЕТО
Лира	Вега
Голямо куче	Сириус
Лебед	Денеб
Колар	Капела
Бик	Алдебаран
Лъв	Регул
Дева	Спика
Орион	Бетелгейзе
Скорпион	Антарес
Малко куче	Процион

Практическо упражнение 3: Месие обекти

На учениците се показват снимки на обекти от каталога на Месие. Това може да стане с помощта на компютър (и мултимедиен проектор) или чрез разпечатани на цветен принтер снимки на „дълбоки обекти“. Те имат задачата да познаят дали обектът е мъглявина, звезден куп или галактика.

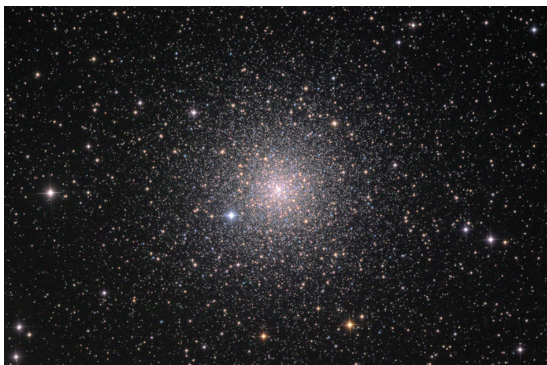
Добре е на учениците да се обърне внимание и след това те сами да могат да разпознават поне една галактика – Галактиката „Андромеда“ (M31), поне една мъглявина – мъглявината „Орион“ (M42) и поне един звезден куп – звездния куп „Плеяди“ (M45).

GALAXIES

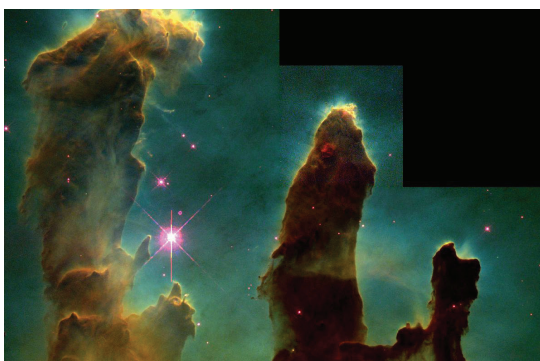
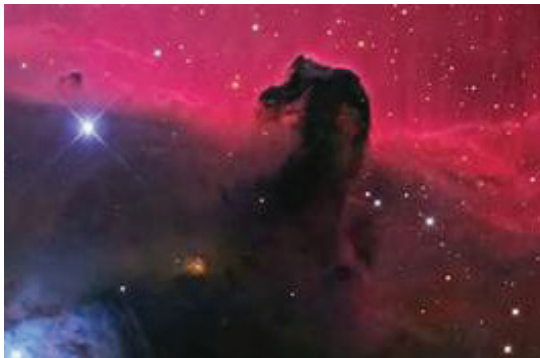


4. Откриване на Вселената

STAR CLUSTERS



NEBULAE



*Източници: earthsky.org; damianpeach.com;
astro-cabinet.com; space.com;
wikipedia.org; nasa.gov.*

ИЗМЕРВАНЕ НА ВРЕМЕТО (ВРЕМЕ, ЧАСОВЕ)

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на времето е тема, която се среща в учебните програми на началното училище, а в най-основната си форма - още в първите класове. Астрономическите знания, на които се основава измерването на времето, се разделят според развитието на интелектуалните възможности на децата с възрастта в учебния план през следващите години, практически през цялото основно училище.

1.1 Ключови думи

Слънце, звезда, Земя

сезони, ден и нощ

фази на Луната, наклон на оста на Земята, звездно време

истинско слънчево време, средно слънчево време

световно време, часови зони, централноевропейско време,

източноевропейско време

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

2.1 Истинско слънчево време и средно слънчево време

Астрономически явления позволяват на хората да разделят непрекъснатия поток от време на различни отсечки, но като цяло на по-дълги периоди от време. За това разделяне могат да бъдат използвани различни астрономически обекти, но Слънцето и Луната са най-отличителните сред тях - от гледна точка на наблюдателите. С течение на времето са търсени връзките между основните единици на времето, получени от движението на астрономически обекти по небето, и са създадени първите календари. В същото време, стойностите на основните единици за време са подобрявани успоредно с по-задълбоченото разбиране на астрономическите явления и процеси, което довежда до въвеждане и на допълнителни единици за времето. Развитието на индустрията довежда до изобретяването на различни устройства за измерване на времето - на часовниците - и едновременно с това води до необходимостта от въвеждане на по-точно измерване на времето, особено в областта на по-кратките времеви интервали.

Както споменахме по-горе, най-яркото космическо тяло на небето е Слънцето. Движението на Слънцето по небето разделя непрекъснатото време на редуващи се дни и нощи. Това разделение на времето обаче е доста общо, което е довело до нуждата те да се разделят на по-къси времеви интервали. Отделните времеви интервали могат да бъдат определени от различното положение на слънчевия диск на небето. Това наблюдаване на времевите интервали обаче не е напълно оптимално, тъй като зависи от местоположението на наблюдателя (например, положението на Слънцето над изолирано дърво може да се случи в различно време на деня за наблюдателите на различни места). Оказва се, че е по-подходящо да се наблюдава сянката на пръчка, забита в земята. Това създава първия елементарен (от наша гледна точка - гномоничен) слънчев часовник.

Слънцето
и измерването
на времето

Времето, измервано със слънчев часовник, се базира на движението на слънчевия диск по небето (или по-точно на въртенето на Земята около оста ѝ спрямо Слънцето) и се нарича истинско слънчево време. Истинското слънце се определя като център на истинския слънчев диск в небето. Истинското слънчево време се определя от ъгъла на Слънцето и се разделя на слънчеви дни и слънчеви часове. Едно слънчево денонощие е времето, което изтича при едно пълно завъртане на Земята около оста ѝ, тоест времето между две преминавания на Слънцето през определен меридиан. Той може да се определи и като времето между две последователни максимални издигания на истинското слънце. Тъй като движението на Слънцето по небето е неравномерно, продължителността на истинския слънчев ден варира през годината. Слънчевият ден следователно не е съвсем оптимален за ежедневието ни и затова използваме времето, получено от средното слънчево време, което е равномерно.

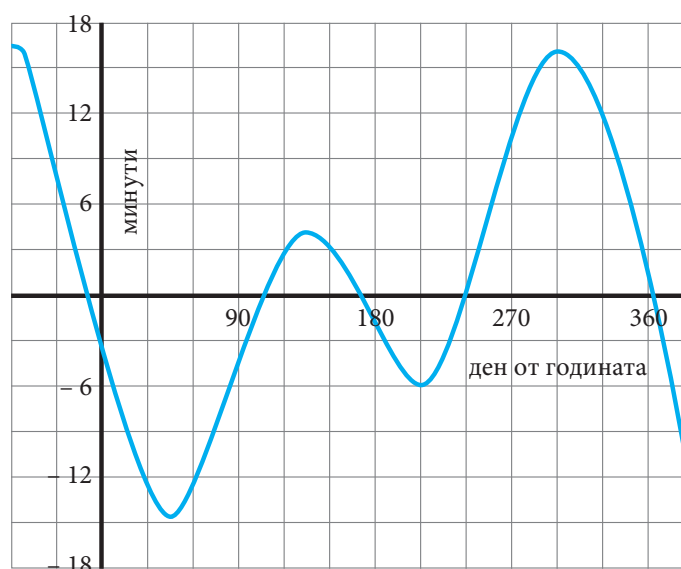
Истинско
слънчево време

Има две причини за неравномерността на истинския слънчев ден: първо, елиптичността на земната орбита около Слънцето и второ, наклонът на земната ос (тази причина, макар и споменавана като втора, е по-важна за неравномерността). Най-краткият истински слънчев ден настъпва на 16 септември и е с 21 секунди по-кратък от средния истински слънчев ден, докато най-дългият истински слънчев ден настъпва на 22 декември и е с 30 секунди по-дълъг от средния истински слънчев ден.

4. Изследване на вселената

Докато разликата в измерването на времето от порядъка на няколко десетки секунди не е било от значение за човечеството (и особено докато тя не е била отчитана от тогавашните часовници), практическото използване на истинския слънчев ден е било безпроблемно. Това време обаче е приключило с разработването на по-точните методи за измерване на времето. Тогава настъпва истинската нужда от използването на равномерно течащо време, но такова, при което да не се променя продължителността на слънчевия ден. **Така се поражда средното слънчево време (осредненото истинско слънчево време), което през годината съдържа същия брой секунди като истинското слънчево време, но тече равномерно.**

Средно слънчево време Можем да кажем, че средното слънчево време е **часовият ъгълът на т. нар. средно екваториално слънце**. Средното екваториално слънце е въображаема точка, която се движи равномерно по екватора в същата посока като истинското слънце по еклиптиката и се среща с истинското слънце в пролетната равноденствена точка. В допълнение, съществува и друго средно слънце, което също се движи равномерно по небето, но се среща с истинското слънце в перихелия и афелия. От посоченото по-горе става ясно, че така определеното средно слънчево време не е напълно практично, за да бъде определяно от движението на Слънцето, тъй като средното екваториално слънце е просто една въображаема точка. Затова на практика средното слънчево време се определя от звездното време, за което ще говорим по-късно. Дори средното слънчево време не е напълно константно, особено в случаите на дългосрочни измервания, превишаващи няколко века (или в случаите на значими промени, причинени например от земетресения, въздействия на метеорити върху земната повърхност и други подобни явления). Тъй като понастоящем сме в състояние да измерваме времето с безпрецедентна точност, сме в състояние да отчетем дори такива, съвсем леки отклонения. Средният слънчев ден е с продължителност от около 86 400,002 секунди и е дефиниран в системата SI.



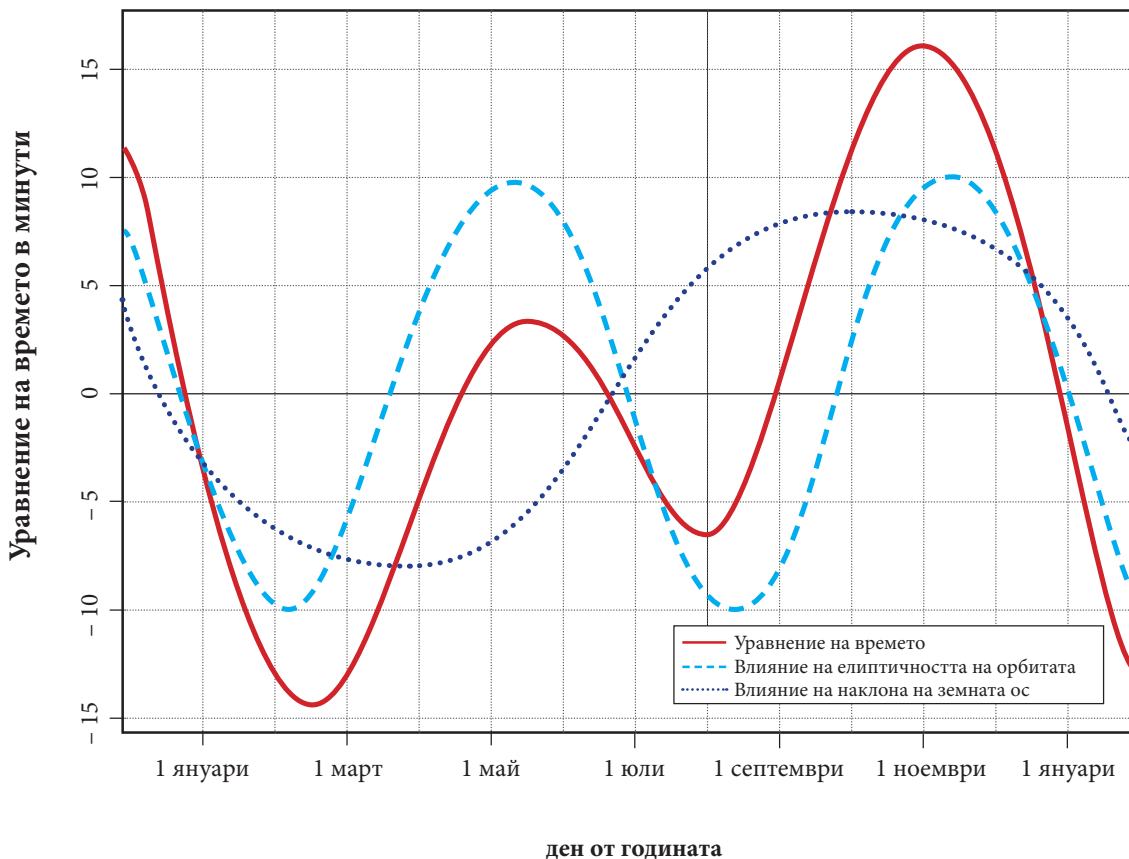
Фигура 8: Уравнение на времето

(Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Equation_of_time.svg)

Уравнение на времето Между истинското слънчево време и средното слънчево време през годината има редовни разминавания, които се описват с физическа величина, наречена уравнение на времето. Тя е равна на разликата между двете времена: $\Delta t = t_p - t_s$, където t_p е истинското слънчево

време, а t_s е средното слънчево време. Приложената графика илюстрира зависимостта на уравнението на времето от деня в годината. Тъй като разликите между истинските слънчеви дни и средните слънчеви дни постепенно се натрупват, най-голямата стойност на уравнението на времето е +16,4 минути (истинското слънчево време закъснява от средното слънчево време с 16,4 минути) – това се случва на 3 ноември. Най-малката стойност на уравнението е -14,4 минути (истинското слънчево време изпреварва средното слънчево време с 14,4 минути) – това се случва на 12 февруари.

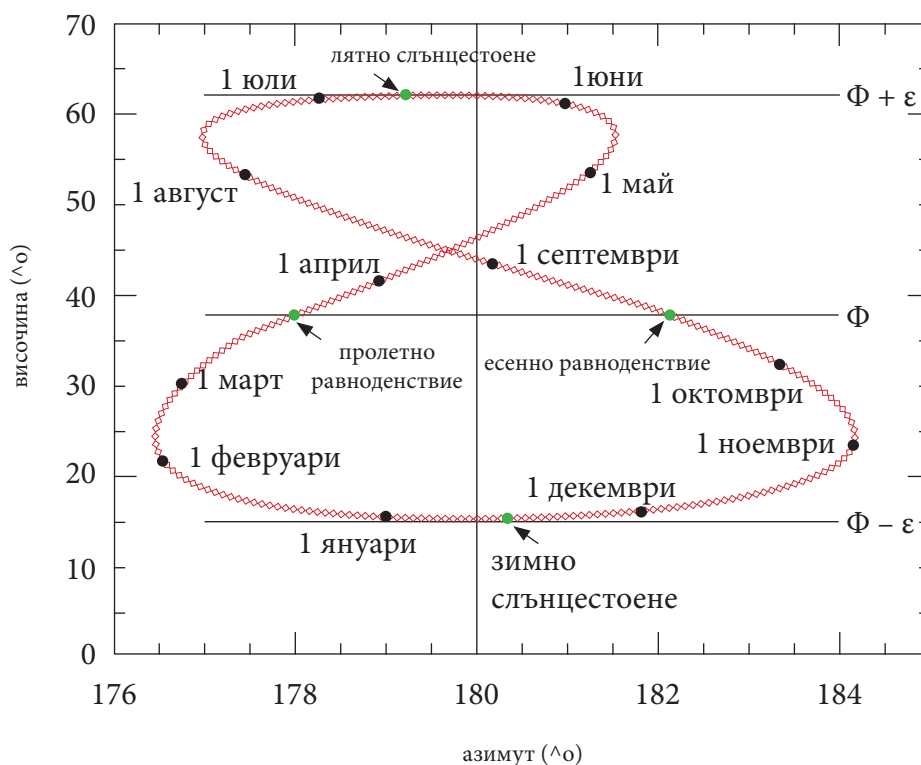
Уравнение на времето: Истинско слънчево време – средно слънчево време



Фигура 9: Уравнение на времето: истинско слънчево време, средно слънчево време
(Източник: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Zeitgleichung.png>)

Ако през годината редовно записваме положението на Слънцето на небето в едно точно определено време, например по обяд, ще забележим, че Слънцето не се движи по права линията (поради разликата между средното слънчево време и истинското слънчево време), а описва една много по-сложна осем-образна крива, наречена „аналема“ (вж. фигурата). Разликата между истинското слънчево време и средно слънчевото време е в основата и на словашката народна поговорка „Света Лучия отнема от нощта, но не прибавя към деня“, която на пръв поглед изглежда нелогична. Обяснението е свързано с факта, че на празника на св. Лучия (13-ти декември) Слънцето залязва най-рано от цялата година (малко преди 16 часа), т.е. след празника на св. Лучия залезите се придвижват обратно след 16 часа, но тъй като по-късният изгрев на Слънцето идва чак в началото на януари (през декември забележимо се измества момента на обета от порядъка на няколко минути), „най-краткият бял ден“ не се пада на празника на св. Лучия, а се съкращава чак до деня на зимното слънцестоене, т.е. до 20-ти или 21-ви декември.

4. Изследване на вселената



Фигура 10: Аналема

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Analemma_Earth.png)

Дори средното слънчево време не тече напълно равномерно. Основната причина за това е неравномерността на въртенето на Земята, причинена от краткотрайни извънредни процеси на Земята, като земетресения, падане на космически обекти върху нея и др., както и систематичното забавяне на въртенето на Земята с по 0,017 s за един век, което се дължи на приливното действие на Луната, което едновременно с това намалява и нейното сплескване. Става въпрос за много малки въздействия, така че трябва да ги вземаме предвид единствено тогава, когато са необходими точни данни за времето или в случаите на дълги интервали от време.

2.2 Звездно време

Докато слънчевото време се определя от въртенето на Земята спрямо Слънцето, **звездното време се определя от въртенето на Земята спрямо далечни звезди**. Тъй като Земята, освен че се върти около оста си, също така се върти около Слънцето. Поради това положението на Слънцето между звездите през годината се променя (от гледна точка на земния наблюдател). Следователно, слънчевото време и звездното време се различават едно от друго. В астрономията то се определя като часови ъгъл на пролетната точка, тоест на точката с нулева ректасценция. Ако пролетната точка преминава през местния меридиан, „времето“ е точно 0 часа местно време. Звездното време тече малко по-бързо от слънчевото време. Следователно, един звезден ден е малко по-кратък от един слънчев ден; той е равен на 23 ч. 56 мин. и 4.09 сек. средно слънчево време. Звездното време може да се проследи от положението на съзвездията в небето, така както е показано на следващата фигура.



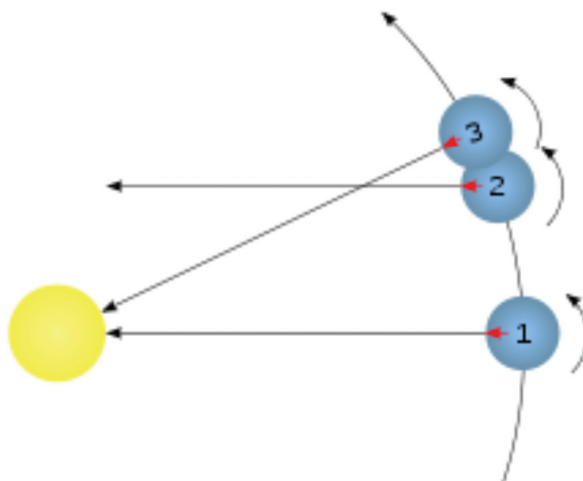
Фигура 11: Звездно време

(Източник: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grosserwagenmitzeigerz.jpg>)

Разликата в дължината на звездното време и слънчевото време може да бъде показана на приложената схематична фигура (размерите на обектите, техните разстояния и ъглите между позициите им не си отговарят). Да започнем от позицията на Земята, маркирана с числото 1. Земята се движи около Слънцето приблизително по кръг (става въпрос за елипса, която е малко по-различна от окръжността) и в същото време Земята се върти около собствената си ос. Посоката на движение на Земята по орбитата около Слънцето и посоката на въртене на Земята са еднакви (моментите на импулса и на двете движения имат една и съща ориентация). След като Земята се завърти на 360 градуса около оста си, тя достига позиция 2. Между позиции 1 и 2 е изминал един звезден ден. За земния наблюдател обаче Слънцето обаче все още не се намира в същото положение, както в позиция 1. Чак след по-нататъшно движение на Земята около Слънцето и завъртане около оста си, Земята достига позиция 3, където за земния наблюдател Слънцето е в същото положение като в позиция 1. Между позиции 1 и 3 е изминал един слънчев ден. Следователно, става ясно, че слънчевият ден е по-дълъг от звездния ден.

Фигурата показва ъгъла между векторите на положението в позиции 1 и 3, което съответства на един слънчев ден. Тъй като годината е приблизително 365 дни, а окръжността съответства на ъгъл от 360 градуса, всеки ден Земята, движейки се около Слънцето, изминава разстояние от един ъгъл, който е приблизително равен на 1 градус (по-точно ъгъл, който е малко по-малък, и равен на $360/365$ градуса). С един градус още Земята трябва да се завърти около оста си, за да настъпи един слънчев ден. Затова един слънчев ден е по-дълъг с времето, необходимо за завъртане на Земята с един градус, тоест с 4 минути ($1/360$ от деня е равно на $24 \cdot 60/360$ минути, което е 4 минути). Тъй като ъгълът е малко по-малък от 1 градус (както посочихме по-горе той е равен на $360/365$ градуса), разликата между звездния ден и слънчевия ден е малко по-малка от изчислените 4 минути (тя е 3 минути и 55,91 секунди средно слънчево време или 3 минути и 56,555 секунди слънчево време).

4. Изследване на вселената



Фигура 12: Звездно денонощие

(Източник: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sidereal_day_\(prograde\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sidereal_day_(prograde).svg))

Международно споразумение предвижда, че слънчевото време и звездното време имат една и съща стойност в момента на есенното равноденствие.

Забележка: В допълнение към гореспоменатите времена, астрономите използват и други времена, които са още по-точни и лишени от всякакви влияния, пречещи на постоянното и непрекъснато течение на времето.

2.3 Световно координирано време

Меридианът на Железния остров Слънчевото време е различно за различните места на Земята, тъй като Слънцето изгрява и залязва на различните места по различно време (обядът настъпва по различно време). По-точно казано, за всеки един земен меридиан важи различно време. Въпреки това обаче, не би било практично да има различно време за всяко едно място на Земята. Поради това е било взето решение да се използва едно и също време за по-големите области. От решаващо значение е било да се постигне споразумение за това къде на Земята ще се измерва т. нар. начално (главно или нулево) време. Първоначално, за най-оптимална точка е бил използван най-западният остров на Канарските острови - Железният остров (остров Ферро, от лат. дума „ferrum” – „желязо”).

Този остров е бил предложен още от Клавдий Птолемей през 150 г. сл. Хр., тъй като всички места са били източно от този меридиан, и по този начин географската дължина е могла да бъде изразявана с положителни числа. На практика това е направено едва през 1634 г. от френския крал Луи XIII въз основа на срещи с най-важните европейски астрономи и географи. Впоследствие той наредил да се преправят всички карти във Франция, като се съобразят с избора на Меридиана на Железния остров като начален (главен или нулев) меридиан. **Това е било валидно не само за Франция, но и за почти цяла Европа (с изключение на Англия).**

Гринуички меридиан Меридианът на Железния остров е използван като начален (главен или нулев) меридиан във Франция до 1792 г., когато е бил заменен от Парижкия меридиан. На други места в Европа Меридианът на Железния остров е използван чак до 1884 г., когато с друго международното споразумение за начален меридиан е бил избран Гринуичкият меридиан, преминаващ през обсерваторията в английския град Гринуич. За избора на този меридиан, използван в Англия като начален меридиан още от 1721 г., голяма роля е

изиграло обстоятелството, че меридианът е преминавал през обсерваторията, което е позволявало по-точно измерване на времето. Постигането на глобално съгласие за един общ начален меридиан е било много важно, защото дотогава на практика почти всяка голяма държава си била създала свой собствен начален меридиан. Например Португалия определяла географските ширини от остров Терсейра, Испания - от град Толедо, Франция (както бе споменато по-горе) - от град Париж, Холандия - от остров Тенерифе, Дания - от град Копенхаген, Италия - от градовете Рим или Пиза, Русия - от град Санкт Петербург (или по-точно от обсерваторията в Пулково) и т. н. Начални меридиани били и меридианите, пресичащи Йерусалим и Филадельфия.

Определянето на **Гринуичкия меридиан за официален начален меридиан** е било решено на специална конференция (Международна конференция за меридиана – англ. International Meridian Conference), организирана по инициатива на президента на САЩ Честър Артър през октомври 1884 г. във Вашингтон с участието на 41 делегати от 25 държави. По онова време две трети от всички кораби вече са използвали този меридиан като начален (английският астроном сър Джордж Ери е държал той да бъде спазван от английските кораби още от 1851 г.). В подкрепа на Гринуичкия меридиан на споменатата конференция са гласували представителите на 22 държави, Франция и Бразилия са се въздържали, а остров Хаити (тогавашният Сан Доминго) е гласувал против.

Освен установяването на началния меридиан, на конференцията са били приети и други заключения относно времето, като например, че основната универсална единица за време ще бъде средният слънчев ден, започващ в полунощ. Нулевият меридиан дълго време е бил символизиран от месингова лента в двора на обсерваторията в Гринуич, а по-късно е била заменена с лента от неръждаема стомана, а от 16 декември 1999 г. меридианът се отчита със зелен лазер, насочен на север към нощното небе на Лондон. Въпреки това, GPS устройствата в Гринуич показват, че лентата на нулевия меридиан в Гринуич не е с точно нулева дължина, а е на 102.478 м от меридиана (Гринуички меридиан е разположен на 5.3” западна дължина), което произтича от най-новият анализ от 2015 г. и по-специално, от това, че наклонът на вертикалата, измерена от равнината на земната повърхност на даденото място, не е равна на 90 градуса. Отчетени са и други явления, но тяхното влияние е по-малко значимо.

Времето, от което е определено гражданското време, използвано в цял свят, се нарича **Координирано универсално време** (UTC - Coordinated Universal Time). Координираното универсално време следва **Средното време по Гринуич** (GMT - Greenwich Mean Time) За разлика от Средното време по Гринуич, което се определя от видимото движение на небесните обекти, следователно от движението на Земята спрямо отдалечени небесни космически обекти (звезди, квазари), Координираното универсално време е свързано с **Международното атомно време** (TAI – Temps Atomique International), т. е. с времето, измервано с атомен часовник. Тъй като разликата между Координирано универсално време и Централно слънчево време е приблизително една секунда, тази разлика се елиминира чрез въвеждане на т. нар. високосна секунда в полунощ на 30 юни срещу 1 юли, съответно в полунощ на 31 декември срещу 1 януари (за последен път високосната секунда е добавено в полунощ на 31.12.2016 г. срещу 01.01.2017 г.). Основната систематична причина за разликата между двете

Координирано универсално време

4. Изследване на вселената

времена е забавянето на въртенето на Земята около оста и, и следователно високосните секунди винаги се прибавят, но теоретично е възможно и високосната секунда да бъде премахната. Общата разлика, нарастваща още от 1972 г., когато разликата е била 10 секунди, до 2019 г., е достигнала 37 секунди (в този времеви интервал са били прибавени 27 високосни секунди).

Забележка: За да се направи т. нар. световно време (UT – Universal Time, Greenwich Mean Time) още по-точно, на 1 януари 1956 г. са въведени няколко системи от световно време, в зависимост от това какви неравенства компенсират.

- Най-простата версия на световното време е **UT0**, определено за Гринуич от астрономически наблюдения на ежедневните движения на звездите, Луната, спътниците и извънгалактичните радио-източници (особено квазарите). Тази система от време не включва никакви компенсации.
- Основната система за световно време се нарича **UT1**. За разлика от UT0, тя компенсира движението на земните полюси водещо до промени в позициите на отделните меридиани. Определя се от въртенето на Земята по отношение на далечни небесни обекти. Подобно на системата UT0, и UT1 е неравномерна поради неравномерността на въртенето на Земята. Неточността ѝ е 3 ms на ден.
- Подтип на системата UT1 е времето **UT1R**, с което се компенсират нередностите във въртенето на Земята поради различни приливни събития (приливи и отливи), т.е. нередности с период, по-малък от 35 дни.
- Друга времева система е системата **UT2**, в която поради системата UT1 се компенсират нередностите, породени от въртенето на Земята през годината. Понастоящем обаче тази система не е толкова разпространена.
- Подтип на системата UT2 е времето **UT2R**, при което се компенсират ротационните нередности на Земята поради различни приливни явления (приливи и отливи). Нередностите в UT2R, следователно, се причиняват само от непредсказуеми промени в скоростта на въртене на Земята поради настъпили промени в тектониката на земните плочи, земетресения, но също така и поради други значителни масови движения в земната мантия, движение на водата в океаните (цунами) или на въздуха в земната атмосфера.
- За измерването на времето е от съществено значение гореспоменатото координирано универсално UTC време, което, за разлика от всички гореспоменати системи, не отчита неравномерностите във въртенето на Земята, което е свързано с Международното атомно време TAI. Координираното универсално време UTC се определя от измерванията на времето в много национални лаборатории за време, оборудвани с атомни часовници; от тези измервания Международното бюро за мерки и теглилки (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) за основно е определило точно времето UTC, тъй като атомните часовници могат да се различават един от друг само с няколко наносекунди.

Забележка: В допълнение към Координираното универсално време се използва и „по-бързата“ предварителна стойност на времето UTCr (UTC rapid).

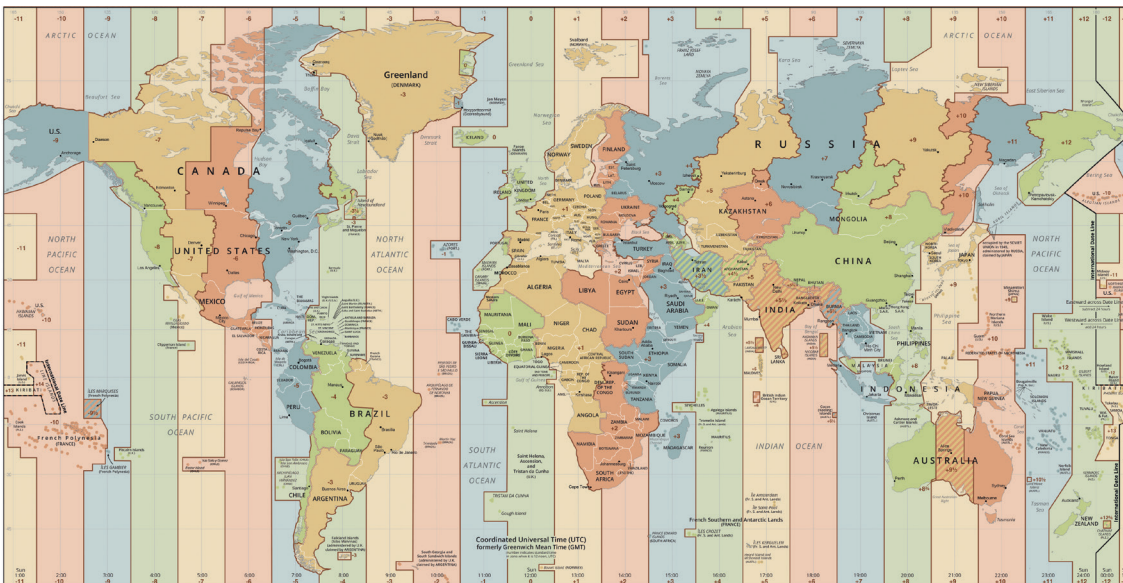
Високосната секунда е разликата между Координираното универсално време и Универсалното време UT1. Ако разликата между тях се увеличи на 0,9 секунди, се взема решение да се вмъкне (или премахне) една секунда в полунощ на 30 юни или на 31 декември, както беше посочено по-горе. Интересното е, че системата GPS не използва прибавянето на високосни секунди. По този начин разликата между UTC и UT1 все още съответства на 19 секунди, така както е било още през 1980 г. Всичко това обаче се компенсира от софтуерите в GPS-приемниците.

2.4 Часови зони

На различни места по Земята Слънцето изгрява по различно време. Затова е въведено решение, отчитащо този факт. **Решението се нарича система от часови зони или пояси.**

Основата за въвеждане на система от часови зони по начина, по който я познаваме днес, е представата, че ако се движим с по 15 градуса на изток по Земята (пренебрегвайки полярните региони), то Слънцето ще изгрява с по 1 час по-рано. Това може да се докаже с едно просто изчисление: 360 градуса съответства на 24 часа, следователно 15 градуса отговарят на разликата от 1 час. Следователно, ако използваме меридианите с географска ширина, равна на 15 градуса, ще получим мрежа от меридиани на Земята със средното слънчево време, изместено с определен брой часове спрямо UTC. **Гореспомнатото грубо разделение на земната повърхност на отделни зони (или пояси) обаче не е напълно оптимално, защото не отчита националните граници.** С изключение на огромните държави, като Русия, Австралия и САЩ, е уместно в отделните държави да се прилага една единствена часова зона или дори една и съща часова зона в държави, които са географски близки една до друга. Затова показаната по-горе карта на часовите зони е много по-разнообразна, отколкото ако би отговаряла на стриктното прилагане на меридианната мрежа. Можем също така да забележим и часови зони, които се различават от UTC с нецели числа.

Часови зони



Фигура 13: Часови пояси

(Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Time_Zones_Map.png)

България използва Източноевропейско време, изместено от UTC с 2 часа или Източноевропейско лятно време, изместено от UTC с 3 часа. В медиите често Централноевропейското време се представя погрешно като „зимно часово време“, което действително съществува и по закон. Всъщност става въпрос за изместване на времето от Централноевропейското време с 1 час, но в посока, обратна на „лятното часово време“, което всъщност е UTC.

4. Изследване на вселената

Източноевропейско време е времето, съответстващо на меридиана, равен на 30 градуса източна дължина, който минава например близо до Санкт-Петербург и Одеса. Както вече знаем, в местата, разположени източно от този меридиан Слънцето изгрява по-рано, а в места, разположени западно от меридиана Слънцето изгрява по-късно. Всеки градус на географската ширина означава отместване от по 4 минути (15 градуса географска ширина съответства на 1 час или 60 минути, следователно 1 градус съответства на 4 минути). Разликата в географската ширина на най-източното и най-западното място в България е по-малка от 7 градуса (около 6,5 градуса), и следователно, разликата между изгрева (съответно залеза) на тези места е около 27 минути.

2.5 Измерване на времето с часовник

Устройствата за измерване на време обикновено се наричат **часовници**. Името на часовника идва от старославянската дума „gocĭ“, което означава празник, годишнина. В хода на човешката история са възникнали часовници, основаващи се на множество физически принципи, с различна точност и различни приложения. Точните часовници са важни не само за действителното измерване на времето, но така също например в морския и въздушния транспорт дават възможност за позициониране на корабите и самолетите. Ето защо откриването на часовниците за морска навигация е било толкова важно в историята на човека, а понастоящем – Глобалната система за позициониране (GPS – Global Positioning System) или други подобни системи.

- Слънчеви часовници** От особено значение са **слънчевите часовници**, които за разлика от другите видове часовници **измерват истинското слънчево време на дадено място на земната повърхност**. Слънчевите часовници можем да класифицираме според тяхната форма и позицията на гномона (указателя, стрелката), чиято сянка пада върху циферблата, показваща времето. Разграничаваме слънчеви часовници с полуос, слънчеви часовници с пръчица или прът, насочени по посока на земната ос, и слънчеви часовници с гномон, пръчица, прът или стълб, перпендикулярни на земната повърхност на дадено място. Също така можем да разграничим слънчевите часовници според други аспекти, например според местоположението им или ориентацията на стената, върху която са поставени, според други техни функционални елементи или според графичната им форма. **Някои слънчеви часовници са оборудвани с т. нар. малка топка в края на указателя, която позволява на часовника да определя не само часа, но и приблизителния ден в годината.** Други слънчеви часове имат двойна скала – както с Централноевропейско време, така и с Централноевропейско лятно време. Скалата може също така да показва и аналемата в определен час, най-често в 12 часа, или дори по-голям брой от тези криви.
- Видове часовници** Другите часовници могат да бъдат разделени на две, различни по големина, групи: **на часовници, които измерват определен хи интервали от време, и на часовници, които измерват и показват съответното време (в отделните зони).** Първата група включва например.

Пясъчни часовници, които имат типична форма и измерват времето (периода), необходимо за преминаването на финия пясък от една част на съда в друга:

- **Водни часовници**, които измерват интервала от време, необходим за преливането на даден обем вода; времето се измерва с намаляването на нивото на течността в прозрачния съд;
- **Часовници-свещи**, които за разлика от предишните видове, могат да бъдат използвани само по веднъж и които измерват времето според дължината на изгорялата част на свещта;
- **Хронометри**, създадени за точно измерване на времето, например при спортни състезания;

Втората група включва часовници, които са настроени да показват текущото време на дадено място, т.е. да се види колко е часът. Ръчните часовници имат голяма и малка стрелка (голямата стрелка показва часовете, а малката – минутите), а понякога имат и още една допълнителна стрелка, показваща секундите. Циферблатът обикновено е разделен на 12 часа. Цифровите часовници показват времето в цифрова форма.

Тези часовници могат да бъдат разделени на следните под-групи според начина на задвижването и дизайна им:

- **Механични часовници**, характеризиращи се с механичен осцилатор (набор от обекти с подходяща честота на трептене), механични предавки (набор от зъбни колела и други компоненти), механичен източник на енергия (пружина), махало и показалец, указващ времето на циферблата. Механичните часовници включват например часовниците, вграждани в часовникови кули, часовниците с махало, преносими часовници - джобни и ръчни, морските и авиационните хронометри, както и настолни, стенни и ръчни часовници с електрозахранване (електрическа клетка) и други атрибути на механичните часовници;
- **Електронни часовници** с кварцов кристален осцилатор;
- **Атомни часовници**, които измерват времето, използвайки резонантната честота на определени атоми.

Механичният часовник се състои от няколко основни части. Едната от тях е източникът на енергия, който може да бъде тежест, която постепенно пада към Земята в нейното гравитационно поле, пружина, навита на спирала, която човек разтяга, а след това спиралата постепенно прехвърля натрупаната енергия към други части, или електрическа галванична клетка. Енергията от източника постепенно се прехвърля към другите части на часовника, като се използва набор от зъбни колела, което наричаме предаване. Основен компонент на часовниците, влияещ върху точността на тяхната работа, е осцилаторът. Най-често срещаните видове осцилатори са фолиотът, махалото и баланс. Фолиотът (от англ. foliot) е образуван от рамо с две симетрично разположени тежести, което се върти на нишка около вертикална ос, а със завъртането на въжето се създава насочващ силата момент. Положението на тежестите върху раменете определя собствената честота на фолиота. Предимството на махалото като часовников осцилатор е стабилната честота във времето, но недостатъкът, освен затихването, е нулевото малко размахване на махалото и зависимостта на честотата от температурата (изменението на температурата причинява промяна в дължината и различна честота), която обаче по-късно е компенсирана. За преносимите часовници и ръчните часовници като осцилатор се използва балансът. Това е колело на вала, където насочващият силата моментът се създава от тънка лента, изработена от специална сплав (инвар), която има формата на спирална пружина.

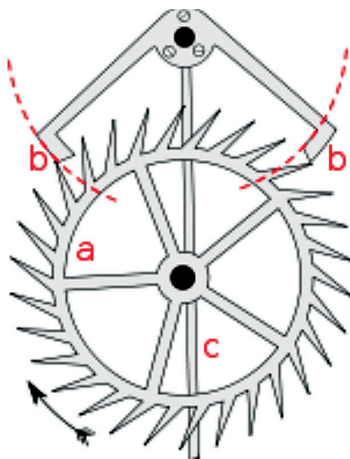
**Съставни части
на механичните
часовници**

4. Изследване на вселената

Фигура 14: Баланс на джобни часовници

(Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hamilton_926_movement.jpg)

Между предавката и осцилатора се намира т.нар. стъпка - компонент, чиито краища постепенно се вписват в зъбчетата на последното колело на предавката, като по този начин равномерното въртене се разделя на еднакво дълги части. При всеки един замах осцилаторът освобождава един зъб на колелото и в същото време дава енергия на осцилатора.



Фигура 15: Стъпка на Греъм (анг. *Graham Escapement*)

(Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graham_Escapement.svg)

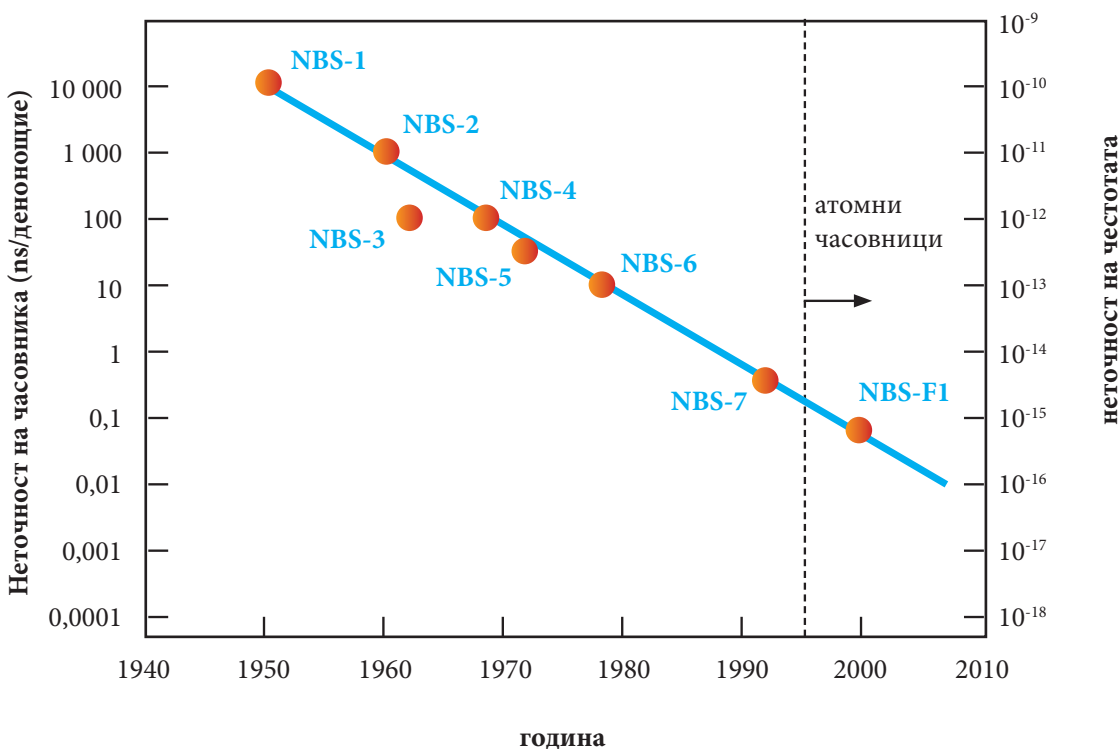
Разбира се, механичните часовници включват и устройство за показване на времето, а именно - циферблат и стрелки. При някои механични часовници можем да намерим и други компоненти, като например част за отброяване на ударите, различни звукови ефекти, календар, устройство, демонстриращо положението на Слънцето, Луната. Въпреки че точността на механичните часовници до началото на 20-ти век не достига точността на часовниците, измерващи звездното време, тяхното използване е било изключително разпространено. Някои други механични часовници имат специални имена, като часовници (малки преносими часовници, джобни часовници, ръчни часовници), хронометри (много точни часовници), астрономически часовници, часовници за слепи хора с тактилна индикация на времето, шахматни часовници (специални двойни часовници за измерване на разхода на времето по отделно на двамата играчи) и т.н.

Електронните часовници се основават на трептенето на кварцовия кристал под влиянието на пиезоелектричния ефект. Трептенията на кварцовия кристал, които се обработват с помощта на лазер са много стабилни, и така електронните часовници са поне с един ред по-точни от механичните часовници. Осцилаторът работи на много високата честота от 32 768 Hz ($32\,768 = 2^{15}$). Изобразяването на времето вече отдава не е ограничено до използването на цифров формат, но съществуват и електронни часовници със стрелки, а в момента практически не се произвеждат часовници, различни от електронните. Специален тип електронни часовници са радио-часовниците, които вместо да разполагат със собствен осцилатор, обикновено са снабдени с миниатюрен радиоприемник и получават точни данни за времето, използвайки радиосигнал с дълга вълна. В Европа се използва сигналът DCF77, излъчван от Майнфлинген, Германия, близо до Франкфурт.

Съставни части на електронните часовници

Атомните часовници измерват времето, използвайки резонансната честота на атомите, като например атомите на цезия или рубидия. В основата на атомните часовници, използващи атомите на цезия, е кристален осцилатор, чиято честота се управлява електронно. Осцилаторът е свързан с предавател на радиовълни, излъчвани към съда с цезиевите атоми. Когато честотата на осцилатора (а оттам и на предавателя) съвпадне с естествената резонантна честота на цезиевите атоми, атомите преминават във възбудено състояние. В зависимост от броя на възбудените цезиеви атоми е възможно да се настрои честотата на кристалния осцилатор по такъв начин, че да съответства на резонантната честота на цезиевите атоми, т.е. $9,192\,631\,770\,0\text{ GHz}$. В изследователска фаза са оптичните часовници със стронций, използващи квантови явления, за което през 2005 г. и 2012 г. бяха присъдени Нобеловите награди за физика. Относителната точност на тези модерни часовници е 10^{-18} .

Съставни части на атомните часовници



Фигура 16: Точност на часовниците

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/de/Clock_accuracy.svg/220px-Clock_accuracy.svg.png)

4. Изследване на вселената

Преглед на дейностите

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
1. Часови зони	1 – 2 учебни часа	времевите изисквания са нормални, умствените изисквания са на по-високо ниво	второ ниво на началните училища	вж. инструкциите и процедурата	дейността запознава учениците с определението за часова зона и нейното приложение на различни места в държавите по света. Задачите са избрани така, че да доведат до разбиране на същността на определението за часовите зони.
2. Средно слънчево време и истинско слънчево време	1 година (продължителност от около 10 минути дневно; довършителни работи от около 1 час)	ниска до средна трудност	второ ниво на началните училища	слънчев часовник, таблица за записване на измерените данни (за предпочитане в компютърна програма)	разбиране на разликата между истинско и средно слънчево време
3. Направете си часовник-свещ	1-2 часа (време за изгаряне на свещта +1 час)	средна трудност	второ ниво на началните училища	вж инструкциите	демонстрация на производството на обикновено устройство за измерване на времевите интервали
4. Направете си воден часовник	1 – 2 часа	средна трудност	второ ниво на началните училища	вж инструкциите	демонстрация на производството на обикновено устройство за измерване на времевите интервали
5. Направете си слънчев часовник	1 ден	stredná	второ ниво на началните училища	вж инструкциите	демонстрация на производството на обикновено устройство за измерване на времевите интервали

3. ПРАКТИЧЕСКА ЧАСТ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Задача 1: Часови зони

Помощни средства

Карта на Словашката република, карта на света, карта на часовите зони – например https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/World_Time_Zones_Map.png

Начин на действие

1. Намерете град на картата на Словашката република, който лежи на 15-ия меридиан източна дължина. След това намерете най-източната точка и най-западната точка в Словашката република. Определете техните географски координати.
(Решение: например град Пацов $49^{\circ} 28' ; 15^{\circ} 06'$; най-източна точка $49^{\circ} 55' ; 18^{\circ} 52'$; най-западна точка $50^{\circ} 15' ; 12^{\circ} 05'$)
2. В 15-ия меридиан източна дължина в определен ден Слънцето изгрява в 6:00 сутринта и залязва в 18:00 вечерта. В колко часа изгрява и залязва Слънцето в най-източната и най-западната точка на Чешката република? Пренебрегнете надморската височина на местата и околностите им.
(Решение: Разликата в дължините между най-източната точка на Чешката република и 15-ия меридиан е $3^{\circ} 52'$, а между най-западната точка в Чешката република и 15-ия меридиан е $2^{\circ} 55'$. Това е така, защото разликата в географската дължина от 15° чава разлика от 1 час (360 градуса означават 24 часа), от което разликата от 1° в географската дължина означава разлика от 4 минути. В най-източната точка на Чешката република Слънцето изгрява и залязва с 15,5 минути по-рано, а в най-западната точка - с 11,5 минути по-късно.)
3. Намери на картата място, където в същия ден Слънцето изгрява в 5 ч. 50 минути.
(Решение: Разликата от 10 минути означава разлика от $2,5^{\circ}$ географска дължина по отношение на меридиана от 15° . Следователно, търсеното място лежи на меридиана от $17,5^{\circ}$. Този меридиан се намира например в град Тлумачов.)
4. В определен ден в град Пилзен Слънцето залязва около 16 часа и 16 минути. В колко часа залязва Слънцето в Ждяр над Сазавоу? Пренебрегнете надморската височина на градовете и околностите им.
(Решение: Пилзен – $49^{\circ} 44' ; 13^{\circ} 23'$; Ждяр над Сазавоу – $49^{\circ} 34' ; 15^{\circ} 56'$; разликата в географските ширини е $2^{\circ} 33'$. Разликата във времената на залязване на Слънцето е 10,2 минути. Слънцето в Ждяр над Сазавоу ще залезе в 16 часа и 6 минути.)
5. В Прага е 3 декември, 6:00 ч. местно време. Какви са датата и часът в Токио, Сидни, Кайро, Отава?
(Решение: Токио се намира в часовата зона, която е с разлика от 9 часа универсално време. Там е с 8 часа повече, отколкото в Прага, следователно е 3

4. Изследване на вселената

декември, 14:00 ч. По същия начин – в Сидни (+ 10 часа универсално време) е 15:00 ч. В Кайро (+ 2 часа) е 7:00 ч. Отава е в часова зона с време от 5 часа по-малко от универсалното време. Следователно там е с 6 часа по-малко, отколкото в Прага, следователно настъпва полунощ на 2 декември срещу 3 декември.)

6. При часовите зони за улеснение се посочва, че Земята е разделена на 24 часови зони, ограничени с меридиани с широчина от по 15 градуса, където времето в часовата зона се определя от времето на меридиана, разположен в центъра на дадената часова зона. Използвайки картата на часовите зони, посочете още какви други фактори влияят върху това каква часова зона се използва за определено място. Има ли места, където времето в часовата зона се различава от универсалното време, а разликата не може да се изрази с цели часове?

(Решение: Много важен фактор, влияещ върху това какво време се използва на дадено място, са границите на отделните държави (щати) или на група от държави (щати). Някои острови в южните ширини използват време, което е нечетно с половин час. Например: Кокосови острови (+ 6,5 часа), Андамански и Никобарски острови (+ 5,5 часа), но също така, например, и централната част на Австралия (+ 9,5 часа). В южната част на Австралия има часова зона, която е с + 8,75 часа спрямо световно време, близо до Нова Зеландия архипелагът Чатъм е с + 12,75 часа спрямо универсалното време и т.н.)

7. Разберете какво представлява т. нар. Линия на смяна на датата. Опишете нейния „напредък“ на картата на Земята и обяснете нейното значение. Как трябва да се процедира правилно при нейното пресичане от изток на запад и в обратна посока? Как се е отразила тя при пътуването на Уили Фог около света?

Задача 2: Средно слънчево време и истинско слънчево време**Помощни средства**

- слънчев часовник,
- часовник или мобилен телефон.

Начин на действие

1. Слънчевите часовници измерват местното истинско слънчево време, което е различно от средното слънчево време, свързано със съответния меридиан в рамките на часовия пояс. Целта на задачата е да се картографира връзката между истинско и средно слънчево време през календарната година. Първо, изберете времето, което ще бъде най-подходящо за редовно целогодишно следене (за да правите измервания през цялата година по избраното време), например 15:00 ч. Не забравяйте, че това време може да бъде само между 8:00 ч. и 16:00 ч., защото през зимните месеци във времето от около 16:00 ч. следобед до около 8:00 ч. сутринта е тъмно. След това всеки ден измервайте точното време (в минути), когато слънчевият часовник показва 15:00 часа. Записвайте измерените времена в компютърна таблица (за предпочитане).

2. Изчислете разликата между местно време и времето в часовата зона, дадено от дължината на наблюдателната точка и я запишете над таблицата. След това – в нова колонка – напишете преизчислените времена, съответстващи на 15:00 ч. на слънчевия часовник.
3. Направете графика на разликата между истинското слънчево време и средното слънчево време. Разберете как се нарича тази разлика в астрономията.
(Решение: Уравнение на времето)
4. Използвайки интернет, опишете защо разликата между истинното и средното време се променя през годината. Кои две характеристики причиняват тази промяна?
(Решение: Наклонът на земната ос и елиптичността на траекторията на Земята около Слънцето.)
5. Обяснете смисъла на словашката народна поговорка „Света Лучия отнема от нощта, но не прибавя към деня“ Използвайте знанията за истинското слънчево време, средното слънчево време, дължината на „белия“ ден.
(Решение: На празника на св. Лучия (13 декември) Слънцето залязва най-рано през годината. Ако едновременно с това Слънцето изгряваше и най-късно, то празникът на св. Лучия би бил и е най-краткият „бял“ ден. Но най-късният слънчев изгрев е едва в началото на януари. Следователно, най-краткият „бял“ ден обикновено се пада на 20 декември. Това, че най-ранният залез и най-късният изгрев на Слънцето не са в един и същи ден, е резултат от неравномерно движение на Земята около Слънцето, както и от равномерно въртене на Земята около оста ѝ. Следователно, словашката народна поговорка е проява на уравнението на времето, т.е. на колебанието на уравнението на времето през годината. По този начин поговорката прави разбираема разликата между истинското и средното слънчево време.)

Задача 3: Направете си часовник-свещ

Помощни средства

- силна свещ,
- малки метални топчета (с диаметър до 0,5 см),
- пластмасова бутилка,
- тънък пирон,
- кибрит, купа за снимки, маркер, хронометър,
- часовник или мобилен телефон.

Начин на действие

1. Направете си часовник-свещ Върху вертикална свещ с маркер нарисуйте скала (линия с нанесени по нея деления на еднакви разстояния).

4. Изследване на вселената

2. Запалете свещта и измерете степента на изгаряне на свещта според скалата: първо измерете времето на изгаряне на отделните части.
3. Запишете измерените стойности в таблицата (вж. по-долу).

Номер на измерването	Време	Изгорена част на свещта (в см)

4. Начертайте графика на зависимостта между изгорената част на свещта (в см) и времето. Свържете маркираните точки в графиката с отсечка. От тази отсечка определете за колко време ще изгори свещта (за единица време).
5. Върху друга (същата) свещ (или няколко други еднакви свещи) нанесете скала според резултатите от предишното измерване. В границите между отделните части на скалата сложете малките метални топчета. Часовникът-свещ постепенно ще гори и изгаря, докато материалът на свещта се стопи, а топчетата ще паднат, например, в порцеланова подложка, като по този начин отчитат отделните времеви интервали.

Задача 4: Направете си воден часовник**Помощни средства**

- пластмасова бутилка (за предпочитане с равномерно напречно сечение),
- тънък дълъг пирон,
- кибрит, голяма купа за снимки, маркер,
- хронометър, часовник или мобилен телефон.

Начин на действие

1. Направете си воден часовник. С помощта на тънкия дълъг пирон направи малка дупка на дъното на пластмасовата бутилка (Обърни внимание на собствената си безопасност!). В същото време залепете скала от хартия, така че нулата да е на височината на отвора на бутилката.

- Налейте вода в бутилката (задръжте дупката с палец, за да не изтича водата) и после я поставете върху купата за снимки. След това измерете скоростта на изтичането на водата от бутилката според ска̀ла. Първо отчетете времето, през което нивото на водата отговаря на всеки един интервал от ска̀лата (първо опитайте колко бързо ще изтече цялата вода и след това изберете такива интервали, така че времето за отчитане на изтичането за отделните интервали да бъде удобно измервано).
- Запишете измерените стойности в таблицата (вж. по-долу).

Номер на измерването	Време	Ниво на водата

- Начертайте графика на нивото на водата спрямо времето. Използвайте посочените точки в графиката, за да начертаете подходяща крива.
- Прочетете стойностите, съответстващи на еднаквите интервали от графиката, и отбележете (неравномерната) времева скала върху бутилката с маркер.

Задача 5: Направете си слънчев часовник

Помощни средства

- шаблон

Начин на действие

Използвайте шаблона в приложението, за да направите слънчевия часовник. Внимателно изрежете, залепете и поставете часовника върху хоризонтална повърхност на слънчево място. Изчакайте часовникът ви да покаже цял час. Завъртете слънчевия часовник, така че да показва същото време след отчитането на корекцията на датата.

4. Изследване на вселената

Шаблон за направяне на слънчев часовник

Хоризонтален слънчев часовник

Графика на поправките

Поправка (минути)

Календарен период

Слънчевият часовник се забавя (добавете минутна корекция)

Слънчев часовник се забързва (извадете минутна корекция)

Таблица с поправки

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. – 10.	4	14	12	4	-3	-2	4	6	-2	-12	-16	-9
11. – 20.	7	14	10	1	-4	0	6	4	-5	-15	-15	-5
21. – 31.	12	13	7	-2	-3	2	7	2	-9	-16	-12	1

Разрез

Часовник с направени незначителни корекции
<http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz>

Допълнителни инструкции можете да намерите на www.giocomania.ort

50°

отрязвам

Поставете тук

географска ширина 50°

ПЛАНЕТИ В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Познанията за планетите в Слънчевата система са в основата на учебната програма по астрономия в началните училища. Основните знания за планетите, т.е. техния брой, имена и отдалеченост от Слънцето, вече са познати на учениците от часовете по „Човекът и природата“, както и последиците от тяхното движение от темите за редуване на деня и нощта, сезоните и лунните фази. След това по-подробна информация за тези явления е включена в часовете по география и физика в прогимназията. Тук учениците ще разберат естеството на слънчевите и лунните затъмнения, причините за възникването на фазите на Луната, други астрономически явления, свързани с техните основни физически и химични характеристики, както и видовете планетарни движения и движенията на техните спътници.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

Слънце

звезда

планети

Меркурий, Венера, Земя, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун

Луна

луни, спътници, комети, малки планети, планети-джуджета

сезони, ден и нощ, фази на Луната

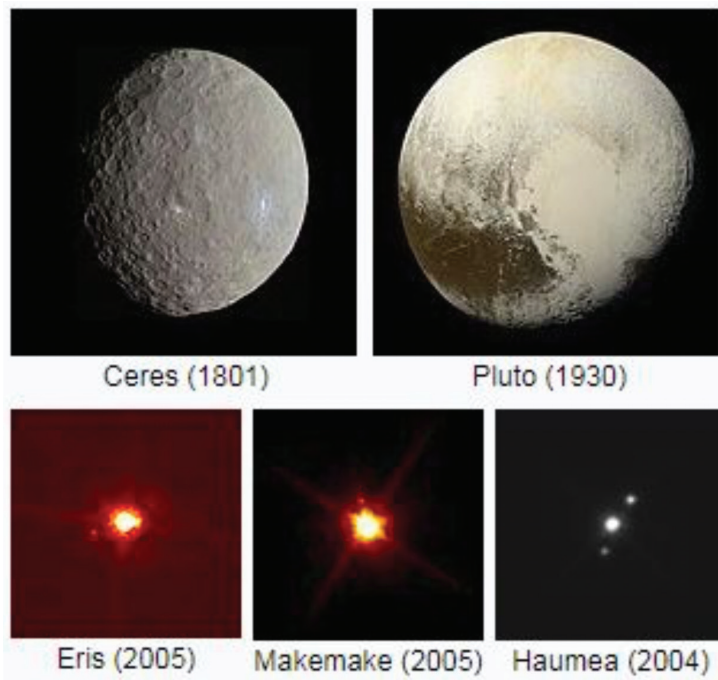
ос на планетата

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Планети Още от най-древни времена хората са наблюдавали небето и са се чудели как е организирана Вселената. Първата важна констатация била, че освен звездите, движещи се по един и същ начин на небето и които хората били подредили в струпвания, наречени съзвездия за по-лесна ориентация, има и звезди, които се движат необичайно: променят позицията си една спрямо друга, движат се от едно съзвездие към друго, сякаш не могат да намерят мястото си. Гърците наричали тези **звезди блуждаещи звезди или планети** (на гръцки *planètes* означава бездомни, „блуждаещи“, а на чешки през 19 век те са били наричани заблудени звезди. Броят на известните планети първоначално бил малък - познати били само Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. **Земята се наредила между планетите в края на 16 – началото на 17 век.** По-късно към системата били прибавени наблюдаваните с телескоп планети, а именно Уран (1781 г.) и Нептун (1846 г.). Междувременно, между 1801 и 1807 г. между Марс и Юпитер се наредили и други небесни обекти: Церера (1801 г.), Палада (1802 г.), Юнона (1804 г.) и Веста (1807 г.). Тези небесни обекти били много по-малки (най-голямата от тях - Церера, е с големина по-малко от 1000 км) и затова били наричани „малки планети“. В средата на 19. век английският астроном Джон Хершел предлага да се разделят „скитащите обекти“ на планети, малки планети и астероиди, но представата му била приета едва в края на 19 – началото на 20 век. Към този момент са били познати почти 500 малки планети и ситуацията била много объркваща. След това допълнителна промяна била свързана с днешната планета-джудже Плутон. Тя е открита като планета през 1930 г., а Международният астрономически съюз през 2006 г. променя класификацията ѝ по същата причина, поради която преди това групата на малките небесни обекти между Марс и Юпитер били отделени от групата на планетите. Този път причината за отделянето (по-точно пренасочването на тези планети към новосъздадената категория на планетите-джуджета) бил фактът, че в края на 20 и началото на 21 век били открити все повече нови обекти отвъд траекторията на Нептун и броят на потенциалните планети отново се увеличил.

В момента ние считаме за планети **осем небесни обекти от Слънчевата система**, а именно Меркурий, Венера, Земя, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Планетите-джуджета в момента включват пет небесни обекта: **Церера, Плутон, Хаумея, Макемаке и Ерида.**

Класификация на планетите Според техните физико-химични характеристики планетите се делят на две основни групи. Сред скалистите (или от **земен тип**) **планети** включваме Меркурий, Венера, Земята и Марс, а сред планетите-**гиганти** (също **газови гиганти**) включваме Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.



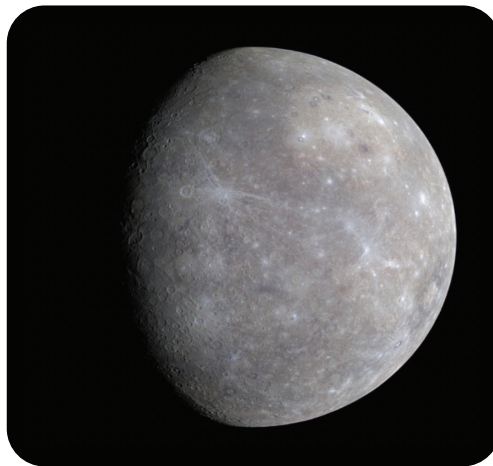
Фиг.1: Пет планети-джуджета според Международния астрономически съюз:

- Церера (снимка от космическия апарат Зора, англ. Dawn)
 - Плутон (снимка от космическия апарат Нови хоризонти, англ. New Horizons)
 - Ерис и нейния спътник Дисномия (снимка от космическия телескоп Хъбъл)
 - Макемаке и неговият му досега спътник S/2015 (снимка от космическия телескоп Хъбъл)
 - Хаумея и нейните спътници Хияка и Намака (снимка от космическия телескоп Хъбъл)
- (Източник https://en.wikipedia.org/wiki/Dwarf_planet)

Основните характеристики на скалистите планети са:

- твърда повърхност
- висока плътност
- малък размер
- малка сплеснатост
- по-малко разстояние от Слънцето
- малък брой или 0 спътници
- липса на пръстени
- бавно въртене

Скалисти
планети



Фиг.2: Меркурий

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d9/Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg/800px-Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg)

Меркурий Планетата **Меркурий** обикаля по орбита, която е най-близо до Слънцето. Тя е по-малка от Земята. На пръв поглед тя много прилича на Луната, обикаляща около Земята. Подобно на други каменисти планети като Земята, и Меркурий има твърда скалиста повърхност, върху която най-поразителните образувания са кратерите. Най-големият кратер на Меркурий е **Калорис със среден диаметър от 1300 км**. Вътре в него има и много по-малки кратери. Някои кратери на Меркурий са кръстени на видни писатели, художници и композитори. Сред чешките личности Сметана, Дворжак и Яначек имат своя кратер. Нито Словакия, нито България са представени сред имената на кратерите. Кратерите на Меркурий са се образували точно като кратерите на другите небесни обекти от Слънчевата система. **Причината за появата им е сблъсък с някакво по-малко небесно тяло. Голямо количество топлина се отделя при падането на такова небесно тяло. Това загрява падащото тяло и планетата в мястото на удара до температура от няколко хиляди градуса по Келвин. Стига се до сублимация на скалата и се образува кратер.** На определено разстояние от мястото на падане на тялото скалата се стопява и трайно се деформира. Още по-далеч от мястото на падане на небесното тяло скалата се деформира само временно. За възникването на кратерите е важно, че на Меркурий практически няма атмосфера. Следователно дори много малки космически обекти могат да паднат на повърхността на планетата, причинявайки дори много малки кратери. По принцип плътността и размерът на така образуваните кратери означава, че планетата няма атмосфера и че няма процеси, видоизменящи повърхността ѝ. **Падането на небесното тяло се нарича „удар“, затова кратерите, които се образуват, се наричат „ударни кратери“.** Най-големите ударни кратери имат централен връх в средата. Процесът на образуване на ударния (импактния) кратер може да се наблюдава и при хвърляне на камък в калта или хвърляне на парче масло в каша от грис.

Меркурий

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	57 909 050 km 0,387 098 au
нумеричен ексцентрицитет	0,205 630
орбитален период около Слънцето	87,969 1 дни 0,240 846 години 0,5 от слънчевия ден на Меркурий
средна орбитална скорост	47,362 km/s
брой спътници	0

Физични характеристики

среден диаметър	4 880 km 0,3829 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0
маса	3,301 1 · 1 023 kg 0,055 от масата на Земята
средна плътност	5 427 kg/m ³
период на въртене	58,646 дни
повърхностна температура на екватора	340 K (мин. 100 K, макс. 700 K)
повърхностна температура близо до полюса (85°)	200 K (мин. 80 K, макс. 380 K)

Атмосфера

атмосферно налягане	по-малко от 0,5 nPa
състав (обемни части)	42 % O ₂ 29 % Na 22 % H 6 % He

Най-подробните изображения на повърхността на Меркурий са направени от сондата Месинджър в края на първото десетилетие на този век. Меркурий обикаля около Слънцето за 88 дни, тоест по-малко от 3 месеца. Неговият период на въртене е по-малък от 60 дни, т.е. около 2 месеца. Това означава, че Меркурий се върти много бавно около оста си. Следователно денят и нощта са много по-дълги на Меркурий, отколкото на Земята. Слънцето на Меркурий винаги изгрява след 176 земни дни, 88 дни непрекъснато е над хоризонта, а 88 дни непрекъснато се намира под хоризонта. Тъй като оста на Меркурий е перпендикулярна на равнината на въртене, там няма редуване на сезоните, така както ги познаваме на Земята. От страната, обърната

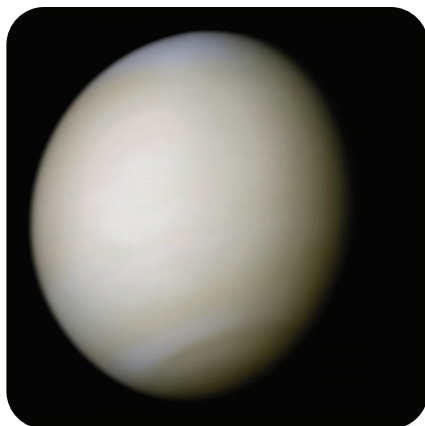
5. Слънчевата система

към Слънцето, Меркурий се нагрява до температура над 400 °С, а от другата страна замръзва до почти –200 °С.

Меркурий има радиус от 2440 км и обикаля около Слънцето на около 40% от разстоянието Земя – Слънце. Това означава, че той никога не се отдалечава много от Слънцето на небето. Следователно може да се види само малко преди изгрев или непосредствено след залез Слънце.

Меркурий е кръстен на римския крилат пратеник, „вестоносецът“ на боговете Меркурий. Гръцкият му еквивалент е Хермес - богът на пътешествениците, търговците и крадците. За Меркурий са използвани и старите чешки имена Добропан и Хорана.

Венера **Венера** също е скалиста планета. Тя е само малко по-малка от Земята, така че може, да бъде един вид неин двойник. Това обаче не е вярно, защото Венера е заобиколена от плътна атмосфера, която прави невъзможно да се наблюдават каквито и да било повърхностни образувания от космоса. Знаем това само благодарение на сондата Магелан (сондата е кръстена на португалския мореплавател Фернандо Магалан, чийто кораб за първи път обиколил земното кълбо през 1522 г.), която картографира повърхността на планетата с радари в началото на 90-те години на миналия век. Сондата Магелан обикаляла Венера по полярна траектория (пресича двата полюса на планетата) и заснела повърхността на Венера, използвайки радар. Докато планетата се въртяла около оста си, цялата повърхност била картографирана. Сондата открила, че повърхността на Венера е трансформирана от интензивна вулканична дейност. Въпреки че в момента нито един от вулканите на Венера не е активен, около тях има значителни полета от лава. Най-високият затихнал вулкан на Венера е планината Маат с височина от около 8 км. Други затихнали вулкани се наричат „арахноиди“, други - „кръгли куполи,“ (понякога също и „палачинки“). Кръговите куполи са затихнали вулкани с диаметър от около 20-25 км, които частично са се заровили в омекотената повърхност. Венера има много по-малко кратери от Меркурий. По-малки кратери липсват, тъй като малките обекти изгарят напълно в плътната атмосфера. Хората кръстили кратерите на значими жени; един от кратерите се нарича Немцова на името на писателката Божена Немцова, друг – Кори на името на чешко-американската биохимичка (Герти Кори), друг – Будевска на името на българската актриса (Адриана Будевска). Някои кратери имат чешки и словашки имена като Ханка, Юлия, Власта, Йитка, български имена като Галина, Радка, Вака и Здравка.



Фиг.3: Венера

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Venus-real_color.jpg)

Венера има много по-плътна атмосфера от Земята. Атмосферата на Венера съдържа главно въглероден диоксид, който предотвратява преминаването на топлина от планетата в околната среда. По този начин повърхностната температура на планетата достига до почти 500°C . Повишаването на повърхностната температура на Венера, което се случва по този начин, се нарича „парников ефект“. Парниковият ефект на Венера е най-поразителният от всички небесни обекти в Слънчевата система. Плътната атмосфера на Венера поддържа постоянно тъмнина. Посетителите на Венера не биха могли да наблюдават нито Слънцето, нито други звезди през атмосферата.

Венера е само малко по-малка от Земята (радиусът на Венера е 6050 км, а радиусът на Земята е 6400 км) и обикаля около Слънцето на три четвърти от разстоянието между Земята и Слънцето. Венера обикаля около Слънцето за около 7,5 месеца. Следователно годината на Венера е малко по-дълга от земната половин година. Тъй като Венера се върти много бавно около оста си, редуването на деня и нощта се случва само веднъж на 117 земни дни. Венера се върти около оста си в обратна посока спрямо Земята и повечето планети. Следователно там Слънцето изгрява от запад и залязва на изток.

Венера

Орбитални характеристики

голяма полуос на орбитата	108 208 000 km 0,723 332 au
нумеричен ексцентрицитет	0,006 772
орбитален период около Слънцето	224,701 денонощия 0,615 198 години 1,92 от слънчевия ден на Венера
средна орбитална скорост	35,02 km/s
брой спътници	0

Физични характеристики

среден диаметър	12 104 km 0,949 9 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0
маса	4,867 5 · 10 ²⁴ kg 0,815 от масата на Земята
средна плътност	5 243 kg/m ³
период на въртене	-243,025 дни (върти се в обратна посока - ретроградно)
повърхностна температура	737 K

Атмосфера

атмосферно налягане	9,2 МПа почти 100 пъти по-голямо от това на Земята
състав (обемни части)	96,5 % CO ₂ 3,5 % N

Венера е кръстена на римската богиня на красотата. Гръцкият ѝ еквивалент е Афродита, богинята на любовта. За нея е използвано и старото чешко име Красопани. В България тя е позната като „Вечерница“ и „Зорница“..

Когато се гледат от Земята, Меркурий и Венера имат фази, подобни на Луната. Формата и размерът на фазите зависят от относителното положение на дадената планета, Слънцето и Земята.

Третата планета, подобна на Земята, е Марс. Подобно на Земята, и Марс има твърда повърхност, но е по-малък. На Марс полярните шапки около двата полюса са много поразителни. Състоят се от замръзнала вода (лед) и замразен въглероден диоксид (сух лед). Марс е най-популярната цел на космическите сонди. Сондите са картографирали повърхността на Марс и са установили, че северното полукълбо има по-ниска „надморска височина“, докато южното полукълбо е обширна ниска планина. Червеникавият цвят на повърхността на Марс е резултат от железни оксиди.



Фиг.4: Марс

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/OSIRIS_Mars_true_color.jpg/800px-OSIRIS_Mars_true_color.jpg)

Изследванията разкриха също, че в далечното минало на Марс е имало огромно количество течна вода и вероятно също море или огромен океан. Днес обаче планетата е суха. На Марс водата се намира само под формата на сняг и лед в полярните шапки, или на сняг и лед в дълбоките кратери. Вода в течна форма може да се намери само дълбоко под повърхността на Марс. Кратерите на Марс са кръстени на научни изследователи и градове. Свой кратер имат словашките градове Хандлова и Липани, чешките градове Хеб, Нирско (кратерът Нейско) и Табор, българските градове Бяла и Дулово.

Интересно образувание на Марс е каньонът Долината Маринер (Valles Marineris). Става въпрос за каньон с дълбочина 5-6 км и широчина от няколко стотин километра, разпростиращ се на над 4000 км. Близко до него са разположени най-високите вулкани на Марс, които, подобно на вулканите на Венера, в момента са неактивни. Най-високият вулкан и планина на Марс е фронтният вулкан Олимп, който се издига до 21 км и има площ, сравнима с тази на Чешката република. Този вулкан е и най-високата планина в цялата Слънчева система. Марс обикаля около

5. Слънчевата система

Слънцето за около 1,9 год. Оста на въртене на Марс има почти същия наклон като оста на Земята. Следователно, както на Земята, на Марс има редуване на сезони. Марс е подобен на Земята и с времето на въртене около оста си. Един ден на Марс продължава 24 часа и 37 минути. Марс има приблизително половината радиус (3 400 км) от земния и обикаля Слънцето 1,5 пъти по-далеч от Земята. Атмосферата на Марс съдържа главно въглероден диоксид, подобно на атмосферата на Венера. Неговата обаче е много по-разредена, така че въздействието на парниковия ефект е много по-малко.

Гледан на небето, Марс има типичен червеникав цвят. **Затова е кръстен на римския бог на войната.** Гръцкият му еквивалент е Арес. Използвани са и старите чешки имена Смъртонос и Ржержана.

Марс	
Орбитални характеристики	
голяма полуос на траекторията	227 939 200 км 1,523 679 au
нумеричен ексцентрицитет	0,093 4
орбитален период около Слънцето	686,971 денонощия 1,880 82 години 668,599 1 solov (от слънчевите дни на Марс)
средна орбитална скорост	24,007 км/s
брой спътници	2 (Фобос, Деймос)
Физични характеристики	
среден диаметър	6 779 км 0,532 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0,006
маса	6,417 1 · 1 023 kg 0,107 от масата на Земята
средна плътност	3 933,5 kg/m ³
период на въртене	1,025 957 дни
повърхностна температура	210 К (мин. 130 К, макс. 308 К)
Атмосфера	
атмосферно налягане	0,636 kPa (мин. 0,4 kPa, макс. 0,87 kPa) приблизително 160 пъти по-малко отколкото на Земята
състав (обемни части)	95,97 % CO ₂ 1,93 % Ar 1,89 % N

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mars>)

Марс често се свързва с възможен живот. Определено за това допринася сходството на физическите условия на Марс със Земята, а в допълнение – в историята има няколко вълни от интерес към Марс като към втората „обитаема“ планета. Може би най-голямата вълна се дължи на наблюдението на Марс от италианския астроном Джовани Скиапарели през 1877 г., след това – на допълнителни наблюдения. Джовани Скиапарели регистрира на Марс гъста мрежа от линейни образувания, които той определя като канали (като Венецианските канали). По това време на Земята се строят два гигантски канала: Суецкия канал и Панамския канал, които били считани за върха на човешката технология през втората половина на 19 век. Със своите 193, съответно 82 километра обаче, те не могли да се сравнят с линейните образувания на Марс, затова Джовани Скиапарели с основание предположил, че цивилизацията на Марс трябва да е много по-далеч в своето развитие. Друга вълна от интерес към Марс възниква, когато през 1976 г. било снимано „Човешко лице“ от сондата Викинг (Viking). Въпреки, че това просто е един камък с интересна форма, както безспорно доказва fotografia на сондата Марс Глобал Сървейър (Mars Global Surveyor) през 2001 г., fotografia увеличила интереса на хората към изследването на Марс и довела до изпращането на цяла редица проучвателни сонди.

Два спътника обикалят около Марс: по-големият е Фобос, а по-малкият е Деймос. Става въпрос за скалисти обекти с неправилна форма. Фобос е приблизително 25-километрова скала, която обикаля около Марс на разстояние от 9 000 км. Деймос е почти наполовина по-малък от Фобос и обикаля около Марс на разстояние 24 000 км. Спътниците Фобос и Деймос имат и стари чешки имена: Страх и Ужас.

Разбира се, скалистите планети включват и Земята. Описанието и обаче **Земя** обикновено не попада в рамките на науката астрономията, а главно на географията. И все пак има многобройни изображения на Земята от Космоса. Земята редовно се снима от орбита, но също така се снима и от космически сонди, които след излитане от повърхността на Земята могат веднага да пробват своите камери, заснемайки Земята. **Земята е единствената планета (по-точно единствената известна планета), на чиято повърхността има вода в течна форма. Течната вода е от решаващо значение за създаването и поддържането на живота на Земята.** Затова си представяме, че на други космически обекти животът трябва да разчита на подобни (водни) процеси и затова търсенето на вода във Вселената е толкова важна тема за нас.

Земя

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	149 598 023 км 1,000 001 02 au
нумеричен ексцентрицитет	0,016 708 6
орбитален период около Слънцето	365,256 363 004 денонощия 1,000 017 420 96 години
средна орбитална скорост	29,78 км/сек
брой спътници	1 (Луна)

Физични характеристики

среден диаметър	12 742,0 км
екваториален радиус	6 378,1 км
полярен радиус	6 356,8 км
сплеснатост	0,003 352 8
маса	5,972 37 · 1 024 kg
средна плътност	5 514 kg/m ³
период на въртене	0,997 269 68 дни (24 ч., 55 мин., 4,100 сек.)
повърхностна температура	288 К (мин. 184 К, макс. 330 К)

Атмосфера

атмосферно налягане	101,325 kPa
състав (обемни части)	78,08 % N ₂ 29,95 % O ₂ 1 % H ₂ O 0,934 0 % Ar

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Earth>)

Луна Скалисто тяло е и Луната и тя е и единствения спътник в орбитата около Земята. Луната е голямо небесно тяло, радиусът и е почти четири пъти по-малък от радиуса на Земята. Подобно на някои спътници на планетите-гиганти, и тя има синхронно въртене, така че показва на наблюдателите на Земята само едното си полукълбо. Синхронното въртене се причинява от т. нар. приливни сили, които след достатъчно дълго време „паркират“ Луната в такова положение, че орбиталното ѝ време е равно на времето и на околоосно въртене орбиталният ѝ период е равен на периода на околоосно въртене. Можем перфектно да наблюдаваме синхронното въртене на двойката Плутон-Харон, където и двата обекта имат фиксирано въртене и както двама влюбени винаги се споглеждат, така Плутон и Харон все са обърнати един към друг с едно и също полукълбо. Както бе споменато по-горе, Луната, подобно на Меркурий, няма атмосфера, и затова и двата обекта имат подобни изображения с типичните повърхностни образувания от ударни кратери.

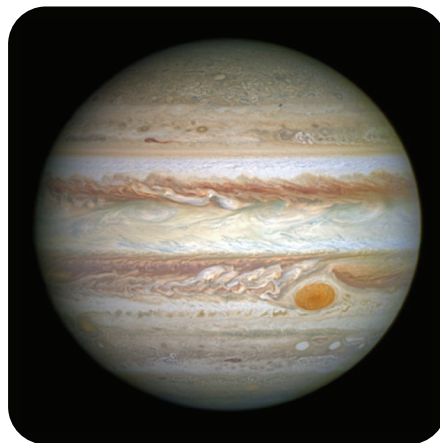
Основните характеристики на газовите планети са по-специално:

- газообразна „повърхност“,
- ниска плътност,
- сравнително голям радиус,
- малко сплескване, голяма сплеснатост
- по-голямо разстояние от Слънцето,
- голям брой спътници,
- наличие на пръстени,
- бързо въртене.

Газови
планети

Най-голямата планета в Слънчевата система е Юпитер. За разлика от Земята, Меркурий, Венера и Марс, Юпитер няма твърда повърхност. Става въпрос за газообразна планета, състояща се главно от водород и хелий. Следователно планетата се върти около ос, различна от планетите с твърда повърхност. В допълнение към рутинното изследване на състава и структурата на атмосферата на Юпитер, астрономите през 1994 г. имаха възможността да изследват постепенното въздействие на отделни фрагменти от кометата Шумейкър-Леви 9 (D/1993 F2 Shoemaker-Levy 9).

Юпитер



Фиг.5: Юпитер

(Източник: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/>

[Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg/800px-Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg/800px-Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg))

Дори и с по-малък телескоп, на Юпитер могат да се видят „пояси“, успоредни на екватора. Газът в различните пояси се движи с различна скорост, дори при някои ленти газът „тече“ в обратна посока. Там, където отделните пояси се събират, възникват и газови вихри. Най-големият вихър наричаме **Голямото червено петно**. То съществува от стотици години и е малко по-голямо от Земята. Юпитер обикаля около Слънцето на разстояние 5,2 пъти по-далеч от Земята. Радиусът на планетата е 71 500 км, приблизително десет пъти по-голям от радиуса на Земята.

Юпитер е кръстен на римския владетел на боговете. Гръцкият му еквивалент е Зевс. Използвани са и старите чешки имена Краломоц и Прухана.

Юпитер

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	778 570 000 км 5,204 4 au
нумеричен ексцентрицитет	0,048 9
орбитален период около Слънцето	11,862 години 4 332,59 денонощия 10 475,8 от слънчевите дни на Юпитер
средна орбитална скорост	13,07 км/сек
брой спътници	79

Физични характеристики

среден диаметър	139 822 км 11,462 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0,064 87
маса	1,898 2 · 1 027 kg 317,8 от масата на Земята
средна плътност	1 326 kg/m ³
период на въртене	9,925 часа (9 ч., 55 мин., 30 сек.)
повърхностна температура	165 К (на „повърхността“ 100 kPa)

Атмосфера

атмосферно налягане	70 kPa (мин. 20 kPa, макс. 200 kPa) 0,7 от атмосферното налягане на Земята
състав (обемни части)	89 % H ₂ 10 % He

Списък на спътниците

Adrastea, Aitne, Amalthea, Ananke, Aoede, Arche, Autonoe, Callirrhoe, Callisto, Carme, Carpo, Cyllene, Dia, Elara, Erinome, Euanthe, Eukelade, Euporie, Europa, Eurydome, Ganymede, Harpalyke, Hegemone, Helike, Hermippe, Herse, Himalia, Chaldene, Io, Iocaste, Isonoe, Kale, Kallichore, Kalyke, Kore, Leda, Lysithea, Megac-lite, Thebe, Thelxinoe, Themisto, Thyone, Valetudo (29 doteraz nepomenovaných)
Адрастея, Етна, Амалтея, Ананке, Аойда, Архи, Автоноя, Калироя, Калисто, Карме, Карпо, Силеня, Дия, Елара, Еринома, Еванта, Евкелада, Евпория, Европа, Евридома, Ганимед, Харпалика, Хегемона, Хелика, Хермипа, Херсе, Хималия, Калдена, Йо, Йокаста, Исоноя, Кайла, Калихора, Калика, Коре, Леда, Лизитея, Мегаклита, Тива, Телксиноя, Темисто, Тиона, Валетудо (и още 29 спътника, които все още нямат имена)

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Jupiter>)

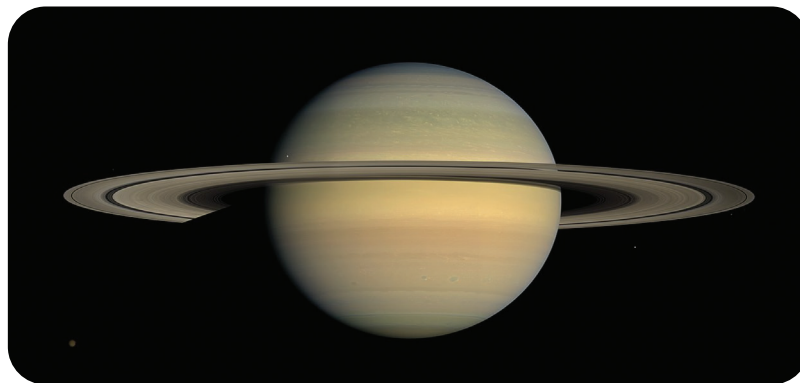
Юпитер има много спътници . През 2019 г. знаем за 79. През 1610 г. Галилео Галилей открива най-големите четири спътника - Йо, Европа, Ганимед и Калисто, които могат да се видят и с по-малки телескопи. Затова те се наричат Галилееви спътници. И четирите Галилееви спътника орбитират в посока на въртенето на Юпитер. Това обаче не е така при другите спътници. Много от тях обикалят в посока, обратна на орбитата на планетата. Най-малките от тези спътници имат размер само от около 1 км. Йо е скалисто тяло с много бурна вулканична активност. Космическата сонда Галилео откри около 300 действащи вулкана. Европа е небесно тяло с ледена повърхност, под която има солена вода в течно състояние - океан. Ганимед е най-големия спътник в Слънчевата система. Размерът му надвишава тези на Плутон и Меркурий. Той е ледено небесно тяло. Калисто също е леден спътник. На повърхността на Калисто има голям брой кратери. Тъй като плътността на кратерите по обектите на Слънчевата система позволява да се оцени възрастта на повърхността на спътниците и дали повърхността им е била допълнително преобразувана от вулканична, или тектонична активност, или от ерозия, очевидно е, че повърхността на Калисто е много стара.

Освен спътниците, около Юпитер обикалят и много по-малки обекти. На орбита в равнината на екватора на планетата, те образуват известните пръстени на Юпитер, наблюдавани и от разстояние. Някои по-малки луни също обикалят в областта на пръстените, създавайки остри граници на пръстените и пролуки в тях. В местата на появяване на тези „овчарски луни“ най-близки са ръбовете на пръстените, които са извити поради гравитационното действие на овчарските луни.

Юпитер се върти по-бързо от Земята, макар да е по-голям. Отнема му по-малко от 10 часа, за да се завърти около оста си. Обикаля Слънцето за 12 години.

Втората по големина планета в Слънчевата система е Сатурн. Той е само малко по-малък от Юпитер и обикаля около Слънцето на два пъти по-голямо разстояние от Юпитер. Подобно на Юпитер, Сатурн е съставен предимно от водород и хелий, и няма твърда повърхност. Ето защо Сатурн също има „пояси“, успоредни на екватора му. **Сатурн**

Сатурн е известен с пръстените си. Те са толкова забележими, че са видими от Земята и с по-малки телескопи. При по-близко наблюдение се откриват празнини и процепи, разделящи пръстените на отделни части. Тези празнини и процепи са резултат от движението на по-големите обекти в пръстените. Най-големите празнини са резултат от спътници с големина от стотици километри. Тези спътници събират тела, които са се отклонили от пътя си. По този начин те поддържат границите на пръстените или отделни пръстенчета. Затова те се наричат Овчарски спътници. От друга страна, най-слабо свързаните части на овчарските спътници често се отделят и допълват пръстените.



Фиг. 6: Сатурн

(Източник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c7/Saturn_during_Equinox.jpg/1280px-Saturn_during_Equinox.jpg)

Най-големият спътник на Сатурн е Титан. Титан е открит през 1655 г. от холандския физик и астроном Кристиан Хюйгенс. Титан има плътна атмосфера, така че доскоро не знаехме каква е повърхността му. Благодарение на космическата сонда Huygens (Хюйгенс) знаем, че на повърхността му има светли хребети от лед и тъмни долини и потоци. При температури от около $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода, разбира се, не може да тече в коритата на реките. Става въпрос за реки и езера от метан, който на Титан може да съществува и в трите си форми. Следователно, можем да говорим за аналог на водния цикъл на Земята – за цикъла на метана на Титан. Изследването на Титан в бъдеще със сигурност ще донесе други интересни изненади и от гледна точка на произхода на живота, защото атмосферата му, подобно на Земята, е предимно азотна, но е много по-гъста.

Сатурн

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	1 514 500 000 км 10,123 8 au
нумеричен ексцентрицитет	0,056 5
орбитален период около Слънцето	29,457 1 години 10 759,22 денонощия 24 491,07 от слънчевите дни на Сатурн
средна орбитална скорост	9,68 км/сек
брой спътници	62

Физични характеристики

среден диаметър	116 464 км 9,779 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0,097 96
маса	5,683 4 · 1 026 kg 95,159 от масата на Земята
средна плътност	687 kg/m ³
период на въртене	10,006 часа (10 ч., 33 мин. и 38 сек.)
повърхностна температура	134 K (на „повърхността“ 100 kPa)

Атмосфера

атмосферно налягане	140 kPa 1,4 от атмосферното налягане на Земята
състав (обемни части)	96,3 % H ₂ 3,25 % He

Списък на спътниците

Aegaeon, Aegir, Albiorix, Anthe, Atlas, Bebhionn, Bergelmir, Bestla, Calypso, Daphnis, Helene, Hyperion, Hyrrokkin, Iapetus, Ijiraq, Janus, Jarnsaxa, Kari, Kiviuq, Loge, Methone, Mimas, Mundilfari, Narvi, Paaliaq, Pallene, Pan, Pandora, Phoebe, Polydeuces, Telesto, Tethys, Thrymr, Titan, Ymir (9 doteraz nepomenovaných), Егеон, Егир, Албиорикс, Анте, Атлас, Бебхион, Бергелмир, Бестла, Калипсо, Дафнис, Елена, Хиперион, Хирокин, Япет, Ижирак, Янус, Ярнсакса, Кари, Кивиок, Логе, Метония, Мимас, Мундилфари, Нарви, Палиак, Палена, Пан, Пандора, Феба, Полидевк, Телесто, Тетида, Тримър, Титан, Имир (и още 9 спътника, които все още нямат имена)

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn>)

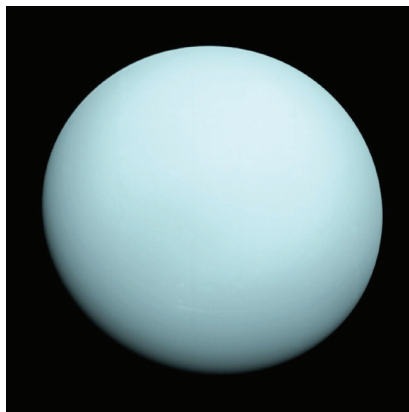
5. Слънчевата система

В допълнение, освен Титан и Овчарските луни, около Сатурн обикалят десетки други спътници. През 2019 г. ние знаем за 82. За именуването им се използват имена на северни божества. Повечето от луните на Сатурн, като луните на Юпитер, имат повърхност, образувана предимно от лед. Един такъв спътник е 500-километровият Енцелад. През първото десетилетие на 21 век сондата Касини (Cassini) наблюдава изхвърляне на струи от газове и ледени частици, на височина до 1500 км. Друг интересен спътник е Хиперион (Hyperion). Това е луна на Сатурн, с размери приблизително 200 км x 250 км x 350 км. Хиперион е съставен предимно от порест лед с примеси от скали. Повърхността му е шуплеста и покрита с дълбоки кратери с остри ръбове. Сатурн обикаля около Слънцето на разстояние 10 пъти по-далеч от Земята. Радиусът на планетата е 60 300 км. Времето на въртене на Сатурн е приблизително същото като времето на въртене на Юпитер. Наклонът на оста му е подобен на тази на Земята. Сатурн обикаля около Слънцето веднъж на 30 години.

Подробен изглед на пръстените на Сатурн от космическата сонда Касини показва тяхното разделяне на тънки пръстенчета. Пръстените се състоят предимно от ледени образувания с размери от 1 мм до стотици метри, примесени с малки частици космически прах, както е показано на фигурата. Пръстените се простират на разстояние до 500 000 км от повърхността на Сатурн. Дебелината на пръстените е само няколко стотин метра. Италианският и френски физик и астроном Джовани Доменико Касини, който се е занимавал главно с планетарни изследвания, е открил празнина в пръстените на Сатурн, наречена Процеп на Касини. Наклонът на оста на въртенето на Сатурн е причината от Земята да виждаме пръстените на Сатурн под наклон. Понякога ги виждаме „отгоре“, друг път „отстрани“, друг път „отдолу“.

Сатурн е кръстен на римския бог на времето. Гръцкият му еквивалент е Кронос. Използвани са и старите чешки имена Хладолет и Крухана.

Уран Третата газова планета е Уран. Той има синкав цвят, който е резултат от наличието на метан в атмосферата му. Уран, също като другите газове планети, е заобиколен от пръстени. Трите най-големи от тях са обозначени с френските имена Égalité, Fraternité, Liberté (Равенство, братство и свобода).



Фиг.7: Уран

(Източник: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/Uranus2.jpg/800px-Uranus2.jpg>)

Ние знаем сравнително малко за спътниците на Уран, тъй като досега са посетени само от една единствена сонда – Вояджър 2, изстрелян през 1977 г. След като прелита покрай Юпитер (1979 г.) и Сатурн (1981 г.), сондата е се насочва към Уран (1986 г.), а след това – към Нептун (1989 г.). Тъй като тя просто прелита край планетите, тя не може да направи снимки на всички спътници. През 2019 г. знаем за 27 спътника на Уран. Те са кръстени на героите на Шекспир и Поуп. Уран се върти около оста си много бързо – точно като Юпитер и Сатурн; периодът на въртене на Уран е 18 часа. Оста на Уран има специално положение в сравнение с другите планети: лежи приблизително в равнината, в която Уран обикаля около Слънцето. Затова и „сезоните“ (а също така и магнитните полета около Уран) са много сложни. Уран обикаля около Слънцето на разстояние 19 пъти по-далеч от Земята. Радиусът му е 26 000 км.

Уран е кръстен на гръцкия бог на Вселената и небето. В това отношение Уран е изключение сред другите планети, тъй като огромната част от планетите носят имената на римски богове и богини. През 19 век са му дадени и старите чешки имена Небещанка и Лехана.

Уран

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	2 875 040 000 км 19,218 4 au
нумеричен ексцентрицитет	0,046 385
орбитален период около Слънцето	84,020 5 години 30 688,5 денонощия 42 718 от слънчевите дни на Уран
средна орбитална скорост	6,80 км/сек
брой спътници	27

Физични характеристики

среден диаметър	50 724 км 3,976 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0,022 9
маса	8,681 0 · 10 ²⁵ kg 14,536 от масата на Земята
средна плътност	1 270 kg/m ³
период на въртене	-17,240 часа (-17 ч., 14 мин. и 24 сек.)
повърхностна температура	76 К (на „повърхността“ 100 kPa)

Атмосфера

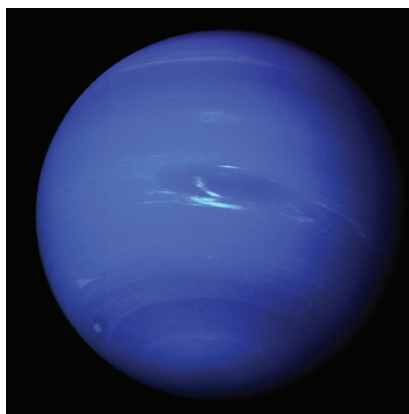
атмосферно налягане	130 kPa - по-малко от 130 kPa по-малко от 1,3 от атмосферното налягане на Земята
състав (обемни части)	83 % H ₂ 15 % He 2,3 % CH ₄

Списък на спътниците

Ariel, Belinda, Bianca, Caliban, Cordelia, Cressida, Cupid, Desdemona, Ferdinand, Francisco, Juliet, Mab, Margaret, Miranda, Oberon, Ophelia, Perdita, Portia, Prospero, Puck, Rosalind, Setebos, Stephano, Sycorax, Titania, Trinculo, Umbriel, Ариел, Белинда, Бианка, Калибан, Корделия, Кресида, Купидон, Дездемона, Фердинанд, Франциско, Жулиета, Маб, Маргарита, Миранда, Оберон, Офелия, Пердита, Порция, Просперо, Пък, Розалинда, Сетевос, Стефано, Сикоракс, Титания, Тринкуло, Умбриел

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranus>)

Нептун Последната газова планета е Нептун. Подобно на Уран, Нептун има синкав цвят, причинен от наличието на метан в атмосферата му.



Фиг. 8: Нептун

(Източник:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/56/Neptune_Full.jpg/800px-Neptune_Full.jpg)

Подобно на другите газове планети, Нептун също има пръстени. Ние знаем много малко за спътниците на Нептун. Знаем, че са 14 (през 2019 г.), точно както спътниците на Уран. Най-много информация имаме благодарение на космическата сонда Вояджър 2, която прелетя около Нептун и някои от луните му през 1989 г. Сондата изследва най-подробно разгледа спътника му Тритон, където открива активни вулкани. Периодът на въртене на Нептун е 16 часа. Нептун, подобно на другите газове планети, се върти около оста си много бързо. Наклонът на оста на Нептун е приблизително същият като наклона на оста на Сатурн и Земята, така че сезоните са като тези, които познаваме на Земята, въпреки, че Нептун е много по-отдалечен от Слънцето. Нептун обикаля около Слънцето на разстояние 30 пъти по-далеч от Земята. Радиусът му е 25 000 км. **Нептун е кръстен на римския владетел на морето.** Гръцкият му еквивалент е Посейдон. През 19 век, след откритието му, са му дадени чешките имена Водан и Серан.

Нептун

Орбитални характеристики

голяма полуос на траекторията	4 500 000 000 км 30,11 au
нумеричен ексцентрицитет	0,009 456
орбитален период около Слънцето	164,8 години 60 182 денонощия 89 666 от слънчевите дни на Нептун
средна орбитална скорост	5,43 км/сек
брой спътници	14

Физични характеристики

среден диаметър	49 244 км 3,861 от диаметъра на Земята
сплеснатост	0,017 1
маса	1,024 13 · 1 026 kg 17,147 от масата на Земята
средна плътност	1 638 kg/m ³
период на въртене	16,11 часа (16 ч., 6 мин. и 36 сек.)
повърхностна температура	72 К (на „повърхността“ 100 kPa)

Атмосфера

атмосферно налягане	много малко
състав (обемни части)	80 % H ₂ 19 % He 1,5 % CH ₄

Списък на спътниците

Despina, Galatea, Halimede, Hippocamp, Laomedeia, Larissa, Naiad, Nereid, Neso, Proteus, Psamathe, Sao, Thalassa, Triton, Деспина, Галатея, Халимеда, Хипокамп, Лаомедея, Лариса, Наяда, Нереида, Несо, Протей, Псамата, Сао, Таласа, Тритон

(Източник: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neptune>)

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Задача 1: Изготвяне на модели на небесните обекти от Слънчевата система

Помощни средства:

- 10 топки за тенис на маса (за Слънцето, за 8-те планети и Луната), пластмасово фолио (средна якост), маркери, бормашина за дърво с диаметър 2,5 – 3 мм, приблизително 10 шишчета (за предпочитане с накрайник), пистолет за лепене, нож, материал за подреждане на цветя, транспортир, гъвкава тел с дължина около 20 см, таблици с характеристиките на небесните обекти (в Интернет или на хартия)

Инструкции за работа:

1. Първо правим модел на Слънцето. Пробиваме два отвора в топката за тенис на маса от двете и противоположни страни, така че шишчето да може да се прокара през отворите. Преди това обаче, топката трябва да бъде оцветена в жълто или оранжево; можем да използваме изображение от интернет или от енциклопедия за вдъхновение. Можем да използваме и цветно топче.
След това прокараме шишчето през двата отвора, така че върхът на шишчето (без накрайника) да остане с дължина около 2 см над „повърхността на Слънцето“. Използваме пистолет за лепене, за да фиксираме шишчето в топката. След това от материала за подреждане на цветя изрязваме призма с основа от около 5 x 5 см и в тази основа набождаме шишчето.
2. След това създаваме модела на Земята. Процедурата е подобна като на модела на Слънцето. Отново пробиваме два отвора в топката за тенис на маса от двете и противоположни страни, така че шишчето да може да се прокара през отворите. Преди да прокараме шишчето, ще оцветим топката, както е показано в Интернет или енциклопедия, като се уверим, че цветът на топката, подобно на Земята, съответства на северния и южния полюс на Земята, намиращи се в местата на пробитите дупки. След това прокараме шишчето през двата отвора, така че върхът на шишчето без накрайника да остане с дължина около 2 см над „повърхността на Земята“. Използваме пистолет за лепене, за да фиксираме шишчето в топката. След това от материала за подреждане на цветя изрязваме призма с основа от около 5 x 5 см и в тази основа набождаме шишчето по такъв начин, че наклонът на шишчето (изобразяващ земната ос) да бъде под ъгъл от 23,5 градуса относно вертикала.
3. След това създаваме модели на Луната, Меркурий, Венера и Марс. Правим същото като при модела на Земята.

4. След това създаваме модела на Сатурн. Започваме с подготовката на модел на пръстените на Сатурн. От по-голямата, твърда пластмасова дъска изрязваме кръг с диаметър 4,7 см и е в него изрязваме централен кръгъл отвор с радиус 2 см. Според снимките в Интернет или в енциклопедия ще нарисуваме формата на пръстените върху кръга. Не забравяме, че пръстените започват на определено разстояние от повърхността на Сатурн (в модела е на около 0,25 см от вътрешния ръб на дъската). След като сме подготвили модела на пръстените, създаваме модела на самата планета Сатурн с екваториалните пояси по подобен начин, както в предишните работи. Преди да поставим модела на Сатурн с помощта на шишчето върху материала за подреждане на цветя, поставяме пръстените върху модела на Сатурн, така че те да са в екваториалната зона. Тяхното положение фиксираме с помощта на пистолета за лепене. След това поставяме модела на Сатурн върху материала за подреждане на цветя по обичайния начин.
5. Подобно на модела на Сатурн, правим модели и на други планети-гиганти, т.е. на Юпитер и Нептун (моделът на Уран ще бъде по-сложен, така че ще бъде описан в отделна точка). В случая на тези планети пръстените ще бъдат по-слабо изразени, техните характеристики могат да бъдат намерени в Интернет или в таблици.
6. Накрая ще създадем модела на Уран. Процесът на направянето му е подобен на този на другите планети-гиганти, но методът за фиксиране на планетата към материала за подреждане на цветя е по-различен. Тъй като наклонът на оста на въртене на Уран към перпендикуляра на еклиптичната равнина е 98 градуса, оста на въртенето му лежи практически в еклиптичната равнина. Следователно, за да поставим модела на Уран на поставката, трябва да му направим „легло“ от гъвкава тел. Леглото се състои от две пръчки, върху които е оформено „оченце“ на подходяща височина, в което е поставено шишчето. За да може телта да държи по-добре, препоръчително е да увием телата върху шишчето, което ще бъде забучено в основата.
7. За по-голяма яснота е препоръчително да прикачим листчета с имената на небесните обекти към основите на моделите на Слънчевата система.

Задача 2: Моделиране на движението на Земята около Слънцето

Помощни средства:

- модели на Слънцето и Земята, евентуално и модел на Луната (виж точка а), карфица с цветна глава, силен източник на светлина, калкулатор, таблици

Инструкции за работа:

1. Поставете моделите на Слънцето и Земята на масата. Върху модела на Земята поставете карфица с цветна глава на мястото на Словашката република (България), което ще обозначава позицията на наблюдателя.

5. Слънчевата система

2. Поставете силен източник на светлина пред модела на Слънцето, за да освети Земята. Чрез завъртане на Земята около оста и (внимавайте за правилната посока на въртене: Земята се върти от запад на изток), демонстрирайте редуването на деня и нощта на мястото на наблюдателя. Наблюдавайте как денят и нощта се променят на други места на Земята.

По този начин можете да решите следните въпроси и задачи:

- Намерете място на Земята, където денят и нощта не се променят.
- Сравнете продължителността на нощта при наблюдателя в Словакия (България) и на екватора.

3. Демонстрирайте движението на Земята около Слънцето по кръгова траектория. Поставете Слънцето в средата на чина и на около 15 см от Земята. Демонстрирайте движението на Земята около Слънцето по кръгова траектория (игнорирайте въртенето на Земята около оста и). Обърнете внимание на правилното положение на земната ос по време на въртенето на Земята около Слънцето (положението на земната ос по отношение на далечните звезди не се променя).

След това решете следните задачи:

- Поставете Земята в такова положение, че на северното полукълбо да е лято. Като завъртите Земята около оста и (и добавите източника на светлина от Задача 2 към експеримента), покажете, че дължината на нощта на мястото на Словашката република е по-голяма от дължината и на екватора и че има полярен ден около Северния полюс и полярна нощ около Южния полюс. При това положение, кой сезон е на южното полукълбо?
- Позиционирайте Земята така, че на северното полукълбо да е зима. Като завъртите Земята около оста и (и добавите източника на светлина от Задача 2 към експеримента), покажете, че дължината на нощта на мястото на Словашката република е по-малка от дължината и на екватора и че има полярен ден около Северния полюс и полярна нощ около Южния полюс. При това положение, кой сезон е на южното полукълбо?
- Намерете мястото, в което на северното полукълбо е пролет. Като движите Земята около Слънцето, уверете се, че движението на Земята е в същата посока, в която Земята се върти около оста си, тоест от запад на изток.

4. Покажете как ситуацията ще се промени, ако не пренебрегнем елиптичността на земната траектория около Слънцето. Поставете отново Слънцето в средата на чина. Изчислете минималното и максималното разстояние на Земята от Слънцето според таблиците и ги отбележете на чина с тебешир. Поставете Земята на минимално разстояние от Слънцето. Обърнете внимание на правилното положение на земната ос (Земята е на минимално разстояние от Слънцето през зимата, по-точно това става в началото на януари). Демонстрирайте отново движението на Земята около Слънцето.

След това решете следните задачи:

- Можете ли да обясните, въз основа на експеримента, защо наклонът на земната ос е по-важен от елиптичността на траекторията за промяна на сезоните в нашите географски ширини?
- Сравнете зимата в северното и южното полукълбо (или лятото в северното и южното полукълбо) по отношение на елиптичността на траекторията (океанските и въздушните течения са пренебрегнати).
- Какви условия трябва да бъдат изпълнени, за да не се променят сезоните във всяка точка на Земята, тоест през годината да бъдат едни и същи?
- Помислете как атмосферата оказва влияние върху температурните промени на отделни места от земната повърхност. Как биха се различавали сезоните от настоящите, ако атмосферата на Земята е много по-рядка, отколкото е сега? И как биха се различавали сезоните, ако атмосферната плътност е значително по-висока?

5. Поставете отново Слънцето и Земята на чина. Добавете Луната. Да предположим, че Луната се движи точно в равнината, около която Земята обикаля около Слънцето. Колко пъти Луната би обиколила Земята за една година? Сега с помощта на съученик покажете движението на Земята около Слънцето и в същото време орбитата на Луната около Земята в правилното съотношение на орбитите.

Освен това можете да решите следните задачи:

- Поставете Земята и Луната в такова положение, че наблюдателят в Словашката република (България) да вижда пълнолуние. Каква част от денонощието ще бъде в Словакия (България)?
- Поставете Земята и Луната в такова положение, че наблюдателят в Словашката република (България) да вижда новолуние. Каква част от денонощието ще бъде в Словакия (България)?
- Поставете Земята и Луната в такова положение, че наблюдателят в Словашката република (България) да вижда Луната в първа и последна четвърт.

6. Изчислете размера на моделите на Земята и Слънцето, за да бъдат в същия мащаб като тяхното разстояние. Имайте предвид разстоянието между двете небесни обекти на чина, което е 15 см.

- Кое сферично тяло би имало така изчисления размер и може ли да бъде подходящ модел вместо топката за тенис на маса? Какво тяло би представлявало Земята?
- Да предположим, че Слънцето е представено от топка за тенис на маса с диаметър 4 см. На какво разстояние трябва да се намира моделът на Земята? Какъв трябва да бъде размерът на модела, за да изобразява правилните пропорции?

5. Слънчевата система

7. Местете модела на Земята около Слънцето и едновременно с това демонстрирайте въртенето на Земята около оста и.
 - Определете всички географски ширини, на които Слънцето на небето се наблюдава поне веднъж годишно застанало на юг, така както е това на нашата географска ширина.



(Източник: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_329.html)

Задача 3: Какви са разстоянията на планетите от Слънцето?**Помощни средства:**

- Модели на Слънцето и планетите (виж точка а), калкулатор, таблици, тебешир

Инструкции за работа:

1. Задачите от част б), особено задачите 4, 5 и 6, също могат да се използват в тази част.
2. Изчислете разстоянията между Земята, Марс, Юпитер и Сатурн. Поставете моделите на Слънцето и Земята на масата, така че поставките им да се допират. Опитайте се да разположите моделите на Марс, Юпитер, Сатурн, така че те да са в същото съотношение на разстоянията като модела на Земята от Слънцето. След това се уверете, като използвате таблиците, че вашите оценки за позициите на планетите са били правилни. Променете разстоянията на планетите.
3. Поставете модела на Слънцето от едната страна на масата, а модела Марс от другата страна на масата. Между Слънцето и Марс поставете Меркурий, Венера и Земята, така че те да са на същото съотношение на разстоянието като модела на Марс от Слънцето. След това се уверете, като използвате таблиците, че вашите оценки за позициите на планетите са били правилни. Променете разстоянията на планетите.

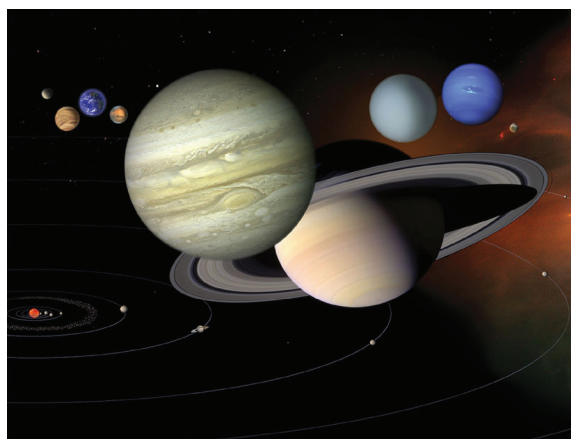
Задача 4: Какви са размерите на планетите?

Помощни средства:

- Модели на Слънцето и планетите (виж точка а), калкулатор, таблици, тебешир

Инструкции за работа:

1. Задача 6 от част б) също може да се използва в тази част.
2. Вземете за основа модела на Юпитер.
 - Изчислете колко големи ще бъдат моделите на другите планети и Слънцето.
 - Опитайте се да сравните какви сферични обекти биха имали така изчислената големина и могат ли да бъдат подходящи модели вместо топките за тенис на маса.
 - След това изчислете разстоянията на всяка планета до Слънцето в този модел.



(Източник: http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=10164)

Задача 5: Защо виждаме пръстените на Сатурн под наклон, когато ги наблюдаваме от Земята?

Помощни средства:

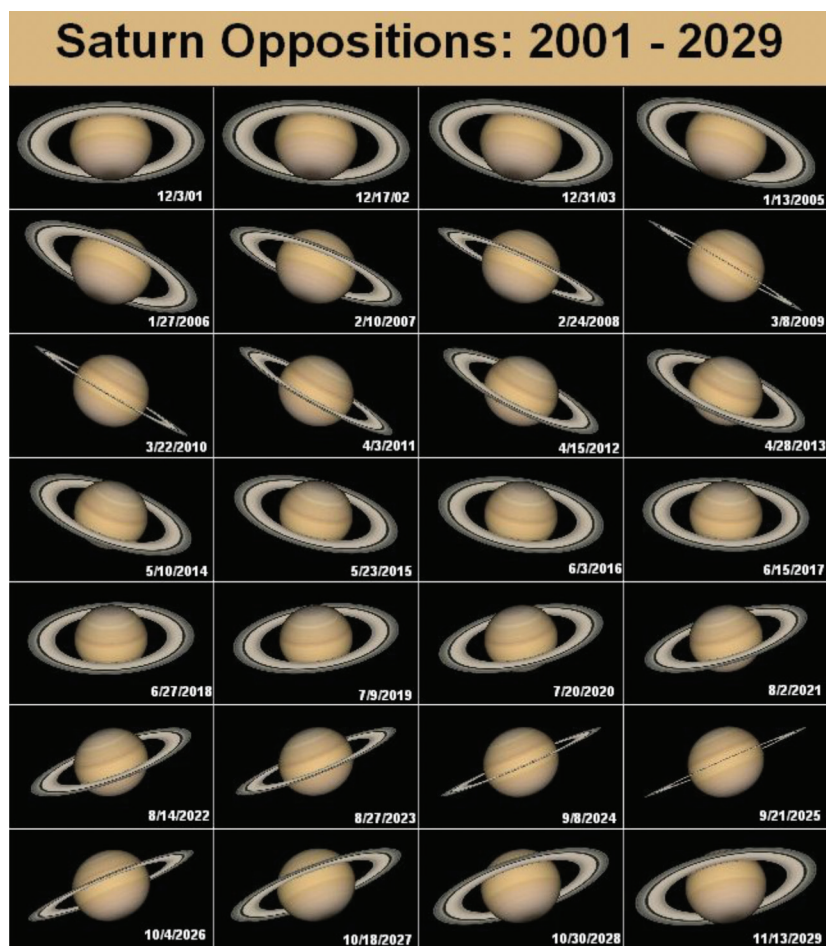
- Модели на Слънцето и Сатурн (вижте точка а)

Инструкции за работа:

1. Поставете модела на Слънцето в центъра на масата. Поставете модела на Сатурн на разстояние от около 20 см.
 - Определете приблизителното местоположение на Земята в този модел.
 - Покажете орбитата на Сатурн около Слънцето. Не забравяйте да запазите посоката на оста на Сатурн в пространството, както в случая със Земята.

5. Слънчевата система

- От таблиците определете колко време в действителност отнема въртенето на Сатурн около Слънцето.
 - Обяснете защо от Земята виждаме пръстените на Сатурн под наклон (виж фиг.).
 - Определете периода на накланянето на пръстените на Сатурн.
2. Разглеждайки и експериментирайки така, както в част б) на Задача 3, стигнете до извода дали сезоните се редуват и на Сатурн. Ако това е така, опитайте се да отгатнете в какви кронецентрични ширини се променят сезоните (кронецентричната ширина е подобна на географската ширина, но се отнася до повърхността на Сатурн).
- Експериментирайки с движението на Сатурн около Слънцето и завъртайки оста на Сатурн около Слънцето, определете дали има полярни дни и нощи на Сатурн, подобни на тези на Земята.
 - Експериментирайте, за да разберете колко широка е ивицата около екватора на Сатурн, в която светлината от Слънцето преминава през равнината на пръстените, преди да попадне на повърхността на планетата.



(Източник: CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=174680>)

Задача 6: Моделирайте движението на Уран около Слънцето

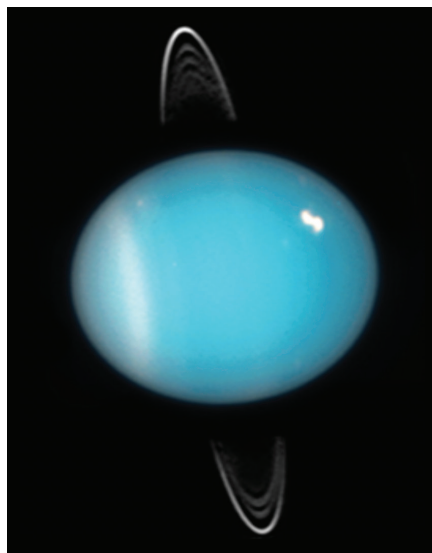
Моделирайте движението на Уран около Слънцето и опишете как се редуват сезоните за различни хипотетични позиции на наблюдатели върху „повърхността“ на Уран.

Помощни средства :

- Модели на Слънцето и Уран (виж точка а), карфици с цветни главички, силен източник на светлина

Инструкции за работа:

1. Поставете модела на Слънцето в центъра на масата. Поставете модела на Уран на разстояние от около 20 см.
 - Намерете в таблиците колко време отнема на Уран да се завърти около Слънцето.
 - Демонстрирайте орбитата на Уран около Слънцето. Не забравяйте да запазите посоката на оста на Уран в пространството.
 - Разберете как се променят „сезоните“ на северния и на южния полюс на Уран. Можете да си помогнете с източника на светлина.
 - Определете периода на накланянето на пръстените на Уран.
 - На повърхността на Уран, забивайки карфица, покажете мястото на фиктивен наблюдател, намиращ се на 45 градуса уранографска ширина. Започнете да движите бавно Уран по орбиталната му траектория около Слънцето, като едновременно с това въртите Уран и около оста му. От експеримента направете изводи за това, как изглежда денят и нощта във всяка една позиция. В същото време разберете как се редуват „сезоните“ за такъв наблюдател.
 - Преместете карфицата, показваща местоположението на измисления наблюдател на екватора на модела на Уран. Отново започнете да движите бавно Уран по орбиталната му траектория около Слънцето, като едновременно с това въртите Уран и около оста му. От експеримента направете изводи за това, как изглежда денят и нощта във всяка една позиция. В същото време разберете как се редуват „сезоните“ за наблюдателя на екватора.



4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които дейността е подходяща	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
1. Производство на модели на Слънчевата система	3 учебни часа	времевите изисквания са високи, ръчните умения и умствените изисквания са на средно ниво	второ ниво на началните училища	вижте инструкциите и процедурата	подготовка на модели на основните небесни обекти в Слънчевата система за други задачи; разбиране на важноста на основните характеристики на планетите на Слънчевата система; развиване на ръчни умения
2. Модел на движението на Земята около Слънцето	20 минути (ако вече са направени модели в рамките на дейност (а))	малка до средна трудност (малка за първите задачи, средна за последните задачи)	първо и второ ниво на началните училища	модели на Слънцето и Земята, евентуално модел на Луната	разбиране на същността на промяната на сезоните; разбиране на същността на движението на небесните обекти от Слънчевата система; разбиране на редуването на деня и нощт
3. Какви са разстоянията между планетите и Слънцето?	40 минути	средна трудност	второ ниво на началните училища	модели на Слънцето и планетите	разбиране на състава на Слънчевата система и групирането на планетите в Слънчевата система; придобиване на компетентност за възприемане на разстоянията в Слънчевата система
4. Какви са размерите на планетите?	30 минути	средна трудност	второ ниво на началните училища	модели на Слънцето и планетите	разбиране на разнообразните размери на планетите на Слънчевата система; придобиване на компетентност за възприемане на размерите и разстоянията в Слънчевата система
5. Защо виждаме накланянето на пръстените на Сатурн, когато ги наблюдаваме от Земята?	15-25 минути	средна трудност	второ ниво на началните училища	модели на Слънцето и Сатурн	разбиране на феномена на накланянето на Сатурнови пръстени по време на въртенето на Сатурн около Слънцето; затвърждаване на знанията за поддържане на посоката на оста на планетата на Слънчевата система; затвърждаване на знанията за причините и проявите на смяната на сезоните

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които дейността е подходяща	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
6. Моделирайте движението на Уран около Слънцето и опишете как се редуват сезоните за различни хипотетични позиции на наблюдатели върху „повърхността“ на Уран.	30-60 минути	голяма трудност	второ ниво на началните училища, евентуално гимназисти	модели на Слънцето и Уран	разбиране на въртенето на Уран около Слънцето; затвърждаване на знанията за поддържане на посоката на оста на планетата на Слънчевата система; затвърждаване на знанията за причините и проявите на смяната на сезоните

ПЛАНЕТИ-ДЖУДЖЕТА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

Планети-джуджета

Церера, Плутон

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Определение Терминът „планета-джудже“ е сравнително нов, възникнал е в Прага на 24 август 2006 г. на XXVI Общото събрание на Международния астрономически съюз (анг. The International Astronomical Union). По време на този астрономически конгрес концепцията за планетата беше предефинирана, което сведе броя на известните планети в Слънчевата система до 8. Дискусиите около тази промяна понякога се наричат „борба за Плутон“. Дотогава терминът „планета“ не беше точно дефиниран и включваше и Плутон към този клас обекти.

История Към 1781 г. са били известни само шест планети на Слънчевата система (Меркурий, Венера, Земя, Марс, Юпитер, Сатурн). Тези планети нямат откривател. През 1781 г. английският астроном Уилям Хершел открива планетата Уран, увеличавайки броя на известните планети до 7. Между 1801 г. и 1845 г. броят на планетите варира, някои от тях включват и новооткритите космически обекти между Марс и Юпитер, т.е. Веста, Юнона, Церера и Палада. През 1846 г. немският астроном Йохан Готфрид Гале открива планетата Нептун. От 1854 г. до 1930 г. планетите са Меркурий, Венера, Земята, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. През 1930 г. американският астроном Клайд Томбо открива друг космически обект – Плутон, който след това е включен сред планетите на Слънчевата система, с което броят на известните планети става 9. **Промяна настъпва на 24 август 2006 г., когато Плутон се прехвърли в новосъздадената категория „планети- джуджета“.**



Фигура 9: Снимка на планета-джудже Плутон, направена от космическата сонда Ню Хорайзънс (New Horizons) през 2014 г. от разстояние от 35 500 км
(Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pluto_in_True_Color_-_High-Res.jpg)

Планета-джудже е космически обект от Слънчевата система. Прилича на планета, но трябва да отговаря на следните изисквания:

1. да обикаля около Слънцето;
2. да е с достатъчна маса така, че нейните гравитационни сили да я формират в приблизително сферична форма (да се намира в хидростатично равновесие);
3. по време на своето развитие да не е „изчистила“ обкръжението си, за да стане доминираща в зоната;
4. да не е спътник на друга планета.

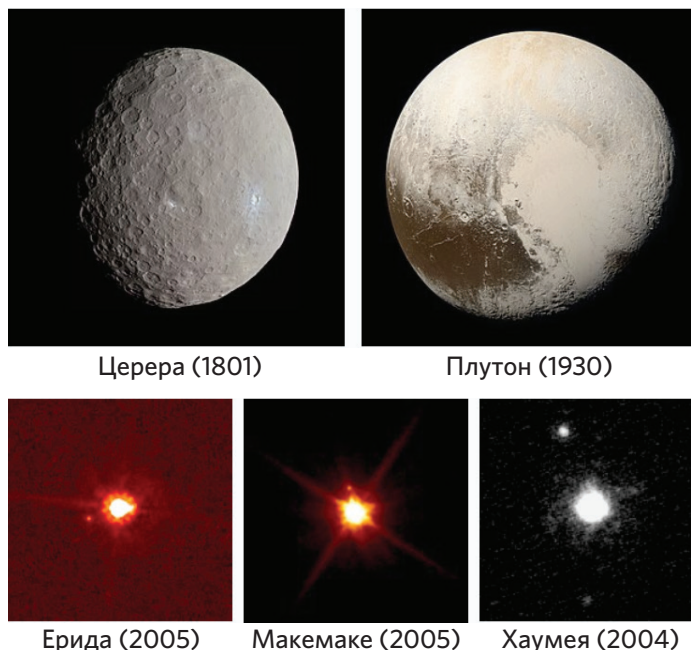
Планетите-джуджета не са подмножество от планети, те са отделна категория. Напротив, изглежда, че планетите-джуджета много често са включени в каталога на малките планети.

Международният астрономически съюз понастоящем (през март 2019 г.) признава пет планети-джуджета:

Номер	Име	Местоположение	Диаметър (km)	Голяма полуос (au)	Наклон на траекторията (°)	Ексцентричност на траекторията (-)	Маса (kg)	Година на откриване
1	Церера	1)	946	2,77	11	0,0758	9 · 1 020	1801
134340	Плутон	2)	2 377	39,5	17	0,2488	1 · 1 022	1930
136108	Хаумея	3)	1 632	43,2	28	0,191	4 · 1 021	2004
136472	Макемаке	4)	1 430	45,7	29	0,156	4 · 1 021	2005
136199	Ерида	5)	2 326	67,8	44	0,441	2 · 1 022	2005

(Обяснения за Местоположението: 1) Главен астероиден пояс, 2) Пояс на Кайпър (Плутино), 3) Пояс на Кайпър (Орбитален резонанс 12: 7 с Нептун), 4) Пояс на Кайпър (Кубевана), 5) Разсеян диск)

Вероятно е категорията на планетите-джуджета да расте в бъдеще и там да попаднат и други космически обекти.



Фигура 10: Планети – джуджета
(Източник: https://en.wikipedia.org/wiki/Dwarf_planet)

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Задача 1: Планета-джудже

Задача: Как планетата-джудже се различава от планетата?

Решение: Планета-джудже е космически обект от Слънчевата система, който трябва да отговаря на следните изисквания:

- да обикаля около Слънцето,
- да е с достатъчна маса така, че нейните гравитационни сили да я формират в приблизително сферична форма (да се намира в хидростатично равновесие),
- по време на своето развитие да не е „изчистила“ обкръжението си, за да стане доминираща в зоната,
- да не е сателит на друга планета.

С изключение на третата подточка, определението за планета-джудже е идентично с това за планета.

Задача: Избройте три планети-джуджета и разберете в кои части на Слънчевата система се намират те.

Решение: Церера (Главен астероиден пояс между Марс и Юпитер), Плутон (отвъд траекторията на Нептун), Хаумея (отвъд траекторията на Нептун), Макемаке (отвъд траекторията на Нептун), Ерида (отвъд траекторията на Нептун)

Задача 2: Планетите-джуджета и техните траектории

Задача: Определете разстоянията на планетите- джуджета в перихелий и в афелий. Подредете планетите-джуджета във възходящ ред според разстоянието, на което се намират от Слънцето в перихелий и в афелий. Изчислете за всеки един космически обект сумата от разстоянията в перихелий и в афелий. Сравнете получената стойност с голямата полуос, умножена по две.

(Съвет: Разстоянието в перихелий е $a(1 - e)$, в афелий е $a(1 + e)$.)

Решение:

Име	Голяма полуос a (au)	Ексцентричност на траекторията e (-)	Разстояние в перихелий r_P (au)	Разстояние в афелий r_A (au)	$r_P + r_A$ (au)	$2a$ (au)
Церера	2,77	0,0758	2,56	2,98	5,54	5,54
Плутон	39,5	0,2488	29,7	49,3	79	79
Хаумея	43,2	0,191	34,9	51,5	86,4	86,4
Макемаке	45,7	0,156	38,6	52,8	91,4	91,4
Ерида	67,8	0,441	37,9	97,7	135,6	135,6

Разстояние в афелий (за Церера) $r_p = a(1 - e) = 2,77(1 - 0,0758) \text{ au} = 2,56 \text{ au}$

Разстояние в афелий (за Церера) $r_A = a(1 + e) = 2,77(1 + 0,0758) \text{ au} = 2,98 \text{ au}$

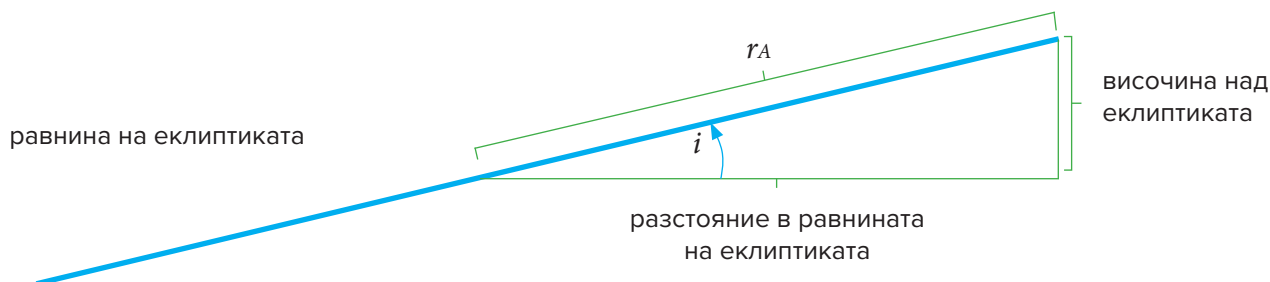
Подредяне в перихелий: Церера, Плутон, Хаумея, Ерида, Макемаке

Подредяне в афелий: Церера, Плутон, Хаумея, Ерида, Макемаке

От това подредяне е видно, че планетата-джудже Ерида е по-близо до Слънцето, отколкото планетата-джудже Макемаке, а разликата от 0,7 au приблизително съответства на разстоянието на Венера от Слънцето.

5. Слънчевата система

Повечето космически обекти от Слънчевата система се движат извън еклиптичната равнина, в която Земята обикаля около Слънцето. Орбиталната равнина на дадено тяло сключва с еклиптичната равнина ъгъл, който обозначаваме с i , от думата „инклинация“ (наклон на траекторията). Нека разгледаме влиянието на наклона на орбиталната равнина на даден обект. За този случай ще ни трябват тригонометричните функции на синус и косинус.



Задача: Определете разстоянията на планетите-джуджета в перихелий и в афелий, като ги проектирате в еклиптичната равнина и включете наклона на орбиталните им траектории. На какво разстояние от еклиптичната равнина се намират планетите-джуджета, ако са в перихелий или в афелий.

Решение:

Име	Голяма полуос a (au)	Ексцентричност на траекторията e (-)	Наклон на траекторията i ($^{\circ}$)	Разстояние в перихелий в еклиптичната равнина (au)	Разстояние в афелий в еклиптичната равнина (au)	Разстояние от еклиптиката в перихелий (au)	Разстояние от еклиптиката в афелий (au)
Церера	2,77	0,0758	11	2,51	2,93	0,49	0,57
Плутон	39,5	0,2488	17	28,4	47,1	8,7	14,4
Хаумея	43,2	0,191	28	30,8	45,5	16,4	24,2
Макемаке	45,7	0,156	29	33,8	46,2	18,7	25,6
Ерида	67,8	0,441	44	27,3	70,3	26,3	67,9

Разстояние в перихелий в еклиптичната равнина (за Церера):
 $a(1 - e) \cos i = 2,77(1 - 0,0758) \cos 11^{\circ} \text{ au} = 2,51 \text{ au}$

Разстояние в афелий в еклиптичната равнина (за Церера):
 $a(1 + e) \cos i = 2,77(1 + 0,0758) \cos 11^{\circ} \text{ au} = 2,93 \text{ au}$

Разстояние от еклиптиката в перихелий (за Церера):
 $a(1 - e) \sin i = 2,77(1 - 0,0758) \sin 11^{\circ} \text{ au} = 0,49 \text{ au}$

Разстояние от еклиптиката в афелий (за Церера):
 $a(1 + e) \sin i = 2,77(1 + 0,0758) \sin 11^{\circ} \text{ au} = 0,57 \text{ au}$

Ситуацията всъщност е много по-сложна (тук не сме включили например наклона на орбиталната траектория в пространството, предположили сме, че перихелият и афелият се намират извън еклиптиката), но по-точни изчисления далеч надхвърлят уменията от училище, следователно ще приемем поне тези приблизителни изчисления.

Задача: Планетата-джудже Церера има радиус от 457 км. В Братислава има автобуси с дължина от 25 метра. Колко автобуса се вписват в радиуса на планетата-джудже Церера?

Решение: Диаметър на Церера = 2 · Радиус на Церера = 2 · 457 км = 914 км = 914 000 м. Дължина на автобуса = 25 м. Брой на автобусите $n = 914\,000/25 = 36\,560$ броя. Следователно, в диаметъра на Церера ще се съберат повече от 36 500 автобуса.

Задача: В тази част ще се опитае да определим орбиталната скорост на планетата-джудже, която е разположена в Главния астероиден пояс. За по-лесно ще считаме, че космическият обект се движи по кръгова орбитална траектория.

а) Церера, някога най-голямата малка планета в Главния астероиден пояс, а сега – планета-джудже, се завърта около Слънцето веднъж на 4,6 години. Изчислете колко секунди са необходими на планетата-джудже Церера, за да направи едно пълно завъртане.

Решение: : 1 година = 365 дни · 24 часа · 60 минути · 60 секунди = 31 536 000 секунди (с). Едно завъртане на Церера около Слънцето трае $4,6 \cdot 31\,536\,000\text{ с} = 145$ милиона секунди. Също така би било възможно да се използва продължителността на тропическата година (времето между два последователни преминавания на истинското Слънце – центърът на слънчевия диск – през пролетната равноденствена точка), което продължава 31 556 925 с, но полученият брой секунди, закръглени до милиони секунди, остава непроменен.

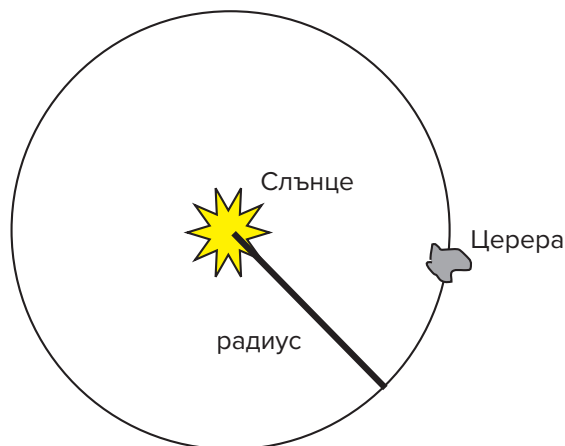
б) Церера е разположена на разстояние 2,77 астрономически единици (аи) от Слънцето. 1 аи е 150 милиона км. Изчислете разстоянието на планетата-джудже Церера от Слънцето в км.

Решение: Церера се намира на $2,77 \cdot 150\,000\,000\text{ км} = 416$ милиона км.

в) Да предположим, че Церера обикаля около Слънцето по кръгова орбита. Начертайте схематично изображение, което да илюстрира орбиталната траектория на планетата-джудже. На фигурата отбележете положението на Слънцето, Церера и радиуса на окръжността (орбиталната траектория).

5. Слънчевата система

Решение:



- г) Използвайте разстоянието от част б) и изчислете колко километра ще измине Церера при една своя обиколка? (Съвет: Обиколката на окръжността се изчислява, като се използва отношението $o = 2\pi r$, където r е радиусът на окръжността)

Решение: Обиколка на орбиталната траектория е $o = 2\pi r = 2\pi \cdot 416 \cdot 10^6 \text{ km} = 2,6$ милиарда км.

За сравнение, дължината на орбиталната траектория на Земята е по-малка от един милиард километра.

- д) Използвайте тази връзка, за да изчислите средната скорост $v = s / t$ и използвайте отговорите от части а) и б), за да изчислите скоростта, с която Церера се движи около Слънцето.

Решение: Средната скорост на Церера около Слънцето е $v = s / t = 2,6 \cdot 10^9 / 145 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{c}^{-1} = 17,9 \text{ km} \cdot \text{c}^{-1}$.

За сравнение, Земята се движи по своята орбитална траектория със средна скорост от $30 \text{ km} / \text{c}^{-1}$.

Задача: Орбитална скорост на планетата-джудже Плутон

- а) Плутон, някога най-голямата малка планета в Главния астероиден пояс, а сега – планета-джудже, се завърта около Слънцето веднъж на 248 години. Изчислете колко секунди са необходими на планетата-джудже Плутон, за да направи едно пълно завъртане.

Решение: Една обиколка на планетата-джудже Плутон около Слънцето отнема $248 \cdot 31\,536\,000 \text{ s} = 7,8$ милиарда секунди. Тропическата година също може да се използва, но полученият брой секунди, закръглени до десети от милиарда секунди, няма да се промени.

- б) Изчислете колко пъти Плутон е обиколил Слънцето от откриването си през 1930 г.

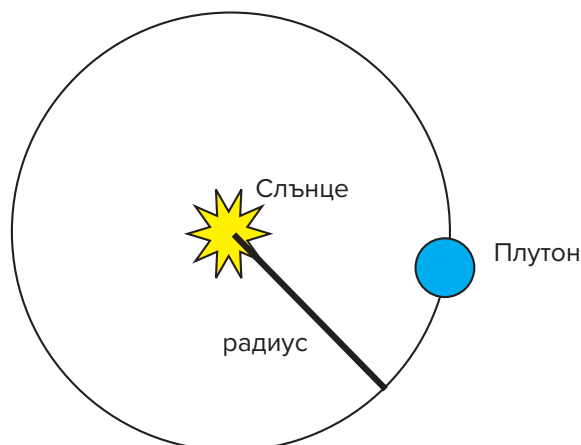
Решение: Плутон ще завърши обикалянето си около Слънцето чак през 2178 г., така че от откриването си до сега не е направил дори една пълна обиколка около Слънцето. От откриването на Плутон (към 2019 г.) той е изминал 36% от общата си орбитална траектория. $(2019 - 1930) / 248 = 0,36$.

- в) Плутон е разположен на средно разстояние от 39,5 au от Слънцето. 1 au е 150 милиона км. Изчислете разстоянието на планетата-джудже Плутон от Слънцето в км.

Решение: Плутон се намира на разстояние $39,5 \cdot 150\,000\,000\text{ km} = 5,9$ милиона км.

- г) Да предположим, че Плутон обикаля около Слънцето по кръгова орбита. Начертайте схематично изображение, което да илюстрира орбиталната траектория на планетата-джудже. На фигурата отбележете положението на Слънцето, Плутон и радиуса на окръжността (орбиталната траектория).

Решение:



- д) Използвайте разстоянието от част б) и изчислете колко километра ще измине Плутон при една обиколка. (Съвет: Обиколката на окръжността се изчислява, като се използва отношението $o = 2\pi r$, където r е радиусът на окръжността)

Решение: Орбиталната обиколка е $o = 2\pi r = 2\pi \cdot 5,9 \cdot 10^9\text{ km} = 37$ милиарда км. За сравнение, Земята ще измине по-малко от един милиард километра по своята орбитална траектория около Слънцето. Всъщност Плутон не се движи по окръжност, а по елипса с ексцентрицитет 0,25. Формулата за изчисляване на обиколката на елипса надхвърля учебната програма на началното училище. Грешката при определяне на обиколката на елипса с помощта на формулата за обиколката на окръжността е от порядъка на няколко процента, така че замяната с обиколката на окръжността е достатъчна за целта на помагалото.

- е) Използвайте формулата, за да изчислите средната скорост $v = s / t$ и използвайте отговорите в части а) и д), за да изчислите скоростта, с която Плутон се движи около Слънцето.

5. Слънчевата система

Решение: Средната скорост на Плутон около Слънцето е

$$v = s / t = 37 \cdot 10^9 / 7,8 \cdot 10^9 \text{ km} \cdot \text{c}^{-1} = 4,7 \text{ km} \cdot \text{c}^{-1}.$$

За сравнение, Луната се движи със средна скорост от 1 km s^{-1} по своята орбитална траектория около Земята.

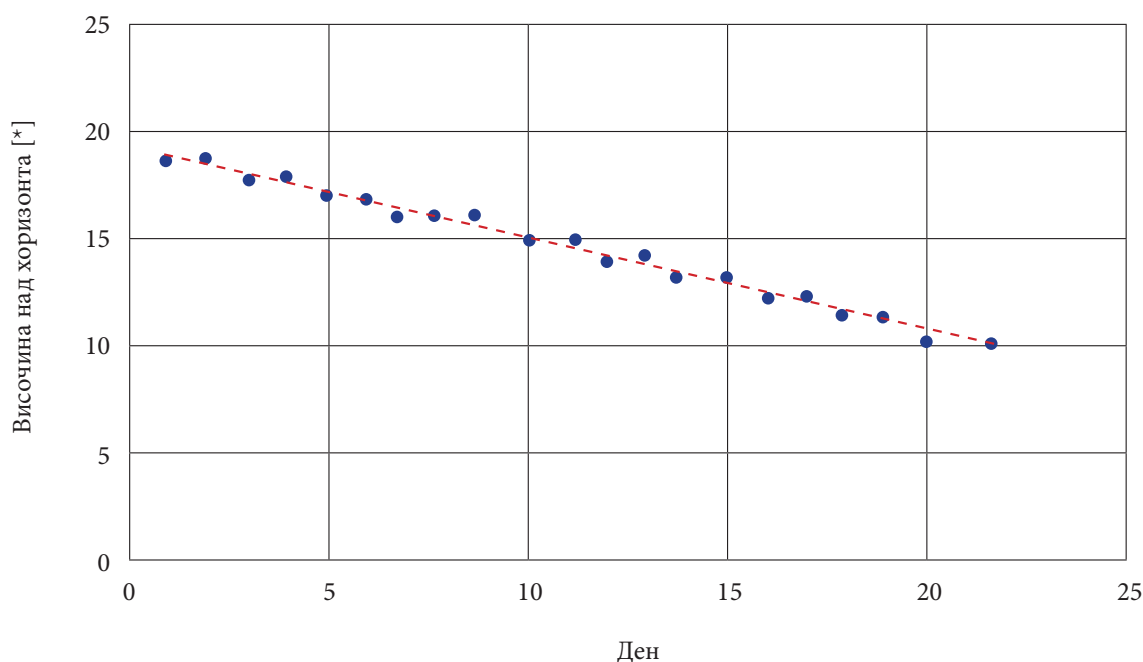
Задача: Кога ще залязва Церера? В тази задача ще прогнозираме кога планетата-джудже Церера ще залезе, ако я наблюдаваме с телескопа Фолкс Север (Faulkes Telescope North (FTN)), намиращ се на Хавайските острови. Да предположим, че залязването на космическия обект става в момента, в който той се намира на височина от 0° над хоризонта.

Таблицата по-долу показва височината на Церера над хоризонта, така както се вижда от FTN, всеки ден в продължение на 21 дни, броено от 27.02.2006 г. На пръв поглед от данните става ясно, че височината на Церера над хоризонта постепенно намалява всеки ден. Кога ще достигне хоризонта?

Ден	Височина над хоризонта ($^\circ$)	Ден	Височина над хоризонта ($^\circ$)
1	19	12	14
2	19	13	14
3	18	14	13
4	18	15	13
5	17	16	12
6	17	17	12
7	16	18	11
8	16	19	11
9	16	20	10
10	15	21	10
11	15		

- а) Начертайте графика с височината на Церера над хоризонта по дни, използвайки данните от таблицата по-горе. Свържете с права начертаните точки.

Решение:



- б) Изчислете наклона на правата и пресечната точка с оста y . Ако приемем, че точките могат най-добре да бъдат съединени с права, какво ще е уравнението за тези данни?

Решение: Между 1-ия и 21-ия ден (20 дни) разликата във височината е 9° , т.е. наклонът на правата е $9^\circ / 20 = -0,45^\circ$. Пресечната точка с оста y е 19. Линейното уравнение е под формата на $y = -0,45x + 19$.

- в) Определете колко дни Церера ще бъде под хоризонта. (Съвет: Един космически обект залязва, когато височината му над хоризонта е 0° .)

Решение: Церера ще залезе в момента, когато височината и над хоризонта е 0° , т.е. $y = 0$. Решаваме уравнението и търсим x , за което y е равно 0. Можем да напишем

$$0,45x = 19$$

$$x = 42$$

Церера ще залезе след 42 дни.

Задача: Орбиталната траектория на планетата-джудже Плутон е различна от орбиталните траектории на планетите – ексцентрицитет $0,25$, наклон 17° . Ексцентрицитетът на орбитите на планетите варира от $0,007$ (за Венера) до $0,206$ (за Меркурий), като повечето планети имат ексцентрицитет по-малък от $0,1$. Наклонът на орбиталната траектория спрямо еклиптичната равнина варира от 0° (за Земята, по дефиниция на еклиптиката) до 7° (за Меркурий). В резултат на това,

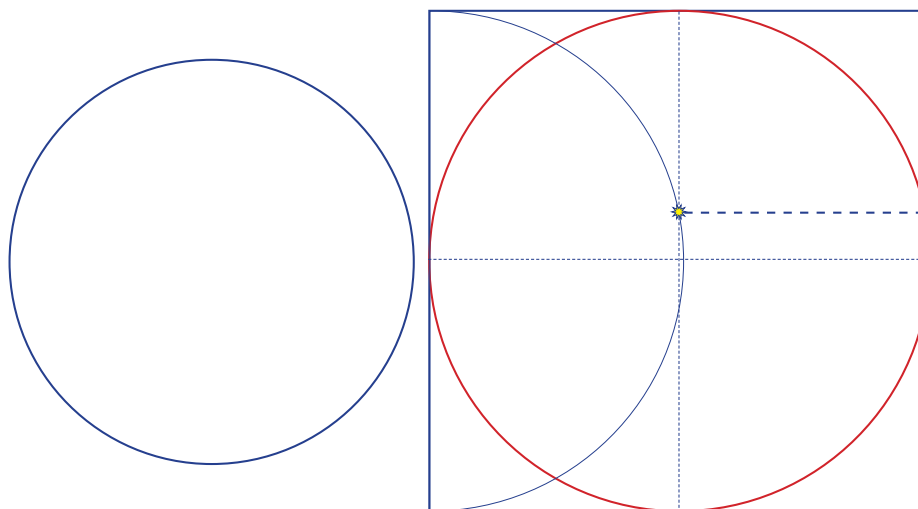
5. Слънчевата система

за определено време Плутон е по-близо до Слънцето (от 07.02.1979 г. до 11.02.1999 г.) отколкото Нептун, имайки предвид проектирането на неговата орбитална траектория в равнината на еклиптиката.

- а) Да предположим, че Плутон се движи по кръгова орбитална траектория. Изчислете с колко процента (каква част) от времето Плутон е по-близо до Слънцето в сравнение с планетата Нептун. Колко дни е това?

Решение: : Орбиталният период на Плутон е 248 години. Плутон е по-близо между 1979 г. и 1999 г., което е около 20 години. Точността на изчислението е достатъчна за възрастта на учениците, така че $20/248 = 8\%$. Между 07.02.1979 г. и 11.02.1999 г. ще изминат 7309 дни = 20 години · 365 дни + 5 дни за високосните години (1980, 1984, 1988, 1992 и 1996) + 4 дни (7 дни месечно до 11-ия ден в месеца).

- б) На модела на траекториите на Нептун и Плутон се уверете, че Нептун и Плутон не могат да се сблъскат. Направете прост модел на траекториите на Нептун и планетата-джудже Плутон. Начертайте кръг с радиус 7,5 см върху лист хартия А4, за да представите орбиталната траектория на Нептун. Изрежете създадения кръг и изрежете процеп в центъра на кръга. На друг лист хартия начертайте траекторията на Плутон, при което ще бъде по-добре, ако нарисувате правоъгълник със страни 19,8 см и 19,2 см - на компютър в някаква програма (например за чертане, рисуване, или в текстов редактор). Начертайте елипса в него така, че тя да докосва всички страни на правоъгълника. Маркирайте с пунктирните линии и двете оси на елипсата. За да получите местоположението на Слънцето, нарисувайте кръг около центъра на дългата страна на правоъгълника с диаметър 19,8 см и намерете пресечната точка с по-дългата ос на елипсата. И накрая, начертайте перпендикуляр към по-дългата ос на елипсата по такъв начин, че да премине през Слънцето. Отпечатайте фигурата в правилния мащаб за формат А4 и изрежете траекторията, включително маркирания перпендикуляр. Пъхнете двата модела на траекторията един в друг така, че да образуват ъгъл от 17°.



Задача: Колко тежите зависи от гравитационната сила на вашето местоположение. Таблицата по-долу показва каква би била гравитационната сила в различни точки на Слънчевата система в сравнение със стойността (1.00) на земната повърхност. Ако някой тежи 100 кг на Земята, на Луната той ще тежи 17 кг. Тази стойност се достига по следния начин: 100 кг („теглото“ на Земята), умножено по 0,17 (гравитационния фактор за Луната) = 17 кг. Трябва да се отбележи, че масата на обектите не се променя на различни места, остава същата. Само тежестта, която зависи от гравитацията, се променя.

Теглото ти на Земята: 100 кг

Местоположение	Гравитационен фактор на повърхността (на Земята = 1,00)	Моето „тегло“ на това място
Слънце	28	2 800
Меркурий	0,38	38
Венера	0,9	90
Земя	1,0	100
Луна	0,17	17
Марс	0,38	38
Церера	0,029	2,9
Юпитер	2,53	253
Сатурн	1,1	110
Уран	0,9	90
Нептун	1,14	114
Плутон	0,06	6

Трябва да се отбележи, че на газообразните планети и Слънцето всъщност не може да се стъпи, защото нямат твърда повърхност. Сортирайте местата от списъка с вашето „тегло“ от най-голямото до най-малкото. От кой параметър зависи промяната на Вашето „тегло“?

Решение: Слънце, Юпитер, Нептун, Сатурн, Земя, Венера, Уран, Меркурий, Марс, Луна, Плутон, Церера. Промяната зависи от гравитационното ускорение, което се влияе от масата на обекта, неговия размер (гравитационната сила) и времето на въртене около оста, размерите на космическия обект (центробежната сила).

Задача: В тази задача ще разгледаме как теглото на планетата влияе на скока на височина.

Инструкции за работа:

1. Учениците формират групи от по трима.
2. Един ученик от групата държи метъра вертикално на пода, като началото на метъра докосва пода.
3. Вторият ученик в групата наблюдава метъра и записва височината на скока на третия ученик от групата.

5. Слънчевата система

4. Третият ученик от групата скача на височина до метър. Височината на скока се записва и това се повтаря общо три пъти. От трите скока средната височина на скоковете се изчислява и се записва в таблицата, като тя ще се счита за височина на скока на Земята.
5. Учениците си сменят ролите, което означава, че за всеки един скачащ ще бъде записана средната височина на скока му на Земята.

Таблица 1: Изчисляване на средната височина на скока на Земята

Скок	Опит № 1	Опит № 2	Опит № 3	Среден скок
Височина (cm)	53	50	47	50

6. Използвайте Таблица 2 за изчисляване на средната височина на скоковете и на други места в Слънчевата система.
7. Попълнете Таблица 3, като впишете планетите, Слънцето и планетата-джудже Плутон, както и височината на вашите скокове според теглото на космическия обект – от космическия обект с най-малка маса до космическия обект с най-голяма маса.
8. Създайте графика с колонки за височината на скоковете, като редът на космическите обекти се определя от масата на космическите обекти.

Таблица 2: Как височината на скачане е повлияна от масата на космическия обект от Слънчевата система

Космически обект	Тегло на космическия обект от Слънчевата система ($\times 10^{23}$ kg)	Средна височина на скока на Земята (cm)	Коефициент на преобразуване за височината на скока	Височина на скока (cm)
Слънце	19 900 000	50	$\times 0,036$	1,8
Меркурий	3,3	50	$\times 2,63$	132
Венера	48,7	50	$\times 1,11$	55,5
Земя	59,7	50	$\times 1$	50
Луна	0,73	50	$\times 5,88$	294
Марс	6,42	50	$\times 2,63$	132
Церера	0,0094	50	$\times 34,5$	1 730
Юпитер	19 000	50	$\times 0,40$	20
Сатурн	5 680	50	$\times 0,91$	46
Уран	868	50	$\times 1,11$	55,5
Нептун	1 020	50	$\times 0,88$	44
Плутон	0,13	50	$\times 16,7$	835

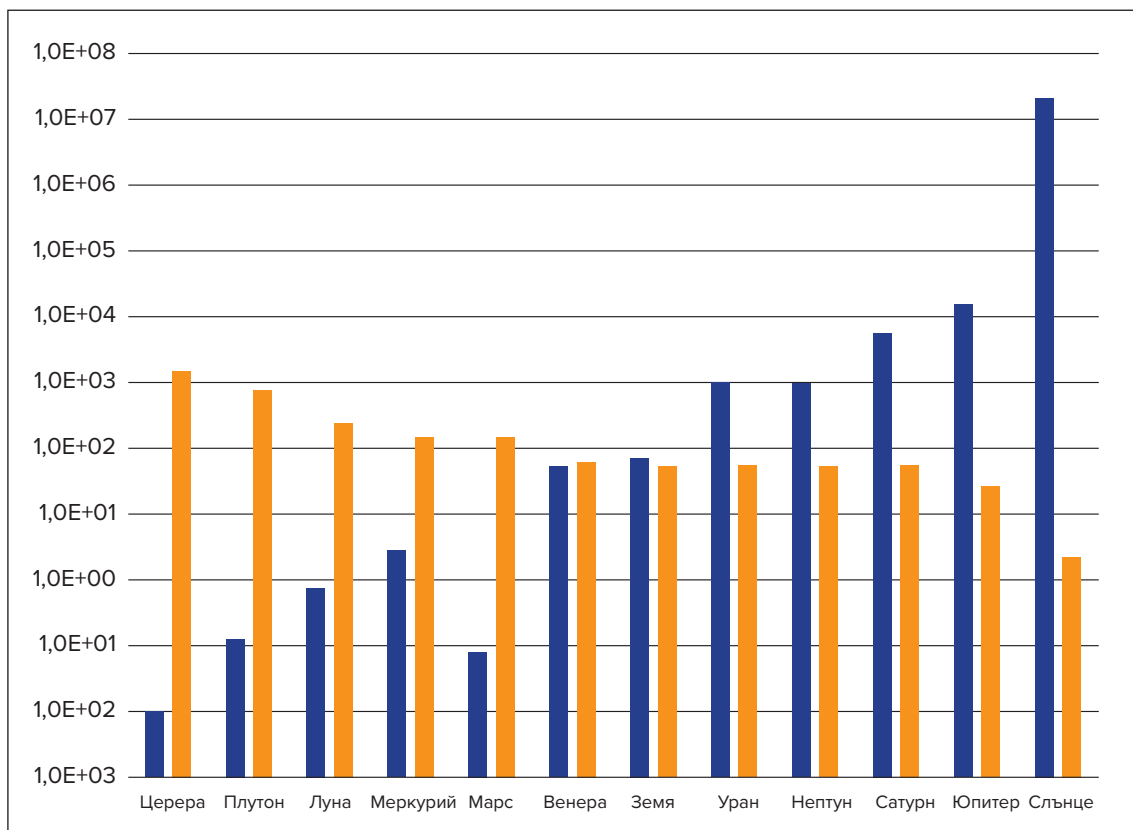
Използвайте изброените по-горе маси, за да подредите космическите обекти от Слънчевата система от тези с най-малка маса до тези с най-голяма маса, а след това ги въведете в таблицата по-долу. Въведете височината на скоковете за всеки изброен космически обект от Слънчевата система в таблицата.

Таблица 3: Ред на космическите обекти от Слънчевата система по маса

Обект на Слънчевата система	Височина на скока върху даден обект
Церера	1 730
Плутон	835
Луна	294
Меркурий	132
Марс	132
Венера	55,5
Земя	50
Уран	55,5
Нептун	44
Сатурн	46
Юпитер	20
Слънце	1,8

Използвайте данните от таблиците по-горе и създайте диаграма, която сравнява масите на космическите обекти от Слънчевата система и височината на вашите скокове. Подредете космическите обекти от тези с най-малка маса до тези с най-голяма маса по хоризонталната ос.

Решение:



5. Слънчевата система

Стойностите в астрономията, в случая масата на предметите, варира например от $9,4 \cdot 10^{20}$ кг до $2,0 \cdot 10^{30}$ кг. Да се показват тези стойности в линейна графика не е много подходящо, така че се използва така нареченото **логаритмично представяне**, където разстоянията между десетиците са еднакви - вижте вертикалната ос на графиката.

Задача: На кой космически обект от Слънчевата система може да скочите най-високо, къде може да скочите най-малко?

Решение: Най-високо може да скочите на планета-джудже Церера, най-малко на Слънцето, но така или иначе, този космически обект няма твърда повърхност както другите газови планети. Така че за правилен отговор може да се счита Земята.

Задача: Защо е възможно да скочите по-високо на Меркурий, отколкото на Нептун?

Решение: На Меркурий върху нас действа по-малката гравитационна сила, така че тук можем да скочим по-високо. Трябва да се отбележи, че Нептун е газообразна планета и няма твърда повърхност.

Задача: Ако искате да подобрите световния рекорд в скока на височина, кой космически обект от Слънчевата система ще си изберете? Защо? На какви космически обекти от Слънчевата система бихте могли да подобрите съществуващия световен рекорд на висок скок?

Решение: Бих си избрал(а) планетата-джудже Церера или планетата-джудже Плутон, но поради голямата им отдалеченост от Земята бих предпочел(а) Луната, която е на приблизително 384 хиляди км от Земята. Рекордът може да бъде преодолян на други каменисти планети, т.е. на Меркурий, Венера и Марс.

4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
1. Траектория на планетите-джуджета	20-30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	енциклопедия, атлас или интернет, калкулатор, табличен процесор	припомняне на разстоянията и размерите на планетите-джуджета, изчисляване на различни разстояния
2. Залязване на планетите-джудже	20-30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	енциклопедия, атлас или интернет, калкулатор, табличен процесор	работа с графики, изчисляване на уравнения
3. Модел на траектория	20-30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	хартия, компютър, калкулатор	създаване на модели на траекториите, работа с модели
4. Колко тежиш	20-30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	метър, калкулатор, табличен процесор, милиметрова хартия	средна стойност, коефициент, височина на скока, подреждане на небесните обекти

Работен лист 1: Траектория на планетите-джуджета

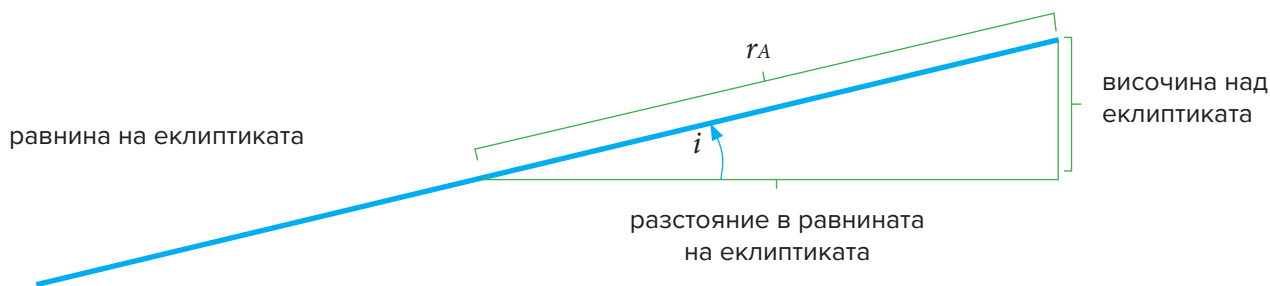
Планетите-джуджета и техните траектории

Задача: Определете разстоянията на планетите- джуджета в перихелий и в афелий. Подредете планетите-джуджета във възходящ ред според разстоянието, на което се намират от Слънцето в перихелий и в афелий. Изчислете за всеки един космически обект сумата от разстоянията в перихелий и в афелий. Сравнете получената стойност с два пъти основната полуос.

(Съвет: Разстоянието в перихелий е $a(1 - e)$, в афелий е $a(1 + e)$. (Съвет: Разстоянието в перихелий е $a(1 - e)$, а в афелий е $a(1 + e)$.)

Задача: Повечето космически обекти от Слънчевата система се движат извън еклиптичната равнина, в която Земята обикаля около Слънцето. Орбиталната равнина на дадено тяло сключва с еклиптичната равнина ъгъл, който обозначаваме с i , от думата „инклинация“ (наклон на траекторията). Нека разгледаме влиянието на наклона на орбиталната равнина на даден обект. За този случай ще ни трябват тригонометричните функции синус и косинус.

5. Слънчевата система



Задача: Определете разстоянията на планетите-джуджета в перихелий и в афелий, като ги проектирате в еклиптичната равнина и включете наклона на орбиталните им траектории. Колко далеч от еклиптичната равнина отиват планетите- джуджета, когато са в перихелий или в афелий?

Задача: Планетата-джудже Церера има радиус от 457 км. В Братислава има автобуси с дължина от 25 метра. Колко автобуса се вписват в радиуса на планетата-джудже Церера?

Задача: В тази част ще се опитаме да определим орбиталната скорост на планетата-джудже, която е разположена в Главния астероиден пояс. За по-лесно ще считаме, че космическият обект се движи по кръгова орбитална траектория.

- а) Церера, някога най-голямата малка планета в Главния астероиден пояс, а сега – планета-джудже, се завърта около Слънцето веднъж на 4,6 години. Изчислете колко секунди са необходими на планетата-джудже Церера, за да направи едно пълно завъртане.
- б) Церера е разположена на разстояние 2,77 астрономически единици (au) от Слънцето. 1 au е 150 милиона км. Изчислете разстоянието на планетата-джудже Церера от Слънцето в км.

- в) Да предположим, че Церера обикаля около Слънцето по кръгова орбита. Начертайте схематично изображение, което да илюстрира орбиталната траектория на планетата-джудже. На фигурата отбележете положението на Слънцето, Церера и радиуса на окръжността (орбиталната траектория).
- г) Използвайте разстоянието от част б) и изчислете колко километра ще измине Церера при една своя обиколка. (Съвет: Обиколката на окръжността се изчислява, като се използва отношението $o = 2\pi r$, където r е радиусът на окръжността)
- д) Използвайте тази връзка, за да изчислите средната скорост $v = s / t$ и използвайте отговорите от части а) и б), за да изчислите скоростта, с която Церера се движи около Слънцето.

Задача: Орбитална скорост на планетата-джудже Плутон

- а) Плутон, някога най-голямата малка планета в Главния астероиден пояс, а сега – планета-джудже, се завърта около Слънцето веднъж на 248 години. Изчислете колко секунди са необходими на планетата-джудже Плутон, за да направи едно пълно завъртане.
- б) Изчислете колко пъти Плутон е обиколил Слънцето от откриването си през 1930 г.

5. Слънчевата система

- в) Плутон е разположен на средно разстояние от 39,5 au от Слънцето. 1 au е 150 милиона км. Изчислете разстоянието на планетата-джудже Плутон от Слънцето в км.
- г) Да предположим, че Плутон обикаля около Слънцето по кръгова орбита. Начертайте схематично изображение, което да илюстрира орбиталната траектория на планетата-джудже. На фигурата отбележете положението на Слънцето, Плутон и радиуса на окръжността (орбиталната траектория).
- д) Използвайте разстоянието от част б) и изчислете колко километра ще измине Плутон при една обиколка. (Съвет: Обиколката на окръжността се изчислява, като се използва отношението $o = 2\pi r$, където r е радиусът на окръжността)
- е) Използвайте формулата, за да изчислите средната скорост $v = s/t$ и използвайте отговорите в части а) и д), за да изчислите скоростта, с която Плутон се движи около Слънцето.

Работен лист 2: Залязване на планета-джудже**Кога ще залезе Церера?**

Задача: В тази задача ще прогнозираме кога планетата-джудже Церера ще залезе, ако я наблюдаваме с телескопа Фолкс Север (Faulkes Telescope North (FTN)), намиращ се на Хавайските острови. Да предположим, че залязването на космическия обект става в момента, в който той се намира на височина от 0° над хоризонта.

Таблицата по-долу показва височината на Церера над хоризонта, така както се вижда от FTN, всеки ден в продължение на 21 дни от 27.02.2006 г. насам. На пръв поглед от данните става ясно, че височината на Церера над хоризонта постепенно намалява всеки ден. Кога ще достигне хоризонта?

Ден	Височина над хоризонта (°)	Ден	Височина над хоризонта (°)
1	19	12	14
2	19	13	14
3	18	14	13
4	18	15	13
5	17	16	12
6	17	17	12
7	16	18	11
8	16	19	11
9	16	20	10
10	15	21	10
11	15		

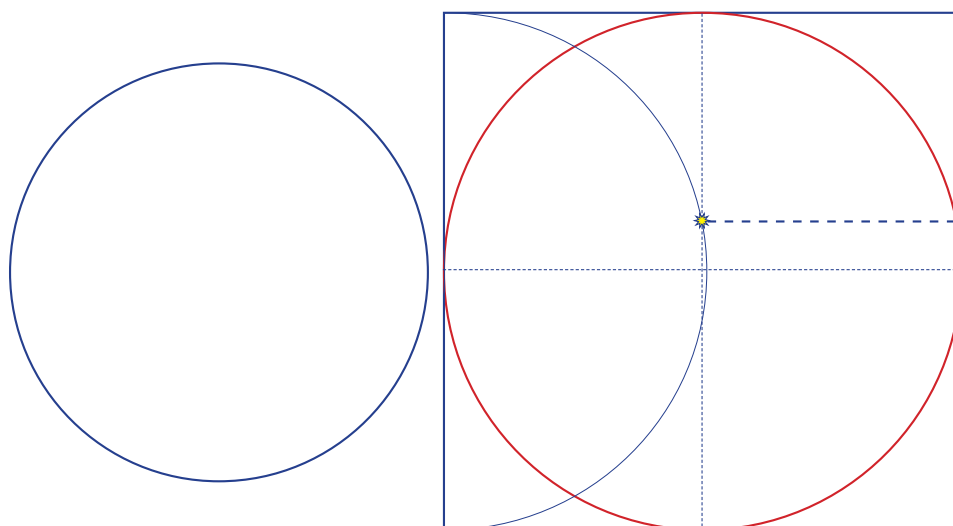
- а) Начертайте графика с височината на Церера над хоризонта по дни, използвайки данните от таблицата по-горе. Свържете с права начертаните точки.
- б) Изчислете наклона на правата и пресечната точка с оста y . Ако приемем, че точките могат най-добре да бъдат съединени с права, какво ще е уравнението за тези данни?
- в) Определете колко дни Церера ще бъде под хоризонта. (Съвет: Един космически обект залязва, когато височината му над хоризонта е 0° .)

Работен лист 3: Модел на траекториите

Задача: Орбиталната траектория на планетата-джудже Плутон е различна от орбиталните траектории на планетите – ексцентрицитет = 0,25, наклон 17° . Ексцентрицитетът на орбитите на планетите варира от 0,007 (за Венера) до 0,206 (за Меркурий), като повечето планети имат ексцентрицитет по-малък от 0,1. Наклонът на орбиталната траектория спрямо еклиптичната равнина варира от 0° (за Земята, по дефиниция на еклиптиката) до 7° (за Меркурий). В резултат на това, за определено време Плутон е по-близо до Слънцето (от 07.02.1979 г. до 11.02.1999 г.) отколкото Нептун, имайки предвид проектирането на неговата орбитална траектория в равнината на еклиптиката.

5. Слънчевата система

- а) Да предположим, че Плутон се движи по кръгова орбитална траектория. Изчислете с колко процента (каква част) от времето Плутон е по-близо до Слънцето в сравнение с планетата Нептун. Колко дни е това?
- б) На модела на траекториите на Нептун и Плутон се уверете, че Нептун и Плутон не могат да се сблъскат. Направете прост модел на траекториите на Нептун и планетата-джудже Плутон. Начертайте кръг с радиус 7,5 см върху лист хартия А4, за да представите орбиталната траектория на Нептун. Изрежете създадения кръг и изрежете процеп в центъра на кръга. На друг лист хартия начертайте траекторията на Плутон, при което ще бъде по-добре, ако нарисувате правоъгълник със страни 19,8 см и 19,2 см – на компютър в някаква програма (например за чертане, рисуване, или в текстов редактор). Начертайте елипса в него така, че тя да докосва всички страни на правоъгълника. Маркирайте с пунктираните линии и двете оси на елипсата. За да получите местоположението на Слънцето, нарисувайте кръг около центъра на дългата страна на правоъгълника с диаметър 19,8 см и намерете пресечната точка с по-дългата ос на елипсата. И накрая, начертайте перпендикуляр към по-дългата ос на елипсата по такъв начин, че да премине през Слънцето. Отпечатайте фигурата в правилния мащаб за формат А4 и изрежете траекторията, включително маркирания перпендикуляр. Пъхнете двата модела на траекторията един в друг така, че да образуват ъгъл от 17° .



Работен лист 4: Колко тежиш

Задача: В тази задача ще разгледаме как теглото на планетата влияе на скока на височина.

Начин на действие:

1. Учениците формират групи от по трима.
2. Един ученик от групата държи метър вертикално на пода, като началото на метъра докосва пода.
3. Вторият ученик в групата наблюдава метъра и записва височината на скока на третия ученик от групата.
4. Третият ученик от групата скача на височина до метъра. Височината на скока се записва и това се повтаря общо три пъти. От трите скока средната височина на скоковете се изчислява и се записва във формуляра, като тя ще се счита за височина на скока на Земята.
5. Учениците си сменят ролите, което означава, че за всеки един скачащ ще бъде записана средната височина на скока му на Земята.

Таблица 1: Изчисляване на средната височина на скока на Земята

Скок	Опит № 1	Опит № 2	Опит № 3	Среден скок
Височина (cm)				

6. Използвайте Таблица 2 за изчисляване на средната височина на скоковете и на други места в Слънчевата система.
7. Попълнете Таблица 3, като впишете планетите, Слънцето и планетата-джудже Плутон, както и височината на вашите скокове според теглото на космическия обект - от космическия обект с най-малка маса до космическия обект с най-голяма маса.
8. Създайте графика с колонки за височината на скоковете, като редът на космическите обекти се определя от масата на космическите обекти.

5. Слънчевата система

Таблица 2: Как височината на скачане е повлияна от масата на космическия обект от Слънчевата система

Космически обект	Тегло на космическия обект от Слънчевата система ($\times 10^{23}$ kg)	Средна височина на скока на Земята (cm)	Коефициент на преобразуване за височина на скок	Височина на скока (cm)
Слънце	19 900 000		$\times 0,036$	
Меркурий	3,3		$\times 2,63$	
Венера	48,7		$\times 1,11$	
Земя	59,7		$\times 1$	
Луна	0,73		$\times 5,88$	
Марс	6,42		$\times 2,63$	
Церера	0,0094		$\times 34,5$	
Юпитер	19 000		$\times 0,40$	
Сатурн	5 680		$\times 0,91$	
Уран	868		$\times 1,11$	
Нептун	1 020		$\times 0,88$	
Плутон	0,13		$\times 16,7$	

Използвайте изброените по-горе маси, за да подредите космическите обекти от Слънчевата система от тези с най-малка маса до тези с най-голяма маса, а след това ги въведете в таблицата по-долу. Въведете височината на скоковете за всеки изброен космически обект от Слънчевата система в таблицата.

Таблица 3: Ред на космическите обекти от Слънчевата система по маса

Обект на Слънчевата система	Височина на скока върху даден обект

Използвайте данните от таблиците по-горе и създайте диаграма, която сравнява масите на космическите обекти от Слънчевата система и височината на вашите скокове. Подредете космическите обекти от тези с най-малка маса до тези с най-голяма маса по хоризонталната ос.

На кой космически обект от Слънчевата система може да скочите най-високо, къде може да скочите най-малко?

Защо е възможно да скочите по-високо на Меркурий, отколкото на Нептун?

Ако искате да подобрите световния рекорд в скока на височина, кой космически обект от Слънчевата система ще си изберете? Защо? На какви космически обекти от Слънчевата система бихте могли да подобрите съществуващия световен рекорд на висок скок?

МАЛКИ ТЕЛА В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

комета

малко тяло

астероид

планетоид

метеорит

метеорно тяло

метеор

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Малко тяло в Слънчевата система се нарича космически обект на орбитална траектория около Слънцето, което не отговаря на критериите за класифициране като планета, планета-джудже или луна (естествен спътник). Този термин бе дефиниран за първи път в Прага на 24 август 2006 г., на XXVI Общо събрание на Международния астрономически съюз, който засегна въпроса за включването на планетата-джудже Плутон и определението за планета. Следователно ние класифицираме като малки тела в Слънчевата система всички комети и малки обекти, които не са планети-джуджета. Броят им може да се променя с течение на времето, в зависимост от това как Международният астрономически съюз ще добавя нови космически обекти към категорията на планетите-джуджета от редиците на малките тела, така че винаги е необходимо да търсите най-новата информация, например на уебсайта <https://solarsystem.nasa.gov/>.

Определение

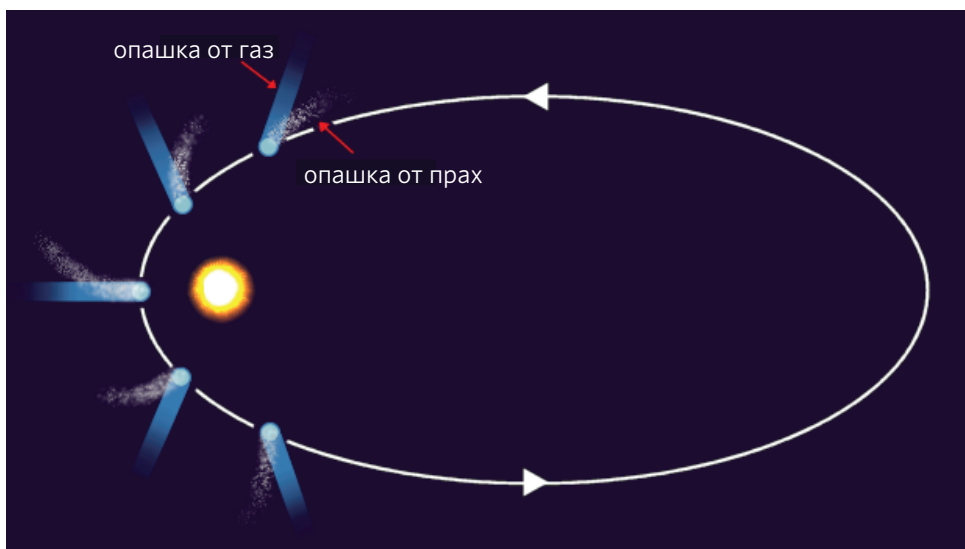
Кометата е малко тяло от Слънчевата система, съставена главно от лед и прах. Тя обикаля около Слънцето най-често по много удължена траектория. Кометите имат поразителна опашка, когато се приближават до Слънцето. Веществата, които образуват комета и нейната опашка, са сух лед (CO_2) и лед (H_2O). За да възникне сублимация (т.е. за да започне да се образува опашка), кометата трябва да е по-близо до Слънцето, отколкото до Юпитер. Кометите, които постоянно са в тази област, са загубили целия си лед и сух лед. Следователно, опашките могат да бъдат създадени само при такива комети, които се приближават близо до Слънцето от големи разстояния. Кометата губи много тонове материал, докато лети покрай Слънцето. На повърхността ѝ остава само сиво и черно покритие от прахови частици и парчета скали. След това сублимацията се осъществява само от дълбоките отвори към вътрешността по време на следващото преминаване край Слънцето. Ето защо астрономите сравняват кометите с много мръсни снежни топки. Опашката на кометите може също да има невъобразимо големи размери, сравними с разстоянието от Земята до Слънцето, това означава 1 астрономическа единица (au), или приблизително 150 милиона км.

Комети



Фигура 11: Кометата Хейл-Боп с прахова опашка (в бяло) и опашка от газ (в синьо)
(Източник: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halebopp031197.jpg>)

5. Слънчевата система



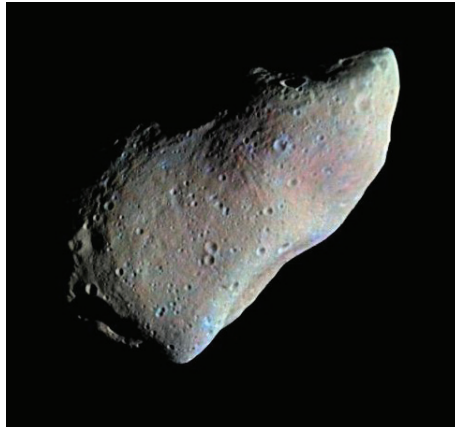
Фигура 12: Траектория на кометата, указваща посоката на опашките от прах и газ, която обаче не е в правилния мащаб на размери и разстояния
(Източник: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cometorbit.sk.png>)

Въз основа на техните орбитални времена (периоди) класифицираме кометите на **краткопериодични** и **дългопериодични**. Краткопериодичните комети, т.е. кометите с кратък период, имат орбитален период по-малък от 200 години, докато дългопериодичните комети, т.е. тези с дълъг период, имат по-дълъг орбитален период, но остават гравитационно зависими от Слънцето. Поясът на Кайпър обикновено се счита за място на произход на краткопериодичните комети. Дългопериодичните комети вероятно се образуват в Облака на Оорт.



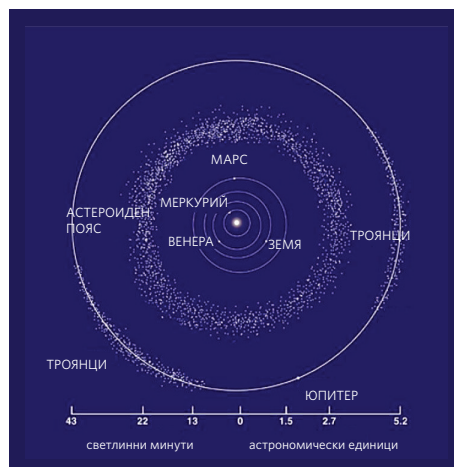
Фигура 13: Повърхността на кометата 67P/Чурюмов – Герасименко от височина от 10 км, е снимана от спускаемия модул Филе (Lander Philae), който е част от космическата сонда Розета (Rosetta) (Източник: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NAVCAM_top_10_at_10_km_%E2%80%93_8_\(15765234852\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NAVCAM_top_10_at_10_km_%E2%80%93_8_(15765234852).jpg))

Астероидите са малки тела, обикалящи около Слънцето, наречени така поради малката си маса и звездообразния си изглед. Те имат предимно неправилна форма. За астероиди обикновено се считат обекти по-големи от 100 м. По-малките се наричат метеорни тела (или метеороиди). Названието астероид не е особено правилно, защото произхожда от гръцката дума „астра“ (звезда). Наставката -оид означава подобен, т.е. астероид = „звездоподобен“.



Фигура 14: Малката планета (951) Гаспра на снимка, направена от сондата Галилео през 1991 г. от разстояние от 5300 км
(Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Gaspra_Mosaic.jpg)

Първият астероид е открит на 1 януари 1801 г. от Джузепе Пиаци от обсерваторията в Палермо и получава името Церера. Сега този космически обект е категоризиран като планета-джудже. Някога астероидите са се смятали за планети. С течение на времето обаче се установило, че те са много малки обекти (в сравнение с размерите на телата, известни ни днес като планети). Започнали да ги наричат английски „minor planets“ (на български „малки планети“). Словосъчетанието „малка планета“ изразява същността на тези обекти, а не това как изглеждат при поглед с телескоп. Думата астероид все още се използва, особено в американската терминология, и чрез правените преводи се поддържа и в другите езици.

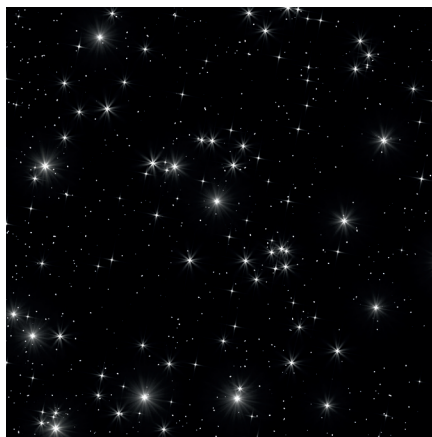


Фигура 15: Схематично представяне на Главния астероиден пояс между орбиталните траектории на Марс и Юпитер. Показани са астероидите от пояса на Троянските астероиди (или Троянци), които са разположени около орбитата на Юпитер.
(Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asteroid_Belt-cs.jpg)

5. Слънчевата система

Най-голямата концентрация (от порядъка на стотици хиляди) от известни астероиди в Слънчевата система е в Главния астероиден пояс, намиращ се между орбитите на Марс и Юпитер. Голям брой астероиди се намират и в Пояса на Кайпър, отвъд траекторията на Нептун, от тук и названието им – Транснептунови космически обекти (TNO). Само няколко хиляди от тях са каталогизирани, защото, поради малкия им размер и голямото им разстояние от Земята, е трудно да се наблюдават и откриват. Разбира се, има и изключения – в близост до големите газови планети (особено около Юпитер) има значителен брой астероиди, които наричаме Троянски астероиди. Те имат същия орбитален период като влияещата им планета и са съсредоточени около орбиталната траектория на планетата и около точки, които предхождат или следват тази планета с 60° .

Един от най-големите астероиди, който е и най-ярък на небето се нарича 4 Веста. Открит е през 1807 г. като 4-ти по ред и има диаметър 525 км. Най-малките астероиди са с размери няколко метра. Има обекти, които в миналото са се приближавали на разстояние, по-малко от траекторията на Луната. Обектите, които редовно се появяват близо до Земята, се наричат Близкоземни обекти (NEO – Near Earth Object). Специфичен въпрос е начинът на търсене на астероиди. Невъзможно е да ги намерите на една отделна снимка. Както можете сами да видите на снимката, на практика е невъзможно да маркирате обектите, които са астероиди.



Фигура 16: Снимка на звездното небе

За да можем да идентифицираме на снимката един астероид, е необходимо да се заснеме неговото движение. Има два начина да се направи това. Или част от небето се експонира достатъчно дълго (в зависимост от разстоянието на астероида от Земята става въпрос за десетки минути до часове), за да се покаже собственото му движение спрямо фиксирания звезден фон, което се появява като линия в изображението, или се осигуряват поне две отделни изображения с кратки експозиции, заснети през достатъчно дълго време. Вторият метод е по-предпочитан и по-използван, защото позволява по-точно измерване на параметрите.

Потенциално опасни Астероиди Напоследък има голям интерес да се идентифицират астероидите, които пресичат орбиталната траектория на Земята и могат да се сблъскат със Земята. **Тези космически обекти се наричат Потенциално опасни астероиди (PHA – Potentially Hazardous Asteroid).** Един астероид ще бъде класифициран като потенциално опасен, ако най-

малкото му орбитално разстояние от орбиталната траектория на Земята е по-малко от 0,05 au (приблизително 7,5 милиона км) и диаметърът му е по-голям от 150 м. Обект с такъв размер вече няма да „изгори“ в земната атмосфера и може да причини пълно унищожаване на големи площи (ако падне върху сушата) или евентуално опустошително цунами (ако падане в океана). Астероиди с такива размери се сблъскват със Земята средно веднъж на всеки 10 000 години. За категоризиране на опасностите от потенциално опасни астероиди се използват Палермската скала (анг. Palermo Technical Impact Hazard Scale) и Торинската скала (анг. Torino scale). Изглежда, че изчезването на видовете в края на Кредата преди 66 милиона години вероятно е причинено от падането на астероида Чиксулуб (Chicxulub) в сегашния Мексикански залив. Той се е сблъскал със Земята със скорост от около 20 км / с.

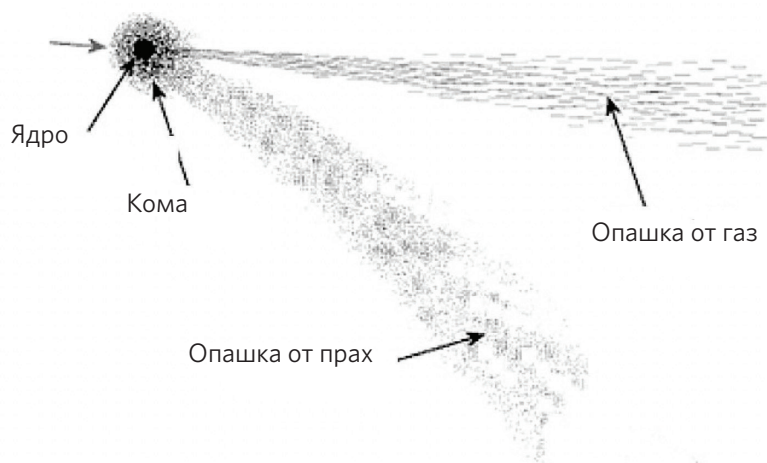
3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Задача 1: Комета

Задача: Начертайте комета и опишете основните ѝ части.

Решение:

Посока на слънчевата светлина



Задача: Кометата винаги ли има опашка? Обяснете отговора си.

Решение: Кометата не винаги има опашка – опашката се образува, когато кометата се приближи до Слънцето и газовете и прахът се изпаряват от повърхността ѝ.

Задача: Опашката на кометата сочи ли към Слънцето? Обяснете отговора си.

Решение: Не. Опашката на кометата никога не може да бъде насочена към Слънцето, защото възниква под въздействието на слънчевия вятър и налягането на излъчването на Слънцето. Това означава, че ако кометата се отдалечава от Слънцето, опашката ѝ сочи пред кометата, а не е зад кометата.

5. Слънчевата система

Задача: Начертайте орбитата на кометата около Слънцето и отбележете посоката на опашката ѝ.

Решение:



Задача: Кои са основните разлики между кометите и астероидите?

Решение:

Комети	Астероиди
Намират се отвъд орбитата на Плутон	Намират се между Марс и Юпитер
Изградени са от лед и прах – те са „мръсни“ снежни топки	Изградени са от скали
Имат опашка	Нямат опашка
Обикновено имат елиптична орбита (дългопериодични комети – имат период над 200 години - имат ексцентрицитет на орбитата по-голям от 0,85; краткпериодичните комети имат среден ексцентрицитет на орбитата 0,5)	Те имат по-малко ексцентрична орбита (98% от номерираните астероиди имат ексцентрицитет на орбита под 0,3; 80% от тях – по-малък от 0,2, а 30% от тях - по-малък от 0,1)

Задача 2: Скорости на астероиди

Задача: Астероидът с обозначение (5000) IAU се намира на разстояние 2,54 au от Слънцето. Да приемем, че има кръгова орбитална траектория. Колко е орбиталният период в секунди?

Решение: Ако приемем, че има кръгова орбитална траектория, то голямата полуос е равна на $a = 2,54$ au. Изхождаме от Третия закон на Кеплер, където за обекти, обикалящи около Слънцето, важи:

$$a_{au}^3 = T_{год}^2$$

Със заместваме откриваме $T = 4,05$ години $= 1,28 \cdot 10^8$ s.

Ще получим орбиталния период (в земни години) като стойността на голямата полуос, изразена в астрономически единици, повдигнем на трета степен ($a^3 = a \cdot a \cdot a$) и вземем квадратния корен от резултата.

Задача: Определете скоростта на астероид, движещ се по орбита около Слънцето, като приемете, че орбитата е кръгова.

Решение: Средната скорост на астероида се изчислява по формулата $v = s / T$. Да предположим, че $1 \text{ au} = 150\,000\,000$ км. Трябва да изчислим орбиталната траектория по формулата $o = 2\pi r = 2\pi a = 2\pi \cdot 2,54 \cdot 150\,000\,000$ км $= 2,39$ милиарда км.

$$v = s / T = 2,39 \cdot 10^9 : 1,28 \cdot 10^8 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} = 18,7 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$$

Задача: Как би се променила орбиталната скорост на планетата, ако тя се намира на такова разстояние, на каквото се намира Юпитер от Слънцето?

Решение: Средното разстояние между Юпитер и Слънцето е $5,20$ au. Според Третия закон на Кеплер, периодът е $11,9$ години $= 3,75 \cdot 10^8$ секунди (с). Средната скорост на астероида се изчислява по формулата $v = s / T$. Да предположим, че $1 \text{ au} = 150\,000\,000$ км. Трябва да изчислим орбитата по формулата $o = 2\pi r = 2\pi a = 2\pi \cdot 5,20 \cdot 150\,000\,000$ км $= 4,90$ милиарда км.

$$v = s / T = 4,90 \cdot 10^9 : 3,75 \cdot 10^8 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} = 13,1 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$$

Задача 3: Потенциална енергия и кинетична енергия

Задача: Тяло от 10 килограма се намира в покой на 10 км над земната повърхност. Изчислете потенциалната енергия по формулата $E_p = mhg$, където $g = 10 \text{ N} \cdot \text{кг}^{-1}$, $h = 5$ km. Колко енергия се преобразува от потенциалната енергия в кинетична енергия, ако тялото се премести от 10 км на 5 км? Преценете каква максимална скорост може да достигне тялото, ако не вземем предвид съпротивлението на въздуха?

Решение: Потенциалната енергия е $E_p = mhg = 10 \cdot 5\,000 \cdot 10 \text{ J} = 500\,000 \text{ J}$. Цялата изчислена преди това потенциална енергия ще се трансформира в кинетична енергия. За кинетичната енергия важи уравнението $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. По това уравнение изчисляваме скоростта

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 500\,000}{10}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 316 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

5. Слънчевата система

Падане на Земята (Сблъсък със Земята)

Задача: Нека разгледаме енергията, която се освобождава, когато движещ се космически обект внезапно спре - например когато комета или астероид се сблъска със Земята. Типичните скорости на астероидите, падащи на Земята, варират от $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ до $70 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Представете си един килограмов обект, който се удря в Земята със скорост $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Изчислете колко енергия ще се освободи при този сблъсък.

Решение: За кинетичната енергия се отнася равенството $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Заменяме основни единици, така че скоростта да бъде преобразувана в $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (20\,000)^2 \text{ J} = 2 \cdot 10^8 \text{ J}$. Тази енергия би била достатъчна за загряване на 500 литра вода от $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задача: Сега си представете същия обект, който се сблъсква със Земята при скорост от $70 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Изчислете колко енергия ще се освободи при този сблъсък. Сравнете с предишната стойност.

Решение: Изчисляването показва, че $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (70\,000)^2 \text{ J} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ J}$. Въпреки че скоростта се е увеличила 3,5 пъти, енергията се е увеличила само $2,5 \cdot 10^9 : 2 \cdot 10^8 = 12,5$ пъти.

Задача: Нека видим как размерът на космическия обект влияе върху освободената енергия. Изчислете освободената енергия на двукилограмен обект, който се сблъсква със Земята със скорост $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Сравнете с отговора от първия случай.

Решение: Изчисляването показва, че $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (20\,000)^2 \text{ J} = 4 \cdot 10^8 \text{ J}$. Когато масата на космическия обект се удвоява, освободената енергия също се удвоява.

Задача 4: Гравитационна сила

Задача: Изчислете големината на гравитационната сила между две зрънца, които са идеални сфери с радиус $0,1 \text{ m}$ и плътност $1\,300 \text{ kg m}^{-3}$, разположени на 1 m едно от друго.

Решение: Гравитационната сила се изчислява, като се използва формулата $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$,

където $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ е гравитационната константа, а r – разстоянието между зрънцата. Първо трябва да изчислим масата на зрънцата. Става въпрос за сфера, чийто обем се изчислява по формулата $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ където R е радиусът на сферата.

След заместване се получава $V = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Масата се изчислява по формулата $m = \rho V$. Масата на зрънцето е $5,5 \text{ kg}$.

След заместване, за гравитационната сила се получава $F_g = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.

Задача: Да предположим, че едното зрънце е с размери 10 метра, а зрънцата са на разстояние 1000 метра едно от друго. Изчислете гравитационната сила между зрънцата.

Решение: $V = 4,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, $m = 5,5 \cdot 10^6 \text{ kg}$, $F_g = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

Задача: Каква би била гравитационната сила, ако едното зрънце има диаметър от 10 км, другото - 0,1 м и те са на разстояние 15 км едно от друго?

Решение: $V_1 = 4,2 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, $m_1 = 5,5 \cdot 10^{15} \text{ kg}$, $V_2 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $m_2 = 5,5 \text{ kg}$,

$F_g = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

Задача 5: Размер на ударните (импактните) кратери на Земята

Тази дейност е фокусирана върху измерването на размерите на реални ударни (импактни) кратери на земната повърхност с помощта на Google Maps. Кратерите по размер са от малки (стотици метра) до много големи (над 100 км). Сблъсъците, създали тези кратери, са предизвикали различни климатични промени – малките сблъсъци засягат само местните зони, докато по-големите могат да причинят глобални промени.

Задача: За всеки ударен (импактен) кратер намерете местоположението му на картата, измерете големината и площта му, и определете държавата, което се намира въпросният кратер. Местоположението на кратера се определя от географската ширина (N = север, S= юг) и географската дължина (W = запад, E = изток).

Име на импактния кратер	Географска ширина	Географска дължина	Размер (km)	Площ (km ²)	Държава
Метеоритен кратер на Барингер (анг. Barringer Crater) Този кратер е създаден преди 50 хиляди години от падането на железен метеорит.	35° 02' N	111° 01' W	1,2	1	Аризона, САЩ
Маникуаган (анг. Manicouagan Reservoir) Един от най-големите видими импактни кратери в света, който е създаден преди повече от 200 милиона години.	51° 23' N	68° 42' W	69,3	3 200	Канада
Клируотър (анг. Clearwater Lakes) Тези два импактни кратера са създадени от падането на двойка малки планети върху земната повърхност.	56° 13' N	74° 30' W	32,4 и 22,1	730 и 360	Канада
Чиксулуб (анг. Chicxulub crater) Този кратер е труден за намиране. Той е създаден преди 66 милиона години от падането на метеорит с големина от 10 км. В резултат на това се е отделило голямо количество енергия, настъпили са климатични промени и са изчезнали много животински видове.	21° 24' N	89° 31' W	повече от 100 km	–	Мексико
Ъпхивъл доум (анг. Upheaval Dome) Този кратер има всички характеристики на типичен импактен кратер – централно възвишение, вътрешен кратер и външни концентрични ударни пръстени.	38° 26' N	109° 54' W	3,5	8	Юта, САЩ

5. Слънчевата система

Име на импактния кратер	Географска ширина	Географска дължина	Размер (km)	Площ (km ²)	Държава
Гос Блъф (анг. Gosses Bluff crater) Този импактен кратер е създаден преди повече от 140 милиона години от удара на малка планета с големина от 1 км. Централният кръг не е ръбът на кратера, той лежи много по-нататък.	23° 50' S	132° 19' E	5,4	20	Австралия
Теноумър (анг. Tenoumer crater) Около кратера има още два лесни за намиране кратера – първият е на 166 км по азимут 27°, а вторият е на 376 км по азимут 219°. Кратерът е създаден преди 20 000 години.	22° 55' N	10° 24' W	1,9	3	Мавритания
Фридефорт (анг. Vredefort) Кратерът се състои от няколко пръстена. Възраст му е 2 милиарди години. Метеоритът е с размер 10 км.	27° 00' S	27° 30' E	60 (вътрешен пръстен)	2 000	Южна Африка

Задача: Изчислете на кинетичната енергия на удара

Кратерът Чиксулуб [Chicxulub] е създаден от падането на скалисто тяло с плътност = 2 700 kg · m⁻³ и с диаметър 17,5 км. Изчислете обема на тялото. Да приемем, че тялото е кръгло.

Решение:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(8750)^3 \text{ m}^3 = 2,8 \cdot 10^{12} \text{ m}^3, \text{ kde } V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(8750)^3 \text{ m}^3 = 2,8 \cdot 10^{12} \text{ m}^3, \text{ kde } r = \frac{d}{2} = \frac{17\,500}{2} \text{ m} = 8750 \text{ m}$$

Задача: Изчислете масата на тялото, създадо кратера Чиксулуб.

Решение:

$$m = \rho V = 2700 \cdot 2,8 \cdot 10^{12} \text{ kg} = 7,6 \cdot 10^{15} \text{ kg}$$

Задача: Изчислете колко кинетична енергия се освобождава при удар, когато тялото се движи със скорост 20 km · s⁻¹.

Решение:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 7,6 \cdot 10^{15} \cdot (20000)^2 \text{ J} = 1,5 \cdot 10^{24} \text{ J}.$$

Всъщност, това е енергията, която Слънцето отделя с цялата си повърхност за 4 хилядни от секундата. Два блока от атомната електроцентрала в Темелин, Чехия, могат да произвеждат само $2 \cdot 10^{17}$ J топлинна енергия, и то при непрекъснатата годишна експлоатация.

Задача: Какво е значението на термините: комета, астероид, метеорит, метеорно тяло (метеороид), метеор?

Решение: **Комета** – малко тяло на Слънчевата система, съставено главно от лед и прах и обикалящо предимно по много ексцентрична елиптична траектория около Слънцето; **астероид** – малко тяло (по-голямо от 100 м), обикалящо около Слънцето, предимно е с неправилна форма и малко тегло, разположено е главно между Марс и Юпитер (в основния пояс), или е отвъд траекторията на Нептун; **метеорит** – по-малко космическо тяло (по-рано наричано и метеороид), което се удря в земната повърхност; **метеороид** – обект на Слънчевата система с размер от няколко милиметра до няколко десетки метра; **метеор** – светлинно явление при преминаването на малко тяло (метеороид) през земната атмосфера. Популярно се нарича и падаща звезда. Много ярък метеор се нарича болид.

4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
1. Комета	20 – 30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	енциклопедия, атлас или интернет, калкулатор, табличен процесор	Термини: комета, опашка, движение около Слънцето
2. Скорости на малките планети	20 – 30 минути	много трудна задача	14 – 15	енциклопедия, атлас или интернет, калкулатор, табличен процесор	Трети Закон на Кеплер, Преобразуване на мерни единици
3. Енергия	20 – 30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	хартия, компютър, калкулатор	Закон за запазване на механичната енергия, Кинетична енергия и Потенциална енергия
4. Импактни кратери (Ударни кратери)	20 – 30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	метър, калкулатор, табличен процесор, милиметрова хартия	работа с карта, кинетична енергия, обем, маса, плътност
5. Гравитационна сила	20 – 30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	калкулатор, табличен процесор, милиметрова хартия	гравитационна сила, обем на сфера, преобразуване на единици

Работен лист 1: Комета

Задача: Нарисувайте комета и опишете основните и части.

Задача: Кометата винаги ли има опашка? Обяснете отговора си.

Задача: Опашката на кометата винаги ли сочи към Слънцето? Обяснете отговора си.

Задача: Начертайте орбитата на кометата около Слънцето и отбележете посоката на опашката ѝ.

Задача: Кои са основните разлики между кометите и малките планети?

Работен лист 2: Скорости на астероиди

Задача: Астероид X се намира на разстояние 2,5 au от Слънцето. Да приемем, че има кръгова орбита. Какъв е орбиталният му период в секунди?

Задача: Определете скоростта на орбитално движение на астероид около Слънцето, като приемете, че орбитата му около Слънцето е кръгова.

Задача: Как би се променила орбиталната скорост на астероида , ако той се намира на такова разстояние, на каквото се намира Юпитер от Слънцето?

Работен лист 3: Енергия

Задача: Тяло с маса 10 килограма се намира в покой на разстояние 10 км над земната повърхност. Изчислете потенциалната енергия по формулата $E_p = mhg$, където $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$. Колко енергия се преобразува от потенциалната енергия в кинетична енергия, ако тялото се премести от 10 км на 5 км? Преценете каква максимална скорост може да достигне тялото, ако не вземем предвид съпротивлението на въздуха.

Задача: Нека разгледаме енергията, която се освобождава, когато движещ се космически обект внезапно спре – например когато комета или астероид се сблъска със Земята. Типичните скорости на малките планети, падащи на Земята, варират от $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ до $70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Представете си обект с маса един килограм, който се удря в Земята със скорост $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Изчислете колко енергия ще се освободи при този сблъсък.

Задача: Сега си представете същия обект, но се сблъсква със Земята при скорост от $70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Изчислете колко енергия ще се освободи при този сблъсък. Сравнете с предишната стойност.

5. Слънчевата система

Задача: Нека видим как размерът на космическия обект влияе върху освободената енергия. Изчислете освободената енергия на двукилограмов обект, който се сблъсква със Земята при скорост от $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Сравнете с отговора от първия случай.

Работен лист 4: Импактни (ударни) кратери

Задача: Тази дейност е фокусирана върху измерването на размерите на реални импактни (ударни) кратери на земната повърхност с помощта на Google Maps. Кратерите по размер са от малки (стотици метра) до много големи (над 100 км). Сблъсъците, създали тези кратери, са предизвикали различни климатични промени – малките сблъсъци засягат само местните зони, докато по-големите могат да причинят глобални промени.

За всеки импактен (ударен) кратер намерете местоположението му на картата, измерете големината и площта му, и определете държавата, в която се намира въпросният кратер. Местоположението на кратера се определя от географската ширина и дължина.

Име на импактния кратер	Географска ширина	Географска дължина	Размер (km)	Площ (km ²)	Държава
Метеоритен кратер на Барингер (анг. Barringer Crater) Този кратер е създаден преди 50 хиляди години от падането на железен метеорит.	35° 02' S	111° 01' Z			
Маникуаган (анг. Manicouagan Reservoir) Един от най-големите видими импактни кратери в света, който е създаден преди повече от 200 милиона години.	51° 23' S	68° 42' Z			
Клируотър (анг. Clearwater Lakes) Тези два импактни кратера са създадени от падането на двойка малки планети върху земната повърхност.	56° 13' S	74° 30' Z			
Чиксулу б (анг. Chicxulub crater) Този кратер е труден за намиране. Той е създаден преди 66 милиона години от падането на метеорит с големина от 10 км. В резултат на това се е отделило голямо количество енергия, настъпили са климатични промени и са изчезнали много животински видове.	21° 24' S	89° 31' Z			

Име на импактния кратер	Географска ширина	Географска дължина	Размер (km)	Площ (km ²)	Държава
Ъпхивъл доум (анг. Upheaval Dome) Този кратер има всички характеристики на типичен импактен кратер – централно възвишение, вътрешен кратер и външни концентрични ударни пръстени.	38° 26' N (north)	109° 54' W (west)			
Гос Блаф (анг. Gosses Bluff crater) Този импактен кратер е създаден преди повече от 140 милиона години от удара на малка планета с големина от 1 км. Централният кръг не е ръбът на кратера, той лежи много по-нататък.	23° 50' S (south)	132° 19' E (east)			
Теноумър (анг. Tenoumer crater) Около кратера има още два лесни за намиране кратера – първият е на 166 км по азимут 27°, а вторият е на 376 км по азимут 219°. Кратерът е създаден преди 20 000 години.	22° 55' S	10° 24' Z			
Фридефорт (анг. Vredefort) Кратерът се състои от няколко пръстена. Възраст му е 2 милиарди години. Метеоритът е с размер 10 км.	27° 00' J	27° 30' V			

Задача: Изчислете кинетичната енергия на удара

Кратерът Чиксулуб [Chicxulub] е създаден от падането на скалисто тяло (с плътност = 2 700 kg · m⁻³) и с диаметър 17,5 km.

Изчислете обема на тялото. Да приемем, че тялото е кръгло.

5. Слънчевата система

Задача: Изчислете масата на тялото, създадо кратера Чиксулуб.

Задача: Изчислете колко кинетична енергия се освобождава при удар, когато тялото се движи със скорост $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Работен лист 5: Гравитационна сила

Задача: Изчислете големината на гравитационната сила между две зрънца, които са перфектни сфери с радиус 0,1 m и плътност $1\,300\text{ kg m}^{-3}$, разположени на 1 m едно от друго.

Задача: Да предположим, че едното зрънце е с размери 10 метра, а зрънцата са на разстояние 1000 метра едно от друго. Изчислете големината на гравитационната сила между зрънцата.

Задача: Каква би била гравитационната сила, ако едното зрънце има диаметър от 10 км, другото е 0,1 m, а те са на разстояние 15 км едно от друго?

ЛУННО ЗАТЪМНЕНИЕ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Лунното затъмнение е астрономическо явление, при което Слънцето, Земята и Луната, при своето движение се подреждат в една линия, така че Луната е в конуса на земната сянка. Лунното затъмнение винаги се наблюдава от цялото нощно земно полукълбо. **В зависимост от това дали цялата Луна или само част от Луната е в сянката, хвърляна от Земята, ние разпознаваме пълно, или частично затъмнение.** Ако Луната е в полусянката на Земята, затъмнение на практика няма (не се променя осветеността на Луната). Дори при пълно затъмнение, лунният диск не се променя съществено. Осветяват го пречупените през земната атмосфера слънчеви лъчи (особено червените). Дискът добива червеникав цвят. Данни за лунни затъмнения имаме още от далечното минало, а можем да ги предсказваме и за много векове напред.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

лунно затъмнение

пълно затъмнение

частично затъмнение

наблюдаване на затъмнението

прогнозиране на затъмнението

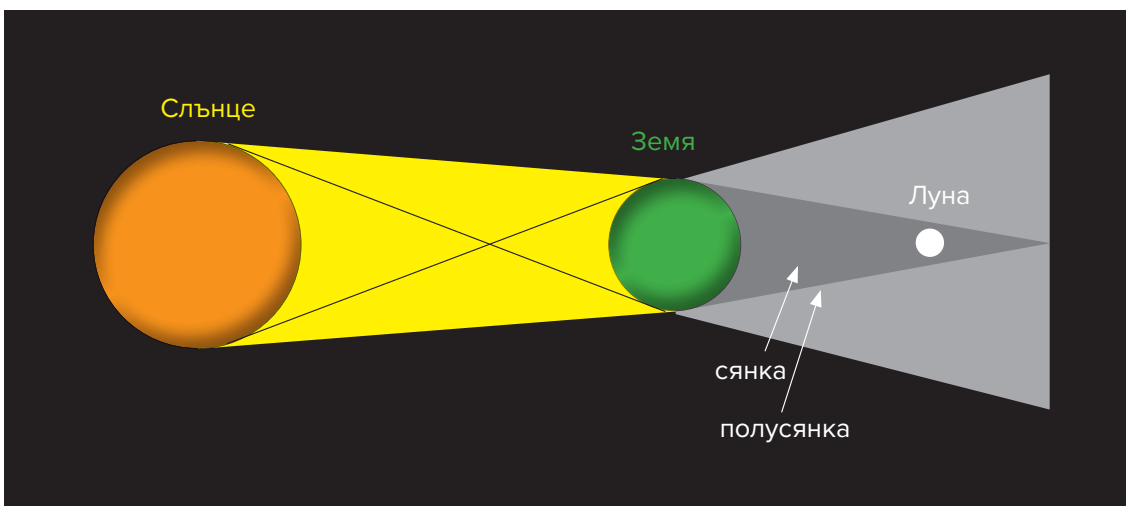
2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Лунното затъмнение е астрономически феномен, при който Слънцето, Земята и Луната застават в една линия. Луната изцяло попада в конуса на земната сянка. За разлика от слънчевото затъмнение, което се наблюдава само от тясна ивица на земната повърхност, в която пада сянката, хвърлена от Луната, лунното затъмнение винаги се наблюдава от цялото земно полукълбо, където в дадения момент е нощ.

Основна информация

Ако Луната обикаляше около Земята в абсолютно същата равнина като еклиптичната равнина (т.е. земната орбитална равнина около Слънцето), Луната би била затъмнена всеки път, когато Земята застане на линията е между Слънцето и Луната. Всъщност обаче, равнината на лунната орбита около Земята е наклонена на приблизително 5° от еклиптичната равнина, и следователно и трите обекта много рядко застават в една линия. Следователно лунното затъмнение не е много често небесно явление. Независимо от това, за даден наблюдател на Земята лунните затъмнения се случват много често от слънчевите затъмнения. Той може да наблюдава 1 – 2 лунни затъмнения годишно на конкретно място, а слънчево затъмнение – веднъж на всеки 400 години. Това е така, защото, както вече беше казано, лунните затъмнения винаги се наблюдават наведнъж от цялото обърнато към Луната земно полукълбо, докато слънчевите затъмнения се виждат само в пояси с широчина от 100 до 270 километра и дължина от няколко хиляди километра.

Следващата фигура показва относителното положение на Слънцето, Луната и Земята, когато има лунното затъмнение. Разстоянията и размерите на обектите не съответстват на действителността, Слънцето е много по-голямо и много по-далече от Земята, Луната също е по-далеч от Земята



Фигура 17: Настъпване на лунно затъмнение

В зависимост от това каква част от Луната попада в сянката, хвърляна от Земята (тъмносивата зона на снимката), различаваме пълно (цялата Луна е в сянката) и частично (част от луната е в сянката) затъмнение. Затъмненията на Луната от полусянката на Земята не променят осветеността на лунната повърхност забележимо.

5. Слънчевата система

- Видове лунни затъмнения** Сянката, хвърляна от Земята в космоса, винаги е достатъчно голяма, за да покрие цялата лунна повърхност. И трите обекта – Слънцето, Земята и Луната – обаче, не е задължително да лежат точно на една линия всеки път, когато Луната е затъмнена; и по-голяма или по-малка част от лунния диск може да бъде в сянката, хвърляна от Земята.
- Пълно лунно затъмнение** **Пълното лунно затъмнение възниква тогава, когато цялата Луна се намира в сянката на Земята.** Разбира се, фазата на пълното лунно затъмнение се предхожда от попадане в полусянката и частичните фази на затъмнението, по време на които лунният диск бавно се придвижва в зоните на полусянката и пълната сянка, и постепенно се засенчва изцяло от Земята. По същия начин, когато лунният диск излиза от сянката на Земята, пълното лунно затъмнение отново е последвано от фазата на частичното затъмнение и преминаване през полусянката. По време на фазата на пълното затъмнение, Луната се осветява само от остатъчна светлина, която се пречупва в земната атмосфера преди да се фокусира към центъра на сянката. Различните цветове на светлината се пречупват по различен начин и следователно цветът на Луната във фазата на пълно затъмнение зависи от разстоянието на Луната от центъра на сянката (от линията, свързваща центъра на Слънцето и Земята), както и от чистотата на земната атмосфера в момента на затъмнението. При пълното лунно затъмнение лунната светлина най-често се наблюдава в тъмно оранжев, червеникав или червеникавокафяв цвят, но цветът може да бъде и с тъмнокафяв, сив или дори синкав оттенък по ръбовете. Може би най-голямо влияние върху цветния нюанс на затъмнената луна оказва вулканичният прах, изпускан в атмосферата в огромни количества по време на вулканични изригвания.
- Частично лунно затъмнение** Ако Луната се намира по-далеч от линията, свързваща Слънцето и Земята, тя може да не достигне изцяло областта на сянката, а само част от нея да бъде в сянка. В този случай лунният диск се наблюдава като полумесец по време на затъмнението, част от който е повече или по-малко затъмнен от сянката, хвърляна от Земята.
- Луна в полусянката** При някои затъмнения, когато Луната е в полусянката, но никаква нейна част не достига зоната на пълната сянка, сянка върху лунния диск, изобщо не се наблюдава. Пълнолунието се вижда през цялото време, само яркостта му леко спада. Този ефект не може изобщо да се забележи с просто око. Само когато Луната се доближи до напълно засенчената зона, може да се забележи, че тя е напълно затъмнена от едната страна.
- Прогнозиране на лунните затъмнения** Въпреки че лунните затъмнения не са толкова зрелищни и ефектни явления (в сравнение с едно пълно слънчево затъмнение), в миналото те са се радвали на голямо внимание. За древните цивилизации Луната е играла много по-важна роля, отколкото тя играе днес. Тя осигурявала достатъчно светлина през нощта, благодарение на нея хората се движели и през нощта, а особено редуването на нейните фази е служело за измерване на времето и е било в основата на създаването много календари. Следователно, внезапното изчезване или почервяване на Луната при пълнолуние е привличало вниманието на хората и ги е плашело. Червената Луна се е появила и в Новия завет, където е предвещавала Апокалипсиса и края на света. По подобен начин, почервяването на Луната е помогнало на Христофор

Колумб, който с точната си прогноза е впечатлил местните индианци в четвъртата си експедиция до Америка и ги е принудил да му сътрудничат. (Европейците по това време вече добре са познавали лунните затъмненията и техните цикли.)

Точно както слънчевите затъмнения, и лунните затъмнения се появяват периодично в различни цикли. Например, по време на 18-годишния период на повтаряемост на затъмненията в определен порядък, наречен Сарос, ще има 29 различни затъмнения на Луната в допълнение към 43-те слънчеви затъмнения.

Таблица на най-скорошните и предстоящи лунни затъмнения (до 2025 г.)

21.01.2019	пълно затъмнение	Централния Пасифик, Америка, Европа, Африка
16.07.2019	частично затъмнение	Южна Америка, Европа, Африка, Азия, Австралия
10.01.2020	полусенчесто затъмнение	Европа, Африка, Азия, Австралия
05.06.2020	полусенчесто затъмнение	Европа, Африка, Азия, Австралия
05.07.2020	полусенчесто затъмнение	Америка, Югозападна Европа, Африка
30.11.2020	полусенчесто затъмнение	Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
26.05.2021	пълно затъмнение	Източна Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
19.11.2021	частично затъмнение	Америка, Северна Европа, Източна Азия, Австралия, Тихия океан
16.05.2022	пълно затъмнение	Америка, Европа, Африка
08.11.2022	затъмнение	Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
05.05.2023	полусенчесто затъмнение	Африка, Азия, Австралия
28.10.2023	частично затъмнение	Източна Америка, Европа, Африка, Азия, Австралия
25.03.2024	полусенчесто затъмнение	Америка
18.09.2024	частично затъмнение	Америка, Европа, Африка
14.03.2025	пълно затъмнение	Тихия океан, Америка, Западна Европа, Западна Африка
07.09.2025	пълно затъмнение	Европа, Африка, Азия, Австралия

Данните са взети от уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Лунно затъмнение – дейности

Име на дейността	Продължителност на дейността	Трудност на дейността	Препоръчителна възраст на децата	Помощни средства и материали	Цел на дейността
1. Демонстрация на лунно затъмнение	30 минути	ниска трудност	от 4 до 8 клас	по-слаб концентриран източник на светлина, топки – топка за волейбол + топка за тенис на корт или топка за тенис на маса + гимнастическа топка от 15 см	Учениците ще разберат принципа на пълното и частичното лунно затъмнение. Те ще запомнят относителното положение на обектите при лунно затъмнение.
2. Модел на лунно затъмнение на открито	1 – 2 часа	средна трудност	от 4 до 8 клас (за по-малките ученици без смятане)	гимнастически топка от 70 см, топчици с размер от до 7 мм и топчици с размер от до 2 мм	Целта на тази дейност е да запознае учениците с огромните разстояния в междупланетното пространство и да се представят разстоянията между обектите по отношение на техните размери.
3. Видове лунни затъмнения – разлики от слънчевите затъмнения	20 – 40 минути, според изчисленията	средна до по-висока трудност, според вида на изчисленията	от 6 до 8 клас	---	Учениците ще разберат основната разлика между слънчевите и лунните затъмнения. Учениците също така ще си изяснят ефекта от наклона на орбитата на Луната около Земята спрямо еклиптичната равнина върху вида на лунното затъмнение.
4. Най-близките лунни затъмнения	20 мин.	ниска до средна трудност	от 4 до 8 клас	уеб страници с данни за лунните затъмнения	Учениците ще се научат самостоятелно да търсят информация в интернет и ще добият представа за честотата на лунните затъмнения и за местата, засегнати от лунните затъмнения.

Задача 1: Демонстрация на лунно затъмнение

В затъмнена стая демонстрирайте как се получава лунно затъмнение. Използвайте по-слаб източник на светлина вместо модел на Слънцето. Използвайте различни по големина топки като модели на Земята и Луната, като спазвате съотношението между размерите им – Луната е приблизително от 3 до 4 пъти по-малка от Земята. Осветете модела на Луната и разположете „Земята“ на подходящо разстояние между „Слънцето“ и „Луната“. Преместете „Луната“ и наблюдавайте пълно и частично лунно затъмнение.

Цел на задачата

Целта на тази дейност е учениците да разберат принципа на пълното и частичното лунно затъмнение. Те ще запомнят относителното положение на обектите при лунно затъмнение, а именно в този конкретен ред: Слънце – Земя – Луна.

Методически бележки за учителите

- Най-големият проблем е осигуряването на подходящ източник на светлина. Източникът трябва да е плосък, в идеалния случай той трябва да е кръг с диаметър от най-малко 20 см, а за предпочитане е той да е 30 см и повече. В същото време източникът трябва да е насочен, така че да не свети из цялата стая, а да осветява само „Луната“ и „Земята“. Препоръчително е източникът да е сравнително слаб (20 – 40 W крушка на разстояние 2 – 3 метра), така че помещението да не е изцяло осветено, а светлината да не се отразява от моделите. Идеален е тесен конусен рефлектор с диаметър 30 – 40 см. Възможно е също така да се използва по-голямо осветително тяло на тавана (полилей), което да е увито отстрани с непрозрачна материя и отгоре да е поставен конус (например върху полилея да е праметната дебело яке, суичър или пуловер). Тогава, разбира се, оптичната ос на експеримента е ориентирана вертикално и „Луната“ лежи на пода под полилея.
- Тъй като ние не правим разлика между зоната на сянка и зоната на полусянка, докато наблюдаваме лунните затъмнения, не е необходимо да отговаряме на условията за източник на светлина толкова точно, колкото при симулацията на едно слънчево затъмнение. Всеки източник на светлина за демонстриране на слънчевото затъмнение е подходящ и за демонстриране на лунно затъмнение, но обратното не е валидно.
- За изпълнението би било идеално да има стая с черни стени, поглъщащи разсеяната и отразената светлина. След това ограниченията, наложени на източника на светлина, може да не са толкова строги. (Слънцето също е всенасочен източник.) Такава стая обаче, обикновено не е на разположение.
- Подходящи модели са например волейболна топка – за Земята и топка за тенис – за Луната; в краен случай и гимнастическа топка от 15 см – за Земята и топка за тенис на маса – за Луната.
- Важно е да се подготви подходящ източник на светлина и да се затъмни стаята. Препоръчваме ви да подготвите и изпробвате всичко това предварително, без да го оставяте в ръцете на учениците.

Примерно решение:

Това е дейност за качество и затова не подходящо да се представя примерно решение. Конкретният начин за изпълнение на упражнението зависи от възможностите на изпълнителя (вж. бележките по-горе).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП**Ученици с увреждания**

Дейността е безпроблемна, ако е подготвен подходящ източник на светлина. При ученици с увреждания в класа силно ви препоръчваме предварително да подготвите средата и източника на светлина.

Надарени ученици

Надарените ученици, от друга страна, могат сами да се опитат да подготвят източника на светлина и чрез изследователски подход да достигнат до необходимите му за задачата свойства – плоскост, насоченост, по-малка интензивност. Освен това те сами могат да се опитат да конструират подходящ източник на светлина.

РАБОТЕН ЛИСТ 1: Демонстриране на лунно затъмнение

В затъмнена стая демонстрирайте как се стига до лунно затъмнение. Използвайте по-слаб източник на светлина вместо модел на Слънцето. Използвайте различни по големина топки като модели на Земята и Луната, като спазвате съотношението между размерите им – Луната е приблизително от 3 до 4 пъти по-малка от Земята. Осветете модела на Луната и разположете „Земята“ на подходящо разстояние между „Слънцето“ и „Луната“. Преместете „Луната“ и наблюдавайте пълно и частично лунно затъмнение.

Решение:

Проверете затъмняването на стаята и подгответе подходящ източник на светлина според инструкциите на учителя. Изберете подходящите модели за Земята и Луната, и не забравяйте, че Земята има диаметър от около 3 – 4 пъти по-голям от диаметъра на Луната.

Модел на Земята: Модел на Луната:

Поставете модела на Луната в светлинния конус, така че светлината да пада равномерно върху нея.

Поставете „Земята“ между „Слънцето“ и „Луната“. Преместете „Луната“ настрани и наблюдавайте пълно и частично лунно затъмнение. Поставете „Земята“ близо до „Луната“, на по-малко от $\frac{1}{4}$ от общото разстояние „Слънце“ - „Луна“.

Начертайте специфичния модел на експеримента и наблюдаваните форма и размер на сянката при пълното и частичното лунно затъмнение:

Задача 2: Модел на лунно затъмнение на открито

Създайте модел на лунно затъмнение. Използвайте гимнастическата топка с диаметър от около 70 см като модел на Слънцето. Първо изчислете размера на небесните тела и разстоянията между тях, след това намерете подходящите по големина топки, които да са Земята и Луната, и ги разположете на правилните разстояния. Не забравяйте за правилния ред на обектите.

Диаметър на Слънцето	1 400 000 км
Диаметър на Земята	13 000 км
Диаметър на Луната	3 500 км
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 км
Разстояние между Луната и Земята	400 000 км

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да запознае учениците с огромните разстояния в междупланетното пространство и да се представят разстоянията между обектите по отношение на техните размери. Във всички илюстрации и модели на Слънчевата система или затъмнението на Луната, обектите са нарочно по-големи и много по-близко един до друг (повече или по-малко, действителността, дори и в съответния мащаб, не може да бъде нарисувана). Разходката е една добра възможност за „коригиране“ на погрешното схващане за „компактна“ Слънчева система.

Методически бележки за учителите

- Подготовката за тази дейност може да се извърши предварително в училище или по време на подготовката за часа по физика. По-долу изчисляваме стойностите при диаметър на топката от 70 см, но може да се използва и друга топка. Ако разликата е до около 10 см, няма нужда да се преизчисляват съотношението и размерът. Това няма да промени ефекта от демонстрацията. Демонстрацията е подходяща и при игра на спортната площадка, в парка или на поляна в гората.
- Внимавайте с единиците за дължина. Не е необходимо да преобразувате реалните дължини в метри, но все пак не забравяйте, че всички размери на моделите и дължините трябва да са в еднакви единици. В примерното решение за реалната ситуация работим с километри (виж заданието), а при модела на ситуацията – с метри. Нищо обаче не пречи да преобразувате всичко в метри или обратно, и по този начин да упражните преобразуванията на единиците за дължина.
- Демонстрацията обаче трябва да се извърши на равна и свободна площ, така че всички обекти да са видими (да не са скрити сред дърветата и т.н.). Препоръчително

5. Слънчевата система

е малките обекти (Земята и Луната) да бъдат държани от учениците в ръка. Ако бъдат положени на земята, те могат да се изгубят или изобщо да не бъдат видени.

- Разстоянието между Земята и Слънцето може да се определи със стъпки – това няма с нищо да промени при създаването на представата за разстоянията.
- Внимавайте за правилния ред на обектите – когато Луната е затъмнена, Земята е между Слънцето и Луната.
- Не е достатъчно само да се правят изчисленията, защото самите числа няма много какво да кажат на учениците. Всъщност е важно да се направи демонстрацията. Само така учениците ще получат правилната представа.

Примерно решение

Мащабът на модела е 0,7 м към 1 400 000 км, т.е. 0,000 000 5 м/км.

Диаметър на Слънцето	1 400 000 км	0,7 м
Диаметър на Земята	13 000 км	0,006 5 m = 6,5 mm
Диаметър на Луната	3 500 км	0,001 75 m = 1,75 mm
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 км	75 м
Разстояние между Луната и Земята	400 000 км	0,2 м

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици с увреждания

Учениците с увреждания могат да се затруднят с изчисляването на размерите и разстоянията при модел с толкова много нули. Затова е възможно да се действа така: $14 : 7 = 2$, т.е. намалете размера два пъти, а след това прибавете нулите. За някои ученици представата за метри и километри наведнъж също може да бъде проблематична, тогава може да е подходящо да преобразувате всичко в метри, дори ако това увеличи съотношението с още нули.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да преизчислят модела и в други пропорции. Понякога могат да се моделират реални ситуации, а понякога е необходимо да се примирим само с мисловни модели. Някои възможни варианти:

- Оформете описаната ситуация така, че да се впише в горната част на чина.
- Изчислете размера и разстоянието между обектите, като вземете предвид, че Слънцето е голямо колкото футболна топка.
- Изчислете размера и разстоянието между обектите, като вземете предвид, че Слънцето е голямо колкото портокал.

Друга възможност е да се разшири задачата с изчисляване на размерите и разстоянията между други планети в Слънчевата система.

РАБОТЕН ЛИСТ 2: Модел на лунното затъмнение на открито

Създайте модел на лунно затъмнение. Използвайте гимнастическата топка с диаметър от около 70 см като модел на Слънцето. Първо изчислете размера на небесните тела и разстоянията между тях, след това намерете подходящите по големина топки, които да са Земята и Луната, и ги разположете на правилните разстояния. Не забравяйте за правилния ред на обектите.

Решение:

Изчислете съотношението на размерите на реалните обекти към обектите в модела.

$$1\ 400\ 000 / 0,7 =$$

Попълнете таблицата с размерите и разстоянията на обектите (действителните размери на тялото са в километри, размерите в модела са в метри):

Диаметър на Слънцето	1 400 000 km	0,7 m
Диаметър на Земята	13 000 km	
Диаметър на Луната	3 500 km	
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 km	
Разстояние между Луната и Земята	400 000 km	

Намерете правилните тела за модели на Земята и Луната. Модел на Земята.

Модел на Земята: Модел на Луната:

Начертайте план, който показва цялата ситуация, когато тя се гледа отгоре:

Задача 3: Видове лунни затъмнения – разлики от слънчевите затъмнения

Когато се гледа от Земята, дискът на Слънцето е приблизително със същия размер като диска на Луната. Поради това могат да възникнат пълни, пръстеневидни и хибридни слънчеви затъмнения. Ситуацията е съвсем различна, когато има лунно затъмнение. Сянката, хвърляна от Земята в космоса, е толкова голяма, че Луната винаги може да се побере цялата в нея. Лунното затъмнение винаги се наблюдава от цялото земно полукълбо, където е нощ.

Също, Луната не обикаля около Земята в същата равнина, в която Земята около Слънцето (= еклиптичната равнина). Следователно, лунното затъмнение възниква само тогава, когато и трите обекта – по изключение – се намират в една и съща равнина. Ако те обикаляха постоянно в една и съща равнина, при всяко едно пълнолуние би имало и лунно затъмнение.

5. Слънчевата система

- а) При какви условия може да възникне пръстеновидно лунно затъмнение? Ако това е възможно, опитайте да прецизирате тези условия чрез изчисления.
- б) Защо понякога има пълно, а понякога само частично лунно затъмнение?

Цел на задачата

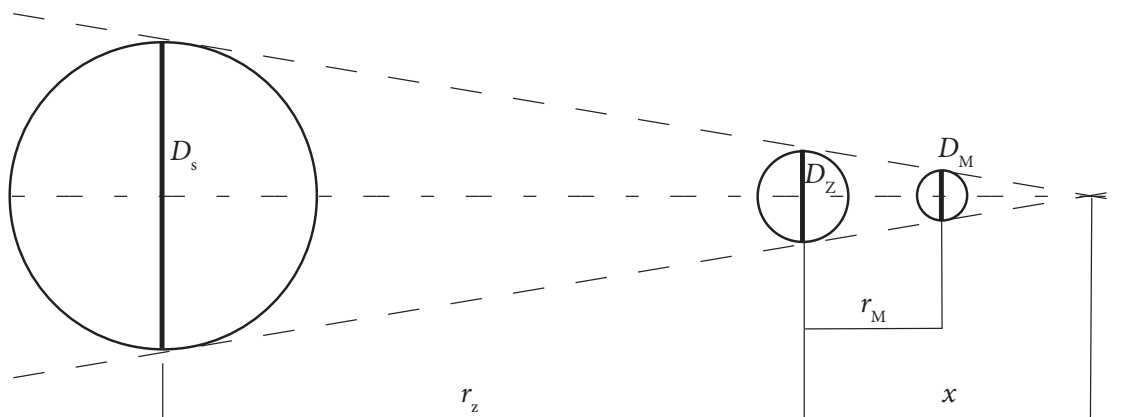
Целта на тази дейност е да обясни на учениците фундаменталната разлика между слънчевото и лунното затъмнение. При затъмнението на Слънцето може да се стигне до пълно, пръстеновидно или хибридно затъмнение, тъй като ъгловите размери на Слънцето и Луната в небето са сравними. При затъмнението на Луната винаги има пълно затъмнение, защото Луната винаги се вписва в конуса на сянката, хвърляна от Земята. Учениците също така ще си изяснят ефекта от наклона на орбитата на Луната около Земята спрямо еклиптиката върху вида на лунното затъмнение.

Методически бележки за учителите

- На пръв поглед е ясно, че за евентуално възникване на пръстеновидно лунно затъмнение, промяната на разстоянията или размерите на участващите обекти би трябвало да бъде огромна, а наблюдаването на пръстеновидното затъмнение на Луната е нереалистично. Въпреки това е особено полезно с надарените ученици да се изчислят параметрите на такава ситуация. Предлагаме да уголемиите Луната или да я доближите до Земята. И двата резултата са повече или по-малко в областта на „физическия или астрономическия хумор”.

Примерно решение:

- а) Пръстеновидното затъмнение на Луната може да възникне само ако сянката, хвърляна от Земята, е по-малка от размера на Луната в точката на нейното пресичане с траекторията на Луната. В този случай Луната би трябвало да бъде много по-голяма. Вторият вариант е Луната да бъде няколко пъти по-отдалечена. Нито една от тези възможности не е реална. Възможно е обаче да се извършат конкретни изчисления, вижте фигурата.



Земята хвърля конусовидна сянка в пространството $\alpha = \frac{D_s}{r_z+x}$.

Първо изчисляваме разстоянието на върха на конуса от Земята x от уравнението

$$\frac{D_S}{r_Z+x} = \frac{D_Z}{x} \Rightarrow x = \frac{D_Z \cdot r_Z}{D_S - D_Z} \doteq 1,4 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Търсим какъв диаметър би трябвало да има Луната при сегашното разстояние, за да може да настъпи пръстеновидно затъмнение на Луната

$$\frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M} \Rightarrow D_M = \frac{D_Z(x-r_M)}{x} \doteq 9\,500 \text{ км,}$$

Това би трябвало да е вярно ако Луната бъде близо 3 пъти по-голяма, отколкото всъщност е в действителност.

Сега търсим на какво пределно разстояние би трябвало да се намира Луната при сегашните си размери, за да може да настъпи пръстеновидно затъмнение на Луната.

Отново трябва да е вярно, че $\frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M}$,

$$\text{teraz vyjadríme } \frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M}, \text{ teraz vyjadríme } r_M = x - \frac{D_M \cdot x}{D_Z} \doteq 10^6 \text{ km,}$$

т.е. Луната би трябвало да е 2,6 пъти по-далеч, отколкото е в действителност.

б) Ако в момента на лунното затъмнение Луната е близо до еклиптичната равнина, тя ще се побере изцяло в конуса на сянката, хвърляна от Земята. Ако Луната е по-далеч от еклиптичната равнина, може да настъпи ситуация, при която само част от Луната се намира в сянката на Земята. Това обаче не означава, че сянката, хвърляна от Земята, е по-малка. Само Луната не се „събира точно“ в нея.

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици с увреждания

При ученици с увреждания не препоръчваме да се изчисляват размера на Луната и разстоянието между небесните тела, за да се демонстрира пръстеновидно затъмнение на Луната. Препоръчително е да се задоволи със скица, демонстрираща ситуацията, и също така само да зададете размера на Луната и разстоянието между небесните тела, за да се демонстрира пръстеновидно затъмнение на Луната. Не е препоръчително да се обмисля ситуация, при която едновременно се променят размера на Луната и разстоянието между небесните тела, за да се демонстрира пръстеновидно затъмнение на Луната.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да изчислят размера на Луната и разстоянието между небесните тела, за да се демонстрира пръстеновидно затъмнение на Луната - самостоятелно или под ръководството на учителя. Възможно е също така с тях да се обсъди едновременната промяна на размера на Луната и разстоянието между небесните тела. Също така би било възможно да се обърне ситуацията и Земята да се преоразмери. Всички параметри на планирания експеримент могат да бъдат различни. Например, възможно е да се изчисли при какъв наклон на орбитата на Луната около Земята относно еклиптиката би се стигнало до затъмнение на Луната при всяко едно пълнолуние.

**РАБОТЕН ЛИСТ 3: Видове лунни затъмнения –
разлики от слънчевите затъмнения**

Когато се гледа от Земята, дискът на Слънцето е приблизително със същия размер като диска на Луната. Поради това могат да възникнат пълни, пръстеновидни и хибридни слънчеви затъмнения. Ситуацията е съвсем различна, когато има лунно затъмнение. Сянката, хвърляна от Земята в космоса, е толкова голяма, че Луната винаги може да се побере в нея. Лунното затъмнение винаги се наблюдава от цялото земно полукълбо, където е нощ.

Луната също не обикаля около Земята в същата равнина, в която Земята около Слънцето (= в еклиптичната равнина). Следователно, лунното затъмнение възниква само тогава, когато и трите обекта – по изключение – се намират в една и съща равнина. Ако те обикаляха постоянно в една и съща равнина, при всяко едно пълнолуние би имало и лунно затъмнение.

Нека се опитаме да уточним какво затъмнение на Луната би могло да настъпило и при какви условия.

Решение:

Отговорете на следните въпроси, като може да обосновете отговора си с обяснителен чертеж или изчисление.

а) При какви условия може да възникне пръстеновидно лунно затъмнение? Ако това е възможно, опитайте да прецизирате тези условия чрез изчисления.

б) Защо понякога има пълно, а понякога само частично лунно затъмнение?

Задача 4: Най-близки лунни затъмнения

Въз основа на информацията, открита в интернет, съставете списък на предстоящите лунни затъмнения до 2025 г. При всяко едно затъмнение ще видите кога ще настъпи, какъв ще бъде видът му и къде ще бъде наблюдавано то. Препоръчваме да използвате уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. След това определете кога ще настъпи следващото пълно лунно затъмнение, наблюдавано от Европа, Словашката република и Братислава. (България и София).

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да научи учениците самостоятелно да търсят информация в Интернет и да добият представа за честотата на явлениято лунно затъмнение и за територията, от която ще се наблюдава лунното затъмнение.

Методически бележки за учителите

- Цялата необходима информация за изпълнение на заданието може да бъде намерена на уебсайта на НАСА на адрес <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.
- Уебсайтът, разбира се, е на английски език. Вярваме обаче, че използваният речник е толкова ограничен, че не би трябвало да създаде проблем на учителите и учениците.

Примерно решение

21.01.2019 г.	пълно затъмнение	Централния Пасифик, Америка, Европа, Африка
16.07.2019 г.	частично затъмнение	Южна Америка, Европа, Африка, Азия, Австралия
10.01.2020 г.	Луната е в полусянката	Европа, Африка, Азия, Австралия
05.06.2020 г.	Луната е в полусянката	Европа, Африка, Азия, Австралия
05.07.2020 г.	Луната е в полусянката	Америка, Югозападна Европа, Африка
30.11.2020 г.	Луната е в полусянката	Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
26.05.2021 г.	пълно затъмнение	Източна Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
19.11.2021 г.	частично затъмнение	Америка, Северна Европа, Източна Азия, Австралия, Тихия океан
16.05.2022 г.	пълно затъмнение	Америка, Европа, Африка
08.11.2022 г.	пълно затъмнение	Азия, Австралия, Тихия океан, Америка
05.05.2023 г.	Луната е в полусянката	Африка, Азия, Австралия
28.10.2023 г.	частично затъмнение	Източна Америка, Европа, Африка, Азия, Австралия
25.03.2024 г.	Луната е в полусянката	Америка
18.09.2024 г.	частично затъмнение	Америка, Европа, Африка
14.03.2025 г.	пълно затъмнение	Тихия океан, Америка, Западна Европа, Западна Африка

Всички затъмнения на Луната, видими от Европа, се виждат и от територията на Словашката република и Братислава.

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици с увреждания

Учениците с увреждания също трябва да могат без проблем да се справят с цялата задача, т.е. да намерят затъмненията за близкото бъдеще до 2025 г.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да търсят и други свързани данни за затъмненията на сайта на НАСА, като обща продължителност на затъмнението, времената на начало и край на затъмнението и други.

РАБОТЕН ЛИСТ 4: Най-близкото лунно затъмнение

Въз основа на информацията, открита в интернет, съставете списък на предстоящите лунни затъмнения до 2025 г. При всяко едно затъмнение ще видите кога ще настъпи, какъв ще бъде видът му и къде ще бъде наблюдавано то. Препоръчваме да използвате уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. След това определете кога ще настъпи следващото пълно лунно затъмнение, наблюдавано от Европа, Словашката република и Братислава. (България и София).

Решение:

Дата	Тип затъмнения	Област / държави

Най-близкото общо лунно затъмнение, наблюдавано в Европа:

дата:

Най-близкото пълно (пръстеновидно) затъмнение на територията на Словашката република (България):

дата:

Най-близкото пълно (пръстеновидно) затъмнение в Братислава (София):

дата:

СЛЪНЧЕВО ЗАТЪМНЕНИЕ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Слънчевото затъмнение е астрономическо явление, при което Слънцето, Луната и Земята при своето движение застават в една линия, а сянката на Луната пада върху повърхността на Земята. В зависимост от това дали лунният диск покрива цялото Слънце или не различаваме пълни, пръстеновидни, хибридни и частични слънчеви затъмнения. При пълно слънчево затъмнение можем да наблюдаваме много интересни явления – слънчевата корона, броеницата на Бейли, диамантения пръстен и т.н. Данни за слънчеви затъмнения имаме още от далечното минало. Слънчевите затъмнения се прогнозираат за много векове напред. Трябва да се внимава при всяко едно наблюдение на Слънцето, за да се избегне увреждане на очите.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

слънчево затъмнение

пълно затъмнение, пръстеновидно затъмнение, хибридно затъмнение, частично затъмнение

наблюдение на затъмнението

прогнозиране на затъмнението

увреждане на очите, мерки за сигурност

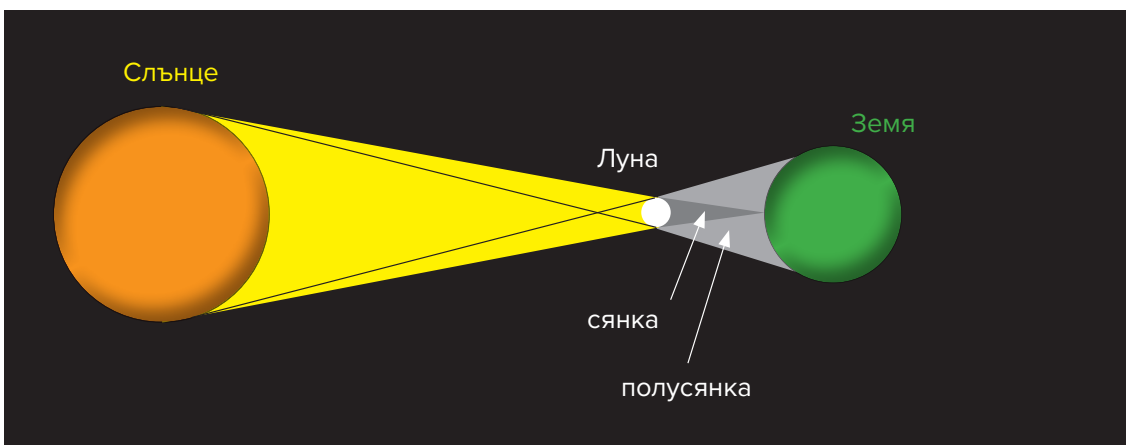
2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Слънчевото затъмнение е астрономически феномен, при който Слънцето, Земята и Луната застават в една линия. По този начин сянката на Луната пада върху повърхността на Земята. Слънчевото затъмнение може да възникне само тогава, защото гледани от земната повърхност Слънцето и Луната имат приблизително еднакъв ъглов размер, а именно $0,5^\circ$. Луната е с 400 пъти по-малък диаметър от Слънцето, но е 400 пъти по-близо до Земята. Следователно видимият размер на слънчевия и лунния диск на небето са едни и същи, а лунният диск може точно да покрие цялото Слънце. Тъй като небесните обекти не се движат по окръжности, а по елипси, разстоянията между Слънцето и Земята, и Земята и Луната периодически се увеличават и намаляват. Ето защо лунният диск понякога е по-голям и покрива цялото Слънце, а друг път е по-малък. Съответно възникват пълни и пръстеновидни слънчеви затъмнения.

Основна информация

Ако Луната обикаляше около Земята в абсолютно същата равнина като еклиптичната равнина (орбиталната равнина на Земята около Слънцето), би имало слънчеви затъмнения всеки път, когато Луната се намира между Слънцето и Земята. Всъщност обаче равнината на орбитата на Луната около Земята е наклонена на приблизително 5° спрямо еклиптичната равнина, и следователно и трите обекта много рядко застават в една линия. Това означава, че слънчевото затъмнение е сравнително рядко небесно явление. Ниската честота на слънчевите затъмнения се дължи и на факта, че те могат да се наблюдават само от много малка област. При оптимално относително положение на трите обекта, лунната сянка на земната повърхност е широка само 270 километра, много често и по-тясна – само около 100 километра. Дължината на пояса, в който сянката се движи по повърхността, е само няколко хиляди километра. Историческите записи и прогнозите за бъдещи затъмнения показват, че на едно място може да се наблюдава слънчево затъмнение средно веднъж на всеки 400 години.

Следната фигура показва относителното положение на Слънцето, Луната и Земята когато има слънчево затъмнение. Разстоянията и размерите на обектите не съответстват на действителността, Слънцето е много по-голямо и много по-далече от Земята, Луната всъщност също е по-далеч от Земята.



Фигура 17: Настъпване на слънчево затъмнение

5. Слънчевата система

Пълното затъмнение се наблюдава само в малка област – там, където пада пълната сянка на Луната, отбелязана с тъмно сиво. Светлосивият цвят показва значително по-голямата площ на полусянката. В тази област светлината идва само от част от слънчевия диск, а в другите области светлината изобщо не попада. На земната повърхност наблюдаваме слънчевия диск, който само частично е затъмнен от Луната – тогава има частично слънчево затъмнение.

Видове слънчеви затъмнения Малките разлики в ъгловия размер на Слънцето и Луната, причинени от промените в разстоянието между Слънцето и Земята, съответно между Земята и Луната, влияят на различните видове слънчеви затъмнения.

Пълно слънчево затъмнение Пълно слънчево затъмнение възниква, когато ъгловият размер на лунния диск е по-голям от ъгловия размер на слънчевия диск. Слънцето достига областта на пълна сянка – чак до повърхността на Земята, а дискът на Луната покрива цялото Слънце в небето. Фазата на пълното слънчево затъмнение, разбира се, се предхожда от фаза на частично затъмнение, а това е времето, когато лунният диск бавно се плъзга пред Слънцето и постепенно го засенчва. По същия начин пълното затъмнение отново е последвано от фазата на частичното затъмнение, когато сянката отстъпва. При пълно слънчево затъмнение целият слънчев диск е засенчен и се виждат най-интересните астрономически детайли като **слънчевата корона или броеницата на Бейли**. Краткият момент на пълното слънчево затъмнение е неповторима и уникална възможност да наблюдаваме околността на Слънцето с незащитено око. Когато настъпи пълно слънчево затъмнение става почти напълно тъмно (като привечер). **Областта, където се наблюдава пълното слънчево затъмнение се нарича „зона на пълно затъмнение“.**

Пръстеновидно слънчево затъмнение Ако ъгловият размер на Луната е по-малък от ъгловия размер на слънчевия диск, то тогава площта на пълната сянка няма да достигне повърхността на Земята и в нито един момент няма да се наблюдава пълно слънчево затъмнение. Наблюдателят, намиращ се на земната повърхност на мястото на линията Слънце – Луна, вижда кръглата сянка на Луната върху слънчевия диск. Слънцето има формата на блестящ пръстен. При по-силно изразено пръстеновидно затъмнение, когато големината на лунната сянка е близка до размера на слънчевия диск, може да се наблюдава забележима полу-сянка. **Областта, където се наблюдава пръстеновидното слънчево затъмнение, се нарича „зона на пръстеновидно затъмнение“.**

Хибридно слънчево затъмнение Хибридно слънчево затъмнение се отнася до ситуацията, при която ъгловите диаметри на Слънцето и Луната в небето са идентични. Такова затъмнение може да се види само в много тясна ивица от няколко десетки километра. Затъмнението започва като пръстеновидно и само в малка зона от няколко километра вътре в ивицата преминава за кратко в пълно затъмнение. Отново се наблюдава слънчевата корона, а броеницата на Бейли може да се наблюдава навсякъде около Слънцето.

Частично слънчево затъмнение В сравнение с пълните, пръстеновидните и хибридните, частичните слънчеви затъмнения могат да се наблюдават на по-голяма площ от земната повърхност. При частичното затъмнение лунният диск не покрива цялото Слънце, което

се наблюдава като по-голям или по-малък слънчев полумесец. Всяко пълно, пръстеновидно или хибридно затъмнение започва и завършва с частична фаза на затъмнението, при която лунният диск се плъзга пред Слънцето и после се отдалечава от него. Всички тези затъмнения се наблюдават през цялото време като частични от наблюдатели, които се намират извън зоните на пълно затъмнение. Възможно е да има и затъмнения, които са само частично видими от всяка точка на земната повърхност. Частичните затъмнения може изобщо да не се забележат. Само когато голяма част от слънчевия диск е покрита (над 95%), е възможно да се усети промяна в осветеността, причинена от затъмнението.

Наблюдения с незащитено око могат да се провеждат само по време на фазата на пълно слънчево затъмнение. Това е така, защото сиянието на слънчевия диск е толкова силно, че засенчва останалите явления, които обикновено се наблюдават около Слънцето. **Най-забележимото явление е слънчевата корона.** Тя се състои от много горещ газ (плазма), „изтичащ“ от повърхността на Слънцето и плавно преминаващи в междупланетното пространство. Формата и размерът на короната зависят от активността на Слънцето. В короната видимите **струи плазма от повърхността на Слънцето се наричат протуберанси.** **В началото и в края на пълно слънчево затъмнение около Слънцето е възможно да се наблюдава и т. нар. броеница на Бейли.** Това явление, подобно на низ от блестящи перли, се причинява от преминаването на слънчевите лъчи през релефната повърхност Луната. Ефектът, наблюдаван непосредствено преди или след пълното затъмнение, когато последната блестяща част от слънчевата повърхност все още се вижда и пръстенът на слънчевата корона вече е видим, се нарича **диамантен пръстен.** По време на едно пълно слънчево затъмнение на небето се виждат най-ярките звезди и планети, а небето е тъмно синьо, като след здрач. Слънчевата корона свети по съпоставим начин като пълната Луна.

Явления, наблюдавани при пълно слънчево затъмнение

Слънчевото затъмнение, като едно от най-впечатляващите явления в небето, е било обект на внимание на хората още от най-древни времена и е насърчило въображението им. Според някои цивилизации това е бил гневът на боговете, на други места са смятали, че Слънцето е изядено от дракон, или че идва краят на света. Един от първите предполагаеми записи за слънчево затъмнение е от Китай, когато около 2136 г. пр. н. е. императорът е убил двама свои астрономи, тъй като не предсказали правилно затъмнението. Например, едно потвърдено известие за слънчево затъмнение датира от 762 г. пр. н. в. от Месопотамия, има и списък с 36 затъмнения, настъпили между 721 и 420 г. пр. н. е. от Китай.

Предсказване на слънчевите затъмнения

Тъй като затъмненията се случват периодично в различни цикли, астрономи от древността са се научили да ги прогнозира достатъчно добре. През VII в. пр. н. е. във Вавилон те открили периода, наречен Сарос, т.е. периода между едни и същи затъмнения, продължаващ приблизително 18 години. През този период има 43 различни слънчеви затъмнения. В допълнение към най-известния период Сарос, има и други периоди на затъмнения (Тритос и Инекс), които са открити по-късно.

Таблица на най-близките слънчеви затъмнение (до 2025 г.)

06.01.2019	частично затъмнение	Североизточна Азия, Северния Пасифик
02.07.2019	пълно затъмнение	Южния Пасифик, Чили, Аржентина
26.12.2019	пръстеновидно	Саудитска Арабия, Индия, Суматра, Борнео
21.06.2020	пръстеновидно	Централна Африка, Югоизточна Азия, Тихия океан
14.12.2020	пълно затъмнение	Южния Пасифик, Чили, Аржентина, Южен Атлантически океан
10.06.2021	пръстеновидно	Северна Канада, Гренландия, Русия
04.12.2021	пълно затъмнение	Антарктида
30.04.2022	частично затъмнение	Югоизточния Пасифик, южната част на Южна Америка
25.10.2022	частично затъмнение	Европа, Североизточна Африка, Близкия изток, Западна Азия
20.04.2023	хибридно	Индонезия, Австралия, Папуа Нова Гвинея
14.10.2023	пръстеновидно	Западен САЩ, Централна Америка, Колумбия, Бразилия
08.04.2024	пълно затъмнение	Мексико, централната част на САЩ, Източна Канада
02.10.2024	пръстеновидно	южните части на Чили и Аржентина
29.03.2025	частично затъмнение	Северозападна Африка, Европа, Северна Русия
21.09.2025	частично затъмнение	Южния Пасифик, Нова Зеландия, Антарктида

Данните са взети от уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Там също може да се установи, че следващото пълно слънчево затъмнение, видимо от територията на България ще е на 03. 09. 2081 г., но преди това ще има пръстеновидно на 06. 01. 2030 г.

Наблюдение на слънчевите затъмнения и безопасност

При всички наблюдения на Слънцето е необходимо да се спазват правилата за безопасност! Гледането в Слънцето с незащитено око може да причини сериозно, понякога трайно увреждане на очите. Тази опасност е още по-голяма, когато се гледа с телескоп, който концентрира слънчевата светлина още повече. Съществува и риск от увреждане на зрението, когато Слънцето е частично затъмнено, дори когато голяма част от слънчевия диск е покрита от лунния диск.

За наблюдение е идеално да се използва специално фолио (например от производителя Baader Planetarium), проектирано за директно наблюдение на Слънцето или специални очила, снабдени с това фолио. Възможно е също така надеждно да се използват филтри за заваряване или очила, съответно сенници, направени от тях. За случайни и краткосрочни наблюдения може да се използва експониран черно-бял негатив или експонирана (черна) част от рентгенова снимка, както и магнитен диск от използвана преди това дискета. Трябва да се отбележи, че слънчевата радиация съдържа не само видима светлина, но и ултравиолетови и инфрачервени компоненти. Не можем да видим нито едните, нито другите компоненти с просто око, но и двата могат да повредят окото с достатъчна сила. Подходящият филтър също трябва да премахва достатъчно много и от невидимото лъчение.

Определено не е препоръчително да се използват очила, изцапани със сажди, слънчеви очила или пък конвенционално цветно фолио. Въпреки че това фолио може да филтрира достатъчна част от видимата светлина и да изглежда

достатъчно тъмно, не може лесно да се разбере дали достатъчно добре филтрира опасната част от невидимото лъчение. По същата причина е препоръчително да бъдете недоверчиви и към различни улични продавачи, продаващи непроверени защитни филтри или очила.

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Слънчево затъмнение – дейности

Име на дейността	Продължителност на дейността	Трудност на дейността	Препоръчителна възраст на децата	Помощни средства и материали	Цел на дейността
1. Демонстрация на слънчево затъмнение	30 минути	ниска трудност	от 4 до 8 клас	по-слаб целенасочен източник на светлина, топки – топка за волейбол + топка за тенис на корт или топка за тенис на маса + гимнастическа топка от 15 см	Учениците ще разберат принципа на слънчевото затъмнение и зоните, намиращи се в пълна сянка и в полусянка. Те ще запомнят относителното положение на обектите при слънчево затъмнение.
2. Модел на слънчево затъмнение	1 – 2 часа	средна трудност	от 4 до 8 клас (за по-малките ученици без смятане)	гимнастически топка от 70 см, топчици с размер от до 7 мм и топчици с размер от до 2 мм	Целта на тази дейност е да запознае учениците с огромните разстояния в междупланетното пространство и да се представят разстоянията между обектите по отношение на техните размери.
3. Видим размер на Слънцето и Луната на небето – видове слънчеви затъмнения	20 – 40 минути	средна до по-висока трудност според вида на въпросите	от 6 до 8 клас	---	Учениците ще разберат разликите между различните видове слънчеви затъмнения. Освен това те ще затвърдят представата за относителното положение на обектите по време на затъмнението и ще изяснят ефекта от наклона на орбиталната равнина на Луната около Земята спрямо еклиптичната равнина.
4. Наблюдение на пълно слънчево затъмнение от други планети	20 – 40 минути в зависимост от броя на планетите	средна до голяма трудност, в зависимост от избора на планетата	от 6 до 8 клас	уебсайт с характеристики на планетите и техните луни	Учениците задълбочават разбирането си за механизма на слънчевото затъмнение и подчертават необходимите условия за пълното затъмнение. Те си припомнят и информацията за планетите и техните луни.
5. Най-близки слънчеви затъмнения	20 – 40 минути според класификацията на допълнителните въпроси	средна до по-висока трудност според вида на въпросите	от 4 до 8 клас (за по-малките ученици само основната таблица)	уеб страници за слънчевите затъмнения	Учениците ще се научат самостоятелно да търсят информация в интернет и ще добият представа за честотата на слънчевите затъмнения и за местата, засегнати от лунните затъмнения.

Задача 1: Демонстрация на слънчево затъмнение

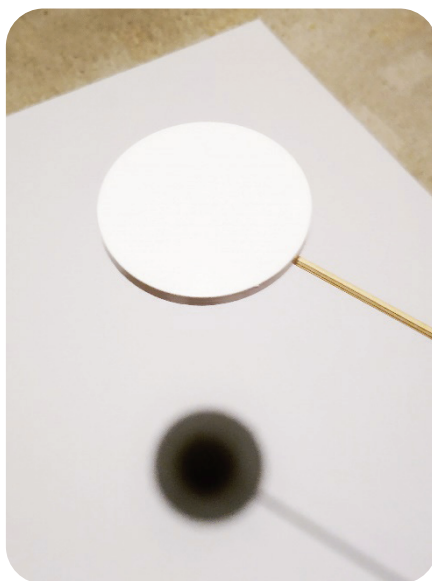
В затъмнена стая демонстрирайте как се стига до слънчево затъмнение. Използвайте по-слаб източник на светлина вместо модел на Слънцето. Използвайте различни по големина топки за модели на Земята и Луната, като спазвате съотношението между размерите им - Луната е приблизително 3 до 4 пъти по-малка от Земята. Осветете модела на Земята, разположете „Луната“ на подходящо разстояние между „Слънцето“ и „Земята“, а после наблюдавайте създаването на пълната сянка и полусянката върху „повърхността на Земята“.

Цел на задачата

Целта на тази дейност е учениците да разберат принципа на слънчевото затъмнение и зоните, намиращи се в пълна сянка и в полусянка. Те ще запомнят относителното положение на обектите при слънчево затъмнение, а именно в този конкретен ред: Слънце – Луна – Земя.

Методически бележки за учителите

- Най-големият проблем е осигуряването на подходящ източник на светлина. Източникът трябва да е плосък, в идеалния случай той трябва да е кръг с диаметър от най-малко 20 см, а за предпочитане е той да е 30 см и повече. В същото време източникът трябва да е насочен, така че да не свети из цялата стая, а да осветява само „Луната“ и „Земята“. Препоръчително е източникът да е сравнително слаб (20 – 40 W крушка на разстояние 2 – 3 метра), така че помещението да не е изцяло осветено, а светлината да не се отразява от моделите. Идеален е тесен конусен рефлектор с диаметър 30 – 40 см. Възможно е също така да се използва по-голямо осветително тяло на тавана (полилей), което да е увито отстрани с непрозрачна материя и отгоре да е поставен конус (например върху полилея да е праметнато дебело яке, суитчър или пуловер). Тогава, разбира се, оптичната ос на експеримента е ориентирана вертикално и „Земята“ лежи на пода под полилея.



- За изпълнение би било идеално да има стая с черни стени, поглъщащи разсеяната и отразената светлина. След това ограниченията, наложени на източника на светлина, може да не са толкова строги. (Слънцето също е всенасочен източник, който излъчва във всички посоки). Такава стая обаче, обикновено не е на разположение.
- Препоръчително е да не държите модела на Луната в ръка, а да я поставите на пръчка (дълга пръчка), така че да не нарушава сянката на пръстите на ръката в проектираната сянка и полусянка.
- Подходящи модели са например волейболна топка – за Земята и топка за тенис – за Луната; в краен случай и гимнастическа топка от 15 см – за Земята и топка за тенис на маса – за Луната.
- Ако не са налични подходящи сферични плътни модели, сянката и полусянката могат да се проектират върху равна повърхност с помощта на кръгло светещо тяло, вижте фигурата. Зоните на сянката и полусенките все още са ясно видими, но моделът вече губи от реалността.
- Най-важното е приготвянето на подходящ източник на светлина и добро затъмняване на помещението. Препоръчваме ви да подготвите и изпробвате всичко това предварително.

Примерно решение:

Това е качествена дейност и затова не е подходящо да се представя примерно решение. Конкретният начин на изпълнение на упражнението зависи от възможностите на изпълнителя (вж. бележките по-горе).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици със затруднения

Дейността е безпроблемна, ако е подготвен подходящ източник на светлина. При ученици със затруднения в класа силно ви препоръчваме предварително да подготвите средата и източника на светлина.

Надарени ученици

Надарените ученици, от друга страна, могат сами да се опитат да подготвят източника на светлина и чрез изследователски подход да достигнат до необходимите му за задачата свойства – плоскост, насоченост, по-малка интензивност. Освен това те сами могат да се опитат да конструират подходящ източник на светлина.

РАБОТЕН ЛИСТ 1: Демонстриране на слънчево затъмнение

В затъмнена стая демонстрирайте как се стига до слънчево затъмнение. Използвайте по-слаб източник на светлина вместо модел на Слънцето. Използвайте различни по големина топки като модели на Земята и Луната, като спазвате съотношението между размерите им – Луната е приблизително 3 до 4 пъти по-малка от Земята. Осветете модела на Земята, разположете „Луната“ на подходящо разстояние между „Слънцето“ и „Земята“, а после наблюдавайте създаването на пълната сянка и полусянката върху „повърхността на Земята.“

Решение:

Проверете затъмняването на стаята и подгответе подходящ източник на светлина според инструкциите на учителя.

Изберете подходящите модели за Земята и Луната, и не забравяйте, че Земята има диаметър около 3 – 4 пъти по-голям от диаметъра на Луната. Модел на Земята.

модел на Земята: Модел на Луната:

Поставете модела на Земята в светлинния конус, така че светлината да пада равномерно върху нея.

Разположете „Луната“ на подходящо разстояние между „Слънцето“ и „Земята“, а после наблюдавайте създаването на пълната сянка и полусянката върху „повърхността на Земята“. Поставете „Луната“ близо до „Земята“, на по-малко от $\frac{1}{4}$ от общото разстояние „Слънце“ – „Земя“. Прикрепете модела на Луната към пръчката, така че сянката на пръстите или ръката на експериментатора да не пречи на наблюдението.

Начертайте конкретен експеримент и наблюдавайте формите и размерите на пълната сянка и полусянката:

Задача 2: Модел на слънчево затъмнение на терен

Създайте модел на слънчево затъмнение. Използвайте гимнастическата топка с диаметър от около 70 см като модел на Слънцето. Първо изчислете размера на небесните тела и разстоянията между тях, след това намерете подходящите по големина топки, които да са Земята и Луната, и ги разположете на правилните разстояния. Не забравяйте за правилния ред на обектите.

Диаметър на Слънцето	1 400 000 км
Диаметър на Земята	13 000 км
Диаметър на Луната	3 500 км
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 км
Разстояние между Луната и Земята	400 000 км

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да запознае учениците с огромните разстояния в междупланетното пространство и да се представят разстоянията между обектите по отношение на техните размери. Във всички илюстрации и модели на Слънчевата система или затъмнението на Слънцето, обектите са нарочно по-големи и много по-близо един до друг (повече или по-малко действителността, дори и в съответния мащаб не може да бъде нарисувана). Разходката е една добра възможност за „коригиране“ на погрешното схващане за „умалената“ Слънчева система.

Методически бележки за учителите

- Подготовката за тази дейност може да се извърши предварително в училище или по време на подготовката за часа по физика. По-долу изчисляваме стойностите при диаметър на топката от 70 см, но може да се използва и друга топка. Ако разликата е до около 10 см, няма нужда да се преизчисляват съотношенията и размерът. Това няма да промени ефекта от демонстрацията. Демонстрацията е подходяща и при игра на спортната площадка, в парка или на поляна в гората.
- Внимавайте с единиците за дължина. Не е необходимо да преобразувате реалните дължини в метри, но все пак не забравяйте, че всички размери на моделите и дължините трябва да са в еднакви единици. В примерното решение за реалната ситуация работим с километри (виж заданието), а при модела – с метри. Нищо обаче не пречи да преобразувате всичко в метри или обратно, и по този начин да упражните преобразуванията на единиците за дължина.
- Демонстрацията обаче трябва да се извърши на равна и открита площ, така че всички обекти да са видими (дане са скрити среддърветата и т.н.). Препоръчително е малките обекти (Земята и Луната) да бъдат държани от учениците в ръка. Ако бъдат положени на земята, те могат да се изгубят или изобщо да не бъдат видени.
- Разстоянието между Земята и Слънцето може да се определи със стъпки – това няма да промени нищо при създаването на представата за разстоянията.
- Внимавайте за правилния ред на обектите - когато Слънцето е затъмнено, Луната е между Слънцето и Земята.
- Не е достатъчно само да се правят изчисленията, защото самите числа няма много какво да кажат на учениците. Всъщност е важно да се направи демонстрацията. Само така учениците ще получат правилната представа.

Примерно решение:

Мащабът на модела е 0,7 м към 1 400 000 км, т.е. 0,000 000 5 м/км.

Диаметър на Слънцето	1 400 000 км	0,7 м
Диаметър на Земята	13 000 км	0,006 5 м = 6,5 мм
Диаметър на Луната	3 500 км	0,001 75 м = 1,75 мм
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 км	75 м
Разстояние между Луната и Земята	400 000 км	0,2 м

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици със затруднения

Учениците със затруднения може да се затруднят с изчисляването на размерите и разстоянията при модел с толкова много нули. Затова е възможно да се действа така: $14 : 7 = 2$, т.е. намалете размера два пъти, а след това прибавете нулите. За някои ученици представата за метри и километри наведнъж също може да бъде проблематична, тогава може да е подходящо да преобразувате всичко в метри, дори ако това увеличи съотношението с още нули.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да преизчислят модела и в други пропорции. Понякога могат да се моделират реални ситуации, а понякога е необходимо да се примири само с мисловни модели. Някои възможни варианти:

- Оформете описаната ситуация така, че да се впише в горната част на чина.
- Изчислете размера и разстоянието между обектите, като вземете предвид, че Слънцето е голямо колкото футболна топка.
- Изчислете размера и разстоянието между обектите, като вземете предвид, че Слънцето е голямо колкото портакал.

Друга възможност е да се разшири задачата с изчисляване на размерите и разстоянията между други планети в Слънчевата система.

РАБОТЕН ЛИСТ 2: Модел на слънчево затъмнение на открито

Създайте модел на слънчево затъмнение. Използвайте гимнастическа топка с диаметър от около 70 см като модел на Слънцето. Първо изчислете размера на небесните тела и разстоянията между тях, след това намерете подходящите по големина топки, които да са Земята и Луната, и ги разположете на правилните разстояния. Не забравяйте за правилния ред на обектите.

Решение:

Изчислете съотношението на размерите на реалните обекти към обектите в модела.

$$1\ 400\ 000 / 0,7 =$$

Попълнете таблицата с размерите и разстоянията на обектите (действителните размери на тялото са в километри, размерите в модела са в метри):

Диаметър на Слънцето	1 400 000 км	0,7 м
Диаметър на Земята	13 000 км	
Диаметър на Луната	3 500 км	
Разстояние между Земята и Слънцето	150 000 000 км	
Разстояние между Луната и Земята	400 000 км	

Намерете правилните тела за модели на Земята и Луната. Модел на Земята.

модел на Земята: Модел на Луната:

Начертайте план, който показва цялата ситуация, когато тя се гледа отгоре:

Задача 3: Видим размер на Слънцето и Луната на небето – видове слънчеви затъмнения

Когато се гледа от Земята, дискът на Слънцето е приблизително със същия размер като диска на Луната. Следователно може да има пълно затъмнение на Слънцето, при което Луната напълно затъмнява Слънцето. Също така може да се получи пръстеновидно слънчево затъмнение, при което видимият размер на Луната да е по-малък от Слънцето и следователно около Луната може да се види пръстен от светещото Слънце. Ако видимият размер на двата обекта е абсолютно еднакъв и лунният диск покрива точно Слънцето, възниква хибридно слънчево затъмнение. Ако лунният диск затъмнява само част от Слънцето, има частично слънчево затъмнение.

Луната не обикаля около Земята в същата равнина както Земята около Слънцето (= в еклиптичната равнина). Следователно слънчевото затъмнение възниква само тогава, когато и трите обекта по изключение се намират в една и съща равнина. Ако те обикаляха постоянно в една и съща равнина, всеки път при дадената подредба щеше да има и ново слънчево затъмнение.

Нека разгледаме кои видове слънчеви затъмнения биха могли да възникнат или не, ако размерът или разстоянията между обектите бяха съществено различни. (Смятаме, че промените в параметрите са такива, че отклоненията в орбиталното разстояние не биха повлияли на тялото.)

- а) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-близо до Земята. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?
- б) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-далеч от Земята. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?
- в) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Земята обикаля по-близо до Слънцето. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?
- г) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-далеч от Слънцето. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?

5. Слънчевата система

- д) Всъщност Луната бавно се отдалечава от Земята. Коя от ситуациите от а) до г) описва това? Каква ще бъде постепенната еволюция на появата на отделни видове затъмнения?

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да обясни на учениците разликите между различните видове слънчеви затъмнения – пълни, пръстеновидни, хибридни и частични. Освен това, благодарение на тази дейност учениците ще затвърдят представата си за относителното положение на обектите по време на затъмнението. С правилните отговори на въпроси в) и г) те ще изяснят ефекта на наклона на орбиталната равнина на Луната около Земята спрямо еклиптичната равнина върху честотата на слънчевото затъмнение.

Методически бележки за учителите

- Ако отклоненията в разстоянията в точки от а) до г) са малки, може да възникне ситуация, при която изменението на разстоянието във движението по елиптичната траектория би имало по-голям ефект от разглежданата задача. Тогава, разбира се, всички съображения биха били много по-сложни, биха възникнали всички затъмнения, но само честотата на тяхното възникване би се променила. Следователно в заданието е посочено, че промените в разстоянието са достатъчно големи. В случай на въпрос на ученик, може да се уточни: разстоянието от Луната до Земята се променя с 11 % по време на елиптичната траектория, а разстоянието до Слънцето с по-малко от 3,5 %. Следователно, достатъчно големите промени на разстоянието са промени, по-големи от естественото изменение.
- Възможно е да се подготвят допълнителни групи въпроси, които ще варират в зависимост от действителния размер на обектите. Интересна е възможността за комбинацията от промени в размера и разстоянието на двата обекта, Слънцето и Луната. Освен това е възможно да се обсъди и влиянието на размера на Земята върху броя на затъмненията.
- Може да се спомене, че преминаването на планетата пред Слънцето, което също понякога се случва, всъщност е частично затъмнение на Слънцето поради преминаването на тази планета пред него.

Примерно решение:

- а) Луната обикаля по-близо, сянката ѝ е с по-малък ъглов размер от Слънцето. Може да настъпи пълно затъмнение, но пръстеновидно или хибридно затъмнение не може да настъпи. Тъй като сянката е по-голяма, затъмненията ще се появяват по-често. (Наклонът на орбиталната равнина на Луната около Земята остава равен на равнината на еклиптиката, ъгловият размер на Слънцето остава същият, ъгловият размер на Луната е по-голям.)
- б) Луната обикаля по-далече, сянката ѝ е с по-малък ъглов размер от Слънцето. Не може да настъпи нито пълно, нито хибридно затъмнение – само пръстеновидно. Тъй като

сянката е по-малка, затъмненията ще се случват по-рядко. (Наклонът на орбиталната равнина на Луната около Земята остава равен на еклиптичната равнина, ъгловият размер на Слънцето остава същия, ъгловият размер на Луната е по-малък.)

- в) Слънцето е по-близо до Земята, ъгловият му размер в небето е по-голям от Луната. Не може да настъпи нито пълно, нито хибридно затъмнение – само пръстеновидно. Тъй като Слънцето има по-голям ъглов размер и Луната винаги е в един и същ пояс, дефиниран от наклона на своята орбитална равнина към еклиптичната равнина, Луната е по-вероятно да покрие Слънцето и затъмненията ще са по-чести. В това отношение разсъжденията са коренно различни от точка (б), въпреки че първото впечатление води до заключението, че ситуациите (б) и (в) в крайна сметка са идентични.
- г) Слънцето е по-далече от Земята, ъгловият му размер в небето е по-малък този на Луната. Може да настъпи пълно затъмнение, но пръстеновидно или хибридно затъмнение не може да настъпи. Затъмненията ще бъдат по-рядко срещани. Тъй като Слънцето има по-малък ъглов размер и Луната винаги е в един и същ пояс, дефиниран от наклона на своята орбитална равнина към еклиптичната равнина, Луната е по-вероятно да покрие Слънцето и затъмненията ще са по-чести. В това отношение разсъжденията са коренно различни от точка (а), въпреки че първото впечатление води до заключението, че ситуациите (а) и (г) в крайна сметка са идентични.
- д) В бъдеще ситуацията, описана в буква б), постепенно ще възникне. По-специално, пълните затъмнения постепенно ще изчезнат, докато престанат да съществуват напълно. Хибридните затъмнения ще бъдат по-оскъдни и в ограничени случаи те ще бъдат възможни само, ако обектите са точно в една линия. Пръстеновидните затъмнения ще се случват непрекъснато, но формата на пръстена постепенно ще става по-асиметрична.

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици със затруднения

За учениците със затруднения препоръчваме да се използват въпроси, които възникват от промяна на размера на Слънцето и Луната, а не от разстоянието. Това предположение е по-ясно и е по-лесно да се разбере. Обмислянето на промяна на честотата на затъмненията в точки в) и г) може да бъде проблематично.

Надарени ученици

За надарени ученици са подходящи по-трудни и интересни варианти на въпросите, посочени в предпоследната точка от методическите бележки. Възможно е да се предположи едновременно промяна на разстоянието и размера. Тези промени могат да бъдат в хармония или да си противодействат. Това може да доведе до голям брой варианти, водещи до разгорещен дебат. Дебатът за влиянието на размера на Земята върху броя на слънчевите затъмнения може да бъде много интересен.

РАБОТЕН ЛИСТ 3: Видим размер на Слънцето и Луната на небето – видове слънчеви затъмнения

Когато се гледа от Земята, дискът на Слънцето е приблизително със същия размер като диска на Луната. Следователно може да има пълно затъмнение на Слънцето, при което Луната напълно затъмнява Слънцето. Също така може да се получи пръстеновидно слънчево затъмнение, при което видимият размер на Луната да е по-малък от Слънцето и следователно около Луната може да се види пръстен от светещото Слънце. Ако видимият размер на двата обекта е абсолютно еднакъв и лунният диск покрива точно Слънцето, възниква хибридно слънчево затъмнение. Ако лунният диск затъмнява само част от Слънцето, има частично слънчево затъмнение.

Луната също не обикаля около Земята в същата равнина както Земята около Слънцето (= еклиптичната равнина). Следователно слънчевото затъмнение възниква само тогава, когато и трите обекти по изключение се намират в една и съща равнина. Ако те обикаляха постоянно в една и съща равнина, всеки път щеше да има и ново слънчево затъмнение.

Нека разгледаме кои видове слънчеви затъмнения биха могли да възникнат или не, ако размерът или разстоянията на обектите бяха значително различни. (Смятаме, че промените в параметрите са толкова големи, че отклоненията в орбиталното разстояние не биха повлияли на тялото.)

Решение:

Отговорете на следните въпроси, може да оправдаете отговора си с обяснителната диаграма:

- а) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-близо до Земята. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?

- б) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-далеч от Земята. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?

- в) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Земята обикаля по-близо до Слънцето. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?
- г) Слънцето и Луната са толкова големи, колкото всъщност са, но Луната обикаля по-далеч от Слънцето. Кои видове затъмнения биха могли да възникнат (пълни, пръстеновидни, хибридни, частични)? Дали слънчевите затъмнения биха били по-чести или по-редки, отколкото са в действителност?
- д) Всъщност Луната бавно се отдалечава от Земята. Коя от ситуациите от а) до г) описва това? Каква ще бъде постепенната еволюция на появата на отделни видове затъмнения?

Задача 4: Наблюдение на пълни слънчеви затъмнения от други планети

Решете дали пълното слънчево затъмнение може да се наблюдава и от други планети в нашата Слънчева система. Проверете в интернет необходимите данни за планетите и техните спътници. Препоръчителни източници: <http://astronomia.zcu.cz> alebo <https://cs.wikipedia.org>.

Цел на задачата

Целта на тази дейност е да се задълбочи представата за механизма на слънчевото затъмнение и да се подчертае съществуването и на друго тяло със същия или по-голям ъглов размер като необходимо условие за пълно затъмнение, което може напълно да затъмни Слънцето. Целта на тази дейност е да се припомни

5. Слънчевата система

допълнителна информация за Слънчевата система, планетите, техните спътници и разстоянията между тях.

Метоически бележки за учителите

- За да се осъществи тази дейност успешно, учениците трябва да са получили основни познания за планетите в Слънчевата система и техните спътници. Освен това те трябва да могат самостоятелно да намират необходимата информация в Интернет.
- Някои ситуации могат да бъдат решени недвусмислено само въз основа на качествени разсъждения, други трябва да се изчислят количествено – да се сравни ъгловият размер на Слънцето и тялото, което евентуално би могло да покрие слънчевия диск.
- Не е необходимо да се взема предвид наклона на траекторията на затъмняващото тяло спрямо еклиптичната равнина. Това се отразява само на честотата на затъмненията.
- Струва си да се отбележи, че когато планетите са далеко, има пълно слънчево затъмнение, но тъй като разстоянието, на което се движат тези планети е много голямо, то слънчевото затъмнение е значително по-слабо, отколкото на Земята, и то няма да бъде толкова впечатляващо, както на нашата планета.
- При всяка планета също така посочваме дали разсъжденията са тривиални, стандартни или подходящи само за надарени ученици. По това можем да изберем само някои планети.

Примерно решение:

Меркурий: Планетата няма спътници и е най-близо до Слънцето. Няма тяло, което да причини пълно слънчево затъмнение, наблюдавано от повърхността на Меркурий. НЕ (тривиално разсъждение)

Венера: Планетата няма спътници. Единственото тяло, което може да се намери между Венера и Слънцето, е Меркурий. Когато се гледа от Венера, ъгловият размер на Меркурий със сигурност е по-малък от ъгловия размер на Слънцето. (Проверка с изчисление – диаметър на Слънцето: $1,4 \cdot 10^6$ km, отдалеченост от Слънцето: $108 \cdot 10^6$ km, ъглов размер 0,013 rad; диаметър на Меркурий: $5 \cdot 10^3$ km, минимална отдалеченост на Слънцето от Меркурий: $50 \cdot 10^6$ km (разликата между полуосите), ъглов размер 0,000 1 rad – няма да покрие Слънцето.) Няма тяло, което би могло да причини пълно слънчево затъмнение, наблюдавано от повърхността на Венера. НЕ (стандартно разсъждение)

Марс: Планетата има две миниатюрни луни - Фобос и Деймос и трябва да се има предвид затъмнението на Слънцето от Земята. Предположението е, че нито едно тяло не е достатъчно голямо, за да причини пълно слънчево затъмнение на повърхността на Марс. Ако Слънцето не се закрива от Земята, вече не е необходимо да се разглеждат вътрешните планети Венера и Меркурий, защото те са по-малки и по-далеч. (отдалеченост от Слънцето $228 \cdot 10^6$ km, размер на ъгъла 0,0061rad; диаметър на Фобос 10 km, разстояние от повърхността на Марс 6 000 km (радиусът на орбитата минус радиуса на Марс), ъглов размер 0,0017rad – няма да затъмни

Слънцето; Деймос е по-малък и е по-далеч – също не затъмнява Слънцето; диаметър на Земята 13 000 км, минимално разстояние от Марс: $54,5 \cdot 10^6$ км ъглов размер 0,00024 rad – не закрива Слънцето.) Няма тяло, което да причини пълно слънчево затъмнение, наблюдавано от повърхността на Марс. НЕ (по-сложно разсъждение)

Юпитер: Планетата има много големи спътници и е далеч от Слънцето, което изглежда много малко от това разстояние. Възможно е да има пълни слънчеви затъмнения от луните на Юпитер. (Проверка чрез изчисление за вътрешна луна Йо – диаметър на Слънцето: $1,4 \cdot 10^6$ km, отдалеченост от Слънцето $779 \cdot 10^6$ km, ъглов размер 0,001 8 rad; диаметър на Йо 3 600 км, отдалеченост от повърхността на Юпитер 352 000 km (радиусът на орбитата минус радиуса на Юпитер), ъглов размер 0,01 rad – ще закрие Слънцето.) На повърхността на Юпитер може да възникне пълно слънчево затъмнение. ДА (стандартно разсъждение)

Сатурн: Планетата има много големи спътници и е далеч от Слънцето, което изглежда много малко от това разстояние. Възможно е да има пълни затъмнения на Слънцето на Сатурн. (Проверка чрез изчисление за най-голямата луна Титан – диаметър на Слънцето: $1,4 \cdot 10^6$ km, отдалеченост от Слънцето $1,43 \cdot 10^9$ km, ъглов размер 0,00098rad; диаметър на титан 5100 км, отдалеченост от повърхността на Сатурн $1,16 \cdot 10^6$ km (радиусът на орбитата минус радиуса на Сатурн), ъглов размер 0,0044rad – ще закрие Слънцето.) Възможно е да има пълно слънчево затъмнение на повърхността на Сатурн. ДА (стандартно разсъждение)

Уран: Той е няколко пъти по-отдалечен от Слънцето от Сатурн и има големи спътници на малко разстояние от него. Ъгловият размер на спътниците му е по-голям от ъгловия размер на Слънцето. (Проверката може да бъде завършена чрез изчисление, вж. по-горе.) На повърхността на Уран може да възникне пълно слънчево затъмнение. ДА (тривиално разсъждение, изхождащо от предишните)

Нептун: Той е по-далеч от Слънцето, отколкото Уран, а голямата му луна Тритон е на малко разстояние от него. Ъгловият размер на Тритон е по-голям от ъгловия размер на Слънцето. (Проверката може да бъде завършена чрез изчисление, вж. по-горе.) На повърхността на Тритон може да възникне пълно слънчево затъмнение. ДА (тривиално разсъждение, изхождащо от предишните)

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици със затруднения

На учениците със затруднения могат да се дадат разсъжденията само за вътрешните планети Меркурий и Венера, където ситуацията е сравнително по-лесна. В допълнение, те могат да бъдат уведомен за резултатите, отнасящи се до Юпитер и Сатурн и сами да направят своите заключения за Уран и Нептун, които имат сравнително големи и отдалечени луни и са по-далеч от Слънцето.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да решат задачите за всички планети на Слънчевата система. В допълнение, те могат да сравняват ъгловите разстояния на отделните луни на дадена планета въз основа на задачата: „Подредете луните на дадена планета според тяхната ъглова (видима) величина.“ Интересен е и въпросът дали от Луната се наблюдава пълно слънчево затъмнение.

Работен лист 4: Наблюдение на пълно слънчево затъмнение от други планети

Решете дали пълното слънчево затъмнение може да се наблюдава и от други планети в нашата Слънчева система. Проверете в интернет необходимите данни за планетите и техните луни (естествени спътници). Препоръчителни източници: <http://astronomia.zcu.cz> или <https://cs.wikipedia.org>.

Решение:

Първо помислете дали има някакво тяло, което изцяло да закрие Слънцето. Ако това е така, вземете решение за ъгловия му размер или чрез сравнение с други обекти, или чрез изчисление. Сравнете ъгловия размер на Слънцето, когато се гледа от дадено място, и определете възможността за пълно слънчево затъмнение.

Меркурий

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Меркурий да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

Венера

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Марс

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Марс да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

Юпитер

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Юпитер да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

Сатурн

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Сатурн да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

5. Слънчевата система

Уран

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Уран да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

Нептун

Списък на космическите обекти, които могат да закрият Слънцето:

Сравнение на ъгловите им размери (сравнения / изчисления):

Може ли на Нептун да възникне пълно слънчево затъмнение? ДА × НЕ

Задача 5: Най-близките слънчеви затъмнения

Въз основа на информацията, открита в интернет, съставете списък на предстоящите слънчеви затъмнения до 2025 г. При всяко едно затъмнение ще видите кога ще настъпи, какъв ще бъде видът му и къде ще бъде наблюдавано. Опитайте се да намерите на картата държавите, които ще бъдат в зоната на пълно затъмнение. Препоръчваме да използвате уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.

Използвайки този или други уебсайтове, опитайте се да разберете кога ще настъпи пълно слънчево затъмнение, видимо от територията на Словашката република (България). Можете да направите същото за най-близкото пълно затъмнение, наблюдавано от Братислава. (София).

Цел на дейността

Целта на тази дейност е да научи учениците самостоятелно да търсят информация в Интернет и да добият представа за честотата на явлението слънчево затъмнение и за територията, от която ще се наблюдава слънчевото затъмнение).

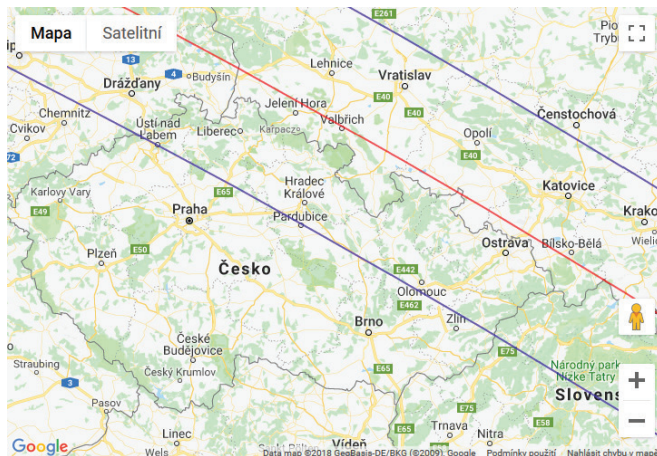
Методически бележки за учителите

- Цялата необходима информация за изпълнение на заданието може да бъде намерена на уебсайта на НАСА на адрес <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Данните за световните затъмнения за следващите години са директно в таблицата, от която има линкове към картите. За да търсите затъмненията в Словашката република (България), препоръчително е да използвате частта „Five Millennium Catalog of Solar Eclipses“, а в нея да потърсите по географски координати. Въпреки това, информация за датата на следващото затъмнение в Словакия (България) може да бъде намерена и на много други уебсайтове, и тук може да се намерите зоната на пълно затъмнение. За да намерите затъмненията в Братислава (София), е полезно да използвате скрипта „Javascript Solar Eclipse Explorer“ <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-EU.html>. Не можахме да намерим тази информация в друг сайт.
- Уебсайтът, разбира се, е на английски език. Вярваме обаче, че използваният речник е толкова ограничен, че не би трябвало да създаде проблем на учителите и учениците.

Примерно решение:

06.01.2019 г.	частично затъмнение	Североизточна Азия, Северния Пасифик
02.07.2019 г.	пълно затъмнение	Южния Пасифик, Чили, Аржентина
26.12.2019 г.	пръстеновидно	Саудитска Арабия, Индия, Суматра, Борнео
21.06.2020 г.	пръстеновидно	Централна Африка (Демократична република Конго, Южен Судан, Етиопия, Еритрея), Южна и Източна Азия (Йемен, Саудитска Арабия, Оман, Пакистан, Индия, Китай, Тайван), Тихия океан
14.12.2020 г.	пълно затъмнение	Южния Пасифик, Чили, Аржентина, Южен Атлантически океан
10.06.2021 г.	пръстеновидно	Северна Канада, Гренландия, Източна Русия
04.12.2021 г.	пълно затъмнение	Антарктида
30.04.2022 г.	частично затъмнение	Югоизточния Пасифик, южната част на Южна Америка
25.10.2022 г.	частично затъмнение	Европа, Североизточна Африка, Близкия изток, Западна Азия
20.04.2023 г.	хибридно	Индонезия, Австралия, Папуа Нова Гвинея
14.10.2023 г.	пръстеновидно	Западна САЩ, Централна Америка (Мексико, Гватемала, Хондурас, Никарагуа, Коста Рика, Панама), Колумбия, Бразилия
08.04.2024 г.	пълно затъмнение	Мексико, централната част на САЩ, Източна Канада
02.10.2024 г.	пръстеновидно	южните части на Чили и Аржентина
29.03.2025 г.	частично затъмнение	Северозападна Африка, Европа, Северна Русия
21.09.2025 г.	частично затъмнение	Южния Пасифик, Нова Зеландия, Антарктида

5. Слънчевата система



Бъдещото пълно слънчево затъмнение, видимо от територията на Чешката република, ще настъпи на 7 октомври 2135 г. Зоната на пълно затъмнение ще достигне северната и североизточната част на републиката и ще премине на север от градовете Усти над Лабем, Пардубице и Оломоук (вж. фигурата).



Бъдещото пълно слънчево затъмнение, видимо от територията на Прага, ще настъпи чак на 20 април 2433 г. Зоната на пълно затъмнение ще достигне западните, централните и северните части на републиката и ще премине на север от градовете Страконице, Колин и Брумовец (вж. фигурата).

Адаптиране на указанията за ученици със СОП

Ученици със затруднения

Учениците със затруднения също трябва да могат без проблем да се справят с цялата задача, т.е. да намерят затъмненията за близкото бъдеще до 2025 г. Други задачи - Да се намерят затъмненията в Словакия и Братислава за тях вече може да се окаже по-трудно.

Надарени ученици

Надарените ученици могат да търсят и други свързани данни за затъмненията на сайта на НАСА, като обща продължителност на пълното и/или пръстеновидното затъмнение, времената на начало и край на затъмнението и други. Те могат също така да дадат информация за зоната на пълно затъмнение не само като изброяване на държавите, през които той преминава, но и чрез посочване на географските координати и информация за ширината му. Друг вариант е да потърсите най-близкото пълно затъмнение в Европа и да разберете всички налични подробности (Испания, 12 август 2026 г. вечер, максимална продължителност 1 мин. 50 сек., ширина до 280 км).

РАБОТЕН ЛИСТ 5: Най-близки слънчеви затъмнения

Въз основа на информацията, открита в интернет, съставете списък на предстоящите слънчеви затъмнения до 2025 г. При всяко едно затъмнение ще видите кога ще настъпи, какъв ще бъде видът му и къде ще бъде наблюдавано. Опитайте се да намерите на картата държавите, които ще бъдат в зоната на пълно затъмнение. Препоръчваме да използвате уебсайта на НАСА: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.

Използвайки този или други уебсайтове, опитайте се да разберете кога ще настъпи пълно слънчево затъмнение, видимо от територията на Словашката република (България). Направете същото за най-близкото пълно затъмнение, наблюдавано от Братислава (София).

Решение:

Дата	Тип затъмнения	Област / държави

5. Слънчевата система

Най-близкото пълно (пръстеновидно) затъмнение на територията на Словашката република (България):

дата:

зона на пълно затъмнение:

.....

чертеж / карта:

Най-близкото пълно (пръстеновидно) затъмнение в Братислава (София):

дата:

зона на пълно затъмнение:

.....

чертеж / карта:

РАЗСТОЯНИЯ И ВЕЛИЧИНИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В този текст представяме така наречените „конфигурации“ - отличителните позиции на планетите в Слънчевата система от гледна точка на Земята. Постепенно ще обясним термините: съединение, опозиция, елонгация, квадратура и ще разгледаме как да определяме разстоянието от Земята до планетата, разположена в едно от тези положения.

След това ще обясним как се определя ъгловият размер на тялото и как знанията ни за това, заедно с познаването на разстоянието до тялото, ще ни помогнат да определим истинските размери на тялото. Затова сме принудени да работим с тригонометрични функции. Ще обясним обаче защо в случаите, когато космическите обекти са далеч от наблюдателя, можем да игнорираме тригонометричните функции и да опростим изчисленията. За тази цел естествено въвеждаме много полезни ъглови единици, наречени радиани.

1.1 Ключови думи

съединение

опозиция

елонгация

квадратура

ъглов размер

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Типични разстояния в Слънчевата система Средното разстояние Земя – Слънце е $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, радиусът на Земята е $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, радиусът на Земята е $R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$. Таблица 1 показва средните разстояния на планетите от Слънцето и техните радиуси в кратни радиуси на Земята. Радиусът на Слънцето също е даден за сравнение. Размерите на Слънцето изглеждат огромни в сравнение с другите планети, но е интересно да се изчисли радиусът на Слънцето в астрономически единици: $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, радиусът на Земята е $R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$. Таблица 1 показва средните разстояния на планетите от Слънцето и техните радиуси в кратни радиуси на Земята. Радиусът на Слънцето също е даден за сравнение. Размерите на Слънцето изглеждат огромни в сравнение с другите планети, но е интересно да се изчисли радиусът на Слънцето в астрономически единици: $R_{\odot} = 0,0047 \text{ au}$. Това показва, че планетите и Слънцето не заемат голяма част от пространството на Слънчевата система.

Таблица 1: Средните разстояния на планетите в Слънчевата система и радиусите на планетите и Слънцето

Тяло	Разстояние от Слънцето [au]	R/R_{\oplus}
Слънце	0	109
Меркурий	0,39	0,38
Венера	0,72	0,95
Земя	1,00	1,00
Марс	1,52	0,53
Юпитер	5,20	11,2
Сатурн	9,54	9,45
Уран	19,2	4,01
Нептун	30,07	3,88

2.1 Конфигурации на планетите

От гледна точка на Земята могат да се разграничат няколко значими позиции на планетата, наречени конфигурации, които са схематично представени на фигура 1 и тяхното описание е дадено по-долу.

1. Съединение

При вътрешните планети (Меркурий, Венера) разпознаваме горно и долно съединение. Горното съединение е моментът, когато планетата се намира в противоположната страна на Слънцето (Слънцето е между Земята и вътрешната планета). Долното съединение възниква, когато планетата е между Земята и Слънцето. Външните планети (Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) могат да бъдат само в горно съединение¹.

Ако планетата е в съединение, тя изгрява и залязва заедно със Слънцето, намира се на дневното небе и не е наблюдаема за нас.

¹ Трябва да се добави, че планетата всъщност не е на същата права като Земята и Слънцето. Причината са различните орбитални равнини на планетите (няма две планети от Слънчевата система, които да имат обща орбитална равнина). Следователно, планетата е на „противоположната страна“ в най-добрия смисъл на думата.

2. Опозиция

Моментът, в който външната планета е най-близо до Земята, съответно Земята е между планетата и Слънцето, се нарича **опозиция**. По време на опозицията са най-добрите условия за наблюдение на планетата, защото планетата изгрява при залез и залязва при изгрев Слънце (планетата е наблюдаема през цялата нощ). Тогава, гледана през телескоп, планетата изглежда и най-голяма (има най-голям ъглов размер)

3. Елонгация

Елонгацията е ъгловото разстояние между вътрешната планета и Слънцето. При **западна елонгация** на планетата тя изгрява и залязва преди Слънцето. При **източна елонгация** на планетата тя изгрява и залязва след Слънцето. Най-голямото ъглово разстояние на планетата от Слънцето се нарича максимална елонгация. Максималната елонгация на Меркурий е 23° , на Венера е $47^{\circ 2}$.

4. Квадратура

Квадратура е моментът, когато ъгълът Слънце – Земя – външна планета е прав. В квадратура могат да се намират само външните планети.



Фигура 19: Диаграма на възможните конфигурации на планетите

Естествено е, че ако космическите обекти са по-далеч от нас, те изглеждат по-малки, отколкото ако бяха в наша непосредствена близост. Въпреки това физическите им измерения не се променят. За да можем да опишем този факт по-качествено, въвеждаме величината „ъглов размер“, чието значение е показано на Фигура 2. Показаното на фигурата ни дава ясна представа как да изчисляваме ъгловия размер:

Ъглови размери на космическите обекти

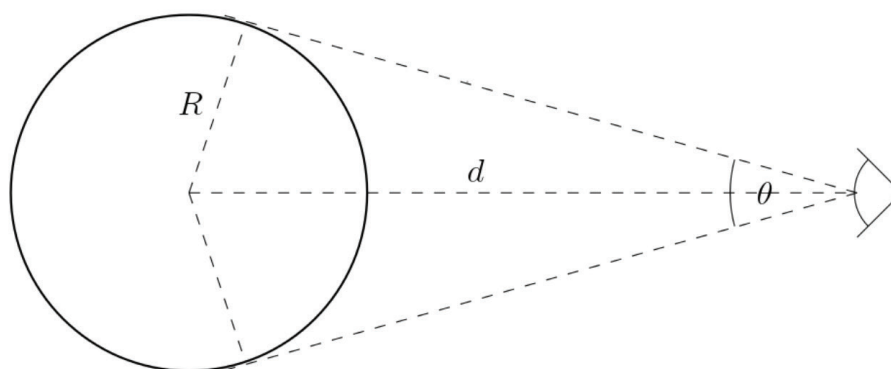
2) При всички външни планети максималната елонгация би била 180° , така че няма смисъл.

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{R}{d}$$

След това ъгълът се получава като: $\theta = 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{R}{d}$. Тогава, за Слънцето с радиус

$R_{\odot} \doteq 6,955 \cdot 10^5 \text{ km}$, получаваме ъглов размер, който е $d_{\odot} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$. Тогава, за Слънцето с радиус $\theta_{\odot} \doteq 32'$. Едва ли е изненадващо, че след това ъгловите размери на планетите в Слънчевата система се получават в единици от десетки ъглови секунди.

След това ще покажем как да опростим отношението за изчисляване на ъгловия размер, ако ъгловият размер е много малък. Това ще изисква въвеждането на „нови“ равнинни ъглови единици, така наречените „радиани“.



Фигура 20: Дефиниция на ъгловия размер

Радиани Радианите са най-естествено дефинираните единици за равнинния ъгъл. Нека си представим окръжности, както на фигура 3. Ъгълът се определя като съотношението на дължината, отговарящо на съответната дъга и радиуса на окръжността. От фигура 3 се вижда, че ъгълът не зависи от определена дължина или от радиуса:

$$\theta = \frac{\Delta s_1}{R_1} = \frac{\Delta s_2}{R_2} = \frac{\Delta s_3}{R_3},$$

тя се определя като съотношението на дължината на

съответната дъга към радиуса на окръжността. От фигура 3 се вижда, че ъгълът не зависи от определена дължина или радиуса, а само от тяхното съотношение, което е естествено и правилно. Вече знаем как да определим ъгъл, но все още не знаем какво е „радиан“.

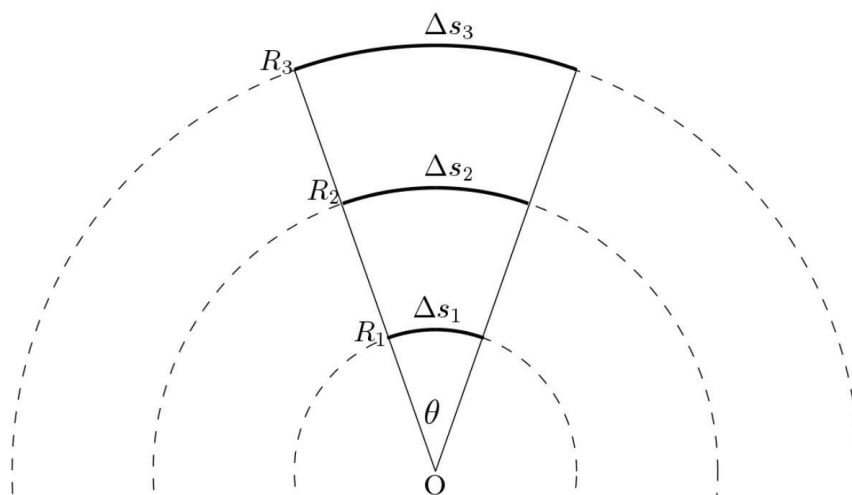
От определението за ъгъла (дължина на дъгата, разделена на радиуса), изглежда, че ъгълът не е размерен или, че единицата на ъгъла е „единица“. Точно това се нарича „радиан“! Бихме могли да напишем също: $[\theta_{\text{rad}}] = 1 = \text{rad}$. Има много безразмерни числа. Пишейки „rad“ към числата, ние всъщност посочваме, че числото съответства на размера на ъгъла.

Тъй като радиусът на окръжността е $s = 2\pi R$, той е пълен ъгъл $2\pi R/R = 2\pi = 360^\circ$.
Разбира се, $0 \text{ rad} = 0^\circ$.

Предпоследното равенство ни дава връзката за преобразуване между радиани

$$\text{и градуси: } \theta_{\text{rad}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{stup}}, \text{ resp. } \theta_{\text{stup}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{rad}}.$$

Освен това, ние трябва да отбележим, че колкото по-малък е ъгълът, толкова по-малка е дъгата. Ще използваме това в следващия параграф.



Фигура 21: Въвеждане на радианите

Сега си представете, че размерът на сферичен космически обект е значително по-малък от разстоянието му от нас. Както е посочено по-горе, поради големите разстояния (достатъчно малка) дъга може да бъде заместена от отсечка и обратно. В този случай е възможно за ъгловия размер на космическия обект (в радиани) да напишем:

Ъглов размер за втори път

$$\theta \doteq \frac{2R}{d}$$

Разбира се, за малките ъглови размери отношението трябва да даде същите резултати както преди това $\frac{R}{d} = \text{tg} \frac{\theta}{2} \frac{R}{d} = \text{tg} \frac{\theta}{2} \doteq \frac{\theta}{2}$ (калкулаторът може да изчисли тангенса в градуси и в радиани).

Източници и препоръчана литература

[1] MIKULČÁK J., MACHÁČEK M., ZEMÁNEK F.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro SŠ*, Prometheus, Praha, 2003

[2] ŠIROKÝ J., ŠIROKÁ M.: *Základy astronomie v příkladech*, SPN, Praha, 1966, online odkaz: <http://physics.ujep.cz/~zmoravec/astronomie/siroky/siroky.html>, cit. 8.7.2018

3. МЕТОДИЧНИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
Задача 1: Радиани или радиуси?	12 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	преобразуване на градуси в радиани и обратно, изчисляване на ълови размери
Задача 2: Марс в опозиция и квадратура	5 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	Конфигурации, Питагорова теорема, тригонометрични функции
Задача 3: Измерване на Меркурий и Венера	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	тригонометрични функции, трети закон на Кеплер, синодичен период
Задача 4: „Меркуран“	5 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	елипса, ълов размер
Задача 5: Земята от Марс	5 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	тригонометрични функции, трети закон на Кеплер
Задача 6: Колко голяма е Луната?	12 минути	по-сложна задача	12 и повече годишни	калкулатор	тригонометрични функции, трети закон на Кеплер, ълов размер
Задача 7: Луната за втори път	8 минути	малко по-тежки операции	12 и повече годишни	калкулатор	елипса, ълов размер
Задача 8: Параметри на траекторията на планетите	8 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	Трети закон на Кеплер, синодичен период, ълов размер
Задача 9: Като от друга планета	5 минути	стандартна трудност	12 и повече годишни	калкулатор	синодичен период
Задача 10: С краката здраво на Земята...	5 минути	работа с графика, по-сложни задачи	12 и повече годишни	калкулатор	работа с графики, работа с ълови разстояния, трети закон на Кеплер
Задача 11: Гръко, колко голяма е Земята?	8 минути	Ученикът трябва сам да се ориентира в заданието и да разбере ситуацията	12 и повече годишни	калкулатор, потребности за рисуване	геометрия
Задача 12: Луната в действие за трети път?	12 минути	работа с графика, по-сложни задачи	12 и повече годишни	калкулатор, измервателни инструменти	геометрия

Инструкции за учители - ученици със СОП, надарени ученици:

1. Учениците със СОП имат нужда от 50% допълнително време.
2. Надарените ученици могат самостоятелно да изпълнят всички задачи, учителят им се посвещава поотделно. Ако ученикът прояви интерес към тази тема, той може да работи с допълнителни теории и примери [2].

Задача 1: Радиани или градуси?

- а) Преобразувайте градусите в радиани:
1°, 5°, 30°, 60°, 180°, 270°.
- б) Преобразувайте радианите в градуси: $2,91 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$; $\pi/360 \text{ rad}$, 1 rad, $\pi/2 \text{ rad}$, $1,5 \pi \text{ rad}$, $2\pi \text{ rad}$.
- в) За следните ъглови стойности в градуси, извършете:
в1) преобразуване от градуси в радиани,
в2) изчисляване на тангенс на даден ъгъл θ , т.е. изчислете и сравнете със стойностите от в1).

Въведени ъгли: 0,1", 30', 2°, 5°, 10°, 15°, 30°.

Решение

Например от тук можем да извлечем връзката на преобразуването между радиани и градуси:

$$\theta_{\text{rad}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{stup}}, \text{ съответно } \theta_{\text{stup}} = \frac{360^\circ}{2\pi} \theta_{\text{rad}}$$

а) $1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad} \doteq 0,0174 \text{ rad}$, $5^\circ = \frac{\pi}{36} \text{ rad} \doteq 0,0873 \text{ rad}$, $30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \doteq 0,524 \text{ rad}$,

$$60^\circ = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \doteq 1,05 \text{ rad}, 180^\circ = \pi \text{ rad} \doteq 3,14 \text{ rad}, 270^\circ = \frac{3\pi}{2} \text{ rad} \doteq 4,71 \text{ rad}.$$

б) $2,91 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \doteq 1'$, $\frac{\pi}{360} \text{ rad} = 30'$, 1 rad $\doteq 57^\circ 18'$, $\pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$, $1,5\pi \text{ rad} = 270^\circ$, $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$.

в1) $0,1'' \doteq 4,85 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$, $30' = \frac{\pi}{360} \text{ rad} \doteq 8,73 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$, $2^\circ = \frac{\pi}{90} \text{ rad} \doteq 0,0349 \text{ rad}$,

$$5^\circ = \frac{\pi}{36} \text{ rad} \doteq 0,0873 \text{ rad}, 10^\circ = \frac{\pi}{18} \text{ rad} \doteq 0,175 \text{ rad}, 15^\circ = \frac{\pi}{12} \text{ rad} \doteq 0,262 \text{ rad},$$

$$30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \doteq 0,524 \text{ rad}.$$

в2) $\text{tg } 0,1'' \doteq 4,85 \cdot 10^{-7}$, $\text{tg } 30' \doteq 8,73 \cdot 10^{-3}$, $\text{tg } 2^\circ \doteq 0,0349$, $\text{tg } 5^\circ \doteq 0,0875$,
 $\text{tg } 10^\circ \doteq 0,176$, $\text{tg } 15^\circ \doteq 0,268$, $\text{tg } 30^\circ \doteq 0,577$.

5. Слънчевата система

От горното се вижда, че връзките (отношенията) стават все по-малки и по-малко точни.

Задача 2: Марс в опозиция и квадратура

Колко далеч е Марс от Земята, ако Марс е в: а) опозиция, б) квадратура? Колко пъти ще изглежда Марс по-голям когато е в опозиция, отколкото когато е в квадратура, гледан през астрономически телескоп? Радиусът на орбитата на Марс е $a_M = 1,52$ au. Фигура 1 може да помогне.



Фигура 22: Диаграма на възможните конфигурации на планетите

Решение

а) От фигура 1 е лесно да се определи разстоянието до Земята от Марс в опозиция:

$$\Delta r_o = a_M - a_E = 0,52 \text{ au}$$

б) Разстоянието до Земята от Марс в квадратура може да бъде определено от теоремата на Питагор:

$$\Delta r_k = \sqrt{a_M^2 - a_E^2} \doteq 1,14 \text{ au} .$$

Изображението на Марс в опозиция през телескопа ще бъде толкова пъти по-голямо отколкото в квадратура, колкото пъти Марс в опозиция е по-близо до Земята, отколкото в квадратура:

$$\frac{\Delta r_k}{\Delta r_o} = 2,21.$$

Задача 3: Измерване на Меркурий и Венера

Определете радиусите на орбитите на Меркурий и Венера, ако знаете, че:

- максималната елонгация на Меркурий е 23° а на Венера е 47° ,
- синодичен период на въртене на Меркурий е 116 дни, а на Венера е 584 дни.

Решение

- От фигура 1 и максималната елонгация можем постепенно да определим голямата полуос на планетите:

$$\text{Меркурий } a_{\text{М}} = a_{\odot} \sin 23^\circ \doteq 0,39 \text{ ау},$$

$$\text{Венера: } a_{\text{В}} = a_{\odot} \sin 47^\circ \doteq 0,73 \text{ ау}.$$

- Ъгловото движение на вътрешната планета и Земята по отношение една на друга е: $\Delta\omega = \omega_{\text{внútorný}} - \omega_{\odot}$.

Нека започнем от определението на ъгловата скорост $\omega = 2\pi/T$, а след заместване получаваме:

$$\frac{1}{T_{\text{synod}}} = \frac{1}{T_{\text{внútorný}}} - \frac{1}{T_{\odot}}, \text{ следователно } T_{\text{внútorný}} = \frac{T_{\odot} T_{\text{synod}}}{T_{\odot} + T_{\text{synod}}}. \text{ За Меркурий получаваме:}$$

$$T_{\text{М}} \doteq 88 \text{ денонощия} \doteq 0,241 \text{ години}, \text{ а за Венера: } T_{\text{В}} \doteq 245 \text{ денонощия} \doteq 0,615 \text{ години}.$$

$$\text{От третия закон на Кеплер получаваме: } a' = \sqrt[3]{T'^2}, a_{\text{М}} \doteq 0,391 \text{ ау}, a_{\text{В}} \doteq 0,723 \text{ ау}.$$

Задача 4: „Меркуан“

Орбитата на Меркурий не е точно кръгова, а елиптична с ексцентричност. Колко пъти ъгловият размер на Слънцето е по-голям в перихелий, отколкото в афелий за един наблюдател на Меркурий?

Решение

Изхождайки от определението за размера на ъгъла (за малки ъгли):

$$\theta \doteq \frac{D}{d}, \text{ където размерът (диаметърът) на тялото е } D, \text{ то разстоянието на обекта от наблюдателя е } d.$$

$$\text{За съотношението на ъгли размери в перихелий и афелий: } \frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{afel}}} = \frac{r_{\text{afel}}}{r_{\text{per}}} = \frac{1+e}{1-e} = 1,52.$$

В перихелий Слънцето изглежда с 52% по-голямо в сравнение с положението му в афелий.

Задача 5: Земята от марс

Изчислете ъгловото разстояние на Земята от Слънцето от гледна точка на наблюдател на Марс. Знаете, че сидеричният период на въртене на Марс е 687 земни дни.

Решение

$T_{\sigma} \doteq 687$ денонощия $\doteq 1,88$ години. Нека започнем с Третия закон на Кеплер $a'_{\sigma} = \sqrt[3]{T_{\sigma}{}^2} \doteq 1,52$ au. От геометрия, подобна на геометрията на Фигура 1 (просто правим изчислението за Марс вместо за Земята), получаваме: $\sin \theta = \frac{a_{\oplus}}{a_{\sigma}} = 41,1^{\circ}$.

Задача 6: Колко голяма е Луната?

- а) Средното разстояние между Земята и Слънцето е $d = 1 \text{ au} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, радиусът на Слънцето е $R_{\odot} = 6,955 \cdot 10^5 \text{ km}$. Определете ъгловия размер на Слънцето за един наблюдател на Земята.
- б) От знанието за масата на Земята $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ и орбиталния период на Луната около Земята $T = 27,3$ дни и орбиталния период на Луната около Земята и орбиталния период на Луната около Земята, и използвайки третия закон на Кеплер, изчислете разстоянието на Луната от Земята. Пренебрегнете масата на Луната за определяне на разстоянието.
- в) Тъй като знаете, че има както частични, така и пълни слънчеви затъмнения, определете истинските размери на Луната. Илюстрация на явлението е показана на фигура 2.



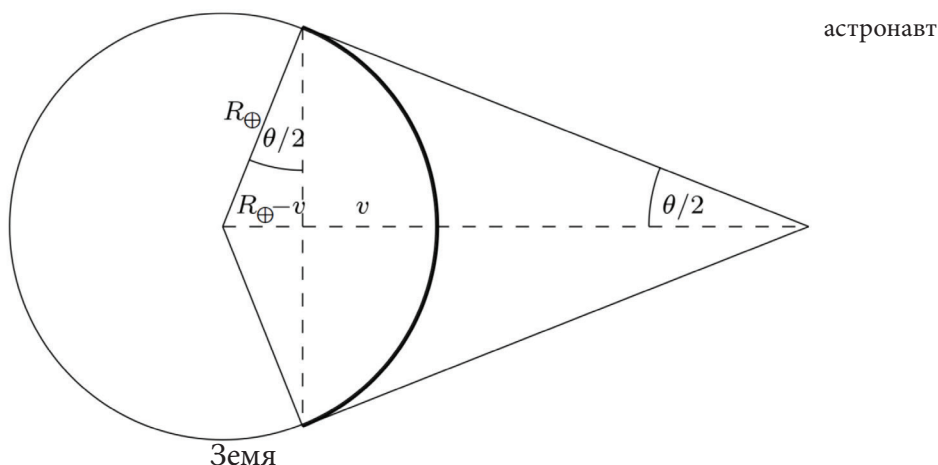
(Източник: <https://apod.nasa.gov/apod/ap160831.html>, cit. 5.8.2018)



(Източник: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1249.html, cit. 5.8.2018)

- г) Какъв би бил ъгловият размер на Земята за астронавт на Луната, ако Луната се движеше по точно кръгова орбита? Каква част от земната повърхност вижда астронавтът (виж фигури 3 и 4)? Изразете резултата като процент. Радиусът на Земята е $R_{\oplus} = 6\,378\text{ km}$.

Съвет: Частта от земната повърхност, която наблюдателят вижда, съответства на повърхността на сферичния ъгъл. Площта на сферичния ъгъл (без основата) е $S = 2\pi Rv$, където R е радиусът на сферата, а v е височината на сферичния сегмент, вж. Фигура 4.



Илюстрация на гледката на астронавта към Земята

Решение

- а) Изхождаме от приблизителното отношение за ъглов размер: $\theta_{\odot} \doteq \frac{2R_{\odot}}{d} \doteq 9,30 \cdot 10^{-3}\text{ rad} \doteq 32'$. Можем да изходим и от точната връзка

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_{\odot}}{2} = \frac{R_{\odot}}{d}, \text{ респективно. } \theta_{\odot} = 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{2R_{\odot}}{d} \doteq 32'. \text{ Резултатите, разбира се, са същите,}$$

вж. Задача 1.

- б) Започваме от Третия закон на Кеплер: $a = \sqrt[3]{\frac{GM_{\oplus}T^2}{4\pi^2}} \doteq 3,83 \cdot 10^8\text{ m}$.

- в) Тъй като има частични и пълни слънчеви затъмнения, ъгловият размер на Луната е сравнима с ъгловия размер на Слънцето, т.е. $\theta_{\ominus} \doteq \theta_{\odot}$.

$$\text{Определяме радиуса на Луната от съотношението: } R_{\ominus} \doteq \frac{\theta_{\odot} a}{2} \doteq 1\,780\text{ km}.$$

Истинският радиус на Луната е 1,737 км, така че резултатът ни съответства на реалността.

г) Изхождаме от приблизителното отношение за ъглов размер: $\theta_{\odot} \doteq \frac{2R_{\oplus}}{a} \doteq 0,033 \text{ rad} \doteq 1^{\circ} 55'$.

От Фигура 2 става ясно, че:

$$\sin \frac{\theta_{\odot}}{2} = \frac{R_{\oplus}}{a} = \frac{R_{\oplus} - v}{R_{\oplus}} = 1 - \frac{v}{R_{\oplus}}, \text{ следователно } v = R_{\oplus} \left(1 - \sin \frac{\theta_{\odot}}{2}\right) = R_{\oplus} \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right).$$

Можем да изчислим големината на сферичния ъгъл или директно от определени стойности, или от изчислената стойност на ъгловия размер на Земята. Заменяме в спомагателната формула за областта на сферичния ъгъл $S = 2\pi R_{\oplus}^2 \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right)$. Формула за площта на сферата е $R_{\text{gula}} = 4\pi R^2$, затова за съотношението на площта на сферичния ъгъл към цялата сфера важи:

$$\frac{S}{S_{\oplus}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right) \doteq 0,49 \doteq 49 \%. \text{ Астронавтът вижда почти една цяла страна на Земята.}$$

От последното уравнение става ясно, че колкото по-далеч астронавтът е от Земята (разстоянието е дадено от голямата полуос, тъй като съответства на радиуса на кръговата орбита), то тогава

$\frac{R_{\oplus}}{a}$ членът ще бъде по-близо до нулата и астронавтът ще види по-голяма част

от Земята, но максимално 50 %. Ако, напротив, астронавтът е точно над земната

повърхност, то членът ще бъде $\frac{R_{\oplus}}{a}$ бъде близо до 1 и съотношението ще бъде $\frac{S}{S_{\oplus}}$ нула.

Задача 7: Луната за втори път

Измерването показва, че ъгловият диаметър на Луната в перихелий е $\theta_{\text{per}} = 33,5'$ а в апогей е $\theta_{\text{apo}} = 29,9'$. Ако радиусът на Луната в апогей е $R_{\text{L}} = 1737 \text{ km}$, определете ексцентрицитета на елиптичната орбита и нейната голяма ос.

Решение

Най-важното е да излезе от определението за ъглов размер: $\theta_{\text{per}} = \frac{2R_{\text{L}}}{a - \varepsilon}$, $\theta_{\text{apo}} = \frac{2R_{\text{L}}}{a + \varepsilon}$,

$$\theta_{\text{apo}} = \frac{2R_{\text{L}}}{a + \varepsilon},$$

и следователно

$$\frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{apo}}} = \frac{a + \varepsilon}{a - \varepsilon} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

Променяйки последното уравнение, получаваме: $e = \frac{\theta_{\text{per}} - 1}{\theta_{\text{apo}} + 1} = 0,057$.

$$e = \frac{\theta_{\text{per}} - 1}{\theta_{\text{apo}} + 1}$$

Действителната стойност на числовия ексцентрицитет е 0,055. Следователно, траекторията е почти кръгова.

Определяме главното положение по отношението:

$$\theta_{\text{per}} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a - \varepsilon} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a(1 - e)}, \text{ следователно } a = \frac{2 R_{\text{J}}}{\theta_{\text{per}} (1 - e)}, \text{ където } \theta_{\text{per}} \doteq 9,74 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

След заместване получаваме $a \doteq 378\,000 \text{ km}$.

Можете да проверите резултата, като използвате второто отношение (за апогей):

$$a = \frac{2 R_{\text{J}}}{\theta_{\text{apo}} (1 + e)} \doteq 378\,000 \text{ km, където } \theta_{\text{per}} \doteq 8,70 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

Задача 8: Параметри на траекториите на планетите

В таблица 1 за всяка една планета е посочен нейния синодичен период на въртене, измерен от астроном на Земята. Добавете сидеричните времена на въртене към таблицата и допълнете големите полуоси на планетите.

Таблица 1: Синодични времена на въртене на планетите и други параметри

Планета	Синодичен период [деноноция]	Синодичен период [деноноция]	Сидеричен период [година]	Голяма полуос [au]
Меркурий	116			
Венера	584			
Марс	780			
Юпитер	399			
Сатурн	378			
Уран	370			
Нептун	367			

5. Слънчевата система

Решение

Планетите около Слънцето се движат в една и съща посока, и следователно, относителната ъглова скорост на Земята и дадена планета получаваме като разлика от техните ъглови скорости: $\Delta\omega = \omega_{\text{vnútorná}} - \omega_{\oplus}$, съответно $\Delta\omega = \omega_{\oplus} - \omega_{\text{vonkajšia}}$. От определението на ъгловата скорост получаваме:

$$T_{\text{vnútorný}} = \frac{T_{\oplus} T_{\text{synod}}}{T_{\oplus} + T_{\text{synod}}}$$

$$T_{\text{vonkajší}} = \frac{T_{\oplus} T_{\text{synod}}}{T_{\text{synod}} - T_{\oplus}}$$

Голямата полуос се изчислява от третия закон на Кеплер:

$$a' = \sqrt[3]{T'^2}, \text{ където } a' = a/a_{\oplus}, T' = T/T_{\oplus}.$$

Таблица 1 – решение

Планета	Синодичен период [денонощия]	Синодичен период [денонощия]	Сидеричен период [година]	Голяма полуос [au]
Меркурий	116	88,0	0,241	0,387
Венера	584	225	0,615	0,723
Марс	780	687	1,88	1,52
Юпитер	399	4320	11,8	5,19
Сатурн	378	10800	29,6	9,56
Уран	370	28500	78,0	18,3
Нептун	367	76600	210	35,3

Изчислените стойности в таблицата са идентични с действителните стойности, с изключение на Уран и Нептун. Действителните стойности на големите полуоси и периоди за Уран са: $T_{\text{ж}} = 84,1$ години, $a_{\text{ж}} = 19,2$ au; а за Нептун са: $T_{\text{п}} = 165$ години, $a_{\text{п}} = 30,1$ au. По-забележимата разлика между изчислените и действителните стойности се състои в приликата на синодичния период и времето на въртене на Земята около Слънцето. Ако искаме да постигнем по-точен резултат, трябва да посочим синодичния период на въртене на по-голям брой валидни места. Ако заместим със $T_{\text{жsynod}} = 369,65$ денонощия синодичния период на Уран, то за Нептун бихме получили $T_{\text{пsynod}} = 367,49$ денонощия, бихме получили $T_{\text{ж}} = 84,1$ години, $a_{\text{ж}} = 19,2$ au; $T_{\text{п}} = 164$ години, $a_{\text{п}} = 30,0$ au.

Задача 9: краката от друга планета

Какъв би бил синодичният период на въртене на Сатурн за един наблюдател на Юпитер? Прочетете необходимата информация от Таблица 1, Задача VIII.

Решение

Взаимната ъглова скорост се дава като разлика между ъгловите скорости на Сатурн и Юпитер

$$\Delta\omega = \omega_{\text{Сатурн}} - \omega_{\text{Юпитер}}, \text{ следователно } T_{\text{synod}} = \frac{T_{\text{Сатурн}} T_{\text{Юпитер}}}{T_{\text{Юпитер}} - T_{\text{Сатурн}}} \doteq 19,6 \text{ години.}$$

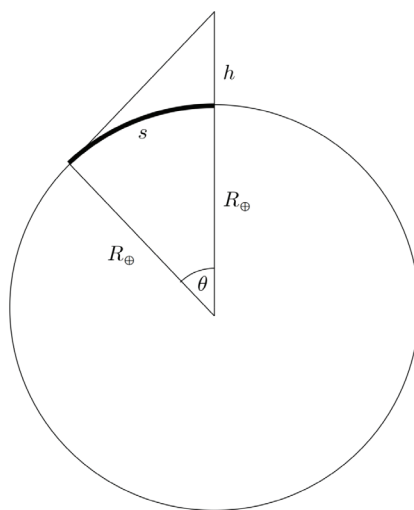
Задача 10: С Краката здраво на земята...

Алпинист изкачва най-високата планина в света, връх Еверест, на 8848 метра надморска височина. Ако приемем, че Земята е перфектна топка, с изключение на мястото, където се издига връх Еверест, колко надалеч по земната повърхност ще вижда алпинистът? Радиусът на Земята е $R_{\oplus} = 6\,378 \text{ km}$.

Решение

Според снимката следва, че: $\cos \theta = \frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}$, следователно $\cos \theta \doteq 0,9986$, приблизително $\theta \doteq 3^{\circ} 01' \doteq 0,053 \text{ rad}$.

Видно е и от фигурата, че: $\theta = \frac{s}{R_{\oplus}}$, затова $s = R_{\oplus} \cdot \theta \doteq 340 \text{ km}$.



Наблюдател на връх Еверест на височина h вижда на разстояние от s

Задача 11: Гръко, колко голяма е Земята?

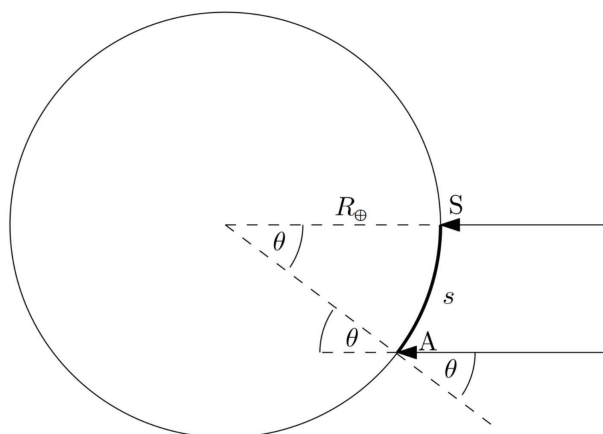
Първото измерване на диаметъра на Земята е направено от древните гръци още около 250 години преди Христа. Гръцкият учен Ератостен от Кирена се нуждаел от само два града на подходящо място. Ератостен чул от пътешественици, че в деня на лятното слънцестоене (21 юни), точно по обяд, и в най-дълбоките кладенци на град Сиена се виждало отражението на Слънцето. Следователно, слънчевите лъчи падали перпендикулярно на земната повърхност и не хвърляли сянка. На същия меридиан, на 800 км от град Сиена, бил египетският град Александрия, където, точно по обяд, слънчевите лъчи хвърляли сянка под определен ъгъл.

Вашата задача е:

- а) да нарисувате скица, описваща ситуацията,
- б) да изчислите радиуса на Земята.

Решение

- а) Най-важната част от скицата е правилното изчертаване на съвпадащите ъгли.

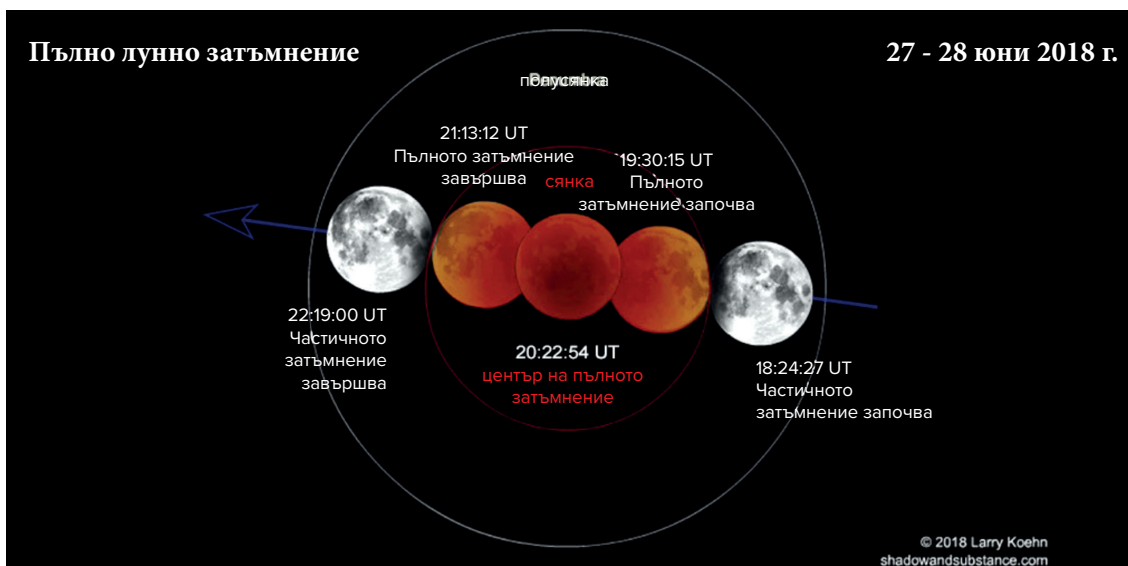


- б) От скицата после лесно изчисляваме радиуса на Земята така:

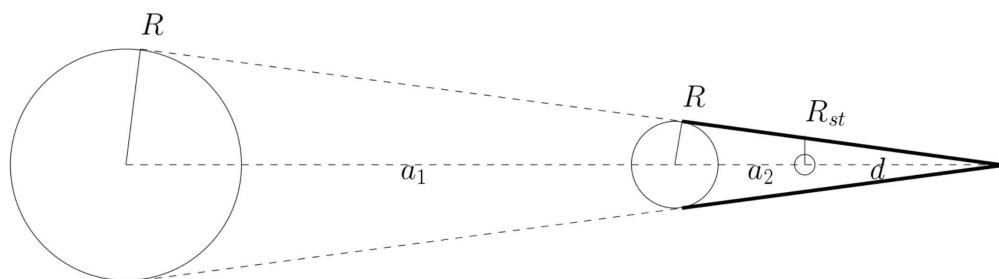
$$\theta = \frac{s}{R_{\oplus}}, \text{ оттук } R_{\oplus} = \frac{s}{\theta} = 20\,000/\pi \doteq 6\,400 \text{ km, където } \theta = \pi/25 \text{ rad} \doteq 0,126 \text{ rad.}$$

Задача 12: Луната в действие за трети път

- а) Фигура 6 показва пълно лунно затъмнение. Използвайки Фигура 6 и времената, преценете колко пъти радиусът на сянката на Земята ще е по-голям от радиуса на Луната.
- б) Ако ъгловият размер на Слънцето е $\theta_{\odot} = 32'$, радиусът на Земята е $R_{\oplus} = 6\,378\text{ km}$ а радиусът на кръговата орбита е $a_2 = 384\,400\text{ km}$, с помощта на горния резултат от точка а), изчислете радиуса на Луната. Фигура 7 може да помогне.



Затъмнение на Луната



атъмнение на Луната – Анализ на ситуацията

Решение

- а) От показаните на фигурата времена става ясно, че на Луната и е отнело около 1 час и 6 минути, за да влезе в сянката на Земята. След това остава в този сянка за около 2 часа и 49 минути. Съотношението на тези времена съответства на съотношението на диаметъра на земната сянка към радиуса на Луната:

$$\frac{R_{st}}{R_{\text{л}}}} = \frac{2,8}{1,1} \doteq 2,6$$

Тъй като преминаването на Луната през земната сянка не е точно централно, съотношението всъщност ще бъде малко по-голямо.

- б) Скицата предполага следното: $\frac{R_{\odot}}{a_1 + a_2 + d} = \frac{R_{\oplus}}{a_2 + d} \doteq \frac{R_{\text{л}}}{d}$. Тъй като лявата страна на

първото уравнение може да бъде написана като $\frac{R_{\odot}}{a_1}$, което се равнява на $\theta_{\odot}/2$.

От първото уравнение получаваме $d = \frac{2R_{\oplus}}{\theta_{\odot}} a_2 \doteq 990\ 000\ \text{km}$.

От второто равенство получаваме $R_{st} = R_{\oplus} \frac{d}{a_2 + d} \doteq 4\ 600\ \text{km}$.

Тогава за радиуса на Луната се получава: $R_{\text{л}} = \frac{R_{st}}{2,6} \doteq 1\ 800\ \text{km}$. Истинският радиус

на Луната е 1737 км, и следователно полученият резултат е разумен.

ЖИВОТ ВЪВ ВСЕЛЕНАТА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Никой още не знае съществува ли живот извън Земята. Тезисът на Джордано Бруно за множествеността на обитаемите светове и за неизбежното възникване на многобройни огнища на живота във Вселената владее умовете на хората вече 4 столетия. Удивително е, че за тези 400 години идеите на Бруно не са влезли в противоречие със съвременните научни знания. Единственото, което се налага, е осъвременяване на понятията за Вселена, живот, разум и др., с които е боравил Бруно. В тази тема даваме представа за понятието живот във Вселената, търсенето на извънземен живот както в Слънчевата система, така и в далечния космос. Предлагаме и практически упражнения за различни възрастови групи, чрез които учениците да добият представа за научните методи, чрез които се търси извънземен живот.

1.1 Ключови думи

екзопланети

извънслънчеви планети

земеподобни планети

скалисти планети

зона на обитаемост

уравнение на Дрейк

космически мисии

космически сонди

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ А УЧИТЕЛЯ

По времето на Бруно широко разпространено било вярването, че в центъра на Вселената се намира Земята и тя е единствена и уникална във Вселената. А днес (август 2018 г.) броят на наблюдаваните *екзопланети* (така наричаме извънслънчевите планети, обикалящи около другите звезди) е 3798 в 2841 звезди с планетни системи, от които 633 системи имат повече от една планета. По статистически оценки общото количество екзопланети в Млечния Път се предполага, че е над 100 милиарда, от които 5 до 20 милиарда вероятно са „земеподобни“.

Но дали на някоя от тях може да се развие живот? Тук ще говорим за живот, подобен на този на Земята, защото това е единствената ни отправна точка и много трудно бихме си представили други варианти. Какви са главните условия, които трябва да се изпълнят, за да възникне живот на една извънслънчева планета?

Условия за живот на други планети Първо, по аналог със Земята предполагаме, че планетата трябва да е скалиста, следователно не много голяма (както знаем, големите планети в Слънчевата система са газови кълба без твърда повърхност). До момента астрономите са открили над 950 подобни на Земята извънслънчеви планети и още над 1100 т.нар. „свръхземи“. Свръхземите са екзопланети с маси, по-големи от земната, но съществено по-малки от масите на Уран и Нептун (т.е много по-малки от 15 земни маси). Свръхземите са по-големи от земеподобните планети (с радиус и от 0.8 до 1.25 земни радиуси), но по-малки от около 2 земни радиуса. Терминът „свръхземя“ се отнася само до масата и размера на планетата и не касае по никакъв начин условията на нейната повърхност и евентуалната ѝ обитаемост. Някои учени смятат, че свръхземите с радиуси около два земни радиуса са най-благоприятни за развитие на живот. По-високата им гравитация осигурява по-дебели и плътни атмосфери, висока степен на ерозия и като следствие по-равнинна топография. Крайният резултат би бил „планета архипелаг“ с плитки океани, обсипани с невисоки островни вериги, идеални за биоразнообразието.

Зона на обитаемост Второ, на повърхността на планетата трябва да има условия за наличие на течна вода. Около всяка нормална звезда, в това число и нашето Слънце, съществува зона от разстояния, на които тези условия са изпълнени. За по-горещите звезди, тази зона се намира по-далеч от звездата, за по-малките – по-близо. Нарича се *зона на обитаемост* (фиг.1). В англоезичната литература зоната на обитаемост се нарича още „зона на Златокоска (англ. Goldilocks Zone) по приказката Златокоска и трите мечки, в която малко момиче избира измежду три предмета, пренебрегвайки тези, които са прекалено екстремни (голям или малък, горещ или студен и т.н.), спирайки се на тези, които са „точно по мярка“.

Ако планетата е по-близо от зоната на обитаемост, то на повърхността ѝ ще е прекалено горещо, а ако е по-далече – ще е прекалено студено. Не трябва да забравяме, че наличието на планета в обитаемата зона и наличието на благоприятни условия за живот на нея не са задължително свързани: първата характеристика се отнася за условията в планетната система като цяло, а втората касае непосредствено условията на повърхността на екзопланетата.



Фиг. 1: Зона на обитаемост. Източник: NASA.gov (Credit: NASA.gov)

Трето, трябва да има достатъчно време, за да се развие евентуално живот на планетата. На Земята първите най-прости организми са се появили едва около един милиард години след нейното образуване, а за по-сложните организми (животни и растения) са били необходими още около 2 милиарда години. По-ярките и по-масивни звезди от Слънцето, обаче, приключват живота си много по-бързо – за няколко милиона години (най-масивните) до няколко стотици милиона години. Заради краткия им живот, масивните звезди не са подходящи за развитие на извънземен живот от земен тип. По-добрите кандидати са звездите с малки маси (от около една до около една десета от масата на Слънцето), които живеят десетки милиарди години.

2.1 Търсене на планети в обитаемата зона

Да предположим, че всички условия са изпълнени и на някоя планета има условия за възникване на живот, или дори животът вече е възникнал. Как можем да разберем това, след като все още дори откриването и определянето дали планетата е в обитаемата зона е достатъчно сложно. На големите разстояния, на които се намират дори и най-близките звезди с потенциални обитаеми планети, директните наблюдения на признаци за живот са невъзможни? Няма как да направим снимки, подобни на тези на Земята, направени от изкуствените спътници. Не можем да пратим и космически сонди. Най-близката до нас звездна система, алфа от Центавър, е на разстояние над 4 светлинни години и на нашите съвременни сондище са необходими 100 000 години, за да я достигнат.

Крайната цел на съвременните програми за изследване на екзопланетите е намирането на недвусмислени доказателства за съществуването на извънземен живот. Скоро ли ще стане това или не, зависи от две неизвестни: колко е разпространен животът в Галактиката и колко голям късмет ще имаме. Защото без късмет търсенето на извънземен живот може да отнеме десетки, дори стотици години. Откриването на друга планета като Земята е като търсене на определена песъчинка на плажа и изисква дори по-големи и мощни телескопи от днешните. Отговор на първото неизвестно – разпространението на живота в Галактиката, дава уравнението на Дрейк.

6. Галактическа среда

Уравнение на Дрейк и вероятност за извънземен живот и разум **Уравнението на Дрейк позволява да се направи оценка на вероятността за извънземен живот и разум. То дава оценка на броя N на развитите цивилизации в нашата Галактика:**

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Тук R^* е скоростта на звездообразуване в Млечния път (това е броят звезди, възникнали за 1 година в нашата Галактика), f_p е частта от звездите, които имат планетни системи, n_e е броят планети от планетната система, на които съществуват приемливи физични условия за съществуване на живот (т.е. броят планети, попадащи в „зоната на обитаемост“), f_l е вероятността на една планета с благоприятни условия наистина да възникне живот, f_i е вероятността възникналият живот да развие в рамките на еволюцията си видове, надарени с разум, f_c е вероятността разумът да развие цивилизация с напреднала технология, която е в състояние да търси връзка с други цивилизации, L е времето на активен живот на цивилизацията (или най-малкото времето, през което цивилизацията търси и изпраща сигнали в космоса).

През 1960, когато Дрейк съставя уравнението си, всички влизаци в него величини са били неизвестни. Със сигурност сме могли да кажем само, че N е равно поне на единица, доколкото все пак ни е известна нашата собствена цивилизация... Поради неопределеностите във формулата всеки човек на Земята има своя гледна точка за нейния резултат. Оценките за N са доста спекулативни и варират от „една“ (само нашата Земя) до един милиард в зависимост от оптимизма на изследователя. Сега има несъмнен прогрес и сред почти 4000 открити до днес екзопланети знаем за 55 земеподобни и свръхземи, намиращи се в зоната на Златокоска. Това укрепва увереността ни, че извънземният живот е достатъчно разпространен в Галактиката.

Така или иначе обаче, ние все още не разполагаме с никакви сериозни доказателства за съществуването както на извънземен живот, така и на извънземен разум. Известно е обаче, че “липсата на доказателство не е доказателство за липса”, и астрономите имат всички основания да продължават търсенето.

2.2 Изследване на Слънчевата система и търсене на извънземен живот

Изследването на Слънчевата система е важна част от търсенето на извънземен живот. Автоматизирани космически сонди са посетили планетите от слънчевата система, някои техни спътници, някои астероиди и комети. До момента, според учените, най-вероятните места, на които може да е съществувал живот (микроорганизми) са Марс, Европа (спътник на Юпитер) и Енцелад (спътник на Сатурн). Всички те са имали (или в момента имат) течна вода на повърхността или близо до нея. Друг от спътниците на Сатурн – Титан, също представлява интерес, защото като че ли на него има езера от течен метан, а самият Титан, със своята геоложка активност и атмосферен състав прилича доста на Земята в нейната най-ранна възраст.

Друг начин за търсене на живот в космоса, в който се включват и доста любители, са опитите да се регистрират сигнали от технологично развита извънземна цивилизация. От 1960-те години на сам, Институтът за търсене на извънземен разум SETI (от англ. Search for ExtraTerrestrial Intelligence) анализира идващи от космоса електромагнитни сигнали (основно радио вълни и видима светлина) с надеждата да засече сигнал от извънземна цивилизация. Разбира се, SETI не очаква да регистрира съобщение на човешки език, а търси структури в сигналите, които не биха могли да възникнат по естествен начин. За сега техните опити са все още без успех.

Ние хората също сме изпращали поздравителни съобщения в космоса с надеждата те да се получат от евентуална извънземна цивилизация. Сред тях са както съобщения в двоичен код, излъчвани от радио телескопи на Земята, така и записани съобщения в различни формати, които пътуват на борда на космически сонди. Сондите Вояджър 1 и 2 (<https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/status/>) носят със себе си албуми със снимки и звуци, илюстриращи разнообразието на живота и културите на Земята. Сред тях е и българската народна песен „Излез е Делю хайдутин“ в изпълнение от Валя Балканска. И двете сонди вече са напуснали пределите на Слънчевата система и продължават пътешествието си в космоса.

Както знаете, космологичният принцип постулира, че физичните закони и влизашите в тях фундаментални константи са неизменни навсякъде във Вселената. Днес чрез наблюдения астрофизиците са доказали с висока точност, че през последните 10–12 милиарда години фундаменталните константи не са се променяли. Правомерността на постулата за неизменност на константите обаче не е безспорна. Например според теорията на обединението GUT, константите на фундаменталните взаимодействия **всъщност не са константи**, защото при много високи енергии стойностите им би трябвало да се изравнят. Вероятно така е било в миговете непосредствено след Големия взрив, когато е действала “суперсилата”.

Допълнителен материал:
Антропен принцип

Теоретичната физика разполага с методи, основани на съвременните знания за микро- и макросвета, които позволяват да се проверят следствията от подобни предположения както в картината на микросвета, така и на Вселената като цяло. Резултатите от изследванията показват, че е достатъчно само една от константите да се промени в границите на не повече от 10 – 15% и Вселената ще се “изроди”. В нея няма да могат да се образуват основните стабилни и устойчиви структури – ядрата, атомите, звездите и галактиките. Ето един показателен пример – увеличаването на константата на Планк с 15% ще лиши протоните от възможността да се сливат с неутроните, т.е. няма да протичат процесите на термоядрения синтез...

Излиза, че Природата с висока точност е “напасвала” един към друг голям брой на пръв поглед независими параметри на микросвета, което прави възможно самото съществуване на Вселената в този ѝ вид, в който я познаваме. “Напасването” позволява във Вселената да се развиват системи с нарастващо ниво на структурна и функционална сложност. В крайна сметка това е довело (със сигурност поне на една планета – нашата!) до появата на живот и разум във Вселената.

6. Галактическа среда

За да осмисли цялата уникалност на нашето съществуване, през 1974 г. британският астрофизик Брандън Картър формулира т.нар. **антропен принцип** (терминът идва от старогръцката дума за “човек”). Той си задал въпроса: “Защо Вселената е устроена и е еволюирала именно така, а не иначе?” Възможният отговор според него се крие във факта, че ако Вселената е била устроена дори съвсем малко по-различно, ние не бихме могли да съществуваме и нямаше да има кой да задава такива въпроси.

Антропният принцип гласи – **Вселената е такава, каквато е, защото в нея съществуват наблюдатели, които са в състояние да си задават въпроси за нейното устройство и за свойствата ѝ.** При други параметри във Вселената нямаше да има сложни структури и живот в известните ни форми. С други думи, Вселената е така устроена, че на определен етап от нейната еволюция в нея задължително да могат да се появят наблюдатели. Ние, човешката цивилизация, сме именно такива наблюдатели.

Антропният принцип звучи като съвременно ехо на някогашния **антропоцентризъм** – т.е. на поставянето на човека в центъра на света, но не бива да се бърка с него. Антропният принцип има много по-дълбок смисъл, защото показва, че Вселената от самото си създаване съдържа в себе си възможността (и може би неизбежността) да се появи разумен живот. В другите вселени от Хиперсвета това може и да не се изпълнява и тяхното развитие протича без свидетели.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Ще срещнем ли някога извънземен разум и как ще комуникираме с него/тях?

Цел

Учениците да обсъдят въпроса доколко е възможно съществуването на интелигентен живот в космоса и да предложат методи за комуникация.

Инструкции за учителя

Това упражнение може да се направи като дейност за целия клас заедно, или учениците да се разделят на няколко групи. В първия случай, всички участват заедно в обсъжданията, а във втория – въпросите се обсъждат първо в групите (за например, 10 – 15 минути) и след това се представят пред останалите. Ако в класната стая има достъп до Интернет, може да се насърчи допълнително търсене на информация и по този начин.

Детайлни инструкции за учениците

1. Разкажете какво знаете за съществуването на извънземен живот във Вселената на базата на прочетени книги, телевизионни програми, филми и други.
2. Определете колко от вас “вярват”, че Земята в по-близко или по-далечно минало е била посещавана от извънземни.
3. Помислете и предложете как учените биха могли да разберат дали съществува живот във Вселената като вземете в предвид следните въпроси:
 - Какво знаят учените в момента? Какви доказателства имат?
 - Как са достигнали учените до това познание? Какви експерименти и технологии са използвали?
 - Какво все още не знаем? Какви данни ни липсват?
 - Какви предположения можем да направим? Какви тестове можем да проведем?
 - Какви нови въпроси и експерименти (нови изследвания и мисии) биха ни помогнали да разберем отговора?
4. Ако е възможно, вижте каква информация можете да намерите в Интернет за:
 - проекта SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence – търсене на извънземен интелект);
 - други опити на човечеството за връзка с извънземни същества (например мисиите Вояджър).

Обсъдете информацията със съучениците си.

6. Галактическа среда

5. Да предположим, че радио телескопите на проекта SETI са регистрирали сигнали от далечния космос. Анализът е показал, че те са изпратени от интелигентни същества, живеещи около далечна звезда и вие искате да осъществите връзка с тях. За целта трябва да решите какво съобщение да изпарите и какъв да е неговият вид (цифрово, езиково, музика, друго). Защитете идеята си пред съучениците си (другите групи).

Практическо упражнение 2а: Живот на друга планета, спътник, или астероид

(Това упражнение е за ученици от по-горни класове.)

Цел

Учениците да се запознаят с изискванията и трудностите за живот извън Земята.

Инструкции за учителя

Учениците се разделят на няколко групи, всяка от които трябва да избере планета, спътник, или астероид от Слънчевата система, на който да се построи база с дадена цел. Целите може да са произволни – заселване на друга планета, различни видове научни изследвания, добиване на полезни минерали и др. Всяка група трябва да прецени необходимите за функционирането на базата запаси, които да вземат със себе си, както и какви специалисти ще има в екипа, за да се изпълни задачата на базата и да се подсури животът в нея. Може групите да се определят предварително (от преден урок) и да се даде възможност учениците да потърсят информация и да обмислят самостоятелно въпросите вкъщи, а общото обсъждане в групата да е по време на следващ урок. За обсъжданията в групата дават определено време (около 20 минути). След края на обсъжданията, всяка група прави презентация (5 минути) на проекта си пред останалите ученици. Окуражавайте задаването на въпроси и обсъждането на проектите. Може да се направи и гласуване за: най-интересен проект, най-сложен проект, най-добре планиран проект и др.

Детайлни инструкции за учениците

Представете си, че ви предлагат да се преселите да живеете на друго място в Слънчевата система.

1. Дискутирайте в групата следните въпроси, като си водите записки:
 - 1.1 Къде в Слънчевата система (освен Земята) бихте желали да живеете?
 - 1.2 Изберете си една планета, неин спътник или астероид, на който да построите база.
 - 1.3 Каква ще е основната цел на вашата база?
 - 1.4 Какво ще трябва да вземете със себе си от Земята, за да подсурилите условия за живот на това място?

- 1.5 Какви специалисти ще ви трябват, за да може базата да осигурява добри условия за живот и да изпълни целта си?
2. Подгответе пет минутно представяне на вашия проект, което да представите пред другите групи.

Практическо упражнение 2b: Живот на друга планета, спътник, или астероид

(Това упражнение е за по-малки ученици)

Цел

Учениците да покажат и обсъдят представите си за живот извън Земята.

Инструкции за учителя

Всеки ученик (може да се модифицира и за група) трябва да избере планета, спътник, или астероид на който би желал да построи база. Ученикът трябва да избере и каква ще е основната цел на базата. След това трябва да нарисова как си представя, че ще изглежда базата и да подготви 5-минутно обяснение на своя проект. Изброените до тук дейности могат да се дадат като домашно. Проектите се представят пред всички и се дискутират. Може да се направи и гласуване за: най-интересен проект, най-сложен проект, най-добре планиран проект, най-добра рисунка и др.

Детайлни инструкции за учениците

Представете си, че ви предлагат да се преселите да живеете на друго място в Слънчевата система.

1. Помислете върху следните въпроси:
 - 1.1 Къде в Слънчевата система (освен Земята) бихте желали да живеете?
 - 1.2 Каква ще е основната цел на вашата база?
 - 1.3 Какво ще трябва да вземете със себе си от Земята, за да подситеgurите условия за живот на това място и да си построите база там?
 - 1.4 Какви специалисти ще ви трябват, за да може базата да осигурява добри условия за живот и да изпълни целта си?
2. Подгответе пет минутно представяне на вашия проект, което да представите пред съучениците си.
3. Нарисувайте вашата база.

Практическо упражнение За: Как да разберем сами ли сме във Вселената, или сме само едни от многото?

(За ученици от по-горни класове)

Цел

Учениците да научат повече за методите и дейностите за научни изследвания на небесните тела и да предложат план за бъдеща научна експедиция в космоса.

Инструкции за учителя и подготовка за упражнението

За провеждането на научна експедиция, учените следват стратегия, която включва три стъпки:

- а) **разузнаване** – внимателно наблюдение на целта за кратко време с помощта на близко прелитащ космически кораб, който записва информация за (в случая) планетата, изпраща данни в базата и продължава полета си в космоса;
- б) **продължително наблюдение** – изисква космически кораб в орбита около планетата, който да я наблюдава за по-дълго време и с помощта на различни инструменти записва вулканични, геологични и атмосферни промени и условия;
- в) **детайлно изследване** – хора или роботи кацат на планетата и детайлно изследват предварително избрана малка област от повърхността (като кацанията на Луната и роботизирани мисии до повърхността на Марс).

1. Използвайки информация от страниците на ЕКА и НАСА, обсъдете следните въпроси (друг вариант е въпросите от 1.1 до 1.5 да се дадат като домашно и учениците да съберат информация с помощта на родителите си, която след това да се обсъди в клас):
 - 1.1 Кацанията на Луната и роботизирани мисии до повърхността на Марс и други подобни мисии до планети и спътници на планети от Слънчевата система (например спътникът на Юпитер – Европа). Какви инструменти и методи се използват за търсенето на живот на Марс и Европа?
 - 1.2 Знаят ли учениците за бъдещи подобни мисии? Какви са техните научни цели? Могат ли да намерят информация за такива в Интернет?
 - 1.3 Кои мисии им се струват най-интересни?
 - 1.4 Има ли мисии, в които те биха желали да участват и в каква роля?
 - 1.5 Кое за тях е по-въълнуващо – колонизирането на други планети или откриването на извънземен живот (не е задължително да е разумен живот)? Защо?
2. Разделете класа на групи от по 4 ученика. Учениците в групата трябва да изберат една от следните роли:

учен – изследва наличната информация и определя какви нови наблюдения трябва да се направят;

отговорник за мисията – дава име на мисията и решава какви космически кораби ще са необходими за всеки неин етап;

контрольор – решава в какъв ред ще се осъществят полетите и как данните ще се върнат на Земята;

отговорник за космическите кораб – отговаря за изстрелването на космическите кораби, графика и как данните ще се събират и ще се доставят до учения.

След това дайте долните инструкции.

Детайлни инструкции за учениците

За провеждането на научна експедиция, учените следват стратегия, която включва три стъпки:

- а) разузнаване** – внимателно наблюдение на целта за кратко време с помощта на близко прелитащ космически кораб, който записва информация за (в случая) планетата, изпраща данни в базата и продължава полета си в космоса;
- б) продължително наблюдение** – изисква космически кораб в орбита около планетата, който да я наблюдава за по-дълго време и с помощта на различни инструменти записва вулканични, геологични и атмосферни промени и условия;
- в) детайлно изследване** – хора или роботи кацат на планетата и детайлно изследват предварително избрана малка област от повърхността (като кацанията на Луната и роботизираните мисии до повърхността на Марс).

С помощта на прелитащ наблизо космически апарат, група астрономи е наблюдавала далечна звезда в нашата Галактика и е открила, че около звездата обикаля планета, на която може би е възможно да е възникнал живот. Междувременно, Европейската космическа агенция и НАСА са открили начин за много бързо пътуване в космоса и се свързват с вас с молба да предложите план за експедиция до тази планета. Следвайки долните инструкции, подгответе план за експедиция:

1. Определете научната цел на вашата група.
2. Направете план за разузнавателна мисия. На какви въпроси относно планетата желаете да получите отговор? Точно какви данни ще съберете за характеристиките на планетата, нейната повърхност и атмосфера?
3. На база на резултатите от разузнавателната мисия, направете план за продължително наблюдение, което да изследва вулканични, геологични и атмосферни промени и условия.
4. Като имате в предвид научните цели, които сте си поставили, опишете детайлните изследвания, които вашата група ще направи на повърхността. Мисията ще включва ли хора, или ще е роботизирана? Понеже ще можете подробно да изследвате само малка част от планетата, изборът на областта, която ще изследвате е много важен за вашия проект. Къде ще кацнете? Защо? Какво очаквате да научите и защо това ще е важно?
5. Как ще доставите събраните данни от кацналата мисия до учените обратно на Земята?
6. Направете кратка презентация (до 5 минути) на проекта пред останалата част от класа.
7. Дискутирайте проектите на отделните групи.

Практическо упражнение 3б: Как учените провеждат научни изследвания на други планети?

(За по-малки ученици)

Цел

Учениците да научат повече за методите и дейностите за научни изследвания на небесните тела и да предложат план за научна експедиция.

Инструкции за учителя и подготовка за упражнението

За провеждането на научна експедиция, учените следват стратегия, която включва три стъпки:

- а) разузнаване** – внимателно наблюдение на целта за кратко време с помощта на близко прелитащ космически кораб, който записва информация за (в случая) планетата, изпраща данни в базата и продължава полета си в космоса;
- б) продължително наблюдение** – изисква космически кораб в орбита около планетата, който да я наблюдава за по-дълго време и с помощта на различни инструменти записва вулканични, геологични и атмосферни промени и условия;
- в) детайлно изследване** – хора или роботи кацат на планетата и детайлно изследват предварително избрана малка област от повърхността (като кацанията на Луната и роботизираните мисии до повърхността на Марс).

1. Използвайки информация от страниците на ЕКА и НАСА, обсъдете следните въпроси (друг вариант е въпросите от 1.1 до 1.5 да се дадат като домашно и учениците да съберат информация с помощта на родителите си, която след това да се обсъди в клас):
 - 1.1 Кацанията на Луната и роботизираните мисии до повърхността на Марс и други подобни мисии до планети и спътници на планети от Слънчевата система (например спътникът на Юпитер – Европа). Какви инструменти и методи се използват за търсенето на живот на Марс и Европа?
 - 1.2 Знаят ли учениците за бъдещи подобни мисии? Какви са техните научни цели? Могат ли да намерят информация за такива в Интернет?
 - 1.3 Кои мисии им се струват най-интересни?
 - 1.4 Има ли мисии, в които те биха желали да участват и в каква роля?
 - 1.5 Кое за тях е по-въълнуващо – колонизирането на други планети или откриването на извънземен живот (не е задължително да е разумен живот)? Защо?
2. Групирайте учениците по двойки и дайте описаните по-долу инструкции. Това упражнение може да се направи или като се запишат стъпките и се представят пред останалата част от класа, или като се разреши на учениците на практика да посетят избраното място (което предварително е одобрено от учителя, който се е запознал с плана) като за това се дадат не повече от 5 – 10 минути. Доказателство, че мястото е посетено може да е снимка, направена с мобилен телефон.

Детайлни инструкции за учениците

За провеждането на научна експедиция, учените следват стратегия, която включва три стъпки:

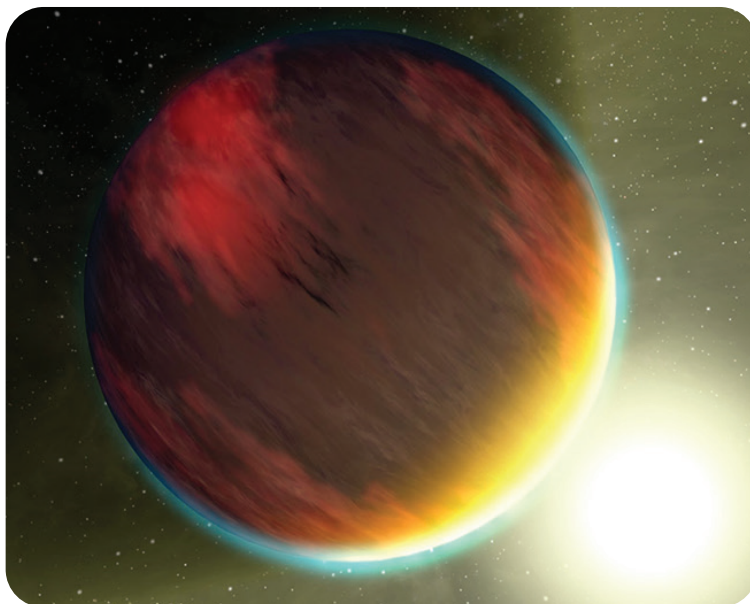
- а) **разузнаване** – внимателно наблюдение на целта за кратко време с помощта на близко прелитащ космически кораб, който записва информация за (в случая) планетата, изпраща данни в базата и продължава полета си в космоса;
- б) **продължително наблюдение** – изисква космически кораб в орбита около планетата, който да я наблюдава за по-дълго време и с помощта на различни инструменти записва вулканични, геологични и атмосферни промени и условия;
- в) **детайлно изследване** – хора или роботи кацат на планетата и детайлно изследват предварително избрана малка област от повърхността (като кацанията на Луната и роботизираните мисии до повърхността на Марс).

1. Подобно на учени, които искат да изследват новооткрита планета, изберете някое място в училището, което искате да изследвате (може и част от двора).
2. Каква ще е целта на вашата експедиция? Какво знаете вече за това място и какво ново искате да научите за него?
3. Как ще стигнете до там? Направете си маршрут и преценете колко време ще ви отнеме да стигнете до там. Ще имате ли нужда да получите разрешение от някого, по кое време мястото ще е достъпно? Ще ви трябва ли възрастен придружител?
4. За да постигнете вашата цел и да отговорите на въпросите, които сте си поставили, какви инструменти ще са ви необходими?
5. Представете плана си пред класа за не повече от 5 минути.

Допълнителни ресурси:

1. Идеи за модели на космически телескопи и сонди, които учениците да построят сами: https://www.esa.int/kids/en/things_to_do
2. Построете и изстреляйте собствена ракета (за ученици до 12 години): http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Up_up_up_Build_and_launch_your_own_rockets_Teach_with_space_PR23
3. Има ли живот на Марс?: <https://www.pbs.org/deepspace/classroom/activity7.html>

ЕКЗОПЛАНЕТИ



Фиг. 1: Ухудожествена илюстрация на екзопланета. Източник: НАСА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Определение Екзопланети (също извънслънчеви планети) наричаме планетите, обикалящи около други звезди, а не около нашето Слънце. За планетите, които са извън Слънчевата система, но не обикалят около звезда, ние въвеждаме термина планетискитници (също бездомни планети, междузвездни или номадски планети) – тези космически обекти няма да бъдат обсъждани по-долу. След първото откриване на екзопланета през 1988 г. (понеже това откритие е потвърдено много по-късно за година на откриване на първата потвърдена планета, 51b от Пегас, се смята 1995 г.), и след 30 години изследвания, към 1 август 2018 г. е потвърдено, че съществуват 3815 екзопланети, открити в 2053 звездни системи. Повечето от тези екзопланети (над 2000 на брой) са открити от космическия телескоп Кеплер, чието изстрелване през 2009 г. се счита за основен пробив в търсенето и откриването на нови екзопланети. В днешно време приемаме, че присъствието на планети около други звезди е много често явление. Дори е изчислено статистически, че около една от пет звезди, подобни на Слънцето, има подобна на Земята екзопланета в обитаемата зона (т.е. на такова разстояние от родителската звезда, което да позволи съществуването на такова атмосферно налягане върху повърхността на екзопланетата, че там да има

вода в течно състояние). Характеристиките на откритите планети обаче варират в много широки граници: от каменисти планети с ниска маса, т.е с маса, подобна на масата на Луната, през т. нар. свръхземи (с маси от 2 до 10 пъти по-големи от масата на Земята) до много масивни газови гиганти с маси, които са десетки пъти по-големи от масата на Юпитер. Екзопланетите имат орбитални периоди с продължителност от няколко часа до много хиляди години. Сред екзопланетите има планети с повърхностни температури, достигащи хиляди градуса по Келвин, такива, които са в обитаемата зона, а има и истински ледени светове. Всъщност, има екзопланети, които обикалят около пулсари (или неутронни звезди), а и такива, които обикалят около цели звездни системи. Разнообразието от свойства на откритите екзопланети представлява предизвикателство за астрофизиците, които се занимават с динамиката (произхода и еволюцията) на планетарните системи. Особено голямо внимание се обръща на екзопланетите, които се намират в обитаемите зони на техните родителски звезди. На тези планети има шанс да се създадат условия, подходящи за възникване на живот. Изучаването на атмосферните спектри на тези екзопланети може да разкрие следи или атипични съединения, характерни за присъствието на живот (като например молекулен кислород или метан). **С общите въпроси по произхода и откриването на признаци за живот върху екзопланетите се занимава бързо развиващата се наука астробиология.**

След кратката историческа екскурзия ще опишем някои от методите, понастоящем използвани за откриването на екзопланети. При всеки един метод ще споменем и физическите величини, с които можем да правим измервания, и ще обобщим постигнатите до сега резултати. В практическата част ще предложим няколко упражнения за практикуване и задълбочаване на обсъжданите теми: от много прости въпроси и демонстрации до по-сложни задачи и мини-проекти.

Съдържание
на главата

1.1 Ключови думи

екзопланети

метод на лъчевите скорости

транзитен метод

обитаема зона

горещ Юпитер

свръхземя

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Обозначаване на екзопланетите Астрономите са въвели следното систематично обозначаване на екзопланетите: обозначението на звездата е последвано от малка буква на латиница (започва се с буквата „b“), указваща реда, в който е открита екзопланетата при съответната звезда. Например „HIP 75458 b“ означава първата планета, открита при звездата HIP 75458, или „55 Cancri e“ означава четвъртата планета, открита при звездата 55 Cancri.

История За съществуването на планети извън нашата Слънчева система от векове са говорили астрономи, философи и някои писатели. Това е започнало още от времето на хелиоцентричната концепция за Вселената, когато Джордано Бруно е изказал идеята, че звездите всъщност са космически обекти, подобни на нашето Слънце и като такива могат да бъдат „домакини“ на други планетарни системи. Други учени и мислители са споделяли подобни идеи и през следващите периоди, включително Исаак Нютон, който в най-известния си труд „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ поставя извънземните планетарни системи наравно със Слънчевата система. През годините много астрономи са се опитвали да открият екзопланети с различни методи. Всички докладвани открития, обаче, по-късно се оказват погрешни. Едва през 1983 г. астрономите правят същинско новаторското наблюдение на първата екзопланета – тогава е наблюдаван протопланетен диск (зародиш на планетарната система) около звездата Бета Пикторис. **Повратният момент настъпва през 1988 г., когато се прави първото откриване на истинска екзопланетата, потвърдено по-късно, едва през 2003 г.** Става дума за т. нар. Горещ Юпитер, обикалящ около звездата Гама Цефей, и открит по метода на лъчевите скорости (вижте по-долу за обяснение и на двата термина) от **канадските астрономи Б. Кемпбел, Г. Уолкър и С. Янг.** Междувременно обаче, през 1992 г. е направено откритието на екзопланетната система около пулсара (неутронната звезда) PSR 1257 + 12, а през 1995 г. е открита и планета, обикаляща около звездата 51 Pegasi от Главната последователност (тяхното откриване е потвърдено почти веднага). Следователно, не е съвсем ясно за кое от тези открития може справедливо да се каже, че е първото откриване на екзопланета. На границата между двете хилядолетия броят на значимите открития бързо нараства.

За по-голяма яснота, тук са обобщени най-важните етапи:

1988 г.: първо непотвърдено откриване на екзопланета (Gamma Cephei b)

1992 г.: първо откриване на екзопланета, обикаляща около пулсар (PSR 1257 + 12b)

1995 г.: първо откриване на екзопланета, обикаляща около звезда от Главната последователност (51 Pegasi b)

1999 г.: първо откриване на транзитна екзопланета (HD 209458b), първо откриване на мултипланетна система (Upsilon Andromedae)

2001 г.: първо откриване на екзопланета, намираща се в обитаемата зона (HD 28185b), първо измерване на свойствата на екзопланетната атмосфера (HD 209458b)

2005 г.: първо пряко наблюдение на екзопланета (наблюдение на екзопланетата HD 209458b с телескопа Спитцер в инфрачервената област)

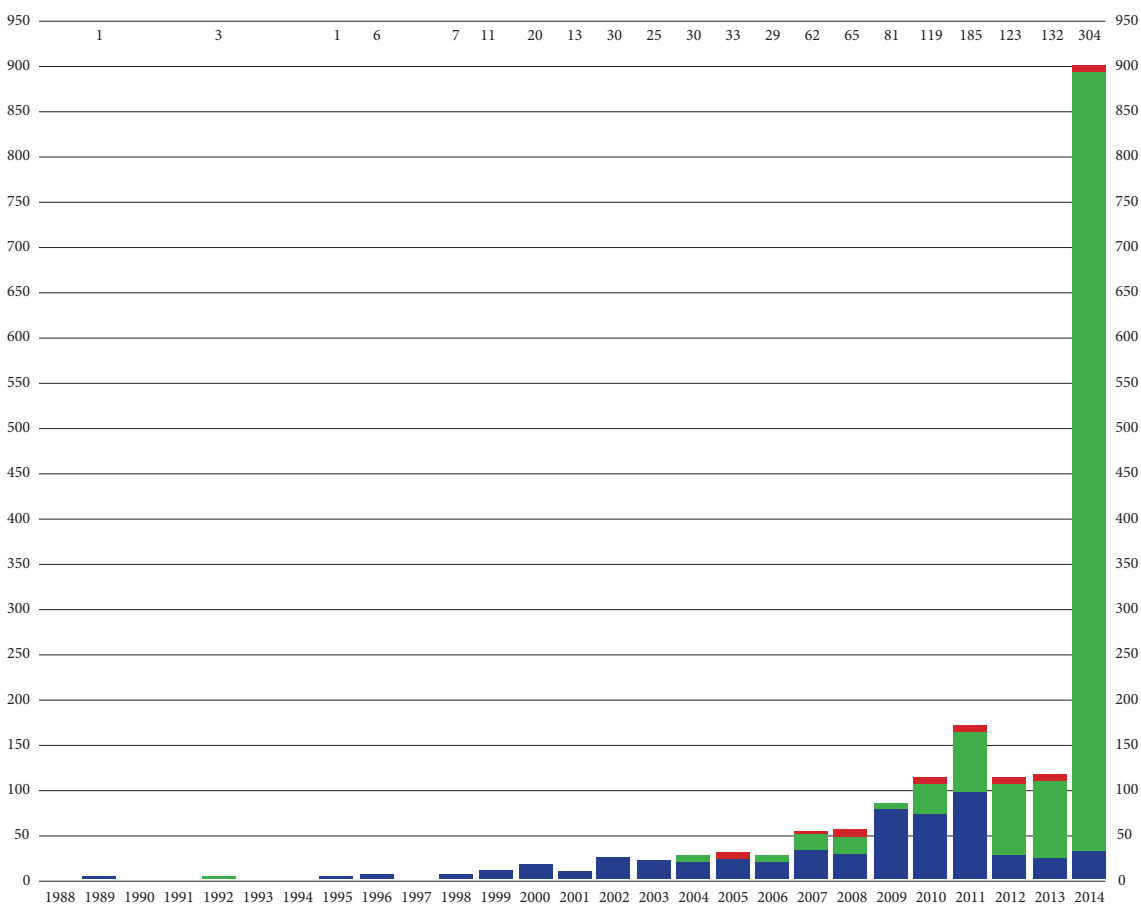
2006 г.: изстрелване на спътника CoRoT, т. е. на първия спътник, предназначен за откриването на екзопланети (използва транзитния метод)

2009 г.: изстрелване на спътника Кеплер (Kepler), предназначен за непрекъснато заснемане на яркостта на около 15 000 звезди и търсене на екзопланети; спътникът CoRoT открива първата планета от земен тип (CoRoT-7b)

2014 г.: открита е първата камениста екзопланета с размерите на Земята, която орбитира в обитаемата зона (Kepler-186f)

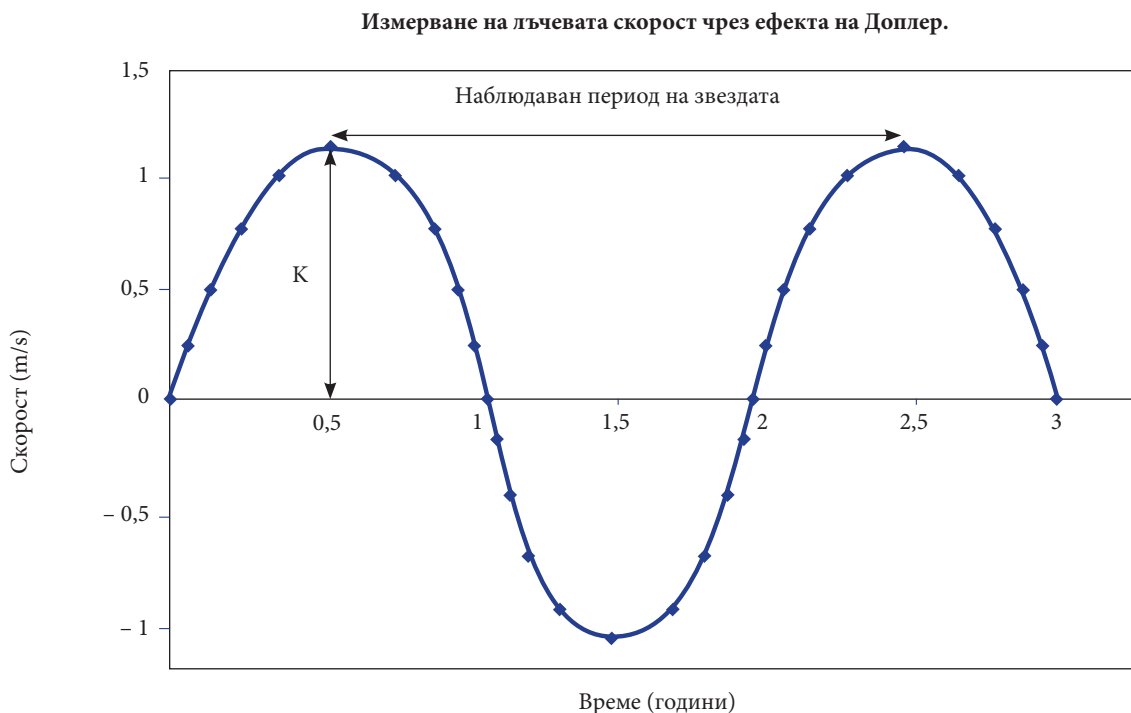
Основната пречка, която прави откриването на екзоплани много сложно е, **че те са сравнително малки и далечни обекти, които блестят само със светлината, отразена от звездите, около които обикалят.** Освен това, откриването на екзопланетите се отежнява от факта, че когато се гледат от Земята, екзопланетите не са на голямо ъглово разстояние от родителската си звезда и по този начин са напълно „засенчени“ от пряката им светлина (т.е. губят се в блясъка на самата звезда). Въпреки, че техниката на наблюдение на екзопланетите вече е напреднала до етап, който позволява директното заснемане на някои екзоплани (разположени на достатъчно голямо ъглово разстояние от централната им звезда), астрономите в повечето случаи трябва да разчитат на косвени методи за наблюдение. Това се подчертава и от диаграмата на Фиг. 2, която показва броя на екзопланетите, открити със помощта на отделните методи през годините. В следващите параграфи подробно ще опишем двата най-разпространени косвени метода за откриване на екзоплани: **Метода на лъчевите скорости (Доплерово отместване) и Транзитния метод (наричан още Метод на транзитната фотометрия).**

Методи за откриване на екзоплани



Фиг. 2: Брой ежегодно откривани екзоплани според метода на откриване.

Пряко наблюдение (червено), гравитационни микрореци (жълто-оранжево), транзитен метод (зелено), метод на лъчевите скорости (синьо). Източник: Уикипедия (СС лиценз)



Фиг. 3: Графика на изменението на лъчевата скорост на родителската звезда с времето.
Източник: Уикипедия (СС лиценз)

Метод на лъчевите скорости (Доплерово отместване)

Този метод използва един от основните принципи на динамиката на двойните системи: **в инерциалната система по-малкото тяло не обикаля около по-голямото тяло, а двата обекта обикалят около общ център на масите.** По този начин, присъствието на обикалящата екзопланета кара самата централна звезда да се движи по (най-общо елиптичен) път около центъра на масите на системата звезда – екзопланета. От гледна точка на зрителя на Земята това означава, че радиалният (лъчевият) компонент на скоростта на звездата спрямо Земята периодично се увеличава и намалява (виж Фиг. 3). **Това се отразява в спектъра на звездата като периодично (доплерово) изместване на спектралните линии около средните им точки, което по принцип се открива с помощта на спектрометър.** Големината на това изместване зависи от няколко фактора. Първо, съотношението на орбиталните скорости на звездата и екзопланетите около техния общ център на масата е равно на съотношението на масата на екзопланетата към масата на звездата. Второ, орбиталната скорост на планетата е обратно пропорционална на квадратния корен на разстоянието от центъра на масата на системата.

По този начин, колкото по-голяма е масата на екзопланетата и колкото по-малко е нейното разстояние от родителската звезда, толкова по-голяма е орбиталната скорост на звездата около центъра на масата на системата. Типичните стойности на орбиталните скорости на екзопланетите са от порядъка на десетки до стотици километри в секунда (km/s). За слънцеподобни звезди и екзопланети с маси като масата на Юпитер орбиталната скорост на звезда около общия център на масите

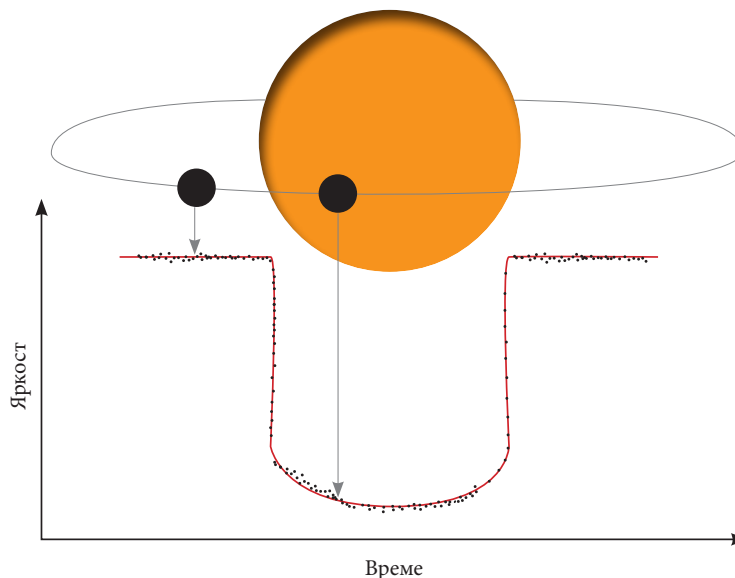
е от порядъка на десетки метри за секунда (m/s). Големината на промяната на радиалната скорост, а оттам и на амплитудата на самото положение на спектралната линия, допълнително зависи и от наклона на орбиталната равнина на наблюдателя: ако системата звезда – екзопланета обикаля перпендикулярно на зрителното поле, то проекцията на орбиталната скорост към радиалната посока по този начин става неприложима. И обратното, идеалният случай е, когато зрителният лъч преминава през орбиталната равнина на системата, а амплитудата на промените в лъчевата скорост е равна на орбиталната скорост на екзопланетата. За горния случай получаваме амплитудно изместване на спектралните линии на видимия спектър от порядъка на 10 – 5 нанометъра (nm).

Откриването на екзопланети по този начин (с този метод) също се влияе от размера на орбиталния период: за твърде дълги периоди може да е трудно да се забележат тези малки промени в спектъра. Физическите характеристики на системата, които могат да бъдат измерени директно чрез метода на лъчевите скорости, включват орбиталния период и амплитудата на лъчевата скорост. Ако приемем, че знаем масата на централната звезда, можем да изчислим размера на орбитата на екзопланетата и нейната ефективна маса $M_p \sin i$, където i е (неизвестният) наклон на орбиталната равнина спрямо равнината, перпендикулярна на зрителния лъч, използвайки третия закон на Кеплер.

Досега около 700 екзопланети са открити по метода на лъчевите скорости.

Става въпрос най-вече за екзопланети наричани „Горещ Юпитер“. Това са екзопланети с маси няколко пъти по-големи от масата на Юпитер, разположени много близо до централната звезда, имащи огромни повърхностни температури и орбитални периоди от порядъка на часове до дни.

Това може лесно да се свърже с описаните по-горе характеристики на метода на лъчевите скорости, които определят, че масивните планети, обикалящи на много малко разстояние от централна звезда с много кратък орбитален период, са идеалните обекти, които могат да бъдат открити чрез този метод. Следователно, методът поражда т. нар. **селективен ефект**: ако не разполагахме и с други методи за откриване на екзопланети, можехме да останем с впечатлението, че типичните екзопланети във Вселената са космически обекти с относително екстремни свойства, имайки предвид планетите от Слънчевата система. Най-успешните „ловци“ на екзопланети, използващи този метод, са HARPS (от англ. High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher, в превод Търсач на планети по лъчевите скорости с висока точност), разположен на 3,6-метровия телескоп в Европейска южна обсерватория в Ла Сила, и HIRES (от англ. High Resolution Echelle Spectrometer, в превод Спектрометър с висока разделителна способност), разположен на един от телескопите на Обсерваторията „У. М. Кек“. И двата спектрометъра позволяват измерване на амплитуди на лъчеви скорости около 1 m/s.



Фиг. 4: Преминване на екзопланета пред диска на родителската звезда

Транзитен метод (Метод на транзитната фотометрия)

Методът, който компенсира някои от недостатъците на метода на лъчевите скорости (Доплерово отместване), е Транзитния метод (метода на транзитната фотометрия). Тук ние използваме факта, че екзопланетните системи, за които наклонът на тяхната орбита е много малък по отношение на зрителния лъч, могат от гледна точка на наблюдателя да преминават пред родителския звезден диск – т. нар. транзити. Така, по време на транзит екзопланетният диск затъмнява част от светлината, идваща от звездата към наблюдателя. Това се повтаря в период, равен на орбиталния период на системата. Зависимостта на яркостта на звездата от времето се нарича „крива на блясъка“. Кривите на блясъка на звездите с преминаващи пред тях екзопланети имат характерна форма (виж Фиг. 4), която е подобна на тази на затъмнителните двойни звезди: интервалът за намаляване на яркостта, свързан с преминаването на екзопланетата през звездния диск, се нарича „първичен минимум“. Тъй като излъчването, отразено от екзопланетата, е много по-слабо от прякото излъчване на звездата, т. нар. „вторичният минимум“ (тоест интервалът, в който дискът на планетата е покрит от звездния диск) на практика липсва в кривата на блясъка.

Моментът на началото на намаляването на блясъка се нарича „първи контакт“, края на намалението се нарича „втори контакт“, началото на засилването на блясъка се нарича „трети контакт“, а моментът на връщане към първоначалния блясък се нарича „четвърти контакт“. Големината на намалението на яркостта на звездата поради прехода на екзопланета (т. нар. дълбочина на транзит) зависи преди всичко от съотношението на радиуса на екзопланетата към радиуса на звездата. Колкото по-близо е това съотношение до 1, толкова по-голяма част от звездния диск се покрива по време на транзита и настъпва по-голямото намаляване на блясъка. Да си представим, че транзитът на Земята пред диска на Слънцето би накарал отдалечен наблюдател да намали яркостта на Слънцето с 0,0001 звездни величини или с 0,008%. Както вече споменахме, самото наблюдение на транзита

зависи от геометрията на орбитата: при системи с твърде голям наклон на равнината на орбитата към зрителния лъч транзитът изобщо може и да не се забележи.

Физическите величини, които можем да пресметнем директно от кривата на блясъка, включват орбиталния период и съотношението на радиуса на звездата към радиуса на планетата. Ако приемем, че знаем масата на централната звезда, можем да изчислим радиуса и обиколката на орбитата от Третия закон на Кеплер и от там да реконструираме геометрията на системата, включително и наклона на орбиталната равнина, радиуса на звездата и радиуса на екзопланетата. **По този начин, в комбинация с метода на лъчевите скорости, който ни дава информация за масата на екзопланета, ние сме в състояние да определим плътността на екзопланетата. Това ни позволява да определим и нейния вид (газов гигант, каменисто тяло, ледено тяло).**

Както е показано на Фиг. 2, повечето екзопланети са открити чрез метода на транзитната фотометрия, главно благодарение на космическия телескоп Кеплер. Той е допринесъл за откриването на повече от 2 000 потвърдени и около 10 000 все още непотвърдени планети (данните са от август 2018 г.). Съвременните инструменти вече са толкова точни, че, използвайки транзитния метод, те откриват екзопланети с радиус, по-малък от радиуса на Земята. Тенденцията за производство на селективни ефекти, като цяло, е значително по-малка от тази при метода на радиалните скорости. **В допълнение към каменистите планети, подобни на Земята, по този метод са открити космически обекти, които ние не наблюдаваме в Слънчевата система - т. нар. свръхземи (например CoRoT-7b).** Става въпрос за планети с маса, по-голяма от масата на Земята, но значително по-малка от тази на Уран или Нептун. Методът на транзитната фотометрия е и единственият метод за наблюдение на екзопланети, който е постижим при любителски условия. В Чешката република любителското наблюдение на екзопланети се провежда в Секцията за променливите звезди и екзопланетите към Чешкото астрономическо общество (Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti – SPHE ČAS).

Източници и препоръчана литература

1. POKORNÝ, Z.: *Exoplanety*, Academia (2007)
2. SEAGER, S.: *Exoplanets*, University of Arizona Press (2011)
3. Уеб страницата на SPHE ČAS, <http://var2.astro.cz>

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Задача 1: Обитаема зона

В тази практическа задача учениците ще използват източник на топлина и термометър, при което ще научат как температурата на повърхността на екзопланетите се променя с промяната на разстоянието от родителската звезда.

Използвайки термометри и крушки с различна отразяваща способност, учениците ще се запознаят с влиянието на албедото върху температурата на екзопланетата. Основната цел е учениците да разберат основната идея, че около родителската звезда има места с много високи и много ниски температури, включително и такива райони (например обитаема зона или също наричана „зона на Златокоска“), където повърхността на планетата е с температура, която поддържа водата в течно състояние.

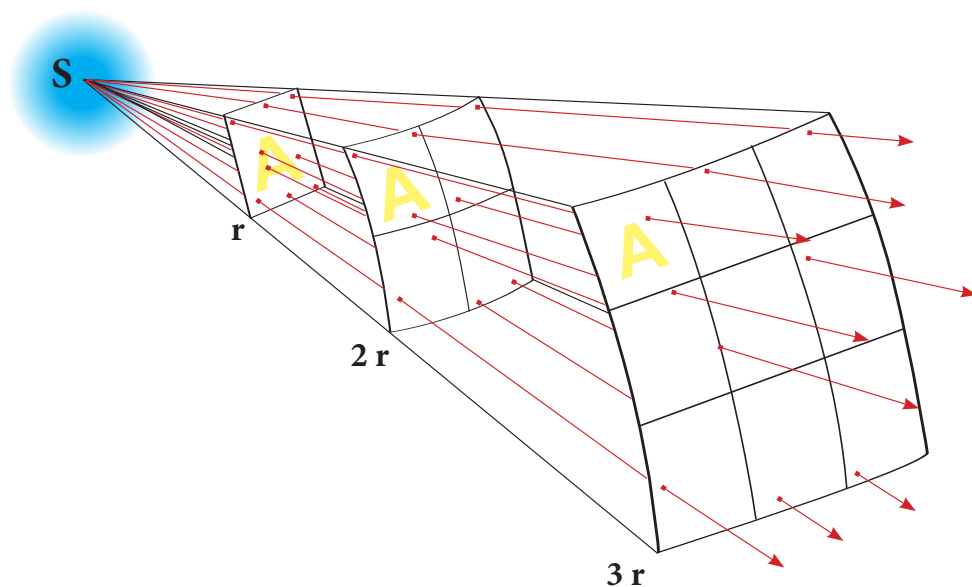
Помощни средства

- източник на топлина,
- два термометъра (единият с оцветен в черно резервоар, а другият с лъскав резервоар),
- лабораторна стойка със скоби,
- линейка, милиметрова хартия.

Въпроси за начало

Въпрос: Трябва ли температурата на повърхността на екзопланетата да се повиши или да се понижи в зависимост от разстоянието и от родителската звезда? Защо?

Отговор: Температурата намалява, защото енергията, получена от единица площ на изотропно излъчващия източник (родителската звезда), намалява с квадрата на разстоянието. Вж. Фиг. 1 по-долу.



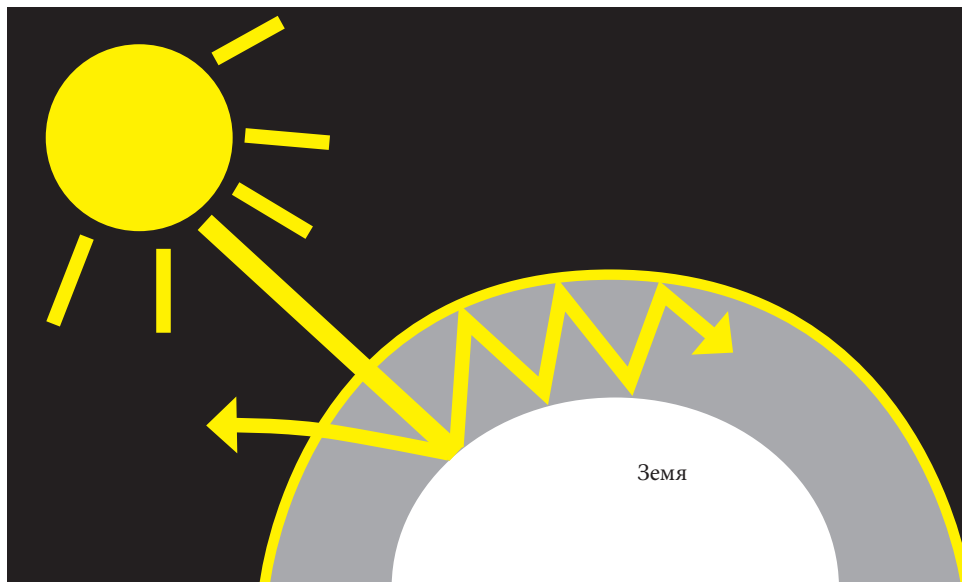
Фиг. 5: Закон за обратна пропорционалност на излъчването от квадрата на разстоянието. Източник: Уикипедия (CC лиценз)

Въпрос: Как температурата на екзопланетата се влияе от отражателната способност на нейната повърхност?

Отговор: Колкото по-отразяваща е повърхността на екзопланетата (т.е. колкото по-високо е албедото), толкова повече енергия, улавяна от екзопланетата, се изпраща обратно в космоса, т.е. колкото по-малко енергия се абсорбира от екзопланетата, толкова по-ниска е температура на нейната повърхност.

Въпрос: Какъв е ефектът на атмосферата върху температурата на екзопланетата?

Отговор: Атмосферата не позволява на преизлъчената от повърхността част от енергията да се върне обратно в космоса. Следователно, тя служи за „поддържане“ на енергията в системата, като по този начин се повишава температурата на екзопланетите. Това е в основата на представата за парниковия ефект. Виж Фиг. 2 по-долу.



Фиг. 6: Парников ефект

(Източник: <https://www.wonderworksonline.com/>)

Въпрос: Какво е „обитаема зона“?

Отговор: Това е интервалът на разстоянията от родителската звезда, в който екзопланетите, при достатъчно атмосферно налягане, могат да „поддържат“ вода в течно състояние на повърхността си. Необходимият температурен диапазон на повърхността трябва да е приблизително между 0°C и 100°C (в зависимост от точното атмосферно налягане). Поради зависимостта на температурата на екзопланетите от повърхността и атмосферата там, границите на обитаемата зона не са ясно определени.

Въпрос: Кои от планетите на Слънчевата система се намират в обитаемата зона?

Отговор: Само Земята. Въпреки че разстоянието от Венера до Слънцето не е твърде малко, голямото количество парникови газове в атмосферата и води до развиването

6. Галактическа среда

на такива условия, които не позволяват на течната вода да остане на повърхността и. Марс, от друга страна, лежи точно извън външната граница на обитаемата зона на Слънцето. Това е така, защото тънката атмосфера на Марс води до това, че по-голямата част от водата там се задържа под формата на лед около полярните му шапки. Присъствието на течна вода обаче не е изключена в зависимост от сезона.

Въпрос: Използвайте интернет, за да намерите екзопланетите, които се намират в обитаемата зона на родителските им звезди. Запишете възможно най-много данни за екзопланетите и техните родителски звезди.

Отговор: През август 2018 г. имаме данни за приблизително 40 потвърдени екзопланети, които обикалят около своята родителска звезда в обитаемата зона.

Въпрос: Защо течната вода е основна съставка на живота?

Отговор: Много от съществените за живота вещества са разтворими във вода в течно състояние, което позволява тяхното транспортиране и усвояване.

Въпрос: Какви са последиците от еволюцията на звездите върху обитаемата зона?

Отговор: Обикновените звезди (звездите от Главната последователност), включително Слънцето, стават по-ярки по време на еволюцията си. Това означава, че за дадена (родителска) звезда границите на обитаемата зона постепенно се отдалечават от нея. В резултат, планетите, намиращи се на стабилни орбити, постепенно стават все по-топли.

Въпрос: Какъв тип планети (по отношение на техния химичен състав) очаквате да намерите в близост до техните родителски звезди? Какъв тип планети очаквате да намерите по-далеч от звездата? Как отговорите ви кореспондират на наличните в момента данни от наблюденията?

Отговор: Очаква се каменистите планети да са най-близо до родителската си звезда, докато газовите планети-гиганти и ледените космически обекти са по-далеч от нея. Това е така, защото през периода на формирането на планетата нейните елементи като силиций и желязо (от които са съставени каменистите планети) се утаяват при много по-високи температури в сравнение с по-простите елементи като водород и хелий (основните съставки на газообразните планети-гиганти). Следователно, широкото разпространение на т. нар. „горещи Юпитери“ не може да бъде част от тази схема и трябва да се намери друга теория, включваща „планетната миграция“.

Инструкции за работа

Учениците използват два типа термометри за измерване на температура, която варира в зависимост от това на какво разстояние се намират от източника на топлина. Единият термометър трябва да има оцветен в черно резервоар, за да може максимално да избегне отразяването, докато другият термометър трябва да има

лъскав резервоар (например резервоар, увит в парче алуминиево фолио), за да може максимално да отразява. В резултат на това термометърът с лъскавия резервоар трябва да има по-ниски стойности от термометъра с оцветения в черно резервоар.

Подробни инструкции за учениците

1. Свържете два термометъра към лабораторната стойка с помощта на двете скоби.
2. Поставете стойката на 1 м от източника на топлина.
3. Изчакайте стойностите на двата термометъра да се стабилизират и запишете температурата, измерена с всеки един от двата термометъра.
4. Повторете действието за по-малки разстояния. Препоръчваме да намалите разстоянието с 5 см. Трябва да спрете на такова разстояние, където температурните стойности не надвишават границата на вашите термометри.
5. Начертайте зависимостта на измерената температура от разстоянието между термометрите и от източника на топлина върху милиметровата хартия. Резултатите и за двата термометъра трябва да бъдат включени в една графика. Начертайте разстоянието (в см) на хоризонталната ос и измерената температура (в °C) на вертикалната ос.
6. Свържете измерените данни с двата термометъра в две отделни криви.

След приключване на практическата дейност учениците трябва да отговорят на следните въпроси:

Въпрос: Как се променя измерената температура с промяната на разстоянието между термометрите и източника на топлината? Промяната отговори ли на вашите очаквания?

Отговор: Учениците трябва да установят, че температурата в действителност намалява с увеличаване на разстоянието така, както беше посочено по-горе.

Въпрос: Какво може да се каже за ефекта на отражението на термометрите върху записаната температура?

Отговор: Учениците трябва да установят, че кривата, която са начертали за термометъра с оцветения в черно резервоар, лежи над кривата, очертана за термометъра с лъскавия резервоар. По този начин доказахме, че по-високата отражателна способност води до понижаване на температурата.

Въпрос: Към каква температура се приближават измерените температурни криви при дълги разстояния?

Отговор: Към текущата стайна температура.

Въпрос: Към каква температура биха се приближили температурните кривите на една истинска екзопланета?

Отговор: Към абсолютната нула, приблизително -270 °C.

Задача 2: Транзитна фотометрия

В тази практическа дейност учениците ще изследват един от най-успешните косвени методи за откриване на екзопланети – транзитната фотометрия. Родителската звезда ще бъде представена от сферична крушка, а екзопланетата – от малка топка с размери от няколко сантиметра. Движението по орбитата ще бъде симулирано чрез прикачване на топката към връв, закачена за стойката на нивото на крушка, така че побутването на топката да доведе до движението и около крушката по „кръгова орбита“. Учениците ще записват интензитета на светлината, идваща от крушката, и ще създават подходяща крива на блясъка. След приключване на тази дейност те трябва по-добре да разберат как работи методът на транзитната фотометрия и от какви параметри зависи кривата на блясъка на звездата с преминаващата пред нея екзопланета.

Помощни средства

- крушка (за предпочитане сферична и матирана),
- детектор на светлина (идеално допълва записаните данни); може да се направи свързване към компютър с подходящ софтуер за анализ на измерените данни; евентуално, може да се използва и хронометър),
- лабораторна стойка със скоби, коркови или стиропорни топки с различни размери,
- въженце.

Въпроси за начало

Въпрос: Защо е трудно да се наблюдават екзопланетите директно?

Отговор: Ъгловата им отдалеченост от родителската звезда е много малка, а едновременно с това тяхното излъчване е много по-слабо от това на родителската им звезда, което означава, че светлината им се „удавя“ в светлината, идваща от звездата.

Въпрос: Какво астрономите наричат крива на блясъка?

Отговор: Кривата на блясъка е зависимостта на наблюдаваната яркост на космически обект (обикновено на звездата) от времето.

Въпрос: Какъв е ефектът от екзопланетата върху светлината, която виждаме от родителската и звезда?

Отговор: Ако приемем, че погледът от Земята към звездата се намира близо до орбиталната равнина на екзопланетата, то екзопланетата редовно ще покрива диска на родителската звезда. Това води до редовни спадове в стойностите на кривата на блясъка на родителската звезда.

Въпрос: Опишете формата на кривата на блясъка за звезда с преминаваща около нея екзопланета. От какви параметри зависи формата?

Отговор: Вижте теоретичния увод за подробности. Различните спадания на кривата на блясъка са резултат от орбиталния период. Стойността на спаданията на кривата на блясъка зависи от съотношението на размера на звездата към размера на екзопланетата.

Въпрос: Зависи ли стойността на спаданията на кривата на блясъка от отдалечеността на екзопланетата до родителската и звезда?

Отговор: Не, тъй като радиусът на орбитата е много малък в сравнение с разстоянието между родителската звезда и Земята, така че съотношението на ъгловите размери на екзопланетния диск към родителската и звезда (които определят частта на светлината от засенчващата екзопланетата и по този начин и стойността на спадането) се определя директно от физическите (линейните) им размери.

Въпрос: Какви са типичните пропорции на размера на екзопланетата и родителската и звезда?

Отговор: За екзопланетите с размер, подобен на размера на Земята, които обикалят около звезди, подобни на Слънцето, получаваме съотношения приблизително 1/100, докато за планетите с размер, колкото размера на Юпитер, получаваме 1/10.

Въпрос: Изчислете какъв процент от светлината на родителската звезда е засенчена от екзопланета, която е 100 пъти по-малка от звездата.

Отговор: Процентът на засенчване на светлината се получава чрез използването на съотношението, което е $(1/100)^2 = 0,01\%$.

Въпрос: Как кривата на блясъка на транзита на екзопланетата се влияе от положението на орбиталната и равнина спрямо посоката на гледане от Земята?

Отговор: Има голямо влияние върху наблюдаваната дължина на транзита: най-дълго време на транзит се постига тогава, когато се гледа в посока на равнината на орбитата, и обратно – при достатъчно голям наклон транзитът може да изчезне напълно. Геометрията по принцип не влияе на стойността на спадането (умишлено пренебрегваме граничните случаи на затъмняване, когато дискът на екзопланета просто докосва диска на родителската си планета), нито пък влияе на отделянето на стойността на отделните спадания, която винаги е равна на периода на завъртане на екзопланета около звездата.

Въпрос: Дайте пример за космическа обсерватория, която се занимава с откриването на екзопланети с помощта на транзитната фотометрия. Можете да използвате интернет, за да намерите примери за потвърдени екзопланети, открити от нея.

6. Галактическа среда

Отговор: Например космическият телескоп Кеплер, който до август 2018 г. е открил над 2000 потвърдени екзопланети. За пример можем да посочим екзопланетата, обозначена като Kepler-442b, която обикаля около родителската си звезда (разстояние от Земята: 1120 ly, маса: 0,61 от масата на Слънцето, светимост: 0,11 от светимостта на Слънцето) на разстояние от 0,4 au за период от 112 дни. Екзопланетата има маса 2,3 пъти по-голяма от масата на Земята и радиус 1,3 пъти по-голям от радиуса на Земята. Тя се намира в обитаемата зона на родителската си звезда.

Инструкции за работа

Учениците моделират екзопланетна система, съдържаща една екзопланета, използвайки сферична матова крушка с размер от 20 – 30 см и топка от стиропор с размер от 2-3 см; учениците могат да използват топки с различен размер.

- Единият край на въженцето се завързва около топката. Другият край на въженцето се прикрепя към скобата на лабораторната стойка. Височината трябва да се регулира така, че топката да се движи на нивото на източника на светлина. Орбиталното движение на екзопланетите е кръговото движение на топката, закачена на лабораторната стойка, около крушката. Дължината на въженцето трябва да бъде достатъчно голяма (> 1 метър) в сравнение с радиуса на топката, така че периодът на завъртане да може да се счита за независим от радиуса.
- Използвайки детектор на интензивността на светлината, разположен в равнината, в която топката се върти около крушката (в идеалния случай детекторът е свързан към компютър, оборудван с подходящ софтуер за запис и анализ на данните от детектора), учениците ще изследват кривата на блясъка на крушката. Ако данните от детектора на интензивността на светлина не могат да бъдат анализирани с компютър, учениците използват хронометър, за да записват времената на транзитите едновременно с данните от детектора.
- След това учениците експериментират с поставянето на екзопланетите в различни орбити, изместването на детектора от орбиталната равнина и използването на топки с различна големина. Те трябва да са наясно с ефектите, които тези настройки ще предизвикат върху записаните криви на блясъка. Вероятно ще бъде много трудно да се постигнат точни измервания при отделните обекти. Но въпреки това, учениците ще могат да наблюдават стойностите на спадане в кривите си на блясъка като функция от разстоянието, което топката изминава, обикаляйки около крушката. На учениците трябва да се напомни, че тези ефекти ще изчезнат в реалните системи, където радиусът на орбитата е много по-малък от отдалечеността на системата от наблюдателя (детектора).

Подробни инструкции за учениците

1. Като използвате предоставените материали и инструкции от вашия учител, създайте модел на екзопланета, обикаляща около родителската и звезда.
2. Поставете светлинния детектор в орбитата на топката, обикаляща около крушката.
3. Измерете кривата на блясъка на крушката, около която обикаля топка (през няколко периода).
4. Експериментирайте с поставянето на топката на различни орбити. Запишете съответните криви на блясъка за всеки тип орбита.
5. Измерете кривата на блясъка, като леко повдигнете детектора над равнината на орбитата (но все още се получава транзит).
6. Анализирайте получените криви на блясъка. За всяка измервана от вас крива на блясъка определете:
 - орбиталното време на топката (в секунди);
 - стойността на спадането на кривата на блясъка (като процент от светлината, блокирана от топката);
 - стойността на спадането на кривата на блясъка (в секунди).

След приключване на практическата дейност учениците трябва да отговорят на следните въпроси:

Въпрос: Как измереното орбитално време зависи от размера на орбитата на топката? Това важи ли и за системи, в които една реална екзопланета обикаля около истинска звезда?

Отговор: Ако дължината на въженцето е достатъчно голяма в сравнение с радиуса на орбитата, учениците би трябвало да могат да открият този период. Това свойство на физическото махало (за малки измествания), разбира се, не е същото като за гравитационните системи, където орбиталното време зависи от радиуса на орбитата (вж. Третия закон на Кеплер).

Въпрос: Как се променя стойността на спадането на кривата на блясъка в зависимост от размера на топките?

Отговор: Учениците би трябвало да забележат, че ако използват по-голяма топка, ще постигнат по-голямо спадане на кривата на блясъка.

Въпрос: Как се променя стойността на спадането на кривата на блясъка при увеличаване на радиуса на орбитата?

Отговор: Увеличаването на размера на орбитата води до увеличаване на скоростта, с която се движи топката (защото периодът трябва да е приблизително постоянен). Учениците трябва да осъзнаят, че това ще доведе до по-тесни минимума.

Въпрос: Какъв е ефектът от преместването на детектора някъде извън равнината на орбитата?

6. Галактическа среда

Отговор: Ако приемем, че транзитът все още се осъществява, учениците трябва да успеят да разберат, че минималната ширина намалява, тъй като когато детекторът не е точно в равнината на орбитата, топката преминава през по-късата част на диска на крушката, отколкото ако се намира в равнината на орбитата.

Източници и използвана литература

1. Exoplanet Physics – IOP:
www.iop.org/education/teacher/resources/exoplanet_physics/
2. Exoplanets: Lesson Plan – Jodrell Bank:
www.jodrellbank.net/wp-content/uploads/2014/10/Exoplanets-Lesson-Plan.docx

ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ: ЯДРЕНИ РЕАКЦИИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Основният въпрос на физиката на звездите е защо светят звездите? Колко са светили и колко ще продължат да светят? Какви са процесите, които са способни да генерират огромното количество енергия, която те излъчват?

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

термоядрени реакции

протон-протонна верига

въглерод-азот-кислороден цикъл

синтез на тежки елементи

хелиеви реакции

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Какви са процесите, които генерират излъчването на звездите? Елементарните изчисления показват, че източник на енергия като химическото окисление или горенето е недостатъчен като източник на енергия в звездите. Дори ако цялото Слънце би било съставено от въглерод и също толкова кислород за поддържане на горенето, Слънцето би изгоряло напълно и би се превърнало в пепел само за няколко хиляди години. Друг източник на енергия би могъл да бъде гравитационното свиване. Когато масивно тяло се свива под действие на гравитацията външните му части буквално падат към центъра и енергията на падащото вещество се превръща в топлина. Изчисленията показват, че свивайки се от почти безкрайно голямо тяло до съвременните си размери Слънцето би могло да свети с настоящата си мощност по-малко от 50 милиона години.

Мощен източник на енергия би могъл да бъде превръщането на веществото в енергия. Още Айнщайн е показал, че веществото и енергията са свързани с проста формула:

$$E = mc^2,$$

където E е енергията, получена от вещество с маса m , а c е скоростта на светлината.

Термоядрените реакции

Какви са процесите, при които веществото би могло да се превърне в енергия? Това са **термоядрените реакции**. Под тяхно действие елементите в ядрата на звездите си **взаимодействат и се превръщат в други елементи, отделяйки при това колосални количества енергия**. За пръв път в 1920г. Артър Едингтън предполага, че звездите получават енергията си от термоядрени реакции, при които водородът се превръща в хелий. През 1939г. Ханс Бете също анализира възможностите за ядрени реакции, при които водородът се превръща в хелий. Той предлага два процеса, които според него могат да произведат необходимата енергия в ядрата на звездите: **протон-протонната верига (наричана още р-р верига) и въглерод-азот-кислородния цикъл (CNO цикъл)**.

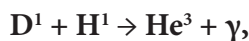
В днешно време тези процеси са приети като отговорни за енергията в ядрата на звездите, като кой от двата е по-ефективен зависи от температурата в звездните ядра.

2.1 Протон-протонна верига (р-р верига)

Това е **най-важният механизъм за производство на енергия за звезди, подобни на Слънцето и тези с по-малки маси от него**. За да започнат да протичат реакциите от р-р веригата, температурата трябва да е около или над 4 000 000 К. В най-простия случай, синтезът започва със сливане на два протона. Протоните са ядра на водорода, бележим ги или с p (оттук и името на веригата), или с $1H$ (с H се обозначава водородът). В резултат се образува ядро на деутерий (D или 2H , изотоп на водорода), позитрон e^+ и неутрино ν , и се отделя сериозно количество енергия (1.44 мегаелектрон волта, $1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$):



Но условията, необходими да се случи сливането, никак не са елементарни и се осъществяват средно за 8 милиарда години, което обяснява и бавната еволюция на Слънцето. По-нататъшните процеси протичат доста по-бързо. Най-бързо протичащата реакция (за по-малко от 2 секунди) е стълкновението на деутерия D с трети протон и образуването на ядра на изотопа на хелия He³:



като при тази реакция се отделя и високоенергитичен гама квант (γ).

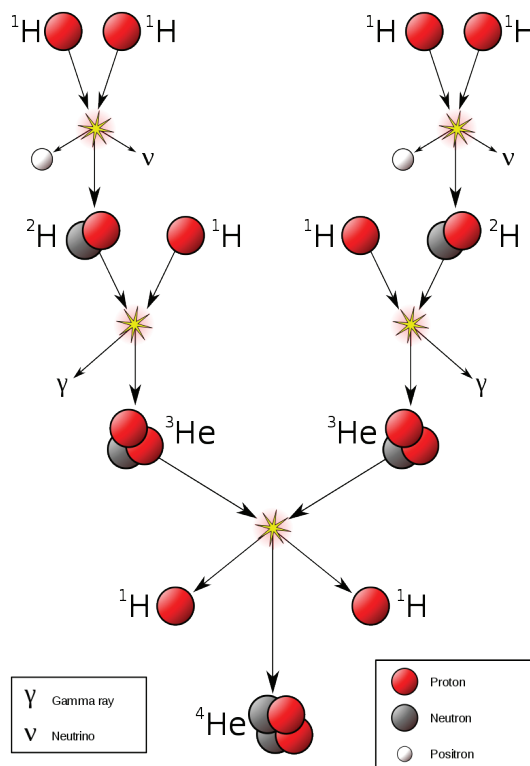
Сливането на две He³ ядра води до образуването на ядро на обикновения хелий, като при това се отделят и два протона и отново значителна енергия. Така водородът се превръща в хелий:



Така от 4 протона (ядра на водорода), получаваме едно хелиево ядро, като при това се отделят също два позитрона и две неутрино: $4p \rightarrow He^4 + 2e^+ + 2\nu$. Общата отделена енергия от тези реакции е над 25 MeV.

Схема на протон-протонната верига е показана на фиг. 1.

Анимация можете да намерите на този линк: <https://www.youtube.com/watch?v=LpUB8iMbNw0>.



Фиг. 1: Схема на протон-протонен цикъл. В червено са оцветени протоните, в сиво - неутроните, бяло - позитрони, γ - гама лъчи, ν - неутрино.

Илюстрацията е взета от Sarang

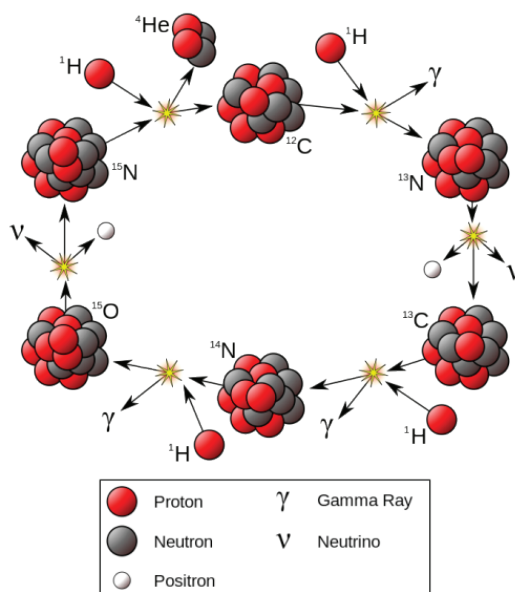
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51118538>

Възможни са още две разновидности на р-р веригата, с участието на елементите Берилий (Be) и литий (Li), но резултатът отново е същият – от четири водородни ядра се получава едно по-тежко хелиево ядро и се отделя енергия.

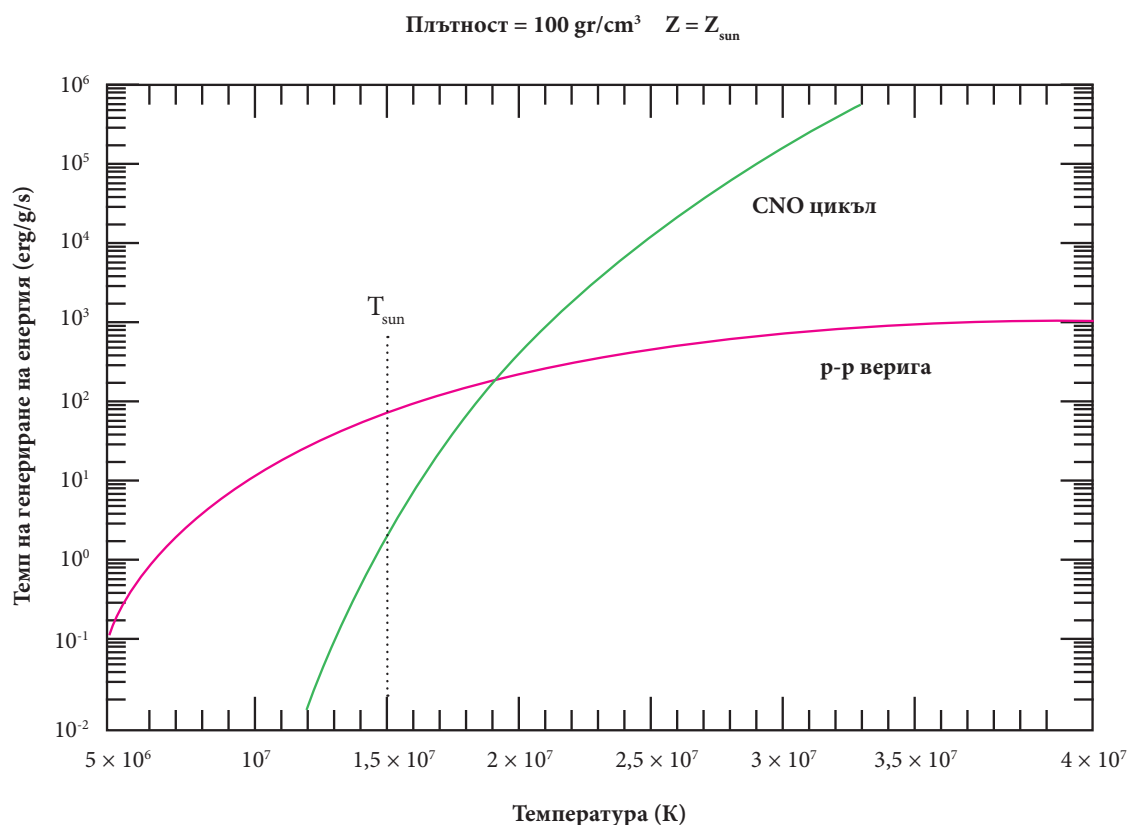
2.2 Въглеродно-азотно-кислороден цикъл

Това е другият основен цикъл (също обозначаван като CNO цикъл). **Той е най-ефективен за по-масивните звезди** – започва при температури от около 15 000 000 К и доминира при температури от около 17 000 000 К. При него също се образува ядро на хелия от четири протона, но процесът е по-сложен и изисква наличието на въглерод и кислород. Ядрата на въглерода/кислорода встъпват в реакцията на първите етапи и се отделят на последните. По този начин те играят ролята на катализатор, поради което цикълът се нарича въглероден, или въглеродно-кислороден (фиг. 2).

Температурата в ядрото на Слънцето е $T = 15\,700\,000\text{ K}$ – така че в неговото ядро основните термоядрени реакции протичат основно чрез р-р веригата. На фиг. 3 по-долу са показани температурите, при които са ефективни двата процеса – р-р и CNO. Отбелязана е и температурата в ядрото на Слънцето, като се вижда, че за нашата звезда почти два пъти повече енергия се отделя при протон-протонния цикъл.



Фиг. 2: Схема на CNO цикъл. Частиците са означени като на Фиг. 1. Илюстрацията е от Borb, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=691758>



Фиг. 3: Температури, при които са ефективни р-р цикъла (червена крива) и CNO цикъла (зелена крива). Вижда се, че при по-високи температури CNO цикъла генерира значително повече енергия за единица време, докато при по-ниските р-р е по-ефективен.

За по-масивните звезди, в чиито ядра температурите са по-високи, по-ефективен е CNO цикъла.

2.3 Синтез на по-тежки елементи

Какво се случва, когато целият водород в ядрото на звездата се превърне в хелий? За звездите с най-малки маси (около 1/10 от масата на Слънцето) това е краят на термоядрените реакции. За звезди, подобни на Слънцето, ядрото е от хелий, но около него се образува водороден слой, в който условията са благоприятни за термоядрени реакции и там също се образува хелий, който потъва в ядрото, като увеличава плътността и температурата му. Когато температурата достигне $100\,000\,000$ K, условията са благоприятни за стартиране на хелиеви реакции, при които от хелиевите ядра се синтезират ядра на въглерод и – при по-високи температури – на кислород. За по-маломасивните звезди (като Слънцето и тези с малко по-големи маси), това ще е краят на термоядрените реакции. Но за най-масивните и най-горещи звезди, термоядрените реакции продължават, докато ядрото не стане изцяло от желязо. При всички тези реакции се отделя енергия, която осигурява светеното на звездата, но за много по-кратки периоди от време, в сравнение с водородните реакции.

7. Слънцето и звездите

За образуването на елементи по-тежки от желязото (с номер 56), обаче, е необходимо “поглъщането” на значителна енергия при протичане на реакцията. Затова такива елементи могат да се образуват при избухването на Свръхнови.

Като обобщение може да се отбележи, че основните термоядрени реакции в ядрата на звездите са:

- процес на ‘горене’ на водорода, който в зависимост от температурата е:
 - p-p цикъл – най-важният механизъм за производство на енергия за звезди от типа на Слънцето и такива с по-малки маси, започва при $T = 4\,000\,000\text{ K}$,
 - CNO цикъл – ефективен при по-масивните звезди, започва при $T = 15\,000\,000\text{ K}$, доминира при $T = 17\,000\,000\text{ K}$,
- хелиево ‘горене’ – проявява се при по-старите звезди,
- синтез на по-тежки елементи до желязо – при най-масивните звезди,
- синтез на елементи, по-тежки от желязото – при избухването на Свръхнови.

Допълнителни материали:

1. Постер, илюстриращ от къде идва енергията на Слънцето.
2. Филмчета, илюстриращи от къде идва енергията на Слънцето и как се отделя енергия при термоядрените реакции, можете да намерите на тези линкове:
<https://spaceplace.nasa.gov/sun-heat/en/> (подходящ за по-малките ученици)
<https://youtu.be/W1ZQ4JBv3-Y>
<https://youtu.be/Cb8NX3HiS4U>

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Подредете думите и открийте термините

Цел

Учениците да (а) открият думи, свързани с термоядрения синтез и (б) да съставят физически верни изречения, отразяващи наученото в урока, като използват поне 2 или 3 от дадените думи във всяко изречение, затвърждавайки нови за тях термини.

Инструкции за учителя

Това упражнение може да се направи по двойки, или самостоятелно. И в двата случая може упражнението да се представи като състезание кой пръв ще открие всички (или най-много) думи, като за поощрение може да се предложи награда.

Времетраене: 10 минути за подреждане на думите и 5 минути за съставяне на изречения, като отново може да се направи състезание кой е съставил най-много изречения. Разбърканите думи са дадени в Приложение 1. Друг вариант на упражнението (за по-малки ученици) е местата на отговорите да се разбъркат и да се иска да се отъждествят правилно двойките и след това да се съставят изречения (може и заедно целият клас с помощ от учителя).

Детайлни инструкции за учениците

В приложение 1 са дадени думи, свързани с термоядрените реакции в недра на звездите.

- а) Буквите в думите са разбъркани. Имате на разположение 10 минути да подредите буквите и да запишете правилната дума до разбърканата.
- б) За още 5 минути съставете колкото можете повече изречения, като те трябва вярно да отразяват наученото в урока и всяко изречение да съдържа поне 2 или 3 от думите, които сте подредили в подточка а).

Практическо упражнение 2: Генерирай ядро в звезда, съставено от желязо (Fe)

Това упражнение е подходящо за по-големите ученици. Изисква се достъп до интернет. Играта може да се намери на този линк: <http://dimit.me/Fe26/>.

Цел

От началните водородни атоми H да се премине през различните ядрени реакции, при които се образуват все по-тежки елементи и се достигне до желязо Fe.

Инструкции за учителя

Играта може да се стартира от компютър, като тогава за „сливане“ на квадратчетата се ползват стрелките на клавиатурата, а може да се стартира и от мобилен телефон, като тогава местенето на квадратчетата е с пръсти. Целта е сливайки елементи и техни изотопи да се стигне до Fe. Играта показва постигнат резултат (SCORE) и най-добър резултат от всички игри (BEST). Учениците може да се окуражат да потърсят повече информация за реда на реакциите в интернет, което ще им помогне да увеличат резултатите си (за целта им дайте поне 10 минути, преди да стартират играта). Ако упражнението се прави в час – дайте 15 минути за игра и след това започнете дискусията относно резултатите и кой какви елементи е успял да „синтезира“ по време на играта. Може да дискутирате какви допълнителни знания биха били нужни, за да могат учениците да достигнат най-лесно и бързо до синтезирането на желязо. Ако се даде за домашно – отново, поискайте да запишат най-добрият си резултат и да се подготвят за горната дискусия за следващия учебен час (дискусията да включва всички и да е не по-малко от 15 – 20 минути), като всеки каже какво е запомнил за термоядрения синтез и реда на сливане на елементите.

Детайлни инструкции за учениците

Играта е достъпна от този линк: <http://dimit.me/Fe26/>.

Имате на разположение 15 минути да се опитате да „синтезирате“ желязо, като започнете от дадените ви в началото елементи и преминете през необходимите междинни реакции. Играта свършва или ако достигнете до желязо (Fe), или ако веществото в звездата свърши. Можете да следите резултата, както и най-добрия резултат в сините квадратчета горе в дясно на екрана. Ако не достигнете до желязо, запишете най-високия си резултат. Дискутирайте с учителя и съучениците си вашите резултати, какво е необходимо да знаете, за да стигнете до края или да повишите резултата си. Какво запомнихте най-добре за процеса на термоядрени реакции и реда, по който се синтезират елементите?

Практическо упражнение 3: Как се образуват елементите в звездите

Упражнението е адаптация на това упражнение: <http://clearinghouse.starnetlibraries.org/astronomy-and-space/112-nuclear-fusion-in-stars.html> (на Астрономическото общество на Пасифика – www.astrosociety.org), а филмче – тук: <https://www.youtube.com/watch?v=75QWmQmrk2Y>.

Постерна форма на оригиналното упражнение с картинки е дадена в Приложение 2.

Цел

Да се обясни и илюстрира процеса на ядрени реакции и по какъв начин се появява излъчването на звездите.

Необходими материали

- Купа с по-малки бонбонки маршмелоу (или топчета от стиропор/пластелин), които може да са едноцветни, или с няколко различни цвята,
- купа със сурови макарони с формата на тръбички,
- таблица на химичните елементи.

По избор: за по-големите ученици може да се добавят и илюстрация на електромагнитен спектър с обозначени видовете излъчване и салфетки за бонбонките/топчетата.

Инструкции за учителя

Това упражнение показва как се образуват химичните елементи във Вселената и откъде се появява излъчването. Времетраенето е около 5 до 10 минути. Учениците трябва да имат периодична таблица на химичните елементи. Можете да проведете упражнението като А) **самостоятелна работа** – учениците следват инструкциите по-долу и записват отговорите си, след което се дискутират резултатите; Б) **Виете давате инструкциите по-долу** и задавате въпросите по време на упражнението, на които учениците трябва да отговорят преди следващата стъпка.

Детайлни инструкции за учениците

С това упражнение ще видите как се образуват химичните елементи и откъде се появява излъчването.

1. Извадете периодичната таблица. Посочете на таблицата елементите водород Н и хелий He. Това са елементите, които са в най-голямо количество в звездите.
2. От купата с бонбонки/топчета извадете едно. Нека това е протон. От броя протони в ядрото зависи какъв ще е химичният елемент. Водородът има 1 протон. Тогава колко водородни атома ще илюстрира бонбончето/топчето? [Отговор: Един]
3. Всеки ученик да вземе две бонбончета/топчета, които да представляват две водородни ядра. Обикновено при ядрените реакции ядрата се сливат две по две.
4. Кой елемент има два протона в ядрото си? Посочете го на таблицата. [Отговор: Хелий]

7. Слънцето и звездите

5. Да видим как звездата образува хелий: Стиснете бонбонките/топчетата заедно в шепите си. Да си представим, че стиснатите Ви ръце представляват ядрото на една звезда. Там температурата и налягането са толкова високи, че атомите се движат много бързо и се сблъскват постоянно с други атоми. И понякога ядрата на два атома се сливат.
(**За по-големите ученици:** При толкова високи налягания и температури атомите в ядрата на звездите са загубили електронните си обвивки и се състоят само от ядра (протони и неутрони), а електроните от обвивките са станали самостоятелни частици).
Можете ли да слееете вашите ядра? Смачкайте бонбонките/топчетата, така че да образуват едно ново ядро. Това е ядрена реакция! Двете ядра на водорода са се слели, за да образуват ядро на кой елемент? [Отговор: Хелий]
6. Вземете един макарон от купата с макарони. Нека той да представлява един гама лъч.
(**За по-големите ученици:** Посочете на картинката на електромагнитния спектър къде се намират гама лъчите. Каква е тяхната енергия, сравнена с другите видове излъчване? [Отговор: Най-висока]).
Сложете новото ядро на чина и макарона до него. Така изглежда схема на сливане на две ядра, при което се отделя енергия във формата на гама лъч.
7. Направете още едно хелиево ядро като вземете още две бонбонки и ги слееете (смачкате) заедно. Поставете новото ядро на масата. Какво още ви трябва, за да завършите процеса? [Отговор: Гама лъч (макарон)] Как се нарича процеса? [Отговор: Ядрена реакция].
8. Повторете стъпка 7. Колко ядра имате сега и на кой елемент? [Отговор: Три ядра на хелий] А колко протона? [Отговор: Шест].
9. Вземете две от хелиевите ядра и ги смачкайте заедно. Извадете и още един макарон. Какво направихте? [Отговор: Ядрена реакция].
10. Към слетите хелиеви ядра, добавете и третото. Колко протона има най-новото ядро? [Отговор: Шест]. Кой е този елемент? Намерете го и го посочете на периодичната таблица [Отговор: Въглерод].
11. **За по-големите ученици:** В стъпка 9, като сляхте две хелиеви ядра се получи ядро на берилий Be (с четири протона в ядрото). Берилият е доста нестабилен елемент и би се разпаднал за по-малко от 1 секунда. Но ако преди това към него добавим още едно ядро на хелий, се образува следващият елемент (с 6 протона в ядрото). Учените наричат ядрата на хелия „алфа частици“, а процеса на образуване на въглерод от три хелиеви ядра - „троен алфа процес“.

ЗВЕЗДНА ЕВОЛЮЦИЯ: БАЗИСНО ОБЯСНЕНИЕ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Въпросът за еволюцията на звездите е един от най-важните за астрофизиката, защото отговорът му би ни разкрил тайните на Вселената. Отговор се опитва да даде **теорията за звездната еволюция**.

Еволюцията на звездите представлява промяна на физическите характеристики, вътрешния строеж и химическия състав на звездите с времето.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

звезди-плазма-звездна

еволюция

протозвезди

джуджета

червени гиганти

диаграма на Херцшпрунг-Ръсел

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Звездите са огромни кълба от нагрят газ. Когато ги наблюдаваме, на небето те изглеждат като точки, защото са на огромни разстояния от нас. Звездите светят, защото в ядрата им се извършват термоядрени реакции.

Условно както и при човека, раделяме живота на звездите на раждане, зрелост и смърт.

Звездите се раждат в гигантски облаци от прах и газ като основният градивен елемент е водородът.

Образуване на звездите Идеята за формиране на звездите от разреденото междузвездно вещество е обсъждал още Исак Нютон (1643-1727), но доказателства за това са получени едва в началото на 20 век: чрез наблюдения в инфрачервената област са намерени подходящи облаци от междузвезден газ и е установено, че те губят устойчивост и се свиват под влияние на гравитацията, превръщайки се в звезди. Най-популярният пример за такъв облак е мъглявината в Орион (фигурата долу).



Фигура 4: Мъглявината Орион

протозвездата Турбуленцията дълбоко в тези облаци създава уплътнения с достатъчно маса, за да започне колапс под действие на гравитацията. Непосредствено преди началото на свиването температурата на газа в недра на облака е само 10-30 К, т.е. това са едни от най-хладните обекти във Вселената. Веществото в облака е плътно според 'междузвездните стандарти' – в 1куб.м се съдържат 2 милиарда молекули, което обаче е 10¹⁶ пъти по-малко, отколкото има във въздуха в нормално състояние. Масата на тези облаци е огромна – тя достига до милиони слънчеви маси, което прави гравитацията основен фактор в еволюцията им. Когато облакът се свива, материалът в центъра му започва да се нагрива. **Така се появява протозвездата.** В резултат от свиването вътрешното налягане на газа се увеличава и това забавя процеса на колапс. В следващ етап газът постепенно се нагрива и протозвездата започва слабо да свети. Тъй като свиването протича нееднородно, плътността

нараства повече в централните части на облака. Когато температурата се покачи достатъчно свиващият се газ започва да се йонизира и в резултат става непрозрачен за излъчването от централните области на звездата. Това довежда до свиване на външните слоеве и температурата и налягането в центъра на протозвездата се увеличават. Скоро налягането става толкова голямо, че свиването се прекратява и вътре в облака се създава хидростатически устойчиво ядро. Извън него обаче газът е прозрачен за инфрачервеното излъчване и продължава да пада към центъра. Падайки към него, кинетичната енергия се превръща в топлина като около 50% от нея отива за нагриване на газа, а останалата се излъчва навън. **Когато обвивката изцяло падне върху ядрото и стане прозрачна, ядрото 'изплува от праховия пашкул' и се ражда младата ЗВЕЗДА!** Тя продължава да се свива бавно като се отделя топлина за сметка на гравитацията. Част от тази топлина се извежда от излъчването, а друга част нагрява вътрешните слоеве, поддържайки по този начин хидростатическо квази равновесие. Когато температурата в центъра на звездата превиши няколко милиона градуса започват термоядрени реакции в резултат на които водородът се превръща в хелий.

Моделите предсказват, че въртящите се облаци прах и газ могат да се разделят на две или три части. Това би обяснило защо мнозинството звезди не са единични, а двойни, тройни или повече кратни звездни системи.

Когато облакът колапсира, се формира плътно, горещо ядро и около него започва да се събира прах и газ. Не всичко от този материал обаче завършва като част от звезда – останки от праха могат да станат планети, астероиди или комети или просто да останат като междузвезден прах.

Ако масата на колапсиращия облак е по-малка от $0.08M_{\odot}$, където с M_{\odot} се отбелязва слънчевата маса, гравитационното свиване не може да доведе до температури, достатъчно високи за запалване на термоядрените реакции. **Такива несъстояли се звезди се наричат кафяви джуджета.** Единственият източник на вътрешна енергия на кафявите джуджета е гравитационната потенциална енергия. Ако масата на такъв обект е под $0.002M_{\odot}$, той се нарича планета. А ако е над $0.08M_{\odot}$, масата му е достатъчна да се поддържат термоядрени реакции и това вече е звезда.

След като се запалят термоядрените реакции в ядрото на звездата, те създават такова нагриване, че препятстват по-нататъшното свиване на звездата. Балансът между гравитацията, която се опитва да свие звездата и нагриването, което се опитва да я раздуе, се нарича **термодинамично равновесие**.

Термодинамично равновесие

От този момент нататък звездата остава без промяна за много дълъг период от време. Това е времето от живота на звездата върху **Главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел**.

За звезда, подобна на нашето Слънце, това са около 10 милиарда години.

7. Слънцето и звездите

Въпреки че в този 'зрял' период от живота им в звездните недра се извършват едни и същи процеси, звездите се различават по температура (цвет), размер, маса, яркост, възраст.

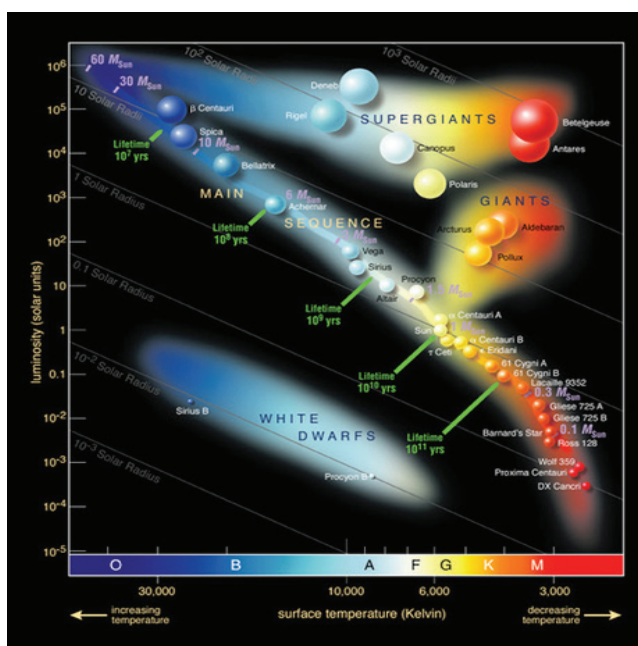
Колкото е по-голяма по-размери една звезда, толкова е по-гореща и по-ярка. Горещите звезди са сини на цвят. По-малките по размери звезди са по-малко ярки, по-студени и са червени на цвят.

Като цяло, колкото е по-масивна звездата, толкова е по-кратък живота ѝ, въпреки че звездите живеят милиарди години.

диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел

Тук е мястото да обърнем повече внимание на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел (съкратено Х-Р диаграма). Това е графика, която дава връзката между фундаментални параметри на звездите. В началото на 20 век двама астрономи, датчанинът Айнар Херцшпрунг и американецът Хенри Ръсел независимо един от друг установяват, че звездите се разполагат по определен начин на диаграма, свързваща спектралния клас на звездите и абсолютната им видима звездна величина. Тъй като спектралният клас е свързан с цвета на звездите и с тяхната повърхностна температура, а абсолютната звездна величина със светимостта, то диаграмата на Х-Р често е представяна и като диаграма цвят-звездна величина или температура-светимост.

На тези диаграми звездите не се разполагат равномерно, а в определени последователности. Имаме главна последователност, която започва от звездите с висока светимост и най-висока температура, прекосявайки диаграмата по диагонал и завършва със звездите с ниска светимост и най-ниски температури. Там се разполагат около 90% от всички звезди. Нашето Слънце също се намира на главната последователност. То е звезда от спектрален клас G2.



Фигура 5: Диаграма на Херцшпрунг-Ръсел

Над главната последователност се намира областта на червените гиганти и още по-високо са звездите с по-висока светимост или свръхгигантите. Под главната последователност се намира областта на белите джуджета.

Оказва се, че Х-Р диаграмата има дълбок смисъл. Тя не е просто зависимост между величини, а е еволюционна зависимост. По време на еволюцията на една звезда тя променя своята температура и светимост и се придвижва по диаграмата. Ако ние знаем мястото на една звезда на диаграмата и нейната маса в даден момент, можем да предвидим какъв ще бъде нейният еволюционен път, т.е. през какви фази на нейната еволюция ще премине и как ще завърши пътя си.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Да конструираме диаграмата на Хершпрунг-Ръсел

Цел

Целта е учениците да придобият представа за размерите на звездите и зависимостта между размера, масата и положението им върху диаграмата на Хершпрунг-Ръсел.

Необходими материали

- Пластелин с различни цветове: червен, жълт, син, бял, черен;
- пластмасова дъска за работа с пластелина;
- изображението на диаграмата на Хершпрунг-Ръсел от теоретичната част.

Инструкции за учителя

Това упражнение ще покаже на учениците, че звездите се разполагат на диаграмата по точно определен начин, който зависи от тяхната маса, размер, цвят и еволюционен статус. Времетраенето е 10 до 15 минути.

Детайлни инструкции за учениците

1. Разгледайте картинката от теоретичната част с диаграмата на Хершпрунг-Ръсел. Вижте как се разполагат звездите по цвят и размер на нея.
2. Очертайте си правоъгълник с пластелин, като по Y-остта е с черен цвят, а по X-остта направете дъга от цветове, като започнете със синия цвят, после бял, жълт и червен. Това ще ви даде границите на диаграмата.

7. Слънцето и звездите

3. Започнете да изграждате Главната последователност, като започнете със сини топчета в горния ляв ъгъл на вашата диаграма. Продължете по диагонал с бели топчета около средата, после жълти и накрая червени. Спазвайте изискването топчетата да намаляват в този ред. Отбележете мястото на Слънцето върху Главната последователност.
4. Направете по-големи сини топчета и ги поставете над Главната последователност, най-отгоре в средата по Х-остта – това ще бъдат свръхгигантите. Отляво на тях и малко по-надолу по Y-остта поставете червени топчета. Това са гигантите.
5. И накрая в долния ляв ъгъл поставете малки бели топчета – това е областта на белите джуджета.

Въпроси

- Зависи ли от масата на звездата времето на пребиваването ѝ върху главната последователност? Как? – [Отговор: Да. Колкото е по-масивна една звезда, толкова по-малко пребивава върху Главната последователност]
- Покажете на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел положението на Слънцето. – [Отговор: Слънцето се разполага на диаграмата в областта на жълтите джуджета върху Главната последователност.]
- Продължават ли да се раждат звезди понастоящем? – [Отговор: Да, процесът на звездообразуване продължава и понастоящем.]
- Кои звезди живеят по-дълго – червените гиганти или сините гиганти? Защо? – [Отговор: Червените гиганти. Защото имат по-малка маса и по-бавно изразходва водорода в недрата си.]

Практическо упражнение 2: Колко са големи звездите?

Това упражнение е адаптация на упражнението, предложено от образователния портал на NASA: https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lessons/star_size/

Цел

С това упражнение учениците ще придобият представа за размерите на звездите и ще разберат връзката между маса и радиус на звездите.

Необходими материали

Таблицата с данните за звездите; калкулатор.

Инструкции за учителя

Това упражнение ще даде възможност на учениците посредством данни за конкретни звезди да разберат колко са различни звездите по размери, маси, плътност и как тези параметри са свързани помежду си. Може да им създадете предварителна представа чрез тази картинка, илюстрираща разликите в размерите на различни звезди:



Фигура 6: Сравнение на големините на звездите

За целта на упражнението трябва да им раздадете следващата таблица на звезди от различни типове звезди от диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел с техните радиуси, плътности и маси в относителни единици спрямо Слънцето.

7. Слънцето и звездите

	Звезда	Радиус (слънчеви радиуси)	Плътност (слънчева плътност)	Маса (слънчева маса)
Свръхгиганти	Антарес	776	0.00000004	20
	Бета от Лира	19.2	0.0014	9.7
	Бетелгейзе	1000	0.00000005	10
	Денеб	96	0.00002	20
	Гама от Лебед	67	0.00007	20
	Ригел	78	0.00004	20
Гиганти	Алдебаран	87	0.000006	4
	Арктур	35	0.00018	8
	Бета от Пегас	40	0.00014	9
	Капела	13	0.00096	2.1
Звезди от Главната последователност	Нашето Слънце	1.0	1.0	1.0
	Алтаир	1.6	0.415	1.7
	Звездата на Барнард	0.15	53.3	0.18
	61 А от Лебед	0.7	1.69	0.58
	Хадар	22	0.0023	25
	Крюгер 60	0.35	6.30	0.27
	MU-1 от Скорпион	5.2	0.1000	14
	Процион А	2.6	0.102	1.8
	Сириус А	1.9	0.335	2.3
Бели джуджега	40 В от Еридан	0.018	71,000	0.41
	Сириус В	0.022	90,000	0.99
	Звездата на фон Маанен	0.007	47,000	0.14

Детайлни инструкции за учениците

Подредете звездите от списъка по големината на радиуса им, като започнете от най-малкия към най-големия радиус.

Отговор:

1. Звездата на фон Маанен	12. Капела
2. 40 В от Еридан	13. Бета от Лира
3. Сириус В	14. Хадар
4. Звездата на Барнард	15. Арктур
5. Крюгер 60	16. Бета от Пегас
6. 61 А от Лебед	17. Гама от Лебед
7. Нашето Слънце	18. Ригел
8. Алтаир	19. Алдебаран
9. Сириус А	20. Денеб
10. Процион А	21. Антарес
11. MU-1 от Скорпион	22. Бетелгейзе

До името на всяка звезда във Вашия списък по-горе напишете отношението на звездния радиус към звездната маса (в относителни единици спрямо Слънчевите стойности като закръглите резултата до втория знак след десетичната точка.

Отговор:

1. Звездата на фон Маанен	0,05	15. Арктур	4,38
2. 40 В от Еридан	0,04	16. Бета от Пегас	0,44
3. Сириус В	0,02	17. Гама от Лебед	3,35
4. Звездата на Барнард	0,83	18. Ригел	3,9
5. Крюгер 60	1,30	19. Алдебаран	21,75
6. 61 А от Лебед	1,21	20. Денеб	4,8
7. Нашето Слънце	1,0	21. Антарес	38,8
8. Алтаир	0,94	22. Бетелгейзе	100
9. Сириус А	0,83		
10. Процион А	1,44		
11. MU-1 от Скорпион	0,37		
12. Капела	6,19		
13. Бета от Лира	1,98		
14. Хадар	0,88		

Обяснете връзката между радиуса и масата в зависимост от типа звезди – свръхгиганти, гиганти, звезди от Главната последователност, бели джуджета.

[Отговор: Като цяло белите джуджета имат най-малки радиуси, следват звездите от Главната последователност. Звездите гиганти имат още по-големи радиуси и най-големите по радиус звезди за свръхгигантите. Учудващо обаче тази подредба

7. Слънцето и звездите

не се спазва твърдо, ако разгледаме отношението радиус/маса. Причината е, че голямо значение има също плътността на звездите. Така например белите джуджета имат най-малък радиус и неголяма маса, но са с най-висока плътност, докато свръхгигантите имат огромни радиуси, но много по-малка плътност.]

ЗВЕЗДНА ЕВОЛЮЦИЯ: КРАЙНИ СТАДИИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

След стадия на Главната последователност за звездите настъпват крайните стадии от живота им. В зависимост от масата всяка звезда поема по различен път. Докато накрая завърши като бяло джудже, неутронна звезда или черна дупка.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

звездна еволюция

крайни стадии на звездна еволюция

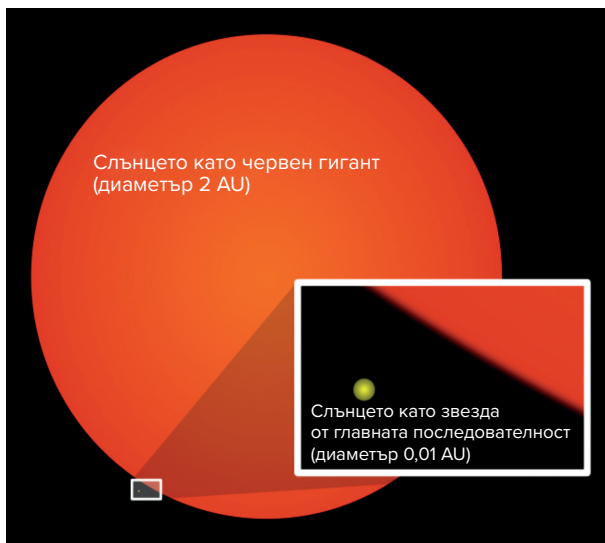
диаграма на Херцшпрунг-Ръсел

бели джуджета, червени гиганти, свръхнови, черни дупки

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Когато звездата изгори всичкия водород в ядрото си, ядрените реакции спират. Няма откъде да се получи нагряване на звездата, което да поддържа равновесието и ядрото на звездата започва да се свива и да става по-горещо. Външните слоеве обаче стават по-хладни и се разширяват и така трансформират звездата в червен гигант.

На фигурата е дадено сравнение в размерите на Слънцето като нормална звезда сега и какъв размер ще има, когато стане червен гигант – разликата е огромна.



Фиг. 7: Слънцето като червен гигант

Червен гигант Ако звездата е достатъчно масивна, колапсиращото ядро може да стане достатъчно горещо, за да поддържа по-екзотични ядрени реакции, в които ‘гори’ хелият и така да се произведат по-тежки елементи чак до желязото. Тогава червеният гигант ще се свие и звездата ще изглежда отново ‘нормална’. Обаче такива реакции предлагат само временна отсрочка. Те няма да продължат дълго, защото хелият се изчерпва много бързо и звездата отново ще се превърне в **червен гигант**.

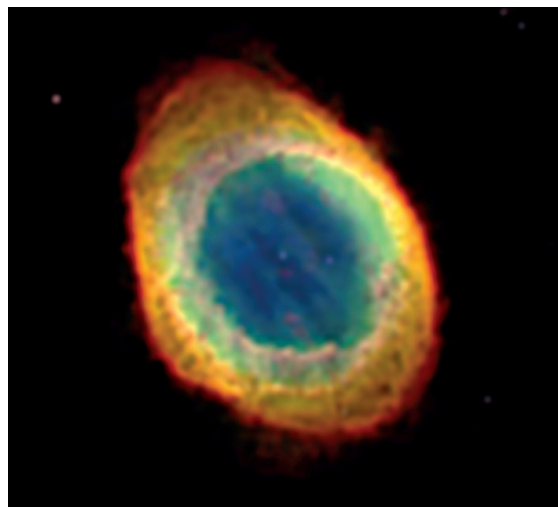
Бяло джудже За звезда, подобна на нашето Слънце, след този етап вече няма кой да поддържа ядрените реакции, така че центърът на звездата ще колапсира и свивайки се, тя може да добие размерите на Земята, но с маса колкото Слънцето! Такъв много плътен обект се нарича **БЯЛО ДЖУДЖЕ**. Едно парченце от бяло джудже с размера на мобилен телефон ще тежи колкото слон на Земята!

Белите джуджета, които приблизително са с размерите на Земята, но с масата на звезда, учудват астрономите – защо процесът на колапс не продължава? Каква сила поддържа масата на ядрото? Квантовата механика предлага обяснение. Налягането на бързо движещите се електрони поддържа звездата да не колапсира. **Колкото е по-масивно ядрото, толкова по-плътно е бялото джудже, което се формира. Така че колкото е по-малко джуджето по диаметър, толкова е по-голяма масата му.** Тези парадоксални звезди всъщност са много чести – и нашето Слънце ще стане бяло джудже след милиарди години. Такава звезда е и Сириус В – спътникът на най-ярката звезда на нашето небе.

Белите джуджета са много слаби, понеже са малки и поради липса на производство на енергия, те постепенно избледняват и постепенно се охлаждат и в края на живота си ще се превърнат в черни джуджета. Тази съдба очаква само звезди с маси до 1,4 слънчеви маси. Над тази маса, електронното налягане не може да поддържа ядрото от по-нататъшен колапс. Такива звезди имат друга съдба.

При хелиевото горене в ядрата на червените гиганти се пораждаат топлинни импулси, които издухват външните обвивки на звездите в околостъзвездното пространство. Това може да доведе до изхвърляне на повече от половината звездна маса. **В резултат около звездата се създава разширяваща се газова обвивка, наречена планетарна мъглявина.** Планетарните мъглявини нямат нищо общо с планетите – те просто изглеждат като тях в малки телескопи, откъдето е и името им!

На фигурата е показана типичната планетарна мъглявина М57 с бялото джудже в центъра ѝ. Този етап не продължава дълго – планетарната мъглявина се разсейва в околната междузвездна среда за около 100 000 години, обогатявайки я с по-тежки елементи.



Фиг. 8: Планетарната мъглявина М57 с бялото джудже в центъра ѝ.

Звездите, които са по-масивни от 8 слънчеви маси, могат да поддържат равновесие малко по-дълго, защото ядрата им могат да се нагряват до по-високи температури и да запалят ‘по-екзотични’ ядрени реакции – **като неон, кислород, силиций, завършвайки дори с желязно ядро.** Когато звездата в стадия на червения гигант също е била по-масивна, тя се нарича **червенсвръхгигант.** А след стадия на **свръхгигант следва зрелищен взрив, наречен избухване на свръхнова.** При експлозията се отделя голямо количество вещество от външните слоеве на звездата и в пространството около нея се образуват бързо разширяващи се газови обвивки, наречени остатъци от свръхнова. Тук е показан остатък от свръхновата от 1054 г. във видимата област – известната Ракообразна мъглявина в съзвездието Телец.



Фиг. 9: Ракообразната мъглявина в съзвездие Толец

Неутронна звезда Понеже звездата е била много масивна, масата на звездния остатък е повече от 1.4 слънчеви маси и той не може да остане бяло джудже – налягането на изродения електронен газ не може да удържи гравитационния колапс и той продължава като звездата продължава да се свива. При това се разрушават не само атомите, но и ядрата на атомите – получават се свободни протони и неутрони и звездата се превръща в **неутронна звезда**. Плътността на неутронната звезда е около 10^{18} kg/m^3 , което я прави изключително плътен обект. Размерите на такива звезди не надвишават 10-30 km. Това е размерът на голям град. Представете си звезди с размера на Слънцето да се вмести в границите да кажем на Лондон!

Черна дупка Когато масата на звездния остатък е по-голяма от 3 слънчеви маси, дори налягането на неутронния газ не може да спре гравитационния колапс и той продължава. **това води до обект с неограничено висока плътност и неограничено малки размери – до т.нар. черна дупка.** Поради огромната гравитационна сила изкривяването на пространството става много голямо и при размер от около 5 km, пространството се ‘затваря в себе си’ и дори светлината не може да го напусне. Така обектът става невидим. Единственият начин за индикация на такъв обект е от пространството около него – **падащото по спирала вещество към черната дупка** се ускорява и нагорещява толкова, че се излъчват кванти с много висока енергия – рентгенови и гама лъчи, които се регистрират. Счита се, че такъв обект е мощният рентгенов източник Лебед X-1.

Нека да обобщим живота на звездите според теорията на звездната еволюция:

- звездите се раждат в облаци от прах и газ,
- **те светят от нагряването им вследствие на ядрени реакции в ядрата им,**
- когато горивото им от водород свърши, се появява червен гигант,
- за звезда с маса около Слънцето, край на живота ѝ като звезда е бяло джудже,
- за по-масивна звезда, последните етапи от живота ѝ са експлозия на Свръхнова и неутронна звезда или дори черна дупка.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Еволюционният път на Слънцето the evolutionary path of the Sun

Да начертаем схематично еволюционния път на нашето Слънце върху диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел от сегашното му положение до края на живота му.

Цел

Целта е учениците да осмислят еволюционния смисъл на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел.

Необходими материали

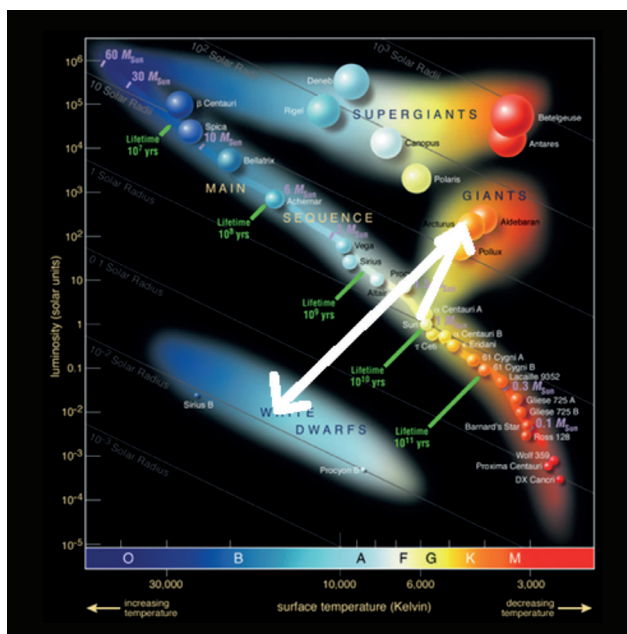
- Изображение на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел

Инструкции за учителя

Това упражнение ще покаже на учениците как ще еволюира Слънцето от сегашния момент до момента, когато няма какво да поддържа ядрените реакции в ядрото му. В допълнителен файл към материалите ще намерите диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел като графичен файл.

Детайлни инструкции за учениците

Върху диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел начертайте схематично еволюционния път на Слънцето от сегашното му положение до края на живота му. (Отговор: на картинката в дясно)



7. Слънцето и звездите

Допълнителни въпроси:

- Ще се превърне ли Слънцето в неутронна звезда в края на живота си? Защо?
(Отговор: Слънцето няма да се превърне в неутронна звезда, защото няма достатъчно маса за това.)
- Кога една звезда завършва пътя си като черна дупка?
(Отговор: Когато след стадия на свръхнова звездният остатък е с маса, по-голяма от 3 слънчеви маси, гравитационният колапс продължава, докато се превърне в черна дупка).

Практическо упражнение2: Звезден лабиринт – Звезден лабиринт

(оригинална версия: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lifecycles/starchild5.pdf>)

Цел

Целта е учениците да осмислят еволюцията на звездите и да окажат, че са разбрали основните стъпки в нея.

Необходими материали

- Разпечатка със звездния лабиринт и цветен молив

Инструкции за учителя

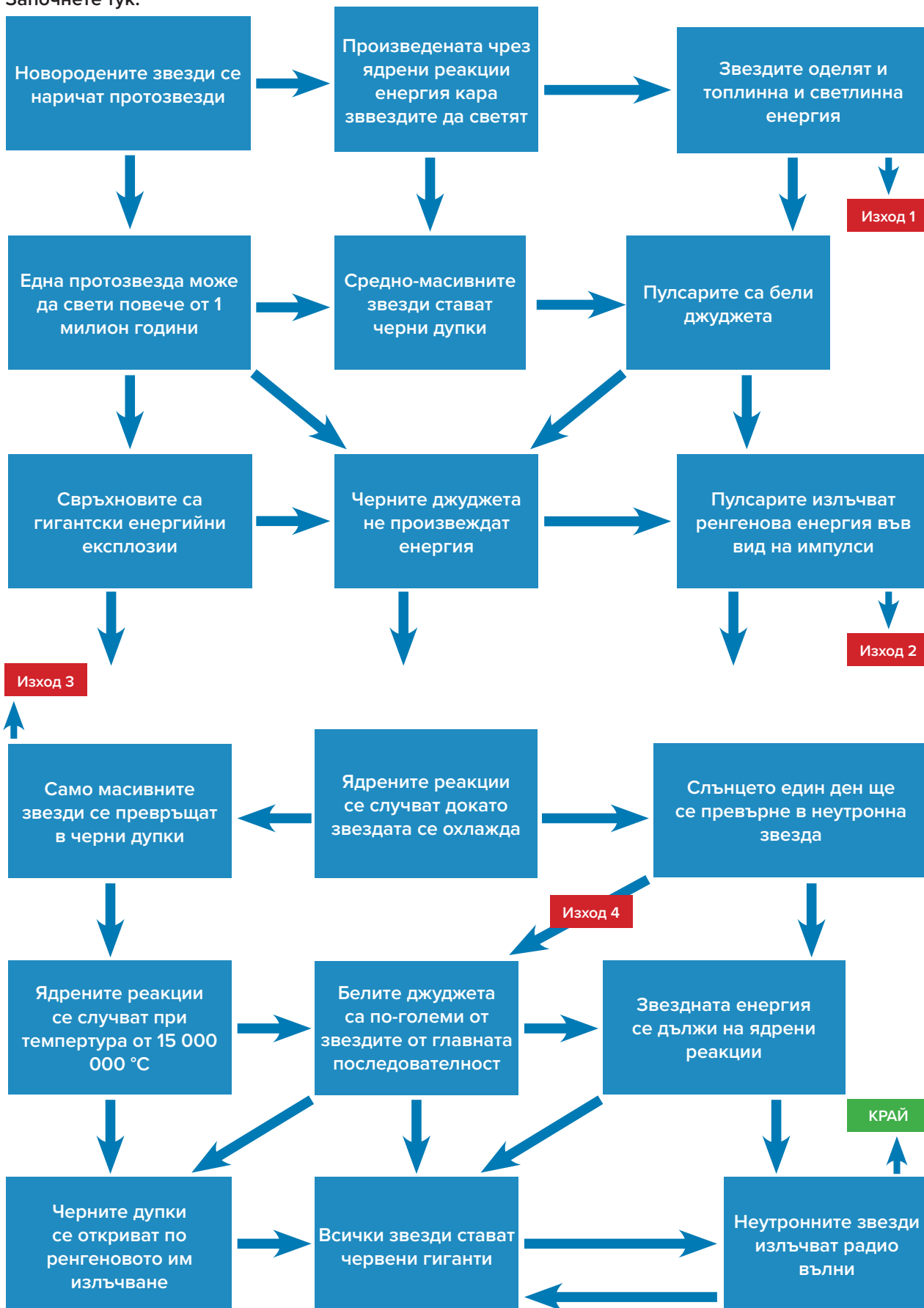
Това упражнение ще покаже на учениците как ще еволюират звездите. Следвайки стрелките и маркировката ВЯРНО, ГРЕШНО, те трябва да достигнат до истинския КРАЙ на лабиринта. Изходите 1, 2, 3, и 4 са грешни и ако учениците достигнат до тях, трябва да се върнат по стъпките си, докато открият грешката/грешките си и не достигнат до КРАЙ.

Детайлни инструкции за учениците

Като използвате знанията си за еволюцията на звездите, навигирайте лабиринта. Започнете с началната кутия, внимателно четете твърденията в свързаните кутии и решете кое е вярно и кое не. Придвижвайте се към следващата кутия (маркирайте пътя си с цветен молив), като следвате стрелките и подсказките В – ВЯРНО, Г – ГРЕШНО. Движете се по стрелките докато достигнете до истинския край на лабиринта К – КРАЙ. Ако достигнете до който и да е от другите финали (1, 2, 3 или 4), които са грешни, проследете предхождащите си стъпки и открийте къде сте се отклонили от верния път.

ЗВЕЗДЕН ЛАБИРИНТ

Започнете тук:



Звезден лабиринт – отговор

1. Новородените звезди се наричат протозвезди. КЪМ
2. Произведената чрез ядрени реакции енергия кара звездите да светят. КЪМ
3. Средно-масивните звезди стават черни дупки. КЪМ
4. Пулсарите са бели джуджета. КЪМ
5. Черните джуджета не произвеждат енергия. КЪМ
6. Ядрените реакции се случват докато звездата се охлажда. КЪМ
7. Само масивните звезди се превръщат в черни дупки. КЪМ
8. Ядрените реакции се случват при температура от 15 000 000 °С. КЪМ
9. Белите джуджета са по-големи от звездите от главната последователност. КЪМ
10. Всички звезди стават червени гиганти. КЪМ
11. Неутронните звезди излъчват радио вълни. КЪМ
12. КРАЙ

СЛЪНЦЕТО КАТО ЗВЕЗДА: ЕВОЛЮЦИЯ НА СЛЪНЦЕТО

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Слънцето е най-близката до нас звезда. От нея зависи животът на хората на Земята. Поради това е и най-изучаваната още от древни времена. И въпреки това все още има редица въпроси, които не са намерили отговор от науката. В тази част ще се запознаем с основните физически характеристики на Слънцето, с неговия строеж и проявления на активността му, които влияят на живота на Земята.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

Слънце

звезда

строеж на Слънцето

проявления на слънчевата активност

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Слънцето е най-близката до нас звезда. То се намира на разстояние приблизително 149 600 000 km, което в астрономията се приема за единица мярка за разстояние – 1 AU. Светлината изминава това разстояние за 8 минути, т.е. ако на Слънцето се случи някакво събитие ние ще го видим след 8 мин. Масата на Слънцето е равна на 330 000 земни маси, а радиусът му е около 110 пъти по-голям от Земята.

Според приетата спектрална класификация на звездите нашето Слънце е жълто джудже от спектрален клас G2 на възраст от 4.6 милиарда години. Слънцето е и най-голямото тяло в нашата Слънчева система. То съдържа в себе си повече от 99.8% от масата на цялата Слънчева система. Както останалите звезди Слънцето е газово кълбо, което се състои от около 75% водород и 25% хелий по маса, като останалите елементи са само около 0.2% от слънчевата маса.

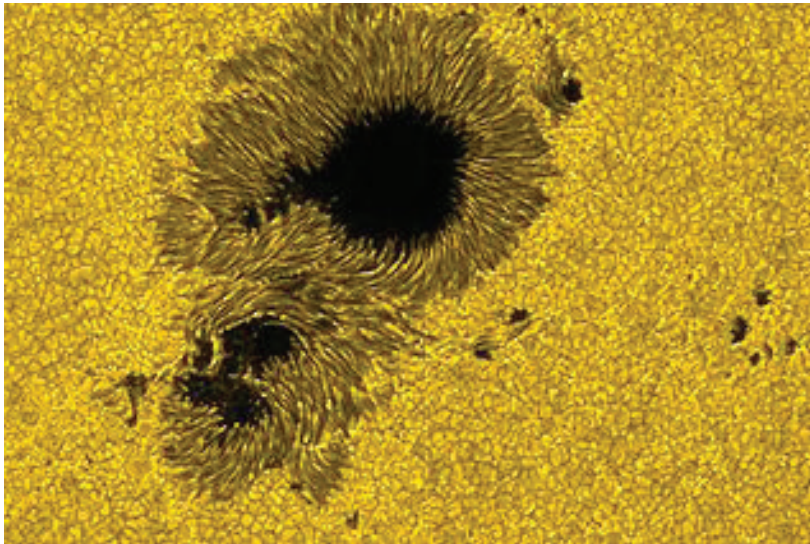
Слънцето не се върти като твърдо тяло – най-бързо се върти областта около слънчевия екватор (за около 25 денонощия), а най-бавно – областите около полюсите (за около 30 денонощия). Такова въртене се нарича диференциално въртене и се дължи на факта, че Слънцето е газово кълбо, а не твърдо тяло. **Структурата на Слънцето е следната: ядро, зона на лъчисто пренасяне на енергията, конвективна зона, слънчева атмосфера.**

Ядро зона на лъчисто пренасяне В ядрото на Слънцето, което е около 25% от общия радиус условията са екстремални: температурата достига 15.6 милиона градуса по Келвин, а налягането е около 250 милиарда атмосфери. В ядрото протичат термоядрените реакции, които поддържат Слънцето да свети и поддържат живота на Земята. Над ядрото се намира зоната на лъчисто пренасяне на енергията, която достига до 75% от слънчевия радиус. В тази зона енергията, произведена в ядрото на Слънцето се пренася към повърхността на Слънцето посредством лъчението.

Конвективна зона на слънцето След тази зона следва конвективната зона, където енергията се пренася посредством конвекция на веществото. Конвекцията представлява процес на смесване на по-горещи с по-студени слоеве вещество. В резултат горещият газ се издига нагоре до повърхността и се охлажда. Така той става по-плътен и потъва отново надолу, където се нагрива отново. Процесът много напомня кипенето на водата в чайник. По този начин се пренася енергия от по-горещите вътрешни слоеве към по-хладните външни слоеве на Слънцето, като времето за издигане на една т.нар. конвективна клетка до повърхността е няколко десетки години.

Слънчевата атмосфера Над конвективната зона се намира слънчевата атмосфера. Тя се дели на няколко слоя: **фотосфера, хромосфера, корона**. Това, което виждаме от Слънцето във видимата област на спектъра е **фотосферата**. Температурата ѝ е около 5 800 K и като цяло е най-студената част от Слънцето. Размерът ѝ е много малък – само около 300 km. Фотосферата се състои от гранули със среден размер от около 1 000 - 2 000 km, които непрекъснато се появяват и изчезват за време от 5 - 10 минути.

Те са резултат от конвективните процеси, които протичат под фотосферата, в областта на конвективната зона. **Най-характерната особеност на фотосферата са слънчевите петна.** Това са ясно разграничени тъмни области във фотосферата с температура по-ниска от околността им от около 1000 K (на фигурата по-долу се вижда гранулацията и слънчевите петна). В областта на слънчевите петна магнитното поле на Слънцето е много силно – около 1000 G (средното ефективно магнитно поле на Слънцето е 1G). Петната обикновено се появяват на групи.



Фиг. 10: Гранулация и слънчеви петна

Над фотосферата е разположена слънчевата **хромосфера**, където газът е по-разреден и по-прозрачен. Хромосферата е с размер от около 10 000 - 15 000 km, а плътността ѝ е хиляди пъти по-малка от тази във фотосферата. Температурата нараства рязко с височината, което се дължи на магнитното поле и лъчението, идващо от конвективната зона. В хромосферата възникват плазмени избухвания, при които взривно се изхвърля огромно количество вещество и енергия. Тези явления се наричат хромосферни слънчеви избухвания и могат да повлияят магнитното поле на Земята, предизвиквайки срив в електропреносните мрежи.

Без видима граница след хромосферата следва **слънчевата корона**, която се простира на разстояние от десетки слънчеви радиуси, преминавайки в междупланетната среда. Най-впечатляващите образувания в слънчевата корона са **протуберансите** (на фигурата по-долу може да се види протуберанс в горната дясна част на слънчевия диск). Това са огромни дъгообразни плазмени образувания с температури от около 20 000 K, които се издигат високо над слънчевата хромосфера на височини над 40 000 km. Протуберансите се образуват в области със силно магнитно поле над областите на слънчевите петна. Температурата на короната е много висока – от порядъка на милиони градуси и скоростта на частиците е много висока. В резултат гравитационното поле на Слънцето не може да ги удържи и те напускат Слънцето със скорости от порядъка на няколко стотин до хиляда километра. **Тази външна част от короната се нарича слънчев вятър.**



Фиг. 11: Протуберанс на слънчевия диск

Еволюцията на Слънцето Еволюцията на Слънцето представлява особен интерес тъй като то е единствената звезда, за която са известни основните физически параметри – точните радиус, маса, светимост и температура. Химическият състав също е известен с надеждна точност. Какъв е жизненият път на нашето Слънце? Както другите звезди то се е зародило в облак от прах и газ. След гравитационния колапс е станало протозвезда и с увеличаване на температурата в ядрото му са се запалили термоядрените реакции, превръщайки го в звезда. След този момент е започнал стадият на Главната последователност, където Слънцето се намира сега. То ще престои още около милиард години там и след това ще започне да увеличава светимостта си, напускайки Главната последователност и придвижвайки се нагоре от Главната последователност към областта на червените гиганти. Това ще се случи поради изчерпване на водорода в ядрото му. Радиусът му ще се увеличи, а оттам и светимостта му. Според разчетите Слънцето ще се превърне в червен гигант след около 5 милиарда години. В този етап размерът му вече ще е достигнал орбитата на Марс и Земята ще е погълната от него, унищожавайки живота на Земята. След стадия на червен гигант следват последните стадии от живота на Слънцето – раждането на планетарната мъглявина и след около 7.5 милиарда години накрая ще завърши живота си като бяло джудже.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Да проследим слънчевите петна

Изображенията на Слънцето са взети от космическата обсерватория SOHO:
<https://soho.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/sunspots.html>

Цел

В това упражнение учениците ще работят с реални изображения на Слънцето, с каквито работят професионалните астрономи по света. Ще могат да проследят промяната в слънчевите петна, макар и за кратък период от време и ще могат да определят скоростта, с която се движат по повърхността му.

Необходими материали

В приложенията ще намерите изображения на Слънцето в 5 дни, получени от слънчевата обсерватория SOHO. Също карта на Слънцето, на която са отбелязани координатите – дължина и ширина.

Инструкции за учителя

Разделете класа на отбори по двама ученика. Дайте на всеки от отборите да проследят една или повече от групите петна, отбелязани на слънчевите изображения.

Детайлни инструкции за учениците

1. Всеки от отборите трябва да проследи промяната върху повърхността на Слънцето на една или повече от трите групи петна – А, В или С.
2. За всеки ден един от отбора трябва да отбележи положението на групата петна, която изследва върху картата на Слънцето с координатите. Другият член на отбора трябва да запише в таблицата едната координата (дължината) на групата петна за деня. Напр. група петна А се намира на координати по дължина -75 градуса на 28.03. Изображенията са взети по едно и също време всеки ден с изключение на 31.03, което за този ден ще даде малка грешка.

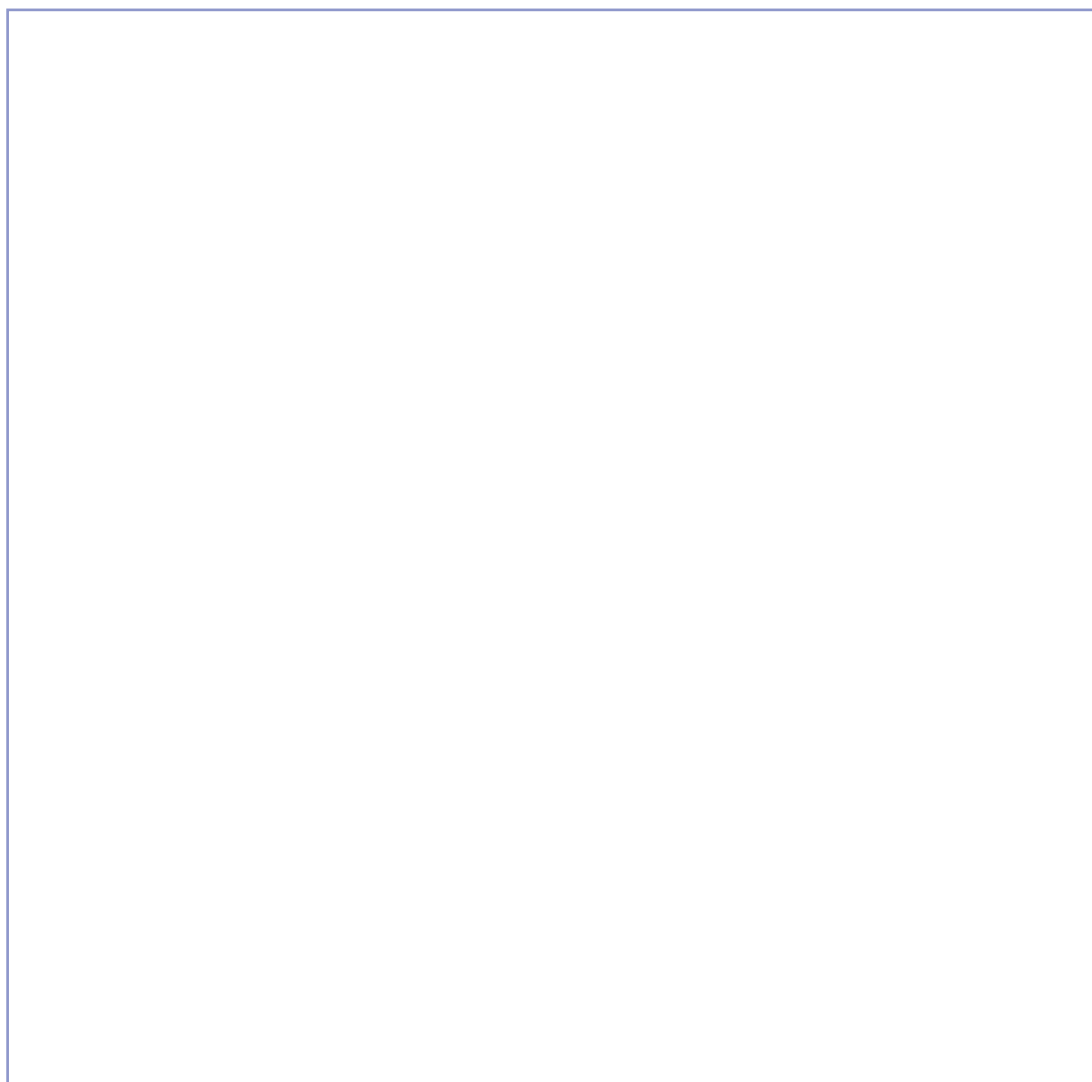
3. Резултат от упражнението:

1. Накрая трябва да имате таблици в следния вид:

Група петна

	A	C	C
дата	дължина в градуси		
28.03			
29.03			
30.03			
31.03			
1.04			

2. И карта, на която са отбелязани положенията на групата/групите петна върху повърхността на Слънцето:



4. Следващата задача е да определим колко градуса по дължина се преместват петната за 1 ден. За да определим това трябва да видим началната и крайна дължина на петната – в първия ден (28.03) и в последния ден (1.04). След това да разделим разликата в дължината на 5 (пет дни). За целта трябва да използваме картата, където сме отбелязали положенията им. В резултат имаме скоростта, с която се местят петната по повърхността на Слънцето в градуси. Съгласни ли са с определената скорост всички отбори? Има ли разлика между отделните групи петна?

(Отговор: В рамките на определена грешка от измерванията на отделните отбори резултатите трябва да са едни и същи: средната скорост, с която се движат петната е около 12 градуса на ден.)

Въпрос: Менят ли формата и размера си петната?

(Отговор: Да, защото това са активни образования.)

5. Заключителният въпрос в това упражнение е: За колко време Слънцето прави една обиколка на 360 градуса? Можем ли да определим това с данните за петната, които получихме? Трябва да имаме предвид, че Земята също се движи около Слънцето в същата посока със скорост от около 1 градус на ден. Така че за изчисленията си трябва да добавим по 1 градус на ден към видимото движение на Слънцето (видимо изглежда, че Слънцето се движи по-бавно, отколкото в действителност).

(Отговор: Резултатът от изчисленията показва, че Слънцето се завърта на всеки 27 дни около екватора си, където се наблюдават петната.)

Трябва да отбележим, че Слънцето не се върти като твърдо тяло, затова скоростта му на въртене на екватора и в областта на полюсите не е еднаква.

ИЗМЕРВАНЕ НА РАЗСТОЯНИЯТА В КОСМОСА (СВЕТЛИННА ГОДИНА, ПАРСЕК, ПАРАЛАКС)

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Единиците за дължина, които използваме при повечето физически измервания, са подходящи за измерване на повечето обекти, с които обикновено се срещаме – максималните размери на пакета, който можем да изпратим по пощата, измерваме в сантиметри, разстоянието до училище и работата измерваме в километри и т. н. **Но имаме нужда и от съответните единици, за да измерваме разстоянията в космоса.** Разстоянието между Луната и Земята може да се изрази в километри – това разстояние е приблизително между 363 300 и 405 500 км. Но разстоянието между Слънцето и Земята вече е в стотици милиони километри, а разстоянието до най-близките до нас звезди е в трилиони километри! Ето защо в астрономията се въвеждат такива единици за дължина, които са подходящи за измерване на космическите разстояния.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

астрономическа единица

светлинна година

паралакс

парсек

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Астрономическата единица (1 au) се определя като средното разстояние между центровете на Земята и Слънцето. Една астрономическа единица е приблизително 150 милиона километра. Както е дефинирано от Международния астрономически съюз, под астрономическа единица се разбира радиусът на необезпокояваната кръгова орбита, по която едно тяло с нищожна маса обикаля около Слънцето с ъглова скорост $0,017\ 202\ 098\ 95$ радиана на ден. Сегашната ѝ най-точна стойност се определя от Резолюцията на Международния астрономически съюз от 2009 г. като $1\ \text{au} = (149\ 597\ 870\ 700 \pm 0,003)$ км.

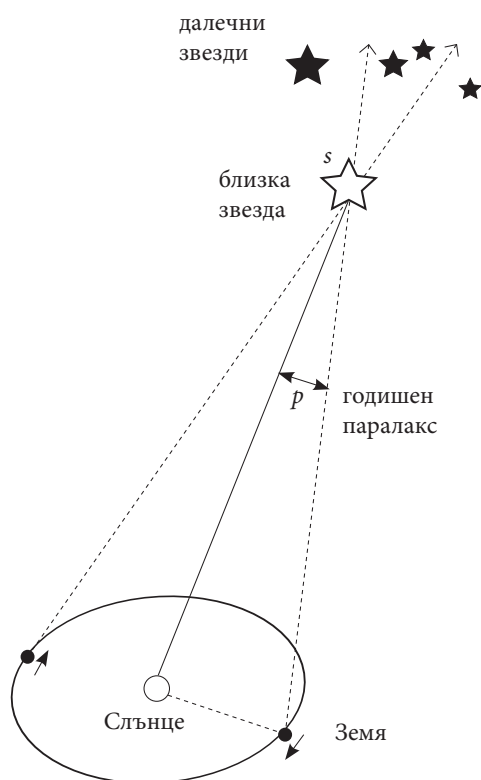
Астрономическа единица

Светлинната година е разстоянието, което светлината изминава за една юлианска година във вакуум: $1\ \text{ly} = 299\ 792\ 456\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 365,25\ \text{дни} \cdot 24\ \text{часа} \cdot 60\ \text{минути} \cdot 60\ \text{секунди} = 9,461 \cdot 10^{12}$ км.

Светлинна година

Паралакс е термин, който характеризира видимото изместване на положението на един наблюдаван обект, дължащо се на неговото наблюдение от две различни точки. Звездният паралакс се вижда, когато гледаме дадена звезда от двете противоположни страни на орбитата на Земята при обикалянето ѝ около Слънцето. Или казано по друг начин: ако се намираме на тази звезда и измерим ъгъла между лъчите, които водят от нея до двете противоположни страни на орбитата на Земята, то половината от този ъгъл се нарича (годишен) паралакс. С други думи, Годишният паралакс p е ъгълът, под който бихме видели дължина 1 au от дадено разстояние (виж Фиг. 1).

Паралакс



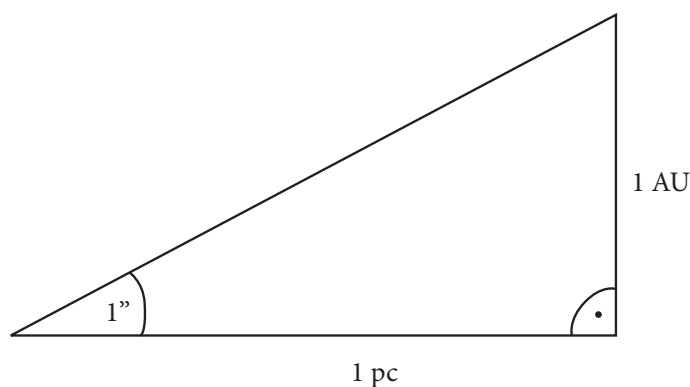
Фиг. 1: Годишен паралакс

8. Нашата Галактика и други галактики

Звездният паралакс обикновено се измерва чрез определяне на ъгъла, под който виждаме годишното отместване на една звезда спрямо отдалечените звезди. Отместването се измерва в продължение на една година и се разделя на две. Този метод обаче работи само за близките звезди.

Парсек От астрономическата единица изхожда единицата „парсек“ (1 пс, понякога „parsec“, на англ. „paralactic second“, на словашки: „paralaktická sekunda“, на български: „паралакс секунда“). Това е разстоянието, на което една астрономическа единица може да се види под ъгъл една дъгова секунда.

За да се изведе дължината на парсека се прави следното изчисление:



Фиг. 2: Измерване на дължината на парсека

Можем да напишем, че:

$$\operatorname{tg} 1'' = \frac{1 \text{ au}}{1 \text{ пс}} \Rightarrow 1 \text{ пс} = \frac{1 \text{ au}}{\operatorname{tg} 1''} = 3,09 \cdot 10^{12} \text{ km.}$$

Един парсек е приблизително 3,2 ly.

Ако знаем годишния паралакс p_{\max} на звездата (измерен съгласно Фиг. 1), нейното разстояние r се определя така:

$$\{r\} = \frac{1}{\{p_{\max}\}},$$

където r и p_{\max} са в къдрави скоби, тъй като такова уравнение не отговаря на размера; в знаменателя я няма функцията tangens (тангенс), защото ако заместим p_{\max} в радиани, то за такива малки ъгли стойността на тангенса ще бъде равна на ъгъла в радиани, и следователно няма нужда да намесваме тригонометрични функции.

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Задача 1: Паралакс

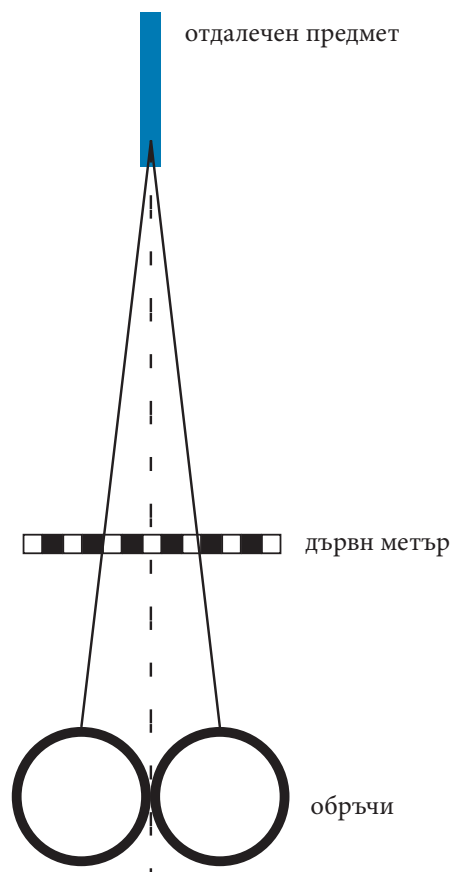
Описаната дейност има за цел да запознае учениците с определението за паралакс и използването му за измерване на разстояния.

Помощни средства

- подходящ отдалечен предмет (дърво, лампа и др.),
- два обръча (или други две помощни средства за отбелязване на двете точки, от където ще протича наблюдението),
- уред за измерване на дължина (например голям дървен метър),
- масичка или лабораторна стойка, ролетка.

Метод

1. Съставете системата така, както е показано на Фигура 3. Центърът на дървения метър трябва да бъде в центъра на обръчите и на предмета, чиято отдалеченост искаме да измерим. Той трябва да бъде и на подходяща височина, така че обектът зад него да може да се вижда (например да бъде поставен върху масичката или на стойката). Нека разстоянието между масичката и обръчите да е два метра.



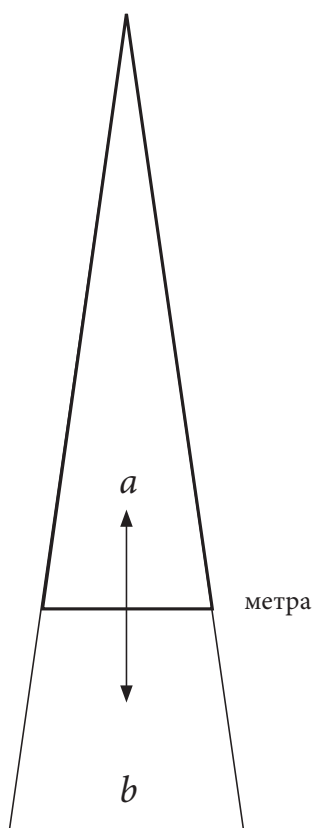
Фиг. 3: Система

8. Нашата Галактика и други галактики

2. В зависимост от това на каква височина е метърът, застанете или седнете в левия обръч и запишете числото върху метъра, където виждате обекта.
3. Направете същото и когато гледате от десния обръч.
4. След това преместете масичката с метъра на два метра по-близо до обекта (измерете разстоянието с ролетка).
5. Повторете измерванията от точки 2 и 3, и запишете всички резултати в таблицата:

Разстояние на близкия обект (масичка с метър)	Число върху метъра, отговарящ на отдалечения обект В ВЛЯВО	Число върху метъра, отговарящ на отдалечения обект В ВДЯСНО
2 метра		
4 метра		

От стойностите в таблицата изчислете основите на триъгълниците a и b , както е показано на Фигура 4, и определете разстоянието до наблюдавания обект:



Фиг. 4: Изчисляване на a и b .

Впоследствие учениците трябва да отговорят на следните въпроси:

- а) Каква е връзката между отдалечеността на обекта и привидната промяна на позицията му, когато го наблюдаваме от различни гледни точки?
- б) Къде и как се използва този метод в астрономията?

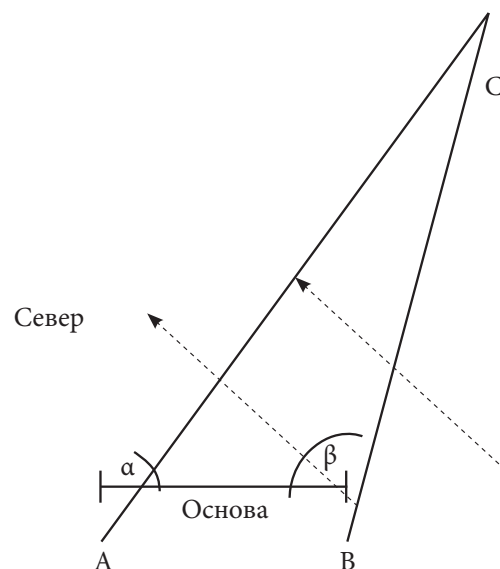
Задача 2: Измерване на разстояния

В тази задача ще измерваме отдалечеността и даден обект на начина, по който това се прави в астрономията. Изберете един добре видим обект, като например часовниковата кула на кметството, висок комин и др. За да направите измерването ще ви трябват рулетка и компас (в най-лошия случай е достатъчен и компасът в мобилните телефони).

Метод:

1. Определете основата на измерването (точки А и В на Фиг. 5). Тя не трябва да е твърде малка – ако прецените, че обектът е на разстояние от няколко километра, основата трябва да е в стотици метри. Колкото по-малка е основата, толкова по-малка е точността на измерването. За една от точките е добре да изберете, например, завой на улица или кръстовище, така че измерването да може да се провери с помощта на сателитна карта.

Забележка: Основата е най-лесно да се определи чрез стъпки: Използвайте рулетката, за да измерите дължината от десет стъпки. С изчисление ще определите дължината на една стъпка в метри, а после това изчисление ще може да използвате за определяне на дължината на основата в метри.



Фиг. 5: Изчисление

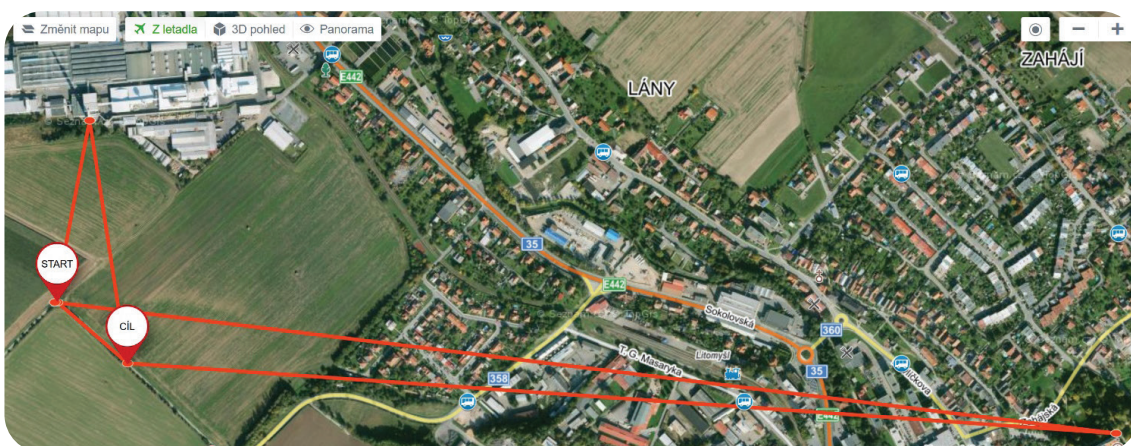
2. Използвайте компаса в точка А, за да определите къде се намира север. След това измерете под какъв ъгъл α виждате обекта, чиято отдалеченост искате да измерите (вижте Фиг. 5).
3. Също така определете северната посока и ъгъла β в точка В.
4. С известна дължина на основата $|AB|$ и използвайки ъглите α и β , постройте триъгълника ABC, където точка С отговаря на обекта, чиято отдалеченост

8. Нашата Галактика и други галактики

искате да определите. Фигурата трябва да бъде например с мащаб 1: 500. По този начин в триъгълника ABC може да бъде измерена отдалечеността на обекта.

5. Отворете подходяща онлайн карта (вижте например Фиг. 6) и проверете:
 - а) дължината на основата,
 - б) отдалечеността на обекта.
6. Изчислете грешката на измерването по формулата

$$\delta l = \frac{\text{измерено разстояние} - \text{действително разстояние}}{\text{действително разстояние}} \cdot 100 \%$$



Фиг. 6 : Онлайн карта (пример)

Задача 3: Единици за разстояния на планетите в Слънчевата система

Тази дейност затвърждава знанията за астрономическата единица. Задачата се състои в това, от подходящи източници (учебници, таблици, интернет), да се намерят средните разстояния между планетите и Слънцето, и да се създаде модел в избрания за това мащаб. Мащабът 1 au = 1 метър може да бъде избран за работа на открито, около училището и т. н., а мащабът 1 au = 10 сантиметра – за работа в клас. И двата варианта са дадени в таблицата:

Планета	Разстояние от Слънцето в au	Разстояние (1 au = 1 метър)	Разстояние (1 au = 10 сантиметра)
Меркурий	0,4	0,4 m	4,0 cm
Венера	0,7	0,7 m	7,0 cm
Земя	1,0	1,00 m	10 cm
Марс	1,5	1,5 m	15,0 cm
Юпитер	5,2	5,2 m	52,0 cm
Сатурн	9,5	9,5 m	95,0 cm
Уран	19,2	19,2 m	192,0 cm
Нептун	30,1	30,1 m	301,0 cm

Учениците от прогимназията не трябва да имат проблеми с мерните единици за дължина и измерванията, правени с помощта на линейка, метър и шублер, както и с използването на калкулатор. След повтаряне на необходимите знания е много подходящо учениците да работят в групи със собствено темпо и метод, което води до засилване на читателската грамотност и способността за самостоятелна работа в зависимост от заданието.

Учениците трябва да знаят, че обикновените единици не са подходящи за измерване на разстоянията в космоса. Ще помогне, например, ако се покажат и сравнят различни карти с различни мащаби (карта на държавата/карта на света).

Задача 4: Единици за размерите на планетите в Слънчевата система

Подобно на предишната дейност, и тук става въпрос за създаване на модел на планетите в Слънчевата система. Целта на задачата е да се намерят диаметрите и радиусите на планетите, и да се изчисли колко пъти другите планети са по-големи или по-малки от Земята:

Планета	Диаметър (км)	Земни диаметри
Меркурий	4 880	0,40
Венера	12 103	0,95
Земя	12 756	1,00
Марс	6 794	0,53
Юпитер	142 984	11,23
Сатурн	120 536	9,46
Уран	51 118	4,06
Нептун	49 532	3,88

В по-ниските класове няма проблем планетите да бъдат нарисувани или да бъдат направени от цветен пластилин в посочения мащаб. Във връзка с Задача 2 е възможно да се подготви и планетна пътека (пътека на планетите), например в училищния коридор. В този случай обаче трябва да се отбележи, че мащабът на размерите на планетите е различен от този на разстоянията – ако изберем мащаб, при който 1 au = 1 метър, то диаметърът на Юпитер в този модел би бил по-малък от един милиметър!

След приключване на тези дейности учениците трябва да могат да кажат, че:

- използваме километри (например) за измерване на разстоянията между планетите и техните спътници,
- използваме астрономически единици за измерване на разстоянията между планетите или между централна звезда и планетите в планетните системи,
- използваме светлинни години за измерване на разстоянията между звездите,
- използваме парсеци за измерване на разстоянията между звездите и галактиките.

4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
Задача 1	1 учебен час	средна трудност	14 – 15 годишни	дървен метър, масичка или лабораторна стойка, ролетка	Запознаване с определението за паралакс
Задача 2	2 учебни часа	по-голяма трудност	12 – 14 годишни	ролетка, компас, чертожни принадлежности, калкулатор	Запознаване с методите за измерване на разстоянията в космоса
Задача 3	1 учебен час	средна трудност	12 – 14 годишни	–	Запознаване с единиците за разстояние в Слънчевата система
Задача 4	1 учебен час	средна трудност	12 – 14 годишни	–	Запознаване с единиците за размерите на планетите в Слънчевата система

Задача 1: Паралакс

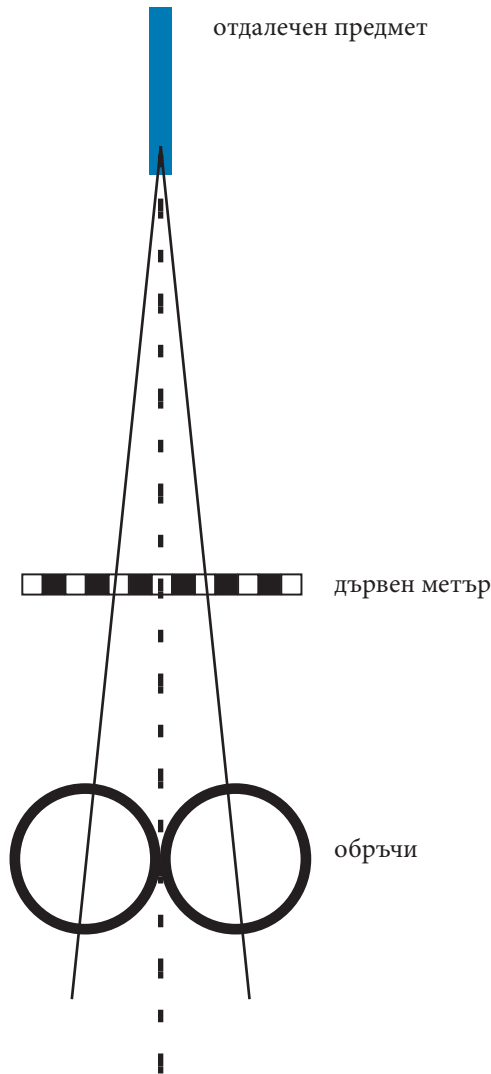
Описаната дейност има за цел да запознае учениците с определението за паралакс и използването му за измерване на разстояния.

Помощни средства

- подходящ отдалечен предмет (дърво, лампа и др.),
- два обръча (или други две помощни средства за отбелязване на двете точки, от където ще протича наблюдението),
- уред за измерване на дължина (например голям дървен метър), масичка или лабораторна стойка,
- ролетка.

Метод

1. Съставете системата така, както е показано на фигурата по-долу. Центърът на дървения метър трябва да бъде в центъра на обръчите и на предмета, чиято отдалеченост искаме да измерим. Той трябва да бъде и на подходяща височина, така че обектът зад него да може да се вижда (например да бъде поставен върху масичката или на стойката). Нека разстоянието между масичката и обръчите да е два метра.

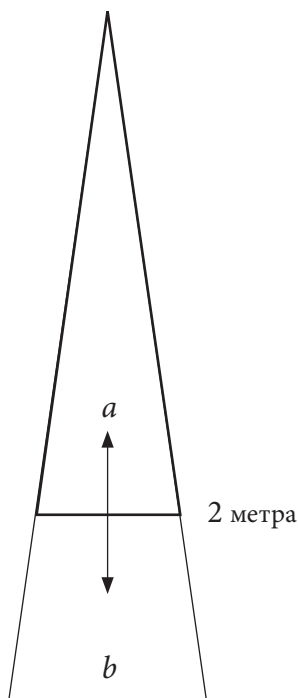


2. В зависимост от това на каква височина е метърът, застанете или седнете в левия обръч и запишете числото върху метъра, където виждате обекта.
3. Направете същото и когато гледате от десния обръч.
4. След това преместете масичката с метъра на два метра по-близо до обекта (измерете разстоянието с ролетка).
5. Повторете измерванията от точки 2 и 3, и запишете всички резултати в таблицата:

Разстояние на близкия обект (масичка с метър)	Число върху метъра, отговарящ на отдалечения обект В ВЛЯВО	Число върху метъра, отговарящ на отдалечения обект В ВДЯСНО
2 метра		
4 метра		

8. Нашата Галактика и други галактики

От стойностите в таблицата изчислете основите на триъгълниците a и b , както е показано на фигурата, и определете разстоянието до наблюдавания обект:



Място за изчисления:

Отговорете на следните въпроси:

- Каква е връзката между отдалечеността на обекта и привидната промяна на позицията му, когато го наблюдаваме от различни гледни точки?
- Къде и как се използва този метод в астрономията?

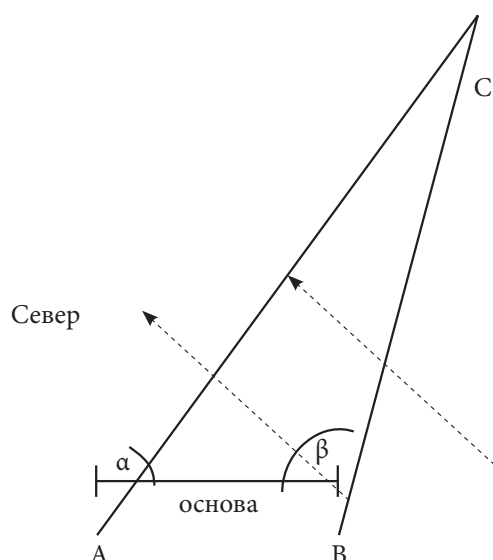
Задача 2: Измерване на разстояния

В тази задача ще измерваме отдалечеността на даден обект и начина, по който това се прави в астрономията. Изберете си един добре видим обект, като например часовниковата кула на кметството, висок комин и др. За да направите измерването ще ви трябват ролетка и компас (в най-лошия случай е достатъчен и компасът в мобилните телефони).

Метод

1. Определете основата на измерването (точки А и В на фигурата по-долу). Тя не трябва да е твърде малка - ако прецените, че обектът е на разстояние от няколко километра, основата трябва да е в стотици метри. Колкото по-малка е основата, толкова по-малка е точността на измерването. За една от точките е добре да изберете, например, завой на улица или кръстовище, така че измерването да може да се провери с помощта на сателитна карта.

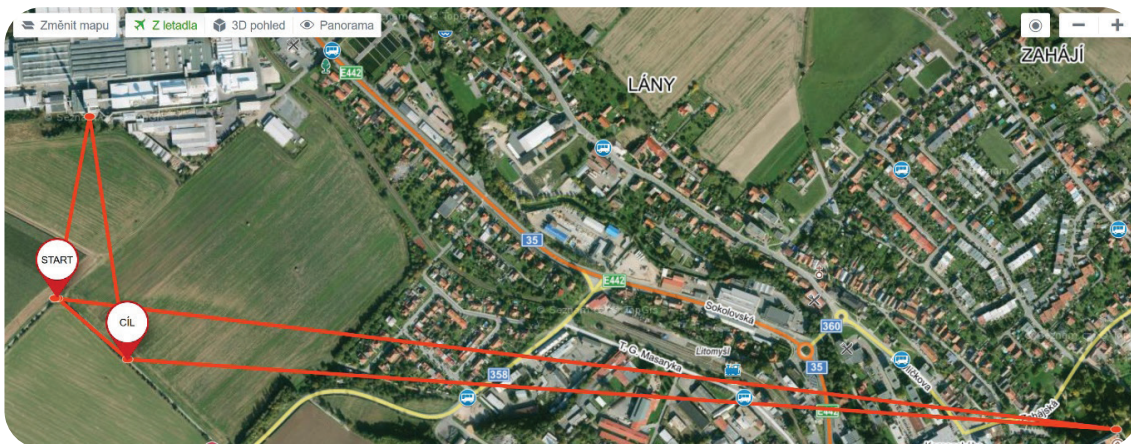
Забележка: Основата е най-лесно да се определи чрез стъпки: Използвайте рулетката, за да измерите дължината от десет стъпки. С изчисление ще определите дължината на една стъпка в метри, а после това изчисление ще може да използвате за определяне на дължината на основата в метри.



2. Използвайте компаса в точка А, за да определите къде се намира север. След това измерете под какъв ъгъл α виждате обекта, чиято отдалеченост искате да измерите (вижте фигурата).
3. Също така определете северната посока и ъгъла β в точка В.
4. С известна дължина на основата $|AB|$ и използвайки ъглите α и β , постройте триъгълника ABC, където точка С отговаря на обекта, чиято отдалеченост искате да определите. Фигурата трябва да бъде например с мащаб 1: 500. По този начин в триъгълника ABC може да бъде измерена отдалечеността на обекта.
5. Отворете подходяща онлайн карта (вижте примера на фигурата) и проверете:
 - а) основната дължина,
 - б) отдалечеността на обекта.
6. Изчислете грешката на измерването по формулата

$$\delta l = \frac{\text{измерено разстояние} - \text{действително разстояние}}{\text{действително разстояние}} \cdot 100 \%$$

Пример за измерване на отдалечеността с помощта на сателитна карта:



Задача 3: Единици за разстояния на планетите в слънчевата система

Използвайте подходящи източници (учебници, таблици, интернет), за да откриете на какви средни разстояния се намират планетите от Слънцето, и да създадете модел в избрания от вас мащаб. Мащабът $1 \text{ au} = 1 \text{ метър}$ може да бъде избран за работа на открито, около училището и т. н., а мащабът $1 \text{ au} = 10 \text{ сантиметра}$ – за работа в клас. И двата варианта са дадени в таблицата:

Планета	Разстояние от Слънцето в au	Разстояние ($1 \text{ au} = 1 \text{ метър}$)	Разстояние ($1 \text{ au} = 10 \text{ сантиметра}$)
Меркурий			
Венера			
Земя			
Марс			
Юпитер			
Сатурн			
Уран			
Нептун			

Опитайте се да създадете прост модел на Слънчевата система заедно със своите съученици – в класната стая или около училището. Измерете разстоянията според таблицата, използвайки рулетката и застанете на такива разстояния един от друг, на каквито се намират планетите от Слънцето. За тази цел може да бъде полезно да се изчисли и разстоянието между отделните планети – от Венера до Меркурий, от Земята до Венера и т. н.

Задача 4: Единици за размерите на планетите в слънчевата система

Използвайте подходящи източници (учебници, таблици, интернет), за да намерите диаметрите или радиусите на планетите и да изчислите средните стойности. След това изчислете колко пъти по-големите планети са по-големи от Земята, и колко пъти по-малките планети са по-малки от Земята (използвайте десетичното число, за да изразите диаметрите на планетите в земни диаметри).

Планета	Диаметър (км)	Земни диаметри
Меркурий		
Венера		
Земя		1,00
Марс		
Юпитер		
Сатурн		
Уран		
Нептун		

Планетите в подходящ мащаб (напр. Юпитер с диаметър 5 см) могат да бъдат моделирани от цветен пластилин, а всяка планета също може да бъде нарисувана в подходящ мащаб. Във връзка със Задача 2 е възможно да се подготви и планетна пътека (пътека на планетите), например в училищния коридор.

РАЗСТОЯНИЯ ВЪВ ВСЕЛЕНАТА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

„Пространството е... голямо. Наистина много голямо. Не бихте повярвали колко е огромно и колко невероятно голямо е то.“

(Дъглас Адамс, Пътеводител на галактическия стопаджия)

1.1 Вселената е невъобразимо голяма

Вселената е огромна и според човешките стандарти е трудно дори да си представим разстоянията в Слънчевата система, да не говорим за разстоянията между звездите или галактиките. Освен това, измерването на разстоянията в космоса обикновено е доста трудно и, както казахме в предишните части, за да работим с „разумно“ големи числа, използваме различни единици в различни мащаби. Въпреки че на нас са ни достатъчни стотиците и хилядите километри за Земята и намиращите се около нея спътници, за разстоянията в Слънчевата система най-показателна е астрономическата единица (au), а за тези извън Слънчевата система – светлинните години (ly) или парсеците (pc) и техните производни (kly, Mly, Gly, kpc, Mpc). **Обикновено космическото пространство е разделено на междупланетно (в рамките на Слънчевата система или подобни системи от екзопланети около други звезди), междузвездно и междугалактично.**

Не само известният немски философ **Имануел Кант** (1724 – 1804) е бил изумяван от звездното небе. Хората винаги са виждали огромното му величие (макар и да е трудно да си го представим, още от древни времена до днес хората многократно са установявали, че Вселената е много по-голяма, отколкото са смятали). Те също така са се възхищавали от групирането на някои от звездите (сега известни като съзвездия) и са измисляли редица митове за произхода им (дори ние, гледайки съзвездията Персей, Касиопея и Орион, си спомняме за героите от древногръцката митология). Очевидно е, че звездите не са равномерно разпределени по небето, а образуват групи. Съвременните телескопи ни показват, че дори галактиките, поради гравитационното привличане помежду си, се групират в сложни модели, за да образуват локални групи от галактики и купове от галактики, както и изключително дълги „влакна“ от стотици милиони светлинни години.

1.2 КЛЮЧОВИ ДУМИ

светлинна година

галактика

местна група от галактики

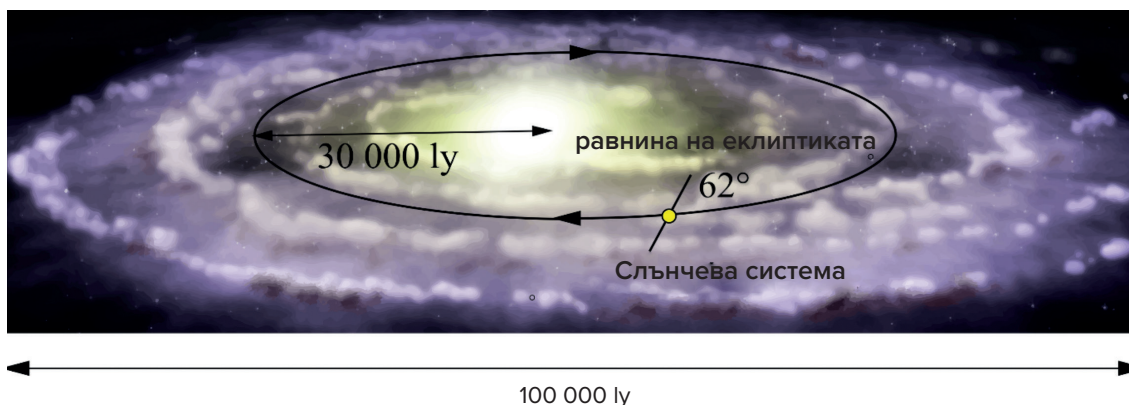
куп от галактики

стандартна свещ

разширяване на Вселената

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

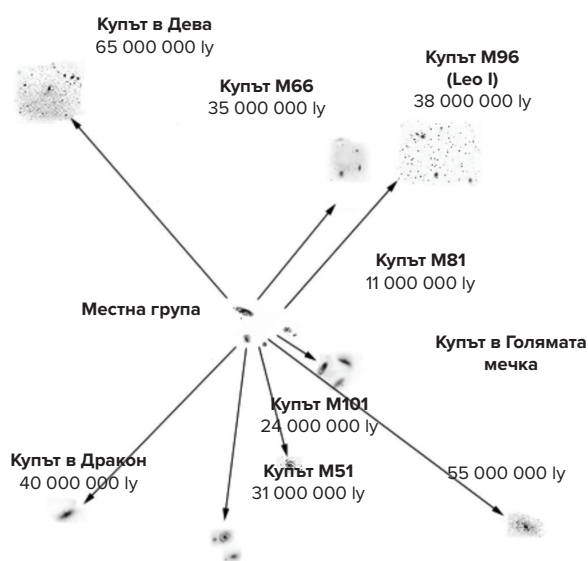
Нашето Слънце и около 200 милиарда други звезди образуват нашата Галактика, т.е. Млечният път. Ако бихме могли да я разгледаме от разстояние от милион светлинни години, щяхме да видим, че по-голямата част от звездите в нея са подредени във форма на диск с диаметър над 100 000 ly. Подобна форма имат и някои други галактики, като например М31 в съзвездието Андромеда, наричана също галактика Андромеда. Слънчевата система се намира на около 30 000 ly от центъра на Галактиката (Фиг. 1) и се движи по орбитата си около него (и по този начин и всеки един от нас) с огромната скорост от 230 км/сек, а едно пълно завъртане отнема 240 милиона години.



Фигура 7. Илюстрация на размерите на нашата Галактика (Млечният път). Показаният размер на Слънчевата система не съответства на мащаба – тя е по-голяма, за да бъде видима. Равнината на еклиптиката сключва ъгъл 62° с галактическата равнина. (Източник: [http://](http://.....))

8. Нашата Галактика и други галактики

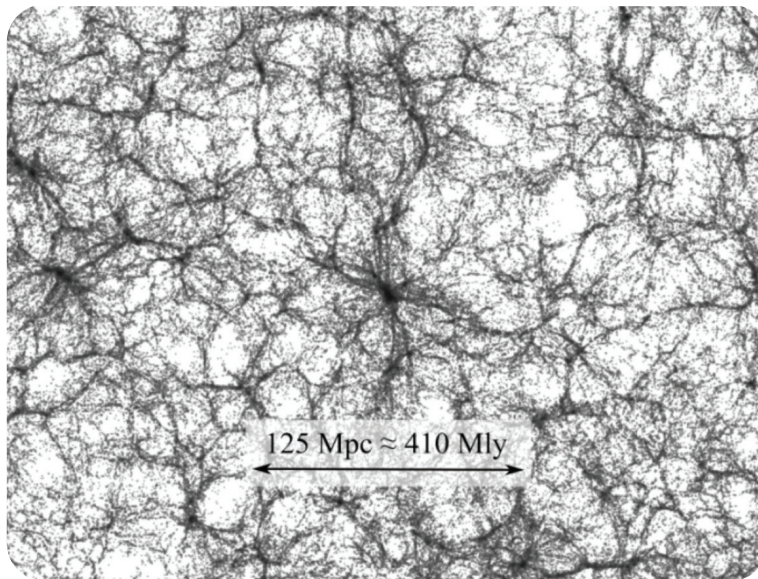
Подобно на звездите, и галактиките са групирани в по-големи образувания. Нашата Галактика, заедно с галактиката М31 (Андромеда), галактиката М33 в Триъгълник и три десетки други по-малки галактики, образуват отделна система, наречена „Местна група от галактики“. Галактиката М31 се приближава към нашата Галактика със скорост 200 км/сек и ще се сблъска с Млечния път след около един милиард години. Други добре познати „членове“ на Местната група от галактики са неправилните галактики, наречени Голям и Малък Магеланов Облак – неправилни галактики-джуджета, отдалечени от нашата Галактика на около 200 000 ly. Понякога Местната група от галактики наричаме и Местен куп от галактики (Фигура 2). Най-големите представители в него са нашата Галактика и галактиката М31 в Андромеда.



Фигура 8. Разстояния да някои купове от галактики, „в близост“ до Местната група (източник: <https://imagine.gsfc.nasa.gov>)

Гигантският куп от галактики в съзвездие Дева е на около 60 000 000 ly от нашия Млечен път. Той оформя центъра на местен свръхкуп от галактики, понякога наричан и „супергалактика“. Той съдържа около 100 000 галактики и заема площ от 100 милиона ly. Днес са известни десетки супергалактики, които се намират в своеобразни „разпределителни възли“ (на Фигура 9 виждаме, че тази структура наподобява плетеница от влакнести мрежи).

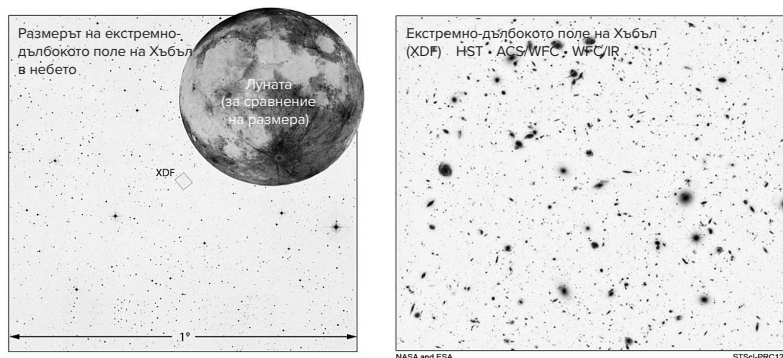
В наши дни сме в състояние да наблюдаваме много отдалечени части на Вселената, а по този начин - и дълбоко в нейното минало. Пример за това е новото **Екстремно-дълбоко поле** (много малка част от Ултра-дълбокото поле на Хъбъл, на английски eXtreme Deep Field, или XDF): композитно изображение, съставено от наблюдения, направени за период от 10 години на малка част от дълбокото космическо пространство в съзвездие Пещ (на латински Fornax). Става въпрос за изображение на една много далечна част от Вселената, което позволява да се „погледне“ почти до 13 милиарда години назад във времето, и да се видят галактики (повече от 5 000 на брой в т. нар. Малката зона на небето), някои от които ги виждаме такива, каквито са били между 400 и 800 милиона години след Големия взрив (Фигура 10).



Фигура 9. Компютърна симулация за разпределението на галактиките във Вселената в галактични нишки (източник: <https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/index.shtml>)

Заради разнообразието от разстояния използваме различни единици на измерване. Преди повече от 2200 години Ератостен от Кирине е определил периметъра на Земята, а оттам и нейния радиус. Приблизително по същото време Аристарх Самоски, със сложни разсъждения, е пресметнал, че Луната има радиус 3,7 пъти по-малък от този на Земята и че разстоянието ѝ от Земята е около 60 пъти по-голямо от радиуса на Земята. Потоващото определяне на разстоянието Земя-Слънце е бил по-сложен проблем. Въпреки че Кристиан Хюйгенс вече бил изчислил тази стойност доста точно през 1659 г., през втората половина на 19-ти век все още не е имало консенсус по въпроса. През 1838 г. Фридрих Вилхелм Бесел е измерил първия паралакс на звездата 61 от Лебед (61 Cygni, избрал я е заради голямото ѝ собствено движение по небето (на стойност от 5,2 дъгови секунди за година, което предполага, че звездата е наблизко; по днешни измервания тя е на разстояние от около 11 ly). През 1925 г. американският астроном Едуин Хъбъл направил друга легендарна стъпка към далечната Вселена, като определил отдалечеността на галактиката М31 на един милион светлинни години (2 500 000 Mly по днешни измервания).

История на измерването на разстояния в космоса

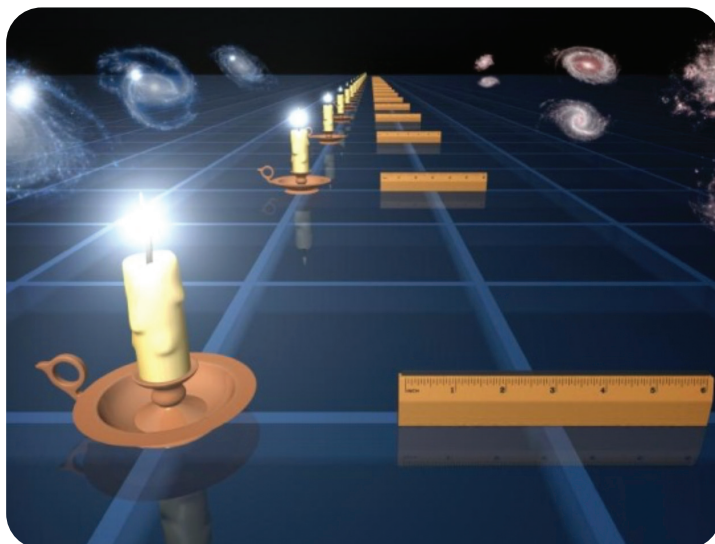


Фигура 10: Екстремно-дълбокото поле на Хъбъл, гледащо към най-отдалечените области на космоса (източник: NASA, ESA, <http://hubblesite.org/images/news/release/2012-37>)

8. Нашата Галактика и други галактики

По-малките разстояния в Слънчевата система днес измерваме с помощта на радар или лазер, така че познаваме разстоянието Земя-Луна с точност от няколко милиметра. Паралаксът може да се използва за разстояния до 1000 ly. Спътникът Хипарх (Hipparchos), носещ името на едноименния древногръцки астроном Хипарх, по метода на паралаксите измерва разстоянието до над 120 000 звезди в периода между 1989 и 1993 г. Измерванията на спътника Гая (Gaia), изстрелян през 2013 г., определят разстоянията до около един милиард звезди с голяма точност.

За да определим по-големи разстояния, използваме законите, според които далечните звезди светят по-слабо – от една звезда със същата повърхност, но на двойно разстояние, улавяме четири пъти по-малко от излъчената енергия. Трябва обаче да разберем каква светимост има една звезда, т.е. колко енергия в секунда излъчва тя. За Слънцето, интензитетът на излъчването (т.е. светимостта) е огромен: $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$ (АЕЦ „Темелин“ е с мощност $2 \cdot 10^9 \text{ W}$). **Източник, за който знаем или можем да изчислим светимостта, се нарича „стандартна свещ“ (Фиг. 11).**



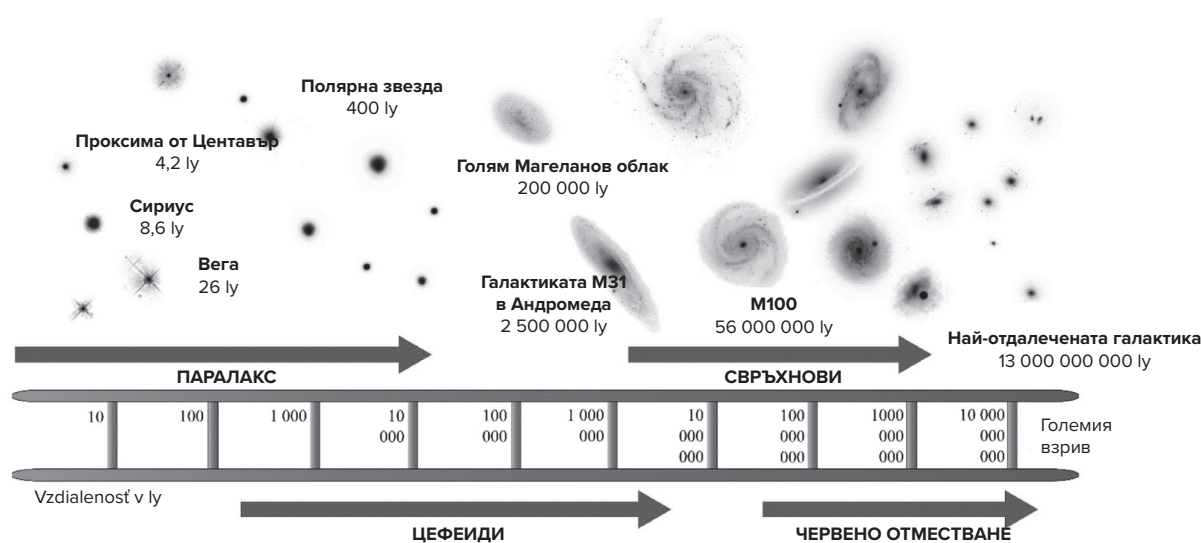
Фигура 11. Принципът на стандартната свещ – същата свещ ще става все по-слаба с отдалечаване от нас, защото улавяме по-малко излъчена енергия на същата повърхност на телескопа; ние знаем принципа също и от нощно наблюдение на например улични лампи на дълга улица – от отдалечените от нас ние улавяме по-малко светлина. (Източник: NASA, https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/pia14095.html)

Цефеиди и свръхнови Като стандартни свещи можем да използваме цефеидите – пулсиращи променливи звезди, при които лесно можем да измерим периода на промените в техния блясък, който е свързан със светимостта им. **Ако измерим периода на изменение на блясъка, можем да изчислим и светимостта на цефеидата.** След това, използвайки светимостта и наблюдавания блясък, можем да определим разстоянието до нея. За първи път е използвана за измерване на разстояние от Хенриета Суон Ливит (анг. Henrietta Swan Leavitt) през 1912 г. **С помощта на цефеидите Едуин Хъбъл открива разширяването на Вселената през 1929 г.**

Друг вид стандартна свещ могат да бъдат свръхновите от тип Ia, които можем да наблюдаваме от разстояние не само от милиони, но дори и от милиарди светлинни години. Става въпрос за последната фаза от живота на двойна звезда, образувана от бяло джудже и гигант (или свръхгигант), разстоянието между които е сравнително малко (такива двойни звезди се наричат “тесни двойни системи”). Ако има прехвърляне на вещество от гигантската звезда към бялото джудже, бялото джудже увеличава масата си, а когато надхвърли масата на Слънцето 1,4 пъти следва гигантска експлозия, при която в рамките на няколко секунди се отделя повече енергия, отколкото енергията, отделяна от стотици милиарди слънца. Следователно, цефеидите и свръхновите от тип Ia са важна част от космическата „стълба на разстоянията“ (Фиг. 12).

Безкрайно ли е космическото пространство? Отговорът е несигурен, но ние приемаме, че Вселената няма граница (трудно е да си представим как би изглеждал знакът „край на Вселената“ и какво би следвало след него). Следователно, Вселената трябва да е или безкрайна, или затворена, подобно на земната сферична повърхност, която може да се обиколи. Ние всъщност не наблюдаваме цялата Вселена, а само част от нея – т. нар. Наблюдаема вселена или Видима вселена. Границата ѝ се определя от крайната скорост на светлината – можем да наблюдаваме само онази част от Вселената, от която светлината (или друго електромагнитно излъчване) е успяла да достигне до нас по време на съществуването на Вселената (около 14 милиарда години).

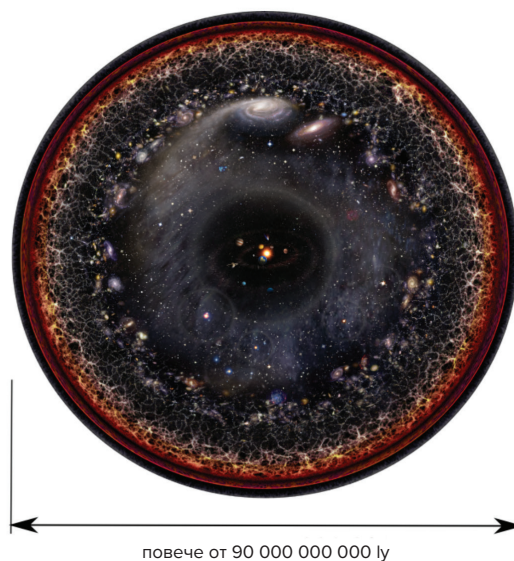
Безкрайността на Вселената



Фигура 12: Използваме различни методи и техники за определяне на разстоянията до звездите и галактиките. Важно е да се запомни, че различните методи винаги се припокриват за диапазон от разстояния, така че определянето на по-големи разстояния може да бъде зададено чрез измерване на по-малки разстояния. Постепенно ние се „изкачваме“ до най-отдалечените космически обекти и говорим за „Стълба за космически разстояния“ (англ. cosmic distance ladder; вж. http://hetdex.org/images/dark_energy/scaling_the_universe_ladder_hr.jpg)

На пръв поглед изглежда, че радиусът на наблюдаваната Вселена ще бъде до само 14 Gly. През 1929 г. обаче, Едуин Хъбъл открива още една важна характеристика на нашата Вселена, а именно – че пространството се разширява, разстоянията между галактиките също се разширяват, а обект, който преди 13 милиарда години е бил на разстояние от 13 Gly, сега е много по-далеч. Следователно, сега смятаме, че радиусът на наблюдаваната вселена е 45 Gly (Фиг. 13).

8. Нашата Галактика и други галактики



Фигура 13: *Опит за илюстрация на видимата Вселена. За нас, като наблюдатели, Слънчевата система се намира в центъра (който е мислен и не е истински) и ние наблюдаваме различни структури и обекти на различни разстояния – тела от Слънчевата система, звезди от Млечния път, близки и далечни галактики, галактики в най-ранните стадии от живота им ... „и накрая“ – реликтовото микровълново излъчване, датиращо само 400 000 години след Големия взрив (Източник: Уикипедия)*

Освен това, благодарение на свръхновите от тип Ia, през 90-те години беше установено, че Вселената се разширява все по-бързо. Най-вероятното обяснение за това е, че във Вселената има голямо количество т. нар. тъмна енергия (действаща противоположно на гравитацията), която все още не познаваме добре. За това откритие Нобеловата награда за физика за 2011 г. беше присъдена на американските учени Саул Перлмутер, Брайън П. Шмит и Адам Г. Риес.

3. МЕТОДИЧНИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

3.1 Разстояния и размери във Вселената

Целта на задачите е да подсили представата за съотношенията в пространството, които дори и възрастните трудно си представят. Ако разстоянията се търсят в интернет, или за това се използват различни програми, е важно да се има предвид, че данните, събрани от различни източници, могат да варират, но като цяло трябва да са подобни. Трябва да се подчертае, че определянето на разстоянията е трудно и следователно няма смисъл да се спори за три или повече цифри след запетаята. Дори стойностите на константи и количества в работния лист са приблизителни (въпреки че, например, скоростта на светлината по дефиниция е определена в системата SI като точно 299 792.458 км/сек) и обикновено закръгляваме и изчислените стойности (най-често до 2 цифри след запетаята).

При изчисленията в астрономията и астрофизиката, ние се срещаме с големи числа (можем просто да кажем, че използваме различни единици като au, ly и Mpc, само за да не се налага да пишем числа с много нули). От математическата подготовка на учениците зависи дали използваме позициониране от типа 100 000 000 000 или просто изрази 100 милиарда.

Задача 1: Разстояния на космическите обекти от Земята

Подредете следните космически обекти според това колко далеч са те от Земята – от най-голямото до най-малкото разстояние. Ако имате връзка с интернет, опитайте се да определите разстоянията.

Определете разстоянията на Международната космическа станция – МКС (анг. The International Space Station – ISS), Полярната звезда, Юпитер, галактиката Андромеда (M31), центъра на нашата Галактика, галактиката NGC 4414 в съвездието Косите на Вероника, Луната

Решение: МКС (около 400 км, т. е. 0,0013 светлинни секунди), Луната (384 000 км, т. е. 1,3 светлинни секунди), Юпитер (5,2 au, т. е. 2600 светлинни секунди, 43 светлинни минути), Полярната звезда (около 400 ly), центъра на нашата Галактиката (30000 ly), галактиката M31 в съвездието Андромеда (около 2,5 милиона ly), галактиката NGC 4414 в съвездието Косите на Вероника (около 60 милиона ly).

Данните в различните системи са дадени в различни единици (км, ly). Подходящо е да се използва само една система за сравнение (например светлинни секунди, минути или години). За някои обекти, като например за Полярната звезда, разстоянието не е точно и в литературата са дадени различни стойности. Ако имате повече време, можете да потърсите и масите на космическите обекти. Дейността може да бъде допълнена с показване на видео клипове или анимации (напр. Huang, C. The Scale of the Universe 2 или Obreschkow, D. Cosmic Eye).

Задача 2: Размери на космическите обекти

Подредете следните космически обекти по размер (типичен размер) – от най-малките до най-големите обекти. Ако имате интернет връзка, опитайте да добавите размерите.

Определете размерите на планетата Сатурн, Слънцето, ядрото на Халеевата комета, спътника на Юпитер Йо, нашата Галактика, метеорит, нашата Местна група от галактики, астероида Веста

Решение: метеорит (размерите варират от няколко см или десетки сантиметра – по-малко трудно се намират – до 2,7 м – метеорит Хоба, намерен през 1920 г. в Намибия), ядрото на Халеевата комета (около 10 км), астероида Веста (среден диаметър от около 525 км), спътника на Юпитер Йо (средно около 3600 км, което е приблизително 1/4 от радиуса на Земята), планетата Сатурн (среден радиус от 58 000 км, среден диаметър от 116 000 км; планетата е около 9 пъти по-голяма от Земята), Слънцето (среден диаметър от близо 1 400 000 км, т. е. 109 пъти по-голям от този на Земята), нашата Галактика (среден диаметър от около 100 000 ly), нашата Местна група от галактики (среден диаметър от около 10 000 000 ly).

Задача 3: Светлинен лъч

Колко време пътува един светлинен лъч над България в посока от изток на запад?

планетата Сатурн, Слънцето, ядрото на Халеевата комета, спътника на Юпитер Йо, нашата Галактика, метеорит, нашата местна група от галактики, астероида Веста

Решение: Обозначаваме въведените стойности по следния начин

$$d = 520 \text{ km}, c = 300\,000 \text{ km/сек.}$$

$$\text{За времето } t \text{ получаваме: } t = d/c = 520/300\,000 \text{ s} \approx 0,0017 \text{ s.}$$

Можем също да опитаме да преценим – ако закръглим разстоянието на 500 км, виждаме, че скоростта възлиза на 5/3 от 0,001 секунди, което след закръгляване съответства на изчислената по-горе стойност.

Задача 4: Пътуване до Проксима Центавър

Най-близката звезда извън нашата Слънчева система е Проксима Кентавър или Проксима Центавър (Proxima Centauri), която е на около 4,2 ly. Колко време ще отнеме, за да стигнем дотам:

- а) с влак Пендолино, имащ скорост от 250 км/ч;
 б) със самолет Еърбъс, имащ скорост от 800 км/ч;
 в) с космическата сонда Вояджър, имаща скорост от 17 км/сек?

Решение: Разстоянието превръщаме в километри:

$$d = 4,2 \text{ ly} = 4,2 \cdot 9\,500\,000\,000\,000 \text{ km} \doteq 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km}.$$

За да преобразуваме стойността в години използваме въведената стойност: 1 година \approx 8760 часа. За отделните времена после получаваме:

$$t_a = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 250 \text{ км/ч} \doteq 160\,000\,000\,000 \text{ часа} \doteq 18\,000\,000 \text{ години},$$

$$t_b = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 800 \text{ км/ч} = 50\,000\,000\,000 \text{ часа} \doteq 5\,700\,000 \text{ години},$$

$$t_v = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 17 \text{ км/с} \doteq 2\,400\,000\,000\,000 \text{ s} \doteq \\ \doteq 650\,000\,000 \text{ часа} \doteq 75\,000 \text{ години}.$$

За космическата сонда Вояджър можем да изчислим скоростта и в км/ч, т.е. $v = 17 \cdot 3\,600 \text{ км/ч} = 61\,200 \text{ км/ч}$. После, също както в подточки а) и б), можем да напишем следното:

$$t_v = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 61\,200 \text{ км/ч} \doteq 650\,000\,000 \text{ часа} \doteq 75\,000 \text{ години}.$$

Целта на задачата е да се добие представа за голямото разстояние, базирано на опита на пътуването ни днес с обикновени средства (влак, самолет) и с космическата сонда Вояджър. Тя е изстреляна на 5 септември 1977 г. и за 40 години е изминала разстоянието от „само“ 140 au (т. е. приблизително 0.0022 ly). Според данните от юни 2018 г., които понастоящем можем да намерим в интернет, много е вероятно да загубим контакт със сондата в рамките на няколко години. Предполага се, че след 2025 г. сондата вече няма да има достатъчно мощност нито за комуникация, нито за извличане и изпращане на каквито и да е данни.

При това обаче, първите две времена се оказват огромни – преди 5,7 или 18 милиона години на Земята не е имало нито хора, нито дори хоминиди от рода австралопитек. Разбира се, ние не вземаме предвид огромното количество гориво и енергия, необходими за движението на един влак или самолет за толкова дълго време. При това мислим за най-близката звезда извън границите на Слънчевата система!

Задача 5: Облак на Оорт

Сферичната обвивка, наречена Облак на Оорт, с диаметър от около 200 000 au, понякога се счита за граница на Слънчевата система. Колко пъти Слънчевата система би се „вписала“ в диаметъра на нашата Галактика?

8. Нашата Галактика и други галактики

Решение: Изчислението може да бъде направено почти по памет, тъй като диаметърът на галактиката е 100 000 ly, диаметърът на Слънчевата система е 200 000 au, а $1 \text{ ly} \approx 63\,000 \text{ au}$. Резултатът от горното изчисление е следният $n = 100\,000 \cdot 63\,000 \text{ au} / 200\,000 \text{ au} = 63\,000 / 2 = 31\,500$. Т.е. Слънчевата система ще се впише в Галактиката около 31 500 пъти.

Размерите на Облака на Оорт са приблизителни, външните граници на Слънчевата система не са ясно определени. Ако си представим Слънчевата система като сфера с радиус от 1 м (колкото размера на един човек), диаметърът на нашата Галактика би отговарял на разстоянието от 31,5 км, т.е. малко повече от разстоянието от центъра на София до центъра на Елин Пелин.

Задача 6: Галактиката GN-z11

Галактиката GN-z11 от съзвездието Голямата мечка, открита през 2016 г. от космическия телескоп Хъбъл, е сред най-често наблюдаваните далечни космически обекти във Вселената. Сега предполагаме, че тя се намира на разстояние от около 9 800 Мрс. Колко светлинни години са това? Колко пъти това разстояние е по-голямо от диаметъра на Галактиката?

Решение: Използвайки, че $1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ ly}$, или $1 \text{ Мрс} \approx 3\,260\,000 \text{ ly}$, получаваме

$$d = 9\,800 \cdot 3\,260\,000 \text{ ly} \doteq 32\,000\,000\,000 \text{ ly} = 32 \text{ Gly}.$$

В сравнение с диаметъра на Галактиката (100 000 ly), откриваме, че Млечният път може да влезе 320 000 пъти в рамките на посоченото по-горе разстояние. Това е огромно число – ако си представим, че цялата ни Галактика е една глава на карфица (около 1 мм), то тогава галактиката GN-z11 ще лежи на разстояние от 320 м, т. е. на повече от три футболни игрища (има се предвид по дължина).

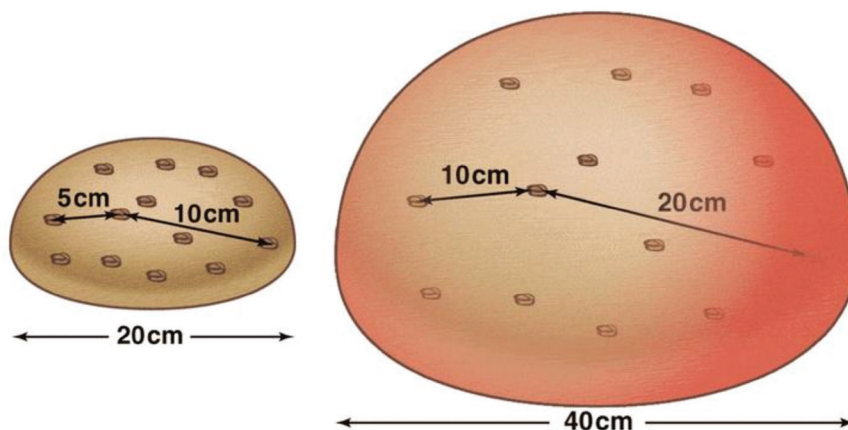
Цел на задачата

Цел на задачата: Целта на задачата е да си припомним единицата Мрс и преобразуването и в ly, с което всъщност работим най-често в тази глава и работните листове към нея. Мегапарсекът (Мрс) е и най-често използваната единица за разстояние между галактиките, въпреки че е твърде голяма за разстоянията в нашата Местна група от галактики; например за галактиката М31 в съзвездието Андромеда излиза, че разстоянието е $2\,500\,000 \text{ ly} \doteq 0,77 \text{ Мрс}$. За далечни галактики получаваме стойности на единиците до хиляди Мрс, например за купът от галактики в съзвездието Дева получаваме $65\,000\,000 \text{ ly} \doteq 20 \text{ Мрс}$, което всъщност са „разумно големи“ числови стойности.

Любопитните ученици могат да попитат как един космически обект може да се види на разстояние от 32 милиарда ly, ако днес смятаме, че възрастта на Вселената е по-малка от 14 милиарда ly, и следователно – светлината би могла да измине максимум 14 милиарда ly. За да отговорим, трябва да посочим, че в момента, в който галактиката е излъчила наблюдавания сигнал е била на разстояние от около 13,4 милиарда ly (сигналът, за да достигне до нас, в действителност е преминал това разстояние), но самата галактика междувременно, благодарение на разширяването на Вселената, се е отдалечила от нас на двойно по-голямо разстояние. Този феномен, който не се взема предвид в Слънчевата система или в нашата Галактиката, трябва обаче да се вземе предвид при много отдалечени обекти. Следният работен лист също е насочен към него.

Задача 7: Балонен модел на разширяване на Вселената

Изобщо не е лесно да си представим разширяването на Вселената. Още повече, че се ограничаваме само до основните ѝ характеристики. Прилага се само за големи разстояния и между космически обекти, чието гравитационно привличане може да бъде пренебрегнато – обикновено между галактики, отдалечени на десетки милиони светлинни години и повече една от друга. И обратно, в рамките на Слънчевата система, Млечния път или Местната група от галактики, ние не наблюдаваме и не вземаме предвид този ефект поради наличието на гравитация (например галактиката М31 от нашата Местна група не се отдалечава от Млечния път, точно обратното – след около един милиард светлинни години ще се сблъска с него).



Фигура 14. Модел на разширяващата се Вселена.

(Източник: NASA, https://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_tests_exp.html)

8. Нашата Галактика и други галактики

Цел на задачата

Целта на дейността и работния лист е да се създаде представа за това как галактиките се отдалечават една от друга. Ситуацията може да се сравни със стафидите във втасващо тесто (виж Фигура 14). Гуменият балон, използван в дейността, е лесно достъпен като помощно средство, но в сравнение с нашата триизмерна вселена, площта на балона се различава по това, че тя има само две измерения. Моделът показва, че по отношение на площта на балона няма смисъл да се занимаваме с някакъв център на разширение, тъй като той със сигурност не лежи на повърхността му (в балона бихме го търсили някъде „вътре“, но в пространството това не можем да направим). Вместо точки, нарисувани с маркер, можем да използваме малки стикери (като например етикети за цени или стикери за коледни звезди; трябва обаче да помним, че разширяването се отнася до разстоянията между галактиките, а не до звездите в галактиките). Определянето на разстоянията в три последователни стъпки трябва да покаже, че колкото по-далеч са галактиките (стикерите на балона) от нашата Галактика, толкова по-голямо е разстоянието след всяко едно надуване (увеличава се и скоростта на отдалечаване).

Ако искахме да отделим повече време на тази тема, бихме могли да свържем разстоянията със стикер, различен от стикера G. И в този случай бихме могли да открием същата зависимост – по-отдалечените от нас стикери се отдалечават все по-надалеч и по-бързо. В този смисъл нашата Галактика не е „центърът на Вселената“, а от гледна точка на всяка друга галактика разширяването изглежда по един и същ начин.

За по-любопитните ученици можем да добавим, че за скоростта на “разбягване” на галактиките важи относително простият **закон на Хъбъл**:

$$v = Hd,$$

където d е разстоянието до галактиката, а H е т. нар. параметър на Хъбъл, чиято стойност се променя с течение на времето. Текущата стойност се нарича **константа на Хъбъл** H_0 и нейната стойност е около 70 километра за секунда на мегапарсек. В константата можем да видим и вече познати единици - скоростта, измервана в km/s и разстоянието, измервано в Mpc. Можем да определим скоростта на отдалечаване от спектъра на електромагнитното излъчване. Тъй като не става въпрос за собственото движение на галактиките в пространството, а за разширяването на самото пространство, то разширяването може дори да надвиши скоростта на светлината (за много далечни галактики). Именно с помощта на скоростта на разширяването и константата на Хъбъл се изчисляват най-големите разстояния във Вселената, което не можем да направим по никакъв друг начин.

Задача 8: Модел на съзвездието Орион

Пространствените модели на Слънчевата система са доста често срещан и доказан метод за изграждане на концепцията за разстоянията и разположението на отделните космически обекти, и могат да бъдат намерени на много места).

Цел на задачата

Целта на дейността е да се създаде пространствен модел на съзвездието, където да покажем, че звездите, които виждаме близо една до друга в небето и принадлежат към едно съзвездие, всъщност се намират на различни разстояния от нас. Освен това можем да разгледаме съзвездието от различни ъгли и да покажем, че разположението, което виждаме в небето, е само проекция на реалното разположение, която виждаме, гледайки от една конкретна точка.



Фигура 15. Инсталация, показваща съзвездието Орион пред сграда във Великобритания (взето от Brown, 2013). Камъните маркират „новия контур“ на съзвездието, когато се гледа отгоре.

Моделът може да бъде направен в различен мащаб – така, както на чина в класната стая, така и извън училището в рамките на деня за екскурзии или зелено училище (вижте Фиг. 15; в този случай се нуждаем от пространство най-малко 3 м × 15 м). Учениците трябва да имат представа какво е мащаб (ако трябва, това може да им се напомни). Въз основа на подобен принцип можем да проектираме и модел на друго съзвездие (например според избора на учениците), на Слънчевата система (напр. в мащаб 1 au = 10 см, при който моделът на Нептун ще бъде на разстояние 3 м от модела на Слънцето) или на нашата Галактика (например в мащаб 100 000 ly = 1 м, при който Слънчевата система ще бъде на разстояние 30 см от центъра на диска с дебелина 15 см в централната част). Отново напомняме, че ако работим с различни източници, данните за междузвездните разстояния могат да варират, но най-важна е систематичността (десетки, стотици, хиляди ly).

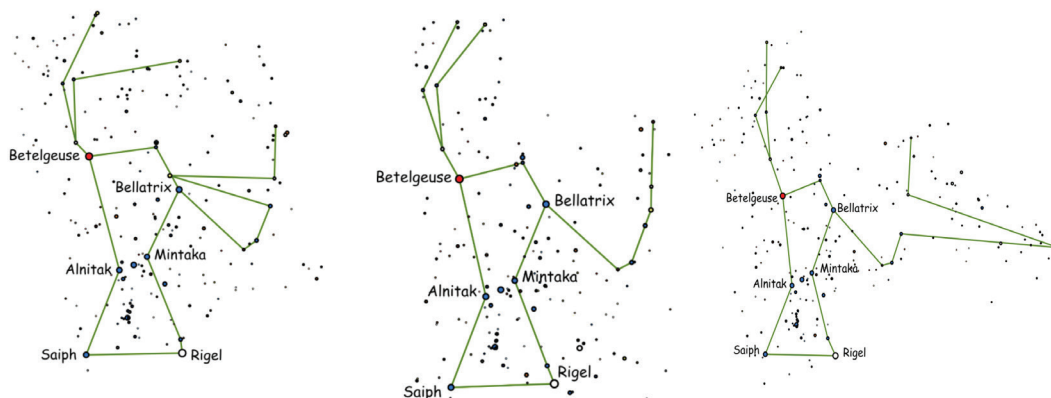
8. Нашата Галактика и други галактики

Работата по модела предлага възможност за използване на връзки с други учебни предмети (труд и творчество, рисуване, история, български език и литература). Ако погледнем създадения модел от различни страни, можем да използваме въображението на учениците и да им предложим да измислят различно име за съзвездието, подходящо за наблюдателя в други части на Галактиката (можем да подчертаем, че звездите, които различаваме поотделно в небето, са част от нашата Галактика, а не са част от други галактики). Даването на имена на съзвездията е също възможност да си припомним различни митове и легенди.

На модела може да се покаже, че светлината от звездите, която сега наблюдаваме, е била излъчена от различните звезди в различно време; имайки предвид мащаба на нашия модел, предложен в работния лист, светлината преминава 1 см за 10 години. Времето на излъчване на светлината, която наблюдаваме в момента, можем да свържем с исторически събития, случили се преди 450, 650 или 1300 години.

Използвайки звездите от съзвездието Орион, също така, могат да се коментират различните фази на „живота“ и еволюцията на звездите. Възрастта им обикновено не достига геоложката възраст на Земята, която е 4,5 милиарда години. Най-младите звезди в Орион се намират в мъглявината М42, която е на възраст от около 10 000 – 300 000 години. Следователно, те са се образували в момента, когато на Земята са живели неандерталците, съответно първите членове на голямото семейство на Хомо сапиенс. Възрастта на звездите Минтака и Алнилам от съзвездието Орион варира от 3 до 6 милиона години и съответства на времето, когато на Земята са живели хоминидите от рода австралопитек. Възрастта на червения гигант Бетелгейзе е около 10 милиона години, което означава, че към момента на създаването му на Земята не е имало нито хоминиди, нито дори пасища и савани, каквито познаваме днес.

Допълнителните задачи могат да се изпълняват от учениците поотделно, но те могат да се направят заедно от целия клас, или да бъдат дадени за домашно. Използвайки различни компютърни програми, днес можем доста лесно да наблюдаваме промяната на относителното положение на звездите във времето (Фиг. 16) и да осъзнаем, че въпреки че за няколко човешки поколения те са „неподвижни звезди“, относителното им положение и разстояние се променят, макар и за по-дълъги периоди от време. С помощта на различни компютърни програми могат да се нарисуват и линии, свързващи звездите в съзвездия, но подчертаващи тяхното разнообразие.



Фигура 16. Съзвездие Орион във времето
(генерирано от SkyChart/Cartes du Ciel, модифицирано)

4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
1. Разстояния и размери във Вселената	20 – 30 минути	задача с ниска до средна трудност	13 – 15	енциклопедия, атлас или интернет / компютърна програма Stellarium или Star chart, калкулатор	припомняне на разстоянията и размерите на обектите във Вселената, изчисляване на различни разстояния
2. Балонен модел на разширяване на Вселената	20 – 30 минути	умерено трудна задача	14 – 15	гумени надуваеми балони, маркер или самозалепващи се декоративни звезди, хартиен или шивашки метър, калкулатор	моделиране разширяването на Вселената и определяне на разстоянията в нея
3. Модел на съзвездие Орион	1 – 2 часа	отнема повече време, зависи от прецизността	13 – 15	шишче, хартия, самозалепващата лента или тиксо, ролетка, цветна хартия или пастели/ маркери, лепило, полистиролова дъска, достъп до интернет или компютърна програма Stellarium или Star chart	създаване на пространствен модел на съзвездие, звездите в него не са отдалечени от нас на едно и също разстояние

8. Нашата Галактика и други галактики

Задача 1: Разстояния и размери във вселената

1. Подредете следните космически обекти според това колко далеч са те от Земята – от най-голямото до най-малкото разстояние. Ако имате връзка с интернет, опитайте се да определите разстоянията.



(Източник на картинките: Уикипедия)

МКС

Полярната звезда

Юпитер

Галактиката М31 в Андромеда

Центъра на нашата Галактика

Галактика NGC 4414 в съзвездието Косите на Вероника

Луната

2. Подредете следните космически обекти по размер (типичен размер) – от най-малките до най-големите обекти. Ако имате интернет връзка, опитайте да добавите размерите.

Сатурн (планета) _____

Йо (спътник на Юпитер) _____

Слънце _____

Галактика _____

ядро на Халеевата комета _____

метеорит _____

местна група от галактики _____

Веста (астероид) _____

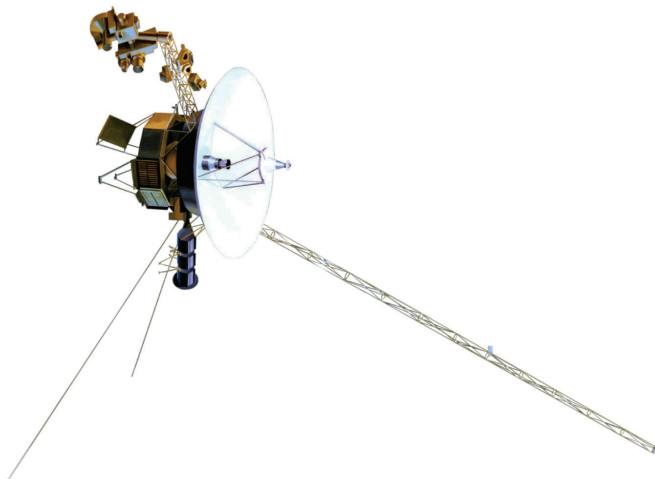
В следните задачи, изчислете следните приблизителни стойности на единиците и константите:

- скорост на светлината $\approx 300\,000\text{ km/s}$, 1 година ≈ 8760 часа,
- $1\text{ ly} \approx 63\,000\text{ au} \approx 9\,500\,000\,000\,000\text{ km}$, $1\text{ au} \approx 150\,000\,000\text{ km}$
- $1\text{ pc} \approx 3,26\text{ ly} \approx 206\,000\text{ au}$

3. Колко време пътува един светлинен лъч над България в посока от изток на запад?

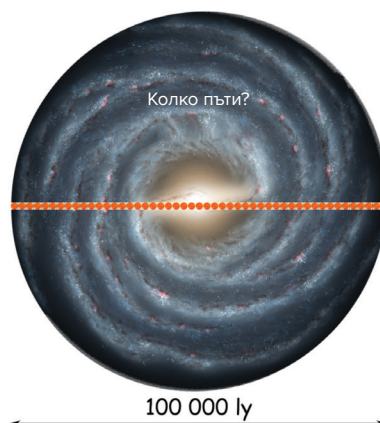
4. Най-близката звезда извън нашата Слънчева система е Проксима Кентавър или Проксима Центавър (Proxima Centauri), която е на около 4,2 ly. Колко време ще отнеме, за да стигнем дотам:

- а) с влак Пендолино, имащ скорост от 250 км/ч;
- б) със самолет Еърбъс, имащ скорост от 800 км/ч;
- в) с космическа сонда Вояджър, имаща скорост от 17 км/сек?



5. Сферичната обвивка, наречена Облака на Оорт, с диаметър от около 200 000 au, понякога се счита за граница на Слънчевата система. Колко пъти Слънчевата система би се „вписала“ в диаметъра на нашата Галактика?

8. Нашата Галактика и други галактики



6. Галактиката GN-z11 в съзвездието Голяма мечка, открита през 2016 г. от космическия телескоп Хъбъл, е сред най-често наблюдаваните далечни космически обекти във Вселената. Сега предполагаме, че тя се намира на разстояние от около 9 800 Мрс. Колко светлинни години са това? Колко пъти това разстояние е по-голямо от диаметъра на Галактиката?

Задача 2: Балонен модел на разширяване на Вселената

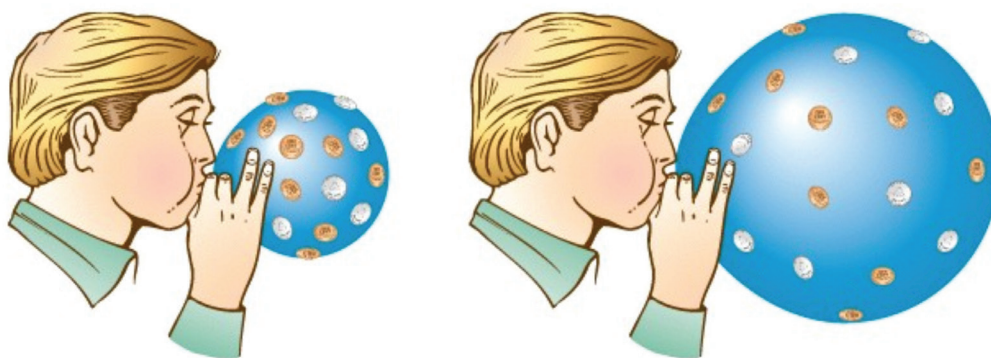
Цел на задачата

Целта на задачата е да се създаде модел, илюстриращ разширяването на Вселената.

Помощни средства

- гумен надуваем балон
- маркер (или самозалепващи се декоративни звезди)
- хартиен или шивашки метър
- калкулатор

На пръв поглед изобщо не е ясно, че Вселената се разширява. Размерите на класната стая и на училището не се увеличават. Това важи и за разстоянията между различни места на Земята. Това обаче не важи за наистина много големи разстояния - разстоянията във Вселената се увеличават (поне някои от тях). През 20-те години на миналия век, американският астроном Едуин Хъбъл открива, че почти всички галактики се отдалечават от нашия Млечен път. Това обаче не означава, че нашата Галактика непременно трябва да бъде център на Вселената.



Фигура 17: Модел, изобразяващ разширяването на Вселената с помощта на надуваем балон.

(Източник: <https://astronomy.stackexchange.com/questions/17965/is-the-universe-moving-through-infinite-space-time-as-it-expands>)

Начин на действие

1. Работете по двойки или по тройки.
2. Надуйте балона така, че диаметърът му да достигне около 10 см. Хванете края на балона здраво с ръка, за да не изпуска въздух, но не го завързвайте.
3. Върху балона с маркер нарисувайте шест точки, а една от тях отбележете с буквата G (като нашата Галактика), а другите точки отбележете с номера от 1 до 5 (те се отнасят за други галактики в далечната и млада Вселена). Уверете се, че не лежат на една линия!
4. Използвайки хартиения или шивашкия метър, измерете разстоянията d_1 от „галактиката“ G до останалите точки с номера от 1 до 5, и запишете резултатите в таблицата като Измерване 1. Внимавайте въздухът да не излиза от балона. Използвайте метъра, за да определите обиколката на балона в най-широката му част.



5. Донадуйте балона така, че да бъде приблизително два пъти по-голям (т. е. да е с диаметър от около 20 см).
6. Използвайки хартиения или шивашкия метър, измерете разстоянията d_2 от „галактиката“ G до останалите точки с номера от 1 до 5, и запишете резултатите в таблицата като Измерване 2.
7. За пореден път, но този път за последно, надуйте балона така, че диаметърът му да достигне около 30 см.
8. Използвайки хартиения или шивашкия метър, измерете разстоянията d_3 от „галактиката“ G до останалите точки с номера от 1 до 5, и запишете резултатите в таблицата като Измерване 3.

8. Нашата Галактика и други галактики

9. В последните колони на таблицата изчислете разликите $d_2 - d_1$ и $d_3 - d_2$ за всяка от точките с номера от 1 до 5.

Измерване

Разстояние от „галактиката“ G/cm	Измерване 1 d_1/cm	Измерване 2 d_2/cm	Измерване 3 d_3/cm	Разлика $(d_2 - d_1)/cm$	Разлика $(d_3 - d_2)/cm$
Точка 1					
Точка 2					
Точка 3					
Точка 4					
Точка 5					
Обиколка на балона/cm				X	X

В заключение още няколко въпроса

1. Как се е променило разстоянието от „галактиката“ G до останалите отбелязани точки с номера от 1 до 5 след всяко едно надуване на балона?

2. Кои точки са се отдалечили повече – тези, които са били по-близо или тези, които са били по-далеч от G в началото?

3. Нека приемем, че надуването на балона винаги отнема еднакво време t (например 10 секунди). От разлика $d_2 - d_1$ а $d_3 - d_2$ може да се изчисли „скоростта“ на отдалечаването: $v_1 = (d_2 - d_1)/t$ а $v_2 = (d_3 - d_2)/t$ (нашите скорости са ниски, при галактиките във Вселената те са в километри за секунда!).

	Скорост $v_1 = (d_2 - d_1)/t$ в cm/s	Скорост $v_2 = (d_3 - d_2)/t$ в cm/s
Точка 1		
Точка 2		
Точка 3		
Точка 4		
Точка 5		

Зависят ли скоростите от разстоянието d_1 ? Ако да, как?

Задача 3: Модел на съзвездието Орион

Цел на задачата

Целта на задачата е да се създаде пространствен модел на съзвездието Орион в подходящ мащаб.

Помощни средства

- шишчета
- хартия
- лепило, тиксо или пистолет за лепене
- ролетка (за по-големите модели – по-голяма лента за измерване)
- цветна хартия или пастели / маркери
- мек молив
- джобно ножче
- полистиролова дъска с размер 30 см × 150 см, евентуално интернет или компютърна програма Stellarium или Star chart

Това добре познато съзвездие според гръцката митология представлява митологичният ловец Орион, който бил син на Посейдон, богът на моретата, и на ловкинята Евриала. Орион принадлежал към свитата на богинята на лова Артемида. Според една от версиите на легендата, Орион обидил богинята Хера, която изпратила на земята огромен скорпион, който смъртоносно го убол. Богинята Артемида обаче помогнала на Орион и двете му кучета да достигнат небето (съзвездията Голямо

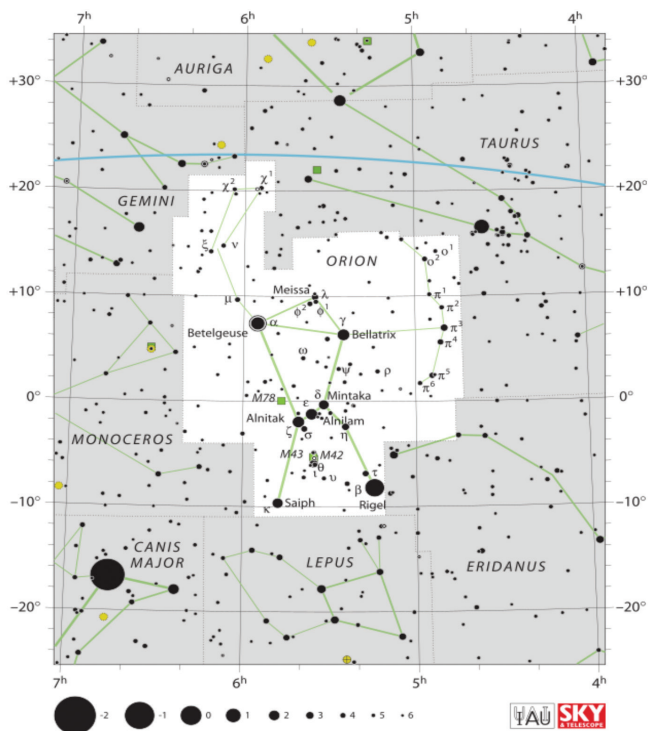
8. Нашата Галактика и други галактики

куче и Малко куче). На небето можем да открием и скорпиона, който убил Орион, но боговете, за да не им позволят повторно да се срещнат, ги разположили на противоположни страни. Следователно, когато Скорпионът се появява на небето, Орион се скрива зад хоризонта.



Фигура 18: Изображение на ловеца Орион в звезден атлас от първата половина на 19 век (източник: Уикипедия)

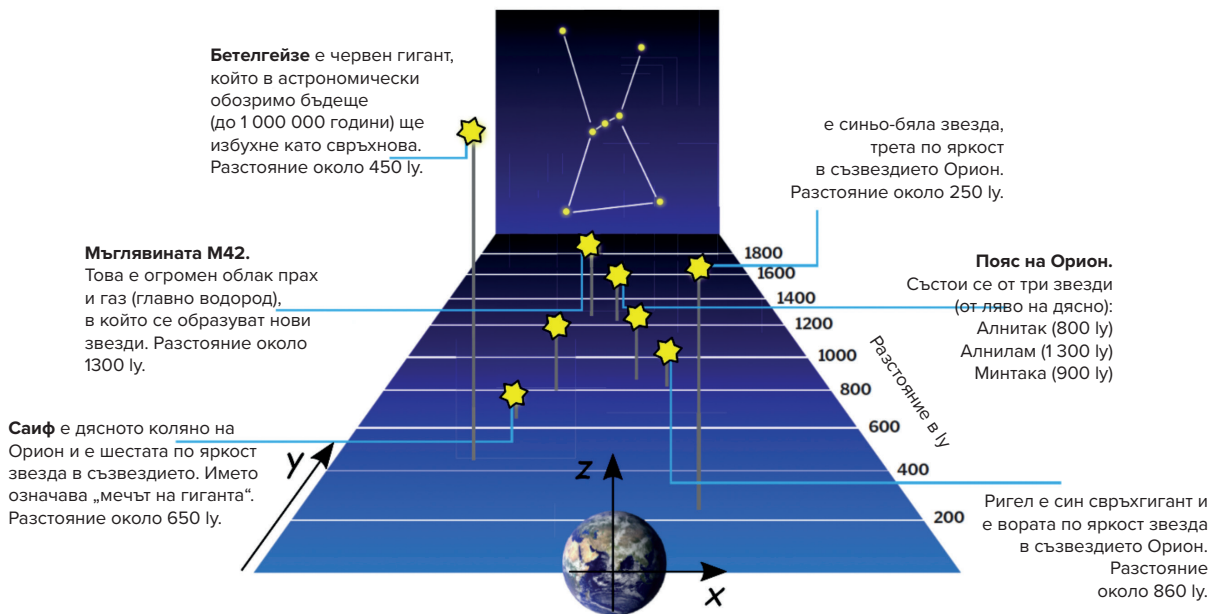
Всъщност звездите, които образуват съзвездието Орион, лежат на различни разстояния от Слънцето. Следователно, приликата им с човешката фигура е породена от факта, че ги гледаме от нашата Слънчева система, а от друга гледна точка звездите на съзвездието биха изглеждали по съвсем различен начин. За да покажем това, можем да създадем триизмерен модел. Нека добавим, че имената на звездите на Орион са всъщност с арабски произход (например, Бетелгейзе в превод означава ръка на гигант или подмишница, а Ригел – крак).



Фигура 19: Карта на съзвездieto Орион

(Източник: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Orion_IAU.svg&oldid=306677181)

Описание на седемте най-ярки звезди от Орион и техните разстояния от Слънчевата система.




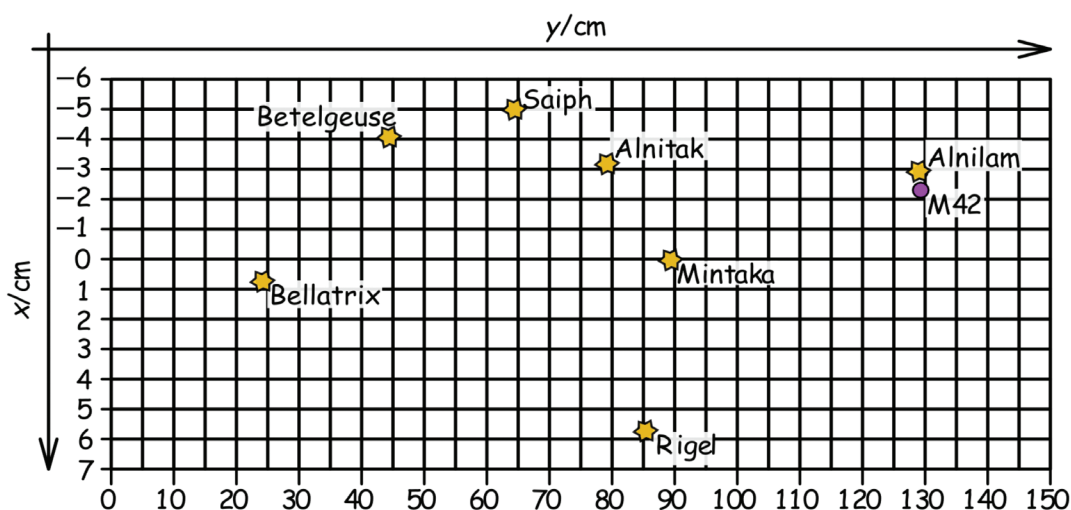
8. Нашата Галактика и други галактики

Таблица на междузвездните разстояния и възможни координати в нашия модел в мащаб, където 1 см съответства на разстояние от 10 ly.

Звезда	Разстояние r/ly	x/cm	y/cm	z/cm
Бетелгейзе	450	- 4,1	45	21
Ригел	860	5,7	86	8,4
Белатрикс	250	0,7	25	16
Минтака	900	0,0	90	21
Алнилам	1 300	- 2,9	130	24
Алнитак	800	- 3,2	80	17
Саиф	650	- 5,0	65	6,6
M42	1 300	- 2,3	130	14

Начин на действие

1. Работете в групи от по 3 – 6 ученика.
 2. Първо подготвяме моделите от звездите като топки от цветна хартия (например жълта) с диаметър от около 0,5 см до 1 см. За мъглявината M42 може да изберете различен цвят. Вместо топки можете да използвате шаблоните за звездите (в таблица 2 има такъв за всяка звезда – един за гледана „отпред“ и един за гледана „отзад“).
- 
3. Подгответе шишчета с дължина, съответстваща на размера на координатите от дясната колонка на таблицата. Можем да подострим единия край на шишчетата с ножа, за да влязат по-лесно в полистироловата дъска.
 4. Върху шишчета (откъм незаострения край) набождаме и залепваме топките (или изрязаните звезди), представящи звездите на съзвездието.
 5. На полистиролната дъска с молив начертаваме координатна решетка с оси x и y (напр. в посока x разстоянията са по 1 см, а в посока y те са по 10 см).
 6. Залепваме шишчетата с моделите на звездите на правилните места, като междуременно се уверяваме, че всички те са залепени на приблизително една и съща дълбочина (можем да направим маркировка с молив върху острия край на шишчето, която да е винаги на 1 см от края му и спазвайки това ограничение, да залепим шишчетата). Дайте име на всяка звезда – било написвайки името и на дъската или използвайки хартиени етикети.
 7. Сега намерете мястото, от което да видите звездите в същата или подобна подредба както на небето. След това разгледайте модела на съзвездието от различни страни и се опитайте да му намерите ново име, гледайки го отгоре, отстрани и от обратната страна.



Допълнителни задачи:

1. Използвайте компютърна програма (например Stellarium или Sky chart), за да определите формата на съзвездието Орион през 100 000 г. пр. н. е. и през 100 000 г. от н. е. По-различно ли е от днешното?
2. Изберете друго познато съзвездие (Малката или Голямата мечка, Касиопея, Лебед, Лира и др.) и използвайте атласа, интернет или компютърна програма, за да определите разстоянията до 5 звезди от избраното съзвездие.

Използвани източници

- Balloniverse. *Big Bang Analogy Activity* [online]. Достъпно на: http://www.science-withmrjones.com/downloads/astronomy/universe/big_bang_analogy.pdf.
- BĚLOUN, F. et al. (2018): *Tabulky pro základní školu*. Praha: Prometheus. ISBN 978-80-7196-346-2.
- BROWN, D. (2013): The Orion Constellation as an Installation: An Innovative Three-Dimensional Teaching and Learning Environment. *The Physics Teacher*. 51(3), 160.
- OBRESCHKOW, D. (2018): *Cosmic Eye* (Original HD Landscape Version 2018) [online]. Достъпно на: <https://www.youtube.com/watch?v=8Are9dDbW24>.
- HERRMANN, J. (1997): *Hvězdy*. Praha: Ikar. ISBN 80-7202-212-1.
- HUANG, C.: *The Scale of the Universe 2* [online]. Достъпно на: <http://htwins.net/scale2/lang.html.52>
- HUGHES, D. W. (2001): Six stages in the history of the astronomical unit. *Journal of Astronomical History and Heritage*. 4, 15 – 28. ISSN 1440-2807.

8. Нашата Галактика и други галактики

- KLECZEK, J. (2002): *Encyklopedie Vesmíru*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0906-X.
- KLECZEK, J. (2013): *Toulky vesmírem*. Praha: Aldebaran Group for Astrophysics. ISBN 978-80-904582-4-6.
- RICHTEREK, L. a LÁTAL, F. (2013): Výuka astronomie na školách v Olomouci. *Školská fyzika*. (6), 28 – 35.
- *Sizes of the Universe poster* [online]. Dostupné z: <http://www.numbersleuth.org/universe/size/>.
- *Star Chart* [online]. Достъпно на: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.escapistgames.starchart&hl=cs>.
- *SkyChart/Cartes du Ciel. Free software to draw sky charts* [online]. Достъпно на: <https://www.ap-i.net/skychart/en/start>.
- *Stellarium Astronomy Software* [online]. Достъпно на: <http://stellarium.org/cs/>.
- TEGMARK, M. (2016): *Matematický vesmír: moje pátrání po nejhlubší podstatě reality*. Praha: Argo/Dokořán. ISBN 978-80-7363-697-5.
- *The Universe – The Expanding Universe* [online]. Достъпно на: <http://cas.sdss.org/dr5/en/proj/basic/universe/expanding.asp>.
- *What are constellations?* | How It Works Magazine [online]. Достъпно на: <https://www.howitworksdaily.com/what-are-constellations/>.
- ZENDRI, G., T. ROSI, T. a OSS, S. (2016): The Hubble party balloon and the expanding universe. *European Journal of Physics*. 37(5), 055701. ISSN 0143-0807.

ВСЕЛЕНАТА – ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ НА ГОЛЕМИЯ ВЗРИВ, РАДИАЦИЯ

1. ИСТОРИЯ НА ВСЕЛЕНАТА, ТЕОРИЯ НА ГОЛЕМИЯ ВЗРИВ, РАДИАЦИЯ

За древните гърци редът, красотата, хармонията и съвършенството в представите им за природата били от голямо значение. **Космос е гръцка дума, която означава “ред”, но още и “хармония”, и “красота”.** Под Космос древните гърци са разбирали Вселената, разглеждана като съвършена, красива, подредена и хармонично устроена система. На съвършенството на Космоса противостоял Хаосът.

Що е Вселена?

Сега, като казваме “Космос”, разбираме целия онзи материален свят, който се намира извън Земята и нейната атмосфера. Често под Космос се има предвид Вселената изобщо, разглеждана като нещо единно и подчиняващо се на общи закони. “Вселена” обаче е доста по-широко понятие, изпълнено е с философски смисъл и се простира извън рамките на самата астрономия – всъщност Вселената е целият обкръжаващ ни свят. **Вселена наричаме всичко съществуващо, което ни е вече известно и което ще открием в бъдеще.**

За астрономите Вселената е тази част на света, която е достъпна (сега и в бъдеще) за изследване с естественонаучни методи. Астрономическата Вселена описва целия Космос, който обхваща всички известни и неизвестни небесни обекти, както и пространството между тях, и който е достъпен за наблюдения в настоящето или в обозримото бъдеще.

Възгледите ни за Вселената търпят значителни промени през последните години. Преди около век все още беше общоприета представата за една статична Вселена без промени, без начало и без край, която винаги е съществувала и ще съществува вечно. Сега новите **открития** и наблюдателни факти затвърдиха схващането, че Вселената представлява постоянно еволюираща динамична структура с цялото ѝ разнообразие на веществени и енергетични форми. Тя не е съществувала вечно и се развива във времето. **Нещо повече – Вселената, в която живеем, вероятно не е единствена и е част от нещо по-голямо, което наричаме Multiverse.** Според

Различни
възгледи за
Вселената

9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

съвременните възгледи, преди около 14 милиарда години свръхмощен **Голям взрив** е поставил началото на наблюдаемата Вселена и на физичните закони, които я управляват. Оттогава Вселената се разширява и най-вероятно ще се разширява вечно. Това разширяване, както и слабото електромагнитно ехо от Големия взрив, се наблюдават и сега. Ние не случайно говорим за “наблюдаема” Вселена или за “достъпното за наблюдения” вещество – всъщност по-голямата част от пълната маса на Вселената не е достъпна за директни наблюдения дори и с най-съвременна апаратура. Тази част наричаме **скрита маса или тъмна материя** – и двата термина идват именно от невъзможността за директни наблюдения. В момента дори няма ясна концепция какъв тип материя може да е това.

тъмна енергия на космическия вакуум Освен тъмната материя във Вселената е скрита и огромна **тъмна енергия на космическия вакуум**, която не е свързана с никаква материя и се проявява като **антигравитация – сила, противопоставяща се на гравитацията**. Почти 3/4 от Вселената се състои от тъмна енергия. Тази енергия кара Вселената да ускорява разширението си и е свойство на пространството. Останалото е предимно тъмна материя, чийто състав е все още неизяснен, и само една малка част представлява “обикновената” видима материя, от която са изградени планетите, звездите и галактиките. **Сумарно Вселената съдържа само 4 % наблюдаема обикновена материя (атоми и елементарни частици), 23 % тъмна материя и цели 73 % от загадъчната все още тъмна енергия.**

Гравитацията действа на всички форми на веществото, а “антигравитацията” на тъмната енергия се проявява само в много големи мащаби. Тя заставя Вселената да се разширява с ускорение – такъв тип разширение е невъзможен, ако гравитацията беше единствената доминираща сила. Следите обаче от антигравитационните прояви на тъмната енергия бяха наблюдавани индиректно в блясъка на свръхнови на огромни разстояния и тяхното откриване доведе до Нобелова награда за физика през 2011 г.

1.1 Космология

Космология **Науката, изследваща структурата и развитието на Вселената като цяло, се нарича космология.** Задачата ѝ е да разбере как различните природни феномени – от най-малката елементарна частица до най-едромасабните структури във Вселената – се сглобяват в едно цяло под действието на най-фундаменталните сили, които познаваме. **Ето защо въпросите, които разглежда космологията, са едни от най-основните в науката. Намира ли се Вселената в своето детство, или е в зряла възраст? Как ще се развива тя в бъдещето? Ще има ли край нейното съществуване или няма да има? Изясняването на произхода на Вселената и как тя се развива във времето е свързано и с главния за човечеството въпрос – как се е появила човешката цивилизация и как ще се развива тя в бъдещето.**

Космологията е наблюдателна наука, която в момента изживява истински “златен век”. До неотдавна тя се основаваше само на две фундаментални наблюдателни открития. Едното е законът на Хъбъл*, който отразява много важен за еволюцията на Вселената факт – галактиките с по-голямо червено отместване на спектралните си линии се отдалечават с по-голяма скорост. От него непосредствено следва, че Вселената се разширява. Второто е т.нар. микровълново фоново излъчване, за което ще стане дума по-надолу.

*В края на 2018 г., Международният астрономически съюз, след допитване до своите членове, промени името на закона на Хъбъл на закон на Хъбъл-Льометр, за да отдаде дължимото признание на Жорж Льометр за неговия принос за откриването на разширението на Вселената.

Вселената е структурирана по различен начин, когато я разглеждаме в различни мащаби. Структурите в мащаба на елементарните частици са едни, а в най-едър мащаб структурите са съвсем други.

Космологичен принцип

За да се разбере строежът на Вселената като цяло, космолозите се опират на т.нар. космологичен принцип. Той гласи, че физичните закони са еднакви навсякъде във Вселената. Той се основава на два важни факта, които следват от досегашните ни знания за Вселената. Първият е, че Вселената е еднородна в големи мащаби. Това означава, че в един куб с големи размери (например 200-300 милиона светлинни години), намиращ се на произволно място във Вселената, ще се съдържат толкова на брой галактики, колкото и във всеки друг куб със същите размери, взет на което и да друго място. С други думи, при такива мащаби Вселената изглежда “гладка”. Вторият факт е, че Вселената е изотропна. Това означава, че тя изглежда еднакво от която и да е нейна точка. Един наблюдател, разположен на произволно място във Вселената, ще вижда същата едромасщабна структура, която виждаме и ние.

1.2 Големият Взрив

Теорията, която описва съвременния възглед за развитието на Вселената, се нарича теория на горещата Вселена. Тя е създадена от американския астрофизик с руски произход Джордж Гамов въз основа на теорията на относителността на Айнщайн.

Големият Взрив

Според тази теория разширението на Вселената е започнало с Голям взрив от едно много компактно и много плътно състояние на материята, характеризиращо се с изключително висока температура (оттук и терминът “гореща Вселена”). Тази първоначална конфигурация на материята има две важни особености, които са трудни за възприемане от нашата логика, следваща от всекидневния ни опит.

9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

началото Първата особеност е свързана с “началото”. Ако проследим еволюцията в обратна посока, като използваме наблюдаваните днес параметри на разширението и познатите ни физични закони, ще видим, че плътността на веществото в самото начало би трябвало да е безкрайно голяма. **Това не изглежда възможно от физична гледна точка и за такава конфигурация законите на физиката във вида, в който ги познаваме, не действат.** Ето защо ние все още нямаме подходящи средства, с които да опишем първоначалната конфигурация.

Нещо повече – самото време не е добре дефинирана величина при невероятно високите плътности в най-ранните моменти на създаването на Вселената. Заедно с Вселената, с пространството и с всички физични закони, които я управляват, в процеса на Големия взрив се е родило и самото време. Затова въпросът какво е ставало “преди” Големия взрив е лишен от физичен смисъл. Задавайки такъв въпрос, все едно питаме къде е запад, намирайки се на Северния полюс на Земята. Ясно е, че на Северния полюс посоките “изток” и “запад” са лишени от смисъл – може да се върви само на юг. Тези посоки ще се “родят” с първата крачка, която направите встрани от полюса.

мястото Втората особеност е свързана с “мястото”. Никак не е лесен за възприемане фактът, че Големият взрив няма център. Той се е случил навсякъде и в едно и също време. Затова, макар че днес галактиките се разбягват една от друга, те не се отдалечават от една и съща централна точка. Тази особеност следва директно от космологичния принцип. Ако ние от Земята виждаме, че галактиките “се разбягват”, точно същото ще виждат и наблюдателите от някоя друга галактика. Това е така, защото законът на Хъбъл трябва да е един и същ навсякъде във Вселената. На пръв поглед тук има противоречие. Нека обаче сравним разширяването на Вселената с един раздуващ се балон, върху който са нарисувани спирали. В рамките на тази аналогия всяка спирала е една галактика от нашата Вселена. При надуването на балона всяка спирала се отдалечава от всички останали спирали. Ако поставим “наблюдател” в някоя от спиралите, той ще вижда как останалите спирали се отдалечават от него. Ако преместим наблюдателя в друга спирала, той ще вижда същото. Затова не можем да говорим за “център” на разбягването на галактиките – сферичната повърхност на балона няма нито център, нито начало или край. В която и посока да се движим по тази повърхност, никога няма да стигнем “края” ѝ. **В този смисъл Вселената е безгранична, но не е безкрайна – обемът под повърхността на балона съвсем не е безкраен.**

1.3 Микровълново фоново излъчване

Според теорията на горещата Вселена след първоначалния Голям взрив Вселената е представлявала високотемпературна и много плътна смес от елементарни частици. Това особено състояние на материята няма аналог в заобикалящата ни сега физична реалност.

Микровълново
фоново
излъчване

Около 370 000 години след взрива във Вселената възникнало **остатъчно или реликтовото излъчване**. Тогава тя била значително по-плътна и по-гореща, отколкото сега. Средната температура на горещата плазма, която запълвала равномерно цялата Вселена, била около 3000 К и затова максимумът на нейното излъчване бил във видимия диапазон на спектъра. С разширяването на Вселената средната температура на материята в нея непрекъснато се понижавала и сега е около 1000 пъти по-ниска. Затова в сегашната епоха следите от излъчването, съответстващо на тази температура, трябва да се търсят в микровълновия обхват на радиодиапазона.

Предсказано още от Гамов през 1946 г., то бе регистрирано 20 години по-късно. Максимумът на реликтовото излъчване е при дължина на вълната около 2 mm. То се характеризира с много висока степен на изотропия, т.е. наблюдава се като равномерен микровълнов радиосигнал, идващ от всички посоки с еднакъв интензитет. **Наричат го още микровълново фоново излъчване, тъй като източникът на това излъчване, който ни обхваща от всички страни, лежи подалеч (и по-назад във времето) от всички други обекти във Вселената – на около 14 милиарда светлинни години – и се явява като техен фон.** Неговият спектър се описва много точно от закона на Планк като излъчване на абсолютно черно тяло с температура около 3 К. Откриването на реликтовото излъчване донесе на авторите си Нобелова награда за физика през 1978 г. **То наблюдателно потвърждава теорията на горещата Вселена и наред с откриването на “разбягването” на галактиките е едно от най-големите постижения на науката през XX век.**

Реликтовото излъчване идва до нас от всички посоки изключително равномерно – с точност до стотни от процента. Но в това фоново излъчване има труднозабележими "бръчки", възникнали в по-ранните времена от живота на Вселената поради неизбежни флуктуации, дължащи се на квантовата природа на веществото. Те бяха открити при наблюдения от орбита и откривателите получиха Нобелова награда за физика през 2006 г. Тези едва видими сгъстявания са “семената” на бъдещите структурни единици във Вселената, които постепенно се уплътнили благодарение на собствената си гравитация и в определена епоха са се “изключили” от общото космологично разширение. Накрая са се превърнали в тези галактики и купове от галактики, които сега наблюдаваме. **Присъствието обаче на “догалактичните” нееднородности в ранната Вселена е оставило своя ясен отпечатък в картата на реликтовото излъчване.**

Реликтовото
излъчване

1.4 Бъдеще на Вселената

Бъдеще на Вселената Какво ще се случи с Вселената в бъдеще зависи от средната плътност на веществото в нея. Ако средната плътност на Вселената е прекалено малка, тя ще се разширява винаги, защото гравитационните сили на нейното вещество няма да са достатъчни, за да спрат разширението. Такава Вселена наричаме “отворена”. Ако средната плътност на Вселената е прекалено голяма, гравитационните сили ще спрат разширяването и ще го сменят със свиване. В този случай говорим за “затворена” Вселена.

Най-вероятен обаче изглежда този вариант за бъдещото развитие на Вселената, в който тя не е нито отворена, нито затворена. В този случай средната плътност на нейното вещество не е нито много голяма, нито много малка, а космологичното разширение се ускорява с времето. Това откритие промени коренно нашето разбиране за състоянието на Вселената. Преди се смяташе, че цялата история на космологичното разширение е история на неговото затихване след Големия взрив. Сега имаме данни, че именно в съвременната епоха динамиката на разширението е минала от стадий на забавяне към нов стадий на ускоряване. Това ускоряване се дължи на факта, че във Вселената преобладава “тъмната” енергия. **Тя създава космическа “антигравитация”, която управлява динамиката на Вселената в съвременната епоха и нейното разширение се ускорява.**

Изучаването на миналото и на бъдещето на Вселената е една от най-трудните задачи, пред които се е изправял човешкият разум. Жорж Льомер, един от видните космолози на XX век, казва така за тези трудности: “Еволюцията на Вселената може да се сравни с фейерверк, който току-що е свършил – останали са само няколко догарящи алени снопа искри, пепел и дим. Стъпили на изстиналите въглини, ние гледаме бавното изгасване на слънцата и се опитваме да си представим изчезналото великолепие на началото на световите”.

2. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Практически упражнения за ученика:

Упражненията (оригинал: btc.montana.edu/ceres/html/Universe/uni1.html) ще помогнат на учениците да придобият по-дълбоко разбиране за космологията. В резултат от изпълнение на задачите, учениците ще добият по-добра представа за разширението на Вселената чрез конструиране на модел и как да предоставят доказателства, поддържащи теорията за Големия Взрив. **Инструкциите за учениците са предоставени след инструкциите за учителя.**

Необходими материали за всяка двойка ученици:

- разпечатани копия от инструкциите за ученици
- 1 голям балон
- 4 парчета хартия с размери 2 x 30 см
- огъваща се измерителна линия
- 1 маркер
- тетрадка за записване на резултатите/научен дневник
- ножици
- молив/химикалка
- по-големи кламери

Задача 1: Закон на Хъбъл

Според закона на Хъбъл скоростта, с която една далечна галактика се отдалечава от нас, е пропорционална на разстоянието от галактиката до нас. Скоростта на галактиката се измерва чрез доплеровото отместване на линиите в светлинния спектър от галактиката. Разстоянието до нея се измерва по-трудно, но може да се оцени по видимия ѝ размер, или по яркостта на някои обекти в нея.

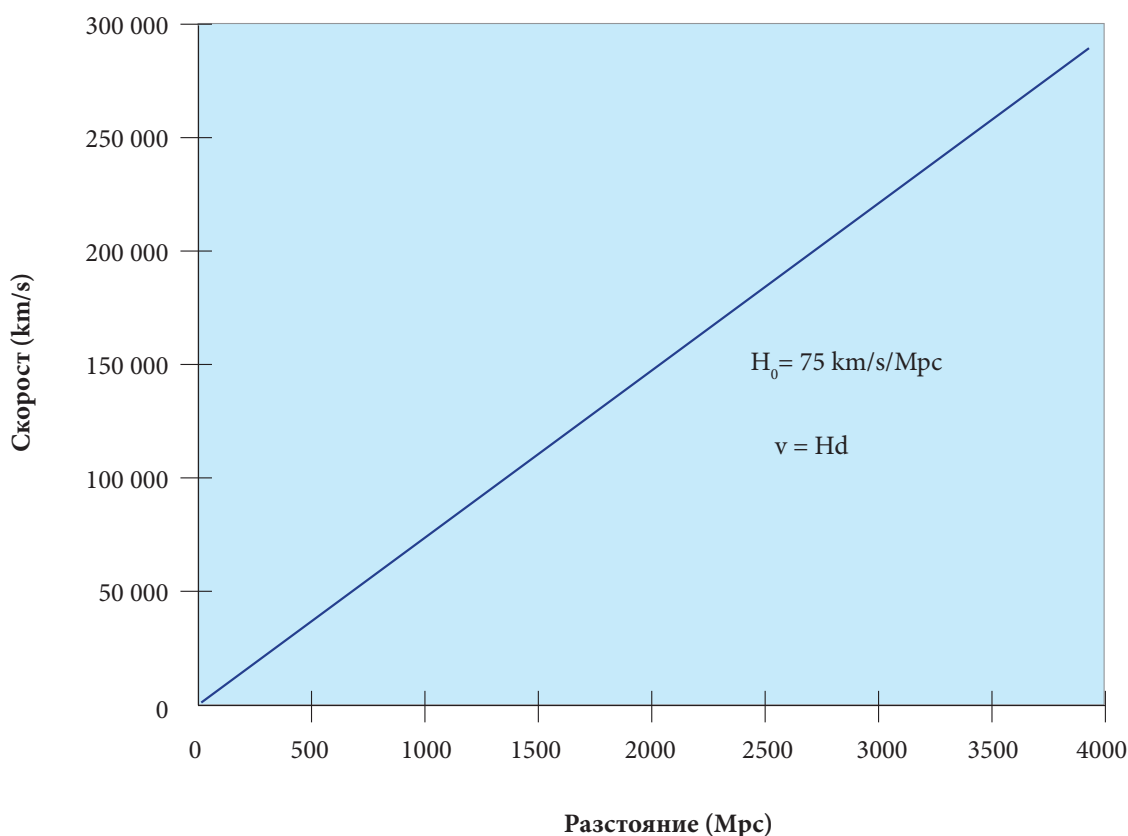
Инструкции за учителя

Използвайки графиката по-долу, илюстрираща зависимостта между скорост на отдалечаване и разстояние до галактиките, накарайте учениците да изследват осите, какво означават те и какви подсказки могат да открият за значението на графиката. В частност, абсцисата показва разстоянието от други галактики до нашата галактика – Млечния път. Ординатата показва скоростта на отдалечаване на галактиките от нас. Обърнете внимание на факта, че има ясна пропорционалност

9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

между разстояние и скорост на отдалечаване. Тази пропорционалност се нарича **закон на Хъбъл**. Наклонът на зависимостта, с размерност на скорост за дадено разстояние, се нарича константа **на Хъбъл**. Тогава величината, която е равна на единица разделена на константата на Хъбъл ще има размерност на време и може да даде оценка за възрастта на Вселената.

Закон и константа на Хъбъл



Задача2: Разширяващата се Вселената

Инструкции за учителя

Учениците ще направят модел на разширяваща се вселена. Необходимите материали са изброени в Инструкциите за ученика, които трябва да раздадете – поне по 1 екземпляр на всяка двойка. Погрижете се всяка двойка да има необходимите материали за изпълнение на упражнението. Дайте време от 20 мин, в което учениците да завършат практическата част и да попълнят дадената в инструкциите таблица. След изтичане на времето, направете 10-минутна дискусия на резултатите.

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ – ИНСТРУКЦИИ И ВЪПРОСИ ЗА УЧЕНИКА

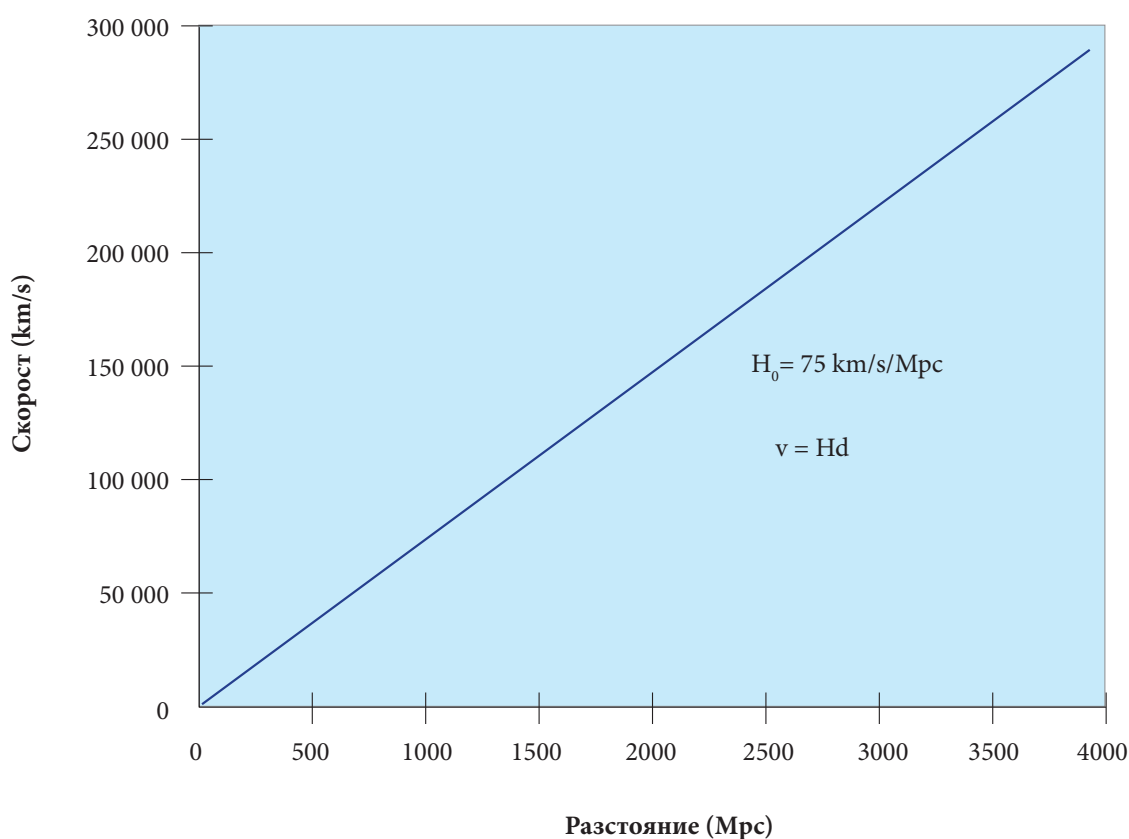
Необходими материали за всяка двойка ученици

- 1 голям балон
- 4 хартиени ленти или плътен конец/канап с дължина поне 30 cm (хартията да е с ширина около 2 cm)
- огъващи се измерителни линии
- 1 маркер
- тетрадка/научен дневник за записване на резултатите
- ножици
- молив/химикалка
- 4 – 5 ластика, или конец за връзване на балона
- по-големи кламери

Задача1: Закон на Хъбъл

Долната графика се използва от астрономите, изучаващи Вселената и занимаващи се с космология. Можете ли да откриете какво илюстрира тя? Използвайте насочващите въпроси от таблицата под графиката и попълнете отговорите си в празните кутии във втората колона.

Закон и константа на Хъбъл



9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

НАСОЧВАЩИ ВЪПРОСИ	ОТГОВОРИ
<p>Каква величина представляват стойностите по абсцисата? Какви са мерните единици? Как (с какви методи) могат учените да измерят тази величина?</p>	
<p>Каква величина е изобразено по ординатата? Как (с какви методи) могат учените да измерят тази величина?</p>	
<p>Според Вас, коя от двете величини е по-трудна за измерване?</p>	
<p>Каква е размерността на величината, представлявана от наклона на графиката?</p>	
<p>Каква мислите е величината, представлявана от налкона на графиката?</p>	
<p>А каква би била размерността на обратноприопорционалното на наклона на графиката? Можем ли да използваме тази нова величина за да добием представа за Вселената? Ако да – за какво, ако не – защо?</p>	

Задача 2: Модел на разширяващата се Вселената

Това упражнение цели да илюстрира идеята за разширяващата се Вселена.

1. За изпълнението му са Ви необходими: един балон, огъваща се измервателна линия, маркер, парче хартия за измерванията и копие от тази инструкция.
2. С помощта на маркера, нарисуйте 11– 15 точки по повърхността на балона, преди да го надуете и номерирайте 11 от тях, като за целта първо съвсем леко надуйте балона.
3. Надуйте балона докато той добие размер колкото юмука ви. Не надуйте балона прекалено!
4. Завържете балона с ластик/конец.
5. Запишете подробно и с пълни изречения какво се случва с точките (взаимното им положение).
6. С линията измерете разстоянията между тичка 1 (Вашата “отправна” точка) и най-близките до нея точки и ги запишете в съответната колона в долната таблица (Частично надут балон, измерване с линия). Не трябва да огъвате повърхността на балона по време на измерването!
7. С помощта на ивиците хартия/конеца, измерете разстоянията между точка номер 1 и останалите номерирани точки. Какви са разликите с предишния метод за измерване? Запишете ги в съответната колона в долната таблица (Частично надут балон, измерване с хартия/конец).
8. Като надувате бавно, увеличете размера на балона два пъти. Не прекалявайте с надуването!
9. Повторете горните два метода за измерване на разстоянието върху по-надутия балон и ги запишете в таблицата в колоните Надут балон.
10. **Отговорете на следните въпроси:**
 - а) Ако точките по балона представляват галактики, те стават ли по-големи при раздуването на балона? Защо според Вас това е или не е така?
 - б) Каква връзка съществува между скоростта на отдалечаващите се една от друга галактики и първоначалното разстояние между тях? Как се казва този закон?
 - в) Кой от горните два метода за измерване на разстоянието беше по-точен? Защо?
 - г) За един астроном кое е по-трудно да измери – червеното отместване на галактиката (което отразява скоростта, с която тя се отдалечава), или разстоянието от Земята до галактиката? Защо? Обяснете отговора си.

9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

ЧАСТИЧНО НАДУТ БАЛОН				НАДУТ БАЛОН				
ТОЧКА	Начално разстояние от т. 1, измерено с линия	Начално разстояние от т. 1, измерено с хартия/конец	Разлика между двете измервания	ТОЧКА	Начално разстояние от т. 1, измерено с линия	Начално разстояние от т. 1, измерено с хартия/конец	Разлика между двете измервания	Промяна между частично и напълно надут балон
2				2				
3				3				
4				4				
5				5				
6				6				

9. Вселената – история, теория на големия взрив, радиация

ЧАСТИЧНО НАДУТ БАЛОН				НАДУТ БАЛОН				
ТОЧКА	Начално разстояние от т. 1, измерено с линия	Начално разстояние от т. 1, измерено с хартия/конец	Разлика между двете измервания	ТОЧКА	Начално разстояние от т. 1, измерено с линия	Начално разстояние от т. 1, измерено с хартия/конец	Разлика между двете измервания	Промяна между частично и напълно надут балон
7				7				
8				8				
9				9				
10				10				
11				11				

АСТРОНОМИЧЕСКИ ОБСЕРВАТОРИИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Астрономическа обсерватория се нарича всяка инфраструктура, която съдържа телескопи и поддържащ набор от инструменти, с които се наблюдават небесните тела. Те могат да се разделят на различни видове в зависимост от това коя част на електромагнитния спектър е основна цел на провежданите изследвания. Най-голям брой са **оптичните обсерватории**, т.е. тези, които изследват главно видимата с човешко око светлина от небесните тела. Други наземни обсерватории са предназначени за изследване на космически радиовълни. Има и **космически обсерватории**, по-голямата част от които имат специални телескопи и детектори за изследване на космически източници на излъчване, което не достига до земната повърхност като високоенергетичните гама и ренгенови лъчи и пониско енергетичните инфрачервени лъчи. Съществуват и **подземни/подводни обсерватории**, които се стремят да регистрират още по-екзотични видове частици и лъчение. В тази тема описваме различните видове астрономически обсерватории, като сме приложили изображения на различни обсерватории. Предлагаме и практически упражнения за ученици от различни възрасти.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

обсерватория –

наземна

космическа

стратосферна

подземна/подводна

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

Астрономическите обсерватории най-общо се делят на четири категории, в зависимост от това къде се намират: наземни, космически, стратосферни (летящи на балони и самолети) и подземни/подводни.

2.1 Наземни обсерватории

Класическите наземни астрономически обсерватории представляват стационарни научни съоръжения с развита инфраструктура, оборудвани с научни инструменти за систематични наблюдения на различните обекти (небесни тела) и явления в Космоса. Те разполагат с един или няколко телескопа с различни размери, както оптични, така и работещи в други области на електромагнитния спектър (главно в радиодиапазона, но и в близката инфрачервена и милиметровата области).

Мнозинството съвременни оптични наземни обсерватории са построени далеч от големите градове, за да се избегне т.нар. светлинно замърсяване. **Идеални места за модерните обсерватории са високи върхове с тъмно небе, сух въздух, голям процент ясни нощи и спокойна атмосфера с минимална турбуленция, което води до по-добро качество на астрономическите изображения.** Най-добри такива места на Земята са върховете на Хавайските и на Канарските острови, върховете на пустинята Атакама в Чили, Аризона в САЩ и др. Там са построени и най-мощните в момента оптични наземни обсерватории: ESO (European Southern Observatory, Европейска южна обсерватория) обсерваторията Паранал в пустинята Атакама в Чили, обсерваторията Роке де лос мучачос (Roque de los Muchachos Observatory) на Канарските острови и Мауна Кеа на Хаваите. На връх Серо Армазонес (височина 3046 m) в пустинята Атакама се изгражда най-новата обсерватория на ESO с бъдещия най-голям телескоп на Земята за наблюдения в оптичния и близкия инфрачервен диапазон на спектъра – 39.3m телескоп ELT (Extremely Large Telescope, Изключително голям телескоп).

оптичните
наземни
обсерватории

Най-големите обсерватории в България, Чехия и Словакия са:

- Скаланте Плесо (Словакия, Skalnaté Pleso Observatory): <https://www.astro.sk/l3.php?p3=spo>,
- Ондřejов (Чехия, Ondřejov Observatory): <http://www.asu.cas.cz/en/about/about-the-institution>,
- Национална астрономическа обсерватория Рожен (България, National Astronomical Observatory Rozhen): http://nao-rozhen.org/index_en.html.

За изследвания на излъчването на небесните тела в радиодиапазона се строят обсерватории, в които основен инструмент е радиотелескопът. Като спектрален диапазон радиотелескопът заема начално положение сред астрономическите инструменти за изследване на електромагнитното излъчване – телескопите за топлинното/инфрачервеното, видимото, ултравиолетовото, рентгеновото и гама-излъчването са по-високочестотни.

Радиотелескопите Радиотелескопите са изключително разнообразни по размер, конфигурация и конструкция. Това се дължи на факта, че честотният обхват на радиоучастъка от електромагнитния спектър е много голям. За честоти 10-100 MHz (30-3 m дължина на вълната) те представляват насочени антени, подобни на телевизионните, или големи стационарни рефлексори от метална мрежа с подвижен фокус. За по-високи честоти се правят параболични „чини“. За да имат добра разделителна способност, размерите на радиотелескопите са много големи. Напр. за честоти от 100 MHz до 1 GHz (3 m – 30 cm дължина на вълната) чиниите са с диаметър около 100 m. Често за още по-висока разделителна способност се използват радиоинтерферометри, състоящи се от множество разположени по специален начин в мрежа отделни радиотелескопи, които комбинират сигналите от многото антени в едно така, че да симулират една голяма антена с много по-добра разделителна способност.

Като правило радиообсерваториите се разполагат далеч от основните населени места, за да се сведе до минимум влиянието на електромагнитните смущения от радио и телевизионните предаватели, от радарите и др. излъчващи източници. За разлика от оптичните, радиообсерваториите се разполагат в долини или низини, където са най-добре защитени от техногенни шумове.

Най-големи радиотелескопи с единична неподвижна антена са 500 m Five hundred meter Aperture Spherical Telescope (FAST, 500-метров телескоп със сферична апертура) в Китай и 305 m радиотелескоп, разположен в кратера на угасналия вулкан Аресибо в Пуерто Рико. **Най-големите радиотелескопи с насочваеми чинии** са 100-m Green Bank Telescope (Грийн банк) в Западна Вирджиния, САЩ и 100-m радиотелескоп в Ефелсберг, близо до Бон, Германия.

Най-известният радиоинтерферометър е Very Large Array (VLA, Много голяма решетка) в Сокоро, Ню Мексико, САЩ, който комбинира сигнала от 27 отделни параболични радиотелескопа едновременно. Колаж с изображения на наземни обсерватории е даден в Приложение 1.

2.2 Космически обсерватории

Космическите обсерватории са телескопи и съпътстващата ги апаратура, намиращи се в космоса в орбита около Земята. Основно преимущество на космическите телескопи е тяхното местоположение над земната атмосфера, което ги избавя от действието на атмосферната турбуленция. Благодарение на това

разделителната способност на такива телескопи е много по-добра от наземните. Най-известен космически телескоп, който работи от 1990 г., е **космическият телескоп Хъбъл** (Hubble Space Telescope, HST).

Друго важно преимущество на космическите телескопи е **възможността да се наблюдава в участъци от електромагнитния спектър, които са недостъпни от повърхността на Земята**. Земната атмосфера не е прозрачна за ултравиолетовите, рентгеновите и гама-лъчите, както и за част от инфрачервените лъчи. Тези диапазони са достъпни за наблюдения единствено от орбита над земната атмосфера. Най-плодотворните рентгенови обсерватории са Чандра (Chandra) на НАСА и XMM Newton на Европейската космическа агенция ESA.

Най-големият до момента космически телескоп е инфрачервеният телескоп Хершел на ESA. Цената, която плащаме за преимуществата на космическите обсерватории, е високата им стойност и невъзможността за текуща поддръжка. Единственото изключение в това отношение е HST, за когото през годините имаше 4 сервизни мисии. Колаж с изображения на космически обсерватории е даден в Приложение 2.

2.3 Стратосферни обсерватории

Стратосферните обсерватории имат подобни на космическите обсерватории преимущества над наземните, защото работят над основната част от атмосферата на Земята. Тъй като са разположени в самолети или балони, техните инструменти могат да се ремонтират и обновяват по-често и на много по-ниска цена от космическите телескопи. **Най-известна стратосферна обсерватория е SOFIA (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy, Стратосферна обсерватория за инфрачервена астрономия), монтирана на самолет Boeing 747 и оперираща на височина 12 km. Изображения на стратосферни обсерватории са дадени в Приложение 3.**

2.4 Подземни/Подводни обсерватории

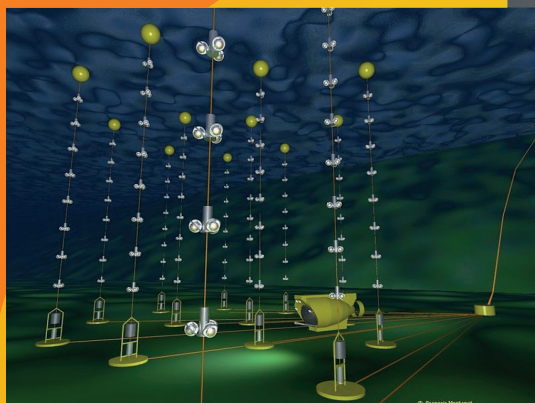
Такива са **неутринните обсерватории, които изследват неелектромагнитния прозорец към Вселената – неутринното излъчване от Космоса**. Най-голяма е IceCube Neutrino Observatory (**Айс Кюб неутринна обсерватория**), построена на станцията Амундсен-Скот на южния полюс в Антарктида (Amundsen-Scott South Pole Station, Antarctica). Нейните хиляди детектори са разпределени в обем от един кубичен километър под дебелия полярен лед. А най-голямата подводна неутринна обсерватория е **ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch)**, чиито стотици сензори се намират на дълбочина около 2.5 km в Средиземно море.

Изображения на подземни/подводни обсерватории са дадени в Приложение 3.

ПРИКАЧЕНИ ФАЙЛОВЕ

Подземни, подводни и стратосферни обсерватории

1. ANTARES – подводна обсерватория за регистриране на неутрино (долу). Намира се на 2.5 км дълбочина в Средиземно море. Илюстрация: Jmarino at de.wikipedia



3. IceCube – състои се от хиляди детектори, разпределени в обем от един кубичен километър под дебелия полярен лед. Илюстрация: IceCube Collaboration/NSF



2. Kamioka observatorium – (горе) подземна лаборатория за неутрино и гравитационни вълни, разположена под земята в мината Мозуми, Япония. Снимка: Jnp (от wikipedia)

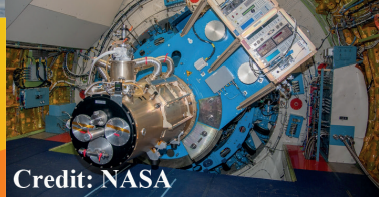


Credit: NASA/Jim Ross



Credit: NASA/Tony Landis

HAWC+ Instrument on SOFIA Telescope



Credit: NASA

4. SOFIA – Стратосферна обсерватория за инфрачервена астрономия, монтирана на самолет Boeing 747 и оперираща на височина 12 km (горе). Под нея са показани и телескопа (задната му част) и един от инструментите, които се монтират на него.

НАЗЕМНИ ОБСЕРВАТОРИИ

1. Мауна Кеа – Хаваи. Виждат се телескопите Subaru (ляво), Кекк (двата в средата) и инфрачервения телескоп на НАСА (дясно).
(Снимка: <https://www.flickr.com/photos/35188692@N00>).



2. Паранал – Чили. Виждат се четирите телескопа на The Very Large Telescope (VLT) на Европейската южна обсерватория.

Снимка: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Fmillour>



3. Роке де лос мучачос – Канарски острови (dolu). Виждат се телескопите (от ляво на дясно): Carlsberg Meridian, William Herschel, Dutch Open, Mercator, Swedish Solar Telescope, Isaac Newton и Jacobus Kapteyn.
Снимка: Bob Tubbs



4. Радиотелескопът Аресибо (Пуерто Рико) има радиоантена с диаметър 305 метра.
Снимка: Arecibo Observatory/NSF

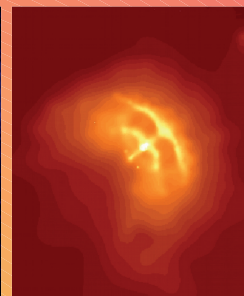
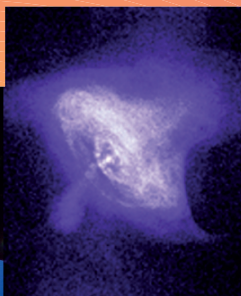


5. Радиоинтерферометърът ALMA (Чили) има 66 отделни радиоантени и наблюдава в милиметровия и субмилиметровия диапазон. Снимка: ALMA



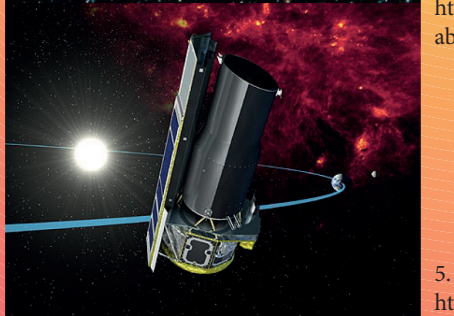
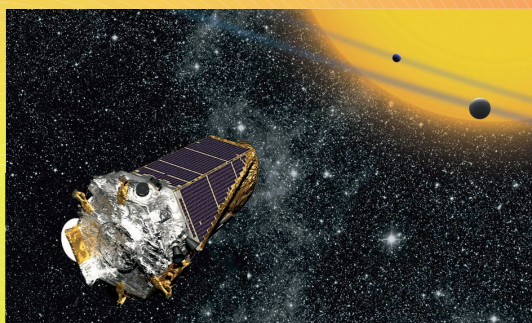
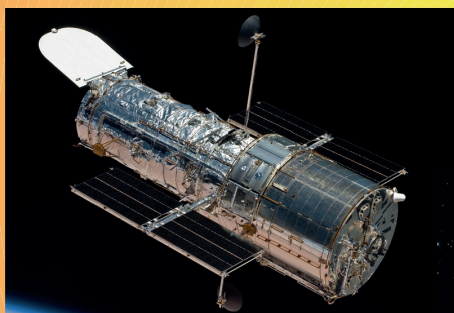
КОСМИЧЕСКИ ТЕЛЕСКОПИ

1. Чандра и негови ренгенови изображения на остатъците от избухвания на свръхнови: Ракообразната мъглявина -ляво, и Вела – дясно (NASA/CXC/NGST)



2. Келпер (Kepler, оптичен), който търси планети около други звезди (W Stenzel/NASA Ames)

3. Хъбъл (оптичен телескоп, долу) и дълбокото поле (а), където всичко, което виждате са галактики, мъглявината Пеперуда (б) и Колоните на сътворението, където се раждат нов звезди (в). https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main



4. Суифт (SWIFT, дясно) – регистрира гама лъчи. https://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/



5. Спитцер (Spitzer, ляво) – инфрачервен телескоп. <http://www.spitzer.caltech.edu/>

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Модел на космическата обсерватория за слънчеви наблюдения SOHO



Упражнението е най-подходящо за ученици от 6 – 8 клас.

Цел

Учениците да се запознаят и саморъчно да сглобят модел на космическата обсерватория за слънчеви наблюдения SOHO.

Информация за учителя и учениците

Малко информация за космическата обсерватория SOHO:

Името SOHO е абревиатура от английската фраза The SOLar and Heliospheric Observatory, която означава „Слънчева и хелиосферна обсерватория“. Тя е международен проект, изпълнен съвместно от Европейската космическа агенция ESA и Американската космическа агенция NASA. **Основната цел на SOHO е да позволи на учените да разрешат някои от най-объркващите загадки относно Слънцето, в това число вътрешната структура на Слънцето, механизмите на нагряване на значителните му по размери външни слоеве на атмосферата, както и произхода на слънчевия вятър.** SOHO е изстрелян на 2 декември 1995 г. Той е една от най-амбициозните космически мисии и до момента. Наборът от 12 сложни инструменти на борда на SOHO е разработен от европейски и американски учени. **Работата на инструментите и обсерваторията, както и анализът на данните от нея, изискват големи инженерни и научни екипи, включващи стотици учени от цял свят.** Големи радиоантени, разположени по целия свят, които са част от мрежата “Дълбок космос” на NASA, следят пътя на космическата обсерватория отвъд Земната орбита. Контролният център на мисията е разположен на територията на космическия център Годард в САЩ. Възможността SOHO да наблюдава Слънцето без прекъсване се осигурява от неговото разположение на разстояние от 1.6 милиона километра от Земята в посока към Слънцето, където гравитационните сили на Слънцето и Земята държат обсерваторията на постоянна, стабилна орбита. Непрекъснатите наблюдения на Слънцето за вече над две десетилетия, провеждани от SOHO, помагат също и да разберем по-добре взаимодействието между Слънцето и околната среда на Земята.

Повече информация за обсерваторията SOHO, както и интересни и красиви изображения на Слънцето, направени с нейните инструменти, можете да намерите тук: <https://sohowww.nascom.nasa.gov/>.

Моделът:

Този модел (страници 1 до 3 включително от Приложението **модел_SOHO.pdf**) може да се отпечата цветно или черно-бяло. Размерът на листа трябва да е 22 x 28 см (формат US Letter) и е добре хартията да е по-плътна, за да бъде моделът по-стабилен. Сглобяването отнема около 25 минути. В приложението са включени и изображения на обсерваторията (за да се добие представа как изглежда SOHO в действителност), изображение на сглобения модел, както и две изображения на Слънцето.

Други необходими материали

- Лепило,
- ножици,
- клечка за зъби и
- парче глина или по-твърд пластилин за основата, на която да се постави модела.

Инструкции за сглобяване

Местата за прегъване са отбелязани с червени линии. Елементите се изрязват внимателно по контурите, които на места са пунктирани линии, а на места – плътни линии, части от контура на елементите.

Големият елемент на стр. 1 се изрязва, прегъва се по указания начин и се залепя. Това са слънчевите панели. Тялото на SOHO (големият черен елемент на стр.2) се изрязва и залепя така, че да образува кутия, която се залепя към указаното място на елемента със сините слънчеви панели (бялата зона, означена “страна А”).

Частите, маркирани с латинските букви А, В, С, D, Е, F и G, се изрязват внимателно по контурите. Всички (без А, който трябва да е цилиндричен, когато е готов) трябва да образуват правоъгълни кутии, след като се прегънат и залепят. Когато са готови, те се залепят съответно към указаните със същата буква места по тялото на апарата – големия черен елемент на стр. 2. Трябва да ги ориентирате с правилната страна нагоре, например вижте как е ориентиран елемент А на картинката със сглобения модел на стр.3.

Окръжността на стр. 3 се изрязва цялата, след което се прави разрез по пунктира към центъра и се залепва така, че да образува конус. След това клечката за зъби се забива в центъра на конуса (комуникационната антена) и в кръгчето, маркирано с “Х” на елемента със слънчевите панели.

Практическо упражнение 2: Постройте сами макет на космическа обсерватория

Упражнението е подходящо за ученици от 4 – 6 клас. Оригиналът (на английски език) е на NASA Space Place и можете да го намерите тук: <https://spaceplace.nasa.gov/build-a-spacecraft/en/>.

10. Обсерватории



и телескопи, които можете да покажете за илюстрация. Учениците трябва да измислят и построят макета (за време около 20 минути, например 5 минути за измисляне на проекта и 15 за сглобяване), след което за 5 минути да го представят пред класа и да обяснят кой елемент каква задача изпълнява. По Ваше желание можете да направите класиране на най-интересните/най-добре сглобени макети.

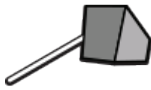


Инструкции за ученика

Вие сте инженери на важна мисия за построяване на космическа обсерватория. Трябва да измислите и постройте такава. Можете да използвате които поискате от изброените горе материали, стига да са поне 5. Обсерваторията може да е предназначена за изследване на Слънчевата система, на Слънцето, на други звезди и техните планетни системи, на нашата галактика или други галактики – Вие трябва да решите.

1. Имате 5 минути да решите каква ще е целта на обсерваторията и направете план за сглобяване. Но все пак, за да може да работи, обсерваторията трябва да има няколко основни елемента:



	<p>Тяло: Вашата обсерватория трябва да има основно тяло, към което да са прикачени другите елементи и което да предпазва инструментите.</p>
	<p>Източник на енергия: Ще ви трябва нещо, което да захранва обсерваторията с енергия (ток), така че да могат да работят инструментите на борда. Два варианта са слънчеви панели (като на картинката) или специални батерии.</p>

	<p>Научни инструменти: Те са причината да изстреляте космическата обсерватория. Инструментите може да са предназначени да правят снимки на обекти от Слънчевата система или далечния космос, да изследват химичните елементи, или да следят слънчевата активност. Вие решавате.</p>
	<p>Устройство за комуникация: Ще трябва да намерите начин за комуникация със Земята. Един добър начин за връзка са антените (които могат да са с формата на чиния, или прът).</p>
	<p>Уред за ориентация: Трябва да имате уред, който да дава информация на обсерваторията за това накъде е насочена и как е ориентирана в пространството. Такъв уред може да е малък телескоп, който да следи звездите или Слънцето.</p>

2. Имате на разположение 15 минути да сглобите обсерваторията. Помнете, трябва да използвате поне 5 от дадените материали.
3. Представете вашия проект пред класа в рамките на 5 минути – каква е целта на обсерваторията, какви елементи има (посочвайте елементите на макета докато разказвате).

Пример на сглобен макет е показан на картинката:



Практическо упражнение 3: Наземни обсерватории

Упражнението е най-подходящо за по-големи ученици.

Цел

Учениците сами да потърсят и систематизират информация за избрана от тях (или посочена от учителя) наземна обсерватория, нейните инструменти и изследванията, които се извършват с тях.

Необходими материали

- таблет/смартфон/компютър;
- достъп до интернет и Google Maps (<https://www.google.com/maps/>).

Списък с обсерватории

(пълен списък на астрономическите обсерватории можете да откриете тук: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_astronomical_observatories):

1. Айс Кюб неутринна обсерватория (IceCube Neutrino Observatory, <https://iccube.wisc.edu/>)
2. Аресибо (Arecibo Observatory, <http://www.naic.edu/ao/landing>)
3. ALMA (<https://www.almaobservatory.org/en/home/>)
4. Паранал (Paranal Observatory, <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal.html>)
5. Мауна Кеа (Mauna Kea Observatories, <http://www.ifa.hawaii.edu/mko/>)
6. LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, <http://www.ligo.org/>)
7. Роке де лос мучачос (Roque de los Muchachos Observatory, <http://www.iac.es/en.php?op1=2&lang=en>)
8. Обсерватория на Южна Африка (South African Astronomical Observatory, <http://www.saa.ac.za/>)
9. Big Bear Solar Observatory (<http://www.bbso.njit.edu/>)
10. Национална астрономическа обсерватория Рожен (<http://www.nao-rozhen.org/>)
11. Лоуел (Lowell Observatory, <http://www.lowell.edu/>)
12. Специална астрофизична обсерватория (САО, <http://www.sao.ru/>)
13. Австралийска астрономическа обсерватория (Australian Astronomical Observatory, <https://www.aao.gov.au/>)
14. Giant Metrewave Radio Telescope (<http://www.gmrt.ncra.tifr.res.in/>)

Инструкции за учителя

Упражнението се прави от отбор от 3 (може и 6) ученика (вариант е и да се даде за домашно на всеки ученик с помощ от родителите). След като се сформират отборите, всеки избира (дава му се) наземна обсерватория, която да е тяхната цел. Можете да използвате горния списък или посочения сайт в Уикипедия. След това

учениците разпределят следните роли: един ще трябва да намери обсерваторията на Гугъл-картите и да опише местоположението с няколко изречения – къде се намира, на каква височина, каква друга интересна информация може да се намери за това място. Вторият трябва да намери и систематизира информация за инструментите/телескопите в тази обсерватория и каква е главната цел: в коя област на електромагнитния спектър са основно изследванията. Третият трябва да намери и обясни с по 3 – 4 изречения два или три интересни резултата, получени там. Накрая отборът събира информацията (за 20 минути) и прави 10 минутна презентация пред класа. Посочените тук времена са примерни, по Ваша преценка можете да ги намалите/увеличите. След края на презентациите може да инициирате дискусия за наученото: коя обсерватория им се е сторила най-интересна; защо? Коя биха желали да посетят; защо? Коя не биха желали да посетят; защо? Може да дискутирате и бил ли е някой в Националната обсерватория на Рожен? Какво са видели? Какво им е направило най-голямо впечатление?

Инструкции за ученика

Вашият клас има възможност да посети една обсерватория от дадения списък. Но за да изберете, трябва да имате повече информация за тези обсерватории. За целта класът е разделен на отбори от по 3 или 6 ученици, като всеки отбор трябва да събере (от интернет) и представи за 15 минути пред останалите от класа информация за една от обсерваториите.

1. След като Вашият отбор е сформиран, изберете/получете от учителя една от дадените наземни обсерватории.
2. Разпределете помежду си следните задачи (един или двама ученици за задача, в зависимост от броя участници в отбора).
 - а) събиране на информация за местоположението: къде се намира – град, държава и т.н., на каква надморска височина, какви други интересни места има наблизо (природни забележителности, градове и др.) Трябва да се намери местоположението на обсерваторията на Google maps, да се запишат координатите и да се покаже карта и/или сателитна снимка.
 - б) информация за наличните инструменти/телескопи в тази обсерватория и каква е главната цел – в коя област на електромагнитния спектър са основно изследванията, как се провеждат и т.н. Ако в обсерваторията има много различни телескопи, то изберете поне два.
 - в) кратка информация за два или три интересни резултата, получени с инструментите на тази обсерватория (общо 5-6 изречения – какво е наблюдавано, с кой телескоп, какъв е резултатът).
3. Имате на разположение 20 минути да съберете необходимата информация.
4. Имате общо 15 минути (заедно или поотделно) да представите цялата събрана информация пред останалата част от класа.

АСТРОНОМИЧЕСКИ ТЕЛЕСКОПИ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Още от най-стари времена хората наблюдават Вселената – първо с просто око (от тези наблюдения е било възможно да се изведат законите на Кеплер), а по-късно – и с непрекъснато подобряващи се телескопи, изведени в околоземна орбита през 20 век. Науката, занимаваща се с тези наблюдения, се нарича оптична астрономия.

Области на
астрономията

Оптичната астрономия следователно изучава това, което е видимо за човешкото око и това, което е в близките области на спектъра, а именно – ултравиолетовия спектър (UV) и инфрачервения спектър (IR). Недостатъкът на наблюденията с просто око е, че когато има облаци, няма какво да се види. Що се отнася до инфрачервената зона, няма нужда дори и от облаци – дори водната пара в атмосферата прави наблюденията невъзможни. Затова IR обсерваториите се изграждат главно в пустините (напр. ESO – Европейската южна обсерватория в пустинята Атакама, Чили).

Радиоастрономията изучава Вселената в зоната на радиовълните. Така например, слънчевите ерупции се проявяват на всички честоти, а истински силните ерупции дори могат да причинят прекъсвания на радио- и телевизионните излъчвания.

Астрономията на частиците улавя субатомните частици, идващи от Космоса. Например, в т. нар. мехурчеста камера от време на време се появяват леки отблясъци, без дори да сме поставили източник на светлина в нея. В тези случаи говорим за космическо лъчение.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

оптика

телескоп

плоско изпъкнала леща

плоско вдлъбната леща

Телескоп на Кеплер

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Исторически най-старият телескоп е телескопът на Галилей, между впрочем холандско откритие, който се състои от една плоско изпъкнала леща – обектив и една плоско вдлъбната леща – окуляр. Този телескоп е патентован през 1608 г. от холандския оптик Ханс Липершей. Използвайки този телескоп, Галилей е направил няколко важни открития. Той открива четирите най-големи луни на Юпитер (които днес наричаме Галилееви луни или Галилееви спътници), фазите на Венера и слънчевите петна. **Този телескоп обаче има сравнително малко зрително поле, каквото имат днес обикновените театрални бинокли.**

Телескоп на
Галилей

По-съвършен е телескопът на Кеплер – т. нар. астрономически телескоп (около 1611 г.). Той се състои от по-голяма плоско изпъкнала леща с по-голямо фокусно разстояние – обектив, а като окуляр се използва плоско изпъкнала леща с по-малко фокусно разстояние, разположен така, че фокусът на изображението на обектива съвпада с фокуса на изображението на окуляра. Недостатъкът на този телескоп е, че той е сравнително дълъг (дължината му се определя от сбора от фокусните дължини на обектива и окуляра) и обръща изображението. Това не е проблем за астрономическите наблюдения, но при наземните наблюдения телескопът на Кеплер се настройва с помощта на двойка перпендикулярни призми, едната от които се завърта вертикално, а другата – странично. В същото време, благодарение на това, че лъчите изминават част от пътя си в обратна посока, дължината на самия телескоп намалява. Ако два такива телескопа са поставени един до друг и се използват за гледане и с двете очи, резултатът е известен като „призматичен бинокъл“.

Телескоп на
Кеплер

Чест недостатък на телескопите с лещи е т. нар. дисперсия (хроматична аберация) – разлагането на светлината през обектива. Индексът на пречупване зависи от дължината на вълната, и точно затова бялата светлина се разлага в спектър, подобен на дъгата от водни капчици. Това нежелано явление се среща и при ярки предмети под формата на син край (виж фигура 1), тъй като точно синият цвят се пречупва най-много. Този проблем може да бъде частично решен например с изграждането на т.нар. **ахроматичен обектив**, където се използва плоско изпъкнала леща, веднага последвана от плоско вдлъбната леща със значително по-голям коефициент на пречупване.



Фиг. 1: Хроматична аберация при наблюдение на Луната

10. Обсерватории

Телескоп на Нютон Дисперсията върху обектива може да бъде избегната и чрез използването на огледало като обектив. **Телескопът на Нютон, който използва параболично огледало като обектив, в момента е най-използваният вид телескоп за астрономически наблюдения, независимо дали те са професионални или любителски.** Обективът на рефлектора, следователно, е направен от първично параболично, сферично или хиперболично огледало. Образът на обекта след това се отразява от вторичното огледало и накрая се гледа с помощта на окуляра. Първичното огледало събира успоредните лъчи на наблюдавания обект и ги концентрира в една единствена точка, създавайки истинско изображение. Това изображение е в посока на падащите лъчи. Наблюдателят обаче с прякото си наблюдаване би засенчил падащата светлина, и затова на пътя на събиращите се лъчи се поставя плоско огледало, което насочва лъчите директно в окуляра и прави наблюдението възможно.

Предимството на рефлекторите е липсата на хроматична аберация. Огледалният телескоп няма т. нар. хроматична аберация, което се дължи на факта, че отражението не разлага бялата светлина на отделни цветни лъчи. Второ предимство на рефлекторите е по-лесното производство на стъклото за огледалото в сравнение с производството на стъклото за лещите. Това е така, защото стъклото, използвано за направата на огледалото, не е задължително да бъде еднородно, защото светлината не преминава през него. Това е само основата, върху която се нанася слой от отразяващ метал. Друго предимство е разположението на тубуса, който е по-малък от рефракторите, защото в него се отразява светлината, а тежкото огледало е разположено от към страната на наблюдателя, докато обективът на рефрактора е във външния край на тубуса.

Освен това големите професионални телескопи с диаметър от по няколко метра използват т. нар. **адаптивна оптика** – основното огледало е съставено от сегменти, чиято позиция може да бъде контролирана от компютър. По този начин е възможно да се компенсира т. нар. **качество на атмосферата** (от англ. atmospheric seeing) – размазването на изображението поради движението на въздуха в атмосферата (подобно явление може да се наблюдава под формата на трептене на изображенията над нагорещен път през лятото).

3. МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУКЦИИ ЗА УЧИТЕЛИТЕ

Ако учениците вече са минали темата за оптиката на лъчите, и след като е направено необходимото повторение на материала за пречупването на лъчите от плоско изпъкнала леща и от плоско вдлъбната леща (под формата на теоретично упражнение), е възможно да се пристъпи към Задача 1:

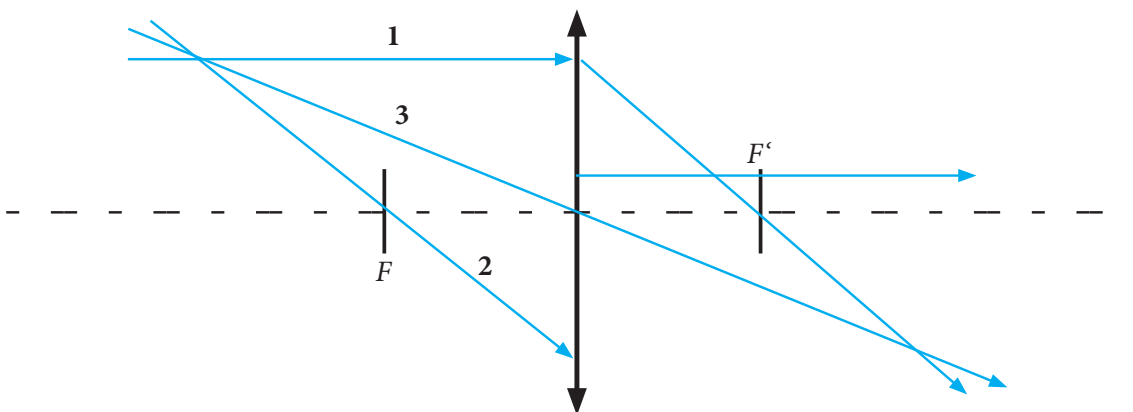
Задача 1: Конструирание на пътя на лъчите

Ако учениците в осми или девети клас (според вида на училището) вече са се занимавали с преминаването на лъчите през леща и с някои други значими лъчи, е възможно да се конструира и преминаването на лъчите през телескопа на Кеплер, което е много подходящо, особено когато по-късно се премине към Задача 2 (Конструирание на обикновен телескоп на Каплер). **Независимо от това, препоръчително е да повторите основните елементи на оптичната система и на видимите лъчи (като например оптична ос, фокус и т. н.):**

Лъч 1 е успореден на оптичната ос, а след преминаване през лещата се пречупва до фокуса на изображението на лещата (F').

Лъч 2 преминава през фокуса на предмета (F), а след преминаване през лещата се пречупва успоредно на оптичната ос.

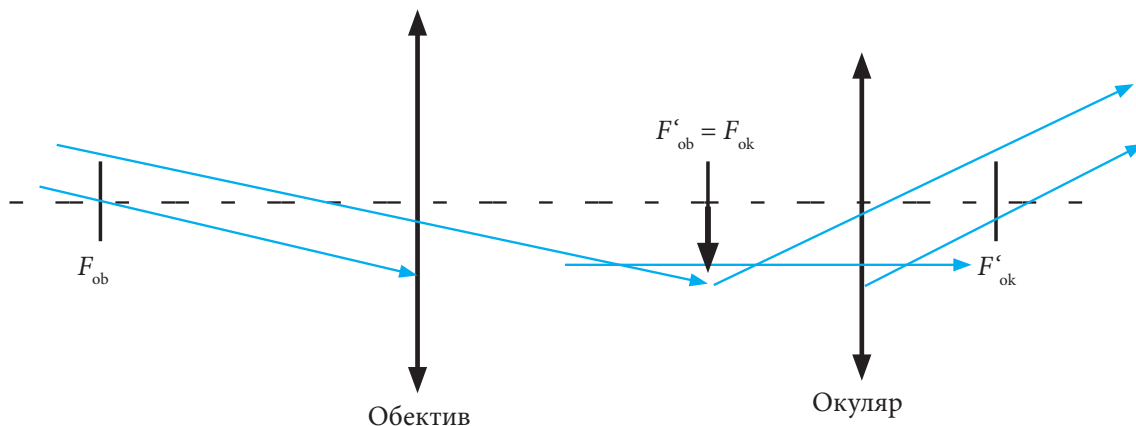
Лъч 3 преминава през центъра на лещата, а при преминаване през лещата не се пречупва.



Фиг. 2: Лъчи при преминаването им през плоско изпъкнала леща

10. Обсерватории

След това упражнение е възможно да се пристъпи към конструирането на хода на лъчите с помощта на телескопа на Кеплер. Тук си струва да се спомене на учениците, че в най-простия случай обективът се състои от единична събирателна леща с голям диаметър и по-голямо фокусно разстояние от фокусното разстояние на окуляра така, както е показано на фигурата:



Фиг. 3: Ход на лъчите в телескопа на Кеплер

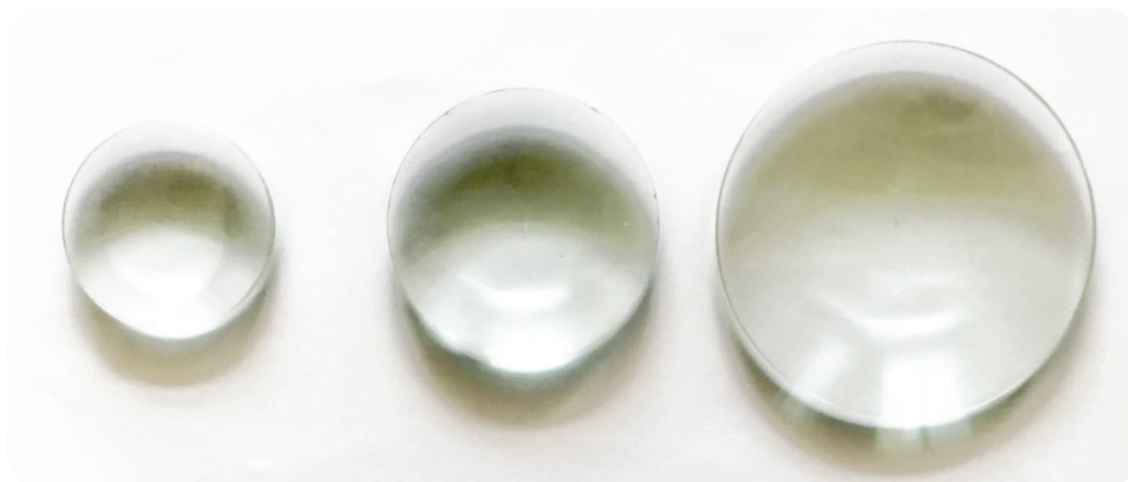
Лъчите, влизащи в телескопа, можем да считаме за паралелни, тъй като те влизат в телескопа от голямо разстояние (в оптиката пет метра вече се смятат за безкрайност...) и под много малък ъгъл спрямо оптичната ос – една от причините за използването на телескопа е, че той увеличава ъгъла, под който виждаме обекта.

Законструкцията, използваща лъчите, действителното изображение на наблюдавания обект влиза във фокуса на изображението на обектива F'_{ob} . Наблюдаваме го с помощта на окуляра както с лупа. От конструкцията на изображението с помощта на лъчите става ясно, че лъчите, излизащи от телескопа, образуват по-голям ъгъл с оптичната ос в сравнение с лъчите, които влизат в телескопа. Също така може да се види, че лъчите, които влизат отляво и отгоре надолу, излизат отдолу и отдолу нагоре. По този начин телескопът на Кеплер обръща образа.

В наши дни не е разумно да се изгражда телескоп от лещи за очила, тъй като те са ненужно скъпи (защото това е медицинско изделие). Напротив, може да намерите лупи на доста по-добра цена. След това може да конструирате и обикновен телескоп на Кеплер.

Задача 2: Обикновен телескоп на Кеплер

От две лупи може много лесно да конструирате обикновен телескоп на Кеплер. Често продаваните лупи (с диаметър от по 9 – 10 cm) имат фокусно разстояние от около 40 cm, средните лупи (с диаметър от по 5 – 6 cm) имат фокусно разстояние от около 15 cm, а най-малките лупи имат фокусно разстояние от около 10 cm (вижте Фиг. 4). За изграждането на телескопа на Кеплер е необходимо да разполагате с една малка лупа и с една средна, или още по-добре – с една голяма лупа.



Диаметър 5 cm
Фокусно разстояние
 $f = 9,6$ cm

Диаметър 7 cm
Фокусно разстояние
 $f = 14,6$ cm

Диаметър 9,5 cm
Фокусно разстояние
 $f = 37,2$ cm

Фиг. 4: Налични свързващи лещи

Начин на действие

1. Определете фокусното разстояние на използваните лещи. Това е най-лесно да направите така: поставете лещата (например с помощта на лабораторна стойка, а при нужда – с ръка) под светлинния източник и се опитайте да създадете остро изображение на източника върху масата или на пода. По този начин височината на центъра на лещата над изображението (масата, пода) ще бъде равна :

Номер на измерването	$\frac{f_{об}}{cm}$
1	37,3
2	36,8
3	37,5
4	37,2
5	32,2

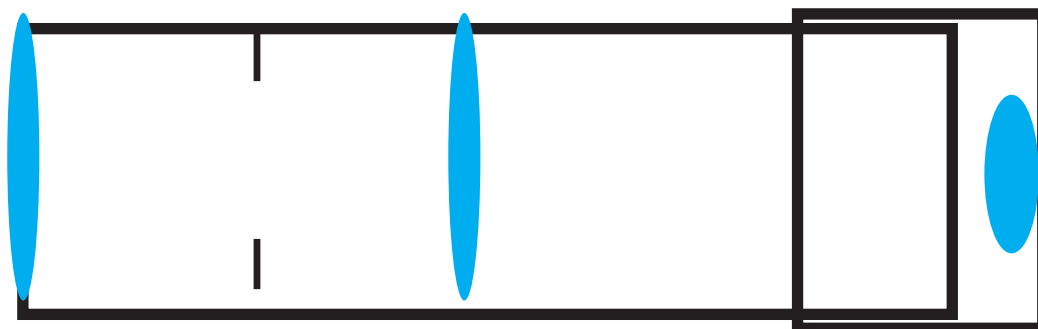
$$f_{об} = 37,2 \text{ cm}$$

Номер на измерването	$\frac{f_{ок}}{cm}$
1	9,5
2	9,6
3	9,4
4	9,7
5	9,9

$$f_{ок} = 9,6 \text{ cm}$$

10. Обсерватории

2. Поставете обектива и окуляра в подходящ тубус. Отличен избор е тубусът за чертежи, където лещата на окуляра може да бъде прикрепена към тапата, която затваря тубуса. Премесвайки тапата към края на тубуса, фокусирайте телескопа.



Фиг. 5: Схема на телескопа на Кеплер и снимка на реализацията

Никога не гледайте директно към Слънцето през телескопа! Това може да причини непоправимо увреждане на очите ви!

3. С телескопа може да наблюдавате земни обекти, като бързо ще се уверите, че изображението действително е обърнато. Ако наблюдавате Луната при пълнолуние например, също така ще стигнете до извода, че всъщност наблюдавате и т. нар. дисперсия на светлината.

Примерно решение на работния лист

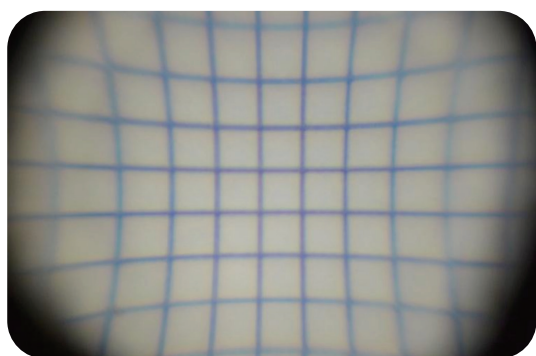
$$\text{Дължина на телескопа} = f_{\text{об}} + f_{\text{ок}} = 37,2 \text{ cm} + 9,6 \text{ cm} = 46,8 \text{ cm}$$

$$\text{Увеличение на телескопа} = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}} = \frac{37,2 \text{ cm}}{9,6 \text{ cm}} \cong 3,9$$

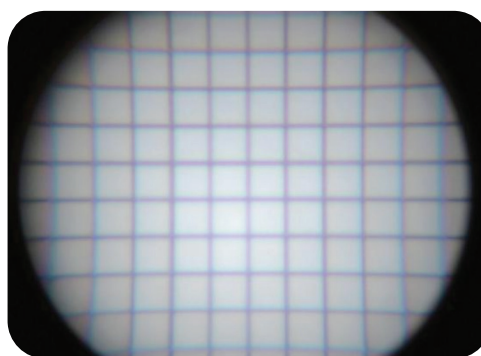
На практика астрономическите телескопи често разполагат с параметри във формат *диаметър на обектива / фокусно разстояние на обектива*.

И на края, запишете параметрите на направения от вас телескоп: **90/372 mm**.

Ако е наличен окуляр от телескоп, може да направите директно сравнение. Когато наблюдавате квадратна решетка, ясно виждате, че професионалните окуляри имат много по-добре компенсирани изкривявания:



а) Окуляр от една плоско изтъкнала леща



б) Професионален окуляр

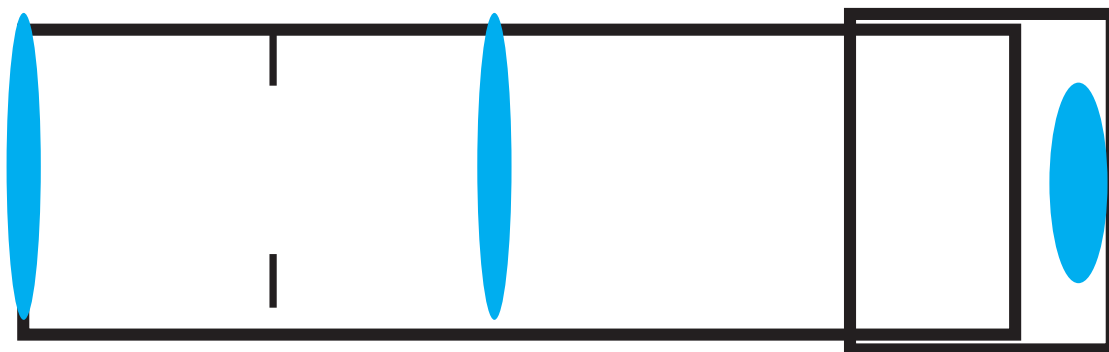
Фиг. 6

Задача 3: Подобрен телескоп на Кеплер

Хроматичната аберация на обектива може да бъде частично компенсирана и без използването на лещи с друг индекс на пречупване. Описаната конструкция изхожда от симетричния обектив на Грей, използван преди това в перископи, а от 1890 г. – и във фотоапарати. Обективът се състои от две еднакви събирателни лещи, разположени на разстояние от $0.8 f$ една от друга. Резултатът от описаната по-долу конструкция е един доста приличен телескоп от 42/420 мм, имащ само леки оптични дефекти.

Начин на действие

1. Залепете две еднакви лещи (средни или големи) с помощта на подходяща хартиена гръба по такъв начин, че те да са на разстояние от $0,8 f$ една от друга. Ако фокусното разстояние на централната леща е 14 cm, подгответе обектива така, че лещите да са на разстояние от 11,2 cm една от друга.
2. В средата на обектива (точно между лещите) залепете блендата, която има диаметър с една десета по-малък от диаметъра на използваните лещи. За средните лещи с диаметър от 6,5 cm в центъра на обектива залепете колелце от твърда хартия с отвор с диаметър от приблизително 5,9 cm.



Фиг.7: Схема на подобрения телескоп

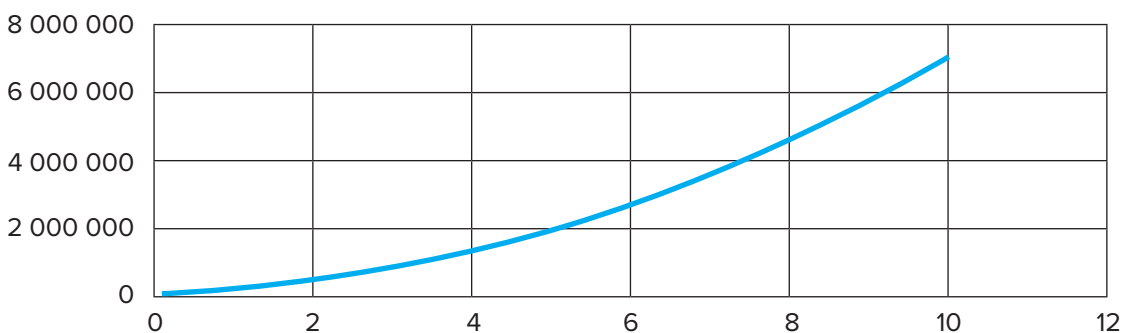
3. Заменете единия лещов обектив от Задача 1 със създадения обектив.
4. С този телескоп може лесно да наблюдавате кратерите на Луната, галактиката в Андромеда, мъглявината в Орион, но няма да видите много подробности (за това е необходим истински телескоп).

Задача 4: Сегментирано огледало

За изграждането на наистина големи астрономически телескопи, обикновено не се използват първични огледала от един брой, а се използват т. нар. сегментирани огледала. Това е така поради използването на познанията от т. нар. адаптивна оптика, но главно поради конструктивни и ценови съображения – основното огледало, съставено от по-малки сегменти, е значително по-евтино.

В описаната дейност учениците сами трябва да стигнат до това заключение, обмисляйки изграждането на огледало с диаметър от 10 метра. За дейността си струва да се каже: „Вашата задача е да проектирате 10-метрово огледало за нов телескоп, но на цена, ненадвишаваща 7 милиона долара.“

Учениците имат на разположение графика на зависимостта между цената на огледалото и диаметъра му:

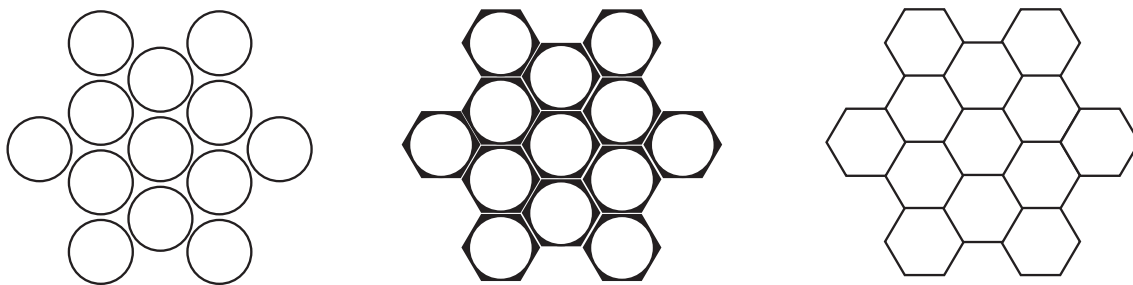


Фиг.8: Зависимост на цената на огледалото от неговия диаметър

Учениците разполагат и с работен лист с кръгчета с диаметър от по 1, 2,5, 5 и 10 cm, при което тези с диаметър от по 10 cm представляват 10-метровото огледало. Учениците могат да изрежат тези колелца и да изпробват различни конфигурации на огледалото. По време на експериментите си те би трябвало да установят, че е по-евтино да заменят едно голямо огледало с набор от по-малки огледала, общата площ на които дава желаната огледална площ с диаметър от 10 метра. Общата цена може да бъде изразена като

$$C_{\text{celk.}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}} c = \frac{D^2}{d^2} c = \frac{100 \text{ m}^2}{d^2} c,$$

където $D = 10 \text{ m}$ е диаметърът на желаното огледало, d е диаметърът на сегмента, а c е цената на един сегмент (според графиката). Учениците трябва да открият, че големият брой по-малки огледала намаляват цената. И накрая, отделните групи могат да представят своите решения пред класа. Ако някой от учениците се сети, че шестоъгълните сегменти са още по-добри, похвалете ученика. Ако това не стане, е възможно да попитаме защо намираме шестоъгълни сегменти в професионалните телескопи. Препоръчително е да използвате следната фигура (но тя не трябва да бъде включена в работния лист):



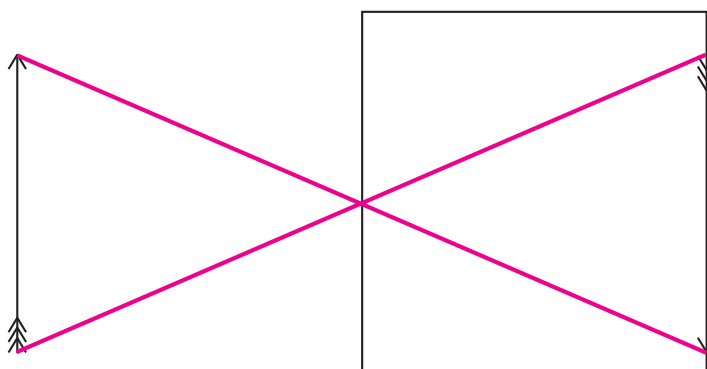
Фиг.9: Шестоъгълни сегменти

Шестоъгълниците запълват цялата повърхност и затова, например, килийките в пчелните пити имат шестоъгълна форма. Въпреки че сборът от шестоъгълниците заема същата площ като системата от кръгли огледала, шестоъгълниците отразяват повече светлина.

Задача 5: Камера-обскура

В класната стая е възможно да се слоби и обикновена камера-обскура, за да се наблюдава околността – възможно е да се получи изображение на запалена крушка и на улица, осветена от яркото слънце. За да наблюдавате частично затъмнение, е необходимо екранът на камера-обскура да е разположен на най-малко един метър от отвора – в този случай сянката ще е с диаметър от около сантиметър. За да се наблюдават наистина големи слънчеви петна е нужна камера с отвори с дължина от най-малко два или три метра, която може да бъде направена например от тръба за килими, окачена върху подходящи стойки. След това се прави насочване към Слънцето, при което сянката от тръбата трябва да е възможно най-малка.

Принципът на камера-обскура е много прост: част от светлинните лъчи преминават през отворите и създават обърнат образ върху екрана.



Фиг. 10: Принцип на камера-обскура

На практика обикновена камера-обскура може да се направи от почти всяка кутия, в която се изреже по-голям отвор, в който се постави проследяваща хартия. Така се създава екрана. От обратната страна се изрязва отвор с размери приблизително 3 × 3 сантиметра, в който се залепва алуминиево фолио, в центъра на което с помощта на карфица се пробива малък отвор.

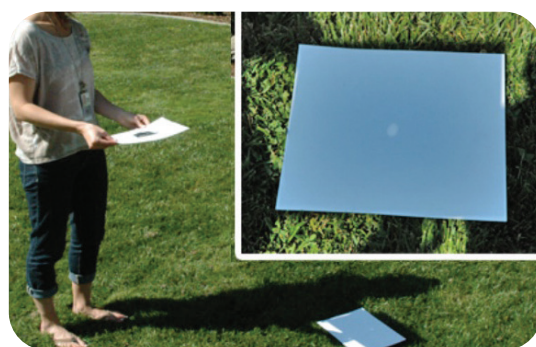
Забележка: За по-нататъшните експерименти, при които отворът може да бъде направен точно (например в тънък алуминиев лист, който може да бъде допълнително изтънен с шкурка, а след това върху дървена основа да бъде пробит с остра игла, която в последствие може да се използва за измерване на диаметъра с микрометър) може да се използва формулата:

$$d = 1,9 \sqrt{f\lambda}$$

получена от лорд Рейли, където f е разстоянието от отвора до екрана, а λ – дължината на вълната на светлината. За изчислението в милиметри може да се използва дължината на вълната на жълто-зелената светлина 0,000 55 mm.

За наблюдение на Слънцето много често се използва и щайга, когато лъчите на Слънцето преминават през отворите и падат върху екрана в предната част (виж илюстрацията). Независимо от това обаче, по-добре е да започнете със екрана, направен с помощта на твърда хартия, и екрана, направен от лист хартия, поставен на сянка.

Поради голямото разнообразие от възможни решения, работният лист съдържа само едно предложение за извършване на дейността, което трябва да бъде приспособено към нуждите на конкретно и изпълнение.



Фиг. 11: Реализиране на камера-обскура

4. РАБОТНИ ЛИСТОВЕ ЗА УЧЕНИЦИТЕ

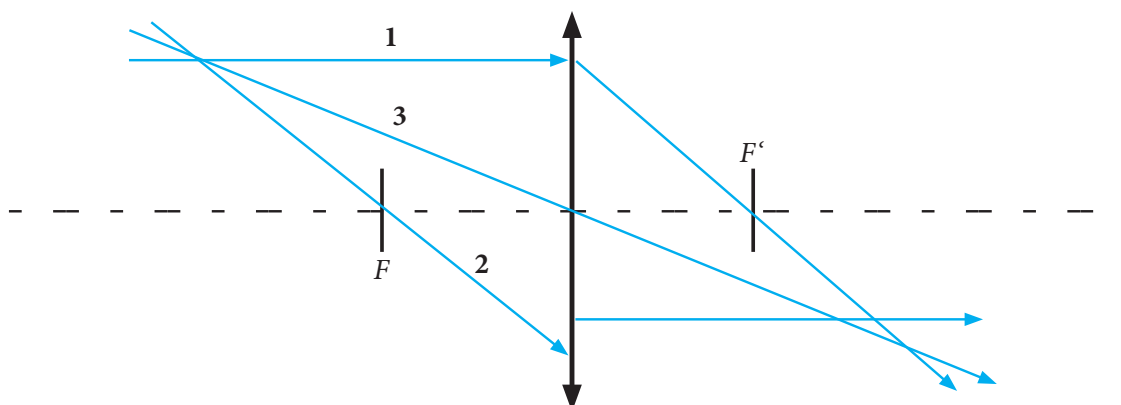
Име на дейността	Предполагаема продължителност	Трудност на дейността	Възраст на децата, за които е подходяща дейността	Помощни средства и използвани материали	Цел на дейността
Задача 1	1 учебен час	средна трудност	14 – 15 годишни	чертожни помагала	Затвърждаване на знанията по геометрична оптика.
Задача 2	1 учебен час	по-голяма трудност	12 – 14 годишни	малка и голяма леща, линейка, тубус за чертежи, трионче, ножици, пистолет за лепене, калкулатор	Затвърждаване на знанията по геометричната оптика и принципите за конструиране на телескоп.
Задача 3	1 учебен час	по-голяма трудност	12 – 14 годишни	малка и голяма леща, линейка, тубус за чертежи, хартия, трионче, ножици, пистолет за лепене, калкулатор	Затвърждаване на знанията по геометричната оптика и принципите за конструиране на телескоп.
Задача 4	1 учебен час	средна трудност	12 – 14 годишни	хартия, линия, калкулатор	Разбиране на принципа на конструиране на огледало от сегменти.
Задача 5	1 учебен час	средна трудност	12 – 14 годишни	хартия, алуминиево фолио, карфица, приспособления за чертане, ножици, тиксо	Фиг. 10: Принцип на камерата с отвори

Задача 1: Конструиране на пътя на лъчите

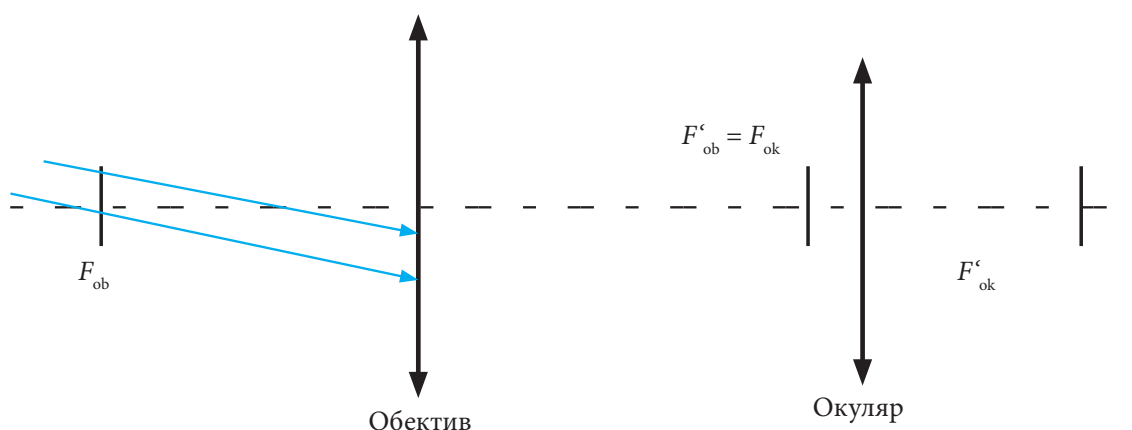
Лъч 1 е успореден на оптичната ос, а след преминаване през лещата се пречупва до фокуса на изображението на лещата (F').

Лъч 2 преминава през фокуса на предмета (F), а след преминаване през лещата се пречупва успоредно на оптичната ос.

Лъч 3 преминава през центъра на лещата, а при преминаване през лещата не се пречупва.



Начертайте изображението, направено от телескопа и опишете неговите характеристики:



Задача 2: Обикновен телескоп на Кеплер

В тази задача ще направите обикновен астрономически телескоп на Кеплер. Обективът е направен от събирателна леща с по-голям диаметър и по-голямо фокусно разстояние, окуляр, събирателна леща с по-малък диаметър и по-малко фокусно разстояние. Поставете лещите в тубуса така, че фокусът на изображението на обектива да съвпадне с фокуса на предмета на окуляра (вижте фигурата).

Начин на действие

1. Определете фокусното разстояние на използваните лещи. Това е най-лесно да направите така: поставете лещата (например с помощта на лабораторна стойка, а при нужда – с ръка) под светлинния източник и се опитайте да създадете остро изображение на източника върху масата или на пода. По този начин височината на центъра на лещата над изображението (масата, пода) ще бъде равна на фокусното разстояние на лещата. Запишете измерените стойности в таблицата по-долу:

ОБЕКТИВ

Номер на измерването	f_{ob} cm
1	37,3
2	36,8
3	37,5
4	37,2
5	32,2

$$f_{ob} = \text{_____ cm}$$

ОКУЛЯР

Номер на измерването	f_{ok} cm
1	9,5
2	9,6
3	9,4
4	9,7
5	9,9

$$f_{ok} = \text{_____ cm}$$

2. Поставете обектива и окуляра в тубуса за чертежи. Дължината на тубуса трябва да бъде намалена с трионче, така че тя да е приблизително с пет сантиметра по-малка от сумата на фокусните разстояния. Би било добре да „затъмните“ вътрешността на тубуса, използвайки матови черни боички.

10. Обсерватории

3. Използвайки пистолета за лепене, прикрепете обектива към единия край на тубуса, а окуляра – към отвора в хартиената тапа, която затваря тубуса. Премесвайки тапата към края на тубуса, фокусирайте телескопа.



Фиг.12: Схема на телескопа на Кеплер

Никога не гледайте директно към Слънцето през телескопа! Това може да причини непоправимо увреждане на очите ви!

4. С телескопа може да наблюдавате земни обекти, като бързо ще се уверите, че изображението действително е обърнато. Ако наблюдавате Луната при пълнолуние например, също така ще стигнете до извода, че всъщност наблюдавате и т. нар. дисперсия на светлината.

Дължина на телескопа = $f_{ob} + f_{ok} =$ _____ cm + _____ cm = _____ cm

Увеличение на телескопа = $\frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{\text{_____ cm}}{\text{_____ cm}} = \text{_____}$

На практика астрономическите телескопи често разполагат с параметри във формат

фокусно разстояние на обектива/диаметър на лещата.

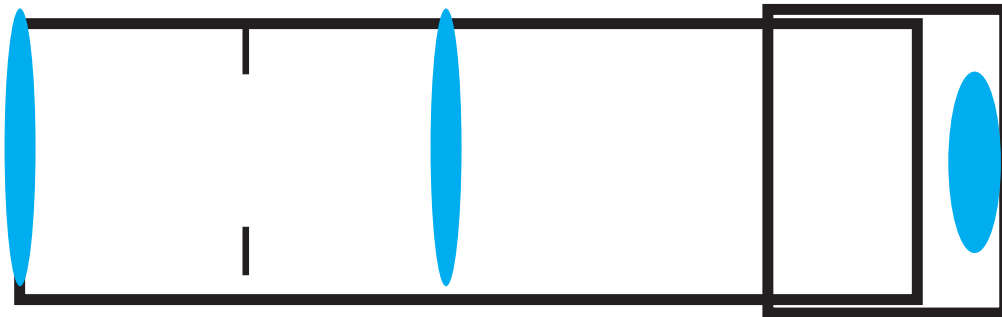
И на края, запишете параметрите на направения от вас телескоп: _____ mm

Задача 3: Подобен телескоп на Кеплер

Хроматичната аберация на обектива може да бъде частично компенсирана и без използването на лещи с друг индекс на пречупване. Описаната конструкция изхожда от симетричния обектив на Грей, използван преди това в перископи, а от 1890 г. – и във фотоапарати. Обективът се състои от две еднакви свързващи лещи, разположени на разстояние от $0.8 f$ една от друга. Резултатът от описаната по-долу конструкция е един доста приличен телескоп от 42/420 mm, имащ само леки оптични дефекти.

Начин на действие

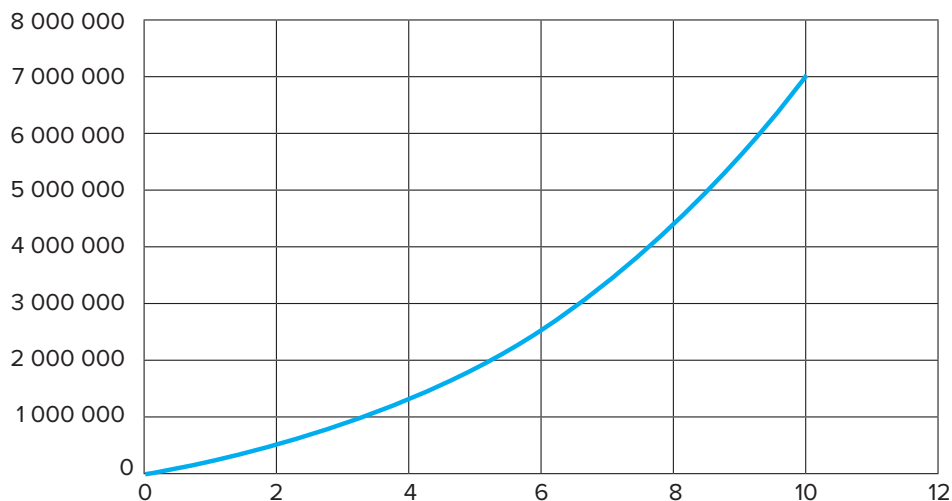
1. Залепете две еднакви лещи (средни или големи) с помощта на подходяща хартиена тръба по такъв начин, че те да са на разстояние от $0,8 f$ една от друга. Ако фокусното разстояние на централната леща е 14 cm, подгответе обектива така, че лещите да са на разстояние от 11,2 cm една от друга.
2. В средата на обектива (точно между лещите) залепете блендата, която има диаметър с една десета по-малък от диаметъра на използваните лещи. За средните лещи с диаметър от 6,5 cm в центъра на обектива залепете колелце от твърда хартия с отвор с диаметър от приблизително 5,9 cm.



3. Използвайки пистолета за лепене, прикрепете обектива към единия край на тубуса, а окуляра – към отвора в хартиената тапа, която затваря тубуса. Премесвайки тапата към края на тубуса, фокусирайте телескопа.
4. С този телескоп може лесно да наблюдавате кратерите на Луната, галактиката в Андромеда, мъглявината в Орион, но няма да видите много подробности (за това е необходим истински телескоп).

Задача 4: Сегментирано огледало

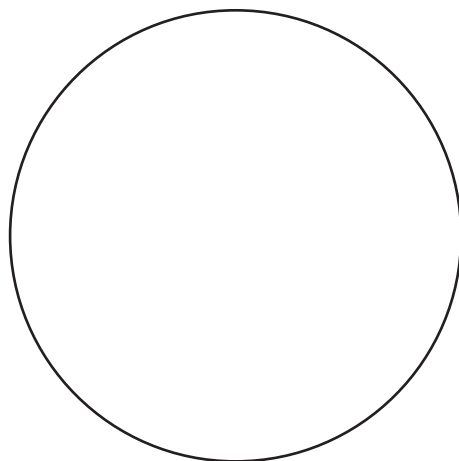
Наистина големите астрономически огледала са скъпи. Огледало с диаметър 10 метра струва 7 милиона долара. Вашата задача е да проектирате огледало с по-евтина цена. Зависимостта между цената на огледалото и неговия диаметър е посочена в следната графика:



Фиг.13: Зависимост на цената на огледалото от неговия диаметър

На оста x е диаметърът на огледалото, а на оста y е неговата цена в долари. Може да изрежете последната част от работния лист и да видите как едно 10-метрово огледало може да бъде заменено с няколко по-малки огледала. По-малкото огледало със сигурност ще е по-евтино, но ще са необходими повече огледала, за да може сумата от огледалните повърхности да бъде 10 метра.

Общата цена може да се изчисли като



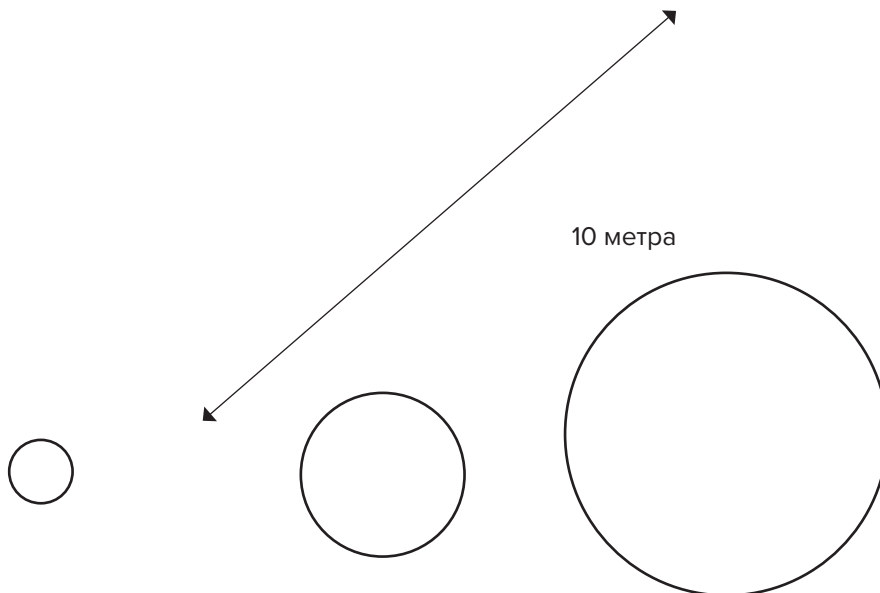
$$C_{\text{целк.}} = \text{брой огледала} \cdot \text{цена на едно огледало.}$$

Броят на огледалата (сегментите) определяме като съотношение между необходимия диаметър (10 метра) и диаметъра на отделните сегменти. Тогава

$$C_{\text{celk.}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}} c = \frac{D^2}{d^2} c = \frac{100 \text{ m}^2}{d^2} c,$$

където $D = 10 \text{ m}$ е диаметърът на желаното огледало, d е диаметърът на сегмента, а c е цената на един сегмент (според графиката).

Опитайте различни варианти с огледални диаметри, налични след изрязването на последната част на работния лист. Може да се занимаете и с други диаметри на сегментите. В края на дейността ще представите своето решение пред класа.

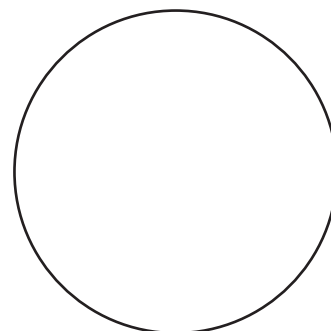
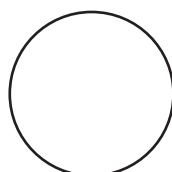
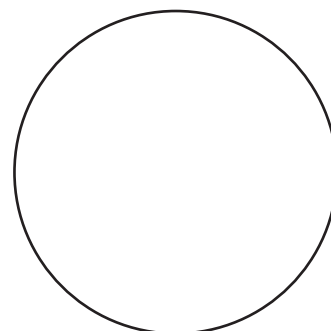
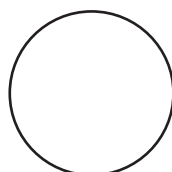
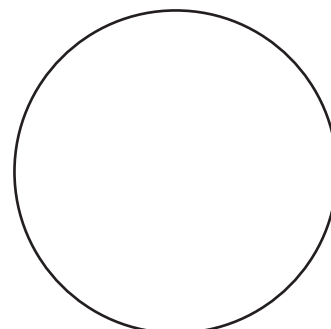
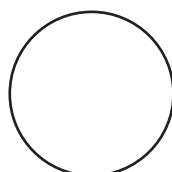
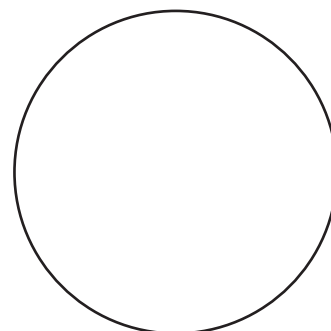
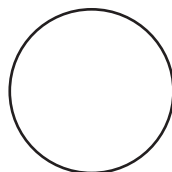


10. Обсерватории

Диаметър 1 метър

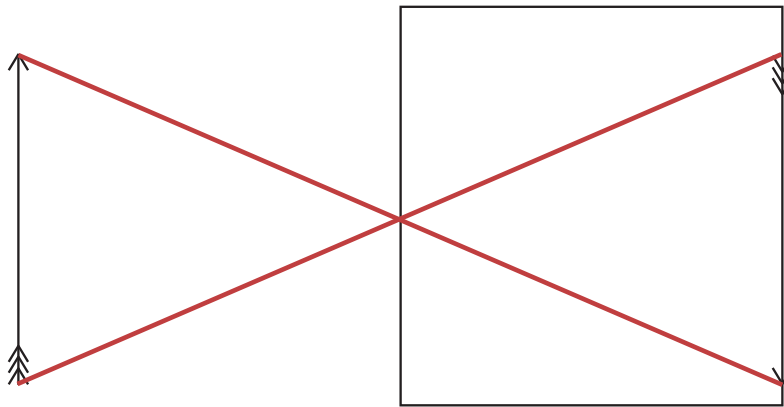
Диаметър 2,5 метра

Диаметър 5 метра



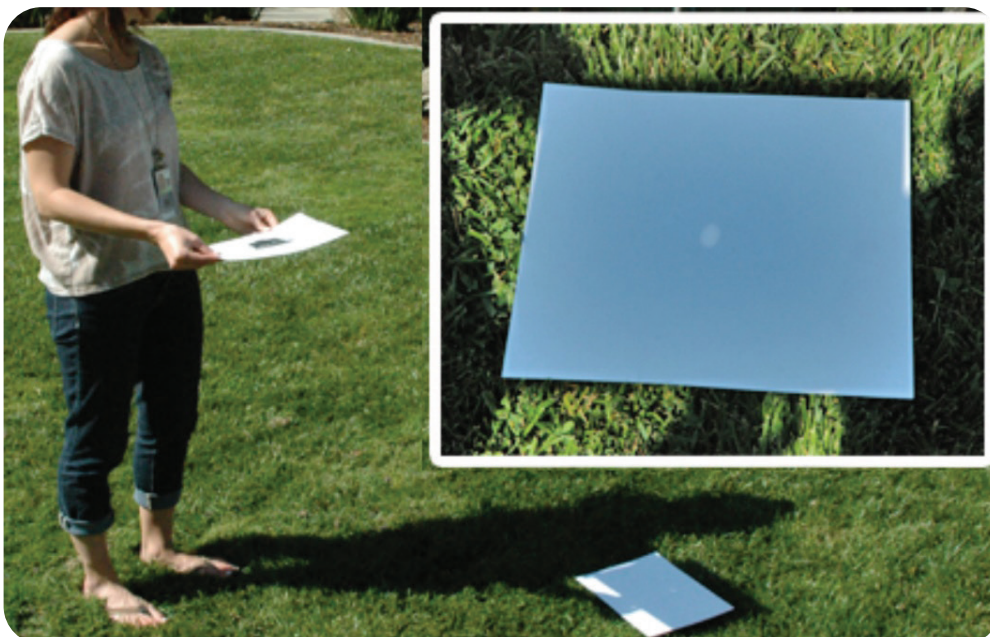
Задача 5: Камера-обскура

Камера-обскура е много просто оптично устройство, при което лъчите от наблюдавания обект преминават през малък отвор и създават изображение върху противоположния екран (вижте фигурата). Следователно изображението, получено от камера-обскура, е обърнато.



Начин на действие

1. Изрежете квадратен отвор с размери 3×3 см в средата на хартия с размер А4.
2. В отвора залепете квадрат от алуминиево фолио с размер от 5×5 см по такъв начин, че светлината да не преминава около фолиото.
3. С помощта на карфица внимателно пробийте малък отвор в центъра на квадрата от алуминиевото фолио.
4. Върху бяла хартия се опитайте да нарисувате Слънцето, „преминаващо“ през направения отвор (вижте фигурата).



ЕЛЕКТРОМАГНИТЕН СПЕКТЪР

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Електромагнитен (ЕМ) спектър наричаме пълния диапазон от всички видове електромагнитно излъчване. Електромагнитното излъчване може да се опише като поток от фотони, пренасящи енергия и движещи се всеки от тях като отделна вълна със скоростта на светлината. Единствената разлика между радиовълните, видимата светлина, рентгеновите лъчи и др. видове електромагнитно излъчване е енергията на фотоните. Радиовълните се пренасят от фотони с най-ниска енергия, микровълните имат малко повече енергия от радиовълните, инфрачервените – още повече, следвани от видимите лъчи, ултравиолетовите, рентгеновите и гама-лъчите.

В тази тема даваме описание на електромагнитния спектър, неговите различни части, и вълните и фотоните. Обясняваме пропускането на атмосферата. Предлагаме и практически упражнения за различни възрастови групи, чрез които учениците да добият представа за електромагнитния спектър и неговите области, да добият представа за научните методи на изследване и да подобрят уменията си като подготвят и проведат собствен експеримент и представят резултатите от него.

1.1 КЛЮЧОВИ ДУМИ

електромагнитен спектър

гама лъчи

излъчване – гама, ултравиолетово, оптично, инфрачервено, радио

радиовълни

фотони

вълна – честота, дължина, енергия

ангстрьом

електрон-волт

прозрачност на атмосферата

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ ЗА УЧИТЕЛЯ

2.1 ЕМ спектър накратко

В зависимост от енергията, която носи фотона, той се държи повече като вълна (при ниски енергии) или повече като частица (при високи енергии). Това е проява на „**корпускулярно-вълновия дуализъм**“ на светлината (термин от квантовата механика) – **фотоните са едновременно и частици, и вълни**. Фотоните показват ту едната, ту другата си страна в зависимост от определени физични условия. Корпускулярно-вълновият дуализъм се проявява най-силно при елементарните частици. Този принцип е справедлив и за по-големи обекти, но колкото е по-голям е един обект, толкова по-слабо се проявяват неговите вълнови свойства. Не можем да говорим за физическа разлика във видовете електромагнитно излъчване – такава няма, а само за различно поведение, дължащо се изцяло на енергията на фотоните.

Електромагнитният спектър се изразява чрез всяка една от следните три физични величини: честотата на вълната ν , дължината на вълната λ , или енергията на фотона E .

Всяка една от тези величини е свързана с останалите както следва:

$$\lambda = c / \nu$$

$$E = h \times \nu, \text{ или } E = hc / \lambda,$$

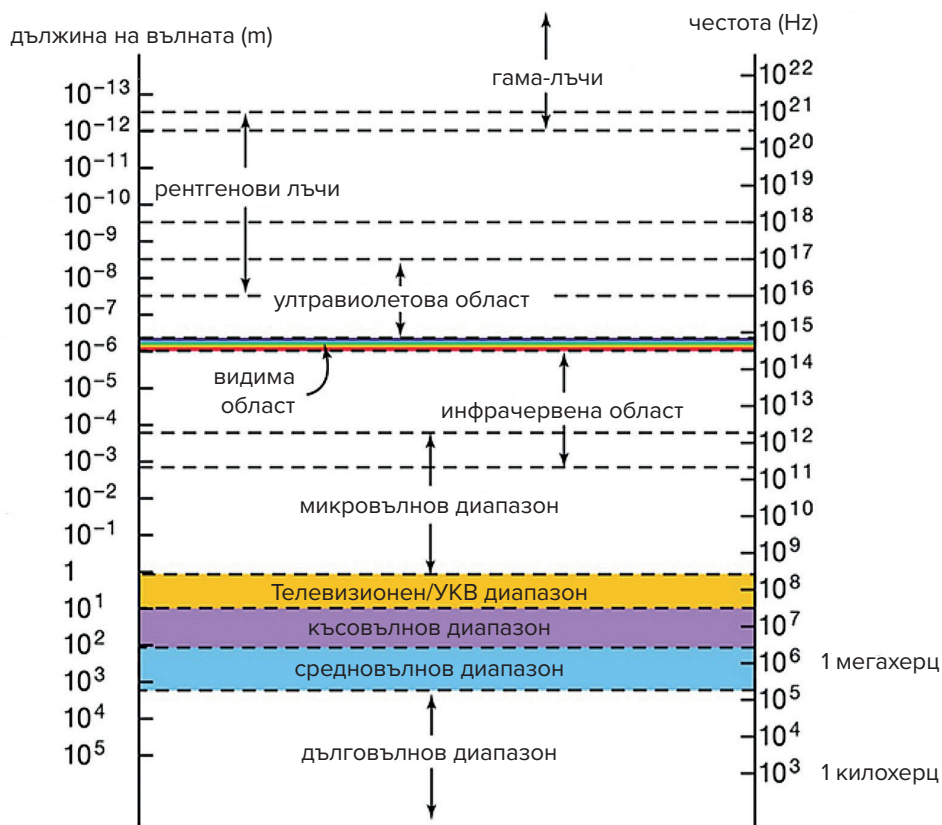
където c е скоростта на светлината във вакуум, $c = 299\,792,458 \text{ m/s}$ или около $300\,000 \text{ km/s}$, h е константата на Планк (Planck's constant), $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

И скоростта на светлината, и константата на Планк са константи, те не си променят стойността при никакви обстоятелства. На Фиг. 1 може нагледно да се види връзката между дължината на вълната и честотата в зависимост от спектралния диапазон, а конверсията между разглежданите по-горе три величини е показана на Фиг. 2.

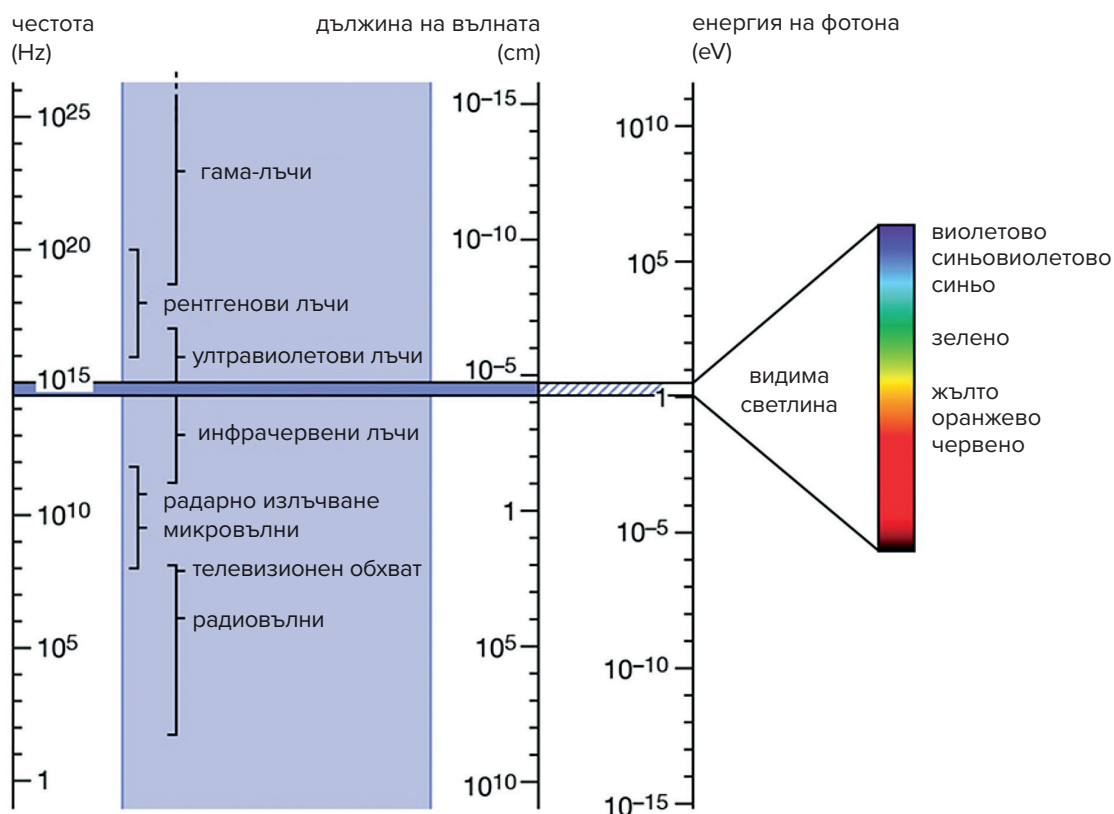
Наблюдаваните в астрономията честоти се простират от около $2.4 \times 10^{23} \text{ Hz}$ (гама-лъчи с енергия 1 GeV) до ниски честоти от около 1 kHz (йонизираната междузвездна среда). Гама-лъчите имат много къси дължини на вълните – от порядъка на части от размера на атома, а дължините на вълните в дълговълновия край на спектъра могат да достигат размерите на звездите (на теория дори до размера на цялата Вселена!).

Ако вълните от електромагнитният спектър преминават през (или се намират в) среда, в която има вещество (т.е. не са във вакуум), то техните дължини се скъсяват. Но дори и в такива случаи учените обикновено имат предвид дължините на вълните във вакуум, когато говорят за дължини на вълните на ЕМ излъчване.

10. Обсерватории



Фиг. 14: Електромагнитен спектър



Фиг. 15: Електромагнитен спектър

2.2 Електромагнитния спектър от край до край

Защо използваме три различни начина за описание на спектъра с три различни физични единици? Защото е по-удобно – по-лесно е да се каже „сто километра“ вместо „сто хиляди метра“. Обикновено учените използват най-удобните единици за диапазона от спектъра, в който работят. Така радиоастрономите предпочитат да използват честоти или дължини на вълните. Голямата част от **радиодиапазона** попада между 1 cm и 1 km, т.е. честоти от 30 GHz до 300 kHz. Този диапазон представлява много широка част от ЕМ спектър.

В **инфрачервената (IR)** и **оптичната** области основната работна величина е дължината на вълната. IR-астрономията използва микрометри (микрометри, mcm или μm) за техния работен диапазон от 1 до 100 mcm. В оптиката се използват **ангстрьومي** ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) или **нанометри** ($1 \text{ nm} = 1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ cm}$). Оптичният диапазон се простира от 400 nm (синьовиолетовата област) до 700 nm (червената област). Този диапазон, към който е чувствително нашето зрение, покрива много малка част от целия ЕМ-спектър. Дължините на вълните в областите на **ултравиолета (UV)**, **рентгена** и **гама-лъчите** (γ -лъчи) са много малки. Затова в тези диапазони астрономите предпочитат да характеризират фотоните с енергията им, измервана с **електрон-волт (eV)**. UV-радиацията лежи в диапазона от няколко eV до около 100 eV, рентгеновата област е от 100 eV до 100 000 eV (или 100 keV), а γ -лъчите имат енергии над 100 keV.

дължина
на вълната

Въпреки, че светлината е фундаментално една и съща в целия ЕМ спектър, начините по които астрономите я наблюдават се мени в зависимост от това, в кой диапазон се провеждат наблюденията (защото не можем да наблюдаваме целия ЕМ спектър наведнъж, а трябва да го разделим на малки части.

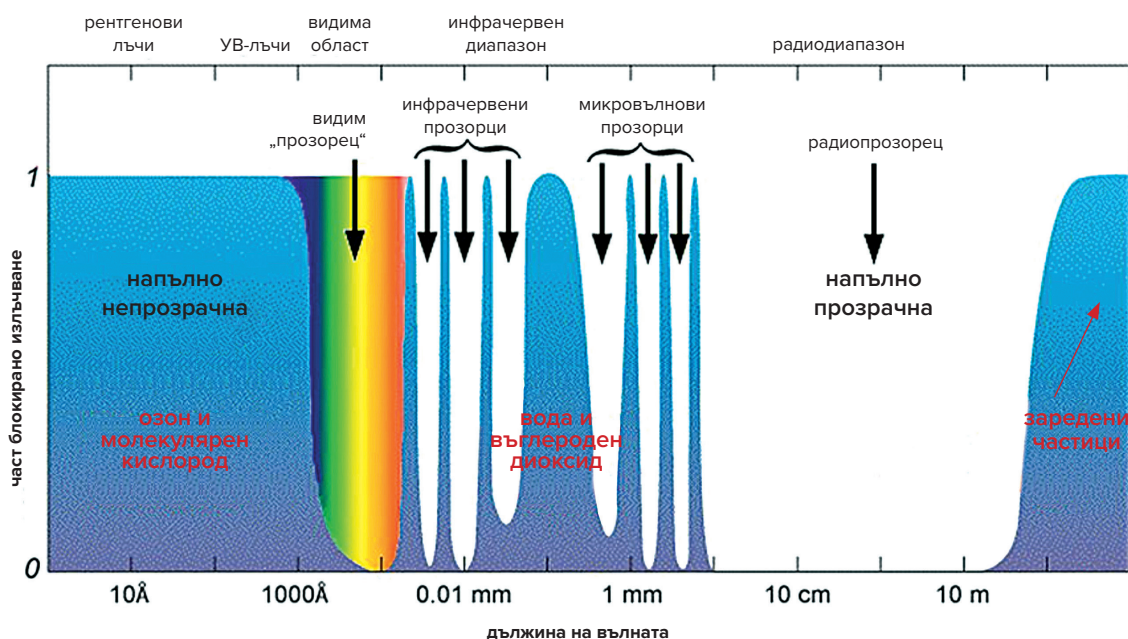
2.3 Прозрачност на земната атмосфера (атмосферни „прозорци“)

Нашето Слънце е източник на излъчване във всички диапазони на електромагнитния спектър и радиацията му постоянно бомбардира нашата атмосфера. Гама-лъчите, рентгеновите лъчи и късовълновата част на ултравиолета са йонизиращи лъчения, т.е. енергията им е достатъчна да откъсват електрони от атомите и молекулите. Излагането на такива лъчения разрушава клетките на органичната материя. Атмосферата ни защитава от опасната за живота високоенергетична радиация, идваща от Слънцето и Галактиката. Не всички участъци от спектъра се пропускат от земната атмосфера и за изследването им трябва да използваме космически телескопи. **Атмосферата, която защитава Земята и прави Земята обитаема, е и пречка за изследването на източници с високи енергии от Вселената.** Към различните диапазони на спектъра са чувствителни детектори, коренно различни по свойствата си. Това налага астрономите да използват множество различни телескопи и детектори, наземни и космически.

10. Обсерватории

Земната атмосфера е прозрачна почти напълно за падащото от Космоса излъчване само в два сравнително тесни участъка (наричаме ги „прозорци“): оптичeskия в диапазона от 300 nm до 1,5-2 μm (областта до 8 μm се състои от редица тесни ивици на пропускане) и в радиодиапазона за дължини на вълните от 1 mm до 30 m (Фиг. 3).

Непрозрачността на атмосферата за останалите диапазони се дължи на поглъщането и разсейването на излъчването от атомите и молекулите на различни газове (най-вече от тези на водата, въглеродния диоксид CO₂ и озона), а също и на отражението на радиовълните от електроните в йоносферата (виж червените надписи на Фиг. 3).



Фиг. 16: Пропускане на земната атмосфера

3. ПРАКТИЧЕСКИ УПРАЖНЕНИЯ И ТЕСТОВЕ ЗА УЧЕНИКА

Практическо упражнение 1: Магията на светлината

Упражнението е адаптирана част от пакет упражнения от програмата на Европейската космическа агенция (ESA) за дейности в класната стая. Най-подходящо е за ученици до 12 г. Оригиналът (на англ. език) е приложен в архива PR06_The_magic_of_light_all.zip, а в интернет можете да го намерите тук: http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/The_Magic_of_Light_Using_spectroscopes_and_colour_wheels_to_study_the_properties_of_light_Teach_with_space_PR06.

Цел

Учениците да изследват светлината и цветовете, използвайки спектроскоп, който са направили сами.

Инструкции за учителя

Това упражнение може да се направи като дейност за целия клас заедно или учениците да се разделят на няколко групи. Първоначално учениците конструират спектроскоп, използвайки модела в Приложение 1 (стр. 13). Той може да се използва за изследване на светлината от различни източници, например Слънцето, LED крушка, електронен екран и др. По този начин те ще разберат, че „бялата“ светлина може да се раздели на различни цветове и че съставните цветове всъщност са комбинация от три основни цвята: червено, синьо и зелено. Най-подходящо за втората част на упражнението е Вие да заредите файла с Приложение 1 на Вашия телефон/таблет и учениците един по един да минават и да изследват различните цветове. Друг вариант е да се разпрати Приложение 1 предварително до учениците, така че те да го имат на телефоните/таблетите си. Алтернативно, упражненията от втората част могат да се дадат за домашно, като се каже на учениците да работят с родител и първо да намерят цветовете в интернет, а след това да ги изследват.

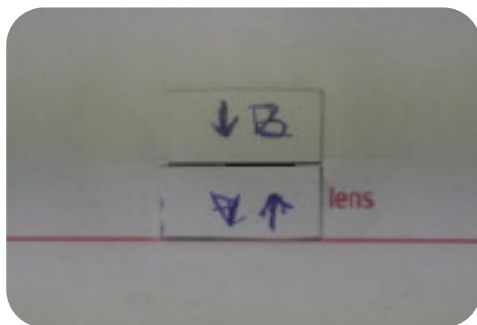
Необходими материали

- Плътен лист черна хартия с размер А4
- Разпечатан модел на спектроскоп (Прил. 1, стр. 13)
- CD или DVD диск
- Лепило стик
- Линия
- Ножица
- Тиксо
- Смартфон с камера или таблет (по избор за втората част на упражнението)
- Чаша вода или леща (за втората част на упражнението)

Детайлни инструкции за учениците: В това упражнение ще направите спектроскоп (уред за изучаване на светлината) и ще го използвате за собствени изследвания, резултатите от които ще дискутирате с останалата част от класа.

Как да сглобим спектроскопа

1. Залепете модела на спектроскопа към плътния лист черна хартия така, че модела да е с лице нагоре.
2. Изрежете модела като следвате външните пунктирани линии.
3. Изрежете процепа за лещата – квадратчето, маркирано с пунктирани линии и кръст, до което пише lens. Изрежете процепа за процепа, през който ще гледате – квадратчето, маркирано с пунктирани линии и кръст, до което е нарисуван телескоп. Изрежете и един от процепите, обозначени с CD или DVD, в зависимост от това какъв диск ще ползвате.



4. Режейки до ръба на листа, изрежете двата правоъгълника, обозначени с А и В.
5. Залепете правоъгълниците, обозначени с А и В върху процепа за лещата, като оставите разстояние между тях с размер горе-долу колкото нокът, както е показано на картинката. Убедете се, че правоъгълниците са прави (ориентирайте се по линията под процепа), успоредни, и че стрелките сочат една към друга (като на картинката).
6. С помощта на линията, сгънете модела по плътните линии, като черният лист трябва да остане от вътрешната страна на модела. Сгънете ушенцата навътре, за да поддържат стените.

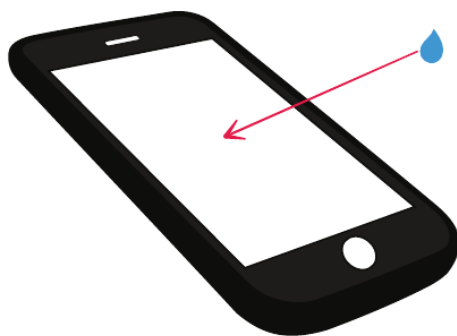


7. Облепете всички ръбове с тиксо, за да запечатате модела.
8. Пъхнете CD (DVD) диска в процепа, предназначен за него, като страната, на която се записва трябва да е към лещата (вижте картинките).
9. Сглобихте спектроскоп.

Изследване на различни източници на светлина

а) Бялата светлина наистина ли е бяла?

1. Насочете лещата на спектроскопа към различни източници на светлина наоколо. Погледнете през процепа, за да видите различните цветове на светлината от различните източници. Можете да направите снимка с камерата на телефона. Запишете какви източници сте използвали и какви цветове сте видели в светлината от всеки източник.



2. Внимателно поставете малка капка вода или лещата върху бял екран (на таблет или смартфон), както е показано на картинката. Вгледайте се внимателно в капката/лещата и ще видите основните цветове на екрана. Запишете какви цветове видяхте по време на този експеримент.

б) Как можем да разделим съставните цветове на основни цветове?

Малките квадратчета, които виждате на екрана се наричат пиксели. Цветовете, които виждате, обикновено на екрана са оцветени в различна смесица от червено, синьо и зелено пиксели. Нека изследваме как се получават цветовете на екрана на таблета/смартфона, за да видим кои от основните цветове (червено, синьо и зелено) се използват, за да се получат други цветове.

1. На екрана на телефона/таблета поставете последователно следните цветове: жълто, циан (синьозелено), маджента (пурпурно). Насочете спектроскопа към всеки цвят и в таблицата долу отбележете с X кои два основни цвята видяхте.

Основен цвят			
Съставен цвят			

10. Обсерватории

2. На екрана на телефона/таблета поставете последователно цветове от долната таблица : жълто, циан, маджента. Насочете спектроскопа към всеки цвят (Приложение 1 – оранжево, тюркоаз, виолетово, малина, пролетно зелено) и в таблицата долу отбележете основните цветове, които видяхте, като оцените с „ниско“, „средно“ и „високо“ колко от даден основен цвят има в съставния. Ако някой основен цвят липсва – напишете „няма“ под него.

основен цвят / съставен цвят	червено	зелено	синьо
оранжево	високо	средно/ниско	няма
тюркоаз	ниско	високо	високо
виолетово	високо	няма	високо
малина	високо	ниско/няма	високо/средно
пролетно зелено	няма	високо	средно/ниско
океан	ниско/няма	средно/ниско	високо

Дискутирайте с останалата част от класа получените резултати.

Допълнение: В приложения архив с оригиналния пакет упражнения има и няколко дейности за по-малките ученици, чрез които те да конструират цветни колела и по този начин да изследват и да разберат как се получават съставните цветове от основните.

Практическо упражнение 2: Честота и дължина на вълната – връзка

Упражнението е взето от страницата с обучителни материали на НАСА. Най-подходящо е за по-големи ученици (над 12 г.) Оригиналът (на англ. език) можете да намерите тук: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lessons/roygbiv/>.

Цел

Учениците ще открият и експериментално ще потвърдят връзката между честота и дължина на вълните от електромагнитния спектър (ЕМ спектър). Ще открият и как тези две величини се отнасят към цветовете в ЕМ спектър.

Необходими материали

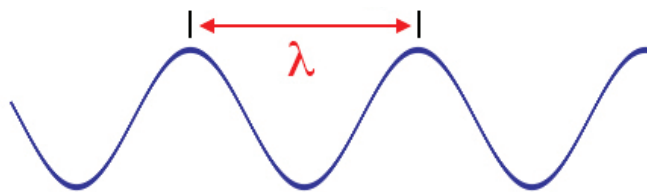
- 1 бр. лента за касов апарат и ролка хартиено тиксо (достатъчен за целия клас)

Всеки ученик трябва да има

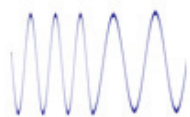
- комплект от червен, зелен и виолетов (лилав) моливи + черен молив
- картонена папка (парче картон с размер А4)
- ножици
- 4 бр. по-дебели учебници (книги)
- часовник със стрелки
- разпечатани 3-те приложения към упражнението (работен лист, таблица за данните, въпросник)

Инструкции за учителя

дължина на вълната



1. Дайте на учениците 5 минути да помислят за връзките в и между различните области на ЕМ спектъра (може да им покажете картинка с обозначения на различните области). Могат ли да се сетят за различни уреди, които работят в различните области? Дискутирайте 5 минути резултатите.
2. Обяснете, че можем да приемем светлината като вълни, които имат дължини и честоти. Дължина се нарича разстоянието между две идентични точки по вълновия фронт (напр. 2 върха, както е показано на фигурата).



висока честота



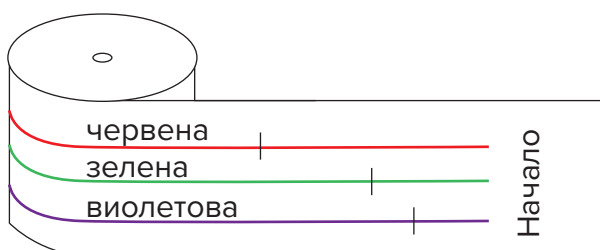
ниска честота

10. Обсерватории

3. Обяснете, че честота е броят дължини на вълните, които минават през дадена точка за 1 секунда (илюстрация на фигурата).

Цялата светлина се движи с еднаква скорост, но различните цветове имат различни дължини на вълните и честоти. Различните дължини са тези, които са причина за разделянето на светлината на различни цветове (спектър на светлината). Може да попитате учениците кой цвят е с най-голяма дължина на вълната (може да им покажете картинка, подобна на горната). Отговор: червен.

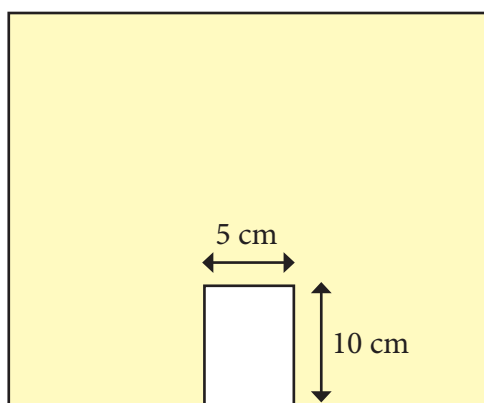
4. Раздайте приложенията и обяснете на учениците, че целта на упражнението е да се покаже постоянната връзка между честота и дължина на вълната.
5. Разделете класа на групи от по 3 ученици. Всяка група трябва да избере кой ще отговаря за данните, кой ще отговаря за материалите и кой ще следи времето. Отговорника за времето през цялото време внимава за бързото и точно изпълнение на упражнението и помага, където е необходимо.
6. Отговорника за материалите подsigурява всички необходими материали, които са необходими (взима лента и хартиено тиксо от учителя, събира останалите материали).
7. Отговорника за данните чете инструкциите, след което взема, получената от учителя 140 cm от лентата за касов апарат. Върху нея трябва да измери 20 cm от началото и да начертае черна вертикална линия, която да означаи със „Начало“. С линията трябва да се измерят 100 cm от началната вертикална линия и да се начертае втора черна вертикална линия, която да означаи със „Край“. До края на парчето лента трябва да са останали 20 cm.



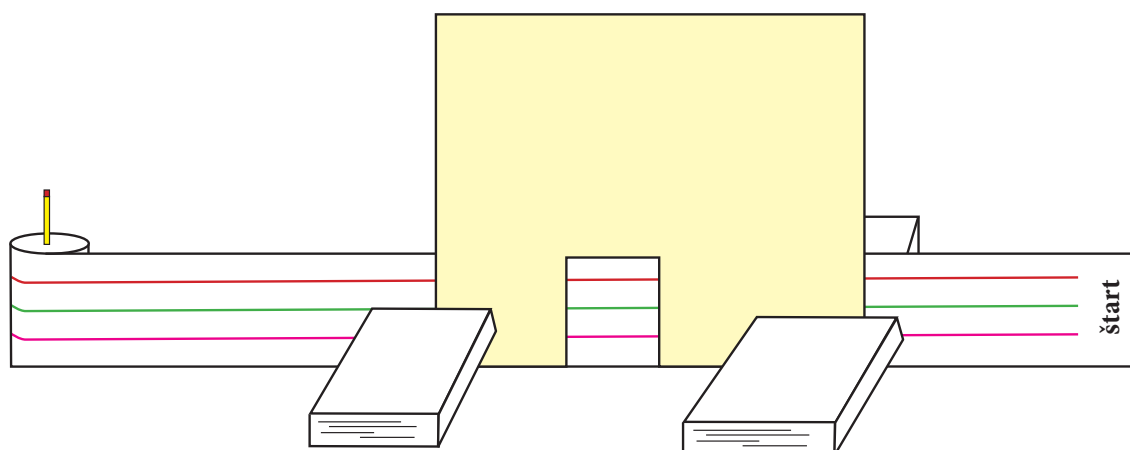
Бележка: Така трябва да се започне, цветовете трябва да се чертаят, докато не стигнете 100 cm.

8. Отговорника за материалите начертава с цветните моливи три хоризонтални линии (от началната до крайната вертикални линии), разположени на равни разстояния една от друга, като най-горната е червена, средната – зелена, а най-долната – виолетова (лилава), които да представят три различни области от спектъра на светлината.

9. Отговорникът за данните маркира червената линия с къси червени вертикални черти през 14 cm. Зелената се маркира на всеки 10 cm със зелено, а виолетовата – на всеки 8 cm с виолетово. Тези черти ще представляват различните дължини на вълните на различните цветове от светлината.
10. Отговорникът за материалите закрепва с парчето хартиено тиксо края на лентата (от към обозначението „Край“) за един молив, така че да може лентата да се навие на молива.



11. Отговорникът за данните отрязва папката на две по протежение на сгъвката (ако вместо папка е парче картон – взима картон). След това изрязва правоъгълник в центъра на дългата страна, висок 10 cm и широк 5 cm (както е показано на лявата картинка).



12. Отговорникът за материалите, с помощта на отговорника за времето поставят частта от папката с изрязания процеп вертикално върху чина и я закрепят с помощта на учебниците/книгите. След това лентата внимателно се промушва между картоната от папката и задните книги, така че означението „Начало“ на лентата да е в центъра на прозорчето в картоната (дясната картинка горе не е точна, но дава идея къде преминава лентата).
13. Отговорникът за данните взема таблицата за данните (едното от приложенията) и сяда пред картоната с процепа.

10. Обсерватории

14. Отговорникът за времето дава начало на експеримента, като казва „Старт“. В това време отговорника за материалите бавно и с равномерно темпо започва да придърпва лентата откъм началния край, а започва отговорника за времето започва да отброява времето в секунди (с помощта на часовника).
15. Отговорникът за данните маркира (отбелязва с чертичка) съответната клетка (брой за даден цвят) в таблицата всеки път, когато види дължина на вълната в прозореца. Когато се появи надписа „Край“, казва на отговорника за времето да спре отброяването.
16. Всяка тройка прави една „репетиция“, след което провежда експеримента 3 пъти.
17. В таблицата за данните, отговорникът за данни определя и записва общия брой дължини на вълните, видени за всеки цвят и средното време (в секунди) от началото до края на опита.
18. Всички заедно определят честотата за всяка от цветните светлинни вълни (броят дължини на вълните, които са минали през дадена точка, в сл. средата на прозореца за 1 секунда). Отговорникът за данните я записва в дадената клетка.
19. След края на упражнението раздайте въпросника (приложен), който всеки ученик трябва да попълни самостоятелно. Въпросникът може да се третира като тест, или след попълване отговорите да се дискутират от всички.

Приложение

