

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XXII НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Общински кръг на олимпиадата по астрономия
2018 – 2019 учебна година
Възрастова група IX-X клас – решения

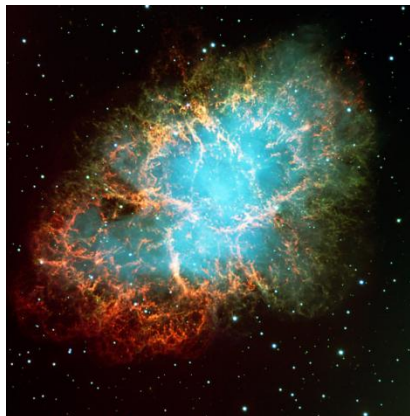
1 задача. Природни шедьоври. Пред вас са особено красиви снимки на планетарната мъглявина Котешко око, Ракообразната мъглявина – остатък от избухване на свръхнова, и галактиката Центавър А (Centaurus A). Макар да са доста различни по природа, и при трите обекта се наблюдава мощно изхвърляне на вещество в космическото пространство.

- А) За мъглявината Котешко око и за Ракообразната мъглявина обяснете какви процеси са довели до изхвърлянето на веществото, какво са представлявали първоначално обектите, от които са се породили тези процеси и в какво са се превърнали те сега.

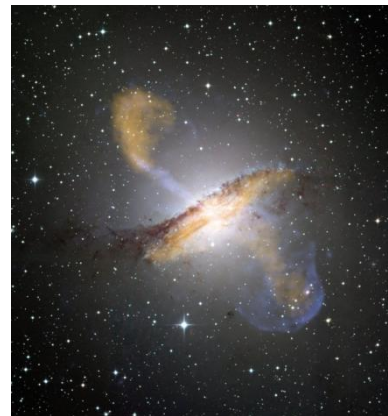
- Б) При какви процеси става изхвърлянето на вещество от ядрото на галактиката Центавър А и какво представлява обектът, свързан с тези процеси?



Мъглявината Котешко око



Ракообразната мъглявина



Галактиката Центавър А

Решение:

На първата снимка е планетарната мъглявина Котешко око. Такъв вид мъглявина се образува в последните стадии от живота на една звезда. Първоначално това е била обикновена звезда, съществувала дълго време в равновесие. То се е поддържало благодарение на реакциите на термоядрен синтез с участие на водорода. След изразходването на водорода в ядрото на звездата равновесието се нарушава, ядрото се свива и нагрява, а външните слоеве се разширяват неимоверно и тя се превръща в червен гигант. В края на този стадий от еволюцията на звездата около нея се образува планетарна мъглявина – външните ѝ слоеве се отвяват под действие на мощното излъчване и звездния вятър от горещото ядро на звездата. В крайна сметка ядрото на звездата се превръща в бяло джудже.

Ракообразната мъглявина е остатък от взрив на свръхнова звезда. Така завършват живота си най-масивните звезди. В края на еволюцията на една такава звезда се изчерпват всички възможности за поддържане на нейното равновесие чрез реакции на термоядрен синтез. Тогава гравитацията свива нейното ядро до невъобразима плътност. По-външните слоеве пропадат върху него и избухват с мощен термоядрен взрив. В резултат се получава изключително бързо разширяваща се мъглявина като тази, която виждаме на втората снимка. Ядрото на звездата се превръща в неутронна звезда или черна дупка. В централната част на Ракообразната мъглявина се наблюдава пулсар – бързо въртяща се неутронна звезда.

В ядрото на галактиката Центавър А има свръхмасивна черна дупка. Тя проявява особено мощна активност, защото върху нея пропада вещество. Предполага се, че то образува т.нар. акреционен диск, в който преди да се погълне от черната дупка, веществото се нагрява до

огромна температура и от него се получава мощно излъчване. В резултат на процеси, които не са докрай изяснени, но вероятно са свързани с генериране на мощно магнитно поле, перпендикулярно на равнината на акреционния диск от централните му части се изхвърлят две противоположно насочени струи частици, които се ускоряват до почти светлинни скорости. Тези струи се простират далеч извън наблюдаваните размери на галактиката.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За обяснение на процесите на изхвърляне на вещество в мъглявината Котешко око и в Ракообразната мъглявина – $2 \times 1.5 \text{ т.} = 3 \text{ т.}$

За посочване на първоначалните обекти – $2 \times 1 \text{ т.} = 2 \text{ т.}$

За посочване на крайните обекти, в които първоначалните обекти са се превърнали понастоящем – $2 \times 1 \text{ т.} = 2 \text{ т.}$

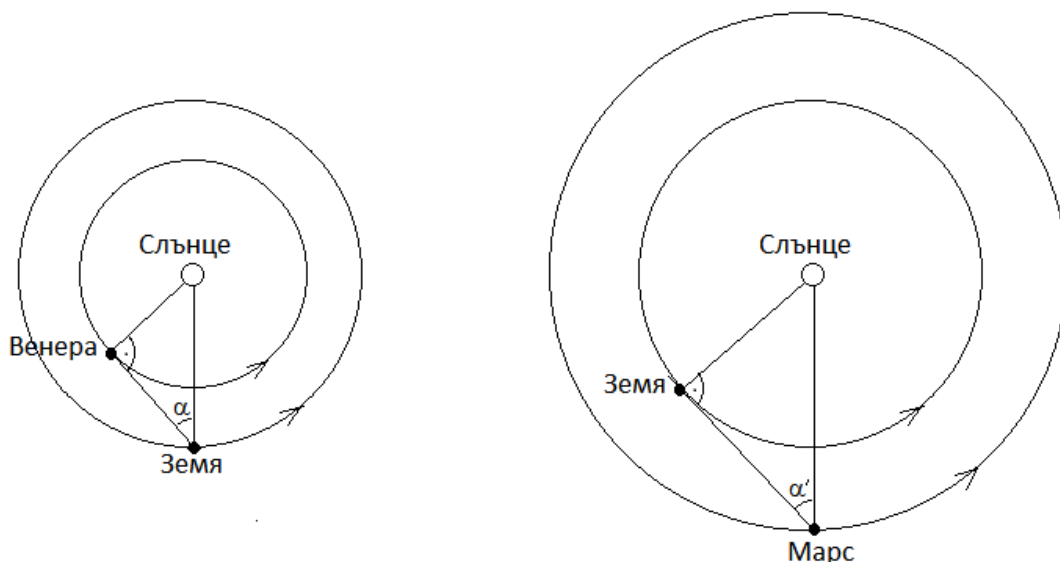
За обяснение относно галактиката Центавър А – 3 т.

2 задача. Марсианска вечер. Вие решавате да се възползвате от възможностите, които ви предоставят първите масови полети за колонизиране на Марс и в един хубав ден се озовавате там. По-голямата част от вашата обитаема база е заровена под повърхността на планетата. След като приключи работният Ви ден в лабораторията за генетична модификация на картофи, Вие се качвате на нулевото ниво, за да се полюбувате на залеза на Слънцето. Неочаквано осъзнавате, че Земята, която наблюдавате като „Вечерница“ от повърхността на Марс, не се държи като „Вечерницата“, която сте свикнали да виждате на Земята. Затова решавате да проучите внимателно какво всъщност се случва. Ние Ви предлагаме да направите пресмятанията още сега, преди да сте отлетели на Марс.

- Потърсете необходимите данни и определете коя планета в максимална източна елонгация може да се вижда по-дълго вечер над хоризонта след залеза на Слънцето – Венера за земните жители или Земята за марсианските колонизатори. Обосновете вашия отговор. Считайте, че орбитите на Земята и на Венера около Слънцето са кръгови. Ако предпочитате, можете да решите задачата графично, като построите схема в подходящ мащаб с взаимните разположения на планетите и извършите нужните измервания.

Решение:

На схемата са показани конфигурациите, при които Венера е в максимална източна елонгация за наблюдател от Земята и Земята е в максимална източна елонгация за наблюдател от Марс.



Колко дълго Венера ще се вижда от Земята при това положение като Вечерница след залеза на Слънцето, зависи от видимото ъглово отстояние α на Венера от Слънцето и от скоростта на околоосно въртене на Земята. Съответно за видимостта на Земята като Вечерница от Марс определящо е ъгловото отстояние α' на Земята от Слънцето и скоростта на околоосно въртене на Марс.

Средните разстояния на Венера и Марс от Слънцето са съответно 0.723 AU (астрономически единици) и 1.524 AU. Начертаваме схеми, подобни на показаната по-горе, но в точен мащаб. Измерваме с транспортир ъглите α и α' . Получаваме:

$$\alpha = 46^\circ$$

$$\alpha' = 41^\circ$$

Бихме могли да използваме и тригонометрични функции, за да получим по-точни резултати:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{0.723 \text{ AU}}{1 \text{ AU}}\right) \approx 46.30^\circ$$

$$\alpha' = \arcsin\left(\frac{1 \text{ AU}}{1.524 \text{ AU}}\right) \approx 41.01^\circ$$

Периодът на околоосно въртене на Земята е $T = 23^{\text{h}}56^{\text{m}}$, а на Марс – $T' = 24^{\text{h}}37.5^{\text{m}}$. Нека интервалът от време между залеза на Слънцето и залеза на Венера в максимална източна елонгация за земен наблюдател да означим с Δt , а съответния интервал за Земята, гледана от Марс – с $\Delta t'$. За отношението на тези два интервала можем да напишем:

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{T'}{T} \approx 1.15$$

Ако използваме резултатите, получени чрез тригонометрични функции, съотношението, което намираме, се равнява на 1.16, което не е съществено различно.

Тъй като това съотношение е по-голямо от 1, то можем да заключим, че Венера ще се вижда от земните жители над хоризонта като Вечерница по-дълго време след залеза на Слънцето, отколкото Земята за жителите на Марс. Нека отбележим, че във формулата, която получихме, не е уточнен наклонът на дъгата Слънце – Венера към небесния екватор за земния наблюдател и наклонът на дъгата Слънце – Земя към небесния екватор за марсианския наблюдател. Тези наклони биха били различни в различни моменти от време и могат да повлияят на полученото от нас съотношение.

Накрая да разгледаме особения случай, когато Марс се намира в перихелий. Неговата орбита има значителен ексцентрицитет и тогава разстоянието му до Слънцето е 1.382 AU. Ако начертаем схема в същия мащаб с отчитане на това разстояние, ще получим

$$\alpha' = 46^\circ$$

Чрез тригонометрични функции намираме:

$$\alpha' = 46.35^\circ$$

Получава се почти равенство между α и α' . В този случай поради малко по-бавното околоосно въртене на Марс Земята ще се вижда като Вечерница за марсианските жители малко по-дълго след залеза на Слънцето, отколкото Венера за земните жители.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За намиране на необходимите данни за планетите – 1 т.

За правилно представяне на конфигурациите на планетите в максимална източна елонгация – 2 т.

За правилен метод за пресмятане на необходимите величини – 5 т.

За вярно заключение – 1 т.

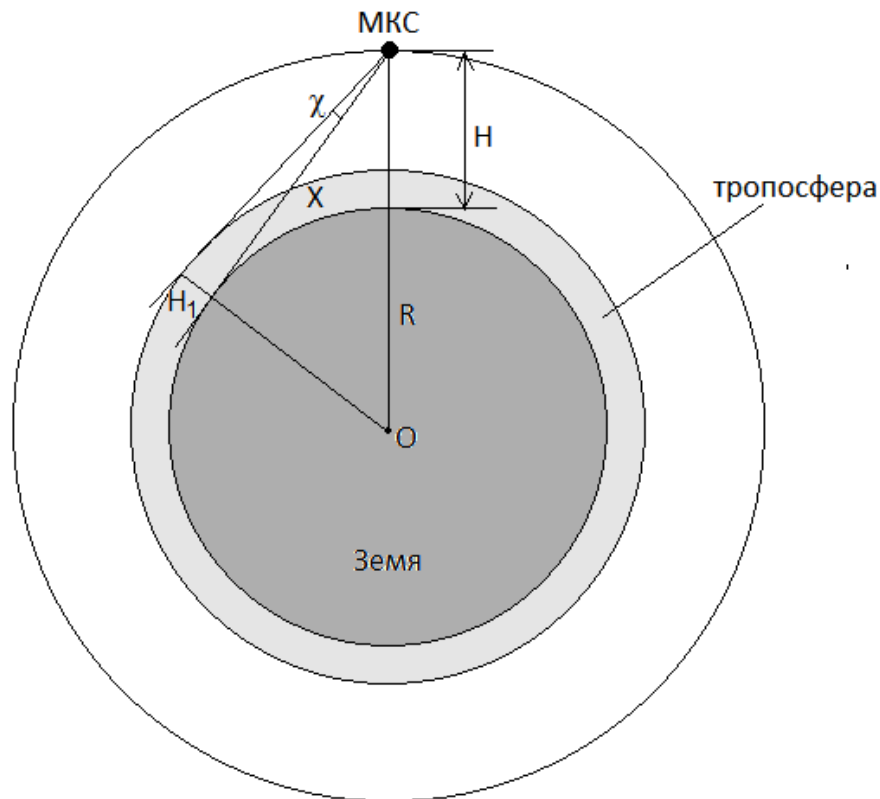
За отчитане на случая, когато Марс е в перихелий – 1 т.

3 задача. Височина на тропосферата. На Фиг. 1 е показана снимка направена в 13h 52m UT на 11 юли 2011 година от Международната космическа станция. Тогава станцията се е намирала на височина 391 км над земната повърхност. На снимката се вижда Луната, част от земната повърхност и „разрез“ на земната атмосфера. Тропосферата се вижда като оранжева ивица, която избледнява и се прелива в светлосинята стратосфера. Долната граница не е много сигурна, защото земната повърхност е покрита с облаци, които не позволяват измерванията да се провеждат в централната част на снимката. Затова границите на тропосферата са означени на снимката.

- Намерете необходимите данни, направете нужните измервания и оценете по снимката височината H_t на земната тропосфера.

Решение:

Данните, които са ни нужни, са радиусът на Земята $R = 6371$ km и видимият ъглов диаметър на Луната $\delta = 0.5^\circ$. На схемата с R е означен радиусът на Земята, а с H – височината, на която се е намирала орбитата на Международната космическа станция (МКС) над земната повърхност. За наблюдател на борда на МКС височината H_1 на тропосферата се вижда под ъгъл χ , който е малък, съдейки по сравнението с видимия ъглов размер на Луната.



На чертежа са прекарани две прави линии, започващи от МКС и допирателни съответно към земната повърхност и към горната граница на тропосферата. Но допирните точки на двете

прави към Земята и към тропосферата не лежат точно на един земен радиус. Така че отсечката, означена с H_1 , не е точно равна на височината на тропосферата. Но можем да приемем, че имаме приблизително равенство, поради малката стойност на тази височина в сравнение със земния радиус и оттам – малката стойност на ъгъла χ .

За да определим ъгъла χ използваме като мащаб изображението на Луната. Диаметърът на Луната, измерен върху снимката, е 20 мм, а височината на тропосферата – 10 см. Щом Луната има видим ъглов диаметър 0.5° , то получаваме, че $\chi = 0.5^\circ/2 = 0.25^\circ$. Разстоянието X определяме с помощта на Питагоровата теорема:

$$(R + H)^2 = R^2 + X^2$$

$$X = \sqrt{(R + H)^2 - R^2} \approx 2266 \text{ km}$$

Като използваме приблизителната формула за връзката между линейните и видимите ъглови размери на даден обект и разстоянието до него, за височината на тропосферата получаваме:

$$H_1 = X \cdot \chi \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \approx 10 \text{ km}$$

Тази стойност е в добро съответствие с научните данни за височината на тропосферата.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За намиране на необходимите числени данни – 1 т.

За правилно представяне на ситуацията със схема – 2 т.

За правилен метод за пресмятане на търсената величина – 4 т.

За измервания върху снимката и използване на Луната като мащаб – 2 т.

За правилен краен резултат – 1 т.

4 задача. Страх и Ужас. Имената на марсианските спътници Фобос и Деймос в превод от гръцки език означават Страх и Ужас. В митологията те са синове на бога на войната Арес.

- А) Намерете необходимата информация и обяснете защо тези два спътника не могат да причиняват явления, които биха се сторили страховити за евентуални суеверни жители на Марс, като пълни слънчеви затъмнения. Отговорите си подкрепете с пресмятания.

- Б) Известно е, че поради приливното взаимодействие с Марс спътникът Фобос се приближава към планетата с 1.8 метра на 100 години. Пределът на Рош за планетата Марс се намира на около 5360 км от нейния център. Ще настъпи ли време, когато Фобос ще започне да причинява пълни слънчеви затъмнения за наблюдател на Марс? Ако да, то кога ще настъпи такова време? Пределът на Рош представлява минималното разстояние до центъра на планетата, на което може да се приближи спътникът, без да бъде разрушен от приливните сили.

Решение:

Спътниците на Марс имат неправилна форма. За размерите им можем да намерим следната информация:

$$\text{Фобос} - 27 \times 21.6 \times 18.8 \text{ km}$$

$$\text{Деймос} - 10 \times 12 \times 16 \text{ km}$$

Орбитите на Фобос и Деймос около Марс имат радиуси съответно:

$$r_P = 9377 \text{ km}$$

$$r_D = 23460 \text{ km}$$

За да имаме най-благоприятни условия за пълно слънчево затъмнение, видимият ъглов диаметър на Слънцето, гледано от Марс, трябва да е възможно най-малък. Това се случва, когато Марс е в афелия на своята орбита – на най-далечно разстояние от Слънцето, което е:

$$r_M = 249.2 \times 10^6 \text{ km}$$

Диаметърът на Слънцето е $D_S = 1.392 \times 10^6 \text{ km}$. За видимия ъглов диаметър на Слънцето намираме:

$$\delta_S = \frac{D_S}{r_M} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \approx 0.32^\circ$$

Сега трябва да намерим видимите ъглови размери на Фобос и Деймос за наблюдател на Марс. В случая трябва да имаме предвид, че радиусите на техните орбити не са много големи в сравнение с радиуса на планетата, който е $R_M = 3390 \text{ km}$. Следователно трябва да отчетем факта, че наблюдателят се намира на повърхността на Марс. Най-благоприятно условие за настъпване на пълно слънчево затъмнение се получава, когато видимите ъглови размери на спътника са максимални, т.е., когато той се намира в зенита за наблюдателя – тогава разстоянието между спътника и наблюдателя е минимално. Да означим това разстояние с Δ_P за Фобос и с Δ_D за Деймос.

$$\Delta_P = r_P - R_M$$

$$\Delta_D = r_D - R_M$$

Видимите ъглови размери на двата спътника ще определим по минималните им измерения, защото целта е да установим дали могат да се получат пълни затъмнения на Слънцето от тях. За Фобос минималното измерение е 18.8 km . Съответният видим ъглов размер ще бъде:

$$\delta_P = \frac{18.8 \text{ km}}{\Delta_P} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \approx 0.18^\circ$$

Този размер е близо два пъти по-малък от видимия ъглов диаметър на Слънцето, гледано от Марс. Следователно Фобос не може да причинява пълни слънчеви затъмнения за марсианските жители. С подобни пресмятания можем да намерим видимия ъглов размер на Деймос. Този спътник обаче, не само е по-малък от Фобос, но се намира и на по-далечно разстояние от Марс, така че безспорно той ще има още по-малък видим ъглов размер. Не е необходимо дори да го изчисляваме, за да стигнем до заключението, че той също не може да причинява пълни слънчеви затъмнения.

Да намерим отношението на видимия ъглов размер на Слънцето към този на Фобос:

$$k = \frac{\delta_S}{\delta_P} \approx 1.78$$

За да може Фобос да закрива напълно Слънцето, той трябва да се приближи на разстояние до наблюдателя, което е k пъти по-малко от сегашното:

$$\Delta_P' = r_P' - R_M = \Delta_P / k$$

където r_P' е новият радиус на орбитата на този спътник.

$$r_P' = \Delta_P / k + R_M \approx 6753 \text{ km}$$

Новият орбитален радиус е по-голям от предела на Рош за Марс и следователно спътникът няма все още да бъде разрушен.

Времето, за което Фобос ще се приближи на такова разстояние, можем да определим, както следва:

$$t = \frac{r_P - r_P'}{1.8 \text{ m}} \cdot 100 \text{ години} \approx 146 \times 10^6 \text{ години}$$

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За намиране на необходимите числени данни – 1 т.

За пресмятанията относно възможността за настъпване на пълни слънчеви затъмнения от спътниците – 4 т.

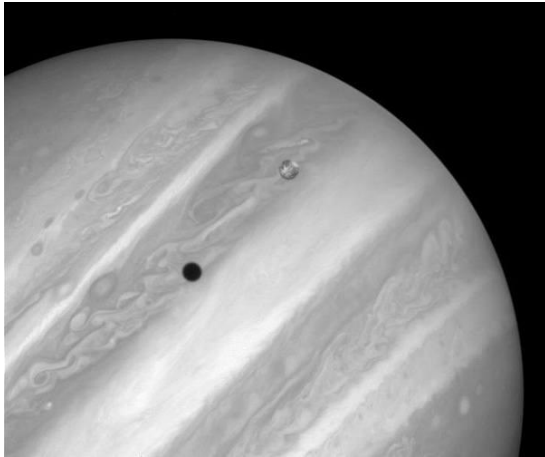
За правилно заключение – 1 т.

За правилен математически метод за определяне на времето, след което Фобос ще причинява пълни слънчеви затъмнения – 3 т.

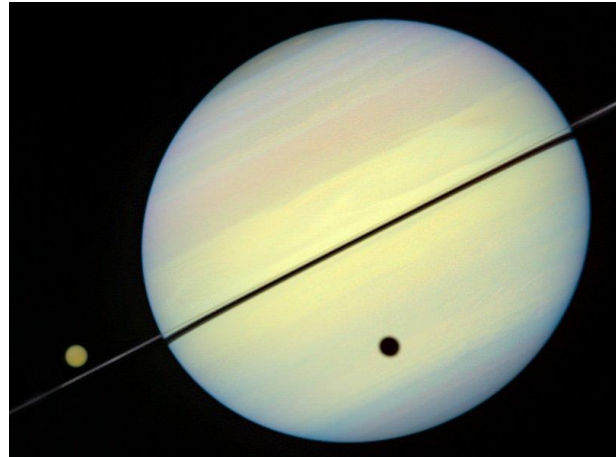
За правилен числен отговор – 1 т.

5 задача. Отново затъмнения.

- А) Защо не при всяко новолуние се случва да има слънчево затъмнение, което да се наблюдава от Земята, и не при всяко пълнолуние има лунно затъмнение?
- Б) На снимките виждате сянката, която спътникът Калисто хвърля върху Юпитер и сянката, която спътникът Титан хвърля върху Сатурн. Открийте нужната информация и отговорете кое по-често ще се случва – пълно слънчево затъмнение от Калисто за наблюдател на Юпитер или от Титан за наблюдател на Сатурн. Обяснете вашия отговор.



Калисто и неговата сянка върху Юпитер

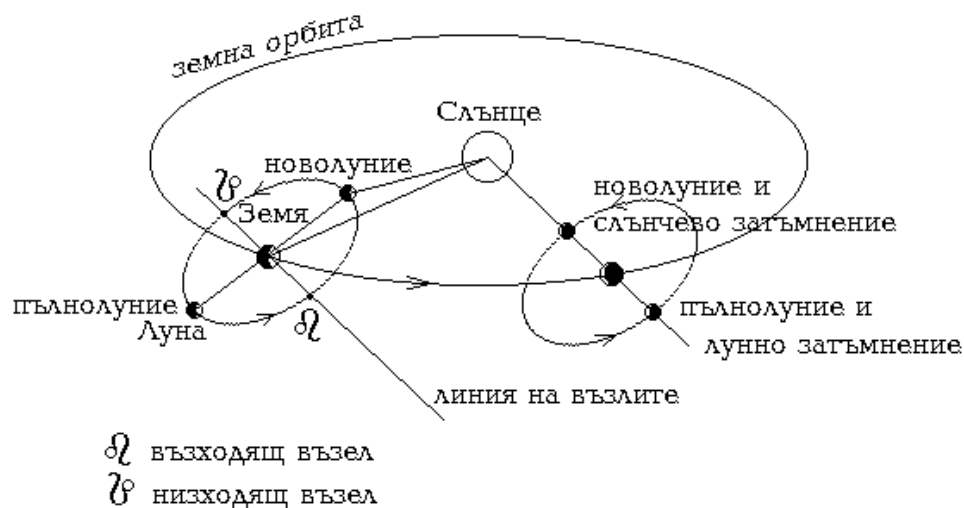


Титан и неговата сянка върху Сатурн

Решение:

Слънчево затъмнение не настъпва при всяко новолуние и лунно затъмнение не настъпва при всяко пълнолуние поради наклона на лунната орбита относно равнината на земната орбита около Слънцето. Този наклон е на ъгъл 5.15° .

Лунни и слънчеви затъмнения



Както се вижда от схемата, слънчево затъмнение може да настъпи, само когато при новолуние линията Земя – Слънце съвпада или е близка до пресечната линия между равнините на земната орбита около Слънцето и лунната орбита около Земята. Само тогава при новолуние лунната сянка попада върху Земята, а при пълнолуние Луната се оказва в сянката на Земята.

Пресечната линия между двете орбитални равнини се нарича линия на възлите – точките, в които лунната орбита пресича равнината на земната орбита.

Наблюдател, намиращ се в сянката на спътника Калисто върху Юпитер, или пък в сянката на Титан върху Сатурн, би виждал слънчево затъмнение. Кратка справка с предпочитани от нас източници на информация ни показва, че орбиталният период на Калисто около Юпитер е приблизително 17 дни, а на Титан около Сатурн – 16 дни. На пръв поглед бихме предположили, че поради по-краткия орбитален период на Титан слънчевите затъмнения, причинявани от него на Сатурн, трябва да се случват по-често. Но нека си припомним и други данни за планетите Юпитер и Сатурн. Първо, техните спътници имат орбити, които почти лежат в екваториалните равнини на двете планети. Второ, наклонът на екватора на Юпитер спрямо равнината на неговата орбита около Слънцето е само около 3° , а при Сатурн този наклон е почти 27° . При всяка от двете планети, за да настъпват слънчеви затъмнения, причинявани от нейния спътник, трябва при фаза новолуние спътникът да се намира достатъчно близо до линията на възлите – пресечната линия между равнините на орбитата на спътника около планетата и орбитата на планетата около Слънцето. Екваторът на Сатурн, а оттам и орбиталната равнина на Титан, е наклонен на значителен ъгъл спрямо равнината на орбитата на Сатурн около Слънцето. Ето защо секторът, в който около линията на възлите на орбитата на Титан могат да се случват затъмнения, е много по-тесен, отколкото сектора, в който около линията на възлите на орбитата на Калисто около Юпитер могат да стават затъмнения.

Следователно слънчевите затъмнения, причинявани от Калисто на Юпитер трябва да са значително по-чести.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За намиране на необходимата информация за планетите – 1 т.

За правилно обяснение по въпроса за лунните и слънчеви затъмнения, наблюдавани от Земята – 4 т.

За правилно обяснение на условията за слънчеви затъмнения от Калисто на Юпитер и от Титан на Сатурн и за сравняване на тези условия – 4 т.

За правилно заключение – 1 т.

6 задача. Пасаж на Земята. При своето видимо движение на фона на звездното небе Марс описва примки и зигзаговидни линии. Планетата преминава от право към ретроградно движение и след това отново към право движение за наблюдател от Земята. Това се вижда на следващите четири изображения. Те са получени чрез наслагване на кадри, заснети в различни дни и проследяващи видимото положение на Марс относно звездите.

Понякога от Марс може да се види пасаж или преминаване на Земята по диска на Слънцето – много рядко явление, което се наблюдава, когато Марс за нас е в противостояние (опозиция). Но далеч не при всяко противостояние на Марс може да се случи това.

- А) Разгледайте изображенията и върху всяко от тях отбележете приблизително положението на Марс, при което той е бил в противостояние. На изображенията 1 и 3 се виждат и части от видимите пътища съответно на планетите Уран и Сатурн, но това няма отношение към решаването на задачата.

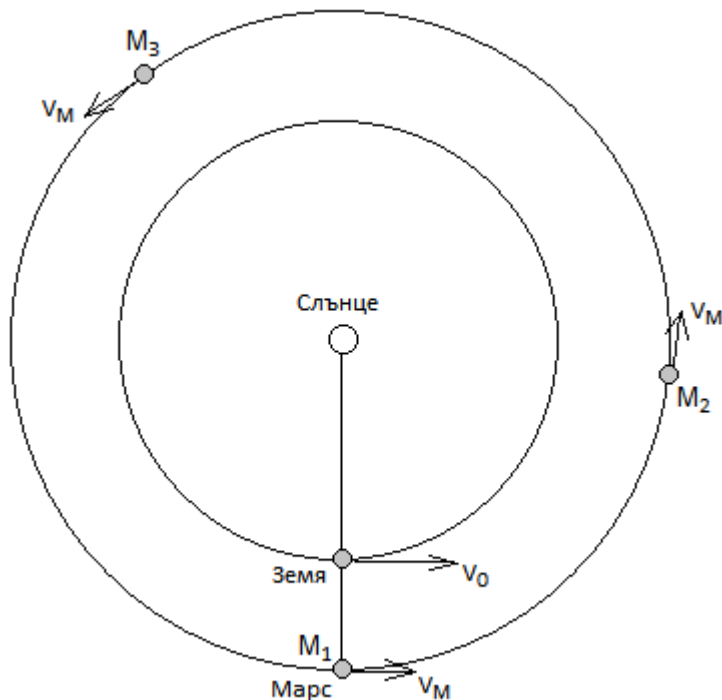
- Б) При кое от тези противостояния бихте предположили, че от Марс е могло да се наблюдава преминаване на Земята по диска на Слънцето? Обяснете своя отговор.

Упътване: Помислете върху наклона на марсианската орбита спрямо еклиптиката.

Решение:

За земния наблюдател планетите извършват видимо движение на фона на звездите поради собственото си орбитално движение около Слънцето и поради движението на самата Земя около Слънцето. Тъй като Марс е външна планета, нейната орбитална скорост около Слънцето V_M е по-малка от тази на Земята – V_0 . Както се вижда от схемата, когато Марс е в някои взаимни положения със Земята и Слънцето, например в точките M_2 или M_3 , неговото относително движение спрямо Земята е такова, че за земния наблюдател той ще се премества на

фона на звездите в посока обратна на часовниковата стрелка (за наблюдател в северното земно полукълбо), или от запад на изток. Но когато Марс е близо до опозиция, около точката M_1 , неговото видимо движение за нас ще е в обратна посока – от изток на запад, понеже орбиталната му скорост е по-малка и Земята ще го „изпреварва”. Такова движение на планетата се нарича ретроградно. На всяка от снимките следва да отбележим положенията на Марс в опозиция около средата на участъка с ретроградно движение.

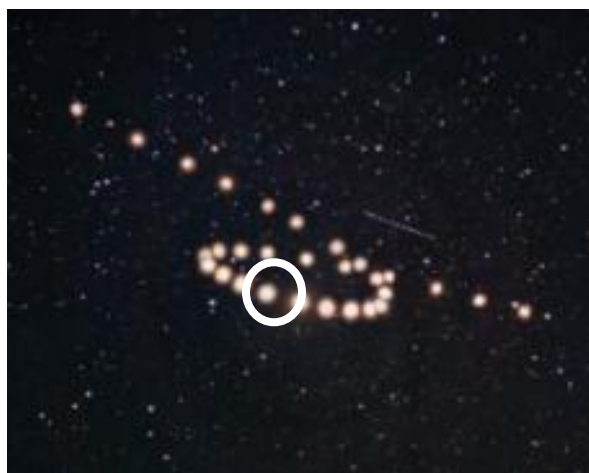


По принцип би трябвало винаги когато за Земята Марс е в опозиция, от повърхността на Червената планета да се наблюдава преминаване (пасаж) на Земята на фона на слънчевия диск. Това не става обаче, поради лекия наклон на марсианската орбита около Слънцето спрямо равнината на земната орбита. По тази причина в повечето случаи, когато Марс е в опозиция за Земята, от марсианската повърхност Земята се вижда отклонена малко „нагоре” или „надолу” от видимия диск на Слънцето. Пасаж на Земята може да се наблюдава от Марс, когато при опозиция на Марс за Земята двете планети се намират близо до пресечната линия между равнините на земната и на марсианската орбита около Слънцето. Това е линията на възлите на марсианската орбита спрямо земната.

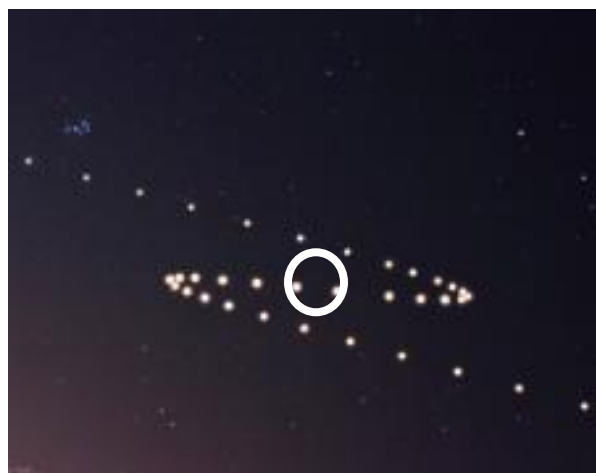
Ако марсианската и земната орбита лежаха точно в една равнина, при видимото си преместване по небето за земните наблюдатели Марс щеше да извършва право или ретроградно движение само по една линия. От снимките обаче се вижда прекият резултат от наклона на марсианската орбита спрямо земната – планетата се премества не само право или ретроградно, но и в перпендикулярно направление („нагоре” или „надолу”, условно казано).

На снимка 1 се вижда, че Марс отначало се е движил малко над равнината на земната орбита около Слънцето, или над еклиптиката, после е преминал през низходящия възел на орбитата си и е „слязал” под еклиптиката, а след това отново се е издигнал. В момента на опозиция Марс е бил близо до най-ниската точка от своята орбита спрямо еклиптиката. По подобен начин можем да заключим, че в момента на опозиция на снимка 4 Марс е бил близо до най-високата точка от своята орбита спрямо еклиптиката. Но на снимките 2 и 3 се вижда, че в момента на опозиция Марс е бил близо до пресечната линия между равнините на своята и на земната орбита около Слънцето. Следователно тогава е имало вероятност от марсианската повърхност да се наблюдава преминаване на Земята по видимия диск на Слънцето. По-голяма е

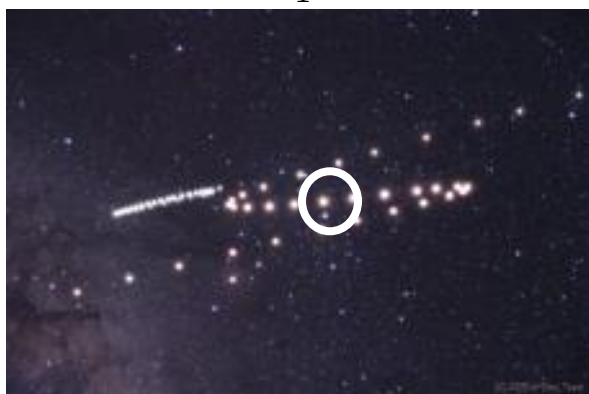
тази вероятност за снимка 2, при която има по-голяма симетрия във фигурата на ретроградното движение на Марс и в опозиция той се е намирал по-близо до линията на възлите.



1



2



3



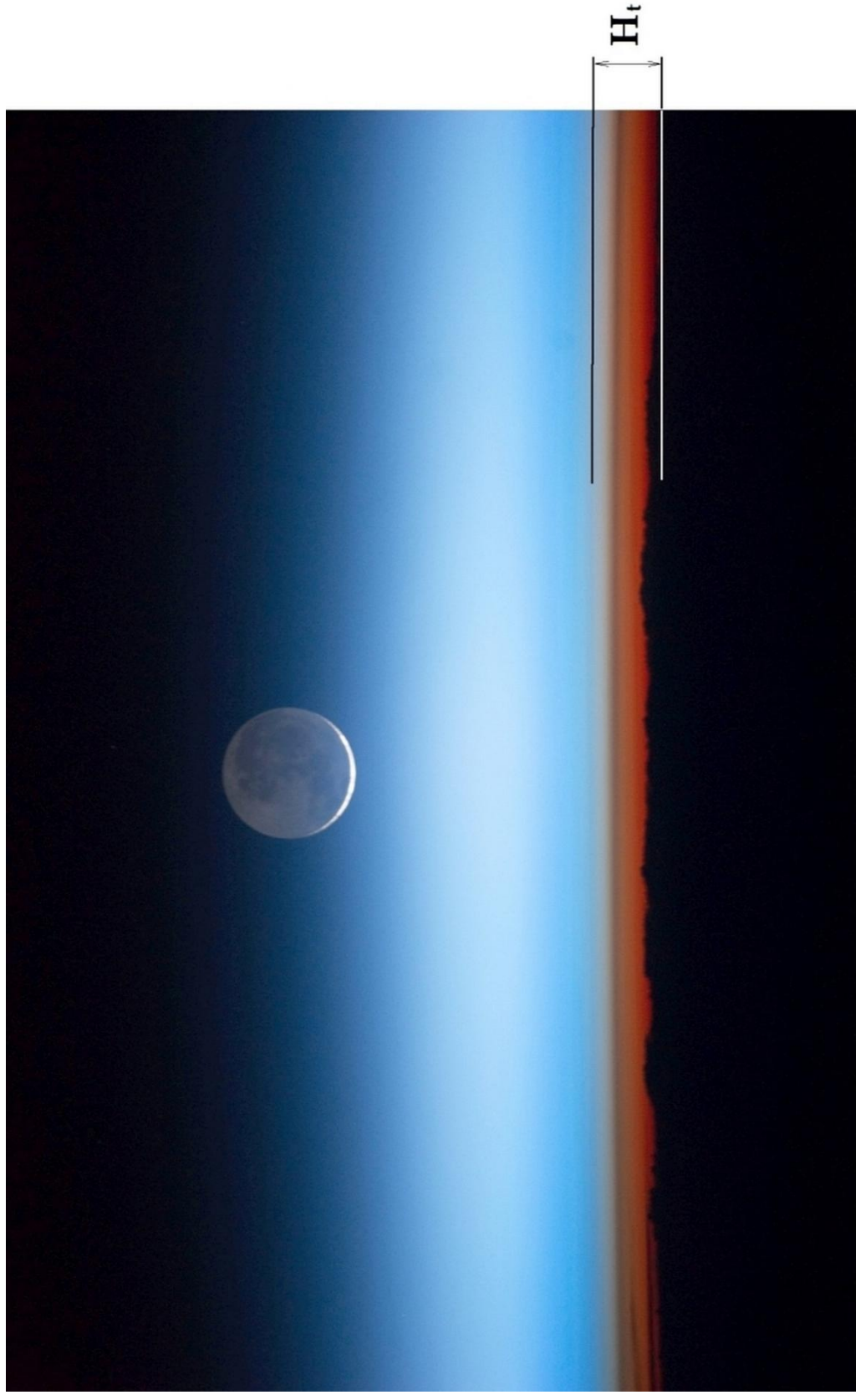
4

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За правилно отбелязване на моментите на опозиция на Марс върху снимките и обяснение – 4 т.

За правилни разсъждения относно възможността за наблюдаване на пасаж на Земята по диска на Слънцето от Марс – 5 т.

За правилно заключение – 1 т.



Фиг. 1. Височина на тропосферата – към 3 задача.