

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XXII НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Национален кръг на олимпиадата по астрономия

I тур – 20 април 2019 г., гр. Стара Загора

Възрастова група VII-VIII клас – решения

1 задача. Местно средно слънчево време. Три самолета със специална мисия излитат от пресечната точка на екватора с Гринуичкия меридиан в 12 часа местно средно слънчево време. Екипажите разполагат с електронни часовници, чиито ход може да се регулира, така че да вървят по-бавно или по-бързо. Една от задачите е да се настроят така часовниците, че те винаги да показват местно средно слънчево време. Самолетите летят със скорост 1670 km/h. Разстоянието от центъра на Земята до траекторията на самолетите винаги е 6378.930 km. Самолетът с кодово название „Изток-XX“ лети над екватора в посока изток. Самолетът „Запад-XX“ лети над екватора в посока запад. Самолетът „Север-XX“ тръгва на север, над Гринуичкия меридиан, над Северния полюс и след това, над меридиана, който е противоположен на Гринуичкия меридиан. Самолетите летят докато се срещнат и трите едновременно над някоя точка на земната повърхност.

- А) Ще се срещнат ли едновременно трите самолета. Ако не – защо? Ако да – кога и къде?

- Б) Как пилотите на всеки един от самолетите, трябва да настроят първоначално часовниците? Сравнете хода на всеки един от часовниците със стандартния ход. Ако часовниците имат стрелки, то как ще се движат те?

- В) Ако не се правят промени в часовниците, то каква ще бъде разликата във времето, което показват, в момента на срещата? Какви промени трябва да се направят за да няма никаква разлика в показанията на часовниците?

Решение:

Пътищата на самолетите се пресичат в точка, противоположна на точката, от която те излитат. Това е точка лежаща на екватора и с географска дължина $\lambda = 180^\circ$. Разстоянието s до тази точка, измерено по сферичната повърхност, по която се движат самолетите, е еднакво за трите самолета и е половината от обиколката на сферата:

$$s = 0.5 \cdot L = 0.5 \cdot 2\pi R = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 6378.930 \text{ km} = 20040 \text{ km}.$$

Понеже самолетите се движат с еднаква скорост, те ще изминат този път за едно и също време, което е равно на разстоянието разделено на скоростта:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{20040}{1670} = 12^h$$

И трите самолета ще бъдат в противоположната на излитането точка след 12^h .

Това, че самолетите изминават половината окръжност за 12 часа, означава, че те се движат със скоростта, с която се движи точка от земната повърхност, при денонощното въртене на Земята около оста ѝ. Разбира се, с малка корекция заради височината на полета.

Самолетът „Запад-XX“, който лети на запад, ще остане по време на полета върху този меридиан, за който така нареченото „средно слънце“ е винаги в горна

кулминация. докато под него земната повърхност ще се движи, относно него, на изток с почти същата скорост. Той ще лети над точки от земната повърхност, които ще имат едно и също „местно средно слънчево време“ равно на 12 часа. Следователно часовникът на този самолет трябва да показва непрекъснато 12 часа. Стрелките на часовника трябва да са спрели и да не се въртят.

Самолетът „Изток-XX“ се движи на изток, в същата посока, в която се движи земната повърхност при въртенето на Земята около оста ѝ, и със същата скорост. Той като че ли ще се върти около земната ос с двойно по-голяма скорост. За точките от земната повърхност местното средно слънчево време ще тече с нормална скорост, а за самолета – с двойно по-голяма скорост. Следователно часовникът трябва да бъде настроен така, че показанията му да се променят два пъти по-бързо. Ако има стрелки, те трябва да се въртят два пъти по-бързо, в сравнение с нормалната скорост на въртене. За 12 часа самолетът ще е направил пълна обиколка около оста на Земята и ще достигне меридиана, за който Слънцето е в горна кулминация. Поради това, че стрелките на часовника се въртят два пъти по-бързо, вместо 24 часа, те ще показват 12 часа на обяд, колкото ще бъде в действителност.

Самолетът „Север-XX“ ще се движи на север над гринуичкия меридиан. За него местното средно слънчево време ще се променя така, както се променя за всички точки от този меридиан. Следователно то ще тече с нормална скорост и часовникът на борда на самолета няма да има нужда от допълнителни настройки. Стрелките на часовника ще се въртят с нормална скорост. Това, обаче, ще продължава докато самолетът не достигне до Северния полюс. Ако продължи по срещуположния меридиан без да прави промени в часовника, когато достигне до екватора часовникът му ще показва 24 часа в полунощ, защото е тръгнал в 12 часа на обяд и е летял само 12 часа. За да няма разлика с останалите самолети и за да спази условието часовникът да показва местно средно слънчево време, стрелките на часовника следва да се превъртят 12 часа напред когато самолетът прелита над Северния полюс. При достигане на полюса, което ще стане след 6 часа, на Гринуичкия меридиан ще бъде вече 18 часа. На срещуположния меридиан, който е на 12 часа отстояние, ще бъде 6 часа сутринта. Когато времето на часовника бъде коригирано с 12 часа, и той ще показва 6 часа сутринта. Продължавайки да лети по срещуположния меридиан още 6 часа самолетът ще пристигне на екватора точно в 12 часа на обяд, когато трите самолета ще се срещнат, успешно изпълнили своята задача, и ще може да прекратят своя полет.

Критерии за оценяване (общо 14 т.):

За правилни разсъждения и заключение по въпроса къде ще се срещнат самолетите – 2 т.

За правилни разсъждения и изводи относно хода и показанията на часовниците на борда навсеки от трите самолета – $3 \times 4 = 12$ т.

2 задача. Небето на Тритон. Вие сте на Тритон недалеч от неговия северен полюс. Намирате се на полярната шапка от замръзнал азот и край Вас изригват ледени вулкани. Тритон е необичаен спътник на Нептун. За разлика от останалите големи спътници на планетите гиганти, той не е възникнал в околностите на своята планета. Вероятно Тритон е принадлежал към транснептуновите обекти, или дори към пояса на Кайпър, но в определен момент е бил захванат от Нептун. Затова орбитата му е наклонена към екваториалната равнина на планетата и Тритон се движи по нея в обратна посока, противоположна на въртенето на Нептун около оста му и на останалите спътници по техните орбити. Радиусът на орбитата му е по-малък от радиуса на орбитата на нашата Луна и спътникът е приливно заключен. Това означава,

че той се върти около оста си в същата посока и със същия период, с който обикаля по своята орбита – 5.876854^d (денонощия), поради което винаги е обърнат към Нептун с една и съща страна. На картата на Фиг.1 се вижда част от небето около северния небесен полюс на Тритон. Приемаме наименованието на полюсите да се определя от това в коя еклиптична полусфера те се намират. На картата се вижда и Нептун с малка част от своите спътници. Виждат се и много познати съзвездия и звезди, както и екваториалната координатна мрежа, привързана към северния небесен полюс на Тритон. Звездите **1** и **2** са Вега и Денеб.

• Вашата задача е да определите къде ще се виждат звездите Вега и Денеб след 5 часа. Нанесете новите им положения на картата и нарисуйте дъгите по които те ще се движат.

Решение: Тритон е приливно заключен. Следователно периодът му на околоосно въртене е равен на периода на обикаляне по орбитата му около Нептун и е 5.876854^d . За това време Тритон се завърта около оста си на 360° . Нека пресметнем на колко градуса ще се завърти за 5 часа:

$$\Delta\varphi = 360^\circ \cdot \frac{5^h}{24^h \cdot 5.876854^d} = 12.7^\circ$$

Виждаме, че на картата радиалните линии са деклинационни кръгове, начертани през 15° . Начертаваме новите положения на звездите като прекарваме деклинационните кръгове, които минават през тях, след това отмерваме с транспортир полученото ъглово завъртане на небесната сфера за 5 часа и начертаваме деклинационните кръгове на новите положения на звездите. След това с пергел чертаем окръжности, с център Северния небесен полюс на Тритон, които минават през двете звезди. Пресечните точки на тези окръжности със съответните деклинационни кръгове ни дават търсените положения на звездите след 5 часа.

Остава да решим само един въпрос. В коя посока се върти небесната сфера. Понеже Тритон обикаля около Нептун в посока противоположна на околоосното въртене на планетата, то и околоосното въртене на Тритон ще се осъществява в обратна посока.

Нептун се върти около оста си в права посока. Под права посока в астрономията се разбира обратно на часовниковата стрелка, за наблюдател в северното полукукло на съответната планета. Щом Нептун се върти в права посока то Тритон се върти в обратна посока, т.е. в посока по часовниковата стрелка, за наблюдател в северното полукукло на планетата. Лесно се съобразява, че и звездното небе около Северния небесен полюс ще се върти в посока по часовниковата стрелка, за наблюдател намиращ се на повърхността на Тритон. Следователно, след като прекарваме деклинационните кръгове на двете звезди, отмерваме ъглите от тях надясно, като гледаме от полюса. След това означаваме новите положения на звездите и дъгите на трековете на звездите. Вижте картата с решението – Фиг.1а.

Разбира се, това че рисуваме новите положения на картата, не означава, че звездите са се преместили относно другите звезди или относно координатната мрежа. Ние само използваме картата като основа за да илюстрираме обратното денонощно въртене на небето на Тритон.

Критерии за оценяване (общо 14 т.):

За пресмятане на дъгите, на които ще се завъртят звездите за 5 часа – 3 т.

За измервания, построения и начертаване на картата на дъгите, които ще изминат звездите – 6 т.

За правилни разсъждения относно посоката, в която ще става видимото движение на звездите – 4 т.

За правилен извод – 1 т.

3 задача. Космонавти изследователи. Вие участвате в космическа експедиция, която изследва екзопланета, лишена от атмосфера и обикаляща около далечна звезда. Планетата има радиус R и се върти около оста си с период P . Нейният спътник се движи по кръгова орбита над екватора на планетата в същата посока, в която тя се върти около оста си. Радиусът на орбитата на спътника е $2R$.

Земният звездолет влиза в кръгова екваториална орбита около планетата, като също се движи в посока на нейното околоосно въртене. Радиусът на орбитата му е $8R$, а орбиталният му период е $8P$. От звездолета на повърхността на планетата се спускат два малки кораба с двама космонавти изследователи – Вие и Ваш колега. Корабите кацат в две диаметрално противоположни точки от екватора.

- А) Вие излизате от Вашия кораб и виждате в зенита спътника на планетата. След колко време спътникът ще прелети над точката, където е кацнал корабът на Вашия колега? Тук и в следващите две подусловия изразявайте времето в единици, равни на периода на въртене на планетата P .

- Б) През какъв интервал от време земният звездолет ще преминава през зенита за Вас?

- В) Когато звездолетът се появява над хоризонта, Вие установявате радиовръзка с екипажа. Колко време ще можете да поддържате тази връзка непрекъснато до скриването на звездолета под хоризонта?

Решение:

Означаваме с T_0 и T орбиталните периоди на спътника и звездолета, а с r_0 и r радиусите на техните орбити. Използваме III закон на Кеплер, за да намерим периода на спътника:

$$\frac{r_0^3}{T_0^2} = \frac{r^3}{T^2}$$
$$T_0 = T \sqrt{\frac{r_0^3}{r^3}} = 8P \sqrt{\frac{2^3}{8^3}}$$
$$T_0 = P$$

Орбиталният период на спътника се оказва равен на периода на околоосно въртене на планетата. Най-вероятно и тя, и нейният спътник са приливно заключени и винаги остават обвърнати с една и съща страна един към друг. Ако след кацането на планетата Вие виждате над себе си спътника, то той винаги ще остава там. Спътникът никога няма да се появи в небето над противоположната точка от екватора на планетата, където се намира Вашият колега.

Нека T_x е интервалът от време, през който Вие ще виждате звездолета да преминава през зенита за Вас. Тъй като звездолетът се движи в посоката на въртенето на планетата, то можем да напишем:

$$\frac{1}{T_x} = \frac{1}{P} - \frac{1}{T}$$
$$T_x = \frac{TP}{T - P} = \frac{8}{7}P$$

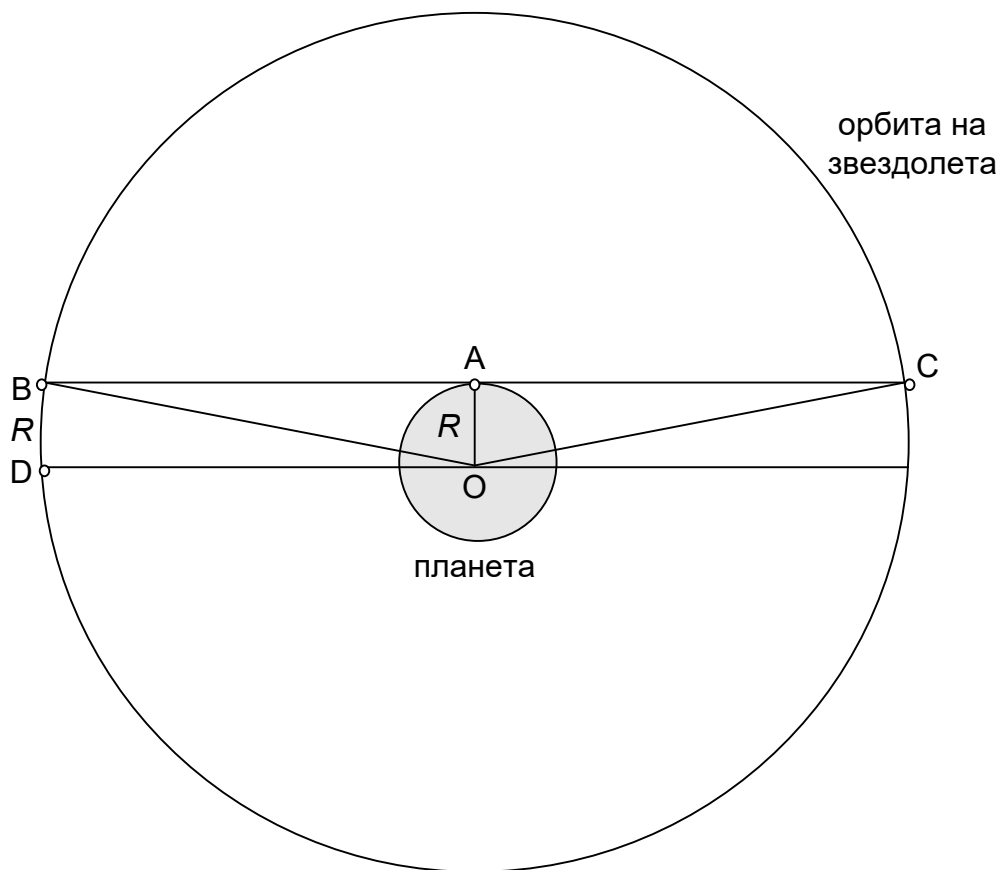
На схемата с А е отбелязано местоположението на космонавта, а с линията ВС е означен хоризонтът. След появата на звездолета над хоризонта, примерно в точка В, космонавтът ще може да поддържа радиовръзка с екипажа докато звездолетът не се скрие под хоризонта в точка С. Следователно космическият кораб ще измине над хоризонта дъгата ВС.

Ъгълът COB е по-малък от 180° с величина, равна на удвоения ъгъл DOB. Можем приблизително да оценим този ъгъл, като приемем, че дължината на дъгата DB е равна на R. Следователно:

$$\angle COB \approx 180^\circ - 2 \cdot \frac{R}{2\pi \cdot 8R} \cdot 360^\circ = 180^\circ \left(1 - \frac{1}{4\pi}\right) \approx 166^\circ$$

За да намерим времето, през което ще стане това, трябва да отчетем и факта, че самата планета се върти около оста си. Това е аналогично на ситуацията, при която планетата не се върти, а звездолетът обикаля около нея с период, равен на T_x . Търсеното време ще бъде:

$$t = \frac{166^\circ}{360^\circ} T_x \approx 0.53P$$



Критерии за оценяване (общо 12 т.):

За определяне на орбиталния период на спътника – 4 т.

За правилно заключение относно видимостта на спътника от обратната страна на планетата – 2 т.

За правилен теоретичен подход при определяне на времето за радиовръзка със звездолета – 7 т.

За правилен краен отговор – 1 т.

4 задача. Сложните движения на Луната. Разполагате с 12 снимки на Луната, заснети в 12 последователни пълнолуния (Фиг.2.). Първата от тях е направена в нощ, когато Луната освен в пълнолуние е била и недалеч от перигея на своята орбита. Понякога подобно съвпадение се нарича от журналистите „Суперлуна“. Разгледайте внимателно изображенията на Луната. Те се различават по своите размери. Причината е в това, че орбитата на Луната не е окръжност, а елипса. Когато Луната е в перигей, тя е най-близо до Земята, а когато е в апогей – най-далеч.

- А) Опитайте да начертаете орбитата на Луната, като използвате информацията от комплекта със снимките в пълнолуние. Приемете, че когато разстоянието до нея е максимално, то ще се изобразява с отсечка примерно 100 милиметра. Кръг с подобен радиус може да се помести на лист формат А4. Начертайте този кръг на листа. Цялата възстановена орбита на Луната ще се събере в кръга. Орбитата трябва да бъде построена така, че Луната да се движи по нея в посоката, в която би се виждала от наблюдател, издигнал се над северния полюс на Земята.

Разбира се, може да се работи и с по-малка окръжност, но точността на работата ще намалее. Направете пресмятанията за разстоянията до Луната в милиметри с точност 1-2 десети от милиметъра. Опитайте се да работите и графично с подобна точност.

След като нанесете всички точки на правилните разстояния и ъгли, прекарайте внимателно през тях крива, но не криволичеща, а линия, която плавно ги описва. Тази линия ще представлява схема на орбитата на Луната, построена в някакъв мащаб.

Дайте кратко описание на вашите действия и обяснение на методите, които използвате – особено това как сте пресметнали разстоянията в милиметри и ъглите между индивидуалните положения на Луната в градуси.

- Б) На 14 ноември 2016 година, когато е направена първата снимка, Луната е преминала през перигея на своята орбита. Разстоянието от Земята до Луната е било само 356512 км. Като използвате построената от Вас орбита на Луната направете необходимите измервания и определете голямата полуос на лунната орбита в километри.

Решение:

За да начертаяме орбитата на Луната трябва да разполагаме с информация за нейното положение относно дадена координатна система. Ние разполагаме с изображения на Луната получени от Земята, които са с различни размери. Подразбира се, че те са правени с един същи уред и с едно и също фокусно разстояние. При тези условия разликата в размерите на лунните изображения се дължи на това, че Луната при различните пълнолуния е била на различни разстояния от нас. Имайки предвид, че ъгловите размери на Луната не са големи, то е в сила зависимостта между линейните размери D , ъгловите размери δ и разстоянието r : $\delta = D/r$. Оттук следва: $r = D/\delta$. (1)

Диаметрите на изображенията, с които разполагаме, представят в някакъв линейен мащаб ъгловите размери на Луната. Нека при най-малкото изображение на Луната, това от 10 юни 2017г., приемем да изобразяваме разстоянието с отсечка равна на 100 mm. Така ние вече разполагаме с разстоянието от горната формула. Понеже разстоянието е обратно пропорционално на видимия ъглов размер, а D е константа, която играе ролята на коефициент на пропорционалност, може да пресметнем стойността на D от горното уравнение, като използваме диаметъра на най-малкото изображение и 100 mm за разстоянието. Получаваме:

$$D = \delta \cdot r = 31 \cdot 100 = 3100$$

След като измерим диаметрите на изображенията на Луната, използваме стойността на константата и пресмятаме разстоянията до Луната за всички дати на наблюденията.

Разстоянията са в милиметри, като най-голямото е 100 mm.

За да построим орбитата, трябва да знаем посоките към Луната в съответните моменти. Тях ги пресмятаме от датите на наблюденията. Когато Луната е в пълнолуние, тя се намира относно Земята в посока, противоположна на посоката към Слънцето. Всеки лунен месец Земята се придвижва на определен ъгъл по своята орбита. Посоката към Луната също се променя със стойност, равна на този ъгъл. За една година положенията на Луната в пълнолуние ще опишат лунната орбита, макар и с не голям брой положения.

Земята прави пълна обиколка около Слънцето за около 365.25 денонощия. Връзката между ъгъла на завъртане и количеството денонощия между наблюденията се дава от израза:

$$k_{\varphi} = \frac{360^{\circ}}{365.25^d} = 0.9856 \text{ deg/d}$$

Умножавайки с този израз интервалите време, изразени в денонощия – N^d , получаваме ъгъла φ , на който Луната е завъртяна при съответното пълнолуние:

$$\varphi = k_{\varphi} \cdot N^d$$

Пресмятаме по описания начин разстоянията и ъглите между дадените пълнолуния. След това ги използваме за да построим орбитата на Луната.

От най-отдалечената точка на орбитата строяваме голямата ѝ ос, която трябва да мине през положението на Земята, от което тръгнахме за да построим орбитата. Измерваме големината ѝ: $2a = 188.6 \text{ mm}$, откъдето следва, че $a = 94.3 \text{ mm}$. Измерваме разстоянието до Луната в перигея: $r_p = 88 \text{ mm}$. Това разстояние съответства на 356512 km.

Накрая намираме голямата полуос в километри:

$$a_{km} = \frac{a_{mm}}{r_{p,mm}} r_{p,km} = 382032 \text{ km}$$

Използваме III Закона на Кеплер, за да пресметнем масата на Земята:

$$M = \frac{4\pi^2 a^3}{\gamma T^2} = 5.92 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Критерии за оценяване (общо 14 т.):

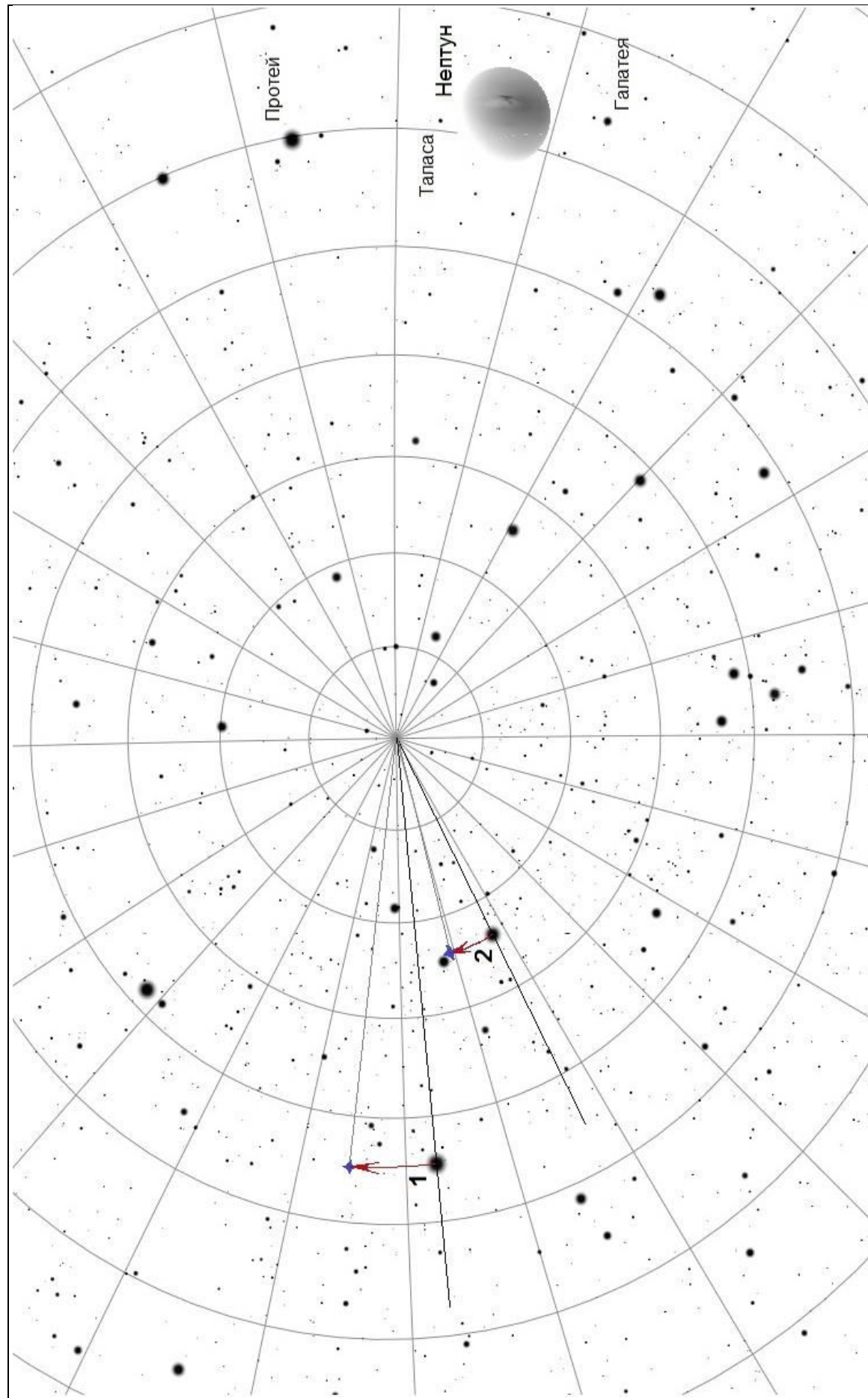
За правилен теоретичен метод за определяне на разстоянията до Луната – 2 т.

За измервания и пресмятания в мащаба на чертежа – 4 т.

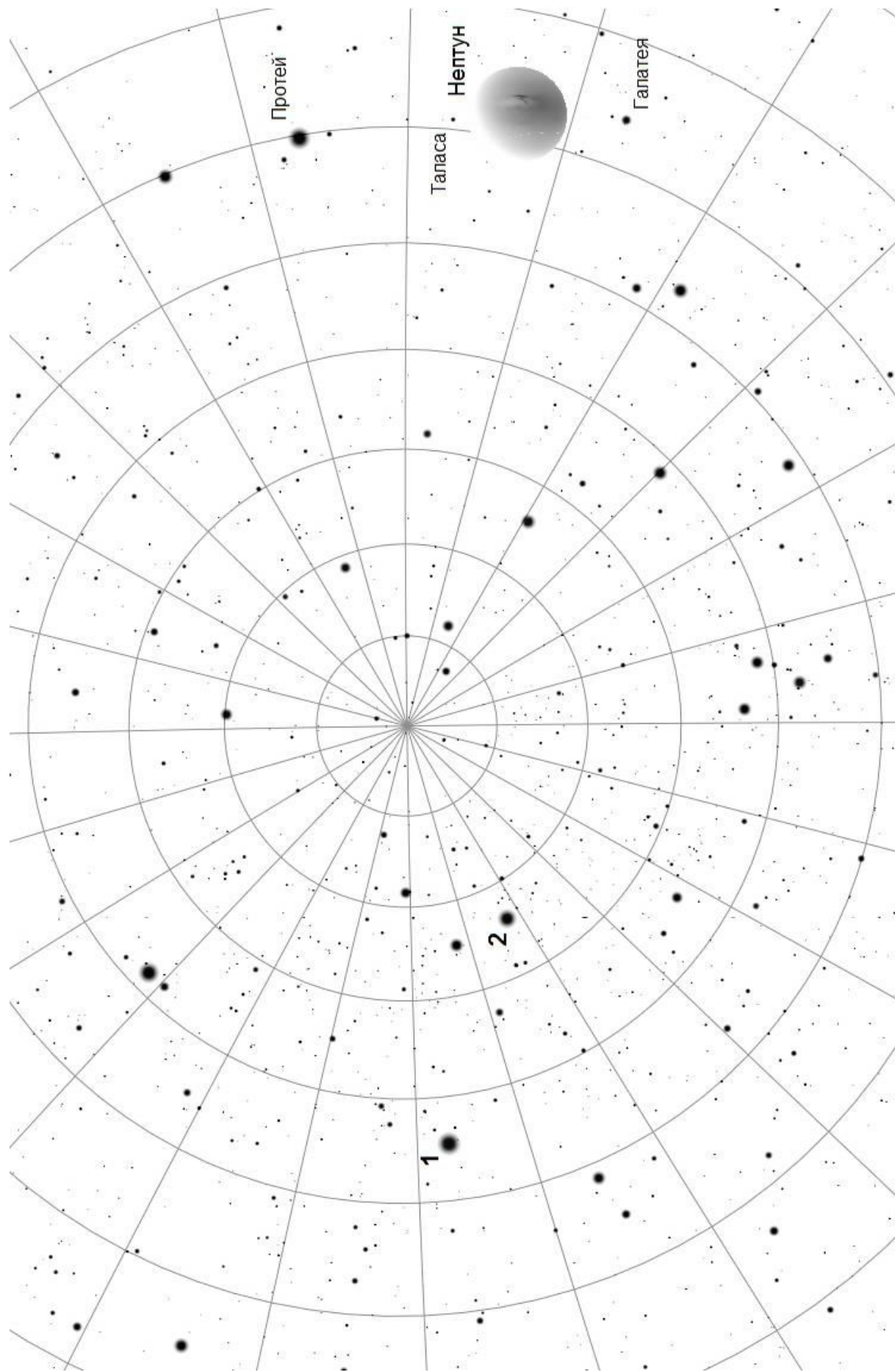
За правилен метод за определяне на ъгловите отмествания на Луната – 2 т.

За изчисления, измервания и строяване на орбитата – 4 т.

За определяне на голямата полуос на орбитата – 2 т.

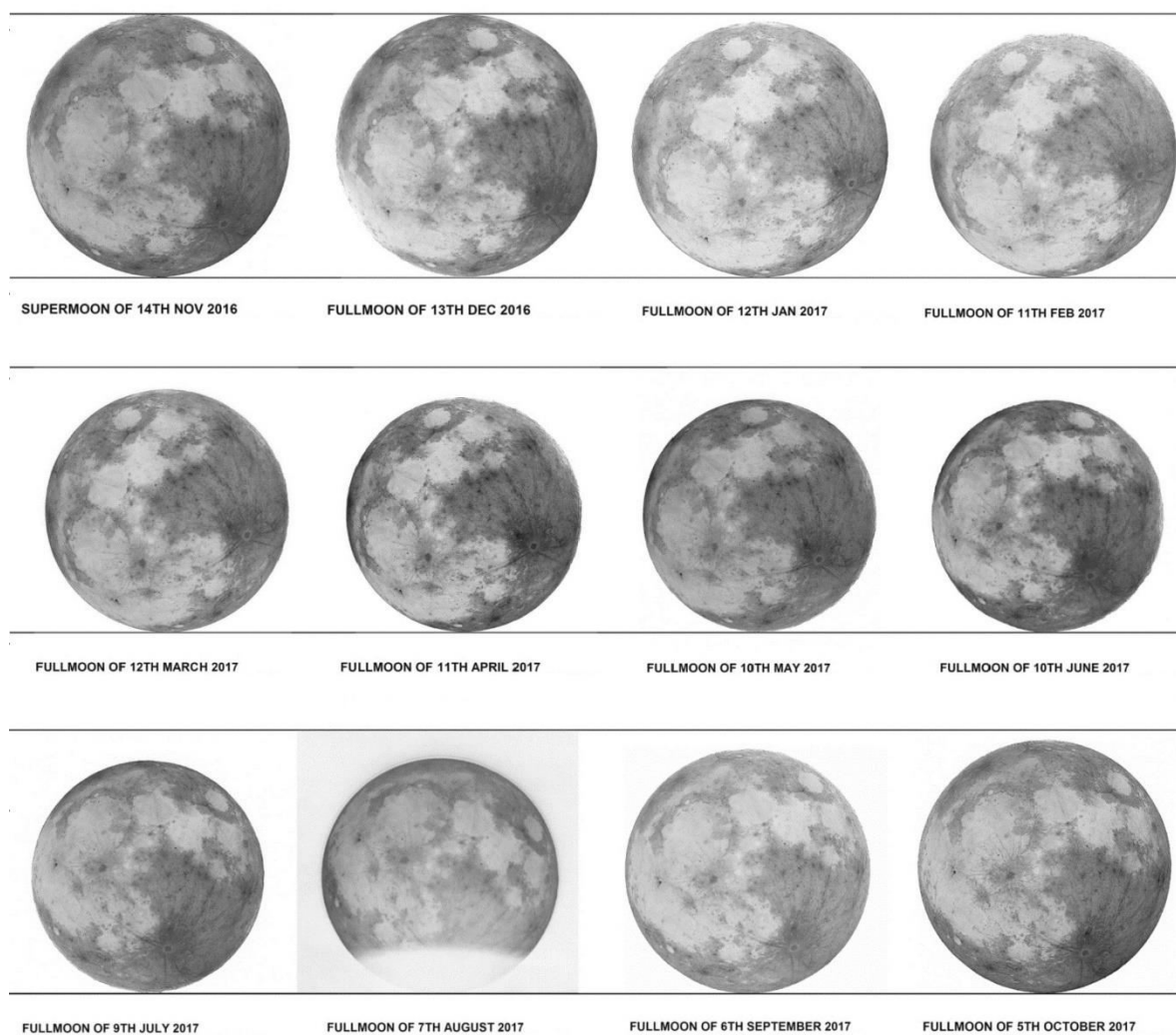


Фиг. 1а. Карта на небето около Северния полюс на Тритон с решение – към 2 задача.



Фиг.1. Карта на небето около Северния небесен полюс на Тритон. – към 2 задача.

FULL MOONS OF A YEAR (NOV 2016 - OCT 2017)



Фиг.2. Луната в пълнолуние за 12 последователни месеца.

XXII НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ
19-21 април 2019 г., Стара Загора

Тест 7-8 клас – решения

- 1. С:** 2P/Encke е известна краткопериодична комета, обикаляща около Слънцето по орбита с голяма полуос 2.22 AU.
- 2. А:** Мелбърн е в южното полукълбо на географска ширина 38° S и звездите с деклинация над $90^\circ - 38^\circ = 52^\circ$ са неизгряващи там. Цялото съзвездие Малка мечка (Ursa Minor), в което е Полярната звезда, е на деклинация над 65° .
- 3. Е:** Земята се завърта около оста си за 23h 56min. Поради това, звездите изгряват около 4 минути по-рано спрямо пояското време (времето на часовника) на утрешния ден. След 3 дни звездата ще изгрява $4 \times 3 = 12\text{min}$ по-рано, т.е. в 20:35.
- 4. В:** Звездните купове в каталога на Месие са в нашата галактика, т.е. са по-близо от другите галактики (вкл. от Големия магеланов облак). На разстояние около 180pc от нас, M44 е един от най-ярките и съответно близки разсеяни звездни купове.
- 5. Е:** Бетелгейзе е червен свръхгигант, около 900 пъти по-голям на размер от Слънцето.
- 6. С:** Голямата полуос на орбитата на Сатурн е 9.58 AU.
- 7. А:** Ахернар от съзвездието Еридан е 9-тата най-ярка звезда на нощното небе.
- 8. С:** В първа четвърт Луната е на 90° градуса в посока изток от Слънцето, близо до еклиптиката. Тоест, тя ще е приблизително в тази посока, в която Слънцето се наблюдава 3 месеца по-късно, близо до есенното равноденствие. Точката на есенното равноденствие е в Дева.

9. 384 **1т:** 380-390 **0.5т:** 360-410

Двата града са изключително близо до 60-тия паралел и ще приемем, че лежат на него. Този паралел е 2 пъти по-къс от екватора, тъй като е с 2 пъти по-къс радиус (страната срещу ъгъл 30° градуса е половината от хипотенузата). Дължината на 60-тия паралел е πR , където $R=6378 \text{ km}$ е екваториалният радиус на Земята. *Дължината на паралела е $2\pi R \cos(\varphi)$.*

Разстоянието между градовете е приблизително равно на $(\Delta\lambda/360^\circ)\pi R = 384 \text{ km}$, където $\Delta\lambda = 6.9^\circ$ е разликата в географските дължини.

Всъщност, най-краткият път по въздух е по геодезичната линия (големия кръг), а не по паралела и реално е 385 km.

10. 240 **1т:** 235-245

От III Закон на Кеплер $r[\text{AU}]^3/T[\text{yr}]^2 = 1$

орбиталният период е $T_{\text{sid}} = 4.192 \text{ yr}$. Синодичният период се намира от

$$1/T_E = 1/T_{\text{sid}} + 1/T_{\text{syn}}$$

$$T_{\text{syn}} = 1.313 \text{ yr}$$

За един синодичен период ще се наблюдават две съединения (горно и долно), гледано от астероида. Тоест, търсеното време е $T_{\text{syn}}/2 = 0.657 \text{ yr} = 240 \text{ d}$.

11. 0.58 **1т:** 0.56-0.61 **0.5т:** 0.5-0.7

Плътноста на Слънцето е $\rho_{\text{sol}} = M_{\text{sol}}/V_{\text{sol}} = 1.409 \text{ g/cm}^3$, тъй като $V_{\text{sol}} = (4/3)\pi R_{\text{sol}}^3$.

Отношенията на плътностите на Сириус и Слънцето е

$$\rho_s/\rho_{\text{sol}} = (M_s/M_{\text{sol}})/(R_s/R_{\text{sol}})^3$$

$$\rho_s = 0.58 \text{ g/cm}^3$$

12. 56.7 **1т:** 55-60 **0.5т:** 45-110

Радиусът на луната е $R = 1738 \text{ km}$.

Средното разстояние Луна-Земя е $r = 384\,000 \text{ km}$.

Орбиталният (сидеричен) период на Луната е $T = 27.32 \text{ d}$.

Скоростта на Луната по орбитата е $v = 2\pi R/T$

Търсеното време е $t = 2R/v = 56.7 \text{ min}$.

13. 10.03 **1т:** 9.9-10.1

Звездната величина на Вега е 0.03 mag . Бялото джудже със 100 пъти по-малък радиус има $100^2 = 10\,000$ по-малка площ. При същата повърхностна температура и същото разстояние бялото джудже ще се вижда $100^2 = 10\,000$ пъти по-слабо. Пет звездни величини разлика са 100 пъти отношение в осветеностите. Тогава 10 звездни величини ще са 100^2 отношение в осветеностите. Тоест, звездната величина се повишава с 10 и е $0.03+10 = 10.03 \text{ mag}$. (Или от формулата на Погсън $m = 0.03 - 2.5\lg(1/10\,000) = 10.03 \text{ mag}$)

14. 5720 **1т:** 5600-5840 **0.5т:** 5200-6200

Ъгловият размер на галактиката е $\delta=15.8'$. Разстоянието до галактиката е $r = 3.4 \text{ Mpc} = 11.089 \text{ Mly}$ (милиона светлинни години). Тоест, светлината от нас до галактиката стига за $t = 11.089$ милиона години.

Радиусът на галактиката е $R = (\delta/2)r = 7810 \text{ pc}$

Линейната скорост на звездите около центъра на галактиката е $v = 2\pi R/T = 77.4 \text{ km/s}$

Тъй като 11 милиона години са много по-малко от орбиталния период, приемаме, че двете звезди се движат линейно, по-лъча на зрение за това време. Ако при излъчване на сигнала те са на еднакво разстояние от нас, след време $t = 11.089 \text{ Myr}$ разликата в разстоянието до X и Y ще е $2vt$ и разликата във времената на пристигане на сигнала ще е

$$\Delta t = 2vt/c = 5720 \text{ yr}$$

$c = 300\,000 \text{ km/s}$ е скоростта на светлината във вакуум