

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА КОМИСИЯ ЗА ОРГАНИЗИРАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО АСТРОНОМИЯ
XXIX НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Национален кръг
Бургас, 9 май 2026 г.
Възрастова група 7-8 клас, първи тур

Решения

Задача 1. Белка и Стрелка. Кученцата Белка и Стрелка са първите живи същества, които са пътували с космически кораб в орбита около Земята и са се върнали невредими след полета. Корабът „Спутник-5“ е бил изстрелян на 19 август 1960 г. в 8 h 44 m по Гринуичко време от космодрума Байконур, който се намира в Казахстан (тогава част от СССР) на $63^{\circ} 20'$ източна географска дължина.



А) Приемаме, че часовите пояси са разчертани точно по земните меридиани и всеки от тях има ширина 15° . В колко часа по поясно време за Байконур е бил стартът на кораба? [4т.]

Б) Орбиталният период на кораба е бил 90 m 43 s, а продължителността на полета е била 26 часа. Колко пъти за кученцата космонавти е настъпвала нощ по време на полета? [5т.]

В) „Спутник-5“ е летял в същата посока, в която се върти Земята. Наклонът на неговата орбита към земния екватор е бил приблизително 60° . В даден момент космическият апарат прелита над точка А от земната повърхност, намираща се на най-високата северна географска ширина, до която той може да стигне. След един свой орбитален период той прелита над точка В. В каква посока се намира точка В относно точка А? Какво е разстоянието между двете точки, отчетено по паралела, на който те лежат? Приемете, че обиколката на Земята по екватора е 40 000 km. [5т.]

Решение:

А) Прието е през Гринуич (близо до Лондон, Великобритания) да минава нулевият, или началният меридиан, от който се отчита географската дължина на точките по земната повърхност. Всеки часови пояс е с ширина 15° , а пояското време се равнява на местното време за централния меридиан на пояса. Байконур се намира на $63^{\circ}20'$ източна географска дължина, т.е. на $63^{\circ}20'$ по географска дължина от Гринуичкия меридиан, който е централният меридиан на нулевия часови пояс.

$$63^{\circ}20' = 4 \times 15^{\circ} + 3^{\circ}20'$$

Следователно Байконур се намира в четвъртия часови пояс на изток от Гринуич и пояското време там трябва да е с 4 часа напред спрямо Гринуичкото време. По пояското време в Байконур стартът на кораба е бил в $8 \text{ h } 44 \text{ m} + 4 \text{ h} = 12 \text{ h } 44 \text{ m}$.

Б) При всяка обиколка около Земята космическият кораб преминава последователно веднъж над огрятата от Слънцето страна на нашата планета и веднъж над нейната нощна страна, при което самият кораб се потяпя в сянката на Земята и за него трябва да е нощ. Следователно за нашите кученца космонавти е имало толкова нощи по време на полета, колкото обиколки на Земята е направил корабът. Орбиталният период на космическият кораб е:

$$P = 90 \text{ m } 43 \text{ s} \approx 90,717 \text{ m} \approx 1,512 \text{ h}$$

За общото време на полета корабът е направил:

$$26 \text{ h} / P \approx 17,2 \text{ обиколки на Земята}$$

Корабът е стартирал в средата на деня и отгук следва, че за кученцата е имало 17 преминавания над нощната страна на Земята, или 17 нощи.

В) Движението на космическия кораб по неговата орбита не се влияе от околоосното въртене на Земята. Максималната северна географска ширина φ на точката от земната повърхност, над която може да прелети корабът, се равнява на наклона на неговата орбитална равнина към земния екватор, т.е. $\varphi = 60^\circ$. Следователно това е географската ширина на точката А. След един свой орбитален период корабът отново ще прелети над точка със северна географска ширина 60° и това е точката В. Но тя няма да съвпада с точката А, защото за това време Земята ще се е завъртяла около своята ос на определен ъгъл. Нека означим този ъгъл с $\Delta\lambda$. Земята се върти в посока от запад на изток, а орбитата на кораба запазва своята ориентация в пространството. Това означава, че точката В ще бъде на запад от точката А. Ъгълът, на който Земята се завърта за време, равно на един орбитален период на кораба, ще бъде:

$$\Delta\lambda = \frac{P}{T_s} \cdot 360^\circ$$

където $T_s = 23\text{h } 56\text{m}$ е звездното денонощие (истинският период на околоосно въртене на Земята).

$$\Delta\lambda \approx 22,74^\circ$$

Точките А и В лежат на паралел с географска ширина 60° . Следователно, както се вижда от схемата, ъгълът ХОО' е равен на 30° и в правоъгълния триъгълник ХОО' радиусът R' на въпросния паралел е равен на половината от радиуса на Земята R . Тогава и дължината на този паралел d ще бъде двойно по-малка от обиколката на Земята по екватора:

$$d = 40\,000 \text{ km} / 2 = 20\,000 \text{ km}$$

Отгук вече може да намерим разстоянието между точките А и В, отчетено по поралела, на който те лежат:

$$\Delta l = d \cdot \frac{\Delta\lambda}{360^\circ} \approx 1264 \text{ km}$$

Критерии за оценяване (общо 14 т.):

А) 4 т.

За правилни разсъждения и пресмятания относно часовия пояс на Байконур – 3 т.

За верен отговор за поясното време на старта – 1 т.

Б) 5 т.

За съобразяване, че нощ ще настъпва при всяка обиколка около Земята – 2 т.

За правилни пресмятания – 2 т.

За верен краен отговор – 1 т.

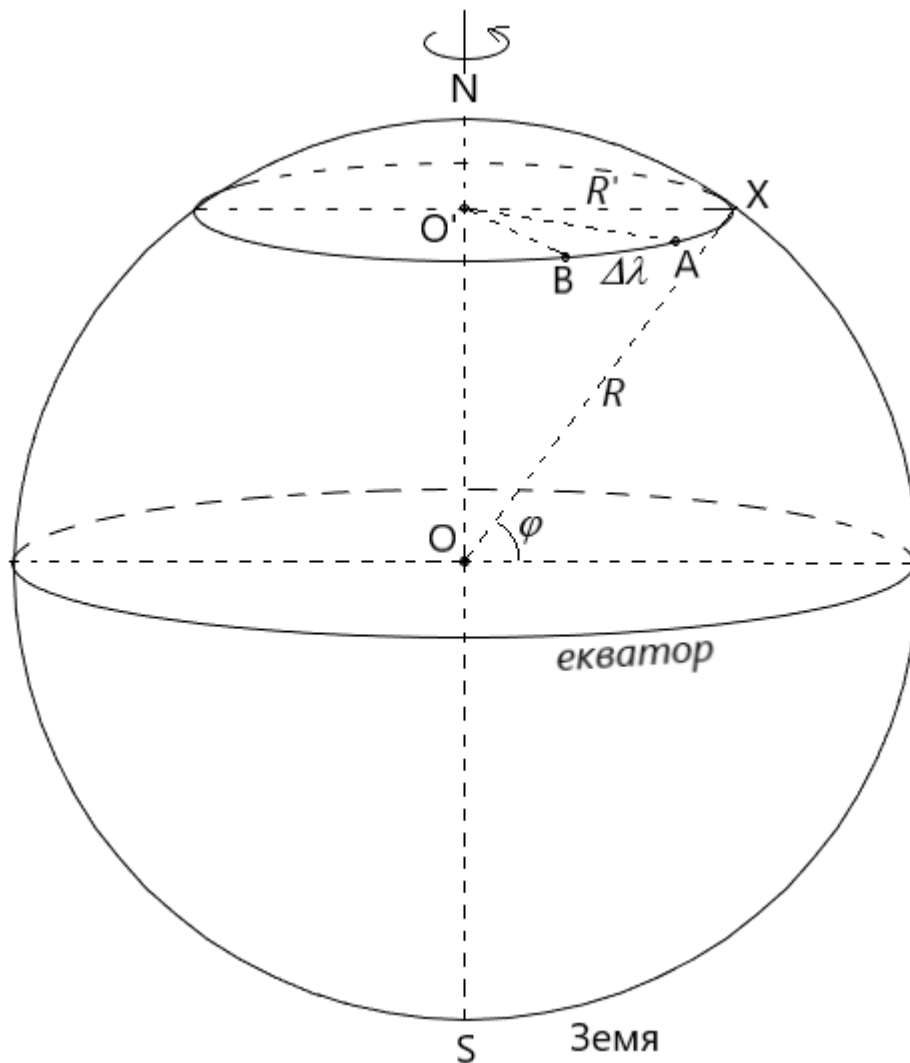
В) 5 т.

За правилни разсъждения и верен извод относно посоката на точка В спрямо точка А – 2 т.

За правилен метод на пресмятане на разстоянието АВ – 2 т.

За верен числен отговор – 2 т.

Забележка: При използване на слънчевото денонощие (24 h) вместо звездното оценката да се намали с 0.5 т. В този случай при правилни пресмятания числените отговори биха се получили, както следва: $\Delta\lambda \approx 22,68^\circ$, $\Delta l \approx 1260$ km.



Задача 2. Собствени движения. За кратки периоди от време (до десетки хиляди години) звездите по небето изглеждат неподвижни една спрямо друга за невъоръжено око и формите на съзвездията привидно се запазват. В действителност, обаче, звездите се движат спрямо нас в космоса и компонентата на скоростта настрани (перпендикулярно на зрителния лъч Слънце-звезда) поражда малък темп на отместване (ъглова скорост) по небето, наречен собствено движение. Собственото движение се бележи с гръцката буква μ . Ако собственото движение μ на звезда е в дъгови секунди на година ($''/\text{yr}$), а разстоянието r до нея в парсеци (pc), то тангенциалната ѝ скорост в km/s е:

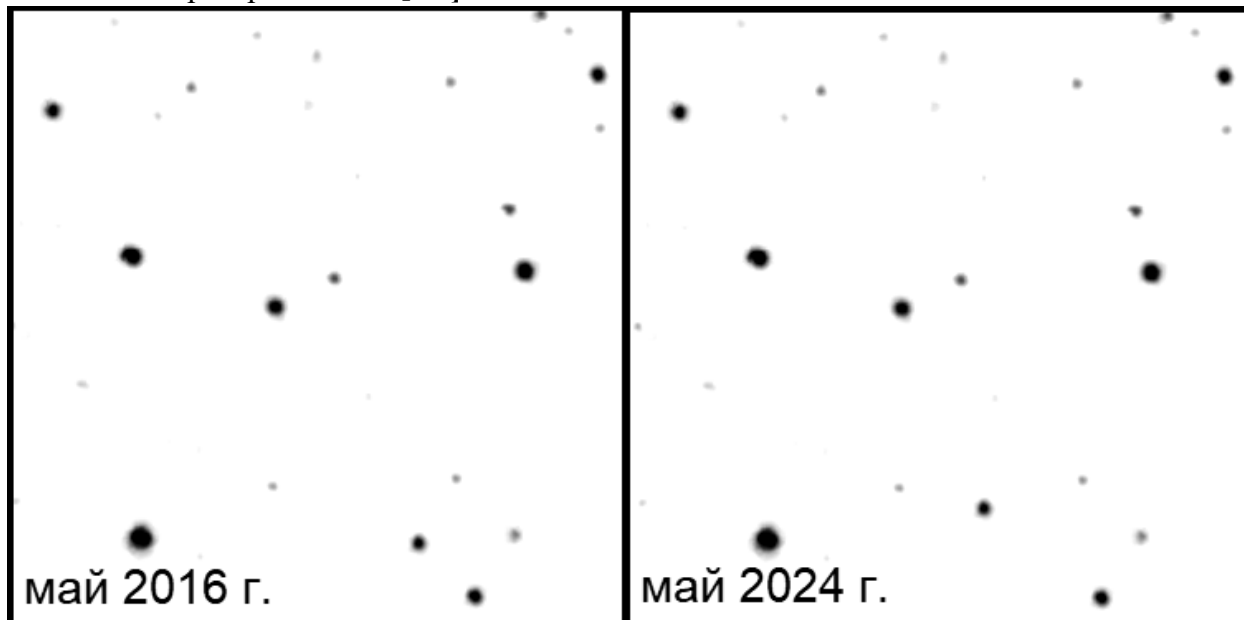
$$v_T = 4,74\mu r$$

За подусловия А), Б), В) да се пренебрегне движението на Земята около Слънцето, т.е. да се приеме, че наблюдателят е в Слънцето. Напомняме, че $1^\circ = 3600''$.

А) Най-високо собствено движение измежду известните звезди има звездата на Барнард. Тя бяга спрямо другите звезди по небето с цели $10,4''/\text{yr}$. За колко години звездата на Барнард би пресякла планетарната мъглявина М27, ако минаваше централно пред нея? Размерът на М27 е 0,9 парсека, а разстоянието до нея е 390 парсека. [3т.]

Б) Звезда А е на 25 pc от нас и се движи със скорост 50 km/s спрямо Слънцето. Пресметнете собственото движение на звезда А, ако знаете, че скоростта на отдалечаване на звездата от нас (т.нар. радиална скорост) е 30 km/s. [4т.]

В) Често звездите с високо собствено движение са единствените по рода си в полето на телескоп, тъй като повечето звезди са на много големи разстояния и собствените им движения са близо до 0. Дадено ви е поле с ъглов размер $200'' \times 200''$, заснето през 8 години. В полето има една звезда (звезда В) с високо собствено движение. Разстоянието до звездата В е 7,1 pc. Радиалната скорост на звездата е 0 km/s, т.е. звездата се движи изцяло настрани (перпендикулярно на направлението Слънце-звезда). Пресметнете скоростта ѝ спрямо Слънцето в пространството. [4т.]



Г) Нека да си представим планета около звезда С, много близка до Слънцето, така че наблюдателите оттам виждат същите съзвездия като нас. Звезда С се движи с много висока скорост в посока към Полярната звезда. Кои 3 от изброените съзвездия ще изкривяват формата си най-бързо за наблюдателите на тази планета: Касиопея, Орел, Малка мечка, Дева, Дракон, Южен кръст, Риби? Посочете имената на точно три съзвездия и дайте кратко обяснение. [3т.]

Решение:

А) Размерът на мъглявината М27 е $D = 0,9$ рс, а разстоянието до нея е $r = 390$ рс. Ъгловият ѝ размер е

$$\delta = \frac{D}{r} = 0,0023 \text{ rad} = 0,132^\circ = 476''$$

С ъглова скорост $10,4''/\text{yr}$ това разстояние по небето се изминава за време

$$t = \frac{\delta}{\mu} = \frac{476''}{10,4''/\text{yr}} = 45,8 \text{ yr}$$

Б) Пълната пространствена скорост е свързана с тангенциалната и радиалната скорост чрез Питагоровата теорема, тъй като те са нейните компоненти съответно перпендикулярно на лъча на зрение и по лъча на зрение:

$$v^2 = v_T^2 + v_R^2$$

Оттук можем да пресметнем тангенциалната скорост на звездата А:

$$v_{AT} = \sqrt{v_A^2 - v_{AR}^2} = 40 \text{ km/s}$$

Заместваме в дадената формула и получаваме собственото движение на звездата А:

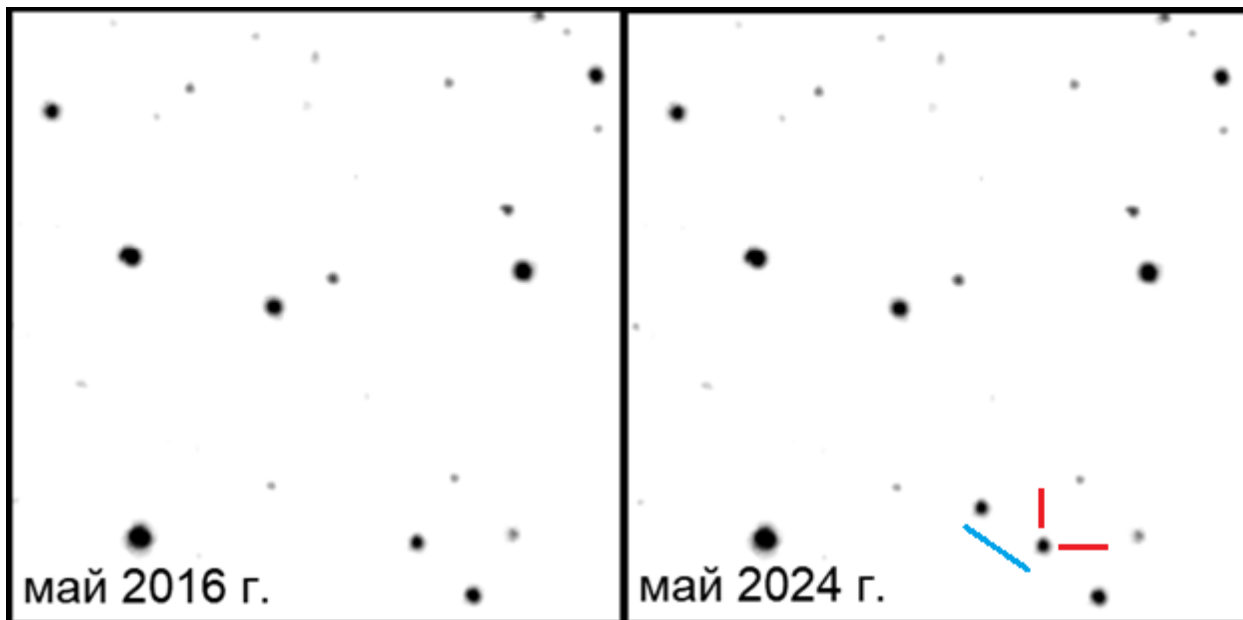
$$\mu_A = \frac{v_{AT}}{4,74r_A} = 0,34''/\text{yr}$$

В) Идентифицираме звездата, която се движи видимо спрямо останалите и я прерисуваме максимално точно като положение от едното изображение на другото. Положението е указано с червено кръстче. Измерваме ъгловото разстояние между старото и новото положение (отбелязано със синя отсечка) с линия и мащабираме, използвайки, че страната на квадрата е $200''$. Получаваме ъглово отместване $23,5''$ за интервал от 8 yr. Собственото движение е $23,5''/8 \text{ yr} = 2,94''/\text{yr}$.

Тъй като радиалната скорост на звездата е 0, пълната пространствена скорост е равна на тангенциалната. Тя е:

$$v_B = 4,74\mu_B r_B = 99 \text{ km/s}$$

Обосновани отговори от 85 до 115 km/s се награждават с пълния брой точки.



Г) Ако сме в звездна система, която се движи с много висока скорост към северния небесния полюс, то тангенциалните скорости на звездите близо до небесните полюси ще са малки, а на звездите близо до небесния екватори – големи. Поради това, по-бързо ще се изкривяват формите на съзвездията, близки до екватора. От изброените, това са:

Орел, Дева, Риби

Критерии за оценяване (общо 14т.):

А) 3т.

За пресмятане на ъглов размер на M27 (или друга първа стъпка, напр. получаване на линейна скорост, проектирана на това разстояние): 1,5т.

За получаване на времето за пресичане на M27: 1,5 т.

Б) 4т.

За получаване на тангенциалната скорост по Питагорова теорема: 2т.

За получаване на собственото движение: 2т.

В) 4т.

За коректен краен резултат с до 15% грешка: 4т.

За коректен краен резултат с от 15% до 30% грешка: 2т.

Г) 3т.: По 1т. за всяко вярно посочено съзвездие. По 1 наказателна точка за всяко допълнително посочено съзвездие след третото.

Задача 3. На непозната планета. Намирате се на непозната планета около непознато Слънце и изследвате повърхността ѝ със своя планетоход, който се движи с постоянна скорост 150 km/h. Намирате се на екватора по изгрев слънце. В хронологичен ред:

1) Пътувате 4 часа в посока изток и забелязвате, че Слънцето се е вдигнало право нагоре с 26 градуса.

2) После пътувате 4 часа в посока запад и забелязвате, че Слънцето се е вдигнало право нагоре с още 19 градуса.

3) Решавате да изчакате идването на нощта и спирате за време t_3 .

4) С идването на нощта забелязвате, че тази планета също си има своя Полярна звезда. Виждате я да блещука слабо, съвсем малко над точката север. Тръгвате с планетохода на север и пътувате 12 часа, след което виждате, че Полярната звезда се е вдигнала на височина h над хоризонта.

5) Спирате и опознавате звездното небе. Оставете на същата локация и отчитате времето, докато не видите звездите да са разположени по точно същия начин. Установявате, че това се случва точно на всеки 60 часа. Всички часове в условието са земни часове.

А) Пресметнете радиуса на планетата. [3т.]

Б) На Земята слънчевото денонощие е 24 часа. Колко земни часа е едно слънчево денонощие на планетата? [3т.]

В) Пресметнете времето t_3 и височината h . [3т.]

Г) С каква скорост се движи поради околоосното въртене точка от екватора на планетата? [2т.]

Д) Колко земни дни продължава годината на планетата? Планетата се движи около своето Слънце по кръгова орбита в равнината на екватора. [3т.]

Решение:

А) и Б) Пътуваме с една и съща скорост 4 часа на изток и после 4 часа на запад. Оказваме се на същото положение както в началото. Слънцето се е издигнало с $26 + 19 = 45$ градуса. Екваторът на планетата няма наклон спрямо равнината на орбитата ѝ. Следователно Слънцето винаги лежи на небесния екватор и за наблюдател на екватора на планетата Слънцето ще изгрява точно от изток и ще се вдига право нагоре до зенита, след която ще пада право надолу към точката запад. Следователно, за 8 часа планетата се е завъртяла с 45 градуса спрямо направлението към Слънцето. Слънчевото денонощие е времето, за което това завъртане е 360 градуса. То ще бъде $T_D = (360/45) \cdot (8 \text{ h}) = 64 \text{ h}$.

Само за 4 часа Слънцето ще се завърти по небето с $22,5^\circ$. Обаче се движим със скорост 150 km/h, т.е. сме изминали $4 \cdot 150 = 600 \text{ km}$ на изток по екватора и Слънцето се е завъртяло с 26° , или $3,5^\circ$ повече. Това е, защото сме изминали $3,5^\circ$ по земния екватор. Ако 600 km са $3,5^\circ$ по екватора, то обиколката на планетата е

$$c = 2\pi R = \left(\frac{360^\circ}{3,5^\circ}\right) 600 \text{ km} = 61714 \text{ km}$$

Оттук радиусът на планетата е $R = 9822 \text{ km}$.

В) На екватора денят е равен на нощта, т.е. ще имаме $64/2 = 32$ часа от изгрев до залез. Пътували сме 8 часа и трябва да изчакаме още $t_3 = 24$ h.

За 12 часа с планетохода ще изминем 1800 km, което е 3 пъти по-голямо разстояние от изминатото по екватора. Следователно и ъгловата му мярка по меридиана ще е 3 пъти по-голяма, т.е. ще повишим планетографската си ширина с $3.3,5^\circ = 10,5^\circ$. В началото, на екватора, Полярната звезда е на нулева височина. Височината, до която се издига с повишаване на ширината ще е $h = 10,5^\circ$.

Г) Времето, за което звездите правят цял оборот по небето и се връщат в начално положение, е ротационният период на планетата $T = 60$ h. Поради околоосното въртене точка от екватора на планетата се движи със скорост

$$v_E = \frac{2\pi R}{T} = 1029 \text{ km/h} = 286 \text{ m/s}$$

Д) Връзката между слънчевото денонощие T_D , ротационният период T и годината (орбиталният период) T_Y е:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_D} + \frac{1}{T_Y}$$

Оттук получаваме

$$T_Y = \frac{T_D T}{T_D - T} = 960 \text{ h} = 40 \text{ d}$$

Това са 40 земни дни. В слънчеви денонощия на планетата получаваме $15T_D$.

Критерии за оценяване (общо 14т.):

- А) 3т. за пресмятане на радиуса на планетата
- Б) 3т. за пресмятане на слънчевото денонощие
- В) 3т.: 1,5 т. за пресмятане на t_3 + 1,5т. за пресмятане на h
- Г) 2т. за пресмятане на скоростта на екватора
- Д) 3т. за пресмятане на годината на планетата

Задача 4. Плътност на звезди. В по-голямата част от живота си звездите произвеждат енергия като превръщат в ядрото си водород в хелий чрез термоядрен синтез. Докато това се случва, звездата е стабилна. Такива звезди се наричат звезди от Главната последователност поради разположението им по диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел. Масата на звездата е основният параметър, от който зависи нейният живот. От масата зависят и радиусът, и температурата на звездите от Главната последователност. Температурата на повърхността на звездата е свързана с цвета ѝ и с наблюдавания спектрален клас. От горещи към хладни звезди, спектралните класове са:

- 1) О – сини,
- 2) В – синьо-бели,
- 3) А – бели,
- 4) F – жълто-бели,
- 5) G – жълти,
- 6) К – оранжеви,
- 7) М – червени

Всеки спектрален клас е разделен на 10 подкласа, обозначени от 0 до 9 по реда на намаляване на температурата на звездите. Например, от горещи към хладни последователността е B7, B8, B9, A0, A1, A2...

В таблицата са дадени параметрите маса и радиус (изразени в единици слънчева маса и слънчев радиус) за звезди от Главната последователност, принадлежащи на спектрални класове A, F и G.

Спектрален клас	A1	A3	A5	A7	F1	F3	F5
M [M_{сл}]	2,17	1,92	1,86	1,76	1,60	1,41	1,32
R [R_{сл}]	2,136	1,861		1,75	1,728	1,578	
Спектрален клас	F7	F9	G1	G3	G5	G7	G9
M [M_{сл}]	1,21	1,12	1,07	0,99	0,98	0,95	0,89
R [R_{сл}]	1,324	1,167		1,002	0,977		0,853

А) Постройте координатна система като по оста Ox нанесете масата, по оста Oy – радиуса. Начертайте графика, която показва зависимостта между масата и радиуса на звездите от Главната последователност в диапазона 0,8 – 2,2 слънчеви маси. [3т.]

Б) Като използвате получената графика, определете радиусите на звездите от Главната последователност от спектрални класове A5, F5, G1, G7 и попълнете съответните стойности в таблицата. [4т.]

В) Пресметнете плътностите на звездите от дадените спектрални класове в единици плътност на Слънцето $\rho_{сл}$ и представете получените резултати в таблицата:

Спектрален клас	A1	A7	F7	F9	G5	G9
ρ [$\rho_{сл}$]						

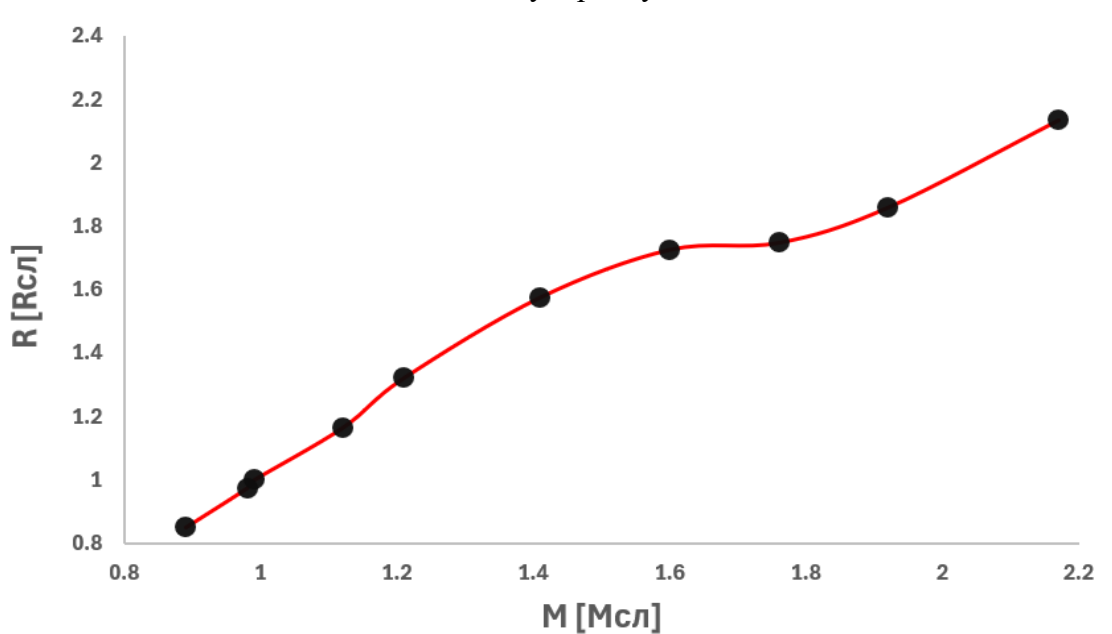
[4т.]

Г) Както виждате, звездите на Главната последователност с по-ниска маса и температура имат по-висока средна плътност. Ако плътността на Слънцето е $1,4 \text{ g/cm}^3$, то звездите от кои спектрални класове имат средни плътности по-малки от тази на водата?

[3т.]

Решение:

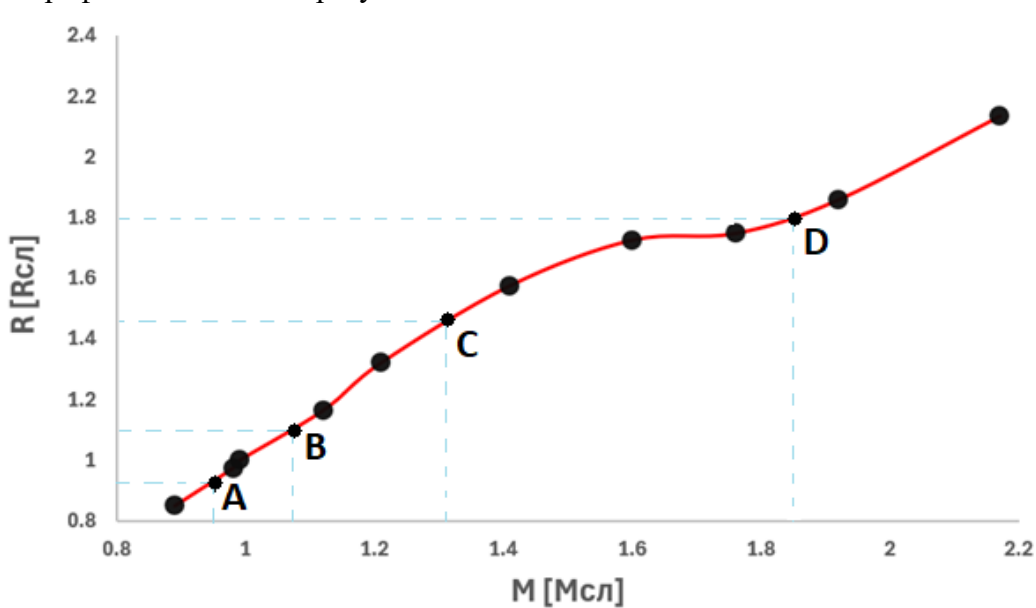
А) На предоставената милиметрова хартия начертаваме графика, като по оста Ox нанасяме стойностите на масата, а по Oy – радиусите на звездите.



Прекарваме плавна крива през нанесените точки.

Б) За да намерим търсените радиуси, използваме интерполация: издигаме перпендикуляри от съответните стойности на масата по оста Ox . От точките, в които тези перпендикуляри пресичат прекараната крива, спускаме перпендикулярни линии към вертикалната ос.

На графиката е показан резултатът:



Означили сме звездите с неизвестните радиус с А, В, С и D, в ред на нарастване на тяхната маса.

Получаваме следните стойности:

Звезда	A	B	C	D
M [M _{сл}]	1,86	1,32	1,07	0,95
R [R _{сл}]	1,81	1,46	1,10	0,93

В) Ако една звезда има маса M и радиус R , нейната плътност се пресмята по формулата:

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$$

От тук следва, че плътността на всяка от дадените звезди може да се изрази като част от плътността на Слънцето по следния начин:

$$\rho [\rho_{сл.}] = \frac{M}{M_{сл}} \left(\frac{R_{сл}}{R} \right)^3$$

От тук пресмятаме търсените плътности:

Спектрален клас	A1	A7	F7	F9	G5	G9
ρ [$\rho_{сл}$]	0,22	0,33	0,52	0,70	1,05	1,43

Г) От таблицата забелязваме, че плътността на звездите от Главната последователност монотонно намалява с нарастване на тяхната маса. Плътността на водата е 1 g/cm^3 или приблизително $0.71\rho_{сл}$. От таблицата също така можем да видим, че звездите от спектрален клас F9 средна плътност много близка до тази. Това означава, че всички звезди от Главната последователност, които са с по-високи температури от тях имат по-ниска средна плътност от тази на водата. Те принадлежат към спектрални класове F, A, B и O.

Критерии за оценяване (общо 14т.):

А) 3т

- За равномерно разграфени оси - 0,5т
- За надписи на осите – 0,5т
- За правилно нанесени всички точки – 1,5т.
- За прекарана плавна крива през точките – 0,5т

Б) 4т.

- За правилно използване метода интерполация за графично намиране на търсените радиуси – 2т.
- За правилно получени числени стойност (допустимо отклонение $0,02R_{сл}$) – 2т. (по 0,5т всяка)

В) 4т.

- За правилна формула за средната плътност на звезда – 1т.
- За правилен израз за средната плътност на звезда, изразена, чрез средната плътност на Слънцето – 1т.

- За правилно получени стойности на средните плътности – 2т.

Г) 3т.

- За пресмятане на плътността на водата като част от средната плътност на Слънцето – 1т.

- За правилен извод относно това към кой спектрален клас принадлежат звездите, чиято средна плътност е равна на тази на водата – 1т.

- За правилен извод, че звездите от спектрални класове F, A, B и O имат средна плътност по-ниска от тази на водата – 1т.