

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XIX НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Т Е М А

за националния кръг на олимпиадата по астрономия

Теоретичен тур – 7 май 2016 г.

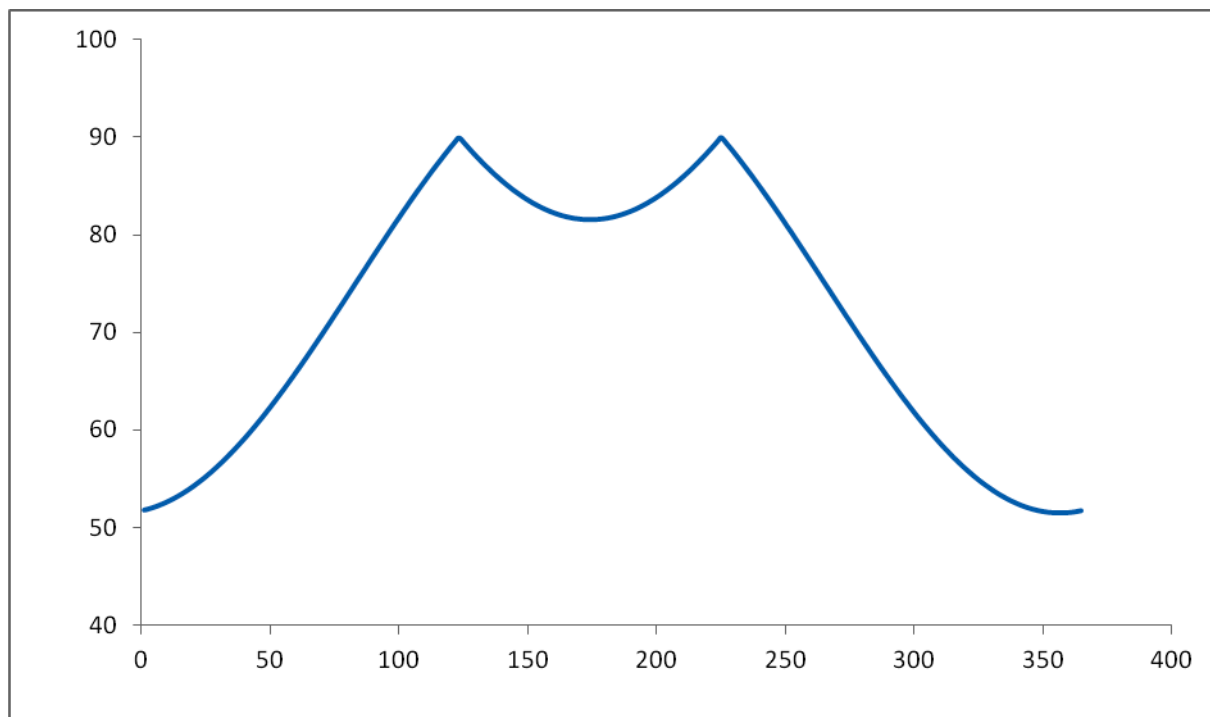
Възрастова група IX-X клас – решения

1 задача. Слънце по пладне. След приключението на Острова на русалките в една предишна олимпийска задача, астрономът Никола Каравасилев попада в плен на страшния владетел Джунгабунга. Едва успява да се спаси от врящия казан за обяд на племето, като предсказва, че след определен брой дни по пладне всички ще си изгубят сенките. После начертава пред владетеля графиката, която виждате. По хоризонталната ос е нанесено времето в дни от произволен начален момент, а по вертикалната ос е височината на Слънцето над хоризонта по пладне. Като вижда това, Джунгабунга го провъзгласява за придворен астроном, защото е владетел, който цени науката.

• А) На коя дата от годината съответства началната точка на графиката? Приблизително на кои дати хората от племето си изгубват сенките по пладне?

• Б) Върху какво е начертал вълшебната графика Никола – върху сняг или топъл морски пясък? Определете географската ширина на мястото.

• В) Как би изглеждала такава графика за планета с наклон на оста 50° спрямо вертикалата към нейната орбита, при положение, че наблюдателят се намира на 45° северна планетографска ширина? Нарисувайте приблизително, като отбележите характерните моменти и височини.



Решение:

Щом има дни в годината, когато по пладне хората от племето на Джунгабунга си губят сенките, то мястото, където е попаднал астрономът Каравасилев, се намира някъде между северната и южната тропична окръжност. Само в тази зона от земното кълбо Слънцето може да се издига до зенита. От графиката се вижда, че това се случва не един, а два пъти в годината, което означава, че мястото не лежи точно на някоя от тропичните окръжности. Освен това двата момента не са през половин година и

следователно мястото не се намира точно на екватора. Ако племето живее някъде между екватора и северната тропична окръжност, то минимална височина на Слънцето над хоризонта по пладне ще се получава около зимното слънцестояние на 22.XII. Тогава Слънцето ще кулминира на юг на височина над хоризонта $h_1 = 50.8^\circ$. Височината определяме, като чрез измервания установяваме мащаба на скалата на височините в градуси. Ако $\varepsilon = 23.5^\circ$ е наклонът на земната ос спрямо вертикалата към еклиптиката, φ е географската ширина на местообитанието на племето, то в сила е следното съотношение:

$$h_1 = 90^\circ - \varphi - \varepsilon$$

$$\varphi = 90^\circ - \varepsilon - h_1$$

$$\varphi = 15.5^\circ$$

По-малкият минимум на около 82° за височината на Слънцето по пладне се получава за датата на лятното слънцестоене на 22 юни. Тогава Слънцето кулминира на север и височината му над хоризонта следва да се отчита от точката север на хоризонта. В такъв случай съотношението е:

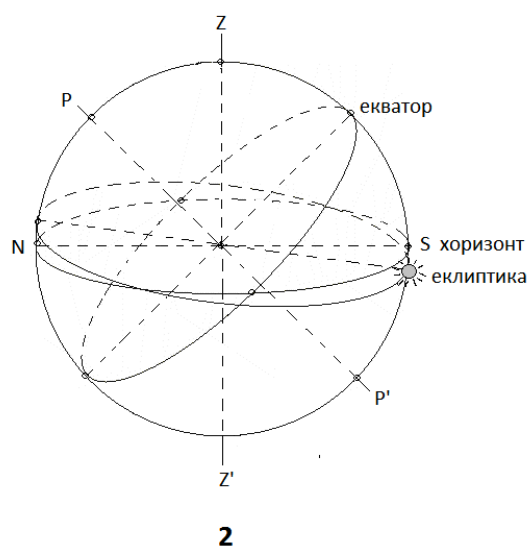
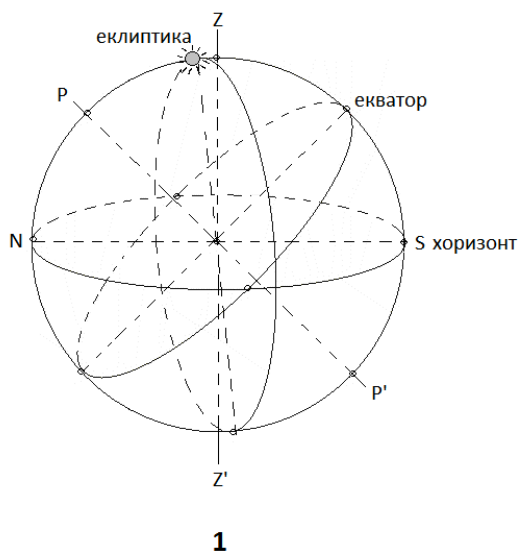
$$h_2 = \varphi + 90^\circ - \varepsilon$$

От него също можем да намерим географската ширина.

Племето на владетеля Джунгабунга може да се намира и в южното полукуълбо на 15.5° южна географска ширина. Ако датата на малкия минимум е била 22 декември, то племето се е намирало на 15.5° южна географска ширина.

Ако местообиталището на племето е в северното полукуълбо на Земята, датата на малкия минимум е 22 юни. Като използваме мащаба по хоризонталната ос, определяме, че тази дата е била 172 дни след началото на наблюденията. Препброявайки дните в различните месеци, стигаме до извода, че началната дата на наблюденията е била 1 януари. Ако племето е в южното полукуълбо, то началото на наблюденията е било 172 дни преди 22 декември, или 28 юни.

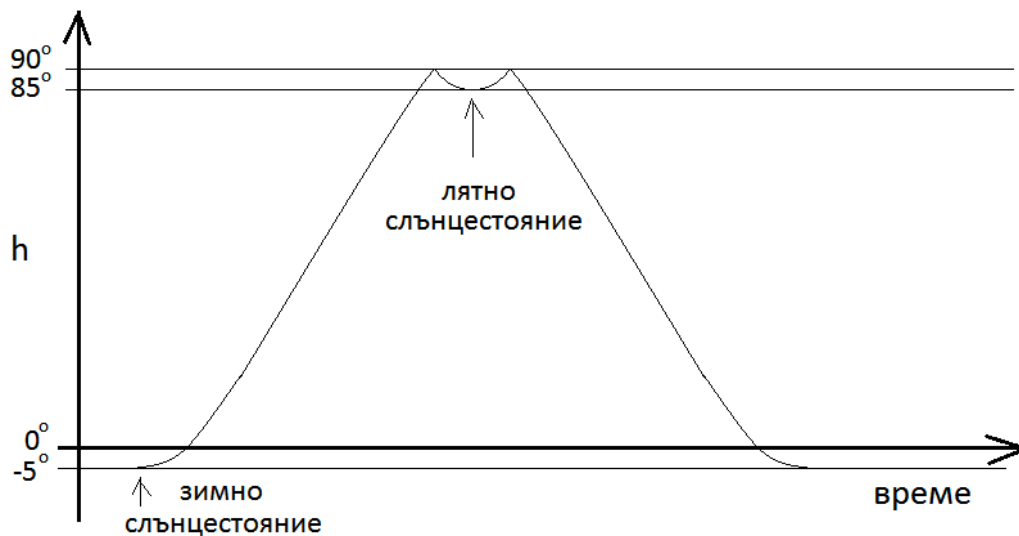
И в двата случая астрономът се е намирал на място с много топъл климат и не е чертал графиката върху сняг.



На планета с наклон на оста 50° спрямо вертикалата към нейната орбита, при положение, че наблюдателят се намира на 45° северна планетографска ширина, ситуацията би изглеждала доста необикновено. На такава планета тропичните окръжности биха били разположени на 50° от екватора, а полярните окръжности – на 40° от екватора. При ширина 45° наблюдателят би се намирал в странната зона, където два пъти в годината, в дни близки до лятното слънцестояние Слънцето би достигало до зенита по пладе, а около самото слънцестояние би кулминирало на север, както е

показано в положение 1 на фигурата. Около зимното слънцестояние обаче, би се наблюдавала полярна нощ в продължение няколко дни, в които по пладне Слънцето ще остава под хоризонта, както е показано в положение 2 на фигурата.

Графиката, илюстриращата изменението на височината на Слънцето по пладне, е дадена по-долу.



Критерии за оценяване (общо 15 т.):

За общо описание на разположението на наблюдателя и особеностите по графиката – 3 т.

За посочване на началната дата – 1 т.

За правилен начин на определяне на географската ширина – 3 т.

За правилна числена стойност – 1 т.

За посочване на второто възможно решение – 1 т.

За правилно общо разглеждане на ситуацията с другата планета – 3 т.

За правилно представяне на графиката за другата планета – 3 т.

2 задача. Двойна планета. Планетата на Феите и планетата на Елфите образуват двойна планетна система. Те обикалят на една астрономическа единица около Фееричната звезда, която е като Слънцето и всяка от двете планети е като Земята. Разстоянието между планетите е 100 000 км. Поради приливното взаимодействие между тях, периодите им на околоосно въртене са се изравнили с периода им на кръгово орбитално движение една около друга. Това движение става в равнина, съвпадаща с равнината на орбитално движение на планетите около звездата.

- А) Колко ще продължава слънчевото денонощие за Елфите и за Феите?
- Б) Къде по планетата на Феите ще се наблюдава максимално продължителна пълна фаза на ежедневно слънчево затъмнение? Колко време ще продължава тази фаза?
- В) Какво ще виждат по това време жителите на планетата на Елфите?
- Г) Ще се различава ли климатът на полукълбото на всяка планета, гледащо към другата планета, от климата на полукълбото, гледащо в обратна посока?

Решение:

Да означим с M масата всяка от планетите, която е равна на земната маса, с r разстоянието между планетите и с γ гравитационната константа. Орбиталния период T на двойката планети, движещи се една около друга, можем да намерим от третия закон на Кеплер:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{\gamma \cdot 2M}{4\pi^2}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{2\gamma M}}$$

$$T \approx 61.66 \text{ h} \approx 2.569 \text{ d}$$

Поради синхронното въртене на планетите, това е и продължителността на звездното денонощие за всяка от тях. Слънчевото денонощие T_s ще намерим от формулата:

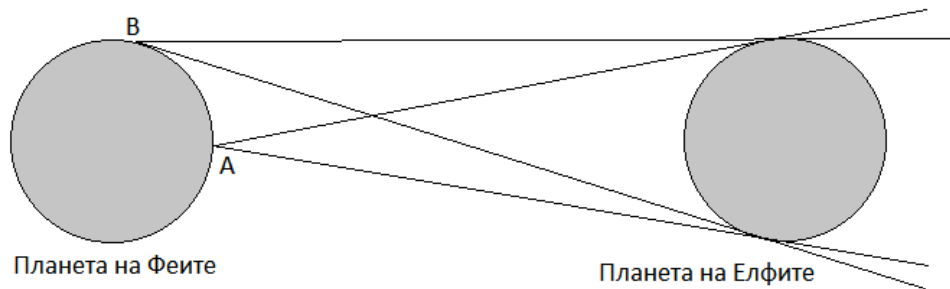
$$\frac{1}{T_s} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}$$

където T_0 е продължителността на годината за планетите. Понеже те обикалят около звезда като Слънцето на разстояние една астрономическа година, то можем да смятаме, че годината там ще е равна на една земна година.

$$T_s = \frac{TT_0}{T_0 - T}$$

$$T_s \approx 62.09 \text{ h} \approx 2.587 \text{ d}$$

Продължителността на пълната фаза на слънчевото затъмнение за дадено място на планетата на Феите ще зависи от видимия ъглов диаметър на планетата на Елфите.



Както се вижда от фигурата, очевидно видимият ъглов диаметър на планетата на Елфите ще е най-голям за наблюдател, намиращ се в точка А на планетата на Феите. Точка А е в центъра на на полукуълбото на планетата на Феите, което е обърнато към планетата на Елфите. За наблюдател в тази точка видимият ъглов диаметър на планетата на Елфите ще бъде:

$$\delta = \frac{2R}{r - R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\delta \approx 7.8^\circ$$

За наблюдател в точка А планетата на Елфите се намира постоянно в зенита. Слъцето извършва видимо денонощно движение от изток на запад по небето с ъглова скорост, която се определя от слънчевото денонощие. Продължителността на пълната фаза на слънчевото затъмнение за наблюдател в точка А ще се равнява на времето, за което при видимото си денонощно движение Слънцето преминава зад планетата на Елфите. Центърът на слънчевия диск трябва да измине дъга, равняваща се на видимия ъглов диаметър на планетата на Елфите минус видимия ъглов диаметър на самото Слънце δ_s :

$$\delta - \delta_s = 7.3^\circ$$

Продължителността на пълната фаза на затъмнението ще бъде:

$$\Delta t = \frac{7.3^\circ}{360^\circ} \cdot T_s$$

$$\Delta t \approx 1.26 \text{ h}$$

По същото време жителите на планетата на Елфите, които се намират на подходящото полукълбо, ще виждат затъмнение на планетата на Феите от сянката на своята собствена планета. Това затъмнение няма да е пълно, понеже сянката на планетата на Елфите ще представлява конус, стесняващ се с отдалечаването от нея. На разстоянието до планетата на Феите диаметърът на сянката ще е малко по-малък от диаметъра на самата планета. Елфите ще виждат затъмнена почти цялата страна на планетата на Феите, която е обърната към тях. Само тясна пръстеновидна област ще остава извън пълната сянка. Всъщност около границата на пълната сянка няма да е особено светло, тъй като там ще бъде най-тъмната зона на полусянката, т.е. сянката на планетата на Елфите ще има размита граница.

Общо взето, на страните на всяка от планетите, която е обърната към другата, ще бъде малко по-хладно, отколкото на другата страна. Нека си представим, че е средата на деня примерно за точка А на планетата на Феите. В този момент планетата на Феите ще е малко по-далеч от Слънцето, отколкото планетата на Елфите. Като включим и ефекта от ежедневните слънчеви затъмнения, ще се получи наистина лека разлика между климата на страните на планетите, които са обърнати една към друга, и на обратните страни.

Критерии за оценяване (общо 15 т.):

За намиране на орбиталния период на планетите – 2 т.

За определяне продължителността на слънчевото денонощие – 2 т.

За правилна числена стойност – 1 т.

За правилен метод за пресмятане продължителността на пълната фаза на затъмнението – 5 т.

За правилна числена стойност – 1 т.

За обяснение какво ще видят жителите на другата планета по време на затъмнението – 2 т.

За разсъждения относно разликите в климата – 2 т.

3 задача. Марсианско небе. Отскоро вие сте жител на марсианска колония, някъде в северното полукълбо на планетата. По време марсианската нощ вие намирате в небето Полярната звезда. На Марс, обаче, по тази звезда не можете да се ориентирате. Северният небесен полюс е означен на дадената ви звездна карта с P_M .

- А) Нарисувайте приблизително на картата полюса на еклиптиката.
- Б) С нетърпение очаквате марсианското лято. Определете приблизително в кое съзвездие ще се намира Слънцето по време на лятното слънцестояние за северното полукълбо на Марс. Къде ще се намира Слънцето при зимното слънцестояние? В кои съзвездия ще бъде Слънцето при равноденствията на Марс? Наклонът на равнината на марсианската орбита към земната орбита се пренебрегва (т.е. приемаме, че еклиптиката запазва своето положение и на небето на Марс).
- В) Великите противостояния на Марс, наблюдавани от Земята, се случват в края на август. Като знаете това, определете до кой от четирите характерни моменти на марсианската година е най-близо моментът на преминаване на Марс през перихелия на неговата орбита.

Решение: Пролетната и есенната равноденствена точка се намират в пресечните точки на екватора и еклиптиката, в които по дефиниция ректасцензията е съответно 0^h и 12^h . Положенията на Слънцето в моментите на слънцестоянията са между тези две точки, по еклиптиката, с ректасцензии 6^h и 18^h . Еклиптиката е наклонена относно равнината на небесния екватор, така че Слънцето се издига най-високо над него в точката с ректасцензия 6^h . На същия голям кръг, който пресича екватора в тези точки и е перпендикулярен на него, се намира полюсът на еклиптиката, който е отдалечен от Северния небесен полюс на ъгъл $23^\circ 26'$ в посока към точката на зимното слънцестоене.

Така той е отдалечен на еднакво ъглово разстояние (90°) от двете точки на слънцестоянията. Рисуваме Северния еклиптичен полюс на ъгъл $23^\circ 26'$ от Северния небесен полюс (за Земята) в посока към точката на зимното слънцестоене.

За да достигнем точката на лятното слънцестоене за Марс трябва да тръгнем от Северния полюс на еклиптиката към Северния небесен полюс за Марс по голям кръг и движейки се по него да достигнем точката на пресичане на този кръг с еклиптиката. Там ще се намира точката на лятното слънцестоене за Марс. Там еклиптиката е най-близо до Северния небесен полюс на Марс. В обратна посока, по същия голям кръг, ще достигнем до точката на зимното слънцестоене. Построяваме на картата мислено продълженията на този голям кръг до пресичането им с еклиптиката и виждаме, че точката на лятното слънцестоене се намира близо до границата между съзвездията Водолей и Риби, а точката на зимното слънцестоене – в съзвездието Дева. Тогава съзвездията, в които са пролетната и есенната равноденствени точки, ще са на 90° , по еклиптиката, от точките на слънцестоянията. Пролетната равноденствена точка е близо до границата между съзвездията Змиеносец и Стрелец, а есенната равноденствена точка е близо до границата на съзвездията Бик и Близнаци.

В края на август Слънцето е в западната част на съзвездието Лъв. Това е някъде между есенната равноденствена точка и точката на зимното слънцестоене за Марс, на все пак е по-близо до точката на зимното слънцестоене.

Критерии за оценяване (общо 15 т.)

За правилно нанасяне на северния еклиптичен полюс и обяснения – 4т.

За правилно посочване къде са равноденствените точки и точките на слънцестоянията за Марс – 7т.

За правилни разсъждения и посочване на положението на Слънцето относно характерните точки по еклиптиката при противостоянието и сезона за Марс – 4т.

Справочни данни:

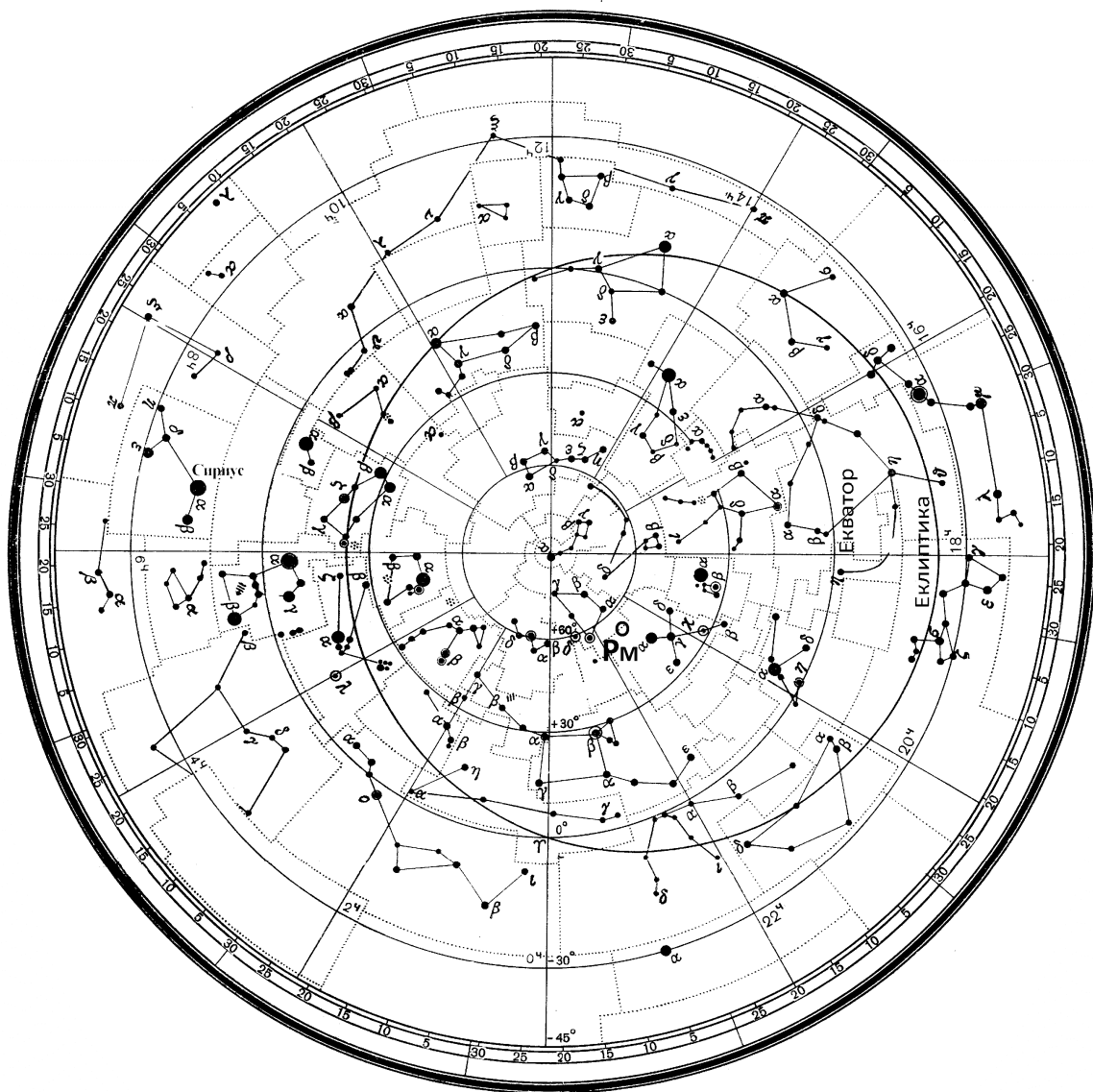
Наклон на земната ос към оста на еклиптиката $23^\circ 26'$

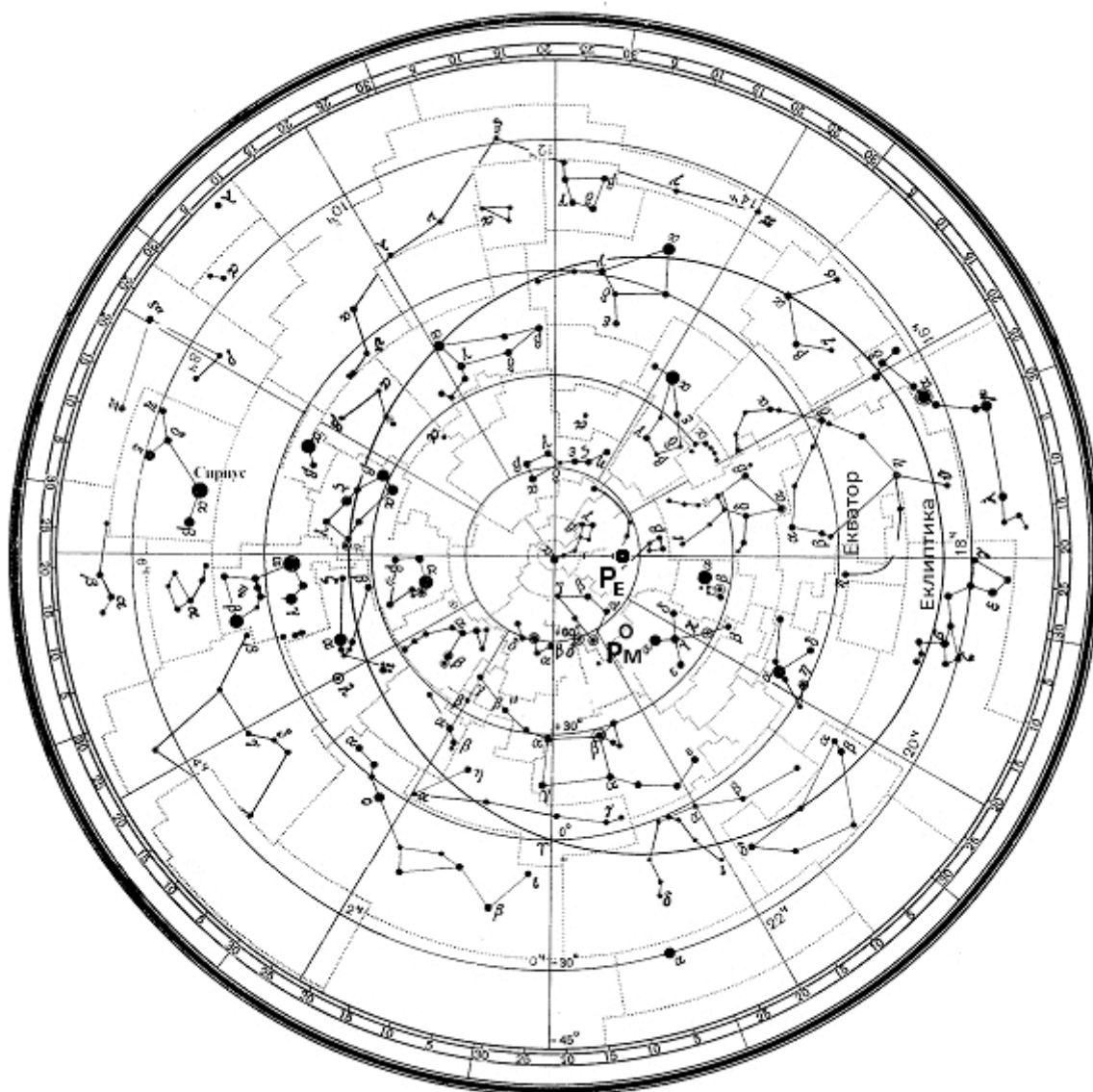
Астрономическа единица 150×10^6 км

Маса на Земята 6×10^{24} кг

Радиус на Земята 6370 км

Видим ъглов размер на Слънцето 0.5°





Към решението. Карта с нанесен Северен еклиптичен полюс.

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XIX НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Т Е М А

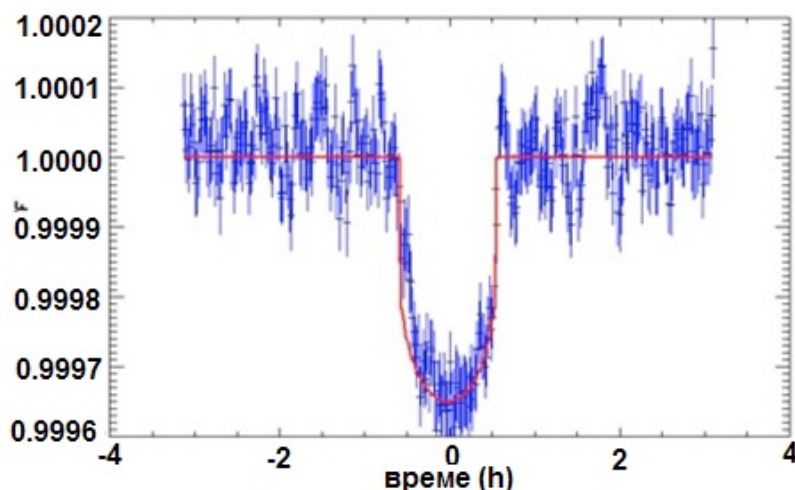
за националния кръг на олимпиадата по астрономия

Практически тур – 8 май 2016 г.

Възрастова група IX-X клас – решения

1 задача. **Екзопланетата COROT 7b.** COROT 7b е една от първите открити екзопланети, които имат размери, съпоставими с тези на Земята. Намира се в съзвездието Еднорог, на разстояние 500 ly от Земята. Планетата обикаля по кръгова орбита около звездата COROT-7, която принадлежи на Главната последователност и спектралният ѝ клас е G9V (температура 5 250K). Видимата звездна величина на звездата е 11.67^m.

Планетата COROT 7b е открита с космическия телескоп COROT, изстрелян съвместно от френската космическа агенция (CNES) и Европейската космическа агенция (ESA). На Фиг. 1. е дадена кривата на блясъка на звездата по време на пасаж (преминаване) на планетата пред диска на звездата. Можем да считаме, че зрителният лъч лежи точно в орбиталната равнина на планетата. По ординатната ос е нанесен относителен светлинен поток, а не звездна величина. Той се приема за равен на 1.0000 извън времето на пасажа на планетата.



Фиг. 1

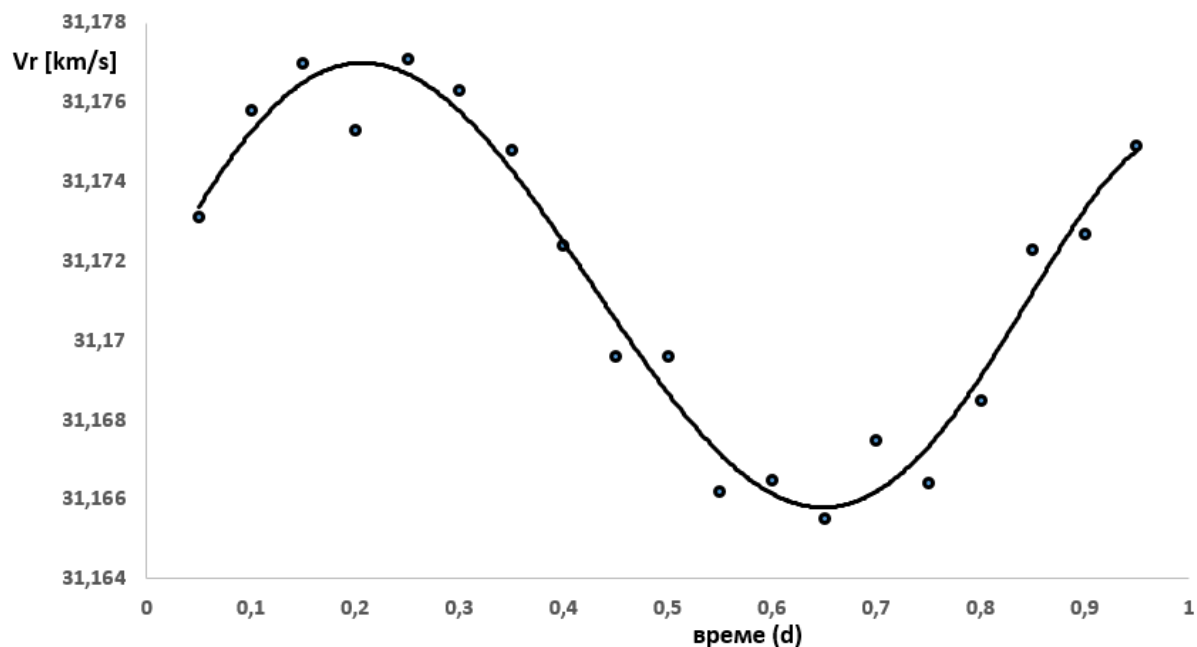
С помощта на спектрографа HARPS, монтиран на 3.6-метровия телескоп в Южноевропейската обсерватория в Чили, е получено изменението на лъчевата скорост на звездата COROT-7. В таблицата, подготвена от астронома Никола Каравасилев, са дадени съответните стойности за различни моменти от време, като е направена корекция за движението на Земята около Слънцето. Промяната на лъчевата скорост на звездата се дължи на гравитационното въздействие на планетата COROT-7b.

- А) Постройте крива на лъчевата скорост на звездата COROT-7. Определете скоростта с която тя се движи около общия център на масите с планетата.
- Б) Определете отношението на радиусите на планетата и звездата, след което намерете радиуса на COROT-7b.
- В) Пресметнете масата на планетата, а след това и нейната плътност. Към кой клас планети бихме могли да считаме, че тя принадлежи?
- Г) Коментирайте точността на получените от Вас резултати и факторите, които влияят върху нея.

N	t [дни]	Vr [km/s]
1	0,05	31,1731
2	0,10	31,1758
3	0,15	31,177
4	0,20	31,1753
5	0,25	31,1771
6	0,30	31,1763
7	0,35	31,1748
8	0,40	31,1724
9	0,45	31,1696
10	0,50	31,1696
11	0,55	31,1662
12	0,60	31,1665
13	0,65	31,1655
14	0,70	31,1675
15	0,75	31,1664
16	0,80	31,1685
17	0,85	31,1723
18	0,90	31,1727
19	0,95	31,1749

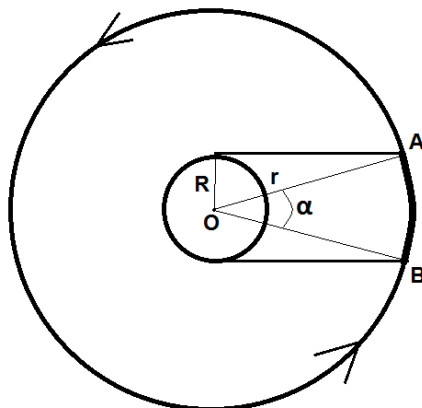
Решение:

Постояваме графика на изменението на лъчевата скорост.



Средната лъчева скорост, отчетена от графиката, е равна на $V_{cp} = 31.17 \text{ km/s}$. Това е скоростта, с която се движи центърът на масите на планетната система, по направление на зрителния лъч, относно Слънцето. Амплитудата на кривата на лъчевите скорости, получена от графиката, е $V = 5.7 \text{ km/s}$. Това е и орбиталната скорост на звездата около центъра на масите.

По рязкото спадане и издигане на блясъка на звездата в началото и края на пасажа съдим за това, че радиусът на планетата е много по-малък от радиуса на звездата. Затова за нашите оценки може да приемем, че планетата е точков обект. За времето на пасажа планетата изминава дъгата АВ, обозначена на фиг.1.:



Дъгата се вижда от центъра на звездата под ъгъл α . От схемата следва, че:

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{R}{r}$$

където R е радиусът на звездата, а r е радиусът на орбитата на планетата.

От кривата на лъчевите скорости намираме моментите, в които лъчевата скорост е максимални и минимална: $t_{\max} = 0^{\text{d}}.2$, $t_{\min} = 0^{\text{d}}.64$. Те съответстват на моментите, в които звездата се движи по направление на лъча на зрение – по посока от нас и към нас, съответно. В случая на кръгова орбита двата момента се намират точно на половин период отстояние един от друг. Следователно периодът на планетата е приблизително $T = 0^{\text{d}}.88$. Времето, за което планетата изминава дъгата АВ, отнесено към периода на звездата, е равно на отношението на ъгъл α към 360° .

$$\frac{t}{T} = \frac{\alpha}{360^{\circ}}$$

От двете формули изразяваме r :

$$r = \frac{R}{\sin\left(\frac{180 \cdot t}{T}\right)}$$

Тук t е времето за изминаване на дъгата АВ. Това време е равно на продължителността на пасажа. От кривата на блясъка на звездата намираме тази продължителност и тя е приблизително равна на $t \approx 80 \text{ min}$. Радиуса на звездата намираме от таблицата с астрофизичните характеристики на звезди от различни спектрални класове. Радиусът, съответстващ на спектралния клас и температурата на звездата, е $R = 0.82R_{\text{Sol}}$. Радиусът на Слънцето е $700\,000 \text{ km}$. Пресмятаме и получаваме $R = 574\,000 \text{ km}$.

Пресмятаме радиуса на орбитата по горната формула и получаваме:

$$r \approx 2.9 \cdot 10^6 \text{ km}.$$

Орбитата е кръгова, затова може да намерим орбиталната скорост на планетата:

$$V_{Pl} = \frac{2\pi r}{T} = 241 \text{ km/s}$$

Пак от таблицата с астрофизичните характеристики на звездите намираме, че масата на звездата трябва да е $M = 0.9M_{\text{Sol}}$. От закона за запазване на импулса, на системата звезда – планета, следва:

$$M \cdot V = M_{Pl} \cdot V_{Pl}$$

Пресмятаме масата на планетата:

$$M_{pl} = M \cdot \frac{V}{V_{pl}} = 2.16 \cdot 10^{-5} M_{\text{Sol}} \approx 4.34 \cdot 10^{25} \text{ kg}$$

Намаляването на потока се дължи на това, че дискът на планетата засенчва част от диска на звездата. Отношението на потоците е равно на отношението на площта на диска на звездата минус площта засенчена от планетата, и площта на диска на звездата, когато е незасенчена от планетата.

$$\frac{S_* - S_{pl}}{S_*} = \frac{R_*^2 - R_{pl}^2}{R_*^2} = \frac{\Phi - \Delta\Phi}{\Phi} = 0.99965$$

където Φ и $\Delta\Phi$ са потокът от звездата и потокът от засенчената част на звездата. Оттук намираме радиуса на планетата: $R_{pl} \approx 0.0187 \cdot R_* \approx 10700 \text{ km}$.

Малкият размер на планетата, сравним с размерите на Земята, позволява да отнесем планетата към т.нар. планети “суперземи”, а малкото разстояние до звездата ни позволява да я наричаме “гореща суперземя”.

Плътността на планетата е:

$$\rho = \frac{3M_{pl}}{4\pi R_{pl}^3} \approx 8360 \text{ kg/m}^3$$

Това е много голяма плътност, 1.5 пъти по-голяма от средната плътност на Земята. Може да очакваме COROT-7b да съдържа голямо количество тежки елементи, примерно желязо и никел. В нашата слънчева система Меркурий има голямо желязно ядро, но плътността му е съществено по-ниска от плътността на COROT-7b.

Относно точността на нашите пресмятания може да се каже, че върху тях влияят следните фактори:

- Точността, с която измерваме понижаването на блясъка по време на пасажа, както и продължителността на пасажа;
- Точността, с която измерваме амплитудата на получената от нас крива на лъчевите скорости, както и периода на планетата. Точките на графиката не лежат на една идеална крива, поради което от там може да се появи някакво отклонение.

Затова точността на получените числени данни не може да очакваме да е по-добра от няколко процента.

Критерии за оценяване (общо 13 т.)

За построяване на кривата на лъчевите скорости, намиране на лъчевата скорост на системата и орбиталната скорост на звездата – 3т.

За определяне на радиусите на звездата и планетата и класифициране на планетата като “суперземя” – 6т.

За намиране на масата и плътността на планетата – 3т.

За коментар на точността и източниците на грешки – 1т.

2 задача. Центърът на Галактиката. През 1917 г. американският астроном Харлоу Шепли изследва разположението на кълбовидните звездни купове в нашата Галактика и доказва, че Слънцето не се намира в нейния център, както някога е предполагал Уилям Хершел. Предлагаме ви и вие да направите подобно изследване.

Разполагате с таблица, съдържаща екваториалните координати на част от кълбовидните звездни купове.

- А) Постройте хистограми, показващи разпределението на звездните купове по координати.
- Б) Определете приблизително координатите на центъра на Галактиката. Обосновайте вашия метод и вашето заключение. На какво е основано, според вас, твърдението на Шепли, че не сме в центъра на Галактиката?
- В) Оценете грешката на вашите резултати в проценти.

Решение:

Разделяме скалата на ректасцензията на равни интервали. Като имаме предвид общия брой кълбовидни купове, с чиито координати разполагаме, нека интервалите да са по 1 h, както следва: 1-ви интервал – от $\alpha = 0^h$ до $\alpha < 1^h$, 2-ри интервал – от $\alpha = 1^h$ до $\alpha < 2^h$, 3-ти интервал – от $\alpha = 2^h$ до $\alpha < 3^h$ и т.н. Според ректасцензията, причисляваме всеки кълбовиден звезден куп към някой от така дефинираните интервали. Пресмятаме колко са куповете във всеки интервал. Построяваме графика, като по хоризонталната ос нанасяме ректасцензията, а по вертикалната ос броя звездни купове, принадлежащи към съответния интервал.

Постъпваме по същия начин и с разпределението по деклинация.



Виждаме от горната графика, че в интервалите около една определена стойност на ректасцензията има съсредоточено особено голямо количество кълбовидни купове. Същото се вижда и на графиката на разпределението по деклинация. Ако можехме да обединим тези две графики в една, щяхме да получим голямо струпване на кълбовидни купове около една малка област от небесната сфера. При това концентрацията на кълбовидните купове бързо, но плавно намалява с отдалечаване от тази област. Можем да предполагаем, че центърът на това струпване от кълбовидни звездни купове определя и къде се намира центърът на нашата Галактика. От графиките можем да определим, че тези координати, много приблизително, са: $\alpha_r = 17^h 30^m$ и $\delta_r = -27^\circ$.

Според съвременни данни координатите на галактичния център са:

$$\alpha_r = 17^h 46^m; \delta_r = -29^\circ.$$



За кълбовидните звездни купове е характерно, че те се състоят от особено стари звезди. Тези купове са типичните представители на т.нар. сферична съставяща на Галактиката. Обектите в нея са разположени в един сферичен обем около галактичния център и концентрацията им се увеличава с приближаване към този център. Именно това ни кара да смятаме, че по наблюдаваното съсредоточаване на звездните купове, което се открива с помощта на получените от нас разпределения, можем да намерим координатите на центъра на Галактиката.

Ако ние се намирахме в центъра на Галактиката, то във всички посоки по небесната сфера щеше да се наблюдава сравнително равномерно разпределение на кълбовидните звездни купове. Наличието голяма нееднородност в разпределението на звездните купове показва, че нашето положение в Галактиката е съществено отместено от нейния център.

Абсолютната грешка при определянето на координатите от нашите диаграми може да се оцени като 0.5h по ректасцензия и 5° по деклинация. Понеже това са сферични координати (кръгови скали), относителната грешка бихме могли да оценим примерно като разделим абсолютната грешка в часове на 24h за ректасцензията и абсолютната грешка в градуси на 180° за деклинацията. Така за относителната грешка по ректасцензия получаваме 2%, а по деклинация – около 3%.

Критерии за оценяване (общо 12 т.):

За правилен подход при съставянето на разпределенията на куповете и правилен избор на интервали по координатите – 2 т.

За построяване на графиките – 2 т.

За определяне на координатите на центъра – 2 т.

За обяснение относно нашето местоположение в Галактиката – 4 т.

За оценяване на грешките – 2 т.

Част от кълбовидните звездни купове в Галактиката

Означение		α (h m s)	δ (° ' ")
NGC 104	47 Tuc	00 24 05.67	-72 04 52.6
NGC 362		01 03 14.26	-70 50 55.6
NGC 1261		03 12 16.21	-55 12 58.4
AM 1	E 1	03 55 02.3	-49 36 55
Pal 2		04 46 05.91	+31 22 53.4
NGC 1904	M 79	05 24 11.09	-24 31 29.0
NGC 2419		07 38 08.47	+38 52 56.8
Pyxis		09 07 57.8	-37 13 17
E 3		09 20 57.07	-77 16 54.8
NGC 3201		10 17 36.82	-46 24 44.9
Ko 1		11 59 18.5	+12 15 36
NGC 4372		12 25 45.40	-72 39 32.4
NGC 4590	M 68	12 39 27.98	-26 44 38.6
NGC 5024	M 53	13 12 55.25	+18 10 05.4
NGC 5139	omega Cen	13 26 47.24	-47 28 46.5
NGC 5286		13 46 26.81	-51 22 27.3
NGC 5466		14 05 27.29	+28 32 04.0
NGC 5694		14 39 36.29	-26 32 20.2
NGC 5824		15 03 58.63	-33 04 05.6
NGC 5897		15 17 24.50	-21 00 37.0
NGC 5927		15 28 00.69	-50 40 22.9
BH 176		15 39 07.45	-50 03 09.8
Lynga 7	BH184	16 11 03.65	-55 19 04.0
NGC 6093	M 80	16 17 02.41	-22 58 33.9
NGC 6101		16 25 48.12	-72 12 07.9
NGC 6139		16 27 40.37	-38 50 55.5
NGC 6171	M 107	16 32 31.86	-13 03 13.6
NGC 6205	M 13	16 41 41.24	+36 27 35.5
NGC 6218	M 12	16 47 14.18	-01 56 54.7
NGC 6235		16 53 25.31	-22 10 38.8
NGC 6256		16 59 32.62	-37 07 17.0
NGC 6266	M 62	17 01 12.80	-30 06 49.4
NGC 6284		17 04 28.51	-24 45 53.5
NGC 6293		17 10 10.20	-26 34 55.5
NGC 6316		17 16 37.30	-28 08 24.4
NGC 6325		17 17 59.21	-23 45 57.6
NGC 6342		17 21 10.08	-19 35 14.7
NGC 6355		17 23 58.59	-26 21 12.3
IC 1257		17 27 08.5	-07 05 35
NGC 6366		17 27 44.24	-05 04 47.5
HP 1	BH 229	17 31 05.2	-29 58 54
Liller 1		17 33 24.50	-33 23 20.4
Terzan 1	HP 2	17 35 47.8	-30 28 11
NGC 6388		17 36 17.23	-44 44 07.8

Означение	α (h m s)	δ (° ' ")	Означение
NGC 6401		17 38 36.60	-23 54 34.2
Pal 6		17 43 42.2	-26 13 21
Djorg 1		17 47 28.3	-33 03 56
NGC 6440		17 48 52.70	-20 21 36.9
Terzan 6	HP 5	17 50 46.38	-31 16 31.4
UKS 1		17 54 27.2	-24 08 43
Terzan 9		18 01 38.8	-26 50 23
NGC 6517		18 01 50.52	-08 57 31.6
NGC 6522		18 03 34.02	-30 02 02.3
NGC 6528		18 04 49.64	-30 03 22.6
NGC 6540	Djorg 3	18 06 08.6	-27 45 55
NGC 6541		18 08 02.36	-43 42 53.6
ESO-SC06	ESO280-SC	18 09 06.0	-46 25 23
2MS-GC02	2MASS-GC0	18 09 36.50	-20 46 44
IC 1276	Pal 7	18 10 44.20	-07 12 27.4
NGC 6569		18 13 38.80	-31 49 36.8
GLIMPSE02		18 18 30.5	-16 58 38
NGC 6624		18 23 40.51	-30 21 39.7
NGC 6638		18 30 56.10	-25 29 50.9
NGC 6642		18 31 54.10	-23 28 30.7
NGC 6656	M 22	18 36 23.94	-23 54 17.1
NGC 6681	M 70	18 43 12.76	-32 17 31.6
NGC 6712		18 53 04.30	-08 42 22.0
NGC 6717	Pal 9	18 55 06.04	-22 42 05.3
NGC 6749		19 05 15.3	+01 54 03
NGC 6760		19 11 12.01	+01 01 49.7
Terzan 7		19 17 43.92	-34 39 27.8
Arp 2		19 28 44.11	-30 21 20.3
Terzan 8		19 41 44.41	-33 59 58.1
NGC 6838	M 71	19 53 46.49	+18 46 45.1
NGC 6934		20 34 11.37	+07 24 16.1
NGC 7006		21 01 29.38	+16 11 14.4
NGC 7089	M 2	21 33 27.02	-00 49 23.7
Pal 12		21 46 38.84	-21 15 09.4
NGC 7492		23 08 26.63	-15 36 41.4

ОСНОВНИ АСТРОФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗВЕЗДИТЕ

Спектр клас	Истински цвятове ($B-V$) ₀ ($U-B$) ₀				Абсолютни звезд. M _v				Ефективни темп. T _{eff} Светимости L/L _☉				Маса M/M _☉ Радиус R/R _☉			
	Клас св.	V	III	Ia	V	III	Ib	Ia	V	III	I	V	III	I		
O5		-0.33	-0.32	-0.31	-5.7	-6.3		-6.8	44500	42500	40300	60		70		
		-1.19	-1.17	-1.17					790000	990000	1100000	12		30		
		-0.30	-0.29	-0.23					30000	29000	26000	17.5	20	25		
B0		-1.08	-1.08	-1.05	-4.0	-5.1	-6.1	-6.9	52000	110000	260000	7.4	15	30		
		-0.17	-0.17	-0.08					15400	15000	13600	5.9	7	20		
B5		-0.58	-0.58	-0.76	-1.2	-2.2	-5.4	-7.0	830	1800	52000	3.9	8	50		
		-0.02	-0.03	0.02					9520	10100	9700	2.9	4	16		
A0		-0.02	-0.07	-0.44	0.6	0.0	-5.2	-7.1	54	106	35000	2.4	5	60		
		0.15	0.15	0.09					8200	8100	8510	2.0		13		
A5		0.10	0.11	-0.10	2.0	0.7	-5.1	-7.4	14	43	35000	1.7		60		
		0.30	0.30	0.17					7200	7150	7700	1.6		12		
F0		0.03	0.08	0.15	2.7	1.5	-5.1	-8.0	6.5	20	32000	1.5		80		
		0.44	0.43	0.31					6440	6470	6900	1.4		10		
F5		-0.02	0.09	0.27	3.5	1.6	-5.1	-8.0	3.2	17	32000	1.3		100		
		0.58	0.60	0.75					6030	5850	5550	1.05	10	10		
G0		0.06	0.21	0.52	4.4	1.0	-5.0	-8.0	1.5	34	30000	1.1	6	120		
		0.68	0.86	1.03					5770	5150	4850	0.92	1.1	12		
G5		0.20	0.56	0.82	5.1	0.9	-4.6	-7.9	0.79	43	29000	0.92	10	150		
		0.81	1.00	1.25					5250	4750	4420	0.79	1.1	13		
K0		0.45	0.84	1.18	5.9	0.7	-4.3	-7.7	0.42	60	29000	0.85	15	200		
		1.15	1.50	1.60					4350	4000	3850	0.67	1.5	13		
K5		1.08	1.81	1.80	7.4	-0.2	-4.4	-7.5	0.15	220	38000	0.72	25	400		
		1.40	1.56	1.67					3850	3800	3650	0.51	1.2	13		
M0		1.22	1.87	1.90	8.8	-0.4	-4.5	-7.0	0.077	330	41000	0.60	40	500		
		1.64	1.63						3240	3330	2800	0.21		24		
M5		1.24	1.58	1.60	12.3	-0.5	-4.8	-6.8	0.011	930	300000	0.27				