МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XXIV НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Общински кръг на олимпиадата по астрономия
2020 – 2021 учебна година
Възрастова група XI-XII клас – решения

1 задача. Астероидът Бену. Потърсете информация за физическите характеристики на астероида 101955 Bennu (https://en.wikipedia.org/wiki/101955_Bennu)

- А) Пресметнете на каква височина над повърхността на астероида се намира орбитата, на която един негов спътник би „висял“ неподвижно над точка от екватора, т.е. би бил аналог на геостационарните спътници на Земята. Приемете, че астероидът има идеално кръгла форма.
- Б) Какъв период на околоосно въртене трябва да има Бену, за да бъде радиусът на стационарната орбита равен на радиуса на астероида, т.е. височината на стационарната орбитата да е нула? Ако както много други малки астероиди, Бену представлява механичен сбор от скални отломки, то каква съдба би го очаквала в такъв случай?

Решение:

Екваториалният радиус на астероида Бену е R = 282.4 метра, а неговата маса е $M = 7.329 \times 10^{10}$ кг. Периодът му на околоосно въртене е T = 4.296 часа. Спътникът трябва да обикаля около астероида със същия период в неговата екваториална равнина, за да бъде подобен на геостационарните спътници на Земята. Това е причината, поради която тук ние разглеждаме именно неговия екваториален радиус, за да опридилим височината на орбитата над повърхността на астреоида. Ако r е радиусът на орбитата на спътника около центъра на астероида, то неговата скорост трябва да бъде:

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

Оттук получаваме:

$$r = \sqrt[3]{\frac{\gamma M T^2}{4\pi^2}}$$

където γ е гравитационната константа.

$$r \approx 309.4 \text{ м}$$

Височината на орбитата на спътника над повърхността на астероида ще бъде:

$$h = r - R = 27 \text{ м}$$

Да означим с T_1 периода, с който трябва да се върти астероидът около оста си, така че стационарен спътник около него да има радиус на орбитата равен на радиуса на астероида. Тогава:

$$R = \sqrt[3]{\frac{\gamma M {T_1}^2}{4\pi^2}}$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{\gamma M}} \approx 10898 \text{ s} \approx 3 \text{ часа}$$

При такъв период на въртене обаче, за частиците на повърхността на астероида силата на гравитационно привличане ще е равна на инерчната центробежна сила, възникваща поради въртенето. Те няма да са устойчиво свързани с астероида и ще се разпръскват в космическото пространство.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За намиране на информация за параметрите на астероида – 1 т.

За правилен начин на пресмятане на радиуса на стационалната орбита около астероида – 3 т.

За правилен числен отговор за височината на орбитата над повърхността на астероида – 1 т.

За правилан начин на пресмятане на периода на въртене, при който стационарната орбита би имала радиуса на астероида – 2 т.

За верен числен отговор – 1 т.

За разсъждение и заключение относно съдбата на астероида при въртене с такъв период – 2 т.

2 задача. Свръхнова като второ Слънце. Масивните звезди в края на своя живот избухват като свръхнови. Взривът на свръхнова е грандиозно явление, което ако се случи достатъчно близо до Слънчевата система, може да представлява сериозна заплаха за земния живот. Особено опасни са свръхновите от тип Ia, тъй като взривовете им са най-мощни. Тяхната типична абсолютна звездна величина е $-19^m.3$. Видимата звездна величина на Слънцето е $-26^m.74$.

- На какво разстояние от нас трябва да избухне свръхнова от тип Ia, така че да бъде ярка колкото Слънцето в нашето небе?

Решение:

Абсолютната звездна величина на звездата $M = -19^m.3$ по определение е равна на нейната видима звездна величина, в случай че звездата се намира на разстояние от нас $r_{abs} = 10$ парсека. Нека r_0 да бъде разстоянието, на което свръхновата звезда би имала видима звездна величина $M_0 = -26^m.74$, равна на видимата звездна величина на Слънцето. Осветеностите, които свръхновата звезда създава за земния наблюдател на разстояние r_{abs} и на разстояние r_0, ще означим съответно с E_{abs} и E_0. За тях можем да напишем:

$$\frac{E_0}{E_{abs}} = \frac{{r_{abs}}^2}{{r_0}^2}$$

От друга страна, съгласно формулата на Погсън:

$$\frac{E_0}{E_{abs}} = 2.512^{M_{abs}-M_0}$$

От тези две съотношения получаваме:

$$r_0 = \frac{r_{abs}}{\sqrt{2.512^{M_{abs}-M_0}}}$$

$$r_0 \approx 0.325 \text{ парсека} \approx 1 \text{ светлинна година}$$

Ако на разстояние около една светлинна година от нас избухне свръхнова звезда от тип Ia, тя ще свети толкова ярко, колкото нашето Слънце. Това е впечатляващ резултат, който ни говори за внушителната мощност на тези космически експлозии.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За познаване на определението на абсолютната звездна величина – 1 т.

За използване на закона за обратните квадрати при свързването на осветеностите с разстоянията – 4 т.

За използване на Формулата на Погсън и правилен начин на получаване на разстоянието – 4 т.

За верен числен резултат – 1 т.

3 задача. Движение по орбита в Галактиката. Центърът на нашата Галактика се намира в съзвездието Стрелец. Приблизително там е и началото на Галактичната координатна система. Галактичната дължина нараства в посока обратна на часовниковата стрелка, гледано от северния галактичен полюс.

В почти противоположна посока на посоката от нас към центъра на Галактиката се намира разсеяният звезден куп NGC 1893. Той има галактична дължина l = 173.6° и галактична ширина b ≈ 0°. Разстоянието от нас до купа е 3250 pc. Слънчевата система се намира на разстояние 8000 pc от центъра на Галактиката.

- А) Нарисувайте схематично нашата Галактика, гледана от нейния северен галактичен полюс, и означете на схемата положенията на Слънчевата система и на звездния куп NGC 1893. Потърсете необходимата информация и със стрелка означете посоката на въртене на звездите в диска на Галактиката.

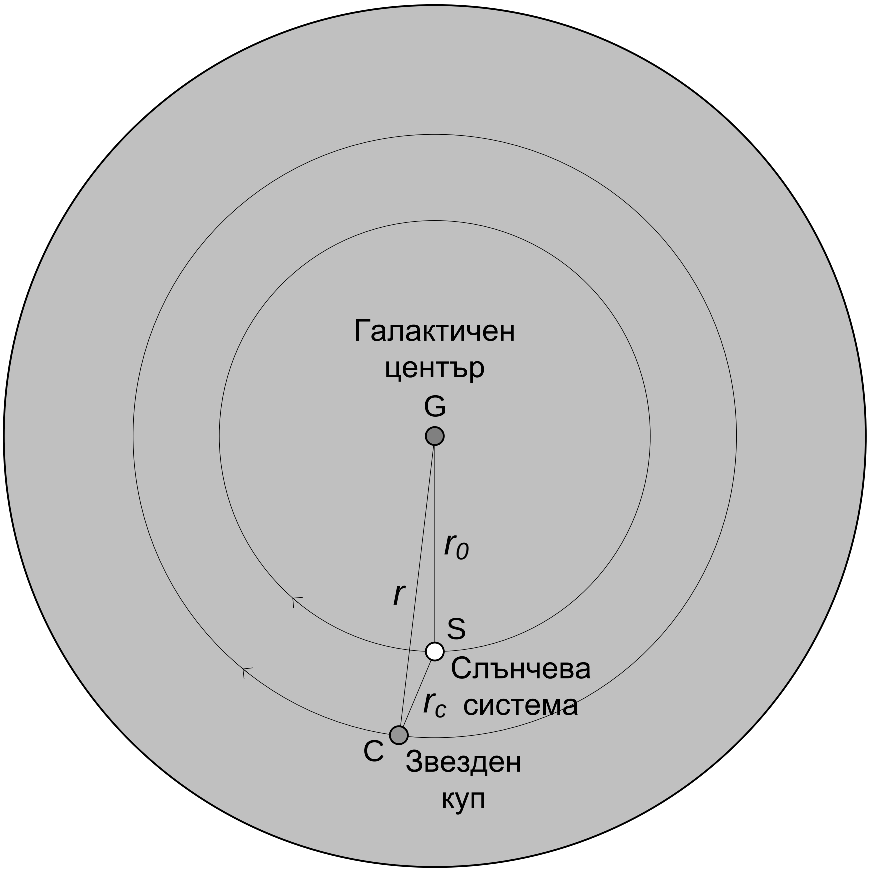
Скоростта на въртене на една звезда в дадена галактика зависи от нейното разстояние до центъра на галактиката и от масата, съдържаща се в мислена сфера около галактичния център с радиус равен на това разстояние. Ще разглеждаме случай на кръгово движение на звездите. С отдалечаване от галактичния център масата, съдържаща се в тази мислена сфера, първоначално нараства много бързо и затова скоростта на въртене на звездите също расте много бързо. В един момент голяма част от звездите и облаците от прах и газ са вече вътре в сферата и допълнителната маса, която се добавя при още по-голямо отдалечаване от центъра, би трябвало да е много малка. Може да се очаква скоростта на кръгово движение на звездите да намалява с отдалечаване от галактичния център. Това, обаче, не се случва. Скоростите на звездите се запазват приблизително постоянни, с известни колебания. Причината е неизвестна. Затова е въведена нова същност, наречена „тъмна материя“, която не може да бъде видяна със съществуващите методи, но притежава маса. С присъствието на „тъмната материя“ се обяснява както бързото движение на по-външните звезди в галактиките, така и бързото движение на галактиките в куповете от галактики.

Примерно скоростта, с която се движат звездите около центъра на нашата Галактика, като функция на разстоянието до него, е представена с диаграма на Фиг. 1. (Виж приложението).

- Б) Като имате предвид написаното по-горе и като използвате графичната зависимост на Фиг. 1., определете приблизително скоростта на Слънчевата система и скоростта на звездния куп NGC 1893 около центъра на Галактиката в km/s.
- В) Опишете качествено как ще се променя с времето разстоянието между тези два обекта. Кога ще са най-близките моменти от време, в които обектите ще са на най-малко и най-голямо разстояние един от друг? Приемете, че разстоянието на звездния куп до центъра на Галактиката е приблизително равно на сумата от разстоянията от купа до Слънчевата система и от Слънчевата система до центъра на Галактиката.

Решение:

Отначало правим схемата на нашата Галактика с разположението на Слънчевата система и звездния куп. Ъгълът GSC трябва да е равен на галактичната дължина на звездния куп. За да определим посоката на въртене на звездите около центъра на Галактиката, трябва да знаем накъде се движи нашата собствена Слънчева система. Може да намерим информация за това и се оказва, че относно центъра на Галактиката Слънцето се движи приблизително в посока, определена от направлението към съзвездието Лебед. Центърът на Галактиката, както е известно, се намира в съзвездието Стрелец. Като използваме звездна карта виждаме, че съзвездието Лебед отстои на около една четвърт от кръга на Млечния път от съзвездието Стрелец в посока на нарастване на галактичната дължина, или условно казано, на изток. Това означава, че ако гледаме от северния галактичен полюс, движението на Слънцето се извършва в посока на часовниковата стрелка. Тази посока отбелязваме на нашата схема.



Нашата Галактика

Чрез измервания по графиката за линейната скорост на движение на обектите около галактичния център определяме нейния мащаб по двете оси. Слънцето е на разстояние r_0 = 8000 парсека от центъра на Галактиката, а звездният куп NGC 1893 – на разстояние r = 8000 + 3250 = 11250 парсека. Като имаме предвид това, по графиката определяме, че линейните скорости на Слънцето и на звездния куп са приблизително еднакви и равни на 224 км/с. Изразяваме тази скорост в части от скоростта на светлината:

$$v = \frac{224\ \text{км/с}}{300000\ \text{км/с}} \cdot c \approx 0.000747\text{c}$$

Ако считаме, че Слънцето се движи по кръгова орбита около галактичния център, то дължината на неговата орбита е:

$$L_0 = 2\pi r_0 \approx 50265\ \text{парсека} \approx 163865\ \text{светлинни години}$$

Слънцето прави една обиколка по нея за време:

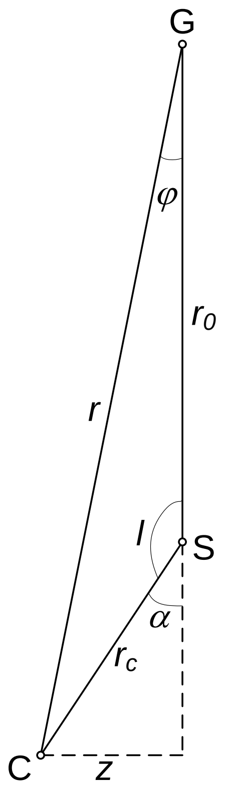
$$T_0 = \frac{L_0}{v} = \frac{163865}{0.000747} \approx 220 \times 10^6\ \text{години}$$

Тъй като линейните скорости на Слънцето и на звездния куп са приблизително равни, то ъгловите им скорости са обратно пропорционални на радиусите на техните орбити и за разликата между тези ъглови скорости можем да напишем:

$$\Delta\omega = \frac{r - r_0}{r_0} \cdot \omega_0 \approx 0.4\omega_0$$

където ω_0 е ъгловата скорост на Слънцето. Следователно периодът, през който Слънцето и звездният куп се оказват на една права линия с центъра на Галактиката от една и съща страна на този център, ще бъде:

$$T = T_0 \cdot \frac{\omega_0}{\Delta\omega} \approx 550 \times 10^6 \text{ години}$$



Слънцето и звездният куп ще бъдат на най-близко разстояние един от друг именно когато застанат на една права линия от една и съща страна на галактичния център. Както виждаме от схемата, това ще се случи само след няколко милиона години. Слънцето, което има по-висока ъглова скорост, трябва да „настигне“ звездния куп, чиито радиус-вектор GC сключва с радиус-вектора на Слънцето GS ъгъл φ. На схемата вляво отново сме отбелязали с G центъра на Галактиката, а с S и C – положенията на Слънцето и на звездния куп. За отсечката z можем да напишем:

$$z = r \sin\varphi$$

Според приближението, което можем да приемем:

$$r = r_0 + r_c$$

Също така:

$$z = r_c \sin\alpha$$

Но ние знаем еклиптичната дължина на купа l, а освен това:

$$\alpha = 180° - l$$

Оттук получаваме:

$$\sin\varphi = \frac{r_c}{r_0 + r_c} \sin(180° - l)$$

$$\varphi \approx 1.85°$$

Като използваме този ъгъл, можем да намерим времето, след което Слънцето и звездният куп ще са на минимално разстоняние:

$$t_1 = \frac{\varphi}{360°} T \approx 3 \times 10^6 \text{ години}$$

След това Слънцето ще надмине звездния куп и разстоянието между двата обекта ще започне да нараства. То ще бъде максимално, когато звездният куп и Слънцето застанат от двете противоположни страни на центъра на Галактиката. Според нашите пресмятания това ще се случи след време, равно на около половината от периода T, или след около 280 милиона години. Тъй като нашите предварителни предположения за движенията на обектите в Галактиката са доста опростени и приблизителни, можем да се ограничим с твърдението, че Слънцето и звездният куп ще бъдат максимално отдалечени след няколкостотин милиона години.

<u>Критерии за оценяване (общо 10 т.):</u>

За правилно представяне на положенията на обектите върху схема – 2 т.

За правилно означаване на посоката на въртене на звездите в Галактиката и обосновка – 2 т.

За определяне на линейната скорост на двата обекта по графиката – 2 т.
За описание на изменението на разстоянието между обектите с времето – 2 т.
За правилна преценка кога те ще са на минимално разстояние – 1 т.
За правилна преценка кога ще са на максимално разстояние – 1 т.

4 задача. Методът на Рьомер. През XVIII век датският астроном Оле Рьомер се е опитал да измери скоростта на светлината чрез наблюдения на спътниците на Юпитер. Той е определял моментите на затъмнение на Галилеевите спътници – скриването им в сянката на Юпитер. Ако се познават орбиталните периоди на спътниците, тези моменти могат да се предскажат предварително. Реално наблюдаваните моменти обаче се различават от предизчислените, защото наблюденията се правят при различни взаимни разположения на Земята и Юпитер по техните орбити и всеки път светлината има да изминава различни разстояния от Юпитер до земния наблюдател. Като се знаят разликите в тези разстояния и се определи закъснението или избързването на наблюдавания момент на затъмнение относно предсказания момент, може да се пресметне скоростта на светлината.

Определянето на моментите на затъмненията чрез наблюдения е трудно, защото те не могат да се фиксират точно. Вижда се не внезапно изчезване на спътника в сянката на планетата, а постепенно плавно намаляване на неговия блясък. Причините са две. Първо, спътникът не е точков обект, а има определен диаметър. Второ, границата на сянката на Юпитер не е рязка, защото Слънцето също не е точков обект.

- А) Намерете необходимите данни и оценете неточността при определяне на моментите на начало (или край) на затъмненията на спътника Йо от сянката на Юпитер.
- Б) Доколко тази неточност влияе върху определянето на скоростта на светлината?

Решение:

Средният радиус на спътника Йо е $R = 1822$ км, радиусът на неговата орбита около Юпитер е $r = 421700$ км, а орбиталният му период е $T = 1.769$ дни. Оттук можем да намерим скоростта му на движение:

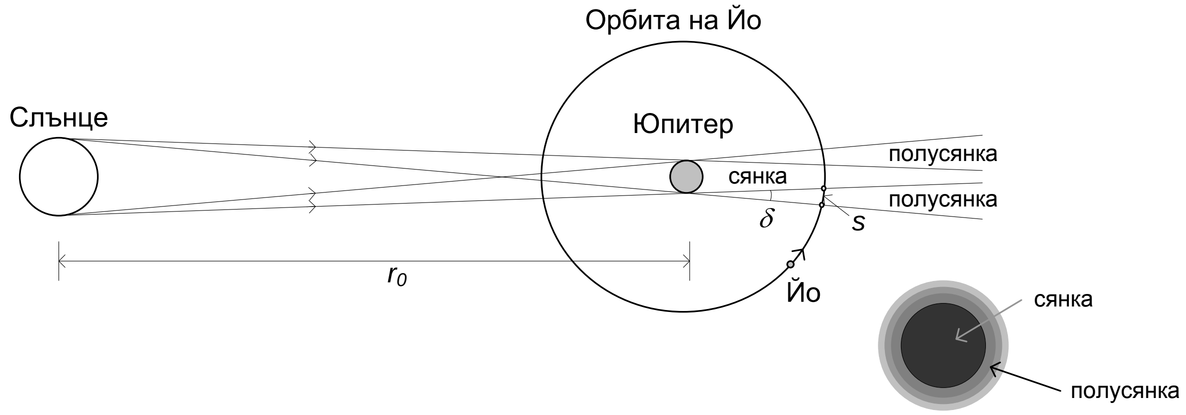
$$v = \frac{2\pi r}{T} \approx 17.33 \text{ км/с}$$

Можем да вземем стойността на тази скорост и направо от някакъв източник на информация за Йо. Времето, за което спътникът изминава разстояние, равно на собствения си диаметър, ще бъде:

$$t_1 = \frac{2R}{v} \approx 210 \text{ с} = 3.5 \text{ минути}$$

Това време е показателно за неточността на определяне на момента на влизане на Йо в сянката на Юпитер, произтичаща от факта, че спътникът не е точков обект, а има определени размери и постепенно се скрива в тази сянка.

На схемата по-долу е показано как се получава сянката и полусянката на Юпитер, който е осветяван от Слънцето. При определяне на момента на влизане на Йо в сянката възниква неточност, свързана с преминаването на спътника през полусянката на Юпитер, поради която границата на истинската сянка не е рязка, а размита. Тази неточност се характеризира с времето t_2, за което Йо пресича полусянката по дъгата s. Дължината на тази дъга можем да намерим, като знаем ъгъла δ, който фактически представлява видимия ъглов диаметър на Слънцето за наблюдател от Юпитер.



Разстоянието от Юпитер до Слънцето е $r_0 = 778.6 \times 10^6$ км, а диаметърът на Слънцето е $D = 1.39 \times 10^6$ км. Оттук пресмятаме ъгъла δ в радиани:

$$\delta = \frac{D}{r_0}$$

Дължината на дъгата s можем да намерим чрез следното приблизително съотношение:

$$s = r\delta = \frac{rD}{r_0} \approx 753 \text{ км}$$

Спътникът Йо ще измине тази дъга за време:

$$t_2 = \frac{s}{v} \approx 44 \text{ с}$$

Накрая намираме общото време, с което се измерва неопределеността при регистриране на момента на скриване на Йо в сянката на Юпитер:

$$t = t_1 + t_2 = 253.5 \text{ с} \approx 4.2 \text{ минути}$$

Общата неопределеност е значителна и предствлява съществен проблем при определяне на скоростта на светлината по този метод. Да си представим, че наблюдаваме две затъмнения на Йо от сянката на Юпитер в два различни момента от време, при които Земята се е намирала на две различни разстояния от Юпитер. Като използваме орбиталния период на Йо, ние сме пресметнали колко време след наблюдението на първото затъмнение трябва да се случи второто затъмнение. Така ние определяме теоретични момент на второто затъмнение. Разликата между него и наблюдавания момент ще се определя от времето, за което светлината изминава разликата между разстоянията Земя-Юпитер в първия и във втория случай. Но тази разлика не е по-голяма от диаметъра на земната орбита около Слънцето. Този диаметър се изминава от светлината за около 16 минути. Следователно разликите между предизчислените и наблюдаваните моменти на затъмнения, които ние ще измерваме, ще бъдат от порядъка на минути и следователно ще бъдат сравними с грешката при определяне на наблюдаваните моменти. Това съществено ще се отрази на точността, с която ще получим скоростта на светлината.

<u>Критерии за оценяване (общо 10 т.):</u>

За намиране на нужната информация и правилен метод на определяне на грешката поради крайните размери на спътника Йо – 3 т.

За верен числен резултат – 0.5 т.

За намиране на информацията и правилен метод за определяне на грешката поради размитите очертания на сянката на Юпитер – 3 т.

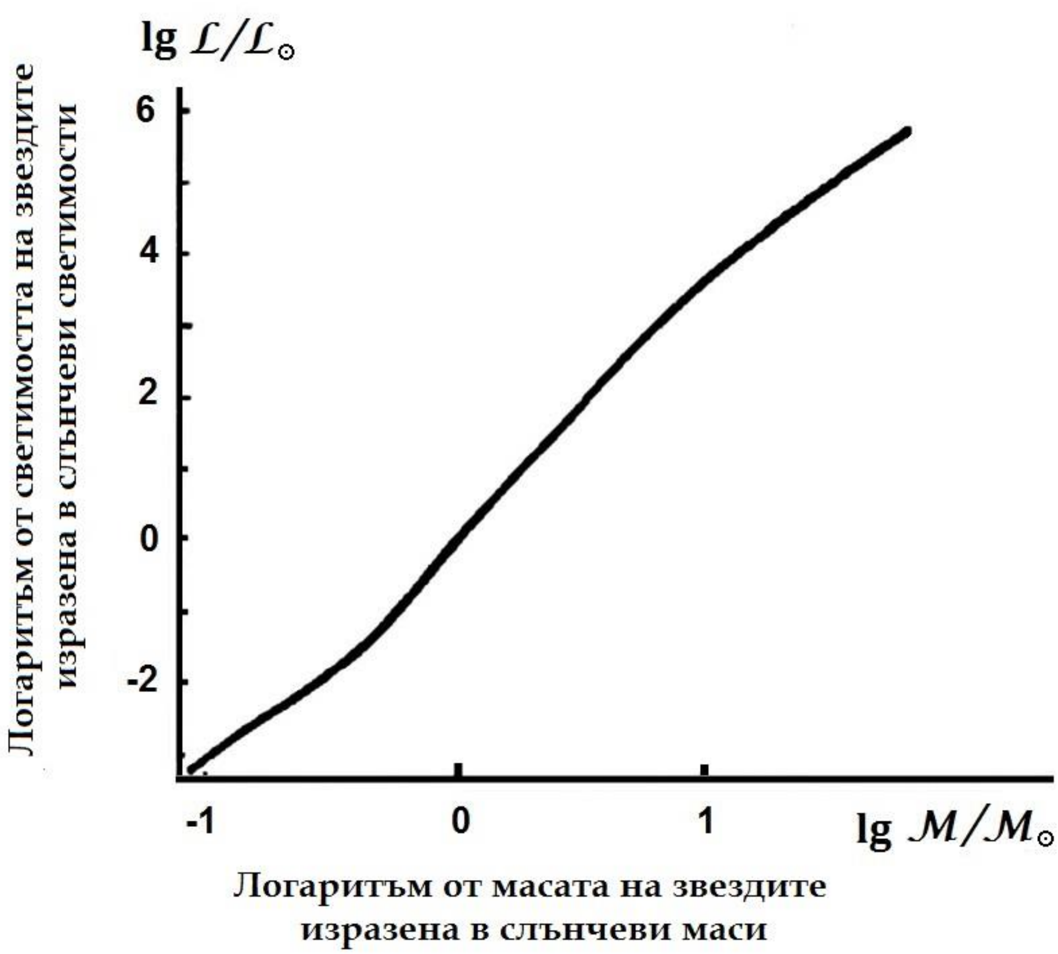
За правилен числен отговор – 0.5 т.

За обща оценка на грешката – 1 т.

За разсъждения относно отражението на тази грешка върху точността при определяне на скоростта на светлината – 2 т.

5 задача. Надежда за живот. През последните 25 години с различни земни и космически телескопи се откриват хиляди екзопланети – планети около други звезди. Специален интерес представляват планетите, които са подобни по своите параметри на Земята и се намират в така наречените обитаеми зони около своите звезди.

- А) Нека да наречем среден радиус на обитаемата зона около една звезда разстоянието, на което планетата би получавала същото количество лъчиста енергия от звездата, каквото получава Земята от Слънцето. Изведете обща формула, свързваща средния радиус на обитаемата зона r_{hz}, изразен в астрономически единици, със светимостта на звездата L_{st} и светимостта на Слънцето $L_{\odot}$.
- Б) Екзопланета обикаля по орбита с радиус, равен на средния радиус на обитаемата зона около звезда с маса 1.2 слънчеви маси. Като използвате дадената диаграма на зависимостта на светимостта на звездите от тяхната маса, определете светимостта на звездата и радиуса на орбитата на планетата в астрономически единици.



Зависимост на светимостта от масата за звезди от Главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел

Решение:

Разглеждаме планети подобни на Земята. Твърдението, че планетата получава същото количество лъчиста енергия от своята звезда, както Земята от Слънцето, е еквивалентно на твърдението, че осветеността E_{hz}, създавана от звездата на орбитата на планетата, е същата каквато Слънцето създава на орбитата на Земята (E_E). Осветеността е количеството енергия, което пада върху единица площ. за единица време. Следователно:

$$E_{hz} = \frac{L_{st}}{r_{hz}^2} = E_E = \frac{L_\odot}{r_E^2}$$

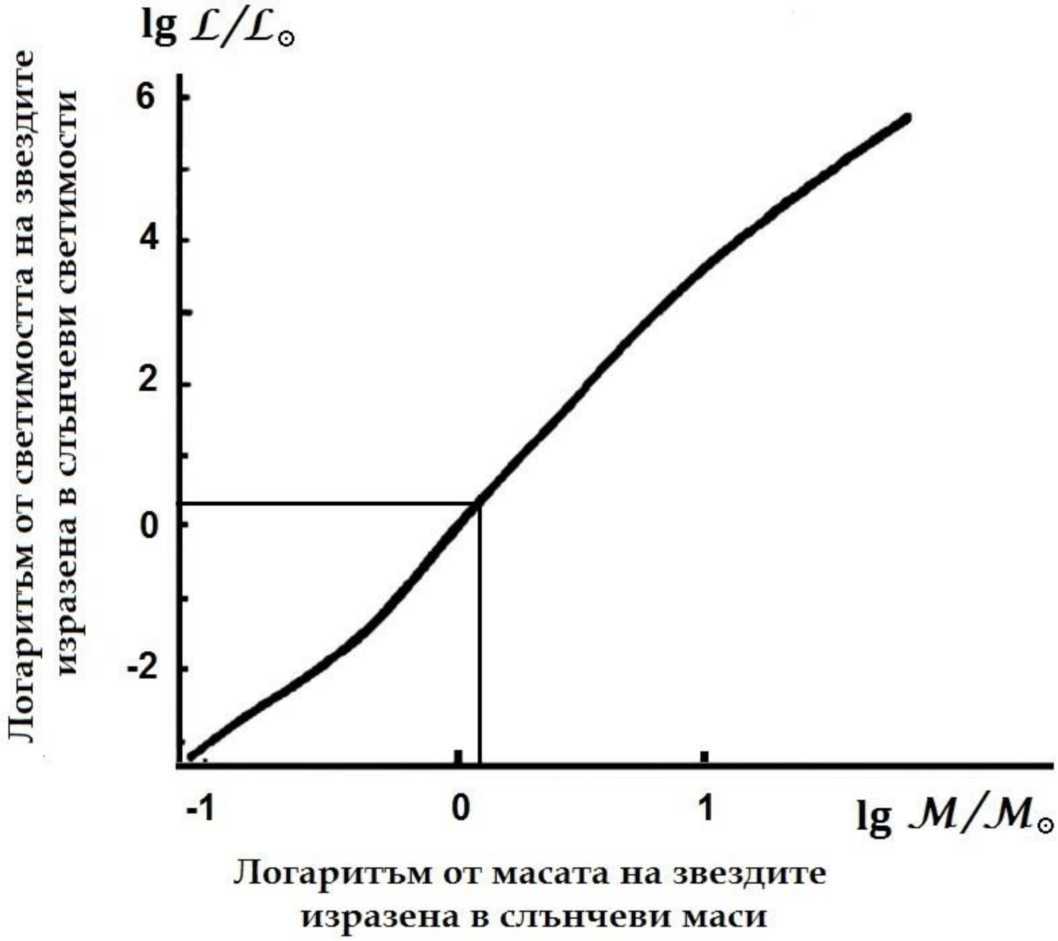
където $L_\odot$ е светимостта на Слънцето. Оттук следва, че ако r_E =1au и ние изразяваме растоянието в астрономически единици, то:

$$r_{hz} = \sqrt{\frac{L_{st}}{L_\odot}}$$

Това е и търсената формула.

Щом масата на звездата е 1.2 слънчеви маси, то $\lg(M_{st}/M_\odot) \approx 0.08$. Определяме мащаба по абцисната ос на диаграмата и от намерената стойност построяваме вертикална линия до пресичането ѝ с графиката на зависимостта. От точката на пресичане построяваме хоризонтална линия до пресичането ѝ с ординатната ос. Отчитаме стойността по нея и получаваме, че $\lg(L_{st}/L_\odot) \approx 0.28$. Антилогаритмуваме и намираме $L_{st} \approx 1.9 L_\odot$.

Пресмятаме по изведената от нас формула за радиуса на обитаемата зона и получаваме $r_{hz} \approx 1.38$ au.



Използване на зависимостта маса-светимост за определяне на светимостта на звездата.

<u>Критерии за оценяване (общо 10 т.):</u>

За правилни разсъждения и извеждане на формулата – 4 т.

За правилни разсъждения и прецизна работа с дадената графична зависимост между масата и светимостта на звездите – 5 т.

За верен числен резултат (± 0.1 au) – 1 т.

6 задача. Големият телескоп. Основният метод за откриване на извънслънчеви планети е по метода на пасажите. При него планетата преминава пред диска на звездата, намалявайки много слабо нейния блясък – от една десетохилядна до няколко хилядни от звездната величина. Освен че тези наблюдения изискват много голяма фотометрична точност, но и при много малък процент от планетните системи равнината на орбитата съвпада или е много близка до лъча на зрение, което позволява да наблюдаваме частично затъмняване на диска на звездата. Затова се възлагат големи надежди на спектралния метод за откриване и изследване на други планетни системи. При него се изследва движението на звездата около общия център на масите на звездата и планетите, които може да са една или повече. Наблюдава се със спектрограф изместването на линиите в спектъра на звездата вследствие на ефекта на Доплер.

Наблюдаваме звезда, около която по кръгова орбита с радиус 1.4 астрономически единици се движи планета, подобна на Земята. Масата на звездата е 1.2 слънчеви маси.

- Най-добрите съвременни спектрографи позволяват да се изследват лъчевите скорости с точност около 1 m/s. Може ли с тях да се открие планетата около тази звезда?
- В момента Европейската Южна Обсерватория строи 39-метров телескоп, който ще разполага със спектрограф, позволяващ да се измерват лъчевите скорости с точност 2 cm/s. Ще може ли с този инструмент да се откриват и изследват планети от земен тип около подобни звезди?

Решение:

Като използваме необходимата информация за астрономическата единица, изразена в километри и масата на Слънцето, можем да изчислим радиуса на орбитата на планетата r и масата на звездата M:

$$r = 1.4 \times 149.6 \times 10^6 = 209.44 \times 10^6 \text{ км}$$

$$M = 1.2 \times 2 \times 10^{30} = 2.4 \times 10^{30} \text{ кг}$$

В координатна система, свързана със звездата, орбиталната скорост на планетата ще бъде:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma M}{r}} \approx 27.65 \text{ км/с}$$

Планетата и звездата обаче се движат около общия си център на масите. Приемаме, че масата на планетата е равна на масата на Земята:

$$M_p = 6 \times 10^{24} \text{ кг}$$

Означаваме с x разстоянието от центъра на звездата до центъра на масите на системата звезда-планета. В сила е съотношението:

$$Mx = M_p(r - x)$$

Оттук получаваме:

$$\frac{x}{r - x} = \frac{M_p}{M}$$

Да означим с v_x и v_p скоростите на звездата и планетата относно центъра на масите на системата звезда-планета. За тях можем да напишем следните очевидни равенства:

$$\frac{v_x}{v_p} = \frac{x}{r - x} = \frac{M_p}{M}$$
$$v_x + v_p = v$$

От двете равенства намираме:

$$v_x = v \cdot \frac{M_p}{M + M_p} \approx v \cdot \frac{M_p}{M}$$

$$v_x \approx 7 \text{ см/с}$$

Скоростта на звездата около центъра на масите на системата звезда-планета се оказва само 7 сантиметра в секунда. С най-добрите съвременни спектрографи не би било възможно да се откриват и изследват планети от земен тип около такива звезди.

Точността, която се предвижда да има спектрографът на новия телескоп в Европейската южна обсерватория, е 2 см/с. Тази стойност е по-малка, но сравнима със скоростта на въпросната звезда. Следователно с новия телескоп може би ще могат да се откриват такива планети, но ще бъде трудно да се изследват техните параметри.

<u>Критерии за оценяване (общо 10 т.):</u>

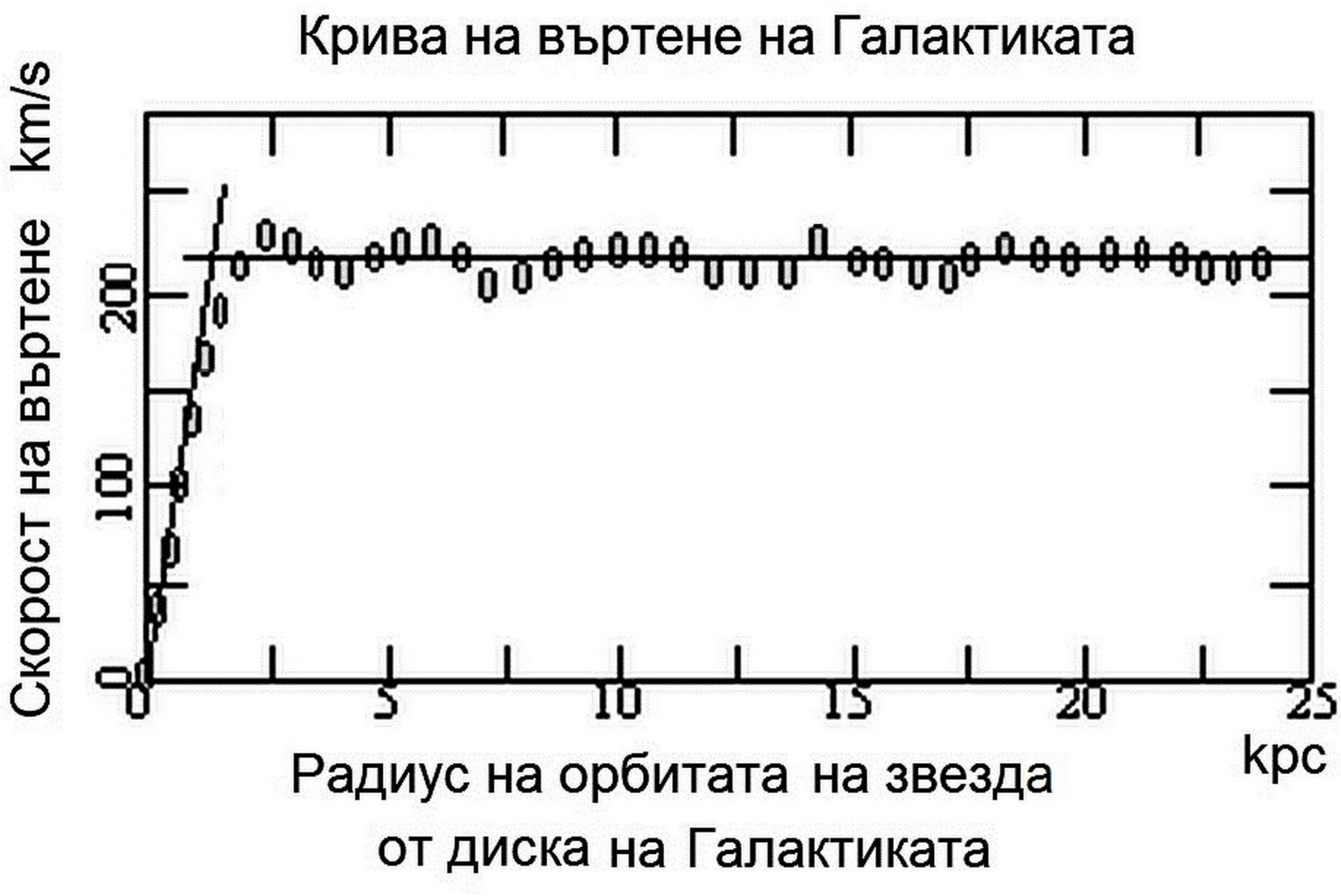
За намиране на необходимата числена информация – 1 т.

За правилен математически подход при определяне на скоростта на звездата около центъра на масите – 5 т.

За верен краен резултат – 1 т.

За заключение относно възможността да се откриват планети със сега съществуващите спектроскопи – 1 т.

За краен извод относно възможността да се откриват и изследват подобни планети с новия телескоп – 2 т.



Фиг.1. Линейна скорост на движение на обектите от диска на Галактиката около нейния център. Към Задача 1.