

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

XX НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Национален кръг на олимпиадата по астрономия

Теоретичен тур – 6 май 2017 г. – решения

Възрастова група XI-XII клас

1 задача. Слънчева батерия. Космическият телескоп Fermi Gamma-ray Telescope е предназначен за наблюдение в гама-лъчи. Той изследва галактични ядра, пулсари, високоенергетични източници на лъчение и други интересни обекти. Телескопът се движи по кръгова орбита около Земята. Захранва се от слънчева батерия. Разполагате с графика, показваща зареждането на батерията. Възходящите участъци от графиката съответстват на интервалите от време, когато батерията се зарежда от слънчевата светлина. Низходящите участъци се получават по времето, когато телескопът се намира в сянката на Земята и енергията на батерията се изразходва за неговата работа. Участъците от графиката, означени с а-б, съответстват на интервалите, когато батерията вече е напълно заредена, но телескопът все още се намира в огряваната от Слънцето част от орбитата си. Те са свързани с определени технически особености на батерията.

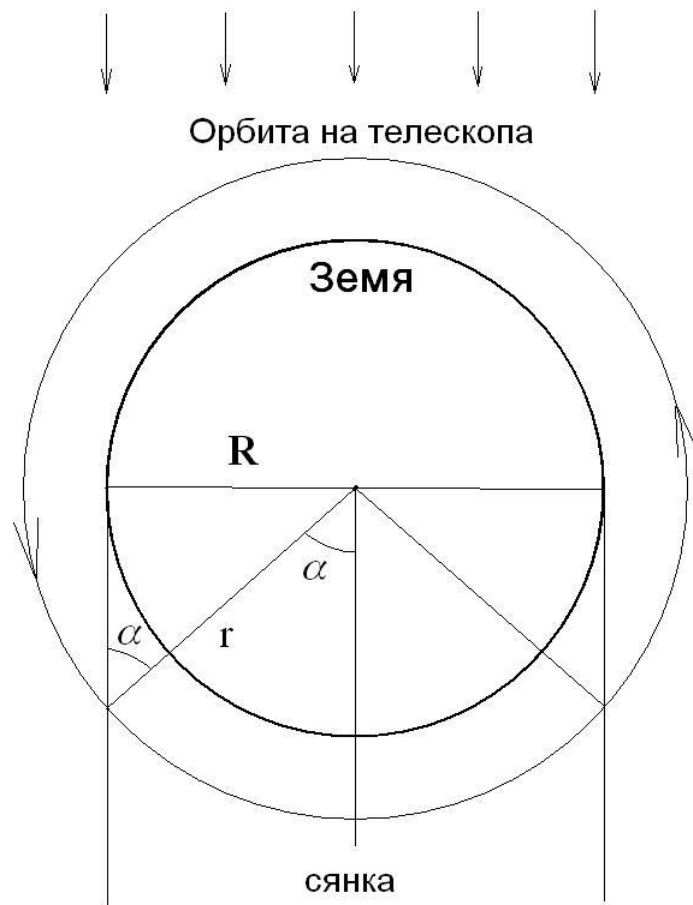
- А) Тук отново се е намесил начинаещият участник в олимпиадата, който е пропуснал да обозначи мерните единици по оста на времето. Въпреки това, направете необходимите измервания и определете орбиталния период на станцията.

- Б) Налага ли се при разсъжденията, свързани с определянето на орбиталния период на телескопа, да се отчита движението на Земята около Слънцето? Обяснете защо.

- В) На графиката е отразено и преминаването на телескопа през лунната сянка по време на слънчево затъмнение. Едно слънчево затъмнение, наблюдавано на Земята, заедно с пълната фаза и частичните фази, продължава няколко часа. За орбиталния телескоп обаче, тази продължителност се оказва твърде различна. Обяснете този факт.

Решение:

За да определим периода на обикаляне на телескопа около Земята, трябва да намерим радиуса на неговата орбита. Може да направим това, като измерим каква част от орбитата на телескопа се разполага в сянката на Земята. На диаграмата показваща чрез напрежението в батерията режима на нейното зареждане и разреждане, измерваме много внимателно продължителността на интервала в който батерията се зарежда, и в който се разрежда. Сумата от двата интервала дава пълния синодичен период на спътника, а отношението на интервала, в който батерията се разрежда, към пълния период, дава каква част от орбитата е в сянката на Земята. Понеже ни трябва отношението на двата интервала от време, ние може да формираме това отношение директно от нашите измервания по диаграмата в милиметри. За пълния заряден цикъл измерванията дават стойност $l = 64.5 \text{ mm}$, а за времето на разреждане на батерията получаваме $l_1 = 24 \text{ mm}$. Построяваме диаграма, която показва взаимното положение на Земята, слънчевите лъчи, зоната на сянката и орбитата на телескопа.



Очевидно,

$$2\alpha = 360^\circ \cdot \frac{l_1}{l} = 360^\circ \cdot \frac{24}{64.5} = 133^\circ.95$$

Следователно,

$$\alpha = 66^\circ.976$$

Тогава за радиуса на орбитата получаваме:

$$r = \frac{R}{\sin \alpha} = 6922,4 \text{ km}$$

От третия закон на Кеплер може да определим периода на обикаляне на спътника около Земята:

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{\gamma \cdot M}} = 5717^s \approx 1^h.588 = 1^h35^m17^s$$

Това, че периодите са синодични, няма значение, защото всички граници между огряваната и неогряваната пространствена зона се въртят с постоянна ъглова скорост и отношенията между интервалите време се запазват, независимо от големината на ъгловата скорост. Ако разгледаме ситуацията в системата, свързана с линията Земя-Слънце, то ще видим, че всички пространствени зони, ъгли и отношения са съвсем същите, каквито биха били в невъртяща се инерциална координатна система, в която всички периоди са сидерични.

Измерваме продължителността на пресичането на зоната на слънчевото затъмнение. Оказва се $\Delta l = 7\text{mm}$. За продължителността в минути получаваме:

$$\Delta t \approx \frac{\Delta l}{l} \cdot T \approx \frac{7}{64.5} \cdot 5717^s \approx 620^s \approx 10^m$$

Приближението тук е че използваме сидеричния период на спътника, но разликата със синодичния период е много малка и приближението е допустимо.

Причината за краткото време е, че космическият апарат се движи по орбитата си с много голяма скорост, около 7.6 km/s . Лунната сянка се движи с около 1 km/s . Виждаме, че преминаването през сянката е приблизително в средата на светлия интервал от време. Следователно космическият телескоп и Луната се движат почти успоредно и може да извадим двете скорости за да получим приблизителната относителна скорост.

$$v_{rel} \approx v_{tel} - v_L \approx 7.6 - 1.0 \approx 6.6\text{ km/s}$$

Голямата скорост, както и това, че най-вероятно телескопът не е преминал през оста на конуса на Лунната сянка, са допринесли за малката продължителност на това явление.

Критерии за оценяване (общо 15 т.):

За правилен метод за определение на периода на кораба – 3 т.

За измервания и изчисления – 4 т.

За верен краен резултат – 1 т.

За съображения дали трябва да се отчита движението на Земята около Слънцето – 3 т.

За разсъждения относно продължителността на затъмнението – 3 т.

За правилен извод – 1 т.

2 задача. Мисия Марс. Вие работите в Европейската космическа агенция и планирате изпращането на товарен кораб до Марс, който да достави материали и оборудване за бъдещата пилотирана мисия до Червената планета. Товарът трябва да стигне до Марс по най-икономичния възможен начин.

Считайте, че земната орбита е кръгова. Вашите разглеждания започват, когато корабът се движи по инерция по земната орбита и се намира в точка,

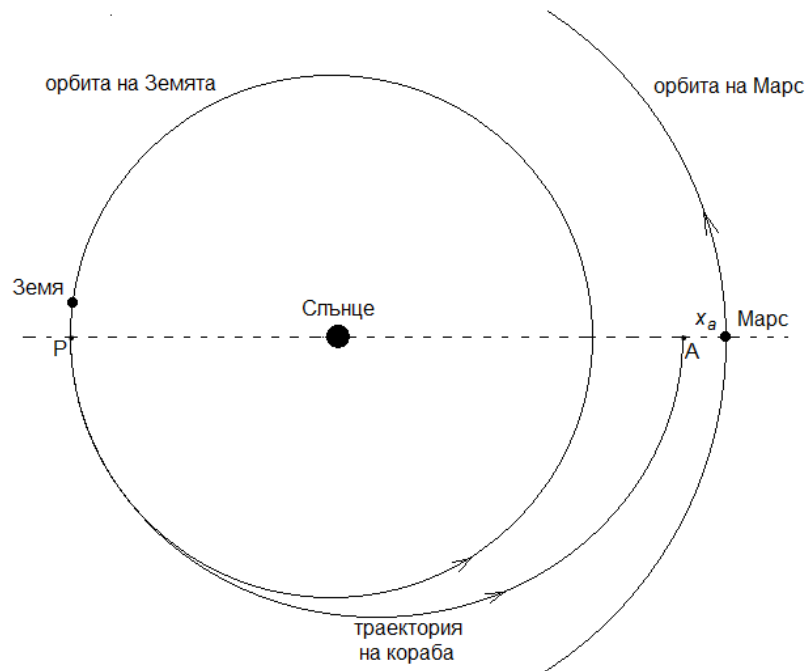
достатъчно отдалечена от Земята, така че да се пренебрегне нейното гравитационно въздействие. Тогава ракетните двигатели придават на кораба кратък импулс и се изключват. В резултат корабът тръгва по елиптична траектория към Марс. Целта е накрая с още един кратък ракетен импулс корабът да влезе в елиптична орбита около Марс. Разстоянието на кораба от Марс в апоарий трябва да е равно на x_a , а разстоянието в периарий да е равно на x_b .

- А) Намерете общо теоретично решение за величините и посоките на измененията на скоростта, които космическият кораб трябва да получи чрез задействането на ракетните си двигатели в началото и в края на своя път към Марс. Кое е по-лесно да стане – корабът да тръгне по орбитата си около Марс в посока на околоосното въртене на планетата, или в обратната посока?

- Б) Определете в какъв случай осъществяването на този космически полет ще бъде енергетически по-изгодно – когато при достигането на кораба близо до марсианската орбита Марс е в перихелия на своята орбита, или когато е в афелия. Параметрите на орбитата на кораба около Марс са $x_a = 50000$ км, $x_p = 3690$ км.

Решение:

Първо разглеждаме пътуването на кораба от Земята към Марс. Отначало той се движи по земната орбита с изключени двигатели. Трябва да му придадем кратък ракетен импулс, така че да се отправи в елиптична орбита около Слънцето, достигаща в афелий до орбитата, или почти до орбитата на Марс. Колкото по-далеч искаме да изпратим кораба, толкова повече гориво трябва да изразходваме при този първоначален импулс. Крайната цел е корабът да влезе в орбита около Марс със зададени параметри. За да спестим средства, трябва да планираме елиптичната траектория на кораба към Марс така, че в своя афелий той да достигне до точка, която ще представлява апоария на орбитата му около Марс.



Да означим с r_o и r_m разстоянията от Земята до Слънцето и от Марс до Слънцето. Голямата полуос на орбитата на кораба около Слънцето ще бъде:

$$a = \frac{r_o + r_m - x_a}{2}$$

За ексцентрицитета на орбитата намираме:

$$e_o = \frac{a - r_o}{a}$$

В перихелия на орбитата на кораба към Марс, неговата скорост трябва да бъде:

$$v_p = v_o \sqrt{\frac{1 + e_o}{1 - e_o}}$$

където $v_o = \sqrt{\frac{\gamma M}{a}}$, M – маса на Слънцето

Първоначалната скорост на кораба е била равна на земната орбитална скорост:

$$v_{oo} = \sqrt{\frac{\gamma M}{r_o}}$$

Сега остава да намерим с колко трябва да се увеличи скоростта на кораба в резултат на първия ракетен импулс:

$$\Delta v_1 = v_p - v_{oo}$$

Скоростта на кораба в неговия афелий е:

$$v_a = v_o \sqrt{\frac{1 - e_o}{1 + e_o}}$$

Ако приемем, че Марс се движи по кръгова орбита около Слънцето, то неговата скорост ще бъде:

$$v_m = \sqrt{\frac{\gamma M}{r_m}}$$

Скоростта на космическия кораб в афелий ще бъде по-малка от орбиталната скорост на Марс. В координатна система, свързана с Марс, скоростта на кораба ще бъде:

$$v' = v_m - v_a$$

Тя ще бъде насочена обратно на движението на Марс. В този момент отново се задействат ракетните двигатели и коригират скоростта така, че корабът да влезе в зададената елиптична орбита около Марс. Понеже космическият кораб се намира от вътрешната страна на марсианската орбита и има първоначална скорост в посока обратна на орбиталното движение на Марс, ще бъде по-лесно да накараме кораба да се движи по новата си орбита около Марс в посока на околоосното въртене на планетата, а не обратно.

Възможни са два случая – скоростта v' да се окаже по-малка от скоростта в афелий на новата му орбита около Марс., или пък да е по-голяма. В първия случай ракетният импулс трябва да ускори кораба, а във втория – да го забави. Всичко зависи от това какви ще са параметрите на околomarсианската орбита на кораба.

Голямата полуос тази орбита е:

$$a_m = \frac{x_a + x_p}{2}$$

Тя има ексцентрицитет:

$$e_m = \frac{x_a - x_p}{x_a + x_p}$$

Скоростта на кораба около Марс в апоария ще бъде:

$$v_{am} = v_{om} \sqrt{\frac{1 - e_m}{1 + e_m}}$$

където $v_{om} = \sqrt{\frac{\gamma M_m}{a_m}}$, M_m е масата на Марс.

Вторият ракетен импулс трябва да промени скоростта на кораба с величината:

$$\Delta v_2 = v_{am} - v'$$

Сега остава да направим числените пресмятания за дадените по услови параметри на орбитата на кораба около Марс. Получаваме следните резултати за корекциите на скоростта в случаите, когато при достигане на кораба до марсианската орбита Марс е в афелий или перихелий:

	Δv_1	Δv_2	$\Delta v_1 + \Delta v_2$
Марс в афелий	3.53 км/с	1.71 км/с	5.24 км/с
Марс в перихелий	2.29 км/с	2.91 км/с	5.20 км/с

При дадената ситуация е малко по-добре да изберем момента на изпращане на кораба към Марс така, че той да достигне до Червената планета, когато тя е в перихелий. Но разликата между двете сумарни корекции на скоростта е незначителна.

Критерии за оценяване (общо 15 т.):

За общо съображение как трябва да изглежда траекторията на кораба към Марс – 1 т.

За пресмятане на параметрите на траекторията на кораба до Марс – 5 т.

За пресмятане на първата корекция на скоростта – 1 т.

За пресмятане на втората корекция на скоростта – 5 т.

За числени пресмятания – 2 т.

За краен извод – 1 т.

3 задача. Ефект на Доплер. Ефектът на Доплер е един от основните физически “инструменти” за изследване на космически обекти.

- А) По какъв начин този ефект влияе върху спектъра на звездите? Опишете качествено и количествено (в разумно приближение), какви промени настъпват в положението и вида на спектралните линии вследствие на различните движения, в които участват звездите, и на различните условия и процеси в атмосферите на звездите.

• Б) Приложете разсъжденията и формулите, които ще изведете, към обектите в таблицата, като пресметнете с колко ще се преместят от табличното си положение и с колко ще се разширят линиите в спектрите им, вследствие на посочените от вас причини. Пресмятанятия направете за линията на водорода H_{α} , $\lambda_{H\alpha} = 6562.8\text{\AA}$, и за линията на хелия HeI , $\lambda_{HeI} = 4387.9\text{\AA}$.

Звезда	Sp	Температура [K]	Лъчева скорост [km/s]	Период на завъртане в областта на екватора	Маса [kg]	Екваториален Радиус
Регул	B7V	12460	+6	15 ^h .9	-	4.15 $R_{\odot}$
Слънце	G2V	5770	?	25 ^d .05	1 $M_{\odot}$	1 $R_{\odot}$

Решение: Ефектът на Доплер се наблюдава, когато източникът на електромагнитното излъчване се движи относно отправната система, свързана с наблюдателя така, че радиалната компонента на преместването му да е различна от нула. (Това е вярно за източници, които се движат със скорост съществено по-малка от скоростта на светлината. Когато скоростта е сравнима със скоростта на светлината, се проявява т.нар. напречен ефект на Доплер.) Тогава дължината на вълната, която приемникът регистрира, се оказва различна от дължината на вълната на излъчената светлина. (Ние ще коментираме ефекта на Доплер във видимата област на спектъра, в която работят повечето телескопи.)

Когато скоростта на източника е съществено по-малка от скоростта на светлината, формулата на Доплер приема вида:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (1)$$

Тук λ е наблюдаваната дължина на вълната, λ_0 е дължината на вълната на излъчената светлина, v е радиалната компонента на скоростта на източника относно приемника и c е скоростта на светлината.

Когато скоростта на източника е сравнима със скоростта на светлината, формулата се записва в следния вид:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\sqrt{1+v/c}}{\sqrt{1-v/c}} - 1$$

Ако звездата се приближава към нас, дължината на вълната намалява. Тогава λ е по-малко от λ_0 и следователно $\Delta\lambda$ е отрицателно. Ако наблюдаваме спектрална линия, то тя се премества към синята част на спектъра. Когато звездата се отдалечава, дължината на вълната нараства и линията се премества към червения край на спектъра. Тогава говорим за “червено преместване”. Големината на преместването е свързана със скоростта на движение на звездата по-направление на

зрителния лъч посредством формулата на Доплер. По този начин може да се пресметне с голяма точност радиалната компонента на скоростта на обектите относно наблюдателя. От формулата виждаме, че освен от големината на радиалната скорост, преместването на спектралната линия зависи и от дължината на вълната λ_0 . Една и съща скорост довежда до различно преместване на спектралните линии в различни части на спектъра.

Изследването на преместването на спектралните линии се прави при изследване на въртенето на Слънцето и планетите от Слънчевата система, движението на отделни обеми газ и плазма в атмосферата на Слънцето, хаотичните движения на звездите в околността на Слънцето, насоченото движение на звездите в Галактиката, движението на двойните звезди около общия център на масите, бързото движение на звезди изхвърлени с голяма скорост от кратни или двойни системи, движението на облаци газ в Галактиката, движението на галактиките от местната група галактики, въртенето на галактиките, движението на галактиките при космологическото разширение на Вселената или в куповете от галактики под влияние на т.нар. "тъмна материя". Тези наблюдения помагат да се определят някои важни характеристики на наблюдаваните обекти.

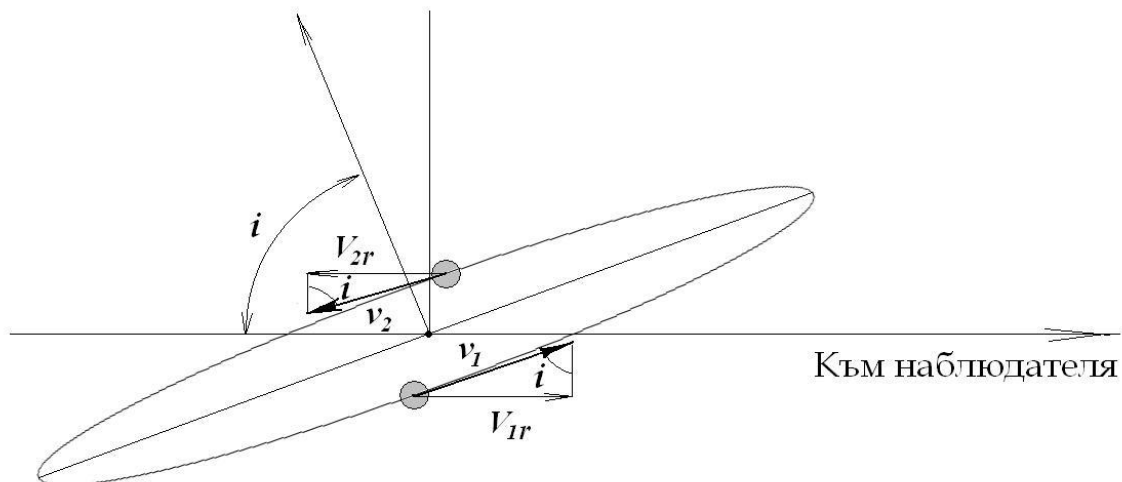
При обикновенните движения в пространството лъчевата скорост ни дава проекцията на пространствената скорост на звездата върху лъча на зрение.

При въртене около оста на планети или галактики, лъчевата скорост ни дава компонентата на линейната скорост на въртене около оста относно лъча на зрение.

Тогава връзката между максимума на лъчевата скорост и скоростта на движение по орбита, при двойни звезди е :

$$V_r = V \cdot \sin i \quad (2)$$

където i е наклона на орбитата относно картинната равнина за наблюдателя.



Подобна е връзката между екваториалната скорост на въртене една планета и лъчевите скорости, определени по спектъра на планетата, когато процепът е ориентиран перпендикулярно на оста на планетата.

Съвсем съща е и връзката при изучаване на кривите на въртене на галактиките. Само познавайки ъгъла на наклона можем да определим истинските линейни скорости на въртене.

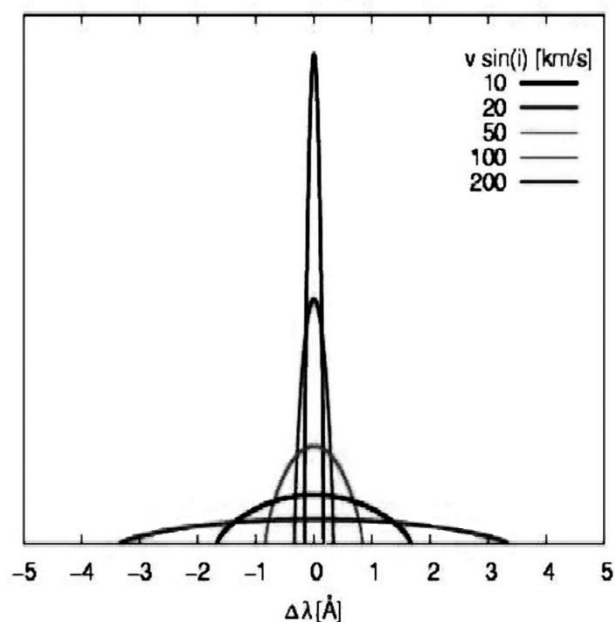
Когато, обаче, става дума за въртене на звезди около оста им ситуацията е малко по-различна. Като изключим Слънцето, останалите звезди все още се наблюдават като точкови обекти. Особено когато става дума за събиране на светлина за спектрални наблюдения. Следователно в спектрографа влиза светлина от цялата видима половина на звездата. Тогава, въртенето на звездата довежда до разширение на спектралните линии. Отново е в сила формула (2), но тя вече се отнася за всяко едно от крилата на спектралната линия.

$$\Delta\lambda_{1/2} = V_r \sin i \cdot \frac{\lambda_0}{c}$$

или общо:

$$\Delta\lambda = 2V_r \sin i \cdot \frac{\lambda_0}{c} \quad (3)$$

Ето няколко схематични профила на линията, построени за различни скорости на въртене.



Друга причина за разширението на спектралните линии е топлинното движение на излъчващите атоми и йони в атмосферите на звездите. От кинетичната теория на газовете знаем, че средната кинетична енергия на частица от газ с температура T е:

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

Където $\bar{v}^2$ е средната стойност на квадратите на скоростите на частиците в газа, m е масата на частиците на разглеждания газ, а k е константата на Болцман.

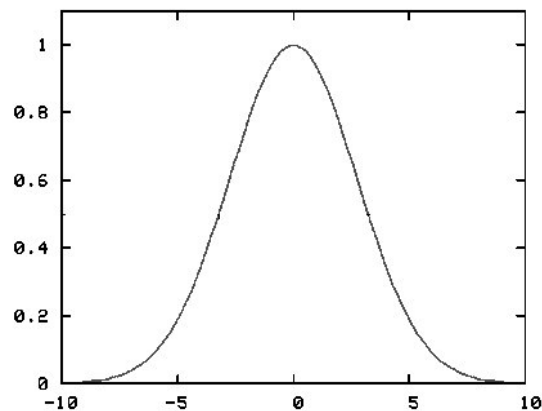
Оттук следва:

$$\hat{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (4)$$

Скоростта $\hat{v}$ се нарича средна квадратична скорост на частиците (атоми или молекули) на газа. Тя е равна на корен квадратен от средната стойност на квадратите на скоростта на частиците в газа и е близка, по големина, до средната скорост и до най-вероятната скорост на частица от газа. Използваме средната квадратична скорост за да пресметнем разширението на спектралните линии. Трябва да не забравяме, че спектралните линии са на конкретни атоми и йони и техните маси трябва да се използват коректно при пресмятането на скоростите. Затова спектралните линии на съществено различаващи се по маса атоми, се разширяват по различен начин при една и съща температура. Освен това в разширението участват както атоми които се движат в посока към наблюдателя, така и атоми, които се движат в посока на отдалечаване от наблюдателя. Затова във формулата за ширината на спектралната линия трябва да добавим коефициент 2.

$$\Delta\lambda = 2\lambda_0 \cdot \frac{\hat{v}}{c} = \frac{2\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (5)$$

Поради това, че скоростите са разпределени случайно по големина и посока, профилът на спектралните линии е близък до профила на нормалното разпределение, т.е. близък е до гаусиана.



Нека първо пресметнем разширението на спектралните линии поради топлинното движение на атомите в атмосферите на звездите. Използваме формула

(5), като не забравяме, че масата на атомите е равна на атомната единица маса умножена по броя на нуклоните (протони и неутрони) в ядрото на атома. Затова, когато пресмятаме разширението на водородните линии, използваме за маса атомната единица маса, а пресмятайки разширението на линията на хелия умножаваме атомната единица маса по 4. За ширината на спектралните линии, дължаща се на топлинното движение на атомите, получаваме:

$$\begin{array}{ll} \text{За Регул:} & \Delta\lambda_{H\alpha} = 0.77 \text{ \AA}, \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.26 \text{ \AA} \\ \text{За Слънцето:} & \Delta\lambda_{H\alpha} = 0.52 \text{ \AA}, \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.175 \text{ \AA} \end{array}$$

Поради движението си в пространството, Регул ималъчева скорост, равна на $V_r = +6 \text{ km/s}$. Спектралните линии ще са изместени към червения край на спектъра. Използваме формула (1) и получаваме:

$$\Delta\lambda_{H\alpha} = 0.13 \text{ \AA}, \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.088 \text{ \AA}$$

Слънцето изглежда неподвижно, но това не е така. Макар и бавно, то се върти около общия център на масите с Юпитер. (Разбира се, останалите планети също имат принос, обаче най-голямо е влиянието на Юпитер.)

Разглеждаме Слънцето и Юпитер като двойна система.

$$r_s = r_j \frac{M_j}{M_s} \approx 7.43 \cdot 10^5 \text{ km}$$

Поради кръговата орбита на Юпитер:

$$V_j = \sqrt{\frac{GM_s}{r_j}} \approx 13060 \text{ m/s}$$

$$V_s = V_j \frac{r_s}{r_j} = 12.47 \text{ m/s}$$

$$\text{Оттук следва:} \quad \Delta\lambda_{H\alpha} = 0.00027 \text{ \AA}, \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.00018 \text{ \AA}$$

На пръв поглед изглеждат много малки стойности, нолъчевите скорости вече се измерват с точност до 0.7 m/s . Екстремно големият телескоп (39м) се планира да достигне точност на измерване налъчевите скорости до 2 cm/s .

Да пресметнем разширението на спектралните линии поради въртенето на Регул около оста му. Линеината скорост на точка от екватора на звездата е:

$$V_{eR} = \frac{2\pi R_{eR}}{T_R} = 317 \text{ km/s}$$

Това е изключително голяма скорост. Използваме формула (3) за определяне на ширината на спектралните линии:

$$\Delta\lambda_{H_{\alpha}} = 13.87 \text{ \AA} \quad \Delta\lambda_{HeI} = 9.27 \text{ \AA}$$

Въртенето на Слънцето е съществено по-бавно. За него получаваме скорост на екватора: $V_S = 2.02 \text{ km/s}$.

$$\Delta\lambda_{H_{\alpha}} = 0.044 \text{ \AA} \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.030 \text{ \AA}$$

Особеното в случая е това, че се наблюдава не разширение на спектралните линии, а изместване (когато наблюдаваме със спектрограф източния или западния край на диска на Слънцето и при подходяща ориентация на оста на въртене). Когато наблюдаваме източния край на диска, преместването е към синия край на спектъра, а когато наблюдаваме към западния край на диска – към червения.

На Слънцето може да се наблюдават спектрално и динамични процеси. Едно от тези явления е конвекцията, която достига до повърхността и се вижда под формата на гранулация. Скоростта на издигащото се вещество в центъра на гранулите достига до около 400 km/s и това може да се изследва със спектрограф. Максималното отклонение към синия край на спектъра получаваме, като използваме за пресмятане формула (1). Получаваме:

$$\Delta\lambda_{H_{\alpha}} = 0.00875 \text{ \AA}, \quad \Delta\lambda_{HeI} = 0.00585 \text{ \AA}$$

Веществото по периферията на гранулите се движи по-бавно, а между гранулите се движи към вътрешността на атмосферата на Слънцето. Когато наблюдаваме със спектрограф, той събира светлина обикновено от област, по-голяма от размера на гранулите. Затова тези движения водят до разширение на линията, което по големина е близо до получените величини, или до деформация на вида на спектралната линия, когато процепът на спектрографа е много тънък.

Критерии за оценяване (общо 15 т.):

За разсъждения върху ефекта на движението на звездата спрямо нас – 3 т.

За разсъждения относно въртенето на звездата – 3 т.

За разсъждения относно топлинното разширение на линиите – 3 т.

За числени пресмятания за Регул – 3 т.

За числени пресмятания за Слънцето – 3 т.

Справочни данни:

Скорост на светлината	–	$c = 300\,000 \text{ km/s}$
Константа на Болцман	–	$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Атомна единица маса	–	$u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Астрономическа единица	–	$1\text{AU} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ km}$
Радиус на орбитата на Юпитер	–	$r_J = 5.20 \text{ AU}$
Маса на Юпитер	–	$M_J = 1.90 \cdot 10^{27} \text{ kg}$
Радиус на Слънцето	–	$R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^5 \text{ km}$

Маса на Слънцето	–	$M_{\odot} = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	
Максимална скорост на веществото в центъра на гранулите във фотосферата на Слънцето	–	$v_{\text{гр}} = 400 \text{ m/s}$	
Радиус на Земята	–	$R_E = 6371 \text{ km}$	
Маса на Земята	–	$6 \times 10^{24} \text{ kg}$	
Разстояние от Марс до Слънцето в перихелий			1.38 AU
Разстояние от Марс до Слънцето в афелий			1.67 AU
Скорост на Марс в перихелий		26.5 км/с	
Скорост на Марс в афелий		22.0 км/с	
Гравитационна константа		$6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg/s}^2$	
Маса на Марс	$6.42 \times 10^{23} \text{ kg}$	Радиус на Марс	3390 км

Зареждане на слънчевата батерия на Fermi Gamma Ray Telescope

