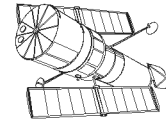


ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР



Телескоп системы Ньютона (А.М. Татарников)

Класс:

9 10

Задача:

1

? Нарисуйте оптическую схему (в масштабе 1:4) телескопа Ньютона со следующими характеристиками:

Главное зеркало – диаметр 200 мм;

Фокусное расстояние – 1 м;

Диagonальное зеркало – длина малой оси 50 мм;

Труба – диаметр 240 мм, толщиной трубы пренебречь;

Длина трубы от вершины главного зеркала – 900 мм;

Вынос фокуса (расстояние от поверхности трубы до точки фокуса) – 100 мм.

Нарисуйте ход лучей для звезды, находящейся на оптической оси телескопа. Вычислите масштаб изображения в фокальной плоскости, определите линейный и угловой диаметр невиньетированного (незатененного) трубной поля зрения. Укажите на схеме все размеры, использованные при ее построении.

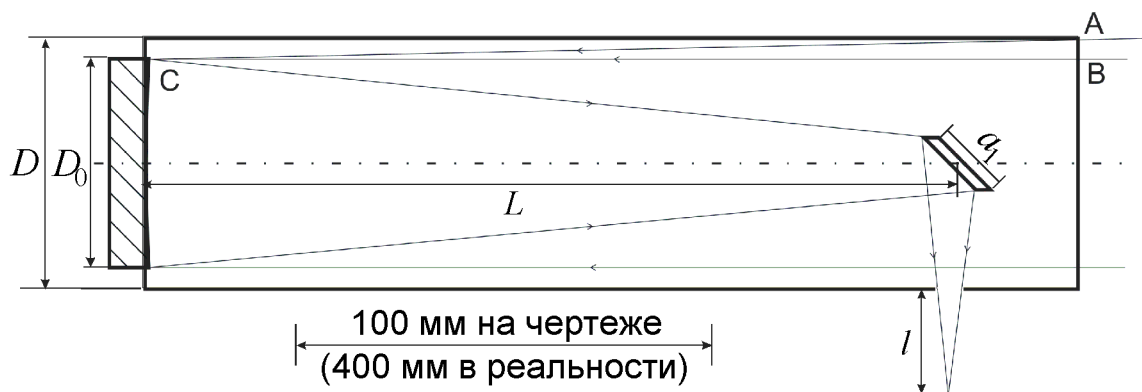
! Вначале начертим трубу в масштабе 1:4. Затем с одного из ее концов нарисуем зеркало так, чтобы его центр его оптической поверхности пришелся на центр задней стенки трубы. Сделаем вспомогательное построение – нарисуем главную оптическую ось зеркала, совпадающую с осью трубы. Вычислим, на каком расстоянии от главного зеркала должен находиться центр вторичного зеркала. Для этого из фокусного расстояния F вычтем вынос фокуса l и радиус трубы $D/2$. Получим:

$$L = F - l - \frac{D}{2} = 780 \text{ мм.}$$

В требуемом масштабе расстояние составит $L/4$ или 195 мм. Теперь вычислим размер большой оси диагонального зеркала. Эта же величина равна длине проекции зеркала на плоскость рисунка. Очевидно, что размер малой оси зеркала a_2 должен быть равен толщине пучка света, идущего от главного зеркала. Размер большой оси тогда будет равен

$$a_1 = \frac{a_2}{\cos 45^\circ} \approx 70 \text{ мм.}$$

В масштабе чертежа это составит $a_1/4$ или примерно 18 мм. Рисуем вторичное зеркало на схеме. Наносим лучи, параллельные главной оптической оси и падающие от звезды на края зеркала. После этого рисуем их дальнейший ход до пересечения в точке фокуса. На этом построение схемы телескопа и хода лучей закончено.



Вычислим масштаб изображения. Угловому расстоянию в 1° ($1/57.3$ радиан) будет соответствовать линейный размер d в фокальной плоскости. Он зависит только от фокусного расстояния телескопа и равен

$$d = \frac{F}{57.3} = 17.5 \text{ мм.}$$

Таким образом, масштаб составляет $3.4'$ на мм. Чтобы определить размер поля зрения, нарисуем крайние лучи, участвующие в построении невиньетированного трубной изображения участка неба. Для этого соединим на схеме верхний край главного зеркала телескопа и край трубы. Получим треугольник **ABC**. В нем длина отрезка **BC** составляет 900 мм, длина отрезка **AB** равна

$$AB = \frac{D - D_0}{2} = 20 \text{ мм.}$$

Здесь D_0 — диаметр зеркала. Таким образом, угол **ACB**, определяющий угловой радиус невиньетированного поля зрения, равен

$$\angle ACB = \arcsin \frac{AB}{BC} = 1^\circ 16'.$$

Диаметр поля зрения составляет $2^\circ 32'$. Линейный размер поля равен

$$f = \frac{2^\circ 32'}{1^\circ} d = 44 \text{ мм.}$$



Обратная сторона Луны (О.С. Угольников)

Класс: **9**

Задача: **2**

? Вам предложена фотография, сделанная с борта космической станции, пролетающей вблизи обратной стороны Луны (негатив). С какой минимальной скоростью (относительно Луны) должен лететь этот аппарат, чтобы впоследствии без дополнительных затрат энергии покинуть систему Земля-Луна? Орбиту Луны считать круговой.

Практический тур

! Из рисунка мы можем определить отношение видимых радиусов Земли и Луны, как они наблюдаются с космического аппарата:

$$K = \frac{\rho_L}{\rho_E} = 11.5.$$

Аппарат пролетает позади Луны (если наблюдать с Земли), над ее обратной стороной, на расстоянии d от центра Луны. Обозначим расстояние между центрами Земли и Луны через L . Запишем выражение для соотношения видимых радиусов:



$$K = \left(\frac{r}{d} \right) : \left(\frac{R}{L+d} \right) = \frac{r \cdot (L+d)}{Rd}.$$

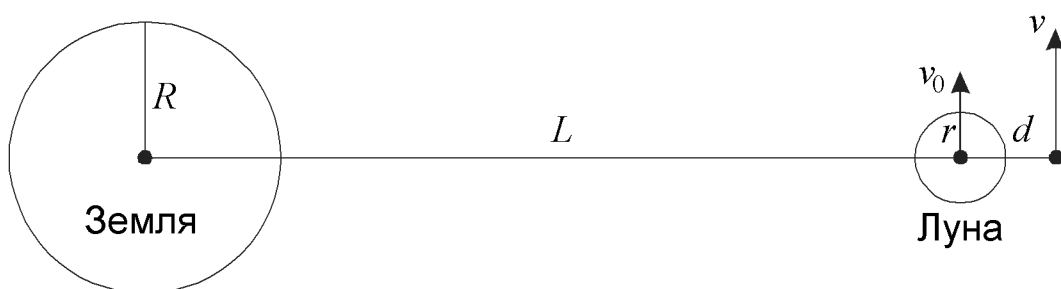
Здесь мы учли, что оба видимых радиуса не слишком велики (вблизи Луны видимый радиус Земли будет около 1° , соответственно, видимый радиус Луны составит примерно 12°). Мы также не учитываем то, что космический аппарат несколько отклонился от линии Земля – Луна, так как его учет усложнит решение, но мало скажется на значении d , которое нам нужно определить. Из последней формулы получаем:

$$d = \frac{rL}{KR - r},$$

что составляет 9300 км. Чтобы покинуть пределы системы Земля-Луна, аппарат должен преодолеть гравитационное воздействие Луны и после этого иметь скорость, достаточную для преодоления поля тяжести Земли. Вторая космическая скорость относительно Земли для расстояния $(L + d)$ составит

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{L+d}},$$

где M – масса Земли. Но это есть скорость относительно Земли. Скорость аппарата относительно Луны может быть и меньшей, если он будет



XVII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

двигаться в ту же сторону, что и Луна. Минимальная скорость после выхода из гравитационного поля Луны будет равна

$$v_0 = v_2 - \sqrt{\frac{GM}{L}} = \sqrt{\frac{2GM}{L+d}} - \sqrt{\frac{GM}{L}} \approx \sqrt{\frac{GM}{L}} \cdot (\sqrt{2} - 1).$$

Здесь было учтено, что величина d значительно меньше, чем L . По закону сохранения энергии, скорость аппарата в гравитационном поле Луны, на расстоянии d от ее центра, должна быть равна

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2Gm}{d} = \frac{GM}{L}(3 - 2\sqrt{2}) + \frac{2Gm}{d}.$$

Здесь m — масса Луны. Подставляя численные значения, получаем величину скорости: 1.1 км/с.



Мир галактик (Е.Н. Фадеев)

Класс: **9**

Задача: **3**

? Вам предоставлены фотографии десяти галактик (негатив). Определите, к какому морфологическому классу принадлежит каждая из галактик.

! По классификации Хаббла галактики делятся на эллиптические, линзовидные, спиральные (обычные и пересеченные) и неправильные.

Эллиптические галактики (обозначение E) имеют круглую или близкую к эллиптической форму. Их яркость спадает монотонно от центра к периферии. Обычно эллиптические галактики не имеют структурных деталей. Эти галактики подразделяются на подтипы в зависимости от степени сжатия, которая определяется по формуле

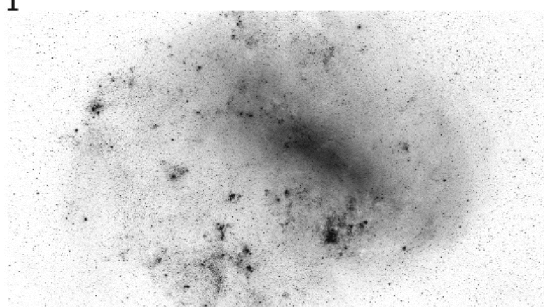
$$n = 10 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right),$$

где b и a — малая и большая полуоси эллипса. Круглая галактика получает обозначение $E0$, а галактика с соотношением осей 1:2 — $E5$.

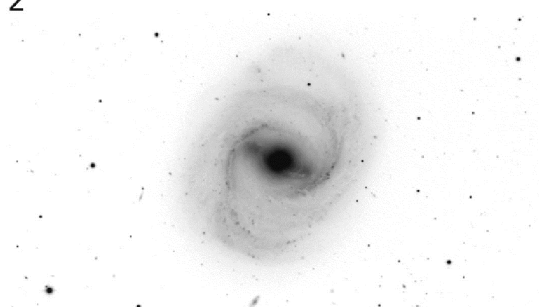
Спиральные галактики имеют два ярких компонента — балдж и звездный диск. Балдж — это сферическая подсистема, свойства которой сходны со свойствами эллиптических галактик. Звездный диск в спиральных галактиках обычно гораздо больше балджа по радиусу, но меньше по толщине. Наиболее яркой частью диска являются спиральные рукава, содержащие много пыли, газа и молодых горячих звезд. По наличию или отсутствию "бара" — перемычки, пересекающей балдж, спиральные галактики разделяют на два вида: обычные (S) и пересеченные (SB). И те, и другие галактики подразделяют на подтипы Sa (SBa), Sb (SBb), Sc (SBc), Sd (SBd), а также переходные подтипы Sab ($SBab$), Sbc ($SBbc$), Scd ($SBcd$).

Практический тур

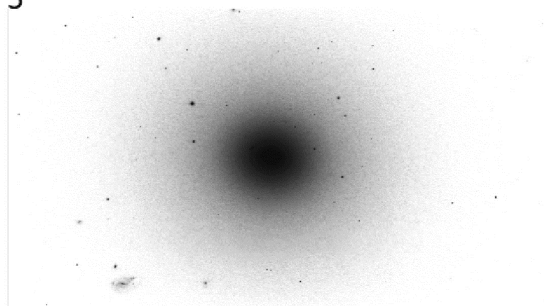
1



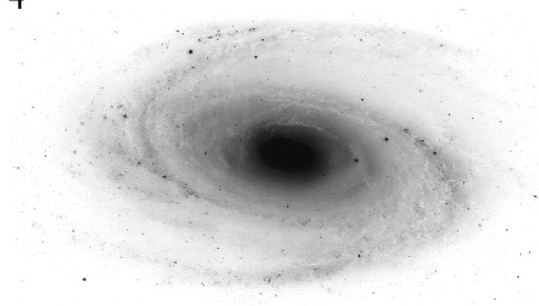
2



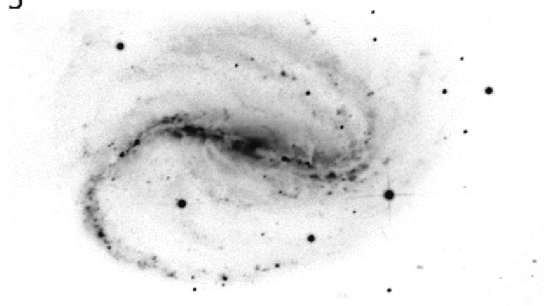
3



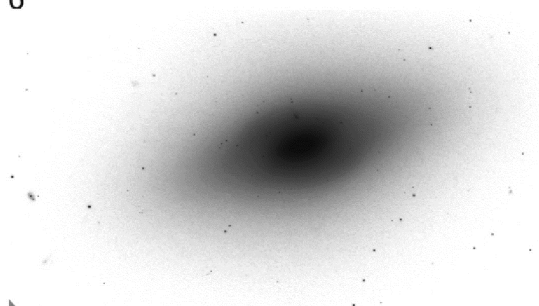
4



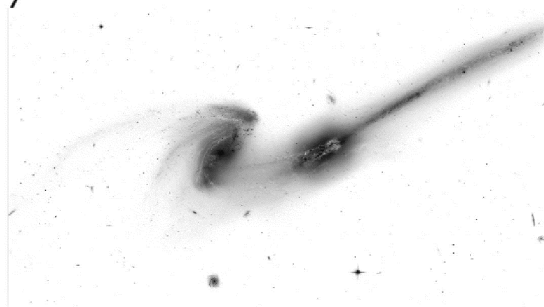
5



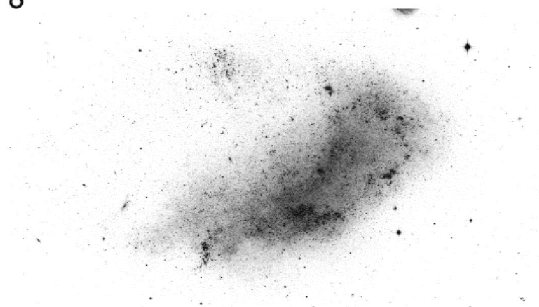
6



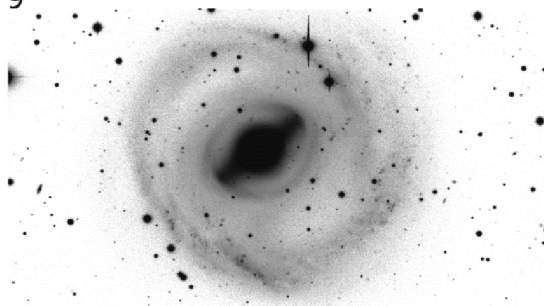
7



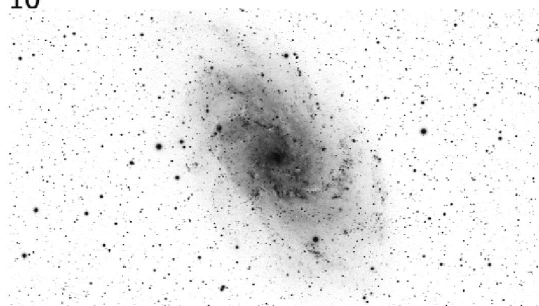
8



9



10



XVII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

Галактики ранних типов Sa (SBa) характеризуются большим размером балджа и четко выраженными туго закрученными спиральными рукавами. Галактики позднего типа Sc (SBc), Sd (SBd), наоборот, характеризуются малым размером балджа, который в галактиках подтипа "d" практически исчезает совсем, и слабой закруткой рукавов. Кроме того, сами рукава начинают дробиться на отдельные облака.

Линзовидные галактики ($S0$) представляют собой переходный тип между эллиптическими и спиральными галактиками. Отличаются от спиральных галактик отсутствием спиральных рукавов, но, в отличие от эллиптических галактик, в линзовидных присутствует пыль и газ.

Неправильные галактики (I , Ir или Irr) не имеют регулярной формы. Они содержат много пыли, газа и молодых звезд. В ряде галактик удается выделить перемычки и даже некое подобие спиральной структуры. Такие неправильные галактики получили название Магеллановых спиральных галактик (Sm и SBm) по их прототипу, Большому Магелланову облаку.

Ответы на задания. В скобках приведены названия галактик.

1. Галактика имеет клочковатую форму. Можно разглядеть области звездообразования и пылевые прожилки. Очевидно, это неправильная галактика. В центре видна яркая структура, видимо, бар. Яркие облака имеют тенденцию группироваться в цепочку сходную со спиральным рукавом, что позволяет классифицировать эту галактику как SBm (*Большое Магелланово облако*).

2. Спиральная галактика с перемычкой. Имеет средних размеров балдж и достаточно четкие спиральные рукава. Это позволяет классифицировать ее как галактику SBb ($M91$).

3. Эллиптическая галактика. Имеет форму близкую к кругу. Следовательно, она относится к типу $E0$ ($NGC\ 4458$).

4. Спиральная галактика, видимая сбоку. Имеет довольно большой балдж и хорошо различимые и достаточно туго закрученные рукава, чтобы классифицировать галактику как Sab или Sb ($M81$).

5. Спиральная галактика с перемычкой. Имеет очень маленький балдж. Спиральные рукава слабо закручены, но еще не разбиваются на отдельные облака. Тип галактики SBc ($NGC\ 7479$).

6. Сильно вытянутая эллиптическая галактика $E5$ ($NGC\ 4660$).

7. Пара взаимодействующих галактик, известная как "мыши". Форма каждой из галактик сильно искажена приливными силами ($NGC\ 4676$).

8. Неправильная галактика Irr ($NGC\ 1427A$).

9. Галактика с перемычкой и средних размеров балджем. Окружающий галактику диск либо представляет собой очень туго скрученные рукава, либо не имеет рукавов вовсе. С равной вероятностью галактику можно причислить к типам $SB0$ и SBa ($NGC\ 2217$).

10. Спиральная галактика без перемычки. Имеет маленький балдж и фрагментарные, но довольно скрученные рукава. Тип Sc или Scd ($M33$).

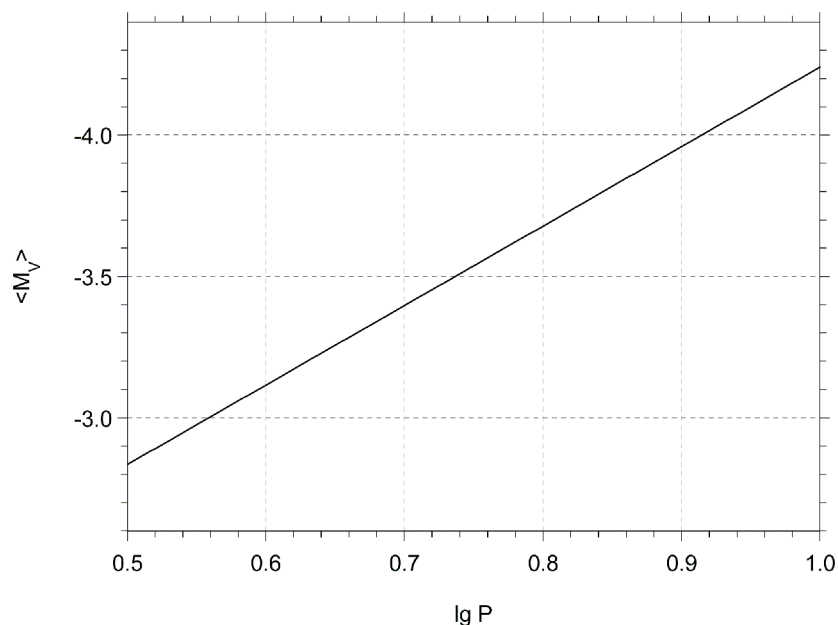
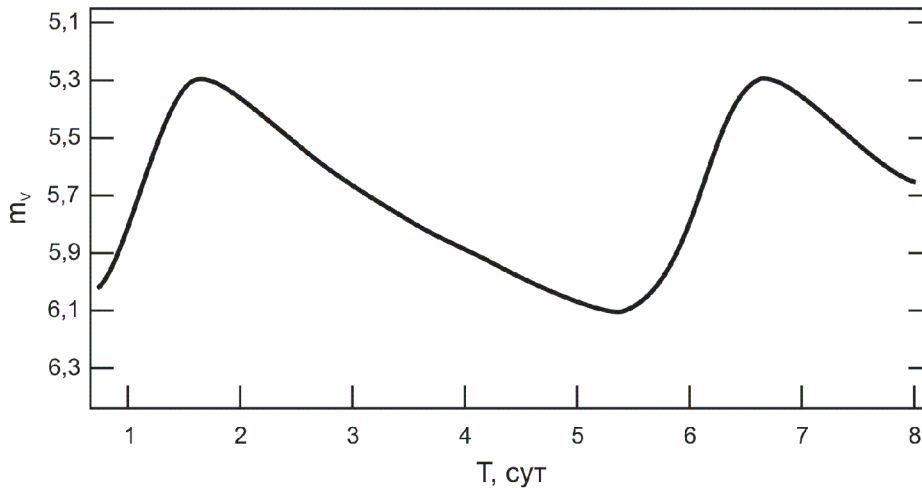


Цефеида со спутником (А.А. Татарникова)

Класс: **10 11**

Задача: **2**

? Переменная звезда — цефеида располагается на небе точно на линии эклиптики. В течение года она перемещается относительно более далеких звезд, вычерчивая отрезок длиной $0.0020''$ точно вдоль эклиптики. Во время своего противостояния с Солнцем звезда оказывается в середине этого отрезка. Известно, что эта цефеида входит в состав двойной системы с круговыми орбитами и периодом 1 год. Оцените массу второго компонента двойной звезды, если известно, что она заметно меньше массы цефеиды, равной 5 массам Солнца. На рисунках представлена кривая блеска цефеиды и зависимость "логарифм периода — средняя за период абсолютная звездная величина". Собственное движение системы как единого целого и межзвездное поглощение не учитывать.



XVII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

! Отрезок, который описывает звезда вдоль линии эклиптики, имеет все признаки параллактического движения. Этому соответствует и то, что в момент противостояния звезда оказывается в середине отрезка. В этом случае тригонометрический параллакс π_1 составляет $0.0010''$. Однако, мы можем определить расстояние до цефеиды другим способом: методом "фотометрического параллакса".

По кривой блеска оцениваем средний блеск цефеиды m (5.7^m) и период колебаний блеска P (5 суток). Как известно, период колебаний связан с абсолютной звездной величиной m_0 соотношением, график которого приведен в условии задачи. По нему находим: $m_0 = -3.4$. Имея абсолютную и видимую величины, можно определить фотометрический параллакс:

$$\lg \pi_2'' = 0.2 (m_0 - m) - 1.$$

Значение π_2 оказывается равным $0.0015''$, что в полтора раза превышает измеренный тригонометрический параллакс. При этом межзвездное поглощение отсутствует. Мы можем сделать вывод, что фотометрический параллакс характеризует истинное расстояние до цефеиды (670 пк), а годовое параллактическое движение звезды искажено влиянием ее спутника, обращающегося с тем же периодом в 1 год. Нам нужно найти величину этого искажения.

Влияние спутника не выводит звезду с линии эклиптики, следовательно, круговое орбитальное вращение также происходит в плоскости эклиптики. Более того, в момент противостояния звезды, когда ее параллактическое смещение обращается в ноль, орбитальное смещение также отсутствует. Из этого можно сделать вывод, что орбитальное движение в плоскости эклиптики происходит либо в том же направлении, что параллактическое, либо в точности противоположно ему (иными словами, разность фаз равна либо нулю, либо 180°). Обозначим через α половину отрезка, описываемого звездой в ходе ее орбитального движения. Тогда для первого и второго случая:

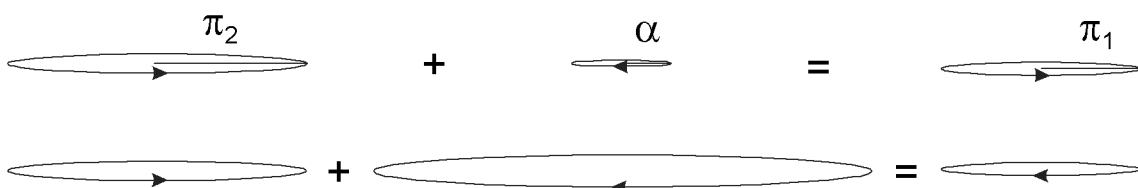
$$\begin{aligned} \pi_2 - \alpha_1 &= \pi_1, \\ \pi_2 - \alpha_2 &= -\pi_1, \end{aligned}$$

из чего следует:

$$\alpha_{2,1} = \pi_2 \pm \pi_1.$$

Значения угла α для первого и второго случая составляет $0.0005''$ и $0.0025''$ соответственно. Зная расстояние до цефеиды, можно найти радиус орбиты главной звезды:

$$a_{C1,2}(\text{a.e.}) = \frac{\alpha_{1,2}''}{\pi_2''} = 0.3; 1.7.$$



Практический тур

Радиусы орбит двух звезд (a_c и a_x) связаны соотношением

$$\frac{a_c}{a_x} = \frac{M_x}{M_c},$$

где M_c и M_x — массы этих звезд. Расстояние между звездами составляет

$$a = a_x + a_c = a_c \left(1 + \frac{M_c}{M_x} \right).$$

Выражая массы в массах Солнца, большую полуось в а.е., период обращения в годах (он равен единице), можно записать III закон Кеплера:

$$a^3 = M_x + M_c;$$
$$a_c = \frac{(M_x + M_c)^{1/3}}{1 + \frac{M_c}{M_x}}.$$

По условию задачи, масса спутника заметно меньше массы цефеиды. В этом случае уравнение упрощается:

$$a_c = \frac{M_x (M_c)^{1/3}}{M_c}; \quad M_x = a_c M_c^{2/3}.$$

Подставляя два возможных значения a_c , получаем значения M_x : 1 и 5 масс Солнца. Во втором случае масса получается сопоставимой с массой цефеиды, что противоречит условию задачи и сделанным предположениям. Поэтому мы можем сделать вывод, что из двух сценариев, изображенных на рисунке, возможен только первый, а масса спутника цефеиды равна одной массе Солнца.



Метеорный ливень (О.С. Угольников)

Класс: **10 11**

Задача: **3**

? В Анапе (широта $+45^\circ$) наблюдается сильная вспышка метеорного дождя, продолжающаяся около часа. В ее середине радиант потока, находящийся на небесном экваторе, проходит точку верхней кульминации. Наблюдатель регистрирует метеоры, относящиеся к потоку и появляющиеся в узкой полосе (ширина 10°) вдоль небесного меридиана от севера до юга на высоте более 20° . За 20 минут наблюдений вблизи максимума вспышки он заметил 500 таких метеоров.

Нарисуйте график количества зафиксированных метеоров от положения точки возгорания на меридиане с интервалом в 10° (зенитное расстояние от 0° до 10° , от 10° до 20° , ... , от 60° до 70° на севере и юге).

Считать, что проникающая способность наблюдателя метеоров одинакова по всему меридиану, не зависит от угловой скорости метеоров и составляет 4^m . Принять, что все метеоры загораются на высоте 100 км в атмосфере Земли, а их распределение по яркости соответствует индексу 2.512 (в каждом участке неба метеоров ярче 2^m в 2.512 раза больше, чем метеоров ярче 1^m , метеоров ярче 3^m — в 2.512 раза больше, чем метеоров ярче 2^m и так далее).

Атмосферным поглощением света пренебречь (для 10 класса).

Атмосферное поглощение света в зените составляет 0.2^m (для 11 класса).

! Радиант метеорного потока располагается на небесном экваторе, и его зенитное расстояние в момент верхней кульминации z_R равно широте места наблюдения, 45° . Наблюдения продолжались всего 10 минут до кульминации и 10 минут после нее. Этот период меньше продолжительности вспышки. За это же время радиант удалился от небесного меридиана всего на 2.5° . Это вдвое меньше полуширины полосы, в которой фиксировались метеоры. Поэтому мы можем рассматривать картину в плоскости небесного меридиана и считать, что радиант все время находится в этой плоскости на зенитном расстоянии z_R . Построим рисунок в плоскости небесного меридиана, поместив наблюдателя в точку **O**.

Рассмотрим одну из 10-градусных зон, в которых ведется подсчет метеоров. Пусть z — зенитное расстояние середины этой зоны (оно может быть равно 5° , 15° и т.д. до 65°), а Δz — ее полуширина, составляющая 5° . Проведем окружность, проходящую на высоте h над поверхностью Земли. Метеоры, попадающие в указанную зону, загораются на дуге A_1A_2 этой окружности. Длина этой дуги существенно меньше радиуса окружности ($R+h$), и мы можем считать эту дугу отрезком прямой.

Пусть точка **A** на дуге соответствует середине данной зоны (с хорошей точностью она совпадает с серединой отрезка A_1A_2). Обозначим расстояние от наблюдателя до точки **A** через l . В треугольнике **COA** на рисунке угол **COA** — смежный по отношению к зенитному расстоянию z . Поэтому мы можем записать выражение теоремы косинусов как

Практический тур

правой части рисунка. Все полученные ранее формулы при этом остаются справедливыми, а угол α для точек в северной части меридиана также будет отрицательным. Угловое расстояние между точкой меридиана с зенитным расстоянием z и радиантом составит

$$\gamma = z - z_R.$$

Данная величина положительна к югу от радианта и отрицательна к северу от него. Найдем угол β , под которым метеорные тела влетают в атмосферу Земли. Из рисунков видно, что:

$$\beta = \alpha - \gamma = z_R - \frac{h}{R} \operatorname{tg} z.$$

Для модели "плоской Земли" последнее соотношение будет простым и очевидным: $\beta_F = z_R$. Теперь найдем длину отрезка $\mathbf{A}_1\mathbf{A}_2$:

$$\mathbf{A}_1\mathbf{A}_2 = h \cdot (\operatorname{tg}(z + \Delta z) - \operatorname{tg}(z - \Delta z)) = \frac{2h\Delta z}{\cos^2 z}.$$

Здесь мы вновь использовали приближенную тригонометрическую формулу, учитывая малость величины Δz .

Количество метеоров, загоревшихся в той или иной 10-градусной зоне, пропорциональны величине площадки, перпендикулярной движению метеоров, в которую они должны попасть, чтобы быть зарегистрированными в этой зоне. Форма этой площадки близка к прямоугольнику, одна из сторон которого составляет:

$$d = \mathbf{A}_1\mathbf{A}_2 \cos \beta = \frac{2h\Delta z}{\cos^2 z} \cos \left(z_R - \operatorname{tg} z \frac{h}{R} \right).$$

Из двух компонент, стоящих в скобках, вторая значительно меньше первой, в чем можно убедиться подстановкой максимального значения z , при котором проводились наблюдения. Вновь применяя формулу приближенной тригонометрии, получаем:

$$d = \mathbf{A}_1\mathbf{A}_2 \cos \beta = \frac{2h\Delta z \cos z_R}{\cos^2 z} + \frac{2h\Delta z \sin z_R}{\cos^2 z} \operatorname{tg} z \frac{h}{R} = \frac{2h\Delta z \cos z_R}{\cos^2 z} \cdot \left(1 + \frac{h \operatorname{tg} z \operatorname{tg} z_R}{R} \right).$$

Для модели "плоской Земли", очевидно:

$$d_F = \frac{2h\Delta z \cos z_R}{\cos^2 z}.$$

Вторая сторона прямоугольника горизонтальна и перпендикулярна плоскости рисунка. Ее длина составляет

$$b = l \cdot \theta = \frac{h \cdot \theta}{\cos z},$$

где θ — постоянная ширина полосы наблюдений. В формуле также учтено, что данная ширина невелика. В итоге, искомая площадь составляет

XVII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

$$S = d \cdot b = \frac{2h^2\theta\Delta z \cos z_R}{\cos^3 z} \cdot \left(1 + \frac{h \operatorname{tg} z \operatorname{tg} z_R}{R}\right)$$

Для модели "плоской Земли":

$$S_F = \frac{2h^2\theta\Delta z \cos z_R}{\cos^3 z}.$$

Обращаем внимание, что полученная зависимость достаточно проста (числитель является постоянной величиной) и характеризуется резким увеличением площади при удалении от зенита. Разумеется, количество метеоров не будет так сильно зависеть от зенитного расстояния, так как наблюдатель видит только самые яркие метеоры, с блеском свыше 4^m. По условию задачи, с увеличением звездной величины на 1^m (то есть, при уменьшении минимальной яркости в 2.512 раза) количество метеоров ярче указанного уровня возрастает в 2.512 раза. Иными словами, число метеоров ярче величины J пропорционально $1/J$.

Предположим, в атмосферу влетело метеорное тело. Яркость этого метеора при наблюдении в зените составила J_0 . Определим, какую яркость это тело бы имело при наблюдении на зенитном расстоянии z . Если пренебречь поглощением света в атмосфере (как это было предложено в задании для 10 класса), то яркость уменьшится только за счет большего расстояния до метеора. В таком случае

$$J_1 = J_0 \frac{h^2}{l^2} = J_0 \cos^2 z.$$

Если же учесть атмосферное поглощение (как было нужно в задании для 11 класса), то яркость составит

$$J_2 = J_0 \frac{h^2}{l^2} \cdot \frac{10^{-0.4 \cdot m_e / \cos z}}{10^{-0.4 \cdot m_e}} = J_0 \cos^2 z \cdot 10^{-0.4 \cdot m_e \cdot \left(\frac{1}{\cos z} - 1\right)}.$$

Здесь m_e — значение атмосферного поглощения в зените. Получается, что метеоры вдали от зенита оказываются слабее, чем такие же метеоры в зените. Пусть j — минимальная яркость метеора, заметная невооруженным глазом в зените. Чтобы быть замеченным на зенитном расстоянии z , метеор должен иметь там такую же яркость j , а в зените он тогда был бы ярче в $J_0/J_{1(2)}$ раз. Но, как указывалось выше, таких метеоров меньше, соответствующий коэффициент есть обратная величина к отношению яркостей. Доля видимых глазом метеоров из всех, попавших в данную 10-градусную зону, будет пропорциональна величине

$$F_{1(2)} = \frac{J_{1(2)}}{J_0}.$$

В итоге, количество метеоров будет пропорционально площади S и величине F_1 (F_2):

Практический тур

$$n_1 = S \cdot F_1 = \frac{2h^2\theta \Delta z \cos z_R}{\cos z} \cdot \left(1 + \frac{htgz \operatorname{tg} z_R}{R}\right),$$

$$n_2 = S \cdot F_2 = \frac{2h^2\theta \Delta z \cos z_R}{\cos z} 10^{-0.4 \cdot m_e \cdot \left(\frac{1}{\cos z} - 1\right)} \cdot \left(1 + \frac{htgz \operatorname{tg} z_R}{R}\right).$$

В модели "плоской Земли" в формулах отпадают последние множители:

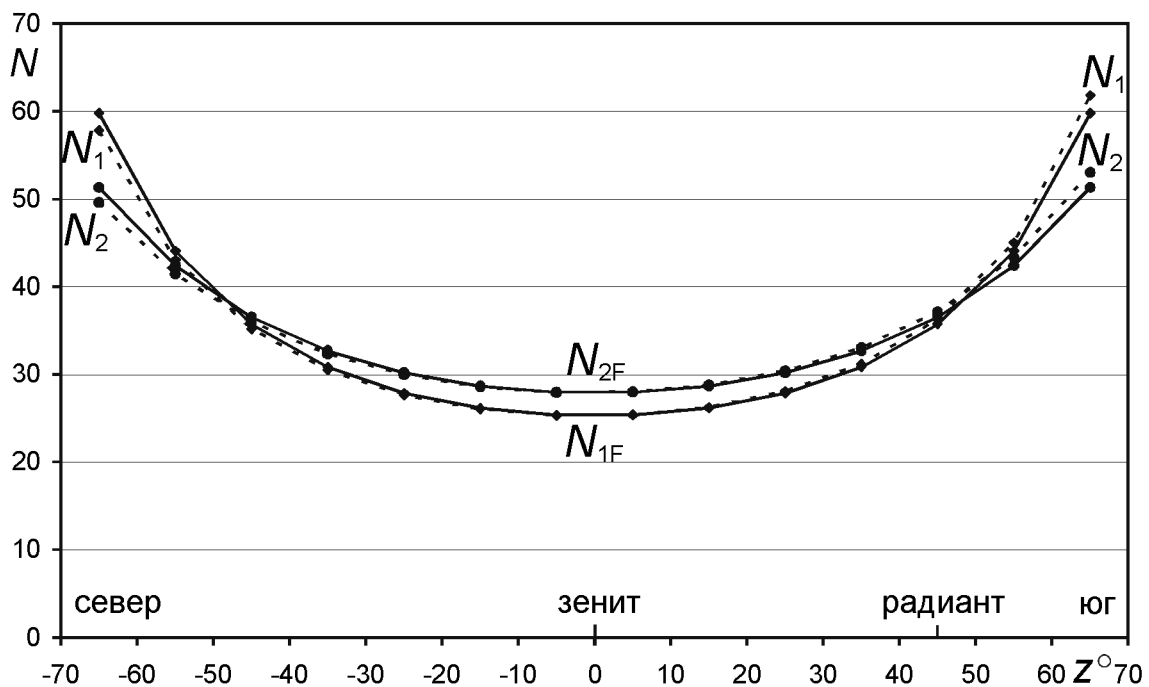
$$n_{1F} = S_F \cdot F_1 = \frac{2h^2\theta \Delta z \cos z_R}{\cos z},$$

$$n_{2F} = S_F \cdot F_2 = \frac{2h^2\theta \Delta z \cos z_R}{\cos z} 10^{-0.4 \cdot m_e \cdot \left(\frac{1}{\cos z} - 1\right)}.$$

Нам известно, что полное количество метеоров, зарегистрированных вдоль участка меридиана, составляло 500. Чтобы получить количество метеоров, вспыхнувших в каждой 10-градусной зоне, нужно "нормировать" полученные значения n :

$$N_{1,2}(z_i) = 500 \cdot \frac{n_{1,2}(z_i)}{\sum_j n_{1,2}(z_j)}, \quad N_{1F,2F}(z_i) = 500 \cdot \frac{n_{1F,2F}(z_i)}{\sum_j n_{1F,2F}(z_j)}.$$

Результаты представлены в виде графиков. Сплошными линиями показаны зависимости, полученные с использованием модели "плоской Земли". Мы видим, что количество метеоров увеличивается от зенита к горизонту. Этот факт сохраняется и для кривой N_2 , рассчитанной с учетом атмосферного поглощения, хотя указанная зависимость там менее резкая. В реальности, при больших значениях атмосферного поглощения m_e и



XVII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

заметной засветке неба у горизонта наклон кривой еще слабее, а на больших зенитных расстояниях число метеоров начинает уменьшаться.

Приближенный учет сферичности Земли приводит к едва заметным отклонениям только при z порядка 60° - 70° , как показывают пунктирные линии на графике. Эти отклонения делают кривую несимметричной относительно зенита — в южной части неба, под радиантом, метеоров чуть больше, чем у северного горизонта. Но в рамках указанных зенитных расстояний разница результатов двух моделей, мала, что еще раз подтверждает возможность использовать простую модель "плоской Земли".



NGC 5750 (Е.Н. Фадеев, О.С. Угольников)

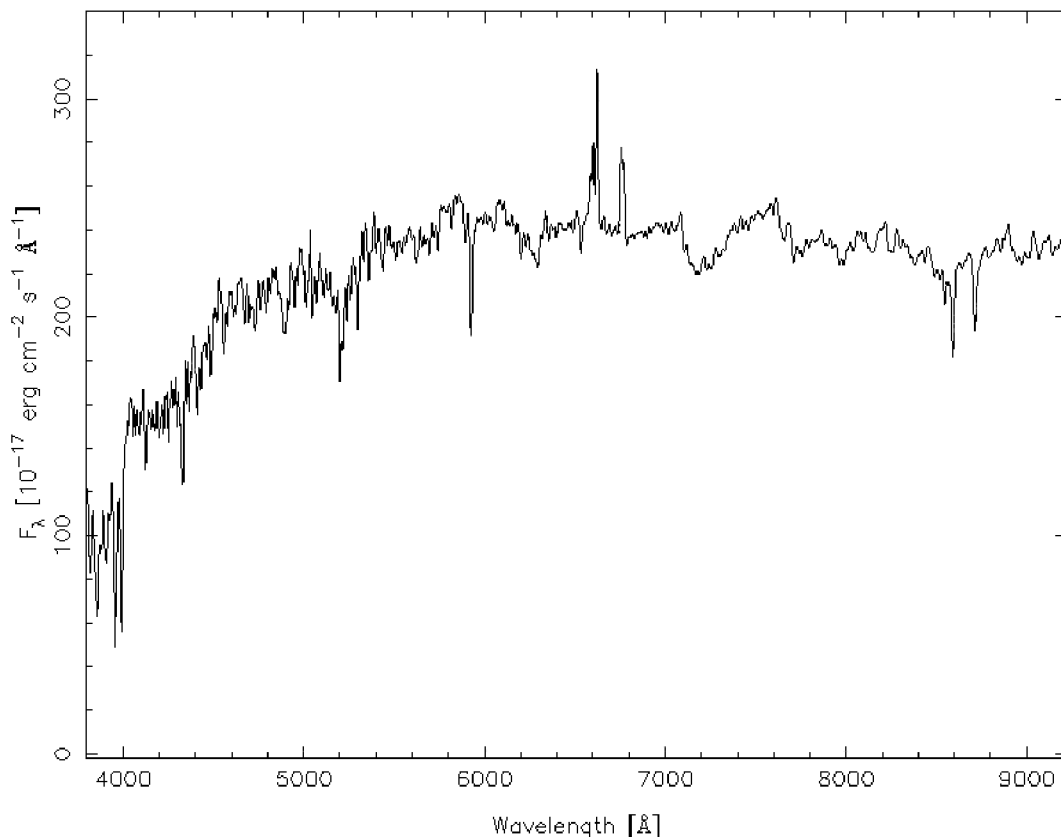
Класс:

11

Задача:

1

? Галактика NGC 5750 находится на расстоянии 25 Мпк от Земли. На рисунке изображен ее спектр. На Земле проводится фотометрия галактики с двумя светофильтрами — зеленым (область пропускания от 5000 до 5200 ангстрем) и красным (от 6000 до 6300 ангстрем). Определите отношение потоков энергии от галактики, зарегистрированных в "зеленой" и "красной" спектральных областях. Каким стало бы это отношение, если бы галактика в настоящее время располагалась в 50 раз дальше от Земли? Оба светофильтра считать идеальными (100%-пропускание света внутри рабочей полосы и полное блокирование света вне ее). Атмосферным и межгалактическим поглощением пренебречь.



Практический тур

! На графике представлены зависимости потока ее излучения F_λ (мощность на единицу площади) на единицу длины волны — ангстрем.

Если мы возьмем светофильтр, вырезающий определенный диапазон длин волн (от λ_1 до λ_2), то поток излучения от галактики, измеренный с этим светофильтром, составит площадь фигуры под графиком, ограниченной вертикальными прямыми, соответствующими данным длинам волн λ_1 и λ_2 . Для двух светофильтров, описанных в условии задачи, эти прямые показаны на рисунке сплошными линиями.

Однако, если спектральные вариации в пределах данного интервала невелики (если там нет сильных линий поглощения или излучения), то поток излучения может быть выражен простой формулой:

$$J = F \cdot \Delta \lambda,$$

где $\Delta \lambda$ — ширина спектрального интервала, а F — среднее значение функции F_λ на этом интервале (если спектр имеет форму прямой, то F будет равно значению функции F_λ в середине интервала).

Выделим интервалы, указанные в условии задачи. Резких вариаций функции F_λ на этих интервалах нет. Определим по графику средние значения этой функции на интервалах:

$$F_{01} = 2.2 \cdot 10^{-15} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ \AA}^{-1}; \quad F_{02} = 2.4 \cdot 10^{-15} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ \AA}^{-1}.$$

Отношение потоков в двух полосах составит

$$K_0 = \frac{J_{01}}{J_{02}} = \frac{F_{01} \Delta \lambda_{01}}{F_{02} \Delta \lambda_{02}} = 0.6.$$

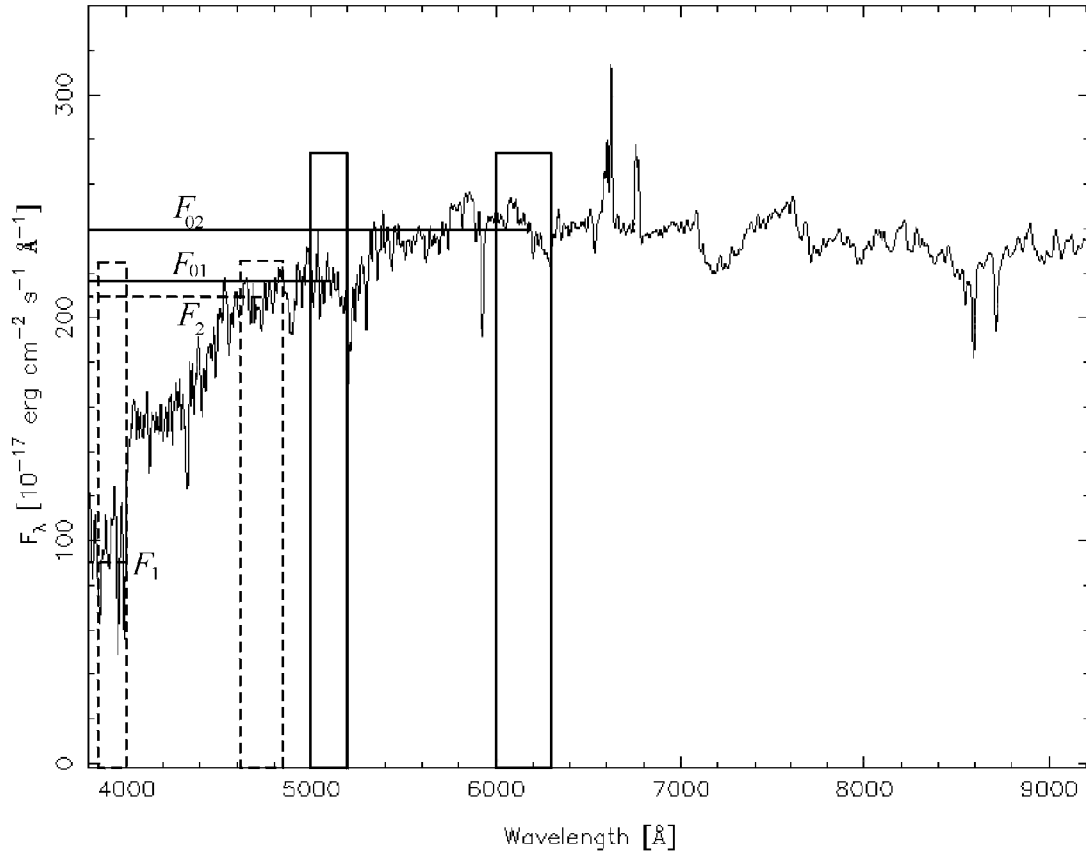
Галактика, находящаяся от нас на расстоянии R_0 (25 Мпк), будет иметь красное смещение:

$$z_0 = \frac{H \cdot R_0}{c} = 0.006.$$

Эта величина мала, и космологические эффекты не будут оказывать заметного влияния на фотометрические характеристики галактики. Но при увеличении расстояния R в 50 раз (до 1.25 Гпк) красное смещение z составит уже весьма заметную величину: 0.3. В то же время, оно остается меньше единицы, что позволяет нам пользоваться формулой, аналогичной написанной выше. Излучение галактики с длиной волны λ_0 будет регистрироваться на длине волны λ :

$$\lambda = \lambda_0 (1 + z).$$

Если мы будем наблюдать эту галактику на Земле с теми же светофильтрами (от 5000 до 5200 и от 6000 до 6300 ангстрем), то мы будем регистрировать ее излучение, испущенное в других спектральных интервалах, длина волн которых будет в $(1+z)$ или в 1.3 раза меньше наблюдаемых. Нетрудно посчитать, что это будут интервалы от 3850 до 4000 и от 4615 до 4845 ангстрем. В обоих случаях ширина интервала $\Delta \lambda$ будет в 1.3 раза меньше соответствующей ширины $\Delta \lambda_0$.



Проведем соответствующие вертикальные линии на графике и получим характерные значения функции F_λ :

$$F_{C1} = 0.9 \cdot 10^{-15} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ \AA}^{-1}; \quad F_{C2} = 2.1 \cdot 10^{-15} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ \AA}^{-1}.$$

Величины F_1 и F_2 , относящиеся к расстоянию R , соответствуют формуле

$$F_{1,2} = F_{C1,2} \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^2 \theta(z),$$

где величина $\theta(z)$ немного меньше единицы и зависит от принимаемой космологической модели. Она учитывает, в частности, уменьшение энергии и частоты их регистрации за счет расширения Вселенной. Однако, данный множитель одинаков для всех длин волн. Поэтому

$$K = \frac{J_1}{J_2} = \frac{F_1 \Delta\lambda_1}{F_2 \Delta\lambda_2} = \frac{F_{C1} \Delta\lambda_{01}}{F_{C2} \Delta\lambda_{02}} = 0.3.$$