

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Условия задач для 8-9 класса. Первый тур.**

**При решении любой задачи можно пользоваться данными Таблицы Солнечной системы.**

1. Известно, что из-за атмосферной рефракции в любом месте Земли Солнце раньше встаёт и позже заходит. (Так, например, сегодня в Белгороде благодаря этому эффекту Солнце взошло раньше на 3 минуты 05 секунд и зайдёт позже на 3 минуты 05 секунд.) Значит, вся наша планета получает больше солнечной энергии, чем получала бы при отсутствии рефракции. Так откуда же берётся дополнительная энергия?
2. При каком положении Луны можно наблюдать наиболее продолжительные затмения звёзд Луной – когда она вблизи апогея или перигея? Какие ещё условия вы можете назвать, при которых звёзды будут дольше находиться за Луной?
3. Сегодня в Белгороде Солнце будет заходить в течение 2 минут 47 секунд. А какое время длится заход Солнца на Марсе? Вычислите эту продолжительность для случая захода Солнца на экваторе Марса. При решении задачи считайте, что Марс обращается вокруг Солнца по круговой орбите.
4. В повести Стругацких «Полдень, XXII век» герой попадает на планету Леонида, очень похожую на Землю:

*"Среди мигающих звёзд неторопливо прошло через зенит яркое белое пятнышко. Комов приподнялся на локтях, следя глазами за ним. Это был "Подсолнечник" - полторакилометровый десантный звездолёт сверхдальнего действия. Сейчас он обращался вокруг Леониды [по круговой орбите] на расстоянии двух мегаметров от поверхности. Стоит подать сигнал бедствия, и оттуда придут на помощь."*

Насколько хорошим зрением обладал Комов? Обычно считается, что предельное разрешение глаза зоркого человека составляет 1' (одну угловую минуту).

**Только 8 класс**

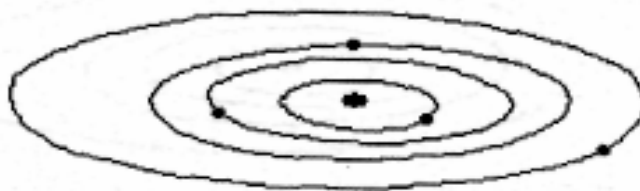
5. С каким периодом *меняются* фазы Земли для наблюдателя на Луне? Объясните, почему так происходит. Выразите ответ в земных и в лунных сутках.
6. В набросках к научно-фантастическому рассказу «Вахта Хромова» описывается эпизод, когда оператор научной станции, расположенной вблизи одной из планет Солнечной системы, запрашивает «Центр» (Землю):

*"Отправив сообщение, Алексей продолжал сидеть у монитора и ждать... Ждать ответа. Он знал, что даже теоретически, даже если «Центр» примет решение за считанные минуты, всё равно ответ придет не ранее чем через пять часов..."*

На какой планете работал Алексей?

**Только 9 класс.**

5. См. условие предыдущей задачи. ...Но в этот раз Комов не подал сигнал. Представится ли ему такая возможность во время следующего витка «Подсолнечника»? Считайте, что все параметры Леониды в точности соответствуют земным, Комов находится на экваторе планеты, а подсолнечник обращается вокруг неё по меридианальной орбите.
6. На рисунке представлен вид Солнечной системы: это Солнце, четыре ближайшие планеты и их орбиты. Так видят нас «зелёные человечки», точнее говоря, на рисунке представлен в некотором масштабе результат компьютерной обработки многолетних наблюдений «зелёных астрономов». Известно, что положение планет соответ-



ствует середине марта (15-му марта) на Земле. Найдите, из какого созвездия «зелёные человечки» нас наблюдали.

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Условия задач для 10 класса. Первый тур.**

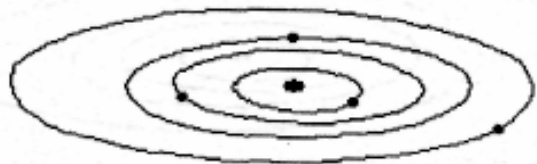
**При решении любой задачи можно пользоваться данными Таблицы Солнечной системы.**

1. Известно, что из-за атмосферной рефракции в любом месте Земли Солнце раньше встает и позже заходит. (Так, например, сегодня в Белгороде благодаря этому эффекту Солнце взошло раньше на 3 минуты 05 секунд и зайдет позже на 3 минуты 05 секунд.) Значит, вся наша планета получает больше солнечной энергии, чем получала бы при отсутствии рефракции. Так откуда же берется дополнительная энергия?
2. В созвездии Ориона, на расстоянии 120 световых лет от нас, земные астрономы обнаружили звезду, по всем параметрам аналогичную Солнцу. Цивилизация "зелёных человечков", живущая на одной из планет, обращающейся вокруг той звезды, также заинтересовалась нашим Солнцем. Измерения параллакса нашего Солнца, произведённые астрономами той цивилизации (согласно их классическим правилам измерения параллакса), дали результат 0,039". Найти продолжительность года у зелёных человечков.
3. Найдите звёздную величину Луны в новолуние (когда есть только пепельный свет). Видимые с Земли звёздные величины Солнца и Луны в полнолуние равны  $-26,8^m$  и  $-12,7^m$  соответственно.
4. Оцените массу венерианской атмосферы.
5. В повести Стругацких «Полдень, XXII век» герой попадает на планету Леонида, очень похожую на Землю:

*"Среди мигающих звёзд неторопливо прошло через зенит яркое белое пятнышко. Комов приподнялся на локтях, следя глазами за ним. Это был "Подсолнечник" – полуторакилометровый десантный звездолёт сверхдальнего действия. Сейчас он обращался вокруг Леониды [по круговой орбите] на расстоянии двух мегаметров от поверхности. Стоит подать сигнал бедствия, и оттуда придут на помощь".*

Но и этот раз Комов не подал сигнал. Представится ли ему такая возможность во время следующего витка «Подсолнечника»? Считайте, что все параметры Леониды в точности соответствуют земным, Комов находится на экваторе планеты, а «Подсолнечник» обращается вокруг неё по меридианальной орбите.

6. На рисунке представлен вид Солнечной системы: это Солнце, четыре ближайшие планеты и их орбиты. Так видят нас «зелёные человечки», точнее говоря, на рисунке представлен в некотором масштабе результат компьютерной обработки многолетних наблюдений «зелёных астрономов». Известно, что положение планет соответствует середине марта (15-му марта) на Земле. Найдите, из какого созвездия «зелёные человечки» нас наблюдали.



**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Условия задач для 11 класса. Первый тур.**

**При решении любой задачи можно пользоваться данными Таблицы Солнечной системы.**

1. Известно, что из-за атмосферной рефракции в любом месте Земли Солнце раньше встает и позже заходит. (Так, например, сегодня в Белгороде благодаря этому эффекту Солнце взошло раньше на 3 минуты 05 секунд и зайдет позже на 3 минуты 05 секунд.) Значит, вся наша планета получает больше солнечной энергии, чем получала бы при отсутствии рефракции. Так откуда же берется дополнительная энергия?
2. В созвездии Ориона, на расстоянии 120 световых лет от нас, земные астрономы обнаружили звезду, по всем параметрам аналогичную Солнцу. Цивилизация "зеленых человечков", живущая на одной из планет, обращающейся вокруг той звезды, также заинтересовалась нашим Солнцем. Измерения параллакса нашего Солнца, произведенные астрономами той цивилизации (согласно их классическим правилам измерения параллакса), дали результат 0,039". Найти продолжительность года у зеленых человечков.
3. Найдите звездную величину Луны в новолуние (когда есть только пепельный свет). Видимые с Земли звездные величины Солнца и Луны в полнолуние равны  $-26,8^m$  и  $-12,7^m$  соответственно.
4. Для того, чтобы измерить годичный параллакс ядра нашей Галактики, предложено построить радиоинтерферометр с далеко отстоящими антеннами и наблюдать «точечный» радиоисточник в ядре. Каким примерно должно быть расстояние  $D$  между антеннами, если предполагается вести наблюдения на длине волны  $\lambda \approx 1$  см?
5. Обнаружена затменно-двойная звезда. Размер второй звезды пренебрежимо мал по сравнению с размером первой. Известно, что большие оси орбит звезд лежат на луче зрения. Продолжительность затмения второго компонента первым и прохождение второго компонента по диску первого равны соответственно  $T_1 = 8,7$  часов,  $T_2 = 11,3$  часа при периоде обращения  $T = 17$  суток. Оценить эксцентриситеты орбит спутников.
6. Две звезды имеют одинаковую массу, одинаковую плотность и одинаковое давление в центре. Однако, у одной из звезд ядро состоит из нормальной смеси ионизованного водорода и гелия (количество атомов гелия примерно в 10 раз меньше, чем атомов водорода), а во второй - целиком из полностью ионизованного углерода. Если температура в ядре первой звезды составляет  $2 \cdot 10^7$  К, то чему она равна в ядре второй звезды?  
Газ считать идеальным. Число протонов в ядрах атомов:  $H - 1$ ,  $He - 2$ ,  $C - 6$ .  
Атомные веса ядер атомов  $A_H = 1$ ,  $A_{He} = 4$ ,  $A_C = 12$ .

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Условия задач для 8-9 класса. Второй тур.**

1. Вам предстоит провести экскурсию по звёздному небу без телескопа и биноклей. **Основная Ваша задача – дать небесные ориентиры, определяющие наше место во Вселенной.** Наметьте подходящее время экскурсии.

Пометьте на карте центр Галактики, направления вдоль её рукавов, отдельные звёздные и пылевые облака, очертания Местной системы, видимые простым глазом галактики и т.д.

Объясните смысл использованных Вами значков. Желательны комментарии.

2. Предполагается, что на расстоянии около 60 а.е. от Солнца появилась новая планета, обращающаяся по круговой орбите в плоскости, отличающейся от эклиптики не более чем на  $10^\circ$ . Видимая с Земли звездная величина этой планеты составляет  $18^m$ .

Планету планируется обнаружить с помощью 1-м телескопа с регистрирующей системой. Рабочее поле телескопа  $20' \times 20'$ , а регистрирующая система (например, фотопластинка) может зафиксировать объект  $17^m$  (на тёмном небе) при минимальной экспозиции 10 минут.

**Разработайте программу работы (наблюдений, обработки данных и т.н.) для обнаружения этой планеты.** Сколько времени потребуется, чтобы заведомо зарегистрировать этот объект? Опишите все необходимые условия для проведения наблюдений (регистрации) наиболее оптимальным образом. Каких конфигураций (положений планет, небесных тел) следует избегать? И т.д.

Для простоты эксперимента 1-м телескоп разместите в окрестностях Белгорода.

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Условия задач для 10-11 класса. Второй тур.**

7. «Старение фотонов» (творческая задача).

Вам, должно быть, известно, что в спектрах далёких галактик наблюдается красное смещение, причём оно тем больше, чем дальше от нас расположена галактика. В настоящее время это объясняется в рамках модели расширяющейся Вселенной, согласно которой галактики удаляются от нас с относительной скоростью  $V = HR$  (где  $H = 75$  км/с / МПк - постоянная Хаббла,  $R$  – расстояние до галактики), а красное смещение - результат связанного с этой скоростью эффекта Доплера.

Однако, некоторое время назад была распространена гипотеза, что красное смещение в спектрах далёких галактик связано не с эффектом Доплера, а со «старением фотонов». Идея этой гипотезы такова, что с течением времени фотоны теряют свою энергию (то есть их энергия уменьшается по закону  $E = E_0 \cdot e^{-t/T}$ , где  $t$  - время существования фотона, а  $T$  - некоторая константа). Таким образом просто получается, что свет от далёких галактик идёт очень долго, за это время фотоны теряют часть своей энергии, т.е. «краснеют».

Рассмотрите гипотетическую ситуацию: пусть фотоны действительно стареют, причём стареют в 1000 раз быстрее, чем это следует из наших наблюдений (то есть,  $\Delta E/\Delta t$  в 1000 раз больше, чем у нас). В частности, рассмотрите такие вопросы:

Какие теории эволюции Вселенной могли бы существовать в этом случае. Что бы изменилось в теории расширяющейся Вселенной? Догадались ли бы учёные, что существует именно старение фотонов? И т.д.

Учтите, что современные приборы, измеряющие лучевые скорости по эффекту Доплера, фиксируют эти скорости с точностью вплоть до нескольких метров в секунду (скажем, 3 м/с).

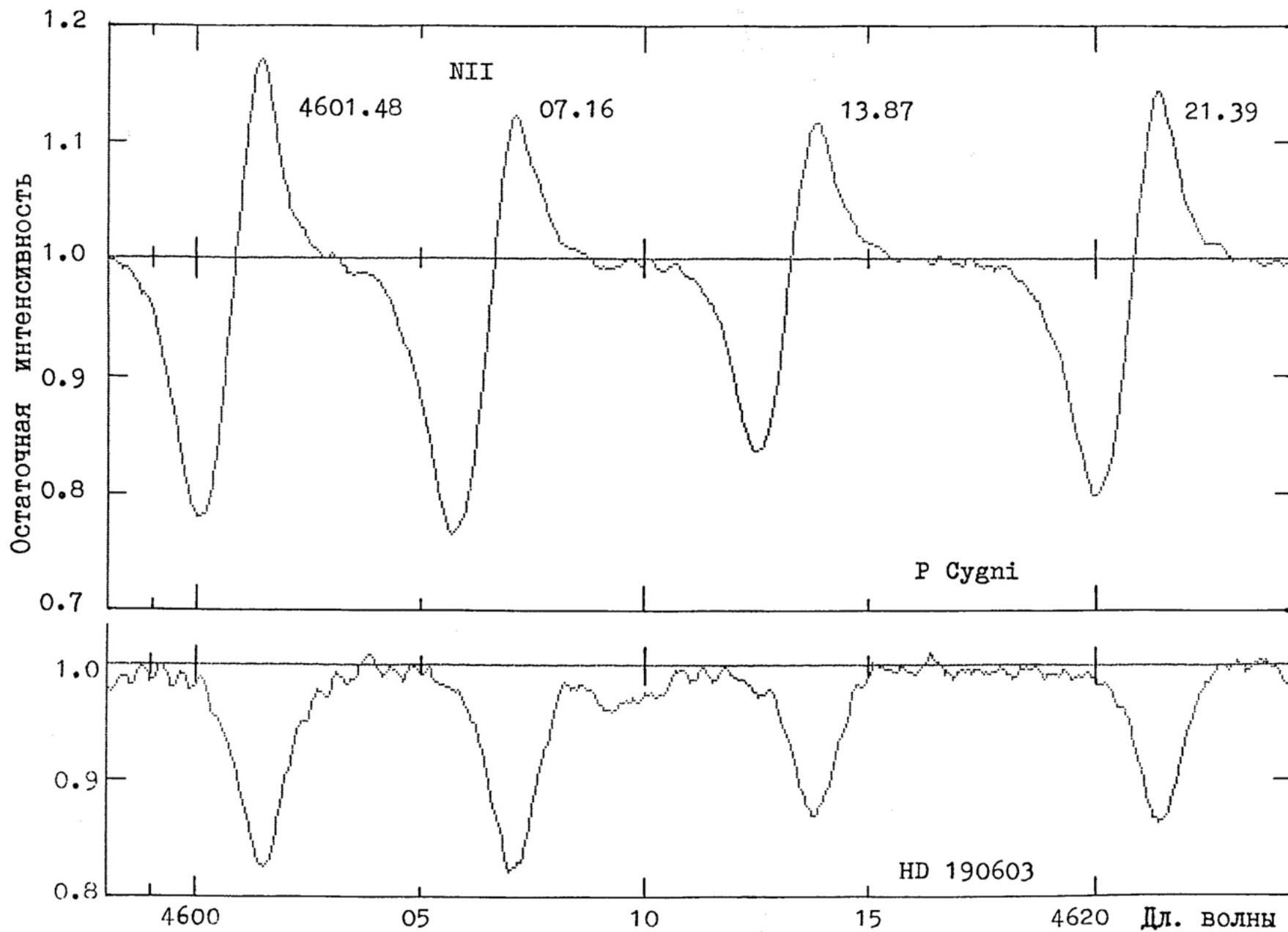
8. «Звёздный ветер Р Лебеда» (практическая задача). Это задание посвящается 400-летию открытия самой знаменитой из звёзд, активно теряющих вещество.

18 августа 1600 г. голландский картограф и математик Виллем Блау (тот самый, что написал «Космографию», по которой учился Пётр I) обнаружил в Лебеде новую звезду. В XVII веке её блеск дважды возрастал до 3-й и падал до 6-7-й величины, но с начала XVIII века менялся мало и до сих пор остаётся близким к 5-й величине. В 1886 г. Пикеринг привлек внимание к необычному спектру Р Лебеда.

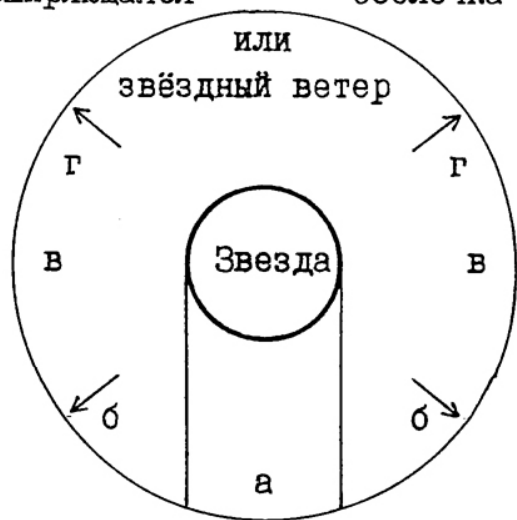
Перед Вами небольшой его участок с четырьмя линиями ионизованного азота и тот же участок, взятый из спектра HD 190603, – звезды, близкой к Р Лебеда по температуре и светимости. Оба спектра получены с помощью спектрографа в фокусе кудэ 1-м телескопа САО РАН. В спектрах большинства звёзд (в том числе и HD 190603) наблюдаются линии поглощения, абсорбции (в них интенсивность излучения ниже уровня излучения в непрерывном спектре), а в спектрах туманностей и некоторых звёзд с протяжёнными оболочками – линии излучения, эмиссии. В спектре Р Лебеда почти все линии абсорбционно-эмиссионные. Их профили так и называют: "профили типа Р Лебеда".

а) Пользуясь прилагаемой простейшей схемой расширяющейся оболочки (звёздного ветра) объясните специфическую форму "профилей типа Р Лебеда". Поставьте нужными буквами части профиля, формирующиеся в соответствующих частях оболочки.

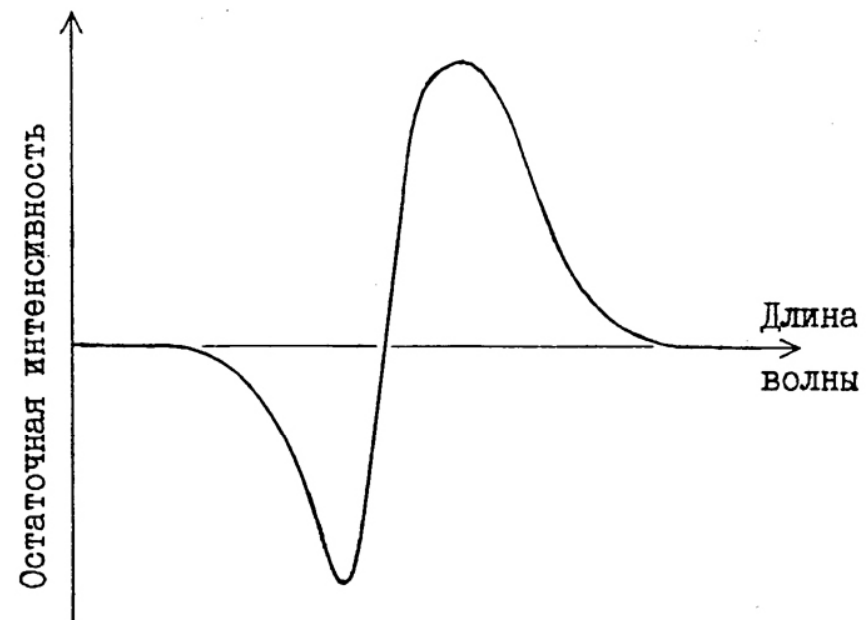
б) По прилагаемому фрагменту спектра оцените скорость звёздного ветра Р Лебеда. Шкала длин волн (в ангстремах) дана для неподвижного источника. Каждое из делений слева соответствует 1Å.



Расширяющаяся оболочка



▽  
Наблюдатель



Простейшая модель звёздного ветра,  
объясняющая профили "типа P Лебедя"

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Решения задач 1-3 для 10-11 класса.**

1. Нетрудно видеть, что из-за рефракции на Землю попадают те лучи Солнца, которые прошли бы мимо Земли, если бы свет распространялся в атмосфере прямолинейно. Значит, Земля просто перехватывает немного более широкий пучок солнечного света, чем перехватывала бы при отсутствии атмосферы. "Недополучает" энергию область пространства, расположенная за Землёй.
2. Для землян параллакс (годовой) какого-либо объекта – это (по определению) угловой размер большой полуоси земной орбиты (расположенной перпендикулярно направлению на объект), видимый с этого объекта. Очевидно, что для "зелёных человечков" параллакс Солнца – это угловой размер большой полуоси орбиты их планеты, видимой с Солнца. То есть,  $\pi = a/L$ , где  $\pi = 0,039''$  – параллакс Солнца,  $L = 120$  св.лет - расстояние от звезды "зелёных человечков" до Солнца,  $a$  - большая полуось орбиты планеты "зелёных человечков". Тогда  $a = \pi \cdot L$ . Период обращения планеты  $T$  можно определить из III Закона Кеплера. Учитывая, что звезда "зелёных человечков" по всем параметрам – в том числе и массе – аналогична Солнцу, получаем:

$$T/T_3 = (a/a_3)^{3/2} = (\pi \cdot L/a_3)^{3/2},$$

где  $T_3$  и  $a_3$  - период обращения вокруг Солнца и большая полуось орбиты Земли.

Считая, что год равен периоду обращения планеты вокруг звезды (вообще, это абсолютно верно только в том случае, когда нет прецессии оси собственного вращения планеты), получаем:

$$\begin{aligned} T &= T_3 \cdot (\pi \cdot L/a_3)^{3/2} = \\ &= 1 \text{ год} \cdot (0,039''/206265'' \cdot 120 \text{ лет} \cdot 365,25 \text{ сут/лет} \cdot 86400 \text{ сек/сут} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек} / 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м})^{3/2} = \\ &= 1 \text{ год} \cdot 1,44^{3/2} \approx 1,72 \text{ года.} \end{aligned}$$

Вообще, удивительно, как там живут эти "зелёные человечки", это ведь почти орбита Марса, там должно быть довольно прохладно.

3. В таблице Солнечной системы находим радиусы Земли и Луны, их альбедо. Используя эти величины, получаем, что Земля в "полноземелье" светит в  $(\alpha_3/\alpha_L) \cdot (R_3/R_L)^2$  раз = 70 раз ярче, чем Луна в полнолуние, что соответствует разности звёздных величин  $2,5 \cdot \lg 70 = 4,6$ , то есть звёздная величина Земли в "полноземелье" составляет:

$$-12,7^m - 4,6^m = -17,3^m.$$

Именно свет Земли в "полноземелье" освещает Луну в новолуние. Таким образом, если Солнце со звёздной величиной  $-26,8^m$  является причиной блеска  $-12,7^m$  Луны в полнолуние (разница  $14,1^m$ ), то для новолуния аналогично получаем ответ:

$$-17,3^m + 14,1^m = -3,2^m.$$



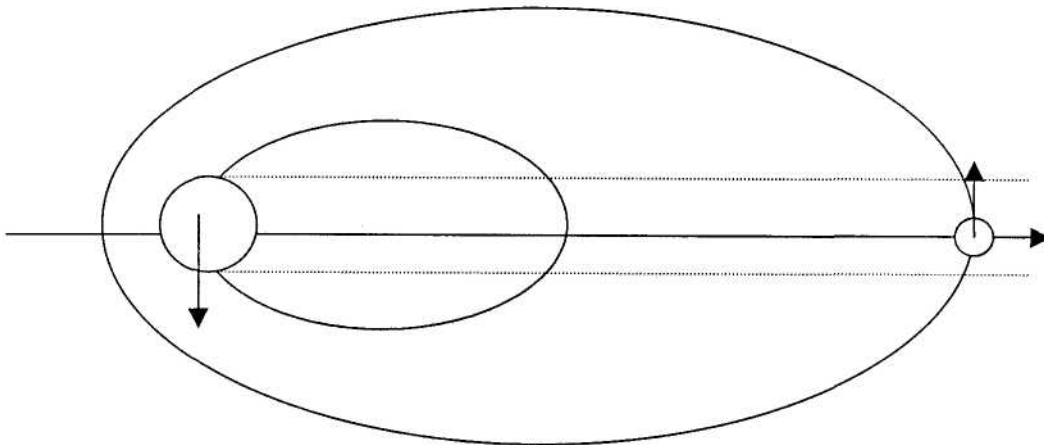
**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Решения задач 4-6 для 11 класса.**

4. Поскольку расстояние до ядра не превышает 10 килопарсек (это должно быть известно участникам Олимпиады), ожидаемый параллакс от ядра составляет не менее  $1/10^4$ , или  $10^{-4}$  угловой секунды. Чтобы его можно было измерить, разрешающая способность радиоинтерферометра должна соответствовать этой величине. Разрешающая способность обусловлена дифракцией электромагнитных волн, и составляет  $\beta \approx \lambda/D$  (если  $\beta$  выражено в радианах), или же  $\beta \approx 2 \cdot 10^5 \lambda/D$  (в угловых секундах). Из условия  $\beta \approx 10^{-4}$  получаем  $D \approx 2 \cdot 10^9 \lambda$ , что составляет около 20 тысяч километров. Размера Земли не хватает. Антенны следует располагать на околоземных орбитах.
5. Период обращения велик по сравнению со временем затмений. Это значит, что участки орбит, на которых происходят затмения, малы по сравнению с соответствующими расстояниями до общего фокуса (центра масс системы), следовательно, их можно считать прямолинейными, а скорости компонент на этих участках - постоянными. Кроме того, эти участки орбит расположены вблизи периастров и апоастров орбит. Так как в двойных системах эксцентриситеты орбит обеих звёзд равны, то выберем для рассмотрения одну из них.



Рассмотрим компонент меньшего размера (см. рис.) во время прохождения по диску второй звезды. Пунктиром очерчена зона, проецирующаяся на вторую звезду для бесконечно удаленного наблюдателя. Центры обеих звёзд всегда будут находиться на одной прямой - по разные стороны от центра масс системы (фокуса орбит). Поэтому скорости движения звёзд по орбитам обратно пропорциональны их массам:  $k = m_1/m_2 = v_2/v_1$  (относительно центра масс). Отсюда время прохождения второй звезды по диску первой

$$T_2 = D_1/(v_1+v_2) = (1+k)D_1/v_1,$$

где  $v_1, v_2, D_1$  - скорости звезд в апоастрах своих орбит и диаметр большой звезды.

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

Аналогично поступаем с затмением второй звезды первой звездой:

$$T_1 = D_1 / (u_1 + u_2) = (1+k)D_1 / u_1$$

где  $u_1, u_2$  – скорости звёзд в периастрах своих орбит. Соотношения между скоростями в периастре и апоастре найдём из II закона Кеплера (или из закона сохранения момента импульса) каждой из звёзд. Достаточно рассмотреть одну из них, например, первую. Для неё будем иметь:

$$u_1 R_1 = v_1 r_1$$

где  $R_1$  и  $r_1$  — расстояния от первой звезды до центра масс в периастре и апоастре.

Отсюда:  $u_1/v_1 = (1+e)/(1-e)$ , где  $e$  - искомый эксцентриситет. Значит:

$$T_2/T_1 = u_1/v_1 = (1+e)/(1-e), \quad \text{или} \quad e = (T_2 - T_1)/(T_1 + T_2).$$

Подставляя значения  $T_2$  и  $T_1$ , получаем ответ:

$$e = 0,13.$$

*Примечание:* Утверждение о прямолинейности участков орбит даёт ошибку порядка 2%. Это примерно 10 минут от  $T_1$  и  $T_2$ , данных в условии задачи. Поэтому такое приближение вполне оправдано.

6. Газ в ядре представляет собой смесь электронов и ионизованных атомов (ионов). Полное давление газа в звезде равно сумме давления электронного газа  $P_e$  и ионного газа  $P_{и}$ , то есть

$$P = P_e + P_{и}.$$

Для идеальных газов

$$P_e = n_e k T,$$

$$P_{и} = n_{и} k T,$$

$$P = (n_e + n_{и}) k T,$$

где  $n_e$  и  $n_{и}$  - концентрации электронов и ионов соответственно. Для оценки их относительных значений учтём, что в нейтральном атоме число протонов и электронов равны. Поскольку все атомы полностью ионизованы, на каждый атом приходится столько свободных электронов, сколько протонов содержит его ядро, то есть, каждый атом водорода даёт один электрон, гелия - 2, а углерода - 6 электронов. Поэтому, если обозначить через  $n_H$ ,  $n_{He}$  и  $n_C$  концентрации ионов водорода, гелия и углерода соответственно, то полные давления  $P_e + P_{и}$  будут равны:

для водородо-гелиевого ядра звезды:

$$P_1 = (n_H + n_{He}) k T_1 + (n_{He} + 2n_{He}) k T_1 - (2n_H + 0,3 n_H) k T_1 = 2,3 n_H k T_1,$$

а для углеродного ядра:

$$P_2 = (n_C + 6n_C) k T_2 = 7 n_C k T_2.$$

Теперь надо найти связь между концентрациями  $n_H$  и  $n_C$ . По условию задачи, плотности вещества в ядрах двух звёзд одинаковы. Поскольку практически вся масса вещества находится в ядрах атомов, плотность  $\rho$  каждого вещества равна концентрации ионов, умноженной на массу иона, которая пропорциональна атомному весу элемента. Таким образом получаем:

$$A_H \cdot n_H + A_{He} \cdot n_{He} = A_C \cdot n_C \quad \text{или} \quad n_H \cdot (1 + 4 \cdot 0,1) = 12 n_C, \quad \text{откуда} \quad n_H \approx 8,6 n_C.$$

Наконец, из равенства давлений  $P_1 = P_2$ , получаем:

$$2,3 \cdot n_H \cdot k T_1 = 7 \cdot n_C \cdot k T_2.$$

Сокращая  $k$  и учитывая, что  $n_H \sim 8,6 n_C$ , получаем, что  $T_2 \approx 2,8 T_1$ .

Ответ: ядро углеродной звезды имеет температуру  $5,6 \cdot 10^7$  К.

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Решения задачи 4 для 10 класса и задач 5-6 для 9-10 класса.**

4. В таблице Солнечной системы находим следующие величины для Венеры:

$P_0 = 9 \cdot 10^6$  Па – атмосферное давление у поверхности Венеры,

$M_B = 4,87 \cdot 10^{24}$  кг – масса Венеры,

$R_B = 6,05 \cdot 10^6$  м – радиус Венеры.

Атмосферное давление  $P_0$  у поверхности планеты есть не что иное, как вес атмосферы, распределённый на всю поверхность планеты. Вес атмосферы складывается из веса всех её молекул, а вес каждой молекулы равен силе притяжения её к планете, то есть произведению её массы ( $m$ ) на ускорение силы тяжести ( $g$ ) в той точке, где находится эта конкретная молекула ( $mg$ ). Вообще, ускорение силы тяжести уменьшается с высотой и одни и те же молекулы на большой высоте весят меньше. Однако, сделаем приближение, что ускорение силы тяжести примерно одинаково на всей толщине атмосферы – действительно, большая часть атмосферы сосредоточена в слое порядка десятка километров, где относительное изменение  $g$  составляет порядка  $1/300$ . Поэтому, если обозначить массу всей атмосферы через  $M$ , то:

$$P_0 = Mg_B / 4\pi R_B^2, \text{ где } g_B = G \cdot M_B / R_B^2$$

откуда

$$M = 4\pi R_B^2 P_0 / g_B = 4\pi R_B^4 P_0 / G M_B$$

Подставляя численные данные, получаем:  $M = 4,7 \cdot 10^{20}$  кг.

5. Будем считать, что у планеты Леониды такие же размер, масса и период собственного вращения, как у Земли. Тогда радиус орбиты звездолёта составлял около  $R = 2000$  км +  $6380$  км =  $8380$  км (поскольку расстояние до корабля  $2$  Мм =  $2000$  км было в тот момент, когда звездолёт находился в зените). Из III закона Кеплера следует, что период спутника зависит от радиуса орбиты как  $R^{3/2}$ . [Можно обойтись и без III закона Кеплера, просто рассмотрев движение корабля по круговой орбите.] Известно, что на низкой околоземной орбите (на высотах  $180 - 280$  км) период обращения спутника составляет  $88 - 90$  минут, значит на орбите звездолёта он составит

$$T = 90 \text{ мин} \cdot (8380/6660)^{3/2} \approx 127 \text{ мин} \approx 2,1 \text{ часа.}$$

[Другие способы: просто найти период обращения по формуле  $T = 2\pi(R/g_R)^{1/2}$  или же брать в качестве исходного данного теоретический период для нулевой высоты  $T_0 = 2\pi(R/g_0)^{1/2} = 84$  минуты.]

Через это время звездолёт вновь пройдёт через зенит той точки экватора Леониды, где был Комов, но его там уже не будет: вращение планеты переместит его к востоку примерно на  $32^\circ$ . ( $360^\circ \cdot 2,1^4 / 24^4 \approx 32^\circ$ ). Будет ли находиться корабль в прямой видимости Комова? Без вычислений это определить нельзя. Найдём, каков может быть минимальный радиус орбиты «Подсолнечника», чтобы Комов видел его хотя бы на горизонте. Рассмотрим прямоугольный треугольник с прямым углом в точке, где находится Комов, и углом  $32^\circ$  в центре планеты. [При разборе нарисовать чертёж.] Тогда минимальный радиус орбиты «Подсолнечника», когда тот будет виден Комову, составит  $R_{\perp} / \cos 32^\circ \approx 6380 / 0,848 \approx 7520$  км, это меньше реального радиуса орбиты в  $8380$  км. Поэтому звездолёт в любом случае окажется в пределах видимости Комова и с ним можно будет связаться.

Примечание: неверно оперировать расстояниями и пользоваться формулой  $L = (2Rh)^{1/2}$

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

для нахождения расстояния (до горизонта) в данном случае. Эта формула применима только для малых  $h$  по сравнению с  $R$  и малых углов (много меньше радиана). В нашем случае это далеко не так ( $h$  сравнимо с  $R$ , а угол составляет более половины радиана).

6. По соотношению длин осей видимого эллипса орбиты Земли вычисляем, «под каким углом» на нас смотрели; таким образом находим эклиптическую широту места расположения наблюдателя (с точностью до знака). [На разборе задач объяснить, что такое эклиптические координаты. Вообще говоря, при решении можно и обойтись без их употребления.] Действительно:

$$\sin \varphi = b/a$$

Заметим, что для этого лучше всего брать именно орбиту Земли:

во-первых, потому что мы работаем с эклиптической именно земной орбиты (плоскости орбит других планет несколько отличаются);

во-вторых, как наибольшую орбиту с пренебрежимо малым эксцентриситетом. Для орбиты Венеры точность будет меньше, а у Марса эксцентриситет орбиты существенен (У Меркурия тем более – и эксцентриситет орбиты весьма велик, и точность ещё меньше.)

Измерения осей дают примерно (с точностью до 0,5 мм)  $b = 14,5$  мм и  $a = 50,5$  мм.

$$\varphi = \arcsin b/a \approx \arcsin 14,5/50,5 \approx \arcsin 0,29 \approx 17^\circ.$$

На рисунке Земля находится точно «за Солнцем», это означает, что с Земли «зелёные человечки» и Солнце видны на одной и той же эклиптической долготе. Поскольку ситуация соответствует положению Солнца за неделю до точки весеннего равноденствия (для землян), то эклиптическая долгота места расположения «зелёных наблюдателей» составляет примерно  $23^{\text{h}} 30^{\text{m}}$  (можно и не вычислять этого, просто отметив на карте звёздного неба точку, где 15 марта находится Солнце). По карте звёздного неба находим, что на нас смотрели либо из Пегаса, либо из Водолея.

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г.

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

**Решения задач 1-4 для 8-9 класса и задач 5-6 для 8 класса.**

1. Нетрудно видеть, что из-за рефракции на Землю попадают те лучи Солнца, которые прошли бы мимо Земли, если бы свет распространялся в атмосфере прямолинейно. Значит, Земля просто перехватывает немного более широкий пучок солнечного света, чем перехватывала бы при отсутствии атмосферы. "Недополучает" энергию область пространства, расположенная за Землёй.
2. Продолжительность затмения звёзд Луной тем продолжительнее, чем больше угловой размер её диска и чем меньше угловая скорость её перемещения по небу. По второму закону Кеплера линейная скорость Луны меньше в апогее, чем в перигее в  $R_a/R_p$  раз. Угловая скорость пропорциональна  $V/R$ , поэтому она в апогее меньше в  $(R_a/R_p)^2$  раз. Поэтому, хотя видимый диаметр Луны в апогее меньше в  $(R_a/R_p)$  раз, это не компенсирует более значительного уменьшения угловой скорости. Поэтому наиболее продолжительные затмения будут, когда Луна в апогее.

*Другое решение:* Поскольку в перигее и апогее Луна движется практически перпендикулярно лучу зрения, самая большая продолжительность затмения равна тому промежутку времени, за которое Луна переместится на свой диаметр. Поскольку линейная скорость Луны (как небесного тела, движущегося в пространстве) меньше в апогее в  $(R_a/R_p)$  раз, во столько же раз больше будет и продолжительность затмений.

Из других условий следует, во-первых, упомянуть, что затмение должно быть центральным. Кроме того, наблюдатель также движется со скоростью в несколько сотен м/с вследствие осевого вращения Земли. В результате затмение будет длиннее, если вектор скорости этого движения направлен в ту же сторону, что и вектор орбитальной скорости Луны, поскольку в этом случае скорость Луны относительно наблюдателя будет минимальной. Это будет иметь место, когда на долготе наблюдателя Луна близка к кульминации.

3. По сравнению с тем, что происходит на Земле, на Марсе будут два главных отличия:
  1. Видимый угловой диаметр Солнца примерно в 1,5 раза меньше.
  2. Вращение Марса вокруг своей оси немного медленнее.

В таблице Солнечной системы находим диаметр Солнца и расстояние от Солнца до Марса ( $d = 1,392$  млн.км,  $L = 227,9$  млн.км), используя эти данные, вычисляем угловой диаметр Солнца:

$$d/L = 6,11 \cdot 10^{-3} \text{ рад,}$$

в градусах это составляет

$$6,108 \cdot 10^{-3} \cdot 180/\pi = 0,350^\circ,$$

в угловых минутах:

$$6,108 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 180/\pi = 21,0'.$$

Для оценки величины продолжительности захода Солнца на экваторе Марса можно просто посчитать, за какое время Марс повернётся на эти  $0,35^\circ$  или  $21'$ :

$$\tau \approx T \cdot 0,35^\circ / 360^\circ \approx 1,436 \text{ мин} \approx 1 \text{ мин } 26 \text{ сек.}$$

где  $T = 24^h 37^m 23^s = 24,623^h = 88643^s$  - период обращения Марса вокруг своей оси. Более точный ответ можно получить, учитывая, что правильнее брать не сидерический, а

**VII Российская олимпиада школьников  
по астрономии и физике космоса**

г. Белгород,  
7-13 апреля 2000 г

URL: <http://www.issp.ac.ru/iao/russia/2000/>, e-mail: [univer@issp.ac.ru](mailto:univer@issp.ac.ru)

синодический период обращения Марса вокруг собственной оси (это аналогично тому, что на Земле сутки – синодический период – делятся ровно 24 часа, а период обращения – сидерический период – равен 23 часам 56 минутам):

$$T_{\text{син}} = T \cdot \tau / (\tau - T) \approx 88776 \text{ сек.}$$

Однако, эта поправка в 133 секунды составляет всего лишь 0,15 %. Правильный ответ на  $\approx T/\tau = 0,15$  % больше, чем только что вычисленный нами, но с нашей точностью вычислений это не принципиально.

- Поскольку звездолёт проходил через зенит, расстояние до него было как раз 2 млн метров, или 2000 км. Объект размером в 1,5 км виден с такого расстояния под углом  $3438' \cdot 1,5/2000 = 2,6'$ . [Такой угловой размер, кстати, имеет копейка с расстояния в 20 м.] Заметим, что звездолёт показался Комову «пятнышком», а не «звёздочкой», т.е. представлялся ему объектом со вполне различимым угловым размером, обычно это бывает тогда, когда угловой размер превосходит разрешающую способность глаза как минимум почти в два раза. Это говорит о том, что разрешение глаза Комова было по крайней мере примерно в два раза лучше, чем 2,6', то есть не хуже 1,3' - 1,5'. Это значит, что зрение у него было (как минимум) вполне хорошим.
- Когда на Земле полнолуние, с Луны видна темная половина Земли (Новоземелье), а когда для нас наступает Новолуние, к Луне обращена освещенная часть Земли, и на Луне – Полноземелие. Период смены фаз останется таким же как и для Луны, то есть 29,53 земных суток, или одни лунные сутки.
- Очевидно, «теоретический минимум» времени ожидания ответа – это время, за которое сигнал дойдет до Земли и ответный сигнал вернётся обратно. За 5 часов = 18000 секунд свет проходит расстояние  $300\,000 \text{ км/с} \cdot 18000 \text{ с} = 5\,400\,000\,000 \text{ км} = 5,4 \text{ млрд км}$ . Значит, расстояние от Земли до неизвестной планеты составляет 2,7 млн.км. По таблице Солнечной системы находим, что этому условию удовлетворяет только Уран, расстояние до которого от Земли может быть от 2 586 млн.км до 3 153 млн.км.