

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

8 класс.

1. **Марсианские звездчѣты.** На определённом уровне развития марсианской цивилизации учёные этой планеты стали измерять расстояния. Более или менее точными будут их измерения:

- а) до планет Солнечной системы.
- б) до ближайших звѣзд.

по сравнению с измерениями землян (на одинаковом уровне развития цивилизаций, предполагающем только начало соответствующих измерений)? Считайте, что развитие наук земной и марсианской цивилизаций шло по примерно одинаковому пути.

2. **Астрономические сумерки.** На какой широте проходит южная граница территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются астрономические сумерки (центр Солнца не опускается под горизонт ниже чем на 18°)? Плоскость небесного экватора наклонена к эклиптике на угол $\varepsilon = 23^\circ 26'$. Какие города находятся примерно на этой широте?

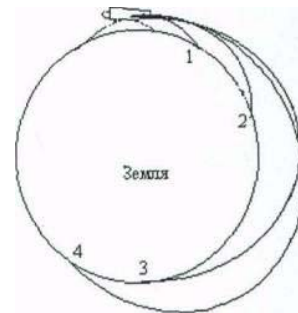
3. **XX век. Начало.** В научно-популярной брошюре, изданной в самом начале прошлого века, сказано, что "по последним измерениям русских учёных скорость света равна 420 миллионам аршинов в секунду, средняя плотность Земли составляет 1,2 фунта на кубический вершок, а среднее расстояние от Земли до самой далѣкой известной планеты Солнечной системы – около 4 миллиардов вѣрст".

Насколько точный результат дали эти "последние измерения", то есть, во сколько раз или на сколько процентов ошиблись русские учёные в каждом случае?

4. **Тропический год.** Тропический год содержит 365,2422 суток. О каких сутках идет речь; истинных или средних солнечных, звѣздных, календарных?

Что такое календарный год? Сколько суток содержится в текущем календарном году? Сколько суток содержится в среднем в году по календарю, которым мы пользуемся?

5. **Искусственный спутник.** Рассказывая о рассмотрении И. Ньютоном возможности создания искусственного спутника Земли (хотя сам Ньютон не пользовался такой терминологией), докладчик показал рисунок, воспроизведѣнный нами. Найдите ошибки в рисунке.



6. **Видимость планет.** Во время наибольшей восточной элонгации Меркурия с интервалом в один день происходят последовательно три явления: соединение Меркурия и Юпитера, соединение Меркурия и Венеры, соединение Венеры и Юпитера. Какие из этих трёх планет (Меркурий, Венера, Юпитер) удастся увидеть на вечернем небе через месяц?

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

9 класс.

- Марсианские звездчѣты.** На определённом уровне развития марсианской цивилизации учёные этой планеты стали измерять расстояния. Более или менее точными будут их измерения:
 - до планет Солнечной системы.
 - до ближайших звѣзд.по сравнению с измерениями землян (на одинаковом уровне развития цивилизаций, предполагающем только начало соответствующих измерений)? Считайте, что развитие наук земной и марсианской цивилизаций шло по примерно одинаковому пути.
- Астрономические сумерки.** На какой широте проходит южная граница территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются астрономические сумерки (центр Солнца не опускается под горизонт ниже, чем на 18°)? Плоскость небесного экватора наклонена к эклиптике на угол $\varepsilon = 23^\circ 26'$. Какие города находятся примерно на этой широте?
- XX век. Начало.** В научно-популярной брошюре, изданной в самом начале прошлого века, сказано, что "по последним измерениям русских учёных скорость света равна 420 миллионам аршинов в секунду, средняя плотность Земли составляет 1,2 фунта на кубический вершок, а среднее расстояние от Земли до самой далѣкой известной планеты Солнечной системы – около 4 миллиардов вѣрст". Насколько точный результат дали эти "последние измерения", то есть, во сколько раз или на сколько процентов ошиблись русские учёные в каждом случае?
- Великое противостояние.** 28 августа 2003 года произойдѣт великое противостояние Марса, во время которого Марс подойдѣт к Земле на минимальное расстояние за период в несколько веков (0,373 а.е.), практически совпадающее с минимально возможным расстоянием между Землѣй и Марсом. Как вы думаете, когда Марс пройдѣт точку перигелия – до, во время или после противостояния? Ответ нужно обосновать и пояснить рисунком.
- Блеск Луны.** Абсолютной звѣздной величиной планеты называют её блеск для случая, когда она освещается Солнцем с расстояния 1 а.е. и наблюдается наблюдателем также с расстояния 1 а.е. при нулевом фазовом угле (наблюдатель как бы находится в центре Солнца). Оцените абсолютную звѣздную величину Луны.
- Видимость планет.** Во время наибольшей восточной элонгации Меркурия с интервалом в один день происходят последовательно три явления: соединение Меркурия и Юпитера, соединение Меркурия и Венеры, соединение Венеры и Юпитера. Какие из этих трёх планет (Меркурий, Венера, Юпитер) удастся увидеть на вечернем небе через месяц?

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

10 класс.

1. **Фотометрия Солнца.** Почему для постоянства мощности излучения Солнца проводят фотометрические наблюдения планет-гигантов, а не самого Солнца?
2. **Гидирование.** С помощью телескопа, у которого есть хорошо работающий часовой механизм, производится фотографирование звёзд. При фотографировании звёзд, находящихся вблизи горизонта, дополнительно требуется гидирование микрометрическими винтами телескопа. Почему это необходимо? Зависит ли при этом направление вращения микрометрического винта, компенсирующего суточное движение телескопа, от сторон света, где производится фотографирование (восток и запад), а его скорость от времени суток (утро или вечер)?
3. **Затмения.** В некоторый день произошло частное теневое лунное затмение, при котором в тень Земли погрузились кратеры Коперник и Кеплер, а кратер Тихо миновал тень. Через две недели произойдёт солнечное затмение. Будет ли оно видно в России?
4. **Великое противостояние.** 28 августа 2003 года произойдёт великое противостояние Марса, во время которого Марс подойдёт к Земле на минимальное расстояние за период в несколько веков (0,373 а.е.), практически совпадающее с минимально возможным расстоянием между Землёй и Марсом. Как вы думаете, когда Марс пройдёт точку перигелия – до, во время или после противостояния? Ответ нужно обосновать и пояснить рисунком.
5. **Блеск Луны.** Абсолютной звёздной величиной планеты называют её блеск для случая, когда она освещается Солнцем с расстояния 1 а. е. и наблюдается наблюдателем также с расстояния 1 а. е. при нулевом фазовом угле (наблюдатель как бы находится в центре Солнца). Оцените абсолютную звёздную величину Луны.
6. **Похищение Луны.** В прошлом люди верили, что лунное затмение происходит потому, что огромный небесный змей (дракон) проглатывает Луну. Кстати, поэтому и период между двумя прохождениями Луны через узел своей орбиты называется "драконическим месяцем". В Болгарии во время лунного затмения мужчины выходили в лес и стреляли в Луну, чтобы испугать змея и заставить его вернуть Луну обратно. Что будет, если змею всё это уже надоело и в следующий раз, когда у него по плану лунное затмение, он проглотит Луну и мгновенно улетит вместе с ней навсегда? Качественно определите, уменьшится или увеличится среднее расстояние от Земли до Солнца, а также период её орбитального движения? Подробно опишите, почему Вы сделали такой вывод. Первоначальные орбиты можно считать круговыми.

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

11 класс.

1. **Фотометрия Солнца.** Почему для постоянства мощности излучения Солнца проводят фотометрические наблюдения планет-гигантов, а не самого Солнца?
2. **Гидирование.** С помощью телескопа, у которого есть хорошо работающий часовой механизм, производится фотографирование звёзд. При фотографировании звёзд, находящихся вблизи горизонта, дополнительно требуется гидирование микрометрическими винтами телескопа. Почему это необходимо? Зависит ли при этом направление вращения микрометрического винта, компенсирующего суточное движение телескопа, от сторон света, где производится фотографирование (восток и запад), а его скорость от времени суток (утро или вечер)?
3. **Затмения.** В некоторый день произошло частное теневое лунное затмение, при котором в тень Земли погрузились кратеры Коперник и Кеплер, а кратер Тихо миновал тень. Через две недели произойдёт солнечное затмение. Будет ли оно видно в России?
4. **Внуки-путешественники.** В позапрошлом веке в Курской губернии жила бабушка с двумя внуками-близнецами. Когда внуки выросли, они захотели стать исследователями: один – полярником, а другой – этнографом африканских племён, живущих вблизи экватора. После встречи очередного Нового Года бабушка снарядила обоих внуков в экспедиции, подарив каждому по семейной реликвии – маятниковым часам, идущим абсолютно точно в течение многих десятилетий. Внуки обещали навестить бабушку точно в канун следующего Нового Года. Однако, 31 декабря на пороге появился только один внук. Откуда он приехал домой? Приблизительно оцените, сколько времени бабушке придется ждать второго внука после прибытия первого?
5. **Астероид.** Где-то в нашей Солнечной системе летает тёмный быстровращающийся астероид. Длина волны, на которую приходится максимум энергии его излучения, может изменяться в три раза. Определите эксцентриситет орбиты этого небесного тела.
6. **Похищение Луны.** В прошлом люди верили, что лунное затмение происходит потому, что огромный небесный змей (дракон) проглатывает Луну. Кстати, поэтому и период между двумя прохождениями Луны через узел своей орбиты называется "драконическим месяцем". В Болгарии во время лунного затмения мужчины выходили в лес и стреляли в Луну, чтобы испугать змея и заставить его вернуть Луну обратно. Что будет, если змею всё это уже надоело и в следующий раз, когда у него по плану лунное затмение, он проглотит Луну и мгновенно улетит вместе с ней навсегда - как изменится орбита Земли вокруг Солнца и период её орбитального движения? Сначала ответьте на вопрос качественно, а потом оцените количественно. Первоначальные орбиты можно считать круговыми.

Примечание. Количественное решение задачи (по крайней мере – авторское) потребует немало алгебраических преобразований. Для упрощения вычислений (дабы не запутаться и не запутать жюри) рекомендуем пользоваться отношениями, обозначив через:

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

a – отношение расстояния от Земли до Луны к расстоянию от Земли до Солнца;

ρ – отношение масс Луны и Земли;

Y – отношение периода обращения Луны вокруг Земли к периоду обращения Земли вокруг Солнца.

Также, дабы не запутаться, не рекомендуем сразу производить вычисления. Кроме того, алгебраический ответ оказывается весьма интересно наполненным физическим смыслом.

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Творческо-практический тур. Условия задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

8-9 класс.

7. **Орбиты.** Вам дан лист бумаги, на котором изображена окружность и таблица максимальных элонгации Венеры и Меркурия.

7.1. Считая нарисованную окружность орбитой Земли и пользуясь прилагаемой таблицей максимальных элонгации, построить орбиты Венеры и Меркурия.

7.2. Оценить радиусы полученных орбит в астрономических единицах.

Таблица: Наибольшие элонгации Меркурия и Венеры.

Меркурий: 1989-1990			Венера: 1983 - 1990		
Дата	Вост.	Зап.	Дата	Вост.	Зап.
8 янв. 89	19°		15 июн. 83	45°	
18 фев. 89		26°	4 ноя. 83		47°
30 апр. 89	21°		21 янв. 85	47°	
18 июн. 89		23°	12 июн. 85		46°
28 авг. 89	27°		26 авг. 86	46°	
10 окт. 89		18°	15 янв. 87		47°
22 дек. 89	20°		2 апр. 88	46°	
1 фев. 90		25°	22 авг. 88		46°
13 апр. 90	20°		8 ноя. 89	47°	
31 май. 90		25°	30 мар. 90		46°
11 авг. 90	27°				
24 сен. 90		18°			
5 дек. 90	21°				

8. **Облачное небо.** Предположим, что цивилизация развивалась на Земле под облачным небом, то есть даже кусочка чистого неба люди никогда не видели. Например, облачность всё время такая, как была 6 апреля 2003 года в Курске (в день теоретического тура). Какие основные астрономические знания стали бы доступны учёным и какие наблюдательные средства были бы созданы (или использованы) в этих условиях:

8.1. В античное время?

8.2. В позднее средневековье и Новое время (т.е. по XIX век включительно)?

8.3. В настоящее время?

Считайте, что на все остальные разделы знаний это не повлияло. Ответы, естественно, надо обосновать.

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Творческо-практический тур. Условия задач

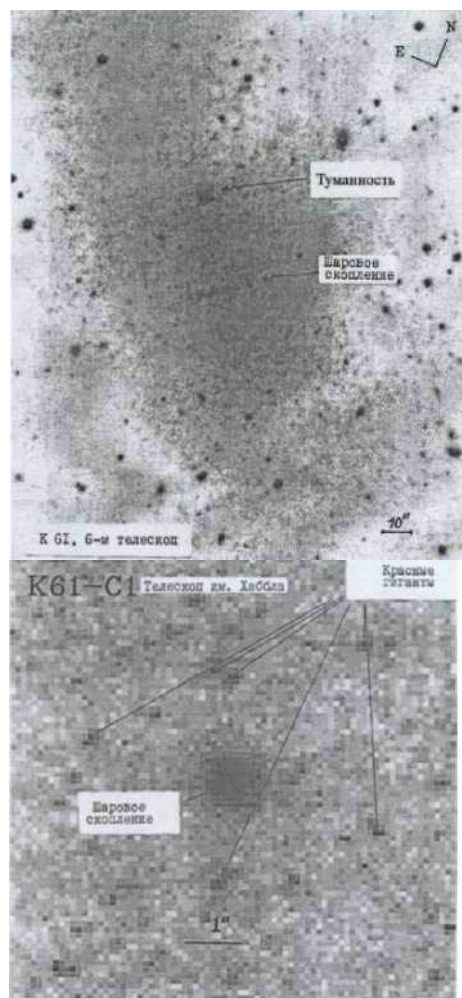
г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

10 класс

7. **Шаровое скопление в карликовой галактике.** Карликовая галактика К61 (открыта в 1968 г В. Караченцевой) - один из спутников гигантской спиральной галактики М81 в Большой Медведице. Как она выглядит, показывает снимок в красных лучах, сделанный с помощью 6-м телескопа САО (Рис.1), масштаб исходного снимка 1" в 1 мм. К61 выгодно отличается от других карликовых галактик наличием в ней большой газовой туманности (на северо-восточном краю яркой центральной области галактики) и шарового скопления (в центре). Более детальный снимок района шарового скопления получен с помощью космического телескопа им Хаббла (Рис 2). На нем, кроме шарового скопления (большое черное пятно в центре), видны отдельные ярчайшие звезды галактики - красные гиганты (маленькие черные квадратики). Их видимые величины $v \sim 25$. Расстояние до К61 составляет около 3,6 Мпк.

Задание.

- Оцените линейный размер шарового скопления и
 - его абсолютную звездную величину. Для приблизительной оценки яркости ее можно считать пропорциональной площади, засвеченной источником. Для этого не очень точного метода оценку можно (и разумно) производить в целых числах звездных величин.
 - По полученным Вами оценкам сравните шаровое скопление в К61 с шаровыми скоплениями нашей Галактики (их размеры от нескольких пс до сотен пс, абсолютные звездные величины M - от -5 до -9)
 - Чем, по-вашему, для исследования карликовой галактики удобно присутствие в ней шарового скопления и газовой туманности?
8. **Эллиптическая галактика.** Как выглядело бы звёздное небо, если бы мы жили в эллиптической галактике, соразмерной с нашей, на расстоянии 10 кпк от её центра? Какие отличия в звёздном составе нового неба по сравнению с нашим привычным Вы могли бы отметить?



X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Творческо-практический тур. Условия задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

11 класс

7. **Распределение галактик.** С помощью космического телескопа им. Хаббла было произведено фотографирование одной из областей неба (негатив подобной фотографии представлен, как пример, на рис. 1). По снимкам был произведен подсчет числа галактик $N(m)$, имеющих видимую интегральную величину ярче m (см. таблицу). Результаты подсчетов можно представить в степенном виде $N \sim r^D$, где r - радиус сектора, в котором произведены подсчеты. Параметр D называют «хаусдорфовой размерностью». Как правило, мы привыкли к тому, что эта размерность равна размерности вмещающего пространства, то есть трем (например, для молекул в воздухе).



Рис. 1

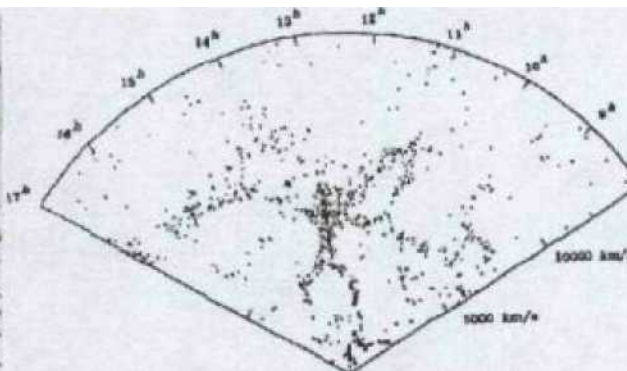


Рис. 2

1. Какие выводы о пространственном распределении галактик вдоль луча зрения можно сделать по этим данным?
2. Как хаусдорфова размерность в данном случае связана с масштабом расстояний и чем это можно объяснить?

Считать, что абсолютная звездная величина галактик одинакова и равна $-21m$. На рис. 2 представлен пример пространственного среза распределения галактик, который может быть полезен для понимания структуры этого распределения.

m	N	LgN
12	$1.58 \cdot 10^0$	0.20
13	$6.46 \cdot 10^0$	0.81
14	$2.47 \cdot 10^1$	1.39
15	$1.26 \cdot 10^2$	2.10
16	$4.18 \cdot 10^2$	2.62
17	$1.66 \cdot 10^3$	3.22
18	$5.85 \cdot 10^3$	3.77
19	$2.32 \cdot 10^4$	4.37
20	$6.12 \cdot 10^4$	4.79
21	$1.44 \cdot 10^5$	5.16
22	$3.71 \cdot 10^5$	5.57
23	$9.04 \cdot 10^5$	5.96
24	$2.32 \cdot 10^6$	6.37
25	$6.01 \cdot 10^6$	6.78
26	$1.51 \cdot 10^7$	7.18
27	$3.60 \cdot 10^7$	7.56
28	$9.71 \cdot 10^7$	7.99
29	$2.29 \cdot 10^8$	8.36
30	$7.55 \cdot 10^8$	8.88

8. **Эллиптическая галактика.** Как выглядело бы звёздное небо, если бы мы жили в эллиптической галактике, соразмерной с нашей, на расстоянии 10 кпк от её центра? Какие отличия в звёздном составе нового неба по сравнению с нашим привычным Вы могли бы отметить?

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

8 класс.

1. Марсианские звездчѣты (*М.Г. Гаврилов, 1999*).

Очевидно, что первые измерения расстояний, как до планет Солнечной системы, так и до ближайших звѣзд проводились методом измерения параллакса. При измерении таким методом важным параметром, который не зависит от уровня развития цивилизации, является "база", то есть расстояние между двумя точками, из которых могут вестись наблюдения за планетами и звѣздами.

При измерении расстояний в Солнечной системе используется горизонтальный (суточный) параллакс, максимальной базой для которого может быть экваториальный диаметр планеты. У марсиан он меньше, поэтому и измерения расстояний в Солнечной системе у них будут менее точными.

А при измерении расстояний до звѣзд используется годичный параллакс, максимальной базой для которого может быть диаметр орбиты планеты. У марсиан он в полтора раза больше, поэтому измерения расстояний до ближайших звѣзд марсиане могут проводить с точностью, в полтора раза большей, чем земляне.

2. Астрономические сумерки. (*М.Г. Гаврилов, 1988*).

Очевидно, что речь идёт о северном полушарии, поскольку в южном тоже есть такая территория, только граница у неё – северная. В наинижем положении Солнце оказывается во время его нижней кульминации, высота светила в этот момент определяется формулой

$$h = -(90^\circ - \varphi) + \delta,$$

где δ – склонение светила.

Очевидно, что на наименьшее угловое расстояние во время нижней кульминации Солнце опускается под горизонт тогда, когда склонение Солнца максимально и равно $\delta = \varepsilon = 23^\circ 26'$, то есть во время летнего солнцестояния.

Соответственно, широта южной границы территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году (ночь летнего солнцестояния) не прекращаются астрономические сумерки, определяется из написанной выше формулы, если подставить $h = -18^\circ$ и $\delta = 23^\circ 26'$.

$$\varphi = h + 90^\circ - \delta = -18^\circ + 90^\circ - 23^\circ 26' = 48^\circ 34'.$$

Это широта городов Волгоград, Луганск, Днепропетровск, Братислава, Вена...

3. XX век. Начало. (*М.Г. Гаврилов, 2000, редакция март 2003*).

Для того чтобы сравнить приведѣнные значения, переведѣм каждое из значений в знакомую нам систему СИ.

$$420000000 \text{ арш/с} = 420000000 \times 0,7112 \text{ м/с} = 298704 \text{ км/с}.$$

Из таблицы констант находим, что скорость света с большой точностью равна 299792 км/с. Поэтому, ошибка составляет

$$(299792 \text{ км/с} - 298704 \text{ км/с}) / 299792 \text{ км/с} = 0,0036 = 0,36 \text{ \%}.$$

Далее

$$1,2 \text{ фнт/врш}^3 = 1,2 \times 0,4095 / (0,7112)^3 \text{ кг/м}^3 = 5595 \text{ кг/м}^3.$$

Из таблицы Солнечной системы находим, что средняя плотность Земли равна 5515 кг/м³. Поэтому ошибка составляет

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

$$(5595 \text{ кг/м}^3 - 5515 \text{ кг/м}^3) / 5515 \text{ кг/м}^3 = 0,0145 = 1,45 \%$$

И, наконец,

$$4 \text{ млрд. вёрст} = 4000000000 \times 0,7112 \times 3 \times 500 \text{ м} = 4,2672 \text{ млрд. км.}$$

Среднее расстояние от Земли до планеты, очевидно, равно среднему расстоянию от Солнца до этой планеты. Из таблицы Солнечной системы находим, что расстояние до... А вот до чего? Если до Плутона, то 5,8689 млрд. км, и ошибка составляет 27 %. Что-то очень много по сравнению с двумя предыдущими ошибками. Но вспомним, что Плутон был открыт в 1930 году, а брошюра издавалась в самом начале прошлого века, то есть, тогда, когда самой далёкой известной планетой Солнечной системы был Нептун. Среднее расстояние до него - 4,4911 млрд. км, ошибка составляет

$$(4,4911 \text{ млрд.км} - 4,2672 \text{ млрд.км}) / 4,4911 \text{ млрд.км} = 0,05 = 5 \%$$

Как видим, в брошюре были приведены достаточно точные данные.

4. Тропический год. (В.В. Порфирьев, март 2003, обработка – М.Г. Гаврилов).

Истинные солнечные сутки – это промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями Солнца. Из-за неравномерности движения Земли по орбите их длительность не одинакова (летом они короче). Средние сутки равны средней продолжительности истинных суток за год. Поэтому в тропическом году равное количество средних и истинных суток (365,2422). Звёздных суток примерно на 1 больше. Кстати, почему "примерно", а не точно?

Конкретный календарный год (текущий 2003-й, например) по определению содержит целое число средних солнечных суток. В обычном году их 365. Для согласования длин тропического и календарного годов раз в 4 года вставляется лишний день (29 февраля). Такой год называется «високосным». Если точнее, то 3 раза за 400 лет правило «раз в 4 года» нарушается, високосный год как бы пропускается. То есть, в Григорианском календаре, которым мы пользуемся, в течение каждых 400 лет високосными являются 97. Таким образом, средняя продолжительность календарного года оказывается равной $365 + 97/400 = 365,2425$ суток. Ошибка в 1 день накапливается примерно за 3000 лет.

5. Искусственный спутник. (В.В. Порфирьев, март 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаврилов).

Рисунок сделан небрежно. Траектории снаряда не являются эллипсами. Условно ещё можно считать правильными траектории 1 и 2, поскольку по этому небольшому пути спутников трудно судить о правильности траекторий. Но у траекторий 3 и 4 большие полуоси овалов явно не проходят через центр Земли. У траектории 3 движение спутника происходит параллельно земной поверхности и в момент выстрела, и примерно через 90° , что невозможно. Траектория 4: «залетать» за точку, противоположную точке выстрела, снаряд не может. Если его скорость больше скорости, при которой снаряд попадает в эту точку, то снаряд выходит на замкнутую орбиту и возвращается к точке вылета.

6. Видимость планет. (О.С. Угольников, март 2003).

Находясь в наибольшей восточной элонгации, Меркурий движется по небу прямым движением (с запада на восток) со скоростью, равной скорости видимого движения Солнца (около 1 градуса в сутки). Юпитер, находясь недалеко от Солнца (рядом с Меркурием), тоже движется в прямом направлении, но с намного меньшей скоростью, то есть относительно Меркурия он движется с востока на запад. После соединения Юпитер находится к западу от Меркурия. Соединение Венеры и Меркурия происходит через сутки после соединения Меркурия и Юпитера, а Венеры и Юпитера - через двое суток. Значит, сначала Венера находилась на небе восточнее и Меркурия, и Юпитера, однако вскоре последовательно вступила с ними в соединения. Получаем, что скорость Венеры относительно Меркурия

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

примерно в два раза больше скорости Юпитера относительно Меркурия. Из этого можно сделать вывод, что Венера двигалась по небу попятно, приближаясь с востока к точке нижнего соединения с Солнцем, которое произойдет менее чем через месяц. Меркурий и Юпитер также исчезнут с вечернего неба уже через 1-2 недели. Следовательно, из этих трёх планет на вечернем небе через месяц не останется ни одной.

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

9 класс.

1. Марсианские звездчѣты (*М.Г. Гаврилов, 1999*).

Очевидно, что первые измерения расстояний, как до планет Солнечной системы, так и до ближайших звѣзд проводились методом измерения параллакса. При измерении таким методом важным параметром, который не зависит от уровня развития цивилизации, является "база", то есть расстояние между двумя точками, из которых могут вестись наблюдения за планетами и звѣздами.

При измерении расстояний в Солнечной системе используется горизонтальный (суточный) параллакс, максимальной базой для которого может быть экваториальный диаметр планеты. У марсиан он меньше, поэтому и измерения расстояний в Солнечной системе у них будут менее точными.

А при измерении расстояний до звѣзд используется годичный параллакс, максимальной базой для которого может быть диаметр орбиты планеты. У марсиан он в полтора раза больше, поэтому измерения расстояний до ближайших звѣзд марсиане могут проводить с точностью, в полтора раза большей, чем земляне.

2. Астрономические сумерки. (*М.Г. Гаврилов, 1988*).

Очевидно, что речь идёт о северном полушарии, поскольку в южном тоже есть такая территория, только граница у неё – северная. В наинижем положении Солнце оказывается во время его нижней кульминации, высота светила в этот момент определяется формулой

$$h = -(90^\circ - \varphi) + \delta,$$

где δ – склонение светила.

Очевидно, что на наименьшее угловое расстояние во время нижней кульминации Солнце опускается под горизонт тогда, когда склонение Солнца максимально и равно $\delta = \varepsilon = 23^\circ 26'$, то есть во время летнего солнцестояния.

Соответственно, широта южной границы территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году (ночь летнего солнцестояния) не прекращаются астрономические сумерки, определяется из написанной выше формулы, если подставить $h = -18^\circ$ и $\delta = 23^\circ 26'$.

$$\varphi = h + 90^\circ - \delta = -18^\circ + 90^\circ - 23^\circ 26' = 48^\circ 34'.$$

Это широта городов Волгоград, Луганск, Днепропетровск, Братислава, Вена...

3. XX век. Начало. (*М.Г. Гаврилов, 2000, редакция март 2003*).

Для того чтобы сравнить приведѣнные значения, переведѣм каждое из значений в знакомую нам систему СИ.

$$420000000 \text{ арш/с} = 420000000 \times 0,7112 \text{ м/с} = 298704 \text{ км/с}.$$

Из таблицы констант находим, что скорость света с большой точностью равна 299792 км/с. Поэтому, ошибка составляет

$$(299792 \text{ км/с} - 298704 \text{ км/с}) / 299792 \text{ км/с} = 0,0036 = 0,36 \text{ \%}.$$

Далее

$$1,2 \text{ фнт/врш}^3 = 1,2 \times 0,4095 / (0,7112)^3 \text{ кг/м}^3 = 5595 \text{ кг/м}^3.$$

Из таблицы Солнечной системы находим, что средняя плотность Земли равна 5515 кг/м³. Поэтому ошибка составляет

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

$$(5595 \text{ кг/м}^3 - 5515 \text{ кг/м}^3) / 5515 \text{ кг/м}^3 = 0,0145 = 1,45 \%$$

И, наконец,

$$4 \text{ млрд. вёрст} = 4000000000 \times 0,7112 \times 3 \times 500 \text{ м} = 4,2672 \text{ млрд. км.}$$

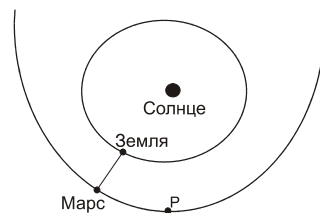
Среднее расстояние от Земли до планеты, очевидно, равно среднему расстоянию от Солнца до этой планеты. Из таблицы Солнечной системы находим, что расстояние до... А вот до чего? Если до Плутона, то 5,8689 млрд. км, и ошибка составляет 27 %. Что-то очень много по сравнению с двумя предыдущими ошибками. Но вспомним, что Плутон был открыт в 1930 году, а брошюра издавалась в самом начале прошлого века, то есть, тогда, когда самой далёкой известной планетой Солнечной системы был Нептун. Среднее расстояние до него - 4,4911 млрд. км, ошибка составляет

$$(4,4911 \text{ млрд.км} - 4,2672 \text{ млрд.км}) / 4,4911 \text{ млрд.км} = 0,05 = 5 \%$$

Как видим, в брошюре были приведены достаточно точные данные.

4. Великое противостояние. (О.С. Угольников, март 2003).

Для решения задачи необходимо вспомнить, что орбита Земли, как и орбита Марса, является эллиптической, и в конце августа Земля будет двигаться от точки афелия (начало июля) к точке перигелия (начало января). Из рисунка, на котором эксцентриситеты орбит Земли и Марса нарочно преувеличены, видно, что максимальное сближение двух планет может произойти, если противостояние Марса наступит несколько раньше прохождения этой планетой точки перигелия (точка Р на рисунке). Так оно и есть на самом деле: Марс пройдет перигелий через 2 дня после противостояния, 30 августа.



5. Блеск Луны. (А.К. Муртазов, февраль 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаврилов).

Приближённый расчёт "в целых числах" абсолютной звёздной величины (М) Луны можно провести, сравнив его с блеском в полнолуние (по таблице Солнечной системы $m = -12,7^m$). Освещаться Луна будет с того же расстояния 1 а. е., а вот наблюдатель удалится в (также находим это по таблице Солнечной системы) $1 / 0,00257 \approx 400$ раз. Следовательно, световой поток уменьшится примерно в $400^2 = 160000$ раз.

$$160000 = 16 \times 100 \times 100 \approx 2,5 \times 2,5 \times 2,5 \times 100 \times 100.$$

Это эквивалентно изменению звёздной величины на $1+1+1+5+5=13$.

Абсолютная звёздная величина Луны $M \approx -12,7^m + 13^m = +0,3^m$, с точностью до целого числа - "нулевая звёздная величина".

Более точный расчёт можно провести по формуле Погсона, считая что сумма расстояний Солнце-Земля (r) и Земля-Луна (R) практически равна 1 а. е. и зная, что видимая звёздная величина Луны в полнолуние составляет (по таблице Солнечной системы) $m=-12,7$. Величины r и R также можно взять из таблицы Солнечной системы.

Из формулы Погсона

$$m - M = -2,5 \cdot \lg(R/r)^2 = 5 \cdot \lg(r/R) = 5 \lg(0,00257) = -12,95^m \approx -13^m.$$

$$M = -12,7^m + 13^m$$

(Заметим, что и здесь проще взять не r и R по отдельности, а соотношение r/R.)

6. Видимость планет. (О.С. Угольников, март 2003).

Находясь в наибольшей восточной элонгации, Меркурий движется по небу прямым движением (с запада на восток) со скоростью, равной скорости видимого движения Солнца (около 1 градуса в сутки). Юпитер, находясь недалеко от Солнца (рядом с Меркурием), тоже движется в прямом направлении, но с намного меньшей скоростью, то есть относительно Меркурия он движется с востока на запад. После соединения Юпитер находится к западу от

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Меркурия. Соединение Венеры и Меркурия происходит через сутки после соединения Меркурия и Юпитера, а Венеры и Юпитера – через двое суток. Значит, сначала Венера находилась на небе восточнее и Меркурия, и Юпитера, однако вскоре последовательно вступила с ними в соединения. Получаем, что скорость Венеры относительно Меркурия примерно в два раза больше скорости Юпитера относительно Меркурия. Из этого можно сделать вывод, что Венера двигалась по небу попятно, приближаясь с востока к точке нижнего соединения с Солнцем, которое произойдет менее чем через месяц. Меркурий и Юпитер также исчезнут с вечернего неба уже через 1-2 недели. Следовательно, из этих трёх планет на вечернем небе через месяц не останется ни одной.

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

10 класс.

1. Фотометрия Солнца. (В.В. Чичмарь, март 2003).

Предполагаемое решение.

Непосредственные измерения мощности излучения Солнца затруднены, т. к. требуют точного определения коэффициента прозрачности земной атмосферы. Проще наблюдать планеты, освещённые солнечными лучами, и сравнивать их с блеском стандартных звёзд. Отношение световых потоков от планет и от звёзд не зависит от прозрачности атмосферы. Кроме того, большая яркость Солнца требует использование более сложных приборов при прямом измерении его яркости.

2. Гидирование. (В.В. Чичмарь, март 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаврилов).

На положение звёзд с большими зенитными расстояниями влияет рефракция атмосферы. Рефракция атмосферы "приподнимает" звёзды на небесной сфере относительно их истинных координат (уменьшает зенитное расстояние). Причём, чем ближе к горизонту, тем дальше наблюдаемое положение звёзд от их истинных координат.

Будем считать, что на малых зенитных расстояниях (то есть, далеко от горизонта) рефракцией земной атмосферы можно пренебречь и часовой механизм полностью отрабатывает изменение видимого положения звезды от времени, в дополнительном гидировании нет нужды.

Однако, при наблюдении звёзд вблизи горизонта дополнительное гидирование необходимо, поскольку в этом случае видимое положение звёзд существенно отличается от их истинных координат на небесной сфере. Часовой механизм телескопа отрабатывает суточное вращение Земли, но не отрабатывает изменение влияния рефракции земной атмосферы.

В западном сегменте неба благодаря рефракции видимое положение заходящей звезды всё более отличается от истинного, причём вектор его углового ускорения направлен против суточного движения телескопа. Даже зашедшую звезду мы наблюдаем ещё некоторое время потому, что земная атмосфера "приподнимает" её над горизонтом. Поэтому микрометрический винт должен замедлять перемещение телескопа в его суточном движении, причём чем ближе к горизонту, тем больше должна быть скорость этого компенсирующего движения (то есть, график скорости движения микрометрического винта при компенсирующем гидировании не является линейным).

В восточном сегменте неба благодаря рефракции видимое положение звезды при её восходе сильно отличается от истинного положения, но постепенно угловое расстояние между этими точками уменьшается, поскольку видимое движение звезды медленнее истинного. Микрометрический винт должен замедлять перемещение телескопа относительно его собственного суточного движения до тех пор, пока видимые и истинные координаты звёзд не совпадут. Такое движение также не является линейным. Чем выше звезда над горизонтом, тем меньше величина такой компенсации и скорость компенсирующего движения.

Кроме того, во всех случаях наблюдения звёзд у горизонта требуется компенсация не только по прямому восхождению, но и по склонению. Для наблюдений в южном и северном сегментах неба величина компенсации по склонению может быть весьма значительной по абсолютной величине, но её изменение в течение времени фотографирования – мало, поскольку звезда перемещается по небу горизонтально.

Собственно от времени наблюдения (утро, вечер) компенсирующая скорость микрометрического винта не зависит. Однако, есть тонкий эффект, из-за которого по сути такая зависимость есть.

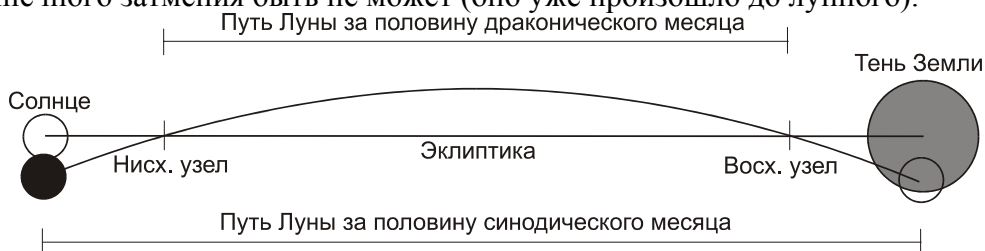
Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Дело в том, что угловое расстояние между видимым и истинным положениями звёзд зависит от коэффициента рефракции земной атмосферы, который, в свою очередь, зависит от температуры. Температура нижних слоев тропосферы в утренние и вечерние часы наблюдений разная, коэффициенты рефракции тоже разные. Поэтому графики компенсирующих скоростей микрометрического винта также должны быть разными.

Чем ниже температура, тем больше коэффициент рефракции; чем выше температура, тем ниже коэффициент рефракции. Поэтому, в утреннее время наблюдений "компенсирующая скорость" микрометрического винта также должна быть выше, чем в вечернее.

3. Затмения. (О.С. Угольников, март 2003).

Кратеры Коперник и Кеплер находятся в северном полушарии Луны, а кратер Тихо – в южном полушарии. Данное затмение было частным теневым с фазой, не меньшей 0,3-0,4, при этом Луна задела южную часть тени Земли. Такое затмение может произойти, если Луна не дошла нескольких градусов (около 5-6) до восходящего узла, или прошла на столько же далее нисходящего узла своей орбиты. Но, так как синодический полупериод обращения Луны (около 14,8 сут) больше, чем драконический (около 13,6 сут), то во втором из перечисленных случаев в ближайшее новолуние Луна уйдёт более чем на 18 градусов от восходящего узла орбиты, и солнечного затмения быть не может (оно уже произошло до лунного).

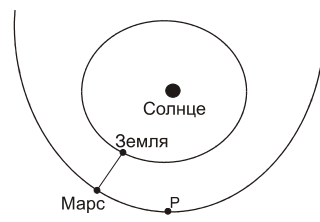


В первом же случае солнечное затмение произойдёт, и при этом Луна уже пройдёт нисходящий узел орбиты и окажется южнее эклиптики (см. рисунок). Данное затмение будет видно в южном полушарии Земли и не будет видно в северном полушарии, то есть, не будет видно и в России. (*)

Примечание (*): С той поправкой, что, конечно, затмение можно будет наблюдать с российских полярных станций в Антарктиде.

4. Великое противостояние. (О.С. Угольников, март 2003).

Для решения задачи необходимо вспомнить, что орбита Земли, как и орбита Марса, является эллиптической, и в конце августа Земля будет двигаться от точки афелия (начало июля) к точке перигелия (начало января). Из рисунка, на котором эксцентриситеты орбит Земли и Марса нарочно преувеличены, видно, что максимальное сближение двух планет может произойти, если противостояние Марса наступит несколько раньше прохождения этой планетой точки перигелия (точка Р на рисунке). Так оно и есть на самом деле: Марс пройдет перигелий через 2 дня после противостояния, 30 августа.



5. Блеск Луны. (А.К. Муртазов, февраль 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаврилов).

Приближённый расчёт "в целых числах" абсолютной звёздной величины (М) Луны можно провести, сравнив его с блеском в полнолуние (по таблице Солнечной системы $m = -12,7^m$). Освещаться Луна будет с того же расстояния 1 а. е., а вот наблюдатель удалится в (также находим это по таблице Солнечной системы) $1 / 0,00257 \approx 400$ раз. Следовательно световой поток уменьшится примерно в $400^2 = 160000$ раз.

$$160000 = 16 \times 100 \times 100 \approx 2,5 \times 2,5 \times 2,5 \times 100 \times 100.$$

Это эквивалентно изменению звёздной величины на $1+1+1+5+5=13$.

Абсолютная звёздная величина Луны $M \approx -12,7^m + 13^m = +0,3^m$, с точностью до целого числа - "нулевая звёздная величина".

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Более точный расчёт можно провести по формуле Погсона, считая что сумма расстояний Солнце-Земля (r) и Земля-Луна (R) практически равна 1 а. е. и зная, что видимая звёздная величина Луны в полнолуние составляет (по таблице Солнечной системы) $m = -12,7$. Величины r и R также можно взять из таблицы Солнечной системы.

Из формулы Погсона

$$m - M = -2,5 \cdot \lg(R/r)^2 = 5 \cdot \lg(r/R) = 5 \lg(0,00257) = -12,95^m \approx -13^m.$$

$$M = -12,7^m + 13^m$$

(Заметим, что и здесь проще взять не r и R по отдельности, а соотношение r/R .)

6. Похищение Луны. (Е.С.Божурова, М.Г.Гаврилов, март 2003).

Заметим, что во время лунного затмения Луна находится за Землей по отношению к Солнцу, это означает, что Земля расположена в этот момент ближе к Солнцу, чем центр масс системы Земля-Луна, а иными словами – ближе, чем на среднем расстоянии от Солнца. Кроме того, Луна движется относительно Земли в том же направлении, что и система Земля-Луна вокруг Солнца. Это означает, что Земля движется в обратном направлении относительно центра масс системы Земля-Луна. Следовательно, относительно Солнца скорость Земли в этот момент меньше, чем средняя (круговая).

Рассматривая любой из двух указанных факторов (то, что Земля в момент похищения Луны расположена ближе к Солнцу, и то, что её скорость – меньше средней), даже не учитывая другой, можно прийти к выводу, что новая орбита будет иметь меньшую полуось, а период обращения уменьшится. Действительно:

1. Уменьшилось расстояние до Солнца – если скорость не изменилась, то для нового положения она будет уже меньше круговой. То есть, Земля находится в афелии новой орбиты – большая полуось новой орбиты меньше, чем старой.

2. Уменьшилась скорость относительно Солнца – если расстояние не изменилось, то новая скорость будет меньше круговой. Земля находится в афелии новой орбиты – большая полуось новой орбиты меньше, чем старой.

Учитывая оба этих фактора, тем более получаем, что скорость Земли в момент похищения Луны, меньше круговой для той точки, где находится Земля. То есть, она находится в афелии новой орбиты. Таким образом, среднее расстояние от Земли до Солнца уменьшится и период обращения тоже уменьшится.

Примечание: количественно решение довольно сложно, ответы:

$$r_1 = 0,9991 \text{ а.е.} = 149,4 \text{ млн.км.}$$

$$T_1 = 364,8 \text{ суток.}$$

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Теоретический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

11 класс.

1. Фотометрия Солнца. (В.В. Чичмарь, март 2003).

Предполагаемое решение.

Непосредственные измерения мощности излучения Солнца затруднены, т. к. требуют точного определения коэффициента прозрачности земной атмосферы. Проще наблюдать планеты, освещённые солнечными лучами, и сравнивать их с блеском стандартных звёзд. Отношение световых потоков от планет и от звёзд не зависит от прозрачности атмосферы. Кроме того, большая яркость Солнца требует использование более сложных приборов при прямом измерении его яркости.

2. Гидирование. (В.В. Чичмарь, март 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаврилов).

На положение звёзд с большими зенитными расстояниями влияет рефракция атмосферы. Рефракция атмосферы "приподнимает" звёзды на небесной сфере относительно их истинных координат (уменьшает зенитное расстояние). Причём, чем ближе к горизонту, тем дальше наблюдаемое положение звёзд от их истинных координат.

Будем считать, что на малых зенитных расстояниях (то есть, далеко от горизонта) рефракцией земной атмосферы можно пренебречь и часовой механизм полностью отрабатывает изменение видимого положения звезды от времени, в дополнительном гидировании нет нужды.

Однако, при наблюдении звёзд вблизи горизонта дополнительное гидирование необходимо, поскольку в этом случае видимое положение звёзд существенно отличается от их истинных координат на небесной сфере. Часовой механизм телескопа отрабатывает суточное вращение Земли, но не отрабатывает изменение влияния рефракции земной атмосферы.

В западном сегменте неба благодаря рефракции видимое положение заходящей звезды всё более отличается от истинного, причём вектор его углового ускорения направлен против суточного движения телескопа. Даже зашедшую звезду мы наблюдаем ещё некоторое время потому, что земная атмосфера "приподнимает" её над горизонтом. Поэтому микрометрический винт должен замедлять перемещение телескопа в его суточном движении, причём чем ближе к горизонту, тем больше должна быть скорость этого компенсирующего движения (то есть, график скорости движения микрометрического винта при компенсирующем гидировании не является линейным).

В восточном сегменте неба благодаря рефракции видимое положение звезды при её восходе сильно отличается от истинного положения, но постепенно угловое расстояние между этими точками уменьшается, поскольку видимое движение звезды медленнее истинного. Микрометрический винт должен замедлять перемещение телескопа относительно его собственного суточного движения до тех пор, пока видимые и истинные координаты звёзд не совпадут. Такое движение также не является линейным. Чем выше звезда над горизонтом, тем меньше величина такой компенсации и скорость компенсирующего движения.

Кроме того, во всех случаях наблюдения звёзд у горизонта требуется компенсация не только по прямому восхождению, но и по склонению. Для наблюдений в южном и северном сегментах неба величина компенсации по склонению может быть весьма значительной по абсолютной величине, но её изменение в течение времени фотографирования – мало, поскольку звезда перемещается по небу горизонтально.

Собственно от времени наблюдения (утро, вечер) компенсирующая скорость микрометрического винта не зависит. Однако, есть тонкий эффект, из-за которого по сути такая зависимость есть.

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Дело в том, что угловое расстояние между видимым и истинным положениями звёзд зависит от коэффициента рефракции земной атмосферы, который, в свою очередь, зависит от температуры. Температура нижних слоев тропосферы в утренние и вечерние часы наблюдений разная, коэффициенты рефракции тоже разные. Поэтому графики компенсирующих скоростей микрометрического винта также должны быть разными.

Чем ниже температура, тем больше коэффициент рефракции; чем выше температура, тем ниже коэффициент рефракции. Поэтому, в утреннее время наблюдений "компенсирующая скорость" микрометрического винта также должна быть выше, чем в вечернее.

3. Затмения. (О.С. Угольников, март 2003).

Кратеры Коперник и Кеплер находятся в северном полушарии Луны, а кратер Тихо – в южном полушарии. Данное затмение было частным теневым с фазой, не меньшей 0,3-0,4, при этом Луна задела южную часть тени Земли. Такое затмение может произойти, если Луна не дошла нескольких градусов (около 5-6) до восходящего узла, или прошла на столько же далее нисходящего узла своей орбиты. Но, так как синодический полупериод обращения Луны (около 14,8 сут) больше, чем драконический (около 13,6 сут), то во втором из перечисленных случаев в ближайшее новолуние Луна уйдёт более чем на 18 градусов от восходящего узла орбиты, и солнечного затмения быть не может (оно уже произошло до лунного).



В первом же случае солнечное затмение произойдёт, и при этом Луна уже пройдёт нисходящий узел орбиты и окажется южнее эклиптики (см. рисунок). Данное затмение будет видно в южном полушарии Земли и не будет видно в северном полушарии, то есть, не будет видно и в России. (*)

Примечание (*): С той поправкой, что, конечно, затмение можно будет наблюдать с российских полярных станций в Антарктиде.

4. Внуки-путешественники. (Н.Н. Шахворостова, март 2003, обработка и дополнения – М.Г. Гаверилов).

Почему же опаздывает второй внук? Вероятно потому, что часы у него отстают. Почему же часы, шедшие абсолютно точно в течение многих десятилетий, вдруг стали отставать? Дело в том, что скорость хода маятниковых часов обратно пропорциональна периоду колебаний математического маятника, который является основным элементом таких часов. А период колебаний определяется формулой $T = 2\pi\sqrt{L/g}$, где L – длина маятника, а g – ускорение свободного падения. Возможно, конечно, что разные температурные условия на полюсе и экваторе привели к изменению длины маятника, но скорее всё дело в разнице ускорений свободного падения.

Ускорение свободного падения на экваторе меньше, чем на полюсе, сразу по двум причинам.

Во-первых, ускорение свободного падения на экваторе будет меньше за счёт центробежного ускорения на величину $\Delta g_1 = v^2/R$, где v – скорость вращения точки экватора, равная $2\pi R/T = 465$ м/с. Это приводит к относительному уменьшению ускорения силы тяжести на экваторе на величину $v^2/Rg = v^2R/GM = 0,00345 = 1/290$.

Во-вторых, Земля имеет сжатие, равное $\eta = 0,00335 = 1/298$ (см. таблицу Солнечной системы), что также уменьшает ускорение свободного падения на экваторе. Численно оценить это довольно сложно, но можно сделать оценки. Оценка снизу – ноль, сверху эта величина Δg_2

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

не превосходит $\left(\frac{GM}{R_n^2} - \frac{GM}{R_a^2}\right) \approx \frac{2GM\eta}{R^2} \approx 0,007g_0$, где M , R_n , R_a и R – масса, полярный, экваториальный и средний радиусы Земли. Реально, величина Δg_2 составляет $0,0018g_0$.

В итоге, относительное уменьшение ускорение силы тяжести на экваторе меньше, чем на полюсе, примерно на $0,52\%$.

Поскольку, как мы выяснили, скорость хода маятниковых часов пропорциональна Δg , часы на полюсе быстрее пройдут свой год, в результате покоритель полюса и исследователь Белых Медведей к радости бабушки прибудет раньше намеченного срока. А вот часы этнографа будут отставать, в результате он будет считать, что время Нового Года ещё не наступило.

Количественно разница хода часов на полюсе и экваторе равна $\Delta g/2g_0 = 0,26\%$. За год это составит примерно $0,95$ суток или $22,8$ часа. (Если решать задачу, не учитывая сплюснутость Земли, то, соответственно, $\Delta g_1/2g_0 = 0,172\%$, за год это составит примерно $0,63$ суток или около 15 часов). Вот сколько бабушке придётся волноваться, что там случилось со вторым внуком в далёкой Африке.

Примечание 1. Предполагается, что полным решением участника Олимпиады является правильное вычисление Δg_1 и связанных с этим последствий упоминание про Δg_2 из-за сплюснутости Земли.

Примечание 2. Эта задача является продолжением сюжетной линии задач о животных на астрономических олимпиадах. Ведь полярник попутно изучал вопрос задачи «Звёздный Мир» №340 (Олимпиада ННЦ 1989 года), проверял, сколь раз на самом деле могут любоваться полной луной белые медведи. А этнограф смотрел за правильностью расстановки по экватору жирафов и сусликов (задача Олимпиады ННЦ 2003 года).

Примечание 3. Вообще, хочется, наверно, узнать не только разницу прихода внуков, но и насколько один пришёл раньше Нового Года, и насколько второй опоздал. Точный расчёт говорит, что разница ускорений между экватором и Курском составляет 62% от общей разницы, а разница между Курском и полюсом – 38% . Поэтому полярник пришёл домой на 83 часа раньше Нового года, а этнограф опоздал на 14 часов.

Примечание 4. М-да... Ну с полярником понятно, у них там то полярный день, то полярная ночь, за временем особо не нужно следить. Но этнограф... У него же часы больше, чем на час в месяц отставали, то есть, по его часам и восходы, и заходы солнца каждые 26 дней происходили на час раньше! В результате, в начале июня солнце всходило "в полночь", а заходило - "в полдень". А к концу декабря - удивительно, но солнце всходило уже в 16 часов, а заходило в 4 утра! "Вот какие чудеса творятся в Африке, ни за что не поверите", - спешил поведать этнограф бабушке и брату о своих открытиях.

5. Астероид. (Н.И.Перов, февраль 2003, редакция – М.Г.Гаврилов, март 2003).

При равенстве потоков энергии, поглощённой от Солнца и излученной астероидом (как абсолютно чёрным телом):

$$Q_{\text{погл}} \sim Q_{\text{излуч}}$$

При этом, $Q_{\text{погл}} \sim r^{-2}$, а $Q_{\text{излуч}} \sim T^4$. Здесь r – гелиоцентрическое расстояние астероида, T – его температура (абсолютная, в Кельвинах). Из этих соотношений следует, что $T \sim r^{-1/2}$. Для перигелия $R_p = a(1-e)$, а для афелия $R_a = a(1+e)$, где a – большая полуось орбиты астероида, e – её эксцентриситет.

По закону Вина

$$\lambda_a / \lambda_p = T_p / T_a.$$

Из приведенных соотношений вытекает, что

$$(\lambda_a / \lambda_p)^2 = (1+e)/(1-e).$$

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Отсюда эксцентриситет равен

$$e = \frac{(\lambda_a / \lambda_n)^2 - 1}{(\lambda_a / \lambda_n)^2 + 1}$$

При $\lambda_a / \lambda_n = 3$, получаем

$$e = 0,8.$$

6. Похищение Луны. (Е.С.Божурова, М.Г.Гаврилов, февраль 2003, редакция – март 2003).

Вначале качественно поймём, увеличится или уменьшится большая полуось орбиты Земли и, соответственно, период её обращения вокруг Солнца. См. решение для 10 класса.

Для решения задачи количественно, кажется, что потребуется использовать довольно много величин, которые надо взять из таблицы Солнечной системы, а потом – много вычислять, используя эти данные. Однако, достаточно взять лишь три величины отношений, рекомендованные в условии, а именно, a , p и Y , чтобы получить относительные изменения для большой полуоси орбиты Земли и периода её обращения.

Обозначения:

$R_{зл}$ – среднее расстояние от Земли до Луны;

$R_0 = 149\,597\,870$ км – среднее расстояние от центра масс системы Земля-Луна до Солнца;

$a = R_{зл} / R_0 = 0,00257$ – отношение этих расстояний;

$p = M_l / M_3 = 0,0123$ – отношение масс Луны и Земли;

T_l – период обращения Луны вокруг Земли;

$T_0 = 365,256$ сут – период обращения системы Земля-Луна вокруг Солнца (звёздный год)

$Y = T_l / T_0 = 0,0748$ – отношение этих периодов;

V_0 – средняя орбитальная скорость системы Земля-Луна вокруг Солнца;

V_l – орбитальная скорость Луны вокруг Земли;

G – гравитационная постоянная;

M_0 – масса Солнца;

$GM_0 = V_0^2 R_0$.

Произведём некоторые вычисления:

Поскольку $V_0 = 2\pi R_0 / T_0$ и $V_l = 2\pi R_{зл} / T_l$, получаем $V_l / V_0 = a / Y$, или

$$V_l = V_0 \cdot a/Y;$$

$V_{зл} = V_l p = V_0 (ap/Y)$ – скорость Земли относительно центра масс системы Земля-Луна;

$V_{зс} = V_0 - V_{зл} = V_0 \cdot (1 - ap/Y)$ – скорость Земли относительно Солнца в момент лунного затмения;

$R_{зс} = R_0 - pR_{зл} = R_0 \cdot (1 - ap)$ – расстояние от Земли до Солнца в тот же момент.

В тот момент, когда змей похищает Луну, полная удельная энергия Земли становится равной

$$E_3 = V_{зс}^2 / 2 - GM_0 / R_{зс}$$

С другой стороны, для любого тела, обращающегося по эллиптической орбите (независимо от величины эксцентриситета), полная удельная энергия (то есть, энергия на единицу массы) определяется формулой

$$E = V_r^2 / 2 - GM_0 / r_1 = -GM_0 / 2r_1;$$

где r_1 – большая полуось орбиты (в данном случае – новой орбиты Земли, после того, как змей исчезает с Луной), $V_r = (GM_0 / r_1)^{1/2}$ – круговая скорость для движения по орбитам с большой полуосью r_1 . Приравняв энергии E_3 и E , получаем:

$$V_{зс}^2 / 2 - GM_0 / R_{зс} = -GM_0 / 2r_1, \text{ откуда}$$

$$1/r_1 = 2/R_{зс} - V_{зс}^2 / GM_0.$$

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

$$r_1 = 1 / (2/R_{зс} - V_{зс}^2 / V_o^2 R_o) = R_o / (2R_o / R_{зс} - V_{зс}^2 / V_o^2) = R_o / (2/(1 - ap) - (1-ap/Y)^2) = \\ = R_o / (2(1 + ap) / (1 - a^2p^2) - 1 + 2ap/Y - a^2p^2/Y^2)$$

Учитывая, что соотношения радиусов орбит и масс – параметры a и p , а также параметр ap/y – малы, пренебрегая вторыми порядками этих величин по сравнению с первыми, получаем:

$$r_1 = R_o / (2(1 + ap) - 1 + 2ap/y) = R_o / (1 - 2ap - 2ap/y) = R_o / (1 + 2ap(1 + 1/y))$$

Таким образом, большая полуось новой орбиты Земли будет равна:

$$r_1 = 0,99909 \text{ а.е.} = 149,46 \text{ млн.км.}$$

Новый орбитальный период Земли:

$$T_1 = 2\pi \cdot (r_1^3 / GM_o)^{1/2} = 364,76 \text{ суток.}$$

Таким образом, дракон съест не только Луну, но и полдня в году!

Кстати, возвращаясь к качественному решению. Величина $2ap$ в окончательном ответе связана с уменьшением расстояния до Солнца, а величина $2ap/y$ – с уменьшением скорости относительно Солнца.

Х Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Творческо-практический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

10 класс.

Ожидаемые ответы.

7. Шаровое скопление в карликовой галактике. (Е.Л.Ченцов, обработка - М.Г.Гаврилов).

Из рис.2: угловой диаметр скопления $\sim 0,5''$. При удалённости 3,6 Мпк это соответствует линейному диаметру

$$D = 3\,600\,000 \text{ пк} \times 0,5 / 200\,000 \approx 10 \text{ пк.}$$

Оценивая отношение яркостей скопления и красного гиганта по отношению площадей их изображений на Рис.2 (красный гигант засвечивает 1 клеточку, шаровое скопление – 50), получаем ~ 50 или около 4 звёздных величин. Тогда видимая величина скопления

$$m = 25 - 4 = 21.$$

(Примечание: точное значение 20,7.) Расстоянию 3,6 Мпс соответствует $(m-M) = 27,8$. Отсюда абсолютная величина скопления

$$M = 21 - 27,8 = -7.$$

Найденные D и M попадают в интервал их значений для Галактики.

Как видно из рис.1 и 2, поверхностная яркость карликовой галактики очень низка. Она недостаточна для получения спектра, т.е. для измерения лучевой скорости, определения химического состава и т.п. Но его позволяют получить яркие детали - шаровое скопление и газовая туманность.

X Российская олимпиада школьников по астрономии и физике космоса

Творческо-практический тур. Решения задач

г. Курск,
4-10 апреля 2003 г.

11 класс.

Ожидаемые ответы.

7. Распределение галактик. (Е.Б. Постников, обработка - М.Г. Гаврилов).

Прологарифмируем формулу $N \sim r^D$, получив зависимость:

$$\lg N \sim D \lg r + \text{const.} \quad (1)$$

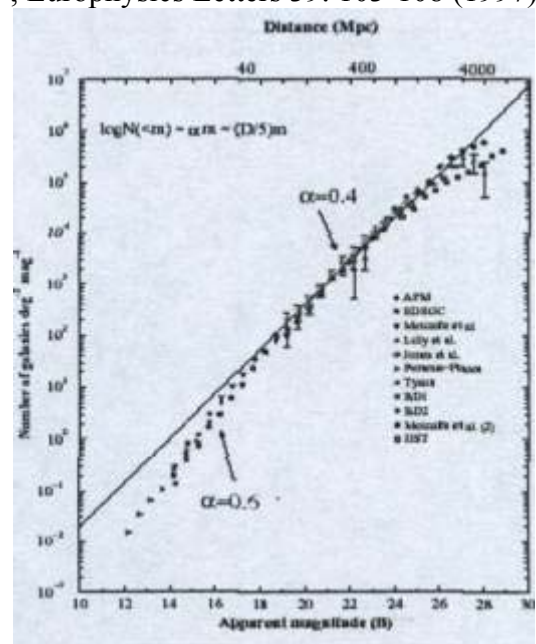
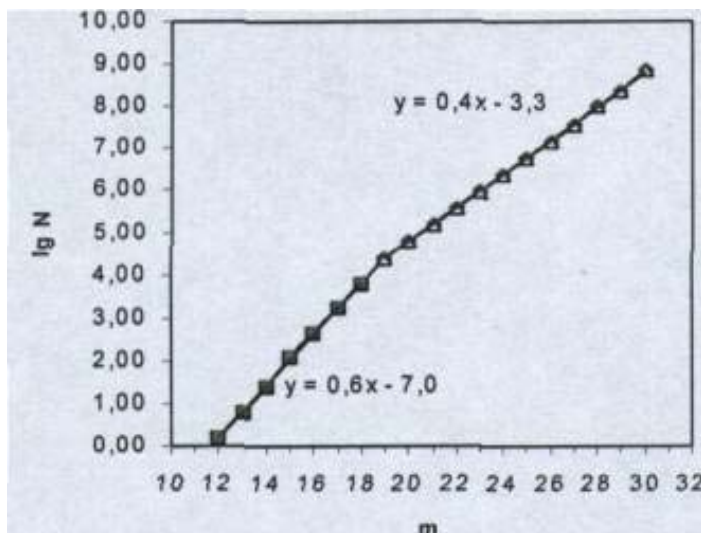
Тогда хаусдорфскую размерность можно найти как угловой коэффициент касательной, проведенной к графику в логарифмических координатах.

Видимая звездная величина связана с абсолютной формулой $m = M - 5 + 5 \lg r$, сравнивая с формулой (1), получаем

$$D = 5a,$$

где a - угловой коэффициент касательной $\lg N \sim a \lg d + \text{const.}$ Из графика (слева) видно, что в интервале 12-18 видимой звездной величины (близкие расстояния) размерность $D = 0,6 \cdot 5 = 3$, что совпадает с размерностью пространства, а в более крупных масштабах $D = 0,4 \cdot 5 = 2$, что говорит о разреженности (фрактальности) галактической структуры (Вселенная «разрежена»).

Справа - график из статьи М. Montuori, F. Sylos Labini, A. Gabrielli, A. Amid and L. Pietronero "Galaxy number counts and fractal correlations"; Europhysics Letters 39. 103-108 (1997)



Причины замедления роста $N(m)$ - а) космологические, б) эффекты селекции.