ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

ИНСТРУКЦИЯ

по работе жюри Регионального этапа

Всероссийской олимпиады школьников по астрономии 2011 года

Москва 2010

1. Обязанности жюри Регионального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии.

Региональный этап Всероссийской олимпиады проводится в виде независимых конкурсов в трех возрастных параллелях – 9, 10 и 11 класс. Жюри Регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии состоит их научных и педагогических работников, специализирующихся в области астрономии. Численность жюри должна составлять не менее 6 человек, оптимальный состав жюри – 10-12 человек. Председатель и заместитель председателя жюри назначаются органом управления образованием субъекта Российской Федерации. При формировании состава жюри орган управления образованием может воспользоваться рекомендациями Центрального оргкомитета Всероссийской олимпиады школьников и Методической комиссии по астрономии.

В ходе решения заданий олимпиадами участниками, продолжающегося в течение 4 часов, члены жюри должны несколько раз посетить аудитории и ответить на вопросы участников олимпиады по условиям заданий. Помимо этого, жюри проводит заседание, на котором распределяет задания каждой возрастной параллели. Член жюри, в ответственность которого попадает то или иное задание, должен проверить его решения у каждого участника олимпиады в возрастной параллели, строго руководствуясь приводимыми в данной инструкции критериями оценивания. Таким образом, достигается необходимая объективность проверки. В зависимости от численности жюри решение каждого задания проверяется одним или независимо двумя членами жюри. Во втором случае итоговая оценка получается усреднением двух независимых оценок.

Перед началом проверки оргкомитет производит шифровку работ участников и отделяет от них обложки с персональными данными участников. Жюри выставляет оценки на первые страницы работ.

Решение каждого задания оценивается по 8-балльной системе в соответствии с критериями, приводимыми в настоящей инструкции для каждого задания. Выставление оценки за решение задания, превышающей 8 баллов, на региональном этапе Всероссийской олимпиады по астрономии ***не допускается***.

Общая оценка участника получается суммированием оценок за решения всех шести заданий для возрастной параллели. Максимальная оценка за весь этап составляет 48 баллов. Наличие итоговых оценок более 48 баллов является ***грубым нарушением*** правил регионального этапа олимпиады по астрономии и может служить основанием для ***аннулирования*** его результатов в данном регионе.

Распределение участников по числу набранных баллов в каждой возрастной группе является основанием для определения победителей и призеров Регионального этапа олимпиады.

В соответствии с Положением о Всероссийской олимпиаде школьников, победителем Регионального этапа олимпиады в каждой из возрастных параллелей считается участник, набравший наибольшее количество баллов. В случае, если в какой-либо из возрастных параллелей двое или более участников набрали равное количество баллов, превосходящее число баллов, набранное другими участниками, их работы (без обложки с указанием персональных данных) возвращаются в жюри, каждый член которого независимо проверяет решение каждого из шести заданий. На основе этого выставляется новая усредненная оценка с учетом дробных баллов. Если после этой процедуры суммарное количество баллов вновь оказывается в точности равным, жюри проводит прения, на основе которых устанавливается единственный победитель, суммарная оценка которого должна быть больше, чем у других участников. Остальные участники, чьи работы перепроверялись, автоматически становятся призерами олимпиады, если их количество не превосходит 25% от общего числа участников в данной возрастной параллели.

Призерами Регионального этапа становятся участники, следующие в итоговом протоколе по возрастной группе за победителем. Количество призеров и минимальное количество баллов призера определяется на основе решения жюри. Данное решение учитывает особенности распределения участников по числу набранных баллов и должно отвечать следующим требованиям:

1. Победитель и все призеры в возрастной группе должны составлять не более 25% от числа участников в этой возрастной группе.
2. Призеры должны набрать не менее половины максимального количества баллов, т.е. не менее 24 баллов. Исключение делается в случае перепроверки ряда работ для определения победителя, описанном выше.

Решение жюри заносится в итоговый протокол, в котором также указываются оценки за каждое задание и суммарная оценка каждого участника. Протокол составляется отдельно для каждой из трех возрастных параллелей и подписывается председателем и всеми членами жюри.

2. Решения заданий Регионального этапа и система оценивания каждого задания.

11 класс

1. Условие. Сколько звездных суток проходит между двумя последовательными геоцентрическими соединениями Луны с некоторой звездой вблизи эклиптики?

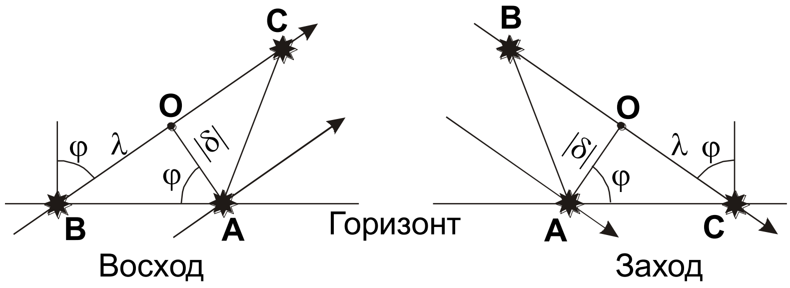
1. Решение. По определению, звездный (сидерический) период обращения Луны T_2 есть период времени между двумя последовательными геоцентрическими соединениями Луны с какой-либо звездой. Этот период равен 27.3217 солнечных суток. Звездные сутки T_1 – период осевого вращения Земли относительно далеких звезд или, то же самое, промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями одной и той же звезды в некотором пункте Земли. Вследствие орбитального движения Земли данный период несколько меньше солнечных суток – один год содержит на одни звездные сутки больше, чем солнечные. Продолжительность звездных суток составляет 23 часа 56 минут 04 секунды или 0.99727 обычных (солнечных) суток. Число звездных суток в звездном месяце равно

$$N = \frac{T_2}{T_1} = 27.396.$$

1. Рекомендации для жюри. Для решения задания участники должны установить, какой период времени проходит между двумя соединениями Луны со звездой – звездный период обращения Луны. Данный вывод оценивается в 3 балла. Далее школьники должны указать длительность звездных суток. Это также оценивается 3 баллами (при указании периода в 24 часа данные 3 балла не выставляется). Наконец, получение ответа на задачу оценивается в 2 балла.

2. Условие. При наблюдении с широты +55° звезда **A** со склонением –2° взошла одновременно со звездой **B**, а зашла одновременно со звездой **C**. Чему равна разность прямых восхождений звезд **B** и **C**, если они находятся на небесном экваторе? Рефракцией пренебречь.

2. Решение. Изобразим конфигурацию звезд во время восхода и захода звезды **A**. Очевидно, что угловые расстояния между звездами невелики, и картину можно считать плоской.



Обозначим через **O** точку небесного экватора, имеющую то же прямое восхождение, что и звезда **A**. Тогда точка **O** и звезда **A** лежат на одном круге склонения. Соединяющий их отрезок **OA** перпендикулярен проекции небесного экватора на картинную плоскость, содержащей саму точку **O** и звезды **B** и **C**. Длина отрезка **OA** равна модулю склонения звезды **A**, $|\delta|$. Из рисунка видно, что при восходе и заходе этот отрезок образует с горизонтом угол, равный широте места наблюдения φ. Получаем:

$$\lambda = \mathbf{OB} = \mathbf{OC} = |\delta| \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\mathbf{BC} = 2\lambda = 2\,|\delta| \operatorname{tg} \varphi = 5.7°.$$

Переводя эту величину в часовую меру, в которой обычно выражается прямое восхождение, получаем 23 минуты. Звезда **B** восходит и заходит позже звезды **C**, и ее прямое восхождение на 23 минуты больше, чем у звезды **C**.

2. Рекомендации для жюри. Для решения задачи необходимо представление о взаимном расположении звезд **A**, **B** и **C** на небе. Наиболее наглядно это представление отображается на рисунке. Правильное выполнение этой части оценивается в 5 баллов. Вычислительная часть решения оценивается в 3 балла.

При проверке решения необходимо иметь ввиду, что задача может быть решена другими способами (в частности, вычислением часового угла восхода и захода звезды **A** на данной широте методами сферической тригонометрии), что тоже допустимо и оценивается максимальным баллом при условии правильного выполнения.

3. Условие. В период задымления от лесных пожаров в центральной России летом 2010 года наблюдатель заметил, что Солнце на высоте 20° над горизонтом имело ту же видимую яркость, какая бывает у полной Луны вблизи зенита на ясном небе при чистой атмосфере. Исходя из этого, оцените суммарную массу дымовых частиц, находившихся над одним квадратным метром земной поверхности в этих районах. Считать, что поглощение света в чистой атмосфере в зените равно 0.2^m, а дым состоит из черных частиц радиусом 1 мкм и плотностью 0.6 г/см^3.

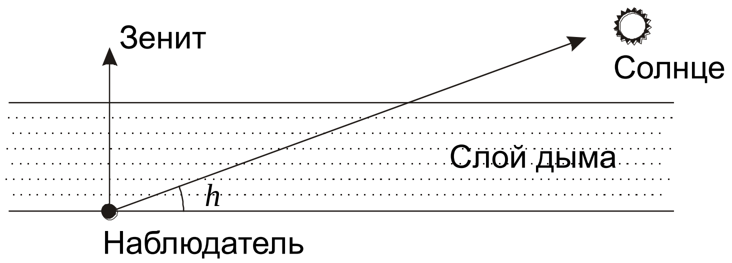
Также считать, что поглощение света соответствует законам геометрической оптики (дифракцией на частицах пренебречь).

3. Решение. Звездная величина Солнца при отсутствии атмосферного поглощения составляет –26.8^m, а звездная величина полной Луны в тех же условиях составляет –12.7^m. Вблизи зенита атмосферное поглощение делает Луну слабее на 0.2^m, то есть ее блеск становится равным –12.5^m. Такой же блеск оказался у Солнца на высоте *h* (20°) над горизонтом в задымленной атмосфере. Величина поглощения солнечного излучения составила

$$m_h = -12.5 - (-26.8) = 14.3^m.$$

Для высоты 20°, учитывая оценочный характер задачи, вполне можно использовать плоскопараллельную модель атмосферы (см. рисунок). Атмосфера разделяется на горизонтальные слои, в каждом из которых поглощение пропорционально длине пути луча света сквозь слой. Тогда поглощение света в зените будет равно

$$m = m_h \sin h = 4.9^m.$$



При наличии в атмосфере нескольких поглощающих компонент соответствующие величины поглощения складываются. Из полученной величины 4.9^m на долю чистого атмосферного воздуха приходится 0.2^m. Остальные 4.7^m (обозначим эту величину m_S) связаны с дымом.

Как известно, поглощение на 1^m соответствует уменьшению яркости в $10^{0.4}$ или 2.512 раза. Учитывая это, мы можем перевести величину m_S в значение вертикальной оптической толщины дыма:

$$\tau_S = \ln(10^{0.4 \cdot m_S}) = \ln(10^{0.4}) \cdot m_S = 0.921 \cdot m_S = 4.3.$$

Смысл данной величины в данном случае заключается в том, что среднее число дымовых частиц, которые окажутся на пути вертикального луча света, составляет 4.3.

Каждая частица дыма создает для излучения заслон площадью $\sigma = \pi r^2$, где r – радиус частицы. Над площадью S на поверхности Земли будет находиться N частиц с выполнением условия:

$$N \cdot \sigma = S \cdot \tau_S,$$

то есть, дымовые частицы будут «накрывать» поверхность Земли 4.3 слоями. Отсюда мы получаем

$$N = \frac{S \cdot \tau_S}{\sigma} = \frac{S \cdot \tau_S}{\pi r^2}.$$

Чтобы получить суммарную массу, нужно полученное число умножить на массу одной частицы:

$$M = N \cdot \frac{4}{3}\pi\rho\, r^3 = \frac{4}{3} S \cdot \tau_S \cdot \rho \cdot r.$$

Здесь ρ – плотность частиц. Подставляя численные данные, получаем 1.7 грамм на один квадратный метр поверхности Земли. Столь небольшая масса дыма создает сильный оптический (и не только) эффект благодаря тому, что эта масса распределена среди огромного количества мелких частиц.

3. Рекомендации для жюри. Первая часть задачи состоит в определении поглощения света на высоте 20° в задымленной атмосфере. Это оценивается в 1 балл, причем учет поглощения света в чистой атмосфере не является обязательным. Переход к поглощению в зените оценивается еще в 2 балла. Переход к величине оптической толщины оценивается в 1 балл. Правильное представление оптической толщины как среднего количества дымовых частиц на луче оценивается в 2 балла. Окончательное вычисление массы дыма оценивается в 2 балла.

4. Условие. Двойная звезда состоит из одинаковых компонент солнечного типа, обращающихся по круговой орбите вокруг общего центра масс. Система является затменной переменной, а линия водорода Hα (6563 Å) каждые 5 лет сначала раздваивается на 1.0 Å, а потом вновь сливается воедино. Чему равно расстояние между звездами?

4. Решение. Так как система является затменной переменной, звезды периодически оказываются на одном луче зрения одна за другой. При этом звезды не являются гигантами, а система – не тесная (на это указывает период спектральных изменений). Следовательно, плоскость орбит звезд образует малый угол с лучом зрения. Во время затмений звезды будут иметь равные лучевые скорости относительно Земли, и линии от обеих звезд в спектре системы сольются воедино. Однако, через четверть орбитального периода одна из звезд будет двигаться с орбитальной скоростью v в сторону Земли, а другая – с той же скоростью от Земли. Разница их лучевых скоростей составит $2v$. Разница наблюдаемых длин волн линии Hα в спектрах звезд составит

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot (1+\frac{v}{c}) - \lambda \cdot (1-\frac{v}{c}) = \lambda \cdot \frac{2v}{c}.$$

Здесь λ – длина волны линии Hα, c – скорость света. Отсюда можно вычислить орбитальную скорость звезд:

$$v = c\frac{\Delta\lambda}{2\lambda},$$

что составляет 23 км/с. Максимальное расхождение линий наблюдается дважды за орбитальный период T, который, таким образом, составляет 10 лет. Радиус орбиты каждой из звезд составляет

$$R = \frac{v \cdot T}{2\pi} = 7.7 \text{ а.е.}$$

Расстояние между звездами есть удвоенная величина радиуса – около 15 а.е. Система действительно не является тесной, расстояние между звездами значительно больше их размеров.

4. Рекомендации для жюри. Для решения задачи нужно указать, что плоскость орбит системы образует малый угол с лучом зрения. Этот вывод оценивается в 1 балл. Далее необходимо сделать вывод, что в определенный момент времени скорость одной из звезд будет направлена к наблюдателю, а другой – от него. Этот вывод также оценивается в 1 балл. Вычисление орбитальной скорости оценивается в 2 балла. Еще 2 балла выставляется за правильное определение периода обращения, как удвоенного периода расхождения спектральных линий. Оставшиеся 2 балла выставляются за вычисление расстояния между звездами.

5. Условие. Угловой диаметр звезды Бетельгейзе составляет 0.047″, а ее болометрическая звездная величина -2^m. Найти эффективную температуру Бетельгейзе.

5. Решение и рекомендации для жюри. См. задачу 5 для 10 класса.

6. Условие. Скопление галактик имеет видимый диаметр 1° и состоит из 1000 галактик, похожих на нашу Галактику. Красное смещение скопления равно 0.1. Оцените, с какой частотой в этом скоплении будут происходить столкновения галактик.

6. Решение. Красное смещение скопления галактик z сравнительно невелико. Скорость удаления скопления от нас составляет

$$v = c \cdot z = 30000 \text{ км/с}.$$

Здесь c – скорость света. По закону Хаббла мы можем определить расстояние до скопления

$$L = \frac{v}{H} = \frac{c \cdot z}{H}.$$

Здесь H – постоянная Хаббла. Расстояние получается равным 420 Мпк. Считая для простоты скопление шарообразным, мы можем также определить его радиус:

$$R = \frac{L \cdot \delta}{2} = \frac{c \cdot z \cdot \delta}{2H}.$$

Здесь δ – угловой диаметр скопления, выраженный в радианах. Радиус скопления галактик равен 3.5 Мпк или 10^{23} м.

Скопления галактик гравитационно связаны. Этот факт позволяет нам оценить характерные скорости галактик в скоплении как примерно равные первой космической скорости на краю скопления:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{GNm}{R}}.$$

Здесь M – масса всего скопления, N – число галактик в нем, m – масса одной галактики. Так как по условию задачи галактики похожи на нашу Галактику, примем их массу за 10^{12} масс Солнца или $2 \cdot 10^{42}$ кг. Величина скорости получается равной около 1000 км/с. Направления движения галактик самые разные, и характерную относительную скорость галактик друг мимо друга мы можем считать такой же.

Для оценки частоты столкновений примем, что радиус каждой галактики r составляет 20 кпк или $6 \cdot 10^{20}$ м. Это подходит и к спиральным галактикам наподобие нашей, так как они имеют сферическое гало подобного радиуса. Для того, чтобы произошло столкновение, центрам галактик достаточно оказаться на расстоянии $2r$ друг от друга. Поэтому для вычисления частоты столкновений одной конкретной галактики со всеми другими мы можем принять ее радиус равным $2r$ и скорость v, а остальные галактики считать точечными и неподвижными. Концентрация этих галактик составит

$$n = \frac{N}{V_0} = \frac{3N}{4\pi R^3}.$$

Здесь V_0 – объем скопления галактик. За время T галактика, которую мы рассматриваем, в своем движении прочертит цилиндр с объемом

$$V = 4\pi r^2 vT.$$

Характерное время столкновения для одной галактики – это такая величина T, при котором в объем V попадет ровно одна другая (точечная) галактика, то есть:

$$n \cdot V = 4\pi r^2 vT \, \frac{3N}{4\pi R^3} = 1.$$

Отсюда

$$T = \frac{R^3}{3Nr^2 v}.$$

Численная подстановка дает нам значение 10^{18} секунд или $3 \cdot 10^{10}$ лет. По порядку величины это сравнимо с возрастом Вселенной. Однако данный временной отрезок характеризует лишь столкновения одной конкретной галактики со всеми остальными. Если же просуммировать все возможные попарные столкновения галактик, то, очевидно, они будут происходить в (N/2) раз чаще. Характерный интервал между столкновениями составит

$$T_0 = \frac{2T}{N} = \frac{2R^3}{3N^2 r^2 v}$$

или $6 \cdot 10^7$ лет. Это уже значительно меньше характерного возраста Вселенной и самих галактик. Поэтому столкновения происходят в скоплении в достаточно большом количестве. Более того, само время столкновения (равное $4r/v$) имеет тот же порядок величины. Следовательно, с большой вероятностью в настоящий момент в скоплении протекает хотя бы одно столкновение галактик.

6. Рекомендации для жюри. Решение задания начинается с вычисления расстояния до скопления галактик (оценивается в 1 балл) и его радиуса (еще 1 балл). Все дальнейшие вычисления в задаче являются приближенными, участники могут использовать свои модельные предположения, которые оцениваются в зависимости от степени адекватности. Это относится, в частности, к оценке величины относительных скоростей, которые в других моделях могут отличаться в 2-3 раза от взятой выше первой космической скорости. За приемлемую оценку скорости выставляется 2 балла. Дальнейшее вычисление частоты столкновений оценивается в 4 балла, причем если вначале оценивается частота для одной галактики, то за это ставится 2 балла, а еще 2 балла выставляется за переход ко всем галактикам скопления. Необходимо обратить внимание, что участники олимпиады могут формально подойти к понятию «частота» в вопросе задачи и написать в ответе $2 \cdot 10^{-8}$ лет$^{-1}$, $5 \cdot 10^{-16}$ Гц или близкую к тому величину, что также считается правильным.

3. Общие рекомендации для жюри.

Решение каждой задачи, выполненное участником олимпиады, оценивается по 8-балльной системе. При оценивании решения необходимо уделять первостепенное внимание не на ответ и его соответствие правильному ответу, а на ход решения, степень понимания участником сути картины, описанной в условии задачи, правильности и обоснованности физических и логических рассуждений. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2-3 баллов даже при формально правильном ответе. При этом члену жюри необходимо учитывать то, что некоторые из задач имеют несколько верных способов решения, обоснованно приводящих к правильному ответу, и использование иного способа необходимо отличать от неверного решения.

С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1-2 балла, если только ответ не получается заведомо неверный, абсурдный с точки зрения здравого смысла. В последнем случае оценка может быть существенно снижена в зависимости от абсурдности ответа, не замеченной участником олимпиады.