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.

10 класс

1. Условие. Что такое звездные сутки, звездный месяц, звездный год? Сколько звездных суток и звездных месяцев содержится в одном звездном годе?

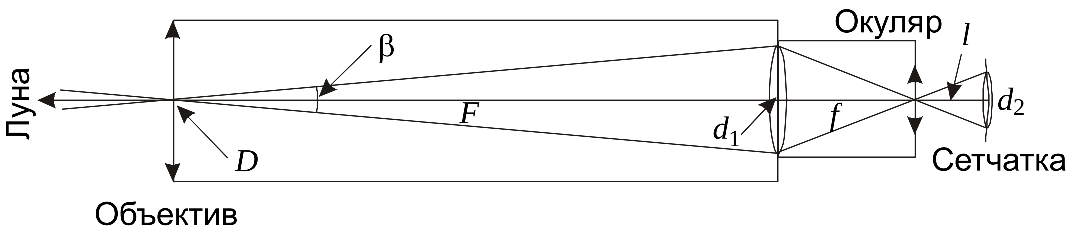
1. Решение и рекомендации для жюри. См. задачу 1 для 9 класса.

2. Условие. Наблюдатель в северном полушарии наблюдал звезду в верхней кульминации на высоте 80°. Сместившись на юг на 2000 км, он увидел ту же звезду в верхней кульминации на высоте 82°. На какой высоте увидит наблюдатель эту же звезду в верхней кульминации после того, как сместится на юг еще на 2000 км?

2. Решение и рекомендации для жюри. См. задачу 2 для 9 класса.

3. Условие. Астроном наблюдает полную Луну в два телескопа с одинаковыми окулярами с фокусным расстоянием 2.5 см. Объектив первого телескопа имеет диаметр 5 см и фокусное расстояние 1 метр. Второй телескоп имеет объектив диаметром 50 см с фокусным расстоянием 5 метров. Центр диска Луны совпадает с центром поля зрения. Сравните освещенность центральной части глазного дна наблюдателя в обоих случаях.

3. Решение. Построим оптическую схему системы «телескоп – глаз наблюдателя».



Обозначим диаметр объектива через D. На него в единицу времени будет падать световая энергия от Луны в количестве

$$J = I_0 \frac{\pi D^2}{4},$$

где I_0 – поток энергии от полной Луны на Земле. Захваченное объективом излучение будет передаваться на фокальную плоскость, в которой получится изображение диска Луны диаметром

$$d_1 = \beta F,$$

где β – угловой диаметр Луны, а F – фокусное расстояние объектива. Освещенность в центре изображения будет равна

$$S_1 = \frac{4J}{\pi d_1^2} = 4I_0 \frac{D^2}{\beta^2 F^2}.$$

Далее свет проходит систему из окуляра с фокусным расстоянием f и глаза с фокусным расстоянием l. Чтобы весь свет попал в глаз, диаметр выходного пучка δ не должен превышать диаметр зрачка глаза, равный 6 мм. Для диаметра выходного пучка справедливо выражение

$$\delta = D\frac{f}{F}.$$

Для двух рассматриваемых телескопов диаметр выходного пучка получается равным соответственно 1.25 и 2.5 мм, что удовлетворяет указанному условию. В этом случае на сетчатке формируется еще одно изображение диска Луны с размером

$$d_2 = \frac{d_1 l}{f} = \frac{\beta F l}{f}$$

и освещенностью в центре

$$S_2 = \frac{4J}{\pi d_2^2} = 4I_0 \frac{D^2 f^2}{\beta^2 F^2 l^2}.$$

Так как речь идет о центре поля зрения, данная величина не зависит от величины поля зрения окуляра. Отношение величин освещенности сетчатки для первого и второго телескопов составит

$$\frac{S_{21}}{S_{22}} = \frac{D_1^2 F_2^2}{D_2^2 F_1^2} = \frac{1}{4}.$$

Освещенность при использовании второго телескопа будет вчетверо больше, чем при использовании первого телескопа.

3. Рекомендации для жюри. На первом этапе решения участники олимпиады должны установить, что освещенность в центре изображения Луны в фокальной плоскости объектива пропорционально квадрату отношения диаметра и фокусного расстояния объектива $(D/F)^2$. При этом точная запись самого выражения для освещенности не является обязательной, достаточно лишь установить указанную пропорциональность. Данный вывод оценивается в 3 балла. Далее участники олимпиады должны убедиться, что при использовании указанного окуляра выходной пучок будет уже зрачка глаза, и потери света не произойдет. Этот вывод оценивается в 1 балл. Вывод о том, что освещенность в центре изображения Луны на сетчатке будет также пропорциональна $(D/F)^2$, оценивается в 2 балла. Наконец, получение отношения величин освещенности для двух телескопов оценивается еще в 2 балла.

4. Условие. Звезда движется относительно Солнца под углом 45° к лучу зрения. При этом ее гелиоцентрическая лучевая скорость равна 20 км/с, а собственное движение – 0.10″ в год. Чему равен тригонометрический параллакс звезды?

4. Решение. Так как звезда движется под углом 45° к лучу зрения, ее лучевая и тангенциальная скорость по модулю равны друг другу, тангенциальная скорость также составляет 20 км/с. Этот вывод в равной степени справедлив как для приближающейся, так и для удаляющейся звезды.

Так как 1 астрономическая единица равна $1.496{\cdot}10^8$ км, а год – $3.156{\cdot}10^7$ секунд, скорость 20 км/с соответствует 4.22 а.е. в год. Получается, что расстояние в 4.22 а.е. видно с Земли под углом 0.10″. Следовательно, звезда удалена от нас на 42.2 парсека, а ее тригонометрический параллакс (угол, под которым видно расстояние в 1 а.е.) составляет (0.10″/4.22) или 0.024″.

4. Рекомендации для жюри. В начале решения задачи школьники должны установить, что тангенциальная скорость звезды по модулю равна лучевой. Этот вывод оценивается в 2 балла. Правильный перевод величины тангенциальной скорости в а.е. в год (численно либо в виде формулы) оценивается в 3 балла. Окончательное вычисление величины геометрического параллакса оценивается еще в 3 балла. Следует обратить внимание, что участники могут использовать другие подходы к решению, например, выписывать уравнения с неизвестным значением расстояния до звезды либо ее тригонометрического параллакса.

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

5. Решение. Сравним светимости Бетельгейзе (L) и Солнца (L_0), пользуясь законом Стефана-Больцмана:

$$\frac{L}{L_0}=\left(\frac{R}{R_0}\right)^2\left(\frac{T}{T_0}\right)^4.$$

Здесь R и T – радиус и температура поверхности Бетельгейзе, R_0 и T_0 – радиус и температура поверхности Солнца. Потоки энергии от Бетельгейзе и Солнца на Земле составят

$$F=\frac{L}{4\pi D^2};\quad F_0=\frac{L_0}{4\pi D_0^2}.$$

Здесь D и D_0 – расстояния до Бетельгейзе и Солнца. Болометрическая звездная величина есть характеристика суммарного потока энергии от звезды во всех диапазонах электромагнитного спектра. В соответствии с формулой Погсона разница звездных величин Бетельгейзе и Солнца равна

$$m-m_0=-2.5\lg\frac{F}{F_0}=-2.5\lg\frac{L}{L_0}\left(\frac{D_0}{D}\right)^2=-10\lg\frac{T}{T_0}-5\lg\left(\frac{R}{D}\cdot\frac{D_0}{R_0}\right)=-10\lg\frac{T}{T_0}-5\lg\left(\frac{r}{r_0}\right).$$

Здесь r и r_0 – видимые радиусы Бетельгейзе и Солнца. Отсюда

$$\frac{T}{T_0}=\left(\frac{r_0}{r}\right)^{1/2}10^{0.1(m_0-m)}.$$

Болометрическая звездная величина Солнца (-26.8^{m}) практически не отличается от видимой, что характерно для зеленоватых и желтых звезд. Подставляя численные значения, получаем температуру Бетельгейзе: около 3900 K.

Тот же самый результат можно получить и более простым способом. Для этого нужно вспомнить, что поверхностная яркость звезды (яркость, деленная на видимую площадь диска) не зависит от расстояния до нее и определяется только эффективной температурой звезды, точнее, пропорциональна четвертой степени температуры. Отношение поверхностных яркостей Бетельгейзе и Солнца составляет

$$\frac{j}{j_0} = \left(\frac{J}{r^2}\right) / \left(\frac{J_0}{r_0^2}\right) = 10^{0.4(m_0 - m)} \frac{r_0^2}{r^2}.$$

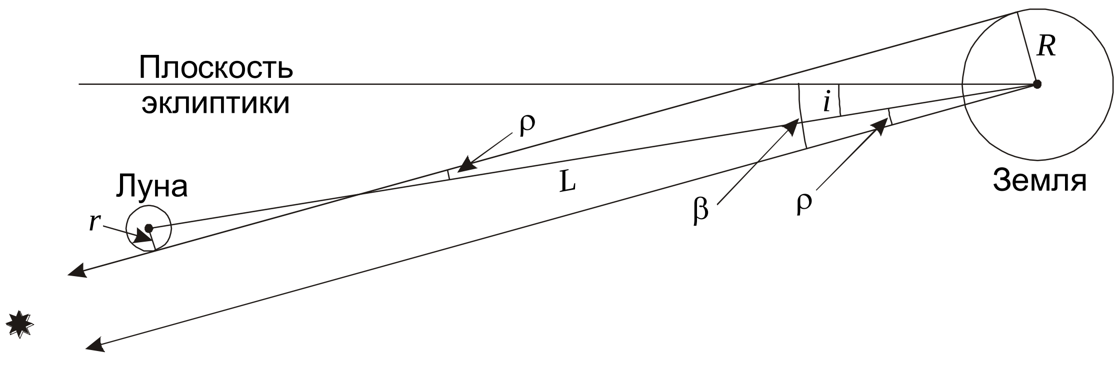
Здесь J и J_0 – значения болометрической яркости Бетельгейзе и Солнца при наблюдении с Земли. Беря корень 4-й степени из последнего выражения, получаем ту же формулу:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^{1/2} 10^{0.1(m_0 - m)}.$$

5. Рекомендации для жюри. Основой решения задачи является применение закона Стефана-Больцмана. Его можно использовать в классическом виде, записывая выражение для светимости звезды, можно также напрямую связывать через него температуру с поверхностной яркостью. Вне зависимости от этого, использование закона Стефана-Больцмана оценивается в 3 балла. Еще 1 балл выставляется за правильное понимание смысла болометрической звездной величины (при этом введение болометрической поправки к звездной величине Солнца не является обязательным). Правильный вывод связи звездных величин, видимых радиусов и температур оценивается в 3 балла. Еще 1 балл выставляется за вычисление и формулировку окончательного ответа.

6. Условие. На небе около 6000 звезд, видимых невооруженным глазом. Считая, что они распределены по небу равномерно, оцените, сколько из них могут покрываться Луной при наблюдении с Земли.

6. Решение. Плоскость орбиты Луны образует сравнительно небольшой угол с плоскостью орбиты Земли (плоскостью эклиптики), поэтому при наблюдении с Земли Луна может закрывать собой звезды, находящиеся неподалеку от линии эклиптики на небесной сфере. Определим максимальное угловое расстояние между эклиптикой и звездой, покрываемой Луной.



Пусть линия, связывающая центры Земли и Луны, образует угол i с плоскостью эклиптики, а расстояние между Землей и Луной равно L. На рисунке показаны условия покрытия звезды с максимальным удалением от эклиптики β. Это покрытие будет видно из одной точки Земли. Из рисунка видно, что

$$\beta = i + \rho,$$

причем

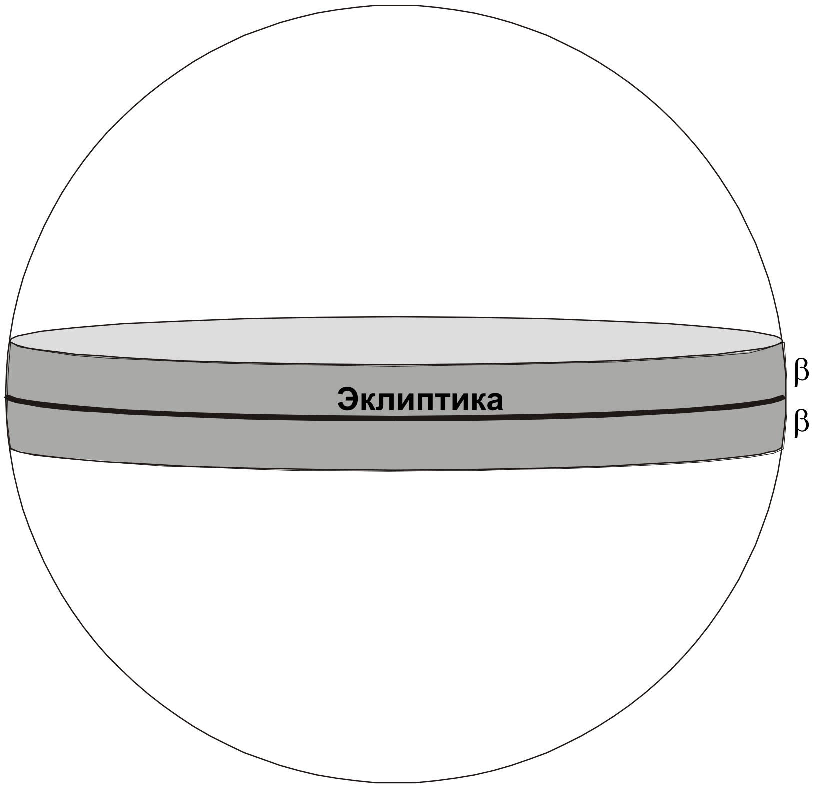
$$\rho L = R + r.$$

Здесь R и r – радиусы Земли и Луны. В итоге,

$$\beta = i + (R + r)/L.$$

Нас интересует максимальное значение угла β. Поэтому в данную формулу нужно поставить максимальную величину угла i, равную наклонению лунной орбиты к плоскости эклиптики (5.15°) и минимальное значение расстояния L, соответствующее перигею орбиты Луны (356 тыс. км). Значение угла β составляет 6.45° или 0.113 радиан.

Как известно, лунная орбита прецессирует вокруг полюса эклиптики с периодом 18.6 лет, вращается и ее линия апсид. Поэтому за определенный период времени может произойти покрытие Луной любой звезды, находящейся к эклиптике ближе, чем на угол β. Иными словами, звезды, покрываемые Луной, занимают на небесной сфере пояс вокруг линии эклиптики толщиной в 2β (см. рисунок).



По нашему предположению, звезды заполняют небесную сферу равномерно. Тогда нам нужно вычислить площадь указанного пояса. Так как угол β невелик, пояс можно считать цилиндрическим, и его площадь составит

$$S_1 = 4\pi\beta.$$

Радиус небесной сферы здесь принят за единицу. Из всех звезд небесной сферы, видимых невооруженным глазом (их число N) в данный пояс попадает часть, соответствующая доле площади небесной сферы S, попадающей в пояс. Число звезд, у которых мы можем наблюдать покрытия Луной, равно

$$N_1 = N \cdot \frac{S_1}{S} = N \cdot \frac{2\pi \cdot 2\beta}{4\pi} = N \cdot \beta \approx 680.$$

6. Рекомендации для жюри. Для решения задачи необходимо представлять, как расположена орбита Луны относительно плоскости эклиптики и как данная картина меняется с течением времени. Школьники должны сделать вывод, что покрытия Луной могут наблюдаться у всех звезд небесной сферы, удаленных от эклиптики не более, чем на определенный угол β (данный вывод может быть сделан как в начале, так и в середине решения). Этот вывод оценивается в 2 балла.

Еще 4 балла выставляется за правильное вычисление угла β. Если участник олимпиады не учитывает видимые размеры и параллакс Луны, то данный угол β у него совпадет с наклоном лунной орбиты i. В этом случае из 4 баллов ему присуждается только 1. Учет угловых размеров и параллакса Луны (слагаемые r/L и R/L в формуле для угла β) дает вклад в оценку еще по 1 баллу. Наконец, 4-й балл ставится, если участник отметит, что при решении нужно брать не среднее, а наименьшее расстояние Луны от Земли L.

Последние 2 балла выставляется за правильное вычисление числа звезд, попадающих в требуемую область небесной сферы. Как видно из решения, это можно сделать без интегрирования и использования формул сферической тригонометрии, однако их правильное применение не может считаться ошибкой.

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.