

Критерии оценивания олимпиадных работ по астрономии (рекомендации для проверяющих)

Проверяя олимпиадную работу учащегося, будьте внимательны, объективны и доброжелательны.

Каждая задача (независимо от уровня сложности) оценивается из 8 баллов. Таким образом, за свою работу ученик может получить максимально 48 баллов (в 7-11 классах).

При проверке олимпиадной работы руководствуйтесь критериями разбалловки, приведёнными в тексте решения каждой задачи. При этом проверяющий имеет право ставить неполный балл за действие, обозначенное в критериях, если оно выполнено учащимся частично.

Имейте в виду, что предложенные учениками решения задач могут быть правильными, даже если эти решения **кардинально отличаются** от авторских! В этом случае рекомендуется придерживаться следующих критериев оценивания:

0 баллов — если ученик не приступал к решению задачи или приступил, но никаких разумных соображений не привёл;

1-2 балла — если ученик написал некоторые разумные соображения, формулы, имеющие отношение к решению задачи, но на этом остановился;

3-4 балла — если ученик написал разумные соображения и сделал правильные рисунки, но записал не все, а только некоторые из необходимых расчётных выражений;

5-6 баллов — ученик правильно описал и обосновал астрономическую часть задачи, записал необходимые расчётные выражения, но допустил ошибки, связанные с математическими преобразованиями и вычислениями;

8 баллов — задача решена полностью (при этом способ решения, предложенный учеником, может кардинально отличаться от авторского).

7 класс

Возможные решения и примерные критерии

7.1 Выберите лишнее из следующего списка объектов: Персей, Геракл, Андромеда, Орион, Кассиопея, Цефей. К какому классу астрономических объектов относятся все остальные?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

В данном списке перечислены *созвездия*, но созвездия Геракла не существует – оно лишнее.

КРИТЕРИИ:

1	Правильно указан лишний объект	4 балла
2	Объяснение класса объектов	4 балла

7.2 Вчера, 11 ноября, Луна находилась в фазе 1-й четверти. В какое время суток её было наиболее удобно наблюдать в этот день в средней полосе России? Считать погодные условия хорошими для наблюдений. Известно, что в текущем месяце произойдёт лунное затмение. В какой день наступит это событие? Ответы необходимо обосновать.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Так как Луна находится в фазе 1-й четверти, то Солнце на небосводе располагается правее Луны примерно в 90° от неё. Таким образом, момент верхней кульминации Луны приблизительно совпадёт с моментом захода Солнца, а заход Луны происходит примерно в полночь. То есть наиболее удобное время суток для наблюдений Луны – сразу после захода Солнца, когда Луна находится высоко над горизонтом и при этом Солнце не мешает наблюдениям. Лунное затмение всегда наступает в полнолуние (не каждое). Данная фаза наступает через четверть синодического периода Луны после 1-й четверти, то есть через:

$$t = \frac{S_{\zeta}}{4} = \frac{29,53}{4} = 7,38 \text{ сут.}$$

Так как 1-я четверть пришлась на 11 ноября, то полнолуние и лунное затмение наступят примерно 18 ноября.

ОТВЕТ: 18 ноября.

КРИТЕРИИ:

1	Замечание о примерном совпадении верхней кульминации Луны и захода Солнца с поясняющим рисунком, из которого видно, что Солнце находится правее Луны	2 балла
2	Верное указание удобного времени суток	2 балла
3	Указание на фазу полнолуния во время лунного затмения	2 балла
4	Указание промежутка времени между 1-й четвертью и полнолунием с пояснениями	1 балл
5	Определение даты затмения (допускается погрешность в 1 сутки)	1 балл

7.3 5 декабря 2021 года – День воинской славы России. В этот день ровно 80 лет назад началось контрнаступление советских войск против немецко-фашистских захватчиков в битве под Москвой (1941 год) – первой в истории битве, проигранной немцами во 2-й мировой войне. В какой день недели произошло это событие?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём день недели 5 декабря 2021 года – это воскресенье. Далее, посчитаем количество високосных лет за 80 лет:

$$n_1 = \frac{80}{4} = 20 \text{ лет.}$$

В одном не високосном году 365 дней, что составляет 52 недели и 1 день. То есть разница дней недели между двумя одинаковыми датами, например, 2018 и 2019 года – 1 день. В то время как в високосном году дней 366, значит разница дней недели между двумя одинаковыми датами, например, 2019 и 2020 становится равна двум дням.

Посчитаем, сколько дней разницы «набежит» за эти 80 лет, учитывая, что 20 из них – високосные:

$$n_2 = 20 \cdot 2 + 60 = 100 \text{ дней.}$$

Рассчитаем сколько полных недель прошло за 100 дней:

$$n_3 = \frac{100}{7} = 14 \text{ недель } 2 \text{ дня.}$$

То есть разница в днях недели составит всего два дня. Если 5 декабря 2021 года – воскресенье, тогда 5 декабря 1941 года – **пятница**.

ОТВЕТ: пятница.

КРИТЕРИИ:

1	Указан день недели 5 декабря 2021 года	2 балла
2	Определено количество високосных лет	1 балл
3	Указана в том или ином виде разность дней недели для не високосного и високосного годов	2 балла
4	Посчитана разница в днях недели	2 балла
5	Дан верный ответ	1 балл

7.4 Как известно, расстояние от Солнца до Проксимы Центавра – ближайшей к Солнцу звезды - 4,24 световых года. Сколько радиусов орбит Земли уместилось бы между этими звёздами? Световой год – это расстояние, на которое свет распространяется в пустоте (вакууме) за 1 земной год. Среднее расстояние от Солнца до Земли называется астрономической единицей.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём значение светового года в километрах. Скорость света равна 300000 км/сек, один год – 365,25 дней:

$$S_{\text{св.г.}} = 300\,000 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км.}$$

Тогда 4,24 световых года:

$$S_{\text{Прок}} = 4,24 \cdot 9,46 \cdot 10^{12} = 4,01 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

Посчитаем количество радиусов земных орбит:

$$n = \frac{S_{\text{Прок}}}{a_{\oplus}} = \frac{4,01 \cdot 10^{13}}{149,6 \cdot 10^6} \approx 268048 \approx 270000.$$

ОТВЕТ: $n \approx 270000$.

КРИТЕРИИ:

1	Верное значение светового года	4 балла
2	Найдено расстояние до Проксимы Центавра в км	2 балла
3	Верный ответ для количества радиусов орбит	2 балла

7.5 Сразу после полного солнечного затмения на Солнце произошла яркая вспышка. Кто быстрее её зафиксирует - люди на Земле или космонавт на обратной стороне Луны? На сколько будет отличаться это время?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Во время солнечного затмения Луна находится в соединении с Солнцем, значит расстояние Солнце-Луна меньше расстояния Солнце-Земля, следовательно, свет от Солнца до Луны дойдёт быстрее. Посчитаем эту разницу, c – скорость света:

$$t = \frac{a_{\zeta}}{c} = \frac{384400}{300000} \approx 1,3 \text{ с.}$$

ОТВЕТ: свет от Солнца до Луны дойдёт быстрее на $t \approx 1,3$ с.

КРИТЕРИИ:

1	Указано условие солнечного затмения словами или рисунком	2 балла
2	Вывод о более быстрой фиксации на поверхности Луны	2 балла
3	Верно посчитано время	4 балла

7.6 Некая далёкая звезда появилась на горизонте ровно в 00 часов 02 минуты сегодня 12 ноября 2021 года. Какого числа и в какое точное время (с точностью до 1 минуты) произойдёт следующий восход этой звезды для той же точки наблюдения? Сколько всего восходов этой звезды над горизонтом состоится за весь 2021 год?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Следующее появление далекой звезды на горизонте произойдет через одни звёздные сутки (23 часа 56 минут 04 секунды). Найдём, в какое время это произойдет:

$$t \approx 0^h 02^m + T_{\text{зв.сут}} = 0^h 02^m + 23^h 56^m = 23^h 58^m.$$

То есть следующий восход произойдёт в этот же день, 12 ноября 2021 года, в $23^h 58^m$. Найдём, суммарное число восходов этой звезды в 2021 году:

$$n = \frac{T_{\text{земн.год}}}{T_{\text{зв.сут}}} = \frac{365 \cdot 24 \cdot 60}{23 \cdot 60 + 56} = 366.$$

ОТВЕТ: Восход произойдёт 12 ноября 2021 г. в $t \approx 23^h 58^m$. Всего произойдёт $n = 366$ восходов.

КРИТЕРИИ:

1	Упоминание следующего восхода через $23^h 56^m$.	3 балла
2	Верный ответ для времени и даты следующего восхода	3 балла
3	Подсчёт общего количества восходов в 2021 году	2 балла

8 класс

Возможные решения и примерные критерии

8.1 Выберите лишнее из следующего списка объектов: Ганимед, Фобос, Титан, Гермес, Европа, Ио. К какому классу астрономических объектов относятся все остальные?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

В данном списке перечислены спутники Юпитера, но Гермес – околоземный астероид, таким не является. Данный объект и будет лишним.

ОТВЕТ: Гермес.

КРИТЕРИИ:

1	Верно указан лишний объект	4 балла
2	Объяснение класса объектов	4 балла

8.2 19 ноября 2021 года состоится частное лунное затмение (видимое на территории нашей страны). Максимальная фаза затмения наступит в 09 часов 03 минуты по всемирному времени. Во сколько часов гражданского времени Саранска это произойдёт? Можно ли будет увидеть это астрономическое явление жителям Саранска? В каких созвездиях будут располагаться Солнце и Луна в этот момент?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём, во сколько часов по гражданскому времени произойдёт затмение в Саранске. Разница между всемирным временем и гражданским временем в Саранске – 3 часа, тогда:

$$t_{Sar} = UTC + 3^h = 9^h03^m + 3^h = 12^h03^m.$$

То есть примерно в полдень, а лунные затмения происходят в полнолуние, поэтому Луна в этот момент для наблюдателя Саранска находится под горизонтом вблизи нижней кульминации. Продолжительность теневого лунного затмения не превышает 4 часов (это несложно вычислить, а также легко вспомнить по наблюдениям). Значит частное лунное затмение жители Саранска теоретически могут зафиксировать между 10 и 14 часами по гражданскому времени. Это дневные часы, Луна под горизонтом. Следовательно, жители Саранска наблюдать затмение не смогут. Лунное затмение происходит в полнолуние, а значит Солнце и Луна находятся в диаметрально противоположных созвездиях. Так как Солнце 19 ноября будет находиться вблизи границы созвездий Весы и Скорпион, то Луна будет вблизи границы созвездий Овен и Телец.

ОТВЕТ: $t_{Sar} = 12^h03^m$, Солнце будет находиться вблизи границы созвездий Весы и Скорпион, а Луна вблизи границы созвездий Овен и Телец.

КРИТЕРИИ:

1	Указана разница между всемирным временем и гражданским временем в Саранске	1 балл
2	Найдено гражданское время	1 балл
3	Указана продолжительность теневого лунного затмения	1 балл
4	Доказательство невозможности наблюдения затмения	2 балла
5	Указание на фазу полнолуния	1 балл
5	Определение созвездий	2 балла

8.3 4 октября 1957 года в нашей стране в космос был запущен первый в мире искусственный спутник Земли – «Спутник-1». Он совершил 1440 оборотов вокруг Земли, после чего сгорел в плотных слоях земной атмосферы 4 января 1958 года. За какое примерно время «Спутник-1» совершал один виток вокруг Земли? В какой день недели он был запущен?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём, сколько полных земных суток спутник провёл на орбите. В эти дни входят целые месяцы ноябрь и декабрь, а так же 27 дней октября и 4 дня января. Суммируя, получаем:

$$t = 27 + 4 + 30 + 31 = 92 \text{ дня.}$$

Посчитаем, сколько это часов:

$$t_{\text{ч}} = 92 \cdot 24 = 2208 \text{ ч.}$$

Тогда, один оборот совершался за:

$$T = \frac{t_{\text{ч}}}{n} = 2208/1440 = 1,5 \text{ часа.}$$

4 октября 2021 года – понедельник. За один невисокосный год день недели между одинаковыми датами смещается на один день вперед, а за високосный – на два дня. Посчитаем количество високосных лет между 1957 и 2021 годами:

$$n_{\text{вис}} = \frac{2021 - 1957}{4} = 16.$$

Тогда невисокосных лет 48. Посчитаем, на сколько дней недели составляет разница:

$$n_{\text{раз}} = 48 + 16 \times 2 = 80 \text{ дней} = 11 \text{ недель } 3 \text{ дня.}$$

То есть разница дней недели составляет 3 дня, если 4 октября 2021 года – понедельник, тогда 4 октября 1957 года – пятница.

ОТВЕТ: Время одного оборота: $T = 1,5$ часа, 4 октября 1957 года – **пятница**.

КРИТЕРИИ:

1	Найдено время работы спутника	2 балла
2	Найден орбитальный период спутника	2 балла
3	Определено количество високосных лет между указанными годами	1 балл
4	Указана в том или ином виде разность дней недели для не високосного и високосного годов	1 балл
5	Верный ответ для дня недели	2 балла

8.4 Как известно, расстояние от Солнца до Сириуса (ярчайшей звезды земного ночного неба) 8,6 светового года. Сколько диаметров Земли уместилось бы между этими звездами? Световой год – это расстояние, на которое свет распространяется в пустоте (вакууме) за 1 земной год.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём, чему равен световой год в километрах:

$$S_{\text{св.год}} = 300000 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км.}$$

Тогда расстояние S_{Sir} от Солнца до Сириуса:

$$S_{\text{Sir}} = 8,6 \cdot 9,46 \cdot 10^{12} = 8,14 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

Посчитаем количество n диаметров Земли D_{\oplus} , которое уместилось бы между звёздами:

$$n = \frac{S_{\text{Sir}}}{D_{\oplus}} = \frac{8,14 \cdot 10^{13}}{2 \cdot 6400} = 6\,359\,375\,000 \approx 6,4 \text{ млрд.}$$

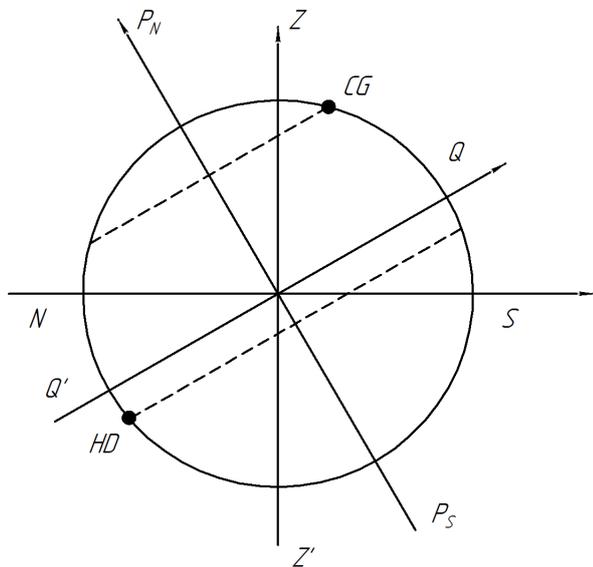
ОТВЕТ: Между звёздами уместится $n \approx 6,4$ млрд. диаметров Земли.

КРИТЕРИИ:

1	Найдено значение светового года в километрах	3 балла
2	Найдено расстояние от Солнца до Сириуса в километрах	2 балла
3	Посчитано количество диаметров Земли	3 балла

8.5 Найдите высоту звезды CG Андромеды в момент её верхней кульминации. Чему будет равен её астрономический азимут, и астрономический азимут звезды HD 104304? Наблюдатель находится в северном полушарии на широте 60° . Координаты CG Андромеды: $\alpha_{CG} = 0^h00^m$, $\delta_{CG} = +45^\circ$, координаты HD 104304: $\alpha_{HD} = 12^h00^m$, $\delta_{HD} = -10^\circ$.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Так как значение склонения меньше значения широты, то звезда кульминирует к югу от зенита, следовательно, её астрономический азимут:

$$A_{CG} = 0^\circ.$$

Найдём высоту CG Андромеды:

$$h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi + \delta_{CG} = 90^\circ - 60^\circ + 45^\circ = 75^\circ.$$

Заметим, что прямые восхождения звезд отличаются на 12 часов. Это значит, что HD 104304 находится в нижней кульминации. Модуль склонения данной звезды меньше значения широты, значит нижняя кульминация происходит в точке севера, тогда её астрономический азимут:

$$A_{HD} = 180^\circ.$$

К этому решению также можно прийти из анализа рисунка, приведённого сверху.

ОТВЕТ: $h_{\text{в.к.}} = 75^\circ$, $A_{CG} = 0^\circ$, $A_{HD} = 180^\circ$.

КРИТЕРИИ:

1	Верное значение астрономического азимута CG Андромеды	3 балла
2	Нахождение высоты CG Андромеды	2 балла
3	Верное значение астрономического азимута HD 104304	3 балла

8.6 29 ноября 2021 года Меркурий окажется в верхнем соединении с Солнцем. Когда в следующий раз произойдёт такое же событие? Какой угловой диаметр будет иметь Меркурий в эти моменты для земного наблюдателя? Орбиты планет считать круговыми.

Примечание: средний радиус орбиты планеты называется большой полуосью.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Время между двумя последовательными верхними соединениями Меркурия с Солнцем – синодический период Меркурия. Он равен 116 земным суткам. Прибавляя к 29 ноября 2021 года 116 суток, получаем 25 марта 2022 года. Рассчитаем угловой диаметр Меркурия $D_{\text{ж}}$. В силу малости углов, можно считать, что тангенс или синус угла равен самому углу, выраженному в радианах:

$$\alpha_{\text{ж}} = \frac{D_{\text{ж}}}{a_{\oplus} + a_{\text{ж}}} = \frac{4879}{149600000 + 57910000} = 2,35 \cdot 10^{-5} \text{ рад} = 4'',85.$$

Здесь a_{\oplus} и $a_{\text{ж}}$ – большие полуоси Земли и Меркурия соответственно.

ОТВЕТ: следующее верхнее соединение произойдёт 25 марта 2022 года, угловой диаметр Меркурия в момент верхнего соединения равен: $\alpha_{\text{ж}} = 4'',85$.

КРИТЕРИИ:

Указание о следующем верхнем соединении спустя синодический период – **2 балла**.

1	Указание о следующем верхнем соединении спустя синодический период	2 балла
2	Верный ответ для даты следующего верхнего соединения	2 балла
3	Запись формулы для нахождения углового диаметра Меркурия	2 балла
4	Верный численный ответ для углового диаметра	2 балла

9 класс

Возможные решения и примерные критерии

9.1 Расположите планеты Солнечной системы в порядке возрастания первой космической скорости на самой низкой орбите искусственного спутника планеты (радиус орбиты спутника примерно равен радиусу планеты).

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Заметим, что упорядочение планет по первой космической скорости $v_{1к} = \sqrt{GM/R}$ будет соответствовать упорядочению по величине отношения массы планеты (в единицах массы Земли) к её радиусу (в единицах радиуса Земли): $\frac{M_{отн}}{R_{отн}}$. Сведём результаты в таблицу:

Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
0,14	0,86	1	0,20	28,4	10,1	3,6	4,4

Тогда после упорядочения по возрастанию получим:

Меркурий	Марс	Венера	Земля	Уран	Нептун	Сатурн	Юпитер
0,138	0,202	0,859	1	3,628	4,414	10,073	28,365

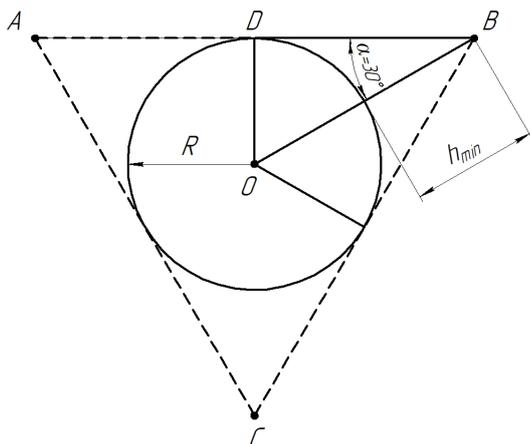
КРИТЕРИИ:

1	Прямое использование выражения для первой космической скорости или указание на зависимость этой скорости от отношения массы планеты к её радиусу	2 балла
2	Правильное упорядочивание планет	6 баллов

Если допущено обратное упорядочивание (по убыванию), то за всю работу – **4 балла**.

9.2 Предположим, что на Земле создаётся экваториальная группировка из трёх спутников связи. Определите минимальную высоту h_{min} их круговой орбиты, с которой можно обеспечить спутниковую связь абонентам, находящимся в любой точке земного экватора. Считать, что данный вид связи осуществляется тогда, когда спутник находится в пределах прямой видимости. Рельефом земной поверхности пренебречь, а форму Земли принять шарообразной. Решение пояснить рисунком.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Поясняющий рисунок.

Условиям задачи соответствует расположение спутников в точках равностороннего $\triangle ABC$, показанное на рисунке. Из прямоугольного $\triangle ODB$ следует, что:

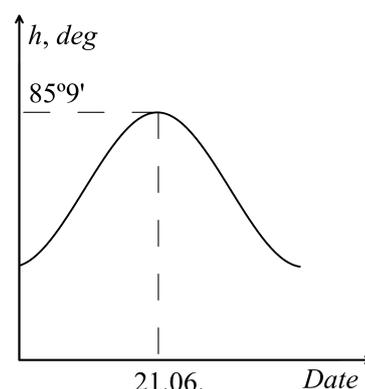
$$|OB| = \frac{|OD|}{\sin \alpha} \Rightarrow R + h = \frac{R}{\sin 30^\circ} \Rightarrow h = R \approx 6400 \text{ км.}$$

ОТВЕТ: Минимальная высота равна радиусу Земли $h_{min} = R \approx 6400$ км.

КРИТЕРИИ:

1	Приведён поясняющий решение рисунок	4 балла
2	Рассчитана минимальная высота	4 балла

9.3 На рисунке представлен фрагмент графика, найденного в архивах одной из астрономических обсерваторий. На нём по оси ординат (вертикальная ось) отложены наблюдаемые высоты Солнца в верхней кульминации h , а по оси абсцисс (горизонтальная ось) даты соответствующих наблюдений. К сожалению, разобрать удалось только подписи, относящиеся к максимальной высоте верхней кульминации этих ежедневных наблюдений. В дневнике в этот день была запись, что лицо астронома во время наблюдений обдувал лёгкий южный ветерок. Определите по имеющимся данным как можно точнее географическую широту φ этой астрономической обсерватории.



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Наблюдение проводилось 21 июня в момент летнего солнцестояния. Следовательно, склонение Солнца было равно: $\delta_{\odot} \approx +23^{\circ}27'$. Поскольку ветер дул с юга в лицо астроному в момент этого наблюдения, то кульминация Солнца происходила к югу от зенита. Запишем выражение для высоты h верхней кульминации в этом случае:

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\odot}.$$

Отсюда выразим и рассчитаем широту φ , на которой проводились наблюдения:

$$\varphi = 90^{\circ} - h + \delta_{\odot} = 90^{\circ} - 85^{\circ}9' + 23^{\circ}27' = +28^{\circ}18'.$$

Добавим, что на этой широте на острове Тенерифе (*прим.* Испания, Канарские о-ва) находится обсерватория «Тейде», на которой действительно проводятся наблюдения за Солнцем.

ОТВЕТ: широта, на которой проводились наблюдения, равна: $\varphi = +28^{\circ}18'$.

КРИТЕРИИ:

1	Определение значения склонения Солнца	3 балла
2	Определение положения Солнца в кульминации по отношению к зениту	2 балла
3	Применение формулы для высоты верхней кульминации и расчёт широты местности наблюдения	3 балла

9.4 Согласно ранее существовавшей гипотезе, главный пояс астероидов образовался в результате разрушения планеты, которую советский астроном С.В. Орлов назвал Фаэтоном в 1949 г. (*прим.* Фаэтон – герой древнегреческого мифа). Если принять данную гипотезу, то самым крупным осколком Фаэтона можно было бы считать карликовую планету Цереры. На неё приходится около 30% массы этого пояса астероидов. Определите период $T_{\text{Ф}}$ обращения Фаэтона вокруг Солнца в земных годах, а также его максимальный угловой диаметр α_{max} в угловых секундах. Орбиты Земли и Фаэтона считать круговыми, а расстояние от Фаэтона до Солнца принять равным $a_{\text{Ф}} \approx 2,8$ а.е. Диаметр Цереры $D_{\text{Ц}} \approx 950$ км. Среднюю плотность Фаэтона принять равной средней плотности Цереры.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Воспользовавшись III законом Кеплера, выразим и рассчитаем период обращения гипотетической планеты Фаэтон:

$$T_{\text{Ф}} = \sqrt{a_{\text{Ф}}^3 (\text{а.е.})} \approx 4,7 \text{ лет.}$$

Поскольку, средние плотности массы Цереры и Фаэтона принимаются одинаковыми, то их объёмы связаны соотношением: $V_{\text{Ф}} = V_{\text{Ц}}/0,3$. Следовательно, диаметр Фаэтона: $D_{\text{Ф}} = D_{\text{Ц}}/\sqrt[3]{0,3}$. Максимальный угловой диаметр Фаэтона будет наблюдаться в противостоянии, в этом случае он будет равен:

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{D_{\text{Ф}}}{a_{\text{Ф}} - a_{\oplus}} = \frac{D_{\text{Ц}}}{\sqrt[3]{0,3}(a_{\text{Ф}} - a_{\oplus})} \approx 1'',1.$$

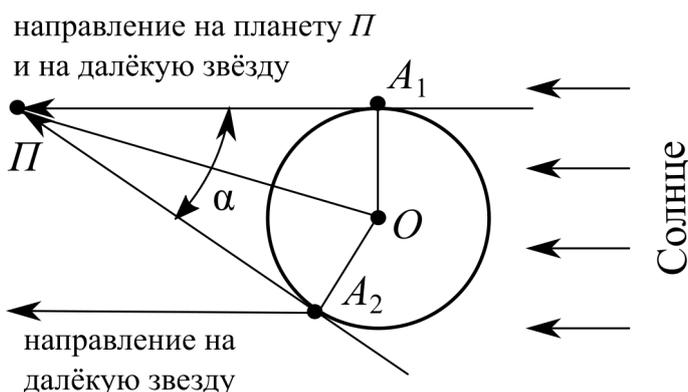
ОТВЕТ: орбитальный период Фаэтона: $T_{\text{Ф}} \approx 4,7$ лет; его максимальный угловой диаметр: $\alpha_{\text{max}} \approx 1'',1$.

КРИТЕРИИ:

1	Запись и применение III закона Кеплера для расчёта периода Фаэтона	2 балла
2	Правильный учёт соотношения между массами Цереры и Фаэтона для расчёта диаметра Фаэтона	2 балла
3	Получено выражение для α_{max}	2 балла
4	Получен правильный ответ для $T_{\text{Ф}}$	1 балл
5	Получен правильный ответ для α_{max}	1 балл

9.5 Находясь на экваторе Земли во время захода Солнца, начинающий астроном будущего заметил восходящий немерцающий объект. Быстро сообразив, что это планета, он при помощи портативного телепорта моментально отправился почти в диаметрально противоположную точку Земли, из которой эта планета выглядела заходящей. Также он заметил, что она сместилась относительно далёких звёзд примерно на 34 угловые секунды. Определите, что это за планета. Решение пояснить рисунком.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



На рисунке показано положение системы «Планета-Земля-Солнце». В точке A_1 астроном наблюдает планету в момент восхода, а в точке A_2 в момент захода. Из этой схемы легко найти угол горизонтального параллакса: $\rho = \alpha/2 = 17''$. Тогда расстояние до планеты в астрономических единицах будет равно:

$$r \approx \frac{R_{\oplus}}{\rho} = \frac{6378,1}{17''} \cdot \frac{206265}{149,6 \cdot 10^6} \approx 0,52 \text{ а.е.}$$

Пользуясь полученным значением и справочными данными находим, что возможными планетами являются Марс и Венера. Но по условию задачи Солнце заходит одновременно с восходом планеты, что исключает Венеру. Следовательно, эта планета – Марс.

ОТВЕТ: искомая планета – Марс.

КРИТЕРИИ:

1	Приведён поясняющий рисунок	2 балла
2	Сделан расчёт угла горизонтального параллакса	2 балла
3	Рассчитано расстояние от Земли до планеты в данный момент времени	2 балла
4	На основании расчётных и справочных данных сделан вывод от том, что этой планетой может быть Марс	2 балла

9.6 Анализ траектории кометы Чурюмова – Герасименко показал, что до 1959 года самая близкая к Солнцу точка траектории кометы (перигелий) находилась на расстоянии около 2,7 а.е. от Солнца. Затем, в результате гравитационного воздействия Юпитера, это расстояние сократилось до 1,29 а.е. и остаётся пока таковым. Найдите, во сколько раз изменилось ускорение кометы в перигелии?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Используя II закон Ньютона и закон Всемирного тяготения, для ускорения кометы запишем:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{GM_{\odot}}{r_{\text{п}}^2}.$$

Где $r_{\text{п}}$ – минимальное расстояние от кометы до Солнца (перигелийное расстояние). Отсюда следует, что отношение ускорений будет равно:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{r_{\text{п1}}^2}{r_{\text{п2}}^2} \approx 4,4.$$

ОТВЕТ: ускорение кометы возрастёт примерно в 4,4 раза.

КРИТЕРИИ:

1	Записана или получена формула для определения ускорения кометы	4 балла
2	Рассчитано отношение ускорений	4 балла

10 класс

Возможные решения и примерные критерии

10.1 Из представленного ниже списка терминов выберите названия созвездий: Скульптор, Стрелок, Живописец, Северная Рыба, Ореол, Летучая Рыба, Трезубец, Жираф, Гидрант, Сетка, Южный Наугольник, Зимний Треугольник, Октант, Малый Лев, Большой Лев, Столовая Гора, Стрелка, Малый Лебедь, Парус, Северная Муха. Какие из них могут быть полностью видны из предместий Саранска ($54^{\circ}11'$ с.ш.)? Ответ поясните.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Названиями созвездий в этом списке являются: Скульптор, Живописец, Летучая Рыба, Жираф, Сетка, Октант, Малый Лев, Столовая Гора.

В России круглый год можно наблюдать созвездия Жираф, Малый Лев. Остальные созвездия – созвездия южного неба.

КРИТЕРИИ:

1	Правильный выбор одного созвездия из списка терминов.	0,5 балла ($0,5 \cdot 8 = 4$ балла)
2	Указание одного полностью наблюдаемого в Саранске созвездия	2 балла ($2 \cdot 2 = 4$ балла)

10.2 Наблюдения одной из ярчайших звёзд нашего неба – Сириуса проводятся одновременно в Саранске ($54^{\circ}11'$ с.ш., $45^{\circ}10'$ в.д.) и в Мурманске ($68^{\circ}58'$ с.ш., $33^{\circ}5'$ в.д.). В каком из этих пунктов верхняя кульминация Сириуса произойдет раньше по местному времени и на сколько? Как и на сколько отличаются высоты этих кульминаций в Саранске и в Мурманске? Условия наблюдения считать идеальными, рельефом местности пренебречь.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Сириус будет кульминировать сначала в более восточном пункте – в Саранске, а затем в Мурманске. Разность местных времён будет определяться разностью долгот этих пунктов:

$$\Delta t = \Delta \lambda = 45^{\circ}10' - 33^{\circ}5' = +12^{\circ}5' \approx 0^{\text{ч}}48^{\text{м}}20^{\text{с}}.$$

Запишем выражения для высот верхних кульминаций h_1 и h_2 Сириуса в Саранске и в Мурманске соответственно:

$$h_1 = 90^{\circ} - \varphi_1 + \delta.$$

$$h_2 = 90^{\circ} - \varphi_2 + \delta.$$

Разность этих высот будет равна:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \varphi_2 - \varphi_1 = 14^{\circ}47'.$$

ОТВЕТ: верхняя кульминация произойдёт раньше в Саранске на $0^{\text{ч}}48^{\text{м}}20^{\text{с}}$. Высота верхней кульминации в Саранске будет больше высоты верхней кульминации в Мурманске на $14^{\circ}47'$.

КРИТЕРИИ:

1	Указание на то, что кульминация наступит раньше в Саранске	2 балла
2	Расчёт разности времён кульминаций Δt	3 балла
3	Расчёт разности высот кульминаций и указание в каком пункте высота больше	3 балла

10.3 Как известно, 5 ноября 2021 г. в 3^ч00^м (МСК) произошло противостояние Урана с Солнцем, что обусловило наилучшие условия его наблюдения. При каком минимальном увеличении Γ_{min} телескопа можно было увидеть в него диск Урана? Определите дату следующего его противостояния. Ответ поясните. Разрешающую способность глаза принять равной $\delta \approx 2'$. Влиянием атмосферы пренебречь. Орбиты Земли и Урана считать круговыми, наклоном орбиты Урана к плоскости эклиптики пренебречь, а её радиус принять равным большой полуоси.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Найдём угловой диаметр α_{δ} Урана в противостоянии:

$$\alpha_{\delta} \approx \frac{D_{\delta}}{a_{\delta} - a_{\oplus}} \approx \frac{2 \cdot 25559}{19,1914 - 1} \cdot \frac{206265}{149,6 \cdot 10^6} \approx 3'' ,9.$$

Тогда минимальное увеличение телескопа будет равно:

$$\Gamma_{min} = \frac{\delta}{\alpha_{\delta}} \approx 31.$$

Определим дату следующего противостояния Урана. Синодический период Урана составляет 369,7 суток, а 2022 год не високосный, тогда следующее противостояние наступит 5 ноября + (369,7 дней - 365,25 дней) = 9 ноября 2022 г.

ОТВЕТ: минимальное увеличение телескопа, при котором ещё можно увидеть диск Урана равно: $\Gamma_{min} \approx 31$. Дата следующего противостояния Урана – 9 ноября 2022 г.

КРИТЕРИИ:

1	Проведён расчёт углового диаметра Урана	3 балла
2	Рассчитано минимальное увеличение телескопа	2 балла
3	Определена дата следующего противостояния Урана	3 балла

10.4 Звезда тау Кита (τ Ceti) является одной из ближайших к нам звёзд, её видимая и абсолютная звёздные величины соответственно равны: $m = +3^m,5$ и $M = +5^m,69$. Определите годичный параллакс ρ (в угловых секундах) этой звезды и оцените её светимость L (в единицах солнечной светимости L_\odot), если абсолютная звёздная величина Солнца $M_\odot = +4^m,83$.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем выражение для абсолютной звёздной величины:

$$M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Где r – расстояние, выраженное в парсеках. Годичный параллакс ρ (в угловых секундах) связан с этим расстоянием соотношением: $\rho = \frac{1}{r}$. Тогда для M получим:

$$M = m + 5 + 5 \lg \rho.$$

Отсюда получим ρ :

$$\rho = 10^{\frac{M-m-5}{5}} \approx 0'',27.$$

Для оценки относительной светимости τ Ceti используем формулу Погсона для абсолютных звёздных величин этой звезды M и Солнца M_\odot :

$$M_\odot - M = 2,5 \lg \frac{L}{L_\odot} \Rightarrow \frac{L}{L_\odot} = 10^{0,4(M_\odot - M)} \Rightarrow L = 10^{0,4(M_\odot - M)} L_\odot \approx 0,45 L_\odot.$$

ОТВЕТ: годичный параллакс тау Кита равен: $\rho \approx 0'',27$. Оценочное значение светимости этой звезды составляет около 45 % солнечной светимости $L \approx 0,45 L_\odot$.

КРИТЕРИИ:

1	Найдено расстояние до тау Кита	2 балла
2	Выражен и рассчитан годичный параллакс ρ	2 балла
3	Проведена оценка светимости тау Кита	4 балла

10.5 Анализ траектории кометы Чурюмова – Герасименко показал, что до 1959 года перигелий кометы находился на расстоянии около $r_1 = 2,7$ а.е. от Солнца. Затем, в результате гравитационного воздействия Юпитера это расстояние сократилось до $r_2 = 1,29$ а.е. и остаётся пока таковым. Найдите, во сколько раз изменилась интенсивность солнечного излучения, падающего на поверхность кометы в перигелии? В настоящее время период кометы составляет 6,45 земных лет, а максимальная скорость кометы $v_{max} = 38$ км/с. Определите минимальную скорость v_{min} кометы.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

В условиях данной задачи будем рассматривать Солнце как точечный объект, который равномерно излучает в окружающее пространство. Учтём, что освещённость поверхности, создаваемая таким объектом обратно пропорциональна квадрату расстояния от поверхности до объекта:

$$E \sim \frac{L_{\odot}}{r^2}.$$

Тогда отношение освещённостей $\frac{E_2}{E_1}$ будет равно:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \approx 4,4.$$

Для определения v_{min} кометы (скорости в афелии) найдём большую полуось орбиты a в астрономических единицах на основании III закона Кеплера:

$$a = T^{2/3}(\text{а.е.}) = 3,47 \text{ а.е.}$$

Тогда афелийное расстояние r_a равно:

$$r_a = 2a - r_{\text{п}}.$$

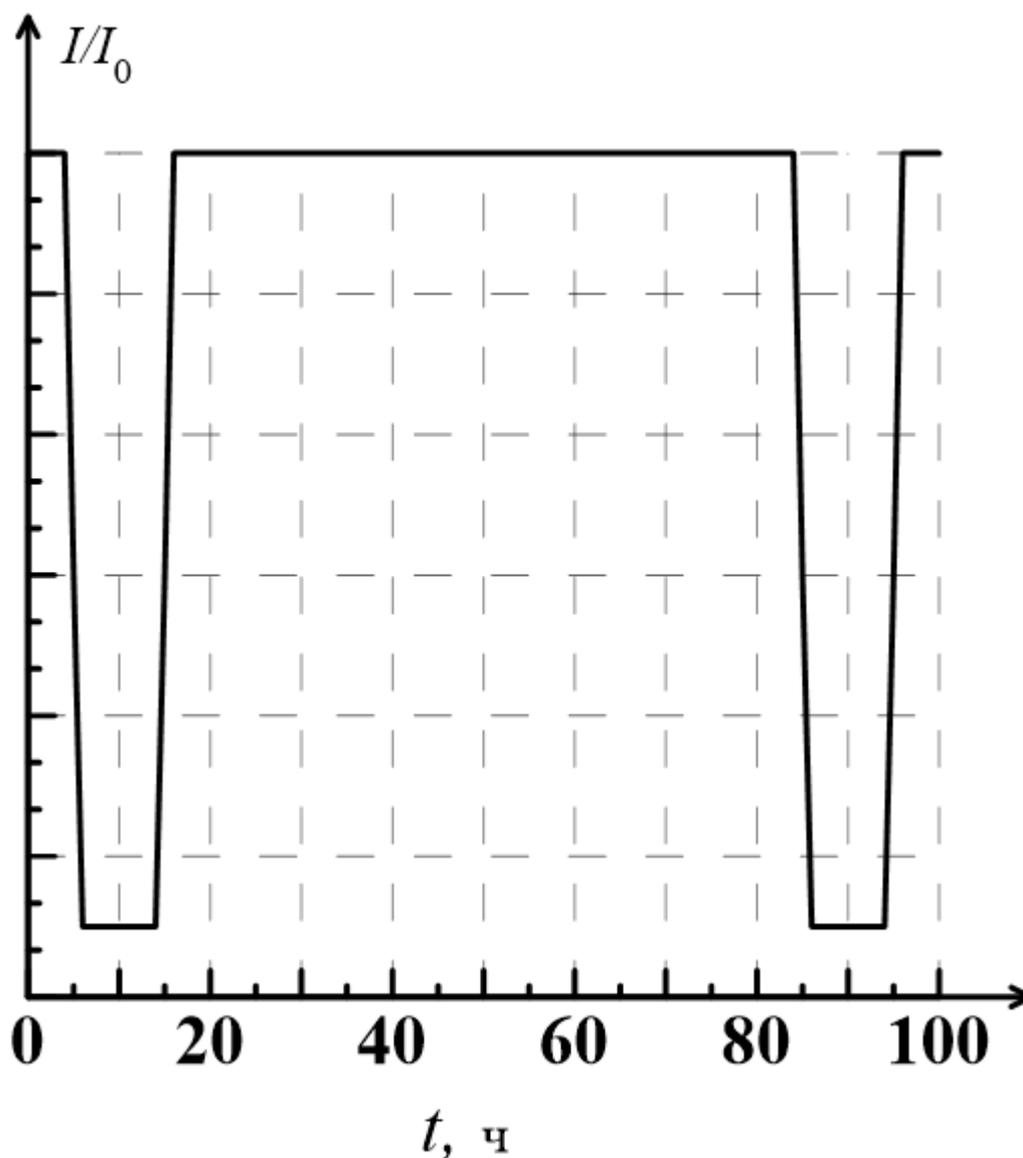
Применяя закон сохранения момента импульса для точек перигелия и афелия орбиты кометы, получим:

$$r_a \cdot v_{min} = r_{\text{п}} \cdot v_{max} \Rightarrow v_{min} = \frac{r_{\text{п}}}{r_a} v_{max} = \frac{r_{\text{п}}}{2a - r_{\text{п}}} v_{max} \approx 8,7 \text{ км/с.}$$

ОТВЕТ: интенсивность падающего на комету излучения или освещённость её поверхности увеличилась примерно в 4,4 раза. Минимальная скорость кометы: $v_{min} \approx 8,7$ км/с.

КРИТЕРИИ:

1	Учёт закона обратных квадратов для освещённости	2 балла
2	Расчитано отношение освещённостей	1 балл
3	Определена большая полуось орбиты	2 балла
4	Определено афелийное расстояние	1 балл
5	Получено выражение для v_{min} и рассчитано её значение	2 балла



10.6 Для обнаружения экзопланет в настоящее время очень часто используется метод транзитов. Подавляющее большинство известных на сегодня экзопланет открыто телескопом «Кеплер» с помощью вышеуказанного метода. На рисунке схематически показан фрагмент зависимости относительной интенсивности I/I_0 излучения звезды (типа HD209458) от времени t , на котором есть участки транзита (прохождения) планеты (типа экзопланеты HD209458b) по диску звезды. Оцените среднее расстояние от планеты до материнской звезды r_{cp} , если материнская звезда имеет массу $1,1M_{\odot}$, где M_{\odot} – масса Солнца.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

По приведённому графику определим период обращения планеты вокруг центральной звезды: $T = 80$ ч. Используя III закон Кеплера для этой планеты и для Земли, определим среднее расстояние или радиус орбиты планеты:

$$a = \sqrt[3]{1,1a_{\oplus}} \left(\frac{T}{T_{\oplus}} \right)^{2/3} \approx 0,045 \text{ a.e.}$$

ОТВЕТ: величина большой полуоси примерно равна: $a \approx 0,045 \text{ a.e.}$

КРИТЕРИИ:

1	Учтена связь между средним расстоянием и большой полуосью	2 балла
1	По временной зависимости определён период планеты	2 балла
2	Из III закона Кеплера получено выражение для большой полуоси	2 балла
3	Получен верный ответ	2 балла

11 класс

Возможные решения и примерные критерии

11.1 Выберите лишнее из следующего списка объектов: квазар, пульсар, коллапсар, кавар, магнетар, поляр. Обоснуйте свой выбор. Что это за объекты?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Лишний объект – кавар, так как это единственный объект Солнечной системы. Кавар (имя собственное) – астероид (или карликовая планета – учёные ещё не определились) из пояса Койпера. Квазар и магнетар – внегалактические радиосточники. Пульсар и коллапсар – компактные остатки массивных звезд. Поляр – один из видов катаклизмических переменных.

ОТВЕТ:

КРИТЕРИИ:

1	Верно выбран лишний объект	2 балла
2	Объяснение выбора	2 балла
3	Природа квазара и магнетара	1 балл
4	Природа пульсара и коллапсара	1 балл
5	Природа поляра	1 балл
6	Природа Кавара	1 балл

11.2 Юный астроном Василий решил провести наблюдения Луны 7 сентября. Не обнаружив её на ночном небе, он вспомнил, что именно этого числа должно быть новолуние. 14 сентября Василию удалось провести наблюдения, в частности, его заинтересовало Море Паров и цепочка кратеров от Лангрена до Петавия на восточном побережье Моря Изобилия. Следующие наблюдения он назначил на 26 сентября. Удастся ли Василию рассмотреть заинтересовавшие его объекты? Ответ обоснуйте.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Если 7 сентября было новолуние, то 14 сентября Луна находилась в фазе первой четверти. Действительно, в данной фазе Море Изобилия и Море Паров можно наблюдать. То есть, те, кто подзабыл, могут вспомнить, что оба эти «моря» расположены в восточном полушарии Луны. Найдём фазу Луны 26 сентября. За прошедшие с новолуния 19 суток Луна прошла по своей орбите угол $180^\circ + \alpha$ (см. рисунок), где $\alpha = \varphi$ – искомому фазовому углу. Найдём его:

$$\frac{t}{S} = \frac{180^\circ + \alpha}{360^\circ}; \frac{19}{29,5} = \frac{180^\circ + \alpha}{360^\circ} \Rightarrow \alpha = 52^\circ.$$

Зная угол, можно найти фазу Луны:

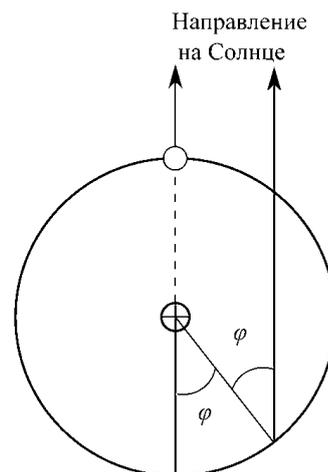
$$\Phi = \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0,8.$$

Стареющая Луна будет видна в большой фазе в виде почти целого диска без 20% восточного полушария. Море Изобилия (во всяком случае его восточное побережье), расположенное у восточного края диска Луны будет находиться в тени, значит пронаблюдать данный объект Василию не удастся. А Море Паров расположено практически в центре диска, но всё же в восточном полушарии. При такой большой фазе оно однозначно будет хорошо видно, при хороших погодных условиях, разумеется.

ОТВЕТ: фаза Луны: $\Phi = 0,8$.

КРИТЕРИИ:

1	Сделан чертёж, с помощью которого можно определить фазовый угол	1 балл
2	Использован синодический период	1 балл
3	Определена фаза Луны 30 сентября	2 балла
4	Объяснение невозможности наблюдений объектов рядом с Морем Изобилия	2 балла
5	Объяснение хороших условий наблюдений Моря Паров	2 балла



11.3 Очень скоро, 19 ноября, состоится очередное частное лунное затмение, видимое на территории нашей страны. Начало частного теневого затмения произойдёт в $07^{\text{ч}}18^{\text{м}}$ UT, а окончание – в $10^{\text{ч}}47^{\text{м}}$ UT (всемирного времени). Ответьте на следующие вопросы: а) когда по всемирному времени наступит максимальная фаза затмения (очень близкая к полной фазе); б) когда это событие наступит по гражданскому времени Саранска; в) будет ли это явление наблюдаться в Саранске (координаты: 54° с.ш., 45° в.д.); г) в какой самой южной точке, расположенной на меридиане Саранска, будет видно это затмение?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Определим, когда по всемирному времени наступит максимальная фаза затмения:

$$t_{max} = \frac{10^{\text{ч}}47^{\text{м}} + 7^{\text{ч}}18^{\text{м}}}{2} = 9^{\text{ч}}03^{\text{м}}.$$

Выясним, когда это наступит по гражданскому времени Саранска (время опережает всемирное на $n = 3$ часа):

$$T_{Sar} = t_{max} + n = 9^{\text{ч}}03^{\text{м}} + 3^{\text{ч}} = 12^{\text{ч}}03^{\text{м}}.$$

Данное явление не будет наблюдаться в Саранске, так как по гражданскому времени в Саранске примерно полдень, следовательно, и по местному времени Саранска также будет полдень. Солнце находится вблизи верхней кульминации, а Луна находится вблизи нижней кульминации (так как лунное затмение происходит в полнолуние). Между 19 ноября и днем осеннего равноденствия примерно 60 дней, значит склонение Солнца примерно:

$$\delta_{\odot} = -23,5^{\circ} \sin(60 \cdot 360^{\circ}/365,25) = -20^{\circ}.$$

Чтобы наблюдать лунное затмение, Солнце должно быть, как минимум, под горизонтом. Учитывая, что на долготе Саранска полдень, получаем:

$$h_{\text{в.к.}\odot} = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\odot} = 90^{\circ} - \varphi - 20^{\circ} = 0^{\circ} \Rightarrow \varphi = 70^{\circ}.$$

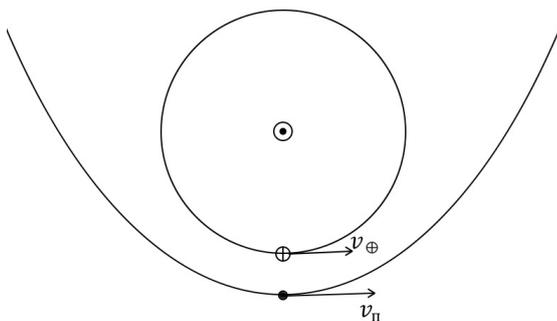
ОТВЕТ: $t_{max} = 9^{\text{ч}}03^{\text{м}}$, $T_{Sar} = 12^{\text{ч}}03^{\text{м}}$, данное явление не будет наблюдаться в Саранске, $\varphi = 70^{\circ}$.

КРИТЕРИИ:

1	Найдено всемирное время максимальной фазы затмения	2 балла
2	Найдено гражданское время Саранска для максимальной фазы	2 балла
3	Объяснение невозможности наблюдений в Саранске	2 балла
4	Найдено значение географической широты	2 балла

11.4 Астроном на Земле наблюдает на небе слабую комету, проходящую перигелий в тот момент, когда она находится в противостоянии с Солнцем. Измерения показали, что она смещается практически вдоль эклиптики каждые сутки примерно на $3,2^\circ$ в прямом направлении (в сторону роста эклиптической долготы). Предварительно астроном знал только расстояние от Земли до кометы, оно равнялось $0,1$ а.е. Найдите эксцентриситет кометы.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Запишем формулу для скорости в перигелии:

$$v_{\pi} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}(1+e)}{a_{\kappa}(1-e)}} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}(1+e)}{a_{\oplus} + r}}.$$

Где r – расстояние от Земли до кометы, M_{\odot} – масса Солнца.

$$v_{\pi}^2 = \frac{GM_{\odot}(1+e)}{a_{\oplus} + r} \Rightarrow v_{\pi}^2(a_{\oplus} + r) = GM_{\odot}(1+e) \Rightarrow e = \frac{v_{\pi}^2(a_{\oplus} + r)}{GM_{\odot}} - 1.$$

Выразим v_{π} . Из рисунка видно, что скорость кометы относительно Земли равна:

$$v_{\text{отн}} = \omega \cdot r = v_{\pi} - v_{\oplus} \Rightarrow v_{\pi} = \omega \cdot r + v_{\oplus}.$$

Где ω – угловая скорость перемещения кометы на небе Земли.

$$\omega = 3,2 \frac{\circ}{\text{сут}} = 6,46 \cdot 10^{-7} \frac{\text{рад}}{\text{сек}}.$$

Подставим v_{π} в формулу для эксцентриситета:

$$e = \frac{(\omega \cdot r + v_{\oplus})^2(a_{\oplus} + r)}{GM_{\odot}} - 1 = 0,95.$$

ОТВЕТ: эксцентриситет орбиты орбиты кометы равен: $e = 0,95$.

КРИТЕРИИ:

1	Запись формулы для скорости в перигелии	3 балла
2	Верно получено выражение для эксцентриситета	1 балл
3	Верно выражена v_{π} через ω , r и v_{\oplus}	2 балла
4	Верный численный ответ для эксцентриситета	2 балла

11.5 Геостационарный спутник Земли для некоторого наблюдателя в какой-то момент времени 21 июня оказался точно в точке весеннего равноденствия. В каких точках Земли мог располагаться этот наблюдатель? Вычислите угол между плоскостями орбит Земли и спутника. Через какое точное время спутник опять пройдёт через точку весеннего равноденствия для этого же наблюдателя? Наблюдатель не перемещается по поверхности Земли.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Геостационарная орбита – круговая орбита, расположенная над экватором Земли, находясь на которой, спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси. То есть наблюдатель мог находиться только на экваторе. Тогда точка весеннего равноденствия, склонение которой равняется нулю, каждый день проходит с востока на запад через зенит. Так как плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью экватора, то угол между орбитами Земли и спутника составляет 23,5 градуса.

Земля совершает полный оборот вокруг своей оси за одни звёздные сутки, значит и геостационарный спутник в следующий раз окажется в точке весеннего равноденствия через этот период:

$$T = 23^{\text{ч}}56^{\text{м}}04^{\text{с}}.$$

ОТВЕТ: наблюдатель мог находиться только на экваторе, угол между орбитами Земли и спутника составляет 23,5°, спутник окажется в точке весеннего равноденствия через одни звёздные сутки.

КРИТЕРИИ:

1	Понимание конфигурации орбиты геостационарного спутника	2 балла
2	Понимание расположения точки весны относительно наблюдателя	2 балла
3	Указание о расположении наблюдателя на экваторе	1 балл
4	Верный ответ для угла между плоскостями орбит	2 балла
5	Верный ответ для времени прохождения спутника через точку весны	1 балл

11.6 В 2020 году с помощью данных спектрографа ESPRESSO Очень Большого Телескопа (VLT) учёными была подтверждена ранее высказанная гипотеза о существовании планеты у ближайшей к нам (кроме Солнца) звезды - Проксимы Центавра. Её обозначение - Проксима Центавра b. Также были уточнены масса этой экзопланеты - не менее 1,17 массы Земли и период её обращения - 11,2 дня. Эти измерения удалось сделать благодаря транзиту (прохождению) планеты по диску звезды. Оцените в звёздных величинах падение блеска звезды Проксимы Центавра при транзите Проксимы Центавра b по её диску. Расстояние от Солнца до Проксимы Центавра - 4,24 световых года, радиус этой звезды - 0,145 радиусов Солнца. Для оценки считайте среднюю плотность экзопланеты равной средней плотности Земли.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Для начала сделаем верхнюю оценку радиуса планеты. Так как её плотность можно считать равной плотности Земли, получаем:

$$1,17 = \frac{R_{\text{prox.b}}^3}{R_{\oplus}^3} \Rightarrow R_{\text{prox.b}} = 6743 \text{ км.}$$

Найдем угловой диаметр Проксимы Центавра при наблюдении с Земли. В силу малости углов:

$$\delta_{\text{prox}} = \frac{2R_{\text{prox}}}{r} = \frac{2 \cdot 0,145 \cdot 697000 \text{ км}}{4,24 \cdot 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ рад.}$$

Расстоянием между Проксимой Центавра и ее планетой можно пренебречь, по сравнению с расстоянием от Земли до Проксимы Центавра. Учитывая это, найдем угловой диаметр Проксимы Центавра b:

$$\delta_{\text{prox.b}} = \frac{2R_{\text{prox.b}}}{r} = \frac{2 \cdot 6743 \text{ км}}{4,24 \cdot 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}} = 3,36 \cdot 10^{-10} \text{ рад.}$$

Чтобы найти падение блеска во время транзита, воспользуемся формулой Погсона:

$$\Delta m = -2,5 \lg \frac{\pi \delta_{\text{prox}}^2 / 4 - \pi \delta_{\text{prox.b}}^2 / 4}{\pi \delta_{\text{prox}}^2 / 4} = -2,5 \lg \frac{\delta_{\text{prox}}^2 - \delta_{\text{prox.b}}^2}{\delta_{\text{prox}}^2}.$$

Подставляя значения, получаем:

$$\Delta m = 0,005^m.$$

ОТВЕТ: падение блеска звезды Проксимы Центавра составляет $\Delta m = 0,005^m$.

КРИТЕРИИ:

1	Найден радиус планеты	1 балл
2	Найден угловой диаметр звезды	1 балл
3	Найден угловой диаметр планеты	1 балл
4	Запись формулы Погсона, содержащую в выражении угловые диаметры	3 балла
5	Численный ответ для падения блеска	2 балла