Примерные решения заданий по астрономии с рекомендациями для членов жюри

Приводятся примерные решения заданий. Некоторые решения могут сопровождаться рисунками, выполненными от руки.
За правильное и полное решение каждой задачи может быть выставлено не более 8 баллов.

7 класс

Задание 1
a) – туманность Андромеды, **(1 балл)**
b) – комета Галлея, **(1 балл)**
c) – Плутон, **(1 балл)**
d) – Деймос – спутник Марса, **(1 балл)**
e) – туманность Конская Голова. **(1 балл)**
За дополнительную информацию об этих космических объектах, в зависимости от полноты ответа, **от 0 до 3 баллов**.

Задание 2
Созвездия: Андромеда, Лебедь, Микроскоп, Орион, Рак, Телец, Часы, Ящерица. **(за каждое правильное название созвездия – +1 балл, за каждое лишнее название – –1 балл)**

Задание 3
Для любых широт Земли (кроме полюсов, где звезды не восходят и не заходят) две разные звезды, одновременно восходящие в разных (даже близких) точках горизонта, имеют разное склонение. **(3 балла)**
На любых широтах, кроме экватора, это будет означать разный промежуток времени от восхода до захода. **(3 балла)**
И лишь на экваторе все звезды заходят ровно через 12 часов после восхода (если не учитывать рефракцию). Поэтому наблюдатель находится на экваторе. **(2 балла)**

Задание 4
Экзопланета (др.-греч. ἔξω, *exō* – вне, снаружи), или внесолнечная планета – планета, которая обращается вокруг звезды, не являющейся Солнцем. **(1 балл)**
Открытие экзопланет позволило астрономам сделать вывод: планетные системы – явление в космосе распространённое. Также сейчас ведется интенсивный поиск планет, похожих на Землю. **(1 балл)**
Методы поиска: **(меньше 3 методов – 1 балл, 3 и более метода – 2 балла)**
1. Метод Доплера — спектрометрическое измерение радиальной скорости звезды. Это самый распространённый метод.
2. Транзитный метод связан с прохождением планеты на фоне звезды. В этот момент светимость звезды уменьшается.
3. Метод гравитационного микролинзирования. Между наблюдаемым объектом (звездой, галактикой) и наблюдателем на Земле должна быть другая звезда (она выступает в роли линзы), фокусирующая своим гравитационным полем свет наблюдаемой звёздной системы.
4. Астрометрический метод. Основан на изменении собственного движения звезды под гравитационным воздействием планеты.
5. Радионаблюдение пульсаров. Если вокруг пульсара вращаются планеты, то излучаемый сигнал имеет осциллирующий характер.
6. Прямое наблюдение. Существует метод получения прямых изображений экзопланет посредством изолирования их от света звезды.
(подробное описание методов – 2 балла)
«Кеплер» — астрономический спутник НАСА, оснащённый сверхчувствительным фотометром, специально предназначенный для поиска экзопланет (планет вне Солнечной

системы — у других звёзд), подобных Земле. По состоянию на июль 2015 года подтверждена природа более 1000 планет из около 4700 кандидатов, открытых телескопом. **(2 балла)**

Задание 5

а) в порядке убывания размеров: **(4 балла)**

1. Солнце;
2. Юпитер;
3. Венера;
4. Марс;
5. Меркурий;
6. Луна.

б) в порядке убывания яркости (при наблюдении с поверхности Земли): **(4 балла)**

1. Солнце;
2. Луна;
3. Венера;
4. Юпитер;
5. Марс;
6. Меркурий.

Задание 6

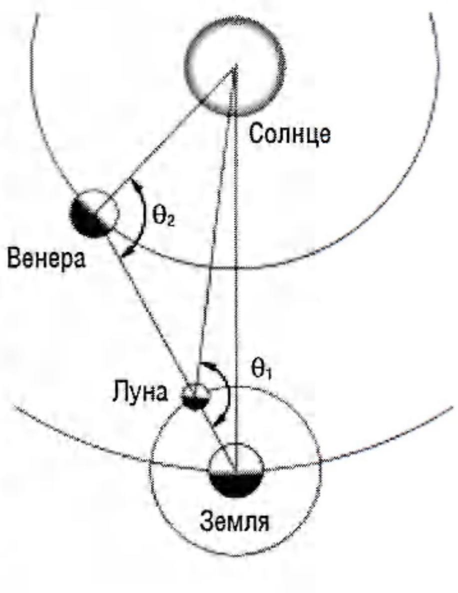
Массу планеты можно достаточно точно определить по третьему обобщенному закону Кеплера, если известны периоды обращения и радиусы орбит ее спутников. **(3 балла)**
У Меркурия и Венеры спутников нет. **(2 балла)**
Оценка массы планеты по ее влиянию на другие планеты и пролетающие рядом астероиды не дает высокой точности. Точно определить массу Венеры удалось лишь в XX веке с помощью космических аппаратов. **(3 балла)**

8 класс

Задание 1

a) – туманность Андромеды, **(1 балл)**
b) – комета Галлея, **(1 балл)**
c) – Плутон, **(1 балл)**
d) – Деймос – спутник Марса, **(1 балл)**
e) – туманность Конская Голова. **(1 балл)**
За дополнительную информацию об этих космических объектах, в зависимости от полноты ответа, **от 0 до 3 баллов**.

Задание 2



Фаза планеты – отношение площади освещенной части видимого диска ко всей его площади. **(1 балл)**
Смена фаз Луны обусловлена переменами в условиях освещения Солнцем тёмного шара Луны при её движении по орбите. С изменением взаимного расположения Земли, Луны и Солнца терминатор (граница между освещённой и неосвещённой частями диска Луны) перемещается, что и вызывает изменение очертаний видимой части Луны. **(1 балл)**
Чтобы отличить первую четверть от последней, наблюдатель, находящийся в северном полушарии, может использовать следующие мнемонические правила. Если лунный серп в небе похож на букву «С (d)», то это – луна «Стареющая» или "Сходящая", то есть это

последняя четверть. Если же он повёрнут в обратную сторону, то, мысленно приставив к нему палочку, можно получить букву «Р (р)» – луна «Растущая», то есть это первая четверть. Растущий месяц обычно наблюдается вечером, а стареющий – утром. **(2 балла)**

Для ответа на последний вопрос достаточно взглянуть на рисунок **(2 балла)**, показывающий на конфигурацию Луны и Венеры в день их соединения. Фаза Луны (Венеры), равная доле освещенной части площади ее диска или, что то же самое, доле освещенной части ее диаметра, направленного на Солнце (параллельно «рогам» серпа), связана с фазовым углом соотношением $F = \dfrac{1+\cos\theta}{2}$, которое легко вывести из геометрических соображений. Видно, что фазовый угол Венеры меньше фазового угла Луны, а значит, фаза Венеры будет больше фазы Луны. **(2 балла)**

Задание 3

Для любых широт Земли (кроме полюсов, где звезды не восходят и не заходят) две разные звезды, одновременно восходящие в разных (даже близких) точках горизонта, имеют разное склонение. **(3 балла)**

На любых широтах, кроме экватора, это будет означать разный промежуток времени от восхода до захода. **(3 балла)**

И лишь на экваторе все звезды заходят ровно через 12 часов после восхода (если не учитывать рефракцию). Поэтому наблюдатель находится на экваторе. **(2 балла)**

Задание 4

Экзопланета (др.-греч. ἔξω, *exō* – вне, снаружи), или внесолнечная планета – планета, которая обращается вокруг звезды, не являющейся Солнцем. **(1 балл)**

Открытие экзопланет позволило астрономам сделать вывод: планетные системы – явление в космосе распространённое. Также сейчас ведется интенсивный поиск планет, похожих на Землю. **(1 балл)**

Методы поиска: **(меньше 3 методов – 1 балл, 3 и более метода – 2 балла)**

1. Метод Доплера — спектрометрическое измерение радиальной скорости звезды. Это самый распространённый метод.
2. Транзитный метод связан с прохождением планеты на фоне звезды. В этот момент светимость звезды уменьшается.
3. Метод гравитационного микролинзирования. Между наблюдаемым объектом (звездой, галактикой) и наблюдателем на Земле должна быть другая звезда (она выступает в роли линзы), фокусирующая своим гравитационным полем свет наблюдаемой звёздной системы.
4. Астрометрический метод. Основан на изменении собственного движения звезды под гравитационным воздействием планеты.
5. Радионаблюдение пульсаров. Если вокруг пульсара вращаются планеты, то излучаемый сигнал имеет осциллирующий характер.
6. Прямое наблюдение. Существует метод получения прямых изображений экзопланет посредством изолирования их от света звезды.

(подробное описание методов – 2 балла)

«Кеплер» — астрономический спутник НАСА, оснащённый сверхчувствительным фотометром, специально предназначенный для поиска экзопланет (планет вне Солнечной системы — у других звёзд), подобных Земле. По состоянию на июль 2015 года подтверждена природа более 1000 планет из около 4700 кандидатов, открытых телескопом. **(2 балла)**

Задание 5

Расстояние от Меркурия до Солнца в среднем в 100 раз меньше расстояния Плутона до Солнца. **(2 балла)**

Значит, на Меркурии Солнце для наблюдателя будет в 100*100=10000 раз ярче. **(2 балла)**

Каждые 100 раз – это 5 звездных величин. **(2 балла)**
Значит, Солнце на Меркурии будет на 10^m ярче, чем на Плутоне. **(2 балла)**

Задание 6

Высота, на которую может подпрыгнуть астронавт, определяется соотношением (закон сохранения энергии):

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = mgh \Rightarrow h = \frac{\upsilon^2}{2g},$$ **(2 балла)**

где υ – его вертикальная скорость после прыжка, а g – ускорение свободного падения. Скорость υ определяется только физическими возможностями астронавта и одинакова на Земле и на Луне. Ускорение свободного падения на поверхности небесного тела равно

$$g = G\frac{M}{R^2},$$ **(2 балла)**

где M и R — его масса и радиус.

Масса Луны в 81.3 раза меньше массы Земли, а ее радиус меньше земного в 3.67 раза. **(2 балла)**

Получается, что ускорение свободного падения на Луне в 6.04 раза меньше, чем на Земле, соответственно во столько же раз высота прыжка на Луне будет больше, чем на Земле. Если астронавт прыгает на Земле на 1 метр, то на Луне он мог бы запрыгнуть на крышу двухэтажного дома (6 метров)! **(2 балла)**

9 класс

Задание 1

a) – Южная Рыба, **(1 балл)**
b) – Дельфин, **(1 балл)**
c) – Золотая Рыба, **(1 балл)**
d) – Летучая Рыба, **(1 балл)**
e) – созвездие Рыбы. **(1 балл)**
Лишнее созвездие – Дельфин. **(3 балла)**.

Задание 2

Великие противостояния Марса – эпохи наиболее тесного сближения Земли и Марса, предоставляющие астрономам возможность детально исследовать эту планету с помощью телескопов. **(1 балл)**

Если бы орбиты Земли и Марса были совершенно круглыми, то все противостояния этих планет были бы одинаковыми. Но это не так: орбиты планет эллиптические. Правда, орбита Земли лишь чуть-чуть отличается от окружности, но орбита Марса вытянута весьма заметно. А поскольку время между противостояниями немного больше двух лет, то Земля за это время совершает чуть больше двух оборотов по орбите, а Марс – немного больше одного оборота. Значит, при каждом противостоянии эти планеты встречаются в разных местах своих орбит, приближаясь друг к другу на разное расстояние. Если противостояние случается в период нашей зимы, – с января по март, – то расстояние до Марса довольно велико, около 100 млн. км. Но если Земля сближается с Марсом в конце лета, когда Марс проходит перигелий своей орбиты, то расстояние от нас до Марса сокращается всего до 56-60 млн. км. Такие благоприятные противостояния называют ВЕЛИКИМИ, они случаются через каждые 15 или 17 лет. Противостояние тем благоприятнее, чем ближе оно приходится к 28 августа, так как в этот день Земля проходит ближе всего к перигелию орбиты Марса. **(3 балла)**

Великие противостояния непременно приносят астрономам новые открытия о природе Красной планеты. **(1 балл)**

Во время великого противостояния планета Марс находится по ту же сторону от Солнца, что и Земля, находясь вдобавок к этому вблизи точки перигелия своей орбиты. Казалось бы, Земля находится между Солнцем и Марсом, и наблюдатели на Марсе могли бы увидеть прохождение Земли по диску Солнца. Но орбиты Земли и Марса находятся в разных полуплоскостях, и прохождение возможно, только если планеты находятся вблизи «линии узлов» – линии пересечения плоскостей орбит. Такое бывает, если противостояние Марса наступает в середине мая или середине ноября. Великие же противостояния Марса происходят в августе или сентябре, и тогда Марс располагается на небе значительно южнее эклиптики. Соответственно, для наблюдателей на Марсе Земля пройдет севернее диска Солнца, и прохождение не наступит. **(3 балла)**

Задание 3

Сидерический период обращения (от лат. sidus, звезда; род. падеж sideris) – промежуток времени, в течение которого какое-либо небесное тело-спутник совершает вокруг главного тела полный оборот относительно звёзд. Понятие «сидерический период обращения» применяется к обращающимся вокруг Земли телам – Луне (сидерический месяц) и искусственным спутникам, а также к обращающимся вокруг Солнца планетам, кометам и др. Сидерический период также называют годом. У Земли – 1 год. **(1 балл)**

Синодический период обращения (от греч. σύνοδος – соединение) – промежуток времени между двумя последовательными соединениями Луны или какой-нибудь планеты Солнечной системы с Солнцем при наблюдении за ними с Земли. При этом соединения планет с Солнцем должны происходить в фиксированном линейном порядке, что существенно для внутренних планет: например, это будут последовательные верхние соединения, когда планета проходит за Солнцем. **(1 балл)**

Формула связи между сидерическими периодами обращения двух планет (за одну из них принимаем Землю) и синодического периода S одной относительно другой:

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{Z}-\frac{1}{T}$$ (для внешних планет), **(1 балл)**

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{T}-\frac{1}{Z}$$ (для внутренних планет), **(1 балл)**

где Z – сидерический период Земли (1 год), T – сидерический период планеты.

Синодический период внешней планеты S превышает один земной год, следовательно, планета обращается вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля. В этом случае ее период обращения вокруг Солнца T может быть найден из соотношения:

$$\frac{1}{T}=\frac{1}{T_0}-\frac{1}{S}.$$ **(1 балл)**

Здесь T_0 – период обращения Земли вокруг Солнца. Подставляя численные значения, получаем, что период обращения планеты вокруг Солнца составляет 11.4 лет. **(1 балл)**

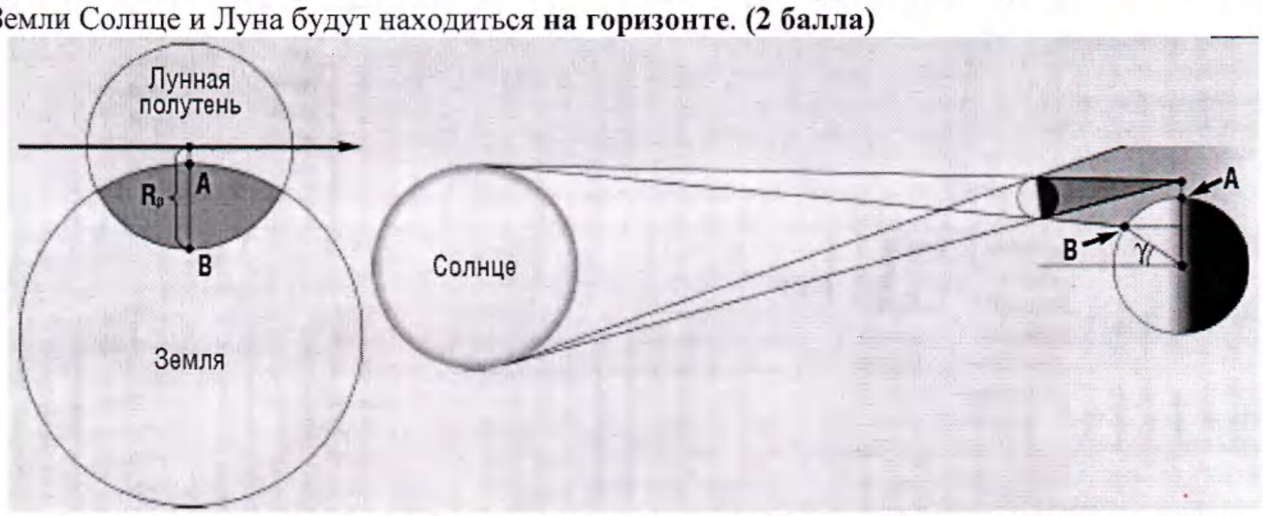
Величина среднего расстояния планеты от Солнца, или, то же самое, большой полуоси ее орбиты, составляет

$$a=a_0\left(\frac{T}{T_0}\right)^{2/3}\approx 5.07 \text{ а.е.}$$ **(2 балла)**

Задание 4

В условии задачи сказано, что на Земле наблюдается только частное затмение Солнца. Значит, линия, соединяющая центры Солнца и Луны (линия центрального затмения) не попала на поверхность нашей планеты. В этом случае наибольшая фаза затмения будет наблюдаться в точке Земли А, глубже всего вошедшей в лунную полутень. **(1 балл)**

Если смотреть на Землю со стороны Луны **(поясняющие рисунки – 2 балла)**, то эта точка будет находиться на краю диска Земли, ближе всего к центру тени и полутени. В этой точке Земли Солнце и Луна будут находиться **на горизонте. (2 балла)**



А чтобы ответить на второй вопрос задачи, рассмотрим ту же конфигурацию Солнца, Луны и Земли «сбоку». Из рис. видно, что в интересующей нас точке Земли диск Луны будет виден точно над диском Солнца, то есть Солнце будет на горизонте и превратится **в серп с рогами, направленными вверх. (3 балла – ответ с рисунком , 1 балл – ответ без рисунка)**

Задание 5

Скорость суточного движения Земли направлена с запада на восток и равна: $\upsilon_0 = \dfrac{2\pi R\cos\varphi}{T_0}$.

(2 балла)

Здесь R = 6378 км – радиус Земли, T_0 = 24 часа – период ее вращения вокруг своей оси. На широте $\varphi = 60°$ эта скорость составляет 835 км/ч. **(1 балл)**

Движение пассажира поезда вокруг оси Земли будет происходить на υ_X км/ч быстрее. **(1 балл)**

В день весеннего равноденствия световой день будет длиться ровно половину солнечных суток (если не учитывать рефракцию), то есть для пассажира поезда он составил 11.195 часов или 11 часов 12 минут. Тогда продолжительность солнечных суток в 2 раза больше – 22,39 часов или 22 часа 24 минуты. **(2 балла)**

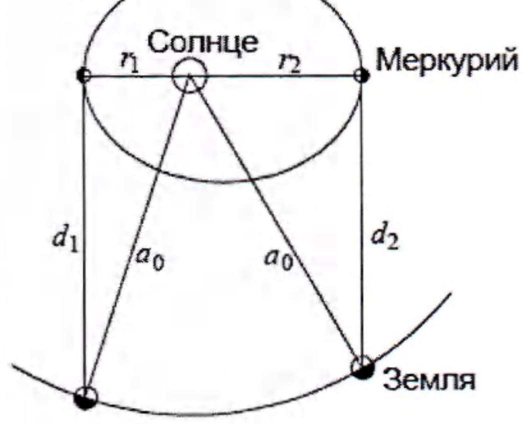
Отсюда находим скорость:

$$T = \frac{2\pi R\cos\varphi}{\upsilon_0 + \upsilon_X} \Rightarrow \upsilon_X = \frac{2\pi R\cos\varphi}{T} - \upsilon_0 \approx 60 \text{ км/час.}$$ **(2 балла)**

Задание 6

На рисунке **(2 балла)** видно, что если Меркурий достигает наибольшей элонгации в перигелии или афелии, угол с вершиной в центре этой планеты и образованный с направлениями на Солнце и Землю, равен 90°. Таким образом, фазовые углы Меркурия в обоих случаях совпадают, и соотношение значений блеска Меркурия в этих положениях определяется только соотношением его расстояний до Солнца и Земли. В перигелии расстояние от Солнца до Меркурия равно

$$r_1 = a(1-e) = 0.307 \text{ а.е.,}$$



а расстояние от Земли до Меркурия, если в это время он находится в наибольшей элонгации

$$d_1 = \sqrt{a_0^2 - r_1^2} = 0.952 \text{ а.е.}$$ **(1 балл)**

Здесь a и e – большая полуось и эксцентриситет орбиты Меркурия, a_0 – радиус орбиты Земли.

Соответственно, в афелии расстояние Меркурия от Солнца составляет

$$r_2 = a(1+e) = 0.467 \text{ а.е.},$$

а до Земли во время наибольшей элонгации

$$d_2 = \sqrt{a_0^2 - r_2^2} = 0.884 \text{ а.е.}$$ **(1 балл)**

Отношение яркостей Меркурия в первом и втором случае равно

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{r_2^2 d_2^2}{r_1^2 d_1^2} \approx 2,$$ **(2 балла)**

то есть во время наибольшей элонгации в перигелии Меркурий вдвое ярче, чем в афелии. Соответствующая разница звездных величин равна

$$\Delta m = 2.5 \lg 2 \approx 0.75.$$ **(2 балла)**

10 класс

Задание 1. ***Решение.*** Две крайние звезды «ковша» созвездия Большой Медведицы определяют примерное направление на Полярную звезду созвездия Малая Медведица. Для нахождения Полярной звезды нужно мысленно отложить на небосводе примерно пять угловых расстояний между крайними звездами «ковша» в сторону от «открытой части ковша». Полярная звезда является белым сверхгигантом спектрального класса F с температурой фотосферы примерно от 6 000 до 8 000 K. Полярная звезда имеет видимый блеск 2^m Поскольку она самая яркая звезда созвездия, то имеет обозначение **α**.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) названия звезды и созвездия – ***1 балл***,
   если указан только один факт, то оценивается в ***0 баллов***;
2) указание направления от созвездия «Большая Медведица» – ***1 балл***;
3) указание примерного расстояния от созвездия «Большая Медведица» – ***1 балл***;
4) видимый блеск 2^m – ***1 балл***;
5) обозначение **α** – ***1 балл***;
6) последовательность сверхгиганты – ***1 балл***;
7) спектральный класс F – ***1 балл***;
8) примерная температура фотосферы от 6 000 до 8 000 – ***1 балл***.

По пунктам 2) и 3) может быть представлен примерный правильный рисунок расположения созвездий, который оценивается в ***2 балла***, с общей оценкой за решение не выше **8 баллов**.

Задание 2. ***Решение.*** Поскольку Солнце находилось к югу от зенита, то наблюдения производились в северном полушарии Земли. На рисунке указаны: O - центр сферы; P - северный полюс мира; Q - небесный экватор; Z - зенит; N, S - точки севера и юга; M_1, M_2 - положения Солнца.

Из рисунка видно, что угол наклона эклиптики к небесному экватору в эпоху наблюдения равен:

$$\varepsilon_н = (h_1 - h_2)/2 = 23°54'.$$

По этому значению можно вычислить широту места:

$$\varphi = 90° - h + \delta = 34°47',$$

где склонение Солнца $\delta_1 = \varepsilon_н$ или $\delta_2 = -\varepsilon_н$. Широта есть величина положительная (северное полушарие Земли).

Значение $\varepsilon_н$ можно сравнить с современным значением $\varepsilon_c = 23° 26'$. Вывод: угол наклона эклиптики к небесному экватору уменьшился вследствие прецессии оси вращения Земли.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) рисунок – ***4 балла***,
   если указаны не все его элементы, то оценка соответствующим образом уменьшается;
2) вычисление величины $\varepsilon_н$ – ***1 балл***;
3) вычисление положительной величины φ – ***2 балла***;
4) вывод – ***1 балл***.

Задание 3. ***Решение.*** В момент одновременного восхода Солнца и Луны центры их видимых дисков совпадают. Поскольку Луна находится между Солнцем и Землёй, то она закрывает Солнце. Поскольку восход наблюдается в точке востока, то явление происходит в один из дней равноденствий. Вследствие рефракции лучей света в атмосфере центры дисков Солнца и Луны находятся ниже точки восхода истинного горизонта. Так как орбиты Земли и Луны, в первом приближении, являются эллипсами, то возможны три ситуации. Если Земля находится вблизи точки афелия орбиты, а Луна вблизи точки апогея, то угловой размер диска Луны меньше углового размера диска Солнца. В этом случае при затмении наблюдается кольцо внешнего края диска Солнца (кольцевое затмение). Если Земля находится вблизи точки перигелия орбиты, а Луна вблизи точки перигея, то угловой размер диска Луны больше углового размера диска Солнца, При этом происходит полное затмение Солнца на некоторое время, и наблюдается солнечная корона. Иногда угловой размер диска Луны практически совпадает с угловым размером диска Солнца. При этом диск Луны на миг точно закрывает Солнце (фаза полного затмения).
При этом наблюдатель оказывается на линии, проходящей через центры полно

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) совпадения центров дисков Солнца и Луны – ***1 балл***;
2) указание на явление рефракции – ***1 балл***,
3) описание полного затмения с наблюдением солнечной короны – ***2 балла***;
4) описание мгновенного полного затмения – ***2 балла***;
5) описание кольцевого затмения – ***2 балла***.

По пунктам 1) и 2) может быть представлен примерный правильный рисунок расположения небесных тел, который оценивается в ***2 балла***, с общей оценкой за решение не выше **8 баллов**.

Задание 4. ***Решение.*** Закон всемирного тяготения для сферических (точечных) тел можно представить в виде

$$F = GmM/r^2, \qquad (4.1)$$

где F – модуль силы тяжести, G – гравитационная постоянная, M – масса небесного тела, m – масса спутника; r – расстояние между центрами тел.
Из основного закона динамики следует, что модуль силу можно выразить в виде

$$F = ma, \qquad (4.2)$$

где a – модуль ускорения летящего спутника.
При движении по круговой орбите модуль ускорения можно выразить через радиус R орбиты и модуль скорости v спутника:

$$a = v^2/R. \qquad (4.3)$$

С учетом выражения для скорости

$$v = 2\pi R/T, \qquad (4.4)$$

где T – период обращения по орбите, преобразованием соотношений (4.1)-(4.3) получаем искомую зависимость

$$R^3/T^2 = GM/(4\pi^2) = \text{const}. \qquad (4.5)$$

Следовательно, для любых двух спутников будет выполняться условие

$R_1^3/T_1^2 = R_2^3/T_2^2$, (4.6)

где R_1, R_2 и T_1, T_2 – радиусы и периоды обращения спутников.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) правильные объяснения и записи соотношений (4.1)-(4.4), за каждое – ***1 балл***;

2) правильные объяснения и записи соотношений (4.5) и (4.6), за каждое – ***2 балла***.

Задание 5. ***Решение.*** Кратная звезда состоит из трёх или более звёзд, которые выглядят с Земли близкими друг к другу. Близость звезд может быть просто видимостью, когда звезды, расположенные на значительно разных расстояниях от Земли, находятся близко по лучу зрения. Эти звезды называются оптически кратными. Собственные движения этих звезд ни коим образом не взаимосвязаны. То есть, их собственные движения произвольно направлены в пространстве.

Физически кратные звёзды находятся близко друг с другом и связаны гравитационным взаимодействием. Поэтому они вращаются по определённым замкнутым орбитам вокруг общего центра масс системы. Двойные звёзды, или звезды с большей кратностью весьма распространённые объекты. Примерно половина звёзд Нашей Галактики принадлежит к двойным системам.

Если звёзды системы наблюдаются в телескоп по отдельности, то такая система называется визуально кратной. Если же кратность звезды может быть определена только с помощью спектральных (доплеровских) или фотометрических (по изменению блеска) наблюдений, то она называется спектрально кратной или затменной кратной системой. В тесных кратных звездах наблюдаются процессы переноса вещества с одной звезды системы на другую звезду. Могут быть приведены и другие хорошо известные примеры: α Большого Пса звезда Сириус – двойная звезда, компоненты A и B; α Центавра – тройная звезда, компоненты A, B и C; β Персея звезда Алголь – тройная звезда, компоненты A, B и C; β Лиры звезда Шелиак – многокомпонентная звезда; система звезды Кастор состоит из 6 компонентов.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) оптически кратные звезды – ***1 балл***;

2) собственные произвольные движения оптически кратных звезд – ***1 балл***;

3) гравитационное взаимодействие физически кратных звёзд – ***1 балл***;

4) движение по определённым замкнутым орбитам – ***1 балл***;

5) указание общего центра масс системы – ***1 балл***;

6) распространённость систем – ***1 балл***;

7) указание на перетекание вещества – ***1 балл***;

8) примеры систем – ***1 балл***.

Задание 6. ***Решение.*** Для оценки возраста Вселенной в «галактических годах» требуется вычислить продолжительность такого года, в течение которого Солнце совершает один оборот вокруг центра Нашей Галактики. Для этого нужно определить длину солнечной орбиты L и выразить продолжительность T галактического года в земных годах:

$L = 2\pi R$,

где радиус орбиты нужно выразить в километрах через скорость света и продолжительность земного года:

$R = 2{,}6\cdot10^4$св. лет$\cdot3\cdot10^5$км/с$\cdot365$сут$\cdot24$ч$\cdot3600$с $\approx 2{,}46\cdot10^{17}$км,

$L \approx 1{,}5\cdot10^{18}$км.

Галактический год примерно равен:

$T = L/v = 1.5\cdot10^{18}$ км/250 км/сек $= 6\cdot10^{15}$ сек = 190 млн. лет.

Следовательно, возраст Вселенной в галактических годах равен:

15 млрд. лет /190 млн. лет = 80 гал. лет.

В сравнении с продолжительностью жизни человека Вселенная уже состарилась.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) определение галактического года – ***2 балла***;
2) вычисление длины галактической орбиты – ***2 балла***;
3) вычисление продолжительности галактического года – ***2 балла***;
4) сравнение «возрастов» – ***2 балла***.

11 класс

Задание 1. ***Решение.*** При нахождении небесного тела в зените его высота h над горизонтом равна 90°. Для широты места наблюдения Луны из известной формулы

$$\varphi = 90° - h + \delta \tag{1.1}$$

следует выражение

$$\varphi = \delta_Л, \tag{1.2}$$

где $\delta_Л$ угловое склонение Луны в момент наблюдения относительно небесного экватора.

Набольшее и наименьшее значения широты определяются предельными возможными значениями склонения Луны

$$\delta_Л = \pm (\varepsilon_э + \varepsilon_Л). \tag{1.3}$$

Здесь $\varepsilon_э$ угол между плоскостями эклиптики и небесного экватора, $\varepsilon_Л$ наклон плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики.

В результате предельные значения широт равны:

$$\varphi_{наиб} = + \delta_Л = 28° 35' \text{ северной широты}, \tag{1.4}$$

$$\varphi_{наим} = - \delta_Л = 28° 35' \text{ южной широты}. \tag{1.5}$$

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:
1) указание величины высоты h Луны, равной 90 ° – ***1 балл***;
2) запись формулы (1.1) – ***1 балл***;
3) запись формулы (1.2) – ***1 балл***;
4) запись формулы (1.3) – ***1 балл***;
5) указание значений величин $\varepsilon_э$ и $\varepsilon_Л$, за каждое по – ***1 баллу***;
6) запись результатов (1.4) и (1.5) , за каждое по – ***по 1 баллу***.

Задание 2. ***Решение.*** Обсерватории для наблюдения Солнца располагают на высотах от 2000 метров над уровнем моря, чтобы пыль и рассеяние света в атмосфере и атмосферное дрожание незначительно влияли на результаты наблюдений.

Основной задачей обсерватории являются наблюдения активных явлений (пятна, протуберанцы, спикулы) в фотосфере и атмосфере Солнца. В обычные дни на экране солнечного телескопа наблюдается изображение фотосферы Солнца, которая окружена хромосферой и короной.

Видимые угловые размеры дисков Солнца и Луны практически равны и составляют около 30 угловых минут. Поскольку в момент кульминаций центры дисков находятся строго на небесном меридиане на расстоянии около 50 минут, то на экране телескопа наблюдается незначительное покрытие солнечного диска Луной в виде небольшого чёрного кругового сегмента. Это явление называется частным солнечным затмением в незначительной фазе. Особенность явления в том, что Луна может находится как выше, так и ниже Солнца относительно горизонта. Поэтому чёрный сегмент может располагаться либо на одной, либо на противоположной стороне изображения солнечного диска.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:
1) высота обсерватории над уровнем моря – ***1 балл***;
2) влияние пыли, рассеяния света в атмосфере и атмосферное дрожание – ***1 балл***;
3) активности в фотосфере и солнечной атмосфере – ***2 балла***;
4) частичное затмение – ***2 балла***;
5) указание двух положений тени Луны, за каждое – ***по 1 баллу***.

Задание 3. ***Решение.*** Обозначим через R первоначальный радиус орбиты планеты. Тогда расстояние в апоастре новой орбиты будет

$r_a = 2R$, (3.1)

а расстояние в периастре

$r_п = R/2$. (3.2)

Следовательно большая полуось новой орбиты составит

$a = (2R + R/2)/2 = 1{,}25R$. (3.3)

По третьему закону Кеплера для отношения периода T_2 обращения на новой орбите к первоначальному периоду T_1 записываем соотношение:

$(T_2/T_1)^2 = (a/R)^3$. (3.4)

Отсюда получаем $T_2 \approx 1{,}398$, то есть, период увеличится примерно в 1,4 раза.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) указание расстояний (3.1) и (3.2), за каждое – ***по 1 баллу***;
2) вычисление значения полуоси а – ***1 балл***;
3) указание закона Кеплера – ***1 балл***;
4) запись закона Кеплера в виде (3.4) – ***2 балла***;
5) вычисление нового периода и вывод, за каждое по – ***1 баллу***.

Задание 4. ***Решение.*** Видимый диаметр Солнца равен примерно 30 угловым минутам. Температура его поверхности составляет 5800 К. Изменение потока излучения пятна $J_п$ по сравнению с потоком излучением J_C Солнца определяется двумя факторами: во-первых, уменьшением площади излучения, во-вторых, уменьшением температуры. Оба фактора учитываются в законе Стефана-Больцмана:

$J = \sigma S T^4$, (4.1)

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, S – площадь излучения, T – термодинамическая температура тела. Следовательно, отношение потока излучения пятна $J_п$ к потоку излучения Солнца J_C равно:

$J_п/J_C = S_п T_п^4/(S_C T_C^4) = d_п^2 T_п^4/(d_C^2 T_C^4) = 4{,}1\cdot10^{14}/(1{,}13\cdot10^{15}\cdot900) \approx 1/2500$ (4.2)

Здесь индекс «п» соответствует пятну, а индекс «С» – Солнцу.

Уменьшение потока излучения можно выразить в звездных величинах с помощью формулы Погсона:

$\Delta m = -2{,}5\lg(J_п/J_C) \approx 8{,}5^m$. (4.3)

На такую величину возрастает блеск пятна по сравнению с блеском Солнца, который равен

$m_C = -26{,}8^m$.

Следовательно, блеск пятна будет равен $-18{,}3^m$. Звездные величины полной Луны, Венеры и Сатурна соответственно равны $-12{,}7^m$, -4^m и -1^m. Поэтому солнечное пятно светит примерно в 100 раз ярче полной Луны, а воспринимается тёмным только в сравнении с соседними яркими областями диска Солнца.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) закона Стефана-Больцмана – ***3 балла***;
2) вычисление отношения (4.2) – ***3 балл***;
3) вычисление изменения звездной величины (4.3) – ***1 балл***;
4) сравнение с Луной – ***1 балл***.

Задание 5. ***Решение.*** Смещение спектральных линий вызван эффектом Доплера вследствие удаления галактики. Лучевая скорость определяется по формуле

$v = c(\Delta\lambda/\lambda)$. (5.1)

Здесь с – скорость света, Δλ и Δλ – соответственно длина волны и её смещение в спектре.
Вычисляем два значения лучевой скорости:

$v_1 = 3\cdot10^5$км/с 0,00158мкм/0,3968мкм = 1194 км/с,

$v_2 = 3\cdot10^5$км/с 0,00158мкм/0,3934мкм = 1204 км/с.

Округляя среднее значение лучевой скорости получаем v = 1200 км/с, что значительно превышает скорость движения Земли. Последняя не учитывается, так как не указаны.

Поскольку Вселенная расширяется, то согласно закона Хаббла расстояние до галактики равно отношению лучевой скорости и постоянной Хаббла H:

$$r = v / H = 1200 \text{ км/с} / (72 \text{ (км/с)/Мпк}) = 16{,}6 \text{ Мпк}.$$

Абсолютная звездная величина M есть звездная величина небесного объекта при его условном наблюдении с расстояния 10 пс. Для величины M на основании формулы Погсона имеет место соотношение

$$M = m + 5 - 5\lg r(\text{пс}).$$

Отсюда находим абсолютную звездную величину галактики:

$$M = 10{,}1^m + 5^m - 5\lg(1{,}66\cdot10^7\text{пс}) = -21^m.$$

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) эффект Доплера – ***1 балл***;
2) соотношение (5.1) – ***1 балл***;
3) вычисление и усреднение величины скорости – ***2 балла***;
4) закон Хаббла – ***1 балл***;
5) вычисление расстояния – ***1 балл***.
6) вычисление абсолютной звездной величины – ***2 балла***.

Задание 6. ***Решение.*** Размер чёрной дыры определяется только её массой M:

$$R = 2GM / c^2, \qquad (6.1)$$

где R – гравитационный радиус дыры, G – гравитационная постоянная, c – скорость света. Так как простейшие чёрные дыры имеют сферическую форму, то плотность ρ дыры равна:

$$\rho = 3M / (4\pi R^3) = 3c^6 / (8\pi G^3 M^2). \qquad (6.2)$$

Для супертанкера из выражения (6.1) вычисляем радиус дыры:

$$R = 2\cdot6.672\cdot10^{-11}\text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}\cdot6{,}6\cdot10^8\text{кг} / (3\cdot10^8\text{м/с})^2 \approx 9{,}8\cdot10^{-19}\text{м}.$$

Дыры примерно в 1000 раз меньше тяжёлых элементарных частиц – барионов.

По соотношению (6.2) вычисляем плотность дыры:

$$\rho = 3\cdot(3\cdot10^8)^6 / (8\pi(6{,}672\cdot10^{-11})^3(6{,}6\cdot10^8)^2) \approx 6{,}73\cdot10^{62} \text{ кг/м}^3.$$

Поистине фантастическая плотность.

Решение оценивают по наличию следующих правильно описанных фактов:

1) соотношения (6.1) и (6.2), каждое по – ***2 балла***;
2) вычисления радиуса и плотности, каждое по – ***2 балла***.