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

$$\varphi = 90° - h + \delta \qquad (1.1)$$

следует выражение

$$\varphi = \delta_Л, \qquad (1.2)$$

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

Набольшее и наименьшее значения широты определяются предельными возможными значениями склонения Луны

$$\delta_Л = \pm (\varepsilon_э + \varepsilon_Л). \qquad (1.3)$$

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:

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

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

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

$r_а = 2R,$ (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 a – ***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 c – 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:

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

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

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:

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