ОТВЕТЫ И ПРИМЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО АСТРОНОМИИ (2019 – 2020)

11 класс

1. Нейтронная звезда состоит из сверхплотного вещества, в котором нейтроны практически вплотную «прижаты» друг к другу. Так как размер атома порядка 10^{-10}м, а размер нейтрона – порядка 10^{-15}м, то можно считать, что размер нейтронной звезды примерно в 10^5 раз меньше размеров Солнца. Скорость падения «из бесконечности» — это, по существу, вторая космическая скорость, равная $v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$, где G –гравитационная постоянная, R – радиус звезды, M- масса звезды. Таким образом, $v = 618 \cdot \sqrt{10^5}$ м/с $\approx 1{,}95 \cdot 10^5$м/с, т.е. всего в 1,5 раза меньше скорости света! Разогнанное вещество при ударе о поверхность нейтронной звезды выделяет колоссальную энергию. Именно этот эффект лежит в основе интерпретации вспышек сверхновых 2–го типа.

2. Рассмотрим 3 возможных случая: 1) Лучевая скорость пульсара направлена от наблюдателя. 2) Лучевая скорость пульсара направлена к наблюдателю. 3) Лучевая скорость пульсара в момент наблюдения равна нулю. В первом случае пульсар удаляется от Земли, и с ростом расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости уменьшается. Следовательно, скорость удаления пульсара от наблюдателя медленно возрастает, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать. Во втором случае пульсар приближается к Земле, и с уменьшением расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости возрастает. Следовательно, скорость приближения пульсара к наблюдателю медленно уменьшается, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать. В третьем случае пульсар начинает медленно удаляться от Земли, его лучевая скорость возрастает от нулевого значения. Поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать. Таким образом, во всех случаях должно наблюдаться медленное уменьшение частоты импульсов пульсара. Кстати, по своей ожидаемой величине оно вполне доступно измерениям для не очень далеких пульсаров, и лишь медленное торможение вращения радиопульсаров, так же приводящее к уменьшению частоты импульсов, затрудняет наблюдательное обнаружение рассматриваемого здесь эффекта.

3. Диаметр звезды D, ее светимость L и температуру поверхности T связывает закон Стефана - Больцмана: $L = \sigma T^4 \pi D^2$, откуда: $D/D_\odot = (L/L_\odot)^{1/2} (T_\odot/T)^2$. Температуру T поверхности Сириуса найдем из закона Вина: $T(K) = 3 \cdot 10^{-3}/\lambda$(м). Отношение светимостей $L/L_\odot$ можно выразить через отношение освещенностей $E/E_\odot$ на Земле от Солнца и Сириуса: $L/L_\odot = (E/E_\odot)(r/r_\odot)^2$, где r и $r_\odot$ - соответственно расстояния от Земли до Сириуса и Солнца. Учитывая, что $E/E_\odot = 2{,}5^{m_\odot - m}$, и , производя последовательно вычисления, получим: T = 10000К, $P_\odot/P = 1.28 \cdot 10^{10}$, $L/L_\odot = 27{,}3$, получим: $D/D_\odot = 1.9$

4. Начнем с оценки массы астероида. Считая, что средняя плотность вещества астероидов около 2 * 10^3кг/м^3, и оценивая объем астероида как $300^3 = 3 * 10^7$ м^3 (для оценки его вполне можно считать и кубическим), получаем массу порядка 6* 10^{10} кг, причем сразу отметим, что точность этой оценки весьма невелика. Дальнейшие рассуждения можно вести несколькими путями, мы опишем самый короткий, но не обязательный. Вспомним одну из форм интеграла энергии:

$$v^2 = GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$$

где v — скорость движения тела по орбите вокруг притягивающего центра, G — гравитационная постоянная, M — масса притягивающего центра (в нашем случае Солнца), r — расстояние до притягивающего центра, a — большая полуось орбиты. В момент удара расстояние r не меняется, но меняется скорость v, что может привести к изменению a, которое и требуется найти. Совершенно очевидно, что изменение скорости за счет удара будет небольшим, и малое изменение v приведет к малому изменению a. В то же время начальное значение скорости v, а также значение r могут быть разными, поскольку орбита астероида в общем случае эллиптическая. Но, поскольку эксцентриситет орбиты астероида ограничен сверху значением e = 0:25, то расстояние r меняется в пределах от a (1 - e) до a (1+ e) (т.е. менее чем в два раза), как следствие, величина начальной скорости может меняться также максимум примерно в два раза. Отсюда следует важный вывод: с учетом низкой точности оценки массы астероида рассматривать разные случаи (столкновение в перигелии или афелии, удар «в хвост» астероида, увеличивающий его импульс, или, наоборот, «в лоб»), практически бесполезно. Достаточно ограничиться одной оценкой для некоторого «среднего» случая. Заметим, впрочем, что можно выбрать для оценки и наиболее эффективный вариант изменения орбиты. Для этого надо, чтобы скорость астероида в относительных величинах изменилась сильнее всего, а это получится в ситуации, когда удар будет произведен «в лоб» в тот момент, когда скорость движения астероида будет минимальной (т.е. он будет находиться в афелии самой вытянутой из всех возможных орбит). Получим все же «среднюю» оценку. При движении по круговой орбите астероид будет двигаться со скоростью, равной орбитальной скорости Земли, т.е. примерно 30 км/с. Считая, что его столкновение с болванкой будет абсолютно неупругим, и, воспользовавшись законом сохранения импульса, получим, что скорость астероида изменится на величину, не превосходящую $\Delta v = \frac{m}{M} V$, где m — масса болванки, M — масса астероида, V — относительная скорость движения болванки, данная в условии. Подставляя числовые данные, получаем $\Delta v \approx 5 \cdot 10^{-5}$ м/с. Осталось определить, каким будет изменение большой полуоси a при таком крошечном изменении скорости. Сделать это можно, например, так. Выразим из интеграла энергии член 2/r:

$$\frac{v^2}{GM} + \frac{1}{a} = \frac{2}{r}$$

и приравняем левые части для исходных и измененных значений скорости и большой полуоси:

$$\frac{v^2}{GM} + \frac{1}{a} = \frac{(v+\Delta v)^2}{GM} + \frac{1}{a+\Delta a}$$

После раскрытия скобок, сокращения одинаковых слагаемых справа и слева и пренебрежения членом, содержащим $(\Delta v)^2$, как очевидно малым на фоне остальных, получаем,

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{a+\Delta a} = \frac{2v\Delta v}{GM}$$

Левую часть равенства можно привести к общему знаменателю, после чего избавиться от малого слагаемого Δa в одном из сомножителей знаменателя:

$$\frac{\Delta a}{a^2} = \frac{2v\Delta v}{GM}$$

Затем, немного преобразовав полученное выражение и вспомнив, что для круговой орбиты (с которой мы и работаем) $v = \sqrt{GM/a}$, получим: $\frac{\Delta a}{a} = 2\frac{\Delta v}{v}$

Относительное изменение скорости $\frac{\Delta v}{v} = 5 \cdot 10^{-5}/(3 \cdot 10^4) \approx 5/3 \cdot 10^{-9}$, следовательно, относительное изменение большой полуоси $\Delta a/a \approx 3 \cdot 10^{-9}$. Так как большая полуось $a = 1.5 \cdot 10^{11}$ м, то изменение $\Delta a \approx 5 \cdot 10^2$ м, т.е. порядка километра.

5. Смещение пятна за сутки составит r = 11,5 мм. Так как Солнце представляет собой сферическую поверхность, то длина экватора составит $L = 2\pi R$ = 314 (мм). Следовательно, период осевого вращения Солнца будет $S = L/r$ (суток) = 27,3 суток (без учёта движения Земли вокруг Солнца). С учётом движения Земли получим: $1/S = 1/P - 1/T$, где S - продолжительность солнечных суток, P - период вращения Солнца T - период обращения Земли вокруг Солнца. $P = S{\cdot}T/S{+}T$ P = 25,4 суток.

6. а) Рис.1 – Орион, латинское название Orion, α Ориона (α Ori) – Бетельгейзе, звездная величина $0{,}42^m$;

Рис.2 – Большая Медведица, латинское название Ursa Major, α Б.Медведицы (α UMa) – Дубхе, звездная величина $1{,}79^m$;

Рис.3 – Лебедь, латинское название Cygnus, α Лебедя (α Cyg) – Денеб, звездная величина $1{,}25^m$.

в) Орион наблюдается в вечернее время зимой,

Большая Медведица – незаходящее созвездие и наблюдается круглый год,

Лебедь – летом и осенью.

с) Для Ориона - Большая туманность Ориона, туманность Конская Голова, кратная система Трапеция.

Для Большой Медведицы - оптически двойная звезда Мицар – Алькор.

Для Лебедя – туманность Северная Америка, двойная Альбирео.