

Вариант 1

Задания теоретического тура

Задание 1. Характеристики орбиты

Небесное тело массой $m = 9,40 \times 10^{20}$ кг обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите с эксцентриситетом $e = 0,08$. При значении истинной аномалии $\theta = 90^\circ$ его расстояние от Солнца $r = 2,75$ а. е.

Определите по этим данным:

- 1) в каких пределах изменяется расстояние тела от Солнца;
- 2) в каких пределах изменяется модуль линейной скорости тела;
- 3) промежуток времени, за который тело переходит из афелия в точку орбиты, расположенную на среднем гелиоцентрическом расстоянии;
- 4) длину пути, пройденного телом при перемещении между точками, указанными в пункте 3);
- 5) название небесного объекта по характеристикам его орбиты.

Задание 2. Планета и астероид

В идеальной системе добрых звезд B есть планета 3 и большой астероид Φ , обращающиеся по круговым орбитам вокруг звезды в противоположных направлениях. Орбиты планеты и астероида лежат в одной плоскости. Масса звезды $M_3 = \pi M_\odot$ ($\pi = 3,14$), радиус орбиты планеты $r_3 = \pi$ а. е., радиус орбиты астероида $r_\Phi = 2\pi$ а. е. Массы планеты и астероида малы по сравнению с массой звезды. Планета и астероид обитаемы: на планете живут «зеленые» человечки, на астероиде – «фиолетовые». И те и другие знают и любят астрономию.

Необходимо:

- 1) вывести формулу для синодического периода планеты;
- 2) вывести формулу для синодического периода астероида;
- 3) рассчитать синодические периоды планеты и астероида в земных годах;
- 4) рассчитать синодические периоды планеты и астероида в «зелёных» годах;
- 5) рассчитать синодические периоды планеты и астероида в «фиолетовых» годах.

Задание 3. Космические лучи

Во время вспышек сверхновых образуются космические лучи – потоки заряженных частиц высоких энергий. Среди них есть α -частицы (ядра атомов гелия ${}^4_2\text{He}$) с массой покоя $m_0 = 6,645 \times 10^{-27}$ кг. Пусть полная энергия такой α -частицы равна $E = 4$ ГэВ.

Определите по этим данным:

- 1) релятивистскую массу α -частицы и отношение релятивистской массы к массе покоя;
- 2) скорость и импульс α -частицы;
- 3) кинетическую энергию α -частицы;
- 4) длину волны де Броиля α -частицы;
- 5) длину волны и частоту аннигиляционных фотонов, образующихся при столкновении α -частицы с $\bar{\alpha}$ -античастицей такой же энергии.

Примечания: скорость света в вакууме $c = 2,998 \times 10^8$ м/с; постоянная Планка $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж·с; элементарный заряд $e = 1,602 \times 10^{-19}$ Кл; система отсчёта связана с земной лабораторией.

Задание 4. Реликтовое излучение

Спустя примерно 400 тыс. лет после Большого Взрыва Вселенная была заполнена горячей (около 3 000 К) плазмой из частиц вещества (электронов, протонов, нейтронов, некоторых других частиц) и фотонов, которые непрерывно поглощались частицами вещества и снова переизлучались. Такое состояние Вселенной описывается на основе модели абсолютно чёрного тела (АЧТ) – объекта, поглощающего всё падающее на него излучение. АЧТ при этом испускает излучение, которое принято называть тепловым, а спектр АЧТ определяется только его температурой.

Распределение интенсивности в спектре испускания АЧТ подчиняется закону Планка:

$$\rho_\lambda(\lambda, T)\Delta\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \Delta\lambda,$$

определенном спектральную плотность энергии АЧТ $\rho_\lambda(\lambda, T)$ в интервале длин волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$. Аналогичное выражение для распределения интенсивности в спектре АЧТ по частотам $\rho_\nu(\nu, T)$ может быть получено при условии, что количества световой энергии, приходящиеся на интервалы длин волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$ и частот от ν до $\nu + \Delta\nu$, одинаковы.

В процессе дальнейшей эволюции Вселенная продолжала остывать, в результате чего электроны объединились с протонами в атомы водорода, и вещество перестало поглощать излучение, которое в момент его «отделения» от вещества находилось в состоянии теплового равновесия с веществом, а спектр излучения соответствовал спектру АЧТ. Это реликтовое излучение (РИ) сохранилось до современной эпохи и несёт в себе информацию о состоянии ранней Вселенной. Однако вследствие расширения и остывания Вселенной современные характеристики РИ отличаются от его исходных характеристик.

При измерении спектра РИ в шкале длин волн установлено, что распределение интенсивности в спектре РИ (форма спектра) по-прежнему соответствует излучению АЧТ, а максимум спектральной плотности излучения находится на длине волны $\lambda_{\max} = 1,063$ мм.

Определите по этим данным:

- 1) современную температуру РИ;
- 2) длину волны максимума в спектре РИ в момент его «отделения» от вещества;
- 3) в каком спектральном диапазоне находился спектр РИ в момент его «отделения» от вещества;
- 4) частоту максимума спектра РИ ν_{\max} , если измерения спектра проводить не в шкале длин волн, а в шкале частот.

Примечания: постоянная Вина $b = 2,898 \times 10^{-3}$ м·К; постоянная Планка $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж·с; постоянная Больцмана $k = 1,381 \times 10^{-23}$ Дж/К; используйте графический метод решения уравнений.

Задание 5. Пульсар.

Одними из источников вспышек сверхновых типа II являются звёзды главной последовательности спектрального класса В. Средняя скорость вращения таких звёзд $v_B = 200 \text{ км/с}$, индукция магнитного поля вблизи её магнитных полюсов $B = 2,0 \times 10^{-4} \text{ Тл}$. После сброса оболочки в результате вспышки сверхновой радиус звезды уменьшается примерно в 100 раз, при этом взрыв уносит до 99,99% момента импульса звезды. Если масса оставшегося ядра звезды не превысит $3M_\odot$, то ядро далее эволюционирует в нейтронную звезду – чрезвычайно плотный и быстро вращающийся объект с очень сильным магнитным полем.

Заряженные частицы вещества (электроны), попадающие в магнитное поле нейтронной звезды вблизи её магнитных полюсов, ускоряются, в результате чего испускают нетепловое электромагнитное излучение, которое в случае нерелятивистских электронов называется циклотронным, а в случае релятивистских – синхротронным (СИ).

Такое излучение сосредоточено в узком конусе в направлении мгновенной скорости электрона v , а максимум интенсивности излучения приходится на частоту $\nu_s = \nu_c \gamma^3$, где ν_c – циклотронная частота, а $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Если ось магнитного диполя нейтронной звезды не

совпадает с осью её вращения, то конус СИ вращается в пространстве с периодом вращения нейтронной звезды. Периодическое прохождение через наблюдателя узконаправленного конуса СИ формирует так называемый пульсарный эффект, наблюдаемый у многих нейтронных звёзд.

У некоторой нейтронной звезды максимум интенсивности её пульсарного эффекта приходится на фотоны с энергиями 6 кэВ.

Определите по этим данным:

- 1) среднюю плотность нейтронной звезды;
- 2) период вращения нейтронной звезды;
- 3) индукцию магнитного поля вблизи магнитных полюсов нейтронной звезды;
- 4) скорость электронов (в единицах скорости света) вблизи магнитного полюса нейтронной звезды;
- 5) к какому классу пульсаров относится данная нейтронная звезда (радиопульсар, оптический, рентгеновский или гамма-пульсар).

Примечания: масса Солнца $M_\odot = 1,988 \times 10^{30} \text{ кг}$; радиус Солнца $R_\odot = 700 000 \text{ км}$; радиус звезды спектрального класса В $R_B = 4R_\odot$; масса звезды спектрального класса В $M_B = 5M_\odot$; заряд электрона $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Кл}$; масса электрона $m = 9,109 \times 10^{-31} \text{ кг}$; постоянная Планка $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$; магнитное поле следует считать однородным.