

**Задания муниципального этапа
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
2025 – 2026 учебный год
11 класс**

**время выполнения 180 минут
максимальный балл- 50**

Задание 1 (10 баллов)

Вокруг жёлтого субгиганта HD 217107 (6 G. Piscium) массой 0.9 солнечных, находящегося в созвездии Рыбы, обращаются, как минимум, две планеты. Одна из них – планета типа горячего Юпитера HD 217107b, открытая в 1998 году с большой полуосью равной 0,075 а.е. и массой 1.39 от массы Юпитера. Найти период обращения HD 217107b.

Решение

- 1) Для решения этой задачи следует воспользоваться третьим законом Кеплера в форме $\frac{a^3}{T^2 m_0} = const$, из которого следует, что период обращения связан с массой центрального тела (звезды) и значением большой полуоси.

- 2) Тогда соотношение между периодами обращения HD 217107 с и Юпитера

определяется формулой
$$\frac{T}{T_J} = \sqrt{\frac{\left(\frac{a_J}{a_{hJ}}\right)^3 \frac{m_{HD}}{m_0}}$$

- 3) Период обращения Юпитера $T_J = 11.862$ лет, большая полуось орбиты равна 5.2 а.е.

- 4) Так как масса m_{HD} звезды HD 217107 равна 0,9 массе Солнца, а большая полуось a_{hJ} горячего Юпитера в $\frac{a_J}{a_{hJ}}$ раз меньше большой полуоси орбиты

Юпитера, то период обращения равен
$$T = \frac{11,862}{\sqrt{\frac{\left(\frac{5.2}{0.075}\right)^3}{0.9}}} \approx 0.19 \text{ года (7,11 дней)}.$$

Критерии

Записан 3 закон Кеплера - 3 б

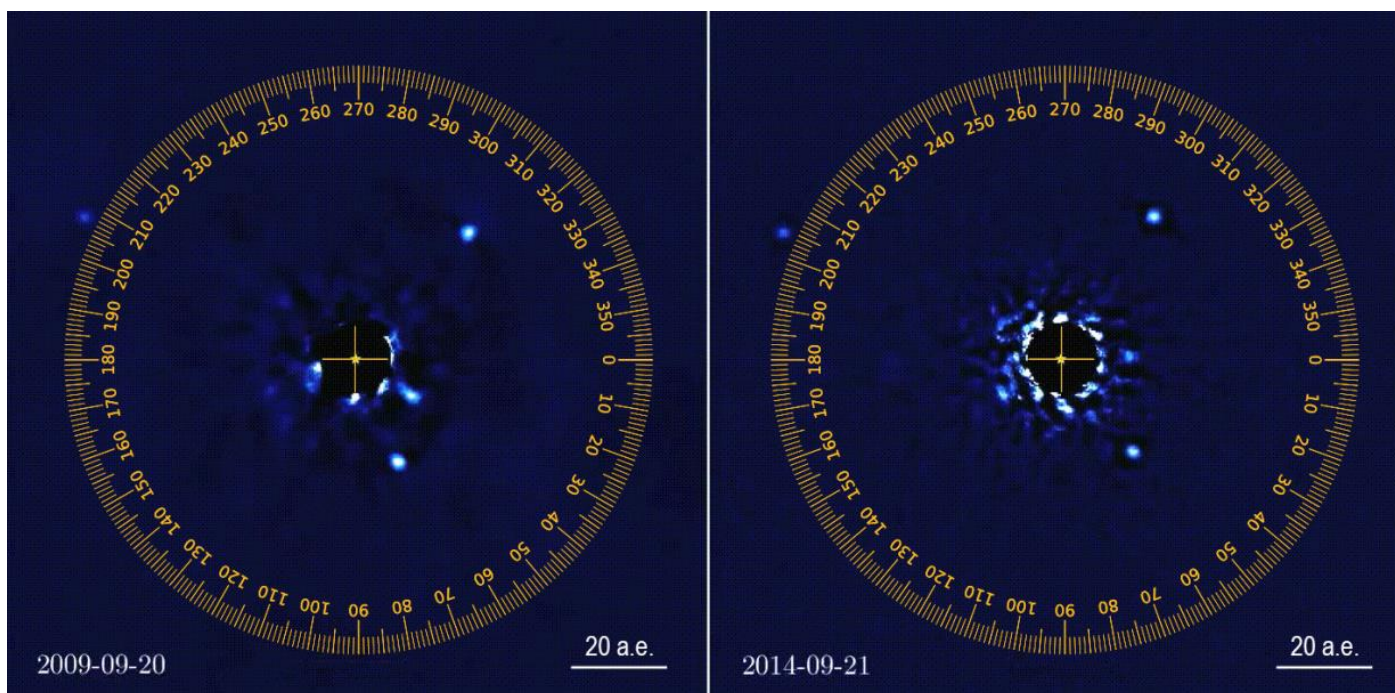
Выведена формула для расчета периода - 3 б

Найдена характеристика Юпитера из справочных данных - 2 б

Верные расчеты - 2 б

Задание 2 (10 баллов)

На рисунках изображены снимки прямых наблюдений переменной звезды HR 8799 Пегаса через десятиметровый телескоп обсерватории Кека (Гавайи). Хорошо видно орбитальное движение четырёх планет-гигантов HR 8799 e (справа), HR 8799 d (внизу справа), HR 8799 c (справа вверху), HR 8799 b (вверху слева) с массами 9, 10, 10, 7 масс Юпитера соответственно. Пользуясь изображениями, оценить период обращения планеты HR 8799 d, а также расстояние от звезды.



Решение

- 1) Для определения радиуса орбиты воспользуемся линейкой и школой снизу – на рисунке расстояние от звезды до планеты соотносится больше масштабной шкалы в 1,2 раз.
- 2) То есть радиус орбиты приблизительно равен $1.2 \cdot 20 \text{ а.е.} = 24 \text{ а.е.}$
- 3) За 5 лет (время между двумя фотографиям) планета преодолела около 20° градусов относительно звезды (угол определяется с помощью линейки и градуированного круга на рисунке).
- 4) Период обращения приблизительно равен $360^\circ \cdot 5 \text{ лет} / 20^\circ = 90 \text{ лет}$

Критерии

Указан принцип расчета радиуса - 3 б

Верно оценено расстояние от звезды - 2 б

Указан принцип расчета периода (время и угол) - 3 б

Найден период - 2 б

Задание 3 (10 баллов)

В настоящее время условия, при которых конечным этапом эволюции звезды является её превращение в чёрную дыру, изучены недостаточно хорошо. Различные математические модели определяют нижнюю границу массы звезды, которая превратится в чёрную дыру, в пределах от 2.5 до 5 солнечных масс. Чему будет равен радиус чёрной дыры, если предположить, что нижняя граница равна четырём солнечным массам? Другими словами, на каком расстоянии от центра чёрной дыры квант света преодолеет её притяжение?

Решение

- 1) Чёрная дыра – это область, которую не могут покинуть даже объекты,двигающиеся со скоростью света. Для преодоления гравитационного

притяжения некоторого тела улетающий объект должен иметь скорость не меньшую второй космической скорости.

Вторая космическая скорость равна $v_2 = \sqrt{2GM/R}$, где M – масса тела (в нашем случае чёрной дыры), а R – расстояние до центра тела (радиус чёрной дыры).

Прим. Ученик не обязан знать эту формулу, но может вывести из закона сохранения энергии: когда объект, находившийся на расстоянии R от тела и двигался со второй космической скоростью от него, преодолел гравитационное притяжение, его потенциальная и кинетическая энергии стали равны 0: $\frac{mv_2^2}{2} -$

$$G \frac{mM}{R} = 0$$

- 2) Максимально возможная скорость – скорость света, то есть вторая космическая скорость не может быть больше скорости света, а значит, радиус черной дыры является решением уравнения $c = \sqrt{2GM/R}$
- 3) $R = \frac{2GM}{c^2} = 2 * 6,67 * 10^{-11} * 4 * 2 * \frac{10^{30}}{(3*10^8)^2} \approx 12000\text{м} = 12\text{км}$

Критерии

Определена связь между второй космической скоростью и радиусом черной дыры - 4 б

Определена связь между скоростью света и радиусом черной дыры - 4 б

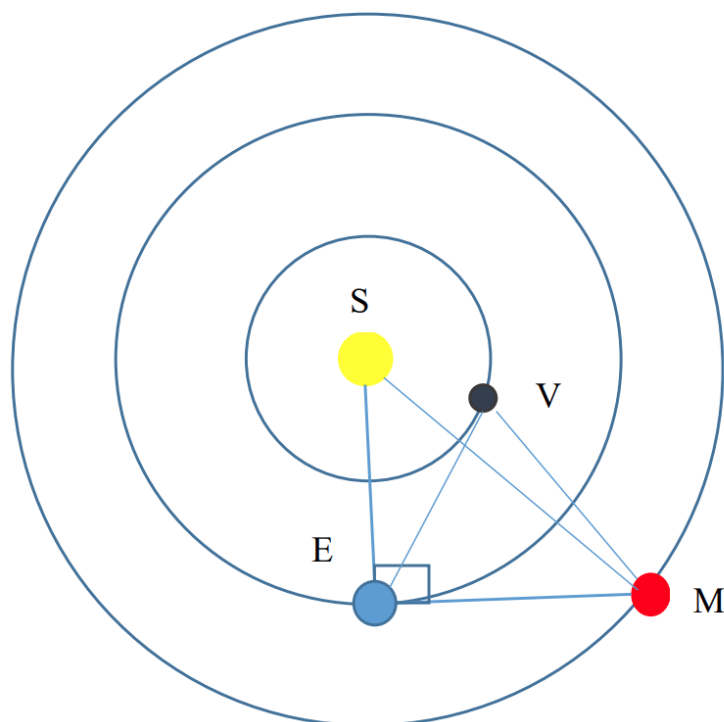
Найден радиус - 2 б

Задание 4 (10 баллов)

Венера и Марс находятся в западной элонгации (для Венеры около 48°) и в западной квадратуре соответственно. Чему равно расстояние между ними?

Решение

1)



Радиусы орбит: $SE=1\text{ а.е.}$, $SV=0,72\text{ а.е.}$, $SM=1,52\text{ а.е.}$, угол $SEV=48^\circ$.

2) Из теоремы косинусов $SE = \sqrt{VE^2 + VS^2 - 2VE * VS \cos(SEM)}$, откуда $VE=1.3\text{ а.е.}$

3) Угол $VEM=42^\circ$, а расстояние между Землёй и Марсом из теоремы Пифагора для треугольника SEM: $\sqrt{SM^2 - SE^2} = 1.145\text{ а.е.}$

По теореме косинусов расстояние между Венерой и Марсом $VM = \sqrt{VE^2 + ME^2 - 2VE * ME \cos(VEM)} = 0.9\text{ а.е.}$

Критерии

Сделан чертеж и правильно описано взаимное положение планет - 4 б

Найдено расстояние между Землей и Венерой - 3 б

Определено расстояние между Марсом и Венерой - 3 б

Задание 5 (10 баллов)

Сверхновая, вспыхнувшая в некоторой галактике, в максимуме блеска имела светимость $L = 2.5 \cdot 10^9$ светимостей Солнца. На сколько звездных величин для наблюдателя на Земле она была слабее этой галактики, если галактика располагается на расстоянии 20 Мпк и имеет видимую звездную величину $m = +11^m$?

Решение

Абсолютная звездная величина сверхновой равна $M = M_\odot - 2.5 \lg \frac{L}{L_\odot} \approx -18.5^m$. Тогда видимая звездная величина сверхновой на таком расстоянии равна $m = M - 5 + 5 \lg r \approx 13^m$, разность звездных величин составляет $13^m - 11^m = 2^m$.

Критерии

1) Определена абсолютная звездная величина – 4 б

2) Определена видимая звездная величина – 4 б

3) Найдена разность звездных величин – 2 б