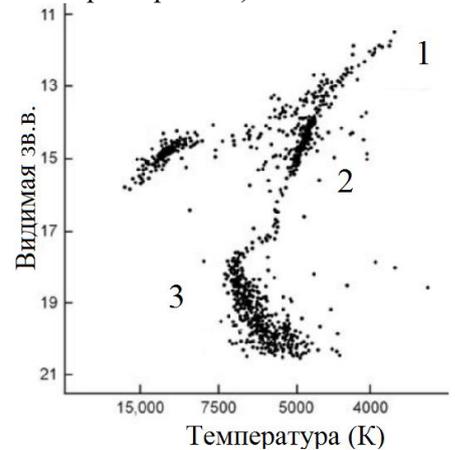


Задание 1. (5.5. Классификация звезд с учетом их спектральных характеристик)

На рисунке представлена диаграмма зависимости видимой звёздной величины от температуры звёзд шарового скопления М3 в созвездии Гончих Псов. Как называются графики такого вида? Что можно в целом сказать о различиях или их отсутствии в возрасте, расстоянии от Земли и химическом составе звёзд М3? Почему? С чем связаны различия в светимости? Как называются типы звёзд, отмеченные цифрами 1, 2, 3? Расположите их по порядку стадий эволюции от ранней к поздней?



Решение

1) (1 балл)

Это диаграмма Герцшпрунга–Рассела

2) (2 балла – дан ответ и объяснение)

Да, эти звёзды можно считать одинаково удалёнными от Земли, имеющими примерно одинаковые возраст и состав, так как они принадлежат одному скоплению, то есть формировались в одном месте, на одном расстоянии из одного и того же газопылевого облака.

2) (2 балла – дан ответ и объяснение о светимости)

Звёзды обладают разной светимостью из-за разной массы, а значит и разной скоростью эволюции.

3) (3 балла – дан ответ и порядок)

1 – красные гиганты

2 – субгиганты

3 – звёзды главной последовательности

Порядок 3-2-1.

Задание 2. (1.3. Солнечная система)

Спутники Юпитера Ганимед и Каллисто обладают разреженной атмосферой, а атмосфера спутника Сатурна Титана в 1,5 раза больше земной. Почему эти три спутника, размеры которых незначительно отличаются от размеров Меркурия, а масса и вовсе меньше, смогли сохранить атмосферу, а атмосфера у Меркурия практически отсутствует?

Решение

1) (2 балла – близкое расположение к Солнцу)

Основная причина – близкое расположение Меркурия к Солнцу, из которой следуют остальные.

2) (4 балла – потеря частиц атмосферы)

Сила тяжести указанных спутников и Меркурия позволяет удерживать достаточно плотную атмосферу, но Меркурий интенсивно прогревается Солнцем, а значит кинетическая энергия частиц атмосферы настолько велика, что они способны преодолеть притяжение планеты и покинуть её. Атмосферы спутников холодные, поэтому достаточно устойчивы. Плюс солнечный ветер сдувает атмосферу Меркурия.

3) (2 балла – конденсация на ночной стороне)

Период обращения Меркурия вокруг оси в 2/3 раз меньше периода обращения вокруг Солнца, поэтому на одной стороне температура очень большая (300–400К), а на второй – крайне низкая (до -200К). На ночной половине из-за малой температуры атмосфера конденсируется в жидкость и замерзает. Между дневной и ночной сторонами возникает область с разностью давлений, куда двигается газовая оболочка дневной стороны планеты и затвердевает.

Задание 3. (3.3. Основы небесной механики)

Вокруг жёлтого субгиганта HD 217107 (6 G. Piscium) массой 0.9 солнечных, находящегося в созвездии Рыбы, обращаются, как минимум, две планеты, одна из которых – открытый в 2005 году холодный

Юпитер» HD 217107с с массой, примерно в два раза превышающей массу Юпитера, его орбита имеет большую полуось равную 6.1 а.е. Найти период обращения HD 217107с.

Решение

1) (2 балла – записан третий закон Кеплера)

Для решения этой задачи следует воспользоваться третьим законом Кеплера в форме $\frac{a^3}{T^2 m_0} = \text{const}$,

из которого следует, что период обращения связан с массой центрального тела (звезды) и значением большой полуоси.

2) (3 балла – выведена формула для расчёта периода)

Тогда соотношение между периодами обращения HD 217107 с и Юпитера определяется формулой

$$\frac{T}{T_J} = \sqrt{\frac{(a_J / a_{cJ})^3}{(m_{HD} / m_0)}}.$$

3) (1 балл – найдены характеристики Юпитера из справочных данных)

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

4) (2 балла – за верные расчёты)

Так как масса m_{HD} звезды HD 217107 равна 0,9 массе Солнца, а большая полуось a_{hJ} горячего Юпитера в a_J / a_{cJ} раз меньше большой полуоси орбиты Юпитера, то период обращения равен

$$T = 11.862 / \sqrt{(5.2 / 6.1)^3 / 0.9} \approx 14.3 \text{ лет.}$$

Задание 4. (4.5. Шкала звездных величин)

Одной из первых экзопланет, которую можно непосредственно наблюдать с Земли (в инфракрасном диапазоне), является газовый гигант 2M1207 b, вращающийся вокруг коричневого карлика 2M1207 в созвездии Центавра. Радиус орбиты планеты примерно равен 40 а.е. (то есть такой же, как у Плутона). Какое количество энергии получала бы эта планета по сравнению с энергией, получаемой Меркурием от Солнца, если бы она находилась на орбите Плутона. Радиус 2M1207 b оценивается в 100000 км.

Решение

1) (4 балла – вывод об количестве энергии)

Количество энергии, получаемой от источника света некоторой поверхностью, пропорционально площади поверхности S и обратно пропорционально квадрату расстояния D между источником энергии и поверхностью – S / D^2 .

2) (4 балла – верно взяты параметры, рассчитаны площадь, найден ответ)

Среднее расстояние Меркурия от Солнца равно 0.39 а.е. Согласно условиям задачи планета 2M1207 b была бы в 100 раз дальше от Солнца. Площадь освещаемой Солнцем поверхности можно приближённо считать равной площади круга с радиусом планеты πr^2 . Радиус Меркурия 2440 км. Тогда экзопланета

получала бы $\frac{S_E / D_E^2}{S_M / D_M^2} = \frac{2\pi 100000^2}{2\pi 2440^2} \frac{1}{100^2} \approx 0.17$ от энергии, получаемой Меркурием от Солнца.

Задание 5. (3.4. Солнечная система)

Радиолокационная астрономия в связи с очень высокой точностью на малых по космическим меркам расстояниях активно используется для определения характеристик (размеров, скоростей и т.д.) ближайших к Земле объектов. Чему будет равен суточный параллакс астероида, если радиолокационный сигнал вернулся через 20 минут после отправки?

Решение

1) (3 балла – определение или формула для параллакса)

Суточный параллакс – это угол (центр Земли – наблюдаемый объект – наблюдатель). Из-за малости угла параллакс можно вычислить по формуле $p=r/R$, где R – радиус Земли, а r – расстояние до объекта.

2) (2 балла – определено расстояние до объекта)

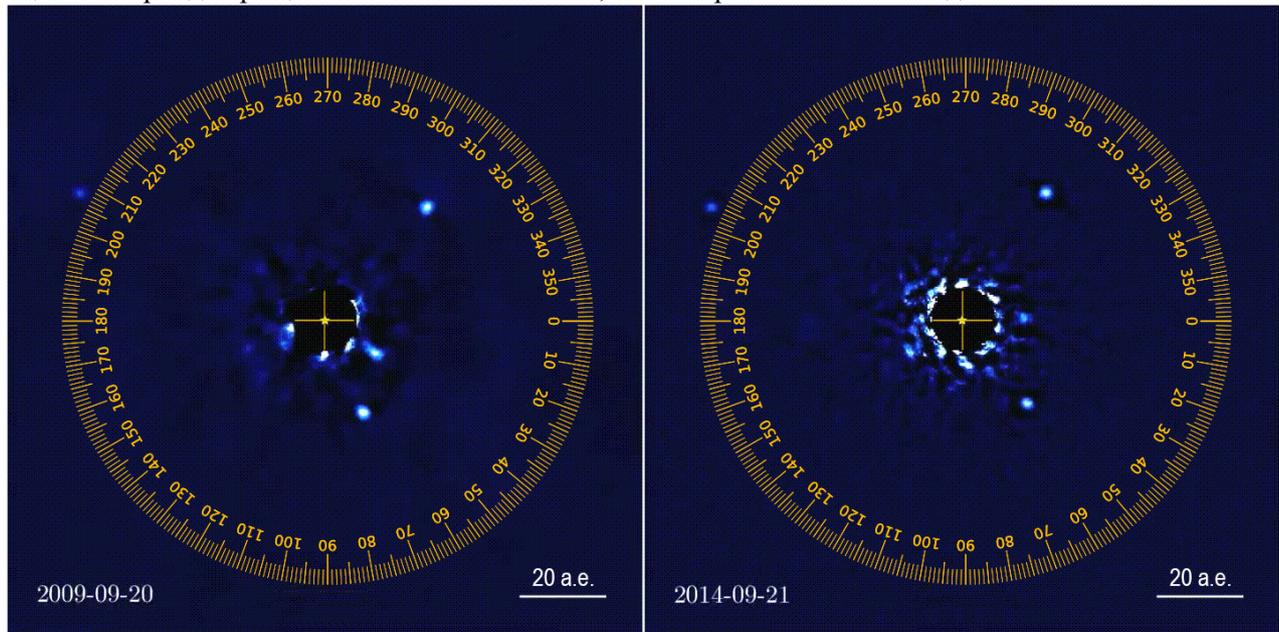
г найдём, зная время движения радиосигнала: $r = t \cdot c / 2 = 20 \cdot 60 \cdot 300000 / 2 = 180 \text{ млн. км.}$

3) (3 балла – найден параллакс, радианы переведены в секунды)

Тогда параллакс равен $6400 \text{ км} / 180 \text{ млн. км} = 0,000035 \text{ рад} = 7.2''$.

Задание 6. (4.8. Двойные и переменные звезды)

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 сверху), 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) (2 балла – указан принцип расчёта)

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) (2 балла – верно оценено расстояние от звезды)

То есть радиус орбиты приблизительно равен $1.2 \cdot 20 \text{ а.е.} = 24 \text{ а.е.}$

2) (2 балла – указан принцип расчёта (время и угол))

За 5 лет (время между двумя фотографиями) планета преодолела около 20° градусов относительно звезды (угол определяется с помощью линейки и градуированного круга на рисунке).

3) (2 балла – верно оценен период)

Период обращения приблизительно равен $360^\circ \cdot 5 \text{ лет} / 20^\circ = 90 \text{ лет.}$