Задание выслать не позднее 30 апреля 2020 года.

**Занятие № 23-24**

**Определение расстояния до звезды. Физическая природа звёзд.**

**Задание: Изучить материал и ответить на вопросы:**

1. Что такое парсек, световой год? Соотношение между ними.

2. Во сколько раз световой год больше астрономической единицы?

3. Как вы думаете, почему на протяжении нескольких тысячелетий вид созвездий практически не меняется? (Вид созвездий почти не меняется (изменение ощутимо за десятки тысяч лет), так как расстояния до звезд велики по сравнению с перемещениями их в пространстве.

4. Основные способы определения расстояний до звезд и их математическое выражение.

5. Что такое абсолютная звездная величина?

6. Почему звезда с большой массой живет меньше, чем звезда с малой массой?

7. Чем, прежде всего, определяется давление и температура в центре звезды?

8. Как астрономам удается узнать об эволюционном пути, который проходят звезды?

**Основной материал:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Вселенная ,конечно, бесконечна*** ***А звезды – население ее…*** | | Какие объекты, наблюдаемые на небе Вы знаете?     Как Вы понимаете, что такое звезда?     Какая звезда ближе всего находится к Земле?     Во всех системах, в т.ч. **К. Птолемея** (150г) и даже **Н. Коперника** (1543г) - на сфере звезды неподвижны,  только у **Н. Коперник** она дальше удалена.  Но уже в 1610г **Г.Галилей**, разглядев в Млечном Пути множество звезд, говорит, что они находятся на разном расстояние от Земли.     В 1728г **Дж. Брадлей** (Англия), производя измерения координат γ Дракона с 14 декабря 1725г по 14 декабря 1726г определяет, что звезда описала эллипс с большой полуосью 20,5". Еще в течение года проверил на других звездах  вывод тот же,  ***все звезды в течение года описывают на небе эллипсы***, - **что доказывает годичное движение Земли вокруг Солнца** [открыл **аберрацию**, 1726г].   Это была первая в мире попытка определения параллакса звезды и впервые в качестве базиса использовал **R** земной орбиты, который равен 146,9 млн.км =**1 а.е**.(астрономической единице).      Как определить расстояние до звезд? |
| 15 | |
| **1 способ (параллактический)** = БАЗИС=1а.е (т.е. радиус земной орбиты) | | |
| 1 | **Годичным параллаксом звезды называется угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты, перпендикулярную направлению на звезду.**  Из Δ видно, что **r=a/sinπ**  Так как для звезд угол **π** очень мал (< 1˝), то переходим к радианной мере (стр49)  **1 рад =206265˝**, тогда **r=206265"a/π =206265"/π а.е.**  ***Расстояние до звезды , которое соответствует параллаксу = 1˝ - называют парсеком, тогда* r=1/π** ***.*** | |
| Из формулы видно, что:  **1пк = 206265а.е. =206265\*149,6\*106км =3,08\*1013км**  **1св.г. = 3\*105км/с\*365,25\*24\*3600с = 9,46\*1012км**  **1 пк =** **3,08\*1013км/ 9,46\*1012км = 3,26св.лет**  **1кпк** (килопарсек) = **103пк**    **1Мпк** (мегапарсек) = **106пк**       Впервые параллакс был измерен к 8 февраля 1837г русским астрономом **Василий Яковлевич Струве (1793-1864)**. После 17 измерений звезды **Вега** он определил ее параллакс в 0,125".      8 августа был запущен астрономический спутник «**Гиппарх**» (HIPPARCOS, ЕКА).      Космический аппарат проработал на орбите 37 месяцев. По результатам его работы напечатан в июле 1997 году каталог Hipparcos (Перриман и др., 1997). который  является одним из наиболее точных массовых каталогов положений, собственных движений и параллаксов 118 218 звезд, удаленных от нас на расстоянии до 1000 пк (точность 0,001"). | |
| **Задача:** Определите расстояние до Веги (*а* Лиры), найденное В.Я. Струве, в парсеках и световых годах. | | |

**II Способ  (визуальный )** = через блеск (яркость) звезд и звездные величины.

      Глядя на звездное небо видим, что яркость звезд неодинакова - поэтому **Гиппарх**  к 126 г до НЭ, составляя каталог на 1008 звезд,  вводит понятие звездной величины. Самые яркие обозначал 1m , еле заметные - 6 m, считая, что они отличаются размером. Позже выяснилось, что звездная величина характеризуется не размерами , а ***БЛЕСКОМ (яркостью) - освещенность, создаваемая звездой на Земле***. Но шкалу Гиппарха сохранили. **Причем звезды 1 m оказались в 100 раз ярче 6 m**.

    Обозначим X - **разность в блеске на одну звездную величину**, тогда X6-1=100 → **X5=100**, логарифмирует по основанию 10 и получим  5lg X=20, или **lgX=0,4**, тогда  **X=2,512.**

     Возьмем две произвольные звезды. Для 1-й звезды обозначим звездную величину **m1**иблеск  **I1**, а для второй  обозначим **m2**,**I2**. Тогда, как установил в 1850г английский астроном **Н.Р. Погсон**  **I1/I2=2,512m2-m1**  Блеск звезд и звездная величина бывает разная, даже отрицательная. Так самая яркая звезда неба Сириус имеет m=-1,46 m, Солнце m =-26,58m.

     Но видимая звездная величина ничего не говорит о светимости звезды, так как они находятся на разном расстоянии от нас. Для характеристики светимости (мощности излучения) применяют понятие **абсолютной звездной величины (М)** -***видимой звездной величины звезды с расстояния в 10 пк.*** C 10 пк Солнце выглядело бы как звезда 4,8m. Если звезда имеет видимую звездную величину **m**, а абсолютную **М**, то из формулы Погсона получим **I/I0=2,512М-m**. Поскольку освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то из **I/I0=r02/r2** или **I/I0=102/r2** получим **102/r2=2,512M-m,** откуда логарифмируя получим **M=m+5-5 lgr**.

**Физическая природа звезд**.

**I. Основной материал:**

|  |  |
| --- | --- |
| ***1. Спектры звезд*** | |
| spektr     Распределение цветов в спектре =**К О Ж З Г С Ф =** запомнить можно например по тексту: *Как однажды Жак Звонарь городской сломал фонарь.*  **Исаак Ньютон** (1643-1727) в 1665г разложил свет в спектр  и объяснил его природу.     **Уильям Волластон** в 1802г наблюдал темные линии в солнечном спектре, а в 1814г их независимо обнаружил и подробно описал **Йозеф фон ФРАУНГОФЕР** (1787-1826, Германия) (они называются линиями Фраунгофера)  754 линии в солнечном спектре. В 1814г он создал прибор для наблюдения спектров - спектроскоп. | |
| В 1959г **Г. КИРХГОФ**, работая вместе с **Р. БУНЗЕН** с 1854г, ***открыли спектральный анализ***, назвав спектр непрерывным и сформулировали законы спектрального анализа, что послужило основой возникновения астрофизики:      1. Нагретое твердое тело дает непрерывный спектр.     2. Раскаленный газ дает эмиссионный спектр.     3. Газ, помещенный перед более горячим источником, дает темные линии поглощения. **У. ХЕГГИНС**  ***первым применив спектрограф начал спектроскопию звезд***. В 1863г показал, что спектры Солнца и звезд имеют много общего и что их наблюдаемое излучение испускается горячим веществом и проходит через вышележащие слои более холодных поглощающих газов. | |
| ***Спектры звезд – это их паспорт с описанием всех звездных закономерностей. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести.*** | |
| ***2. Цвет звезд*** | |
| ЦВЕТ - свойство света вызывать определенное зрительное ощущение в соответствии со спектральным составом отражаемого или испускаемого излучения. Свет разных длин волн  возбуждает разные цветовые ощущения: | |
| от 380 до 470 нм имеют фиолетовый и синий цвет, от 470 до 500 нм — сине-зеленый, от 500 до 560 нм — зеленый, | от 560 до 590 нм — желто-оранжевый, от 590 до 760 нм — красный. |
| Однако цвет сложного излучения не определяется однозначно его спектральным составом. Глаз чувствителен к длине волны, несущей максимальную энергию  **λмах=b/T** (закон Вина, 1896г). | |
| В начале 20-го столетия (1903—1907гг) **Эйнар Герцшпрунг** (1873-1967, Дания) первым определяет цвета сотен ярких звезд. | |
| ***3. Температура звезд*** | |
| Непосредственно связана с цветом и спектральной классификацией. Первое измерение температуры звезд произведено в 1909г германским астрономом **Ю. Шейнер**. Температура определяется по спектрам с помощью закона Вина [**λ max.Т=b, где b=0,2897\*107Å.К** - постоянная Вина]. Температура видимой поверхности большинства звезд составляет **от 2500 К до 50000 К**. Хотя например недавно открытая звезда **HD 93129A** в созвездии Кормы имеет температуру поверхности 220000 К! Самые холодные - **Гранатовая звезда** (m Цефея) и **Мира** (o Кита) имеют температуру 2300К, а **e Возничего А** - 1600 К. | |
| ***4.*** [***Спектральная классификация***](http://astro.websib.ru/../../РђСЃС‚СЂРѕРЅРѕРјРёСЏ/astronom/Met/tem-4/Urok24/klas-spektr.htm) | |
| В 1862г **Анжело Секки** (1818-1878, Италия) дает первую спектральную классическую звезд по цвету, указав 4 типа:  **Белые,  Желтоватые,  Красные, Очень красные** | |
| Гарвардская спектральная классификация впервые была представлена в *Каталоге звездных спектров Генри Дрэпера* (1884г), подготовленного под руководством **Э. Пикеринга**. Буквенное обозначение спектров от горячих к холодным звездам выглядит так: O B A F G K M. Между каждыми двумя классами введены подклассы, обозначенные цифрами от 0 до 9. К 1924г классификация окончательно была установлена **Энной Кэннон**. | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | O5=40000K |  | В0=25000К |  | А0=11000К |  | F0=7600K |  | G0=6000 |  | K0=5120K |  | M0=3600K | | голубой |  | белый | | |  | желтый | | |  | оранжевый |  | красный | | **О** | **---** | **В** | **---** | **А** | **---** | **F** | **---** | **G** | **---** | **K** | **---** | **M** | | cр.30000K |  | ср.15000K |  | ср.8500K |  | ср.6600К |  | ср.5500К |  | ср.4100К |  | ср.2800К | | Порядок спектров можно запомнить по терминологии: = *Один бритый англичанин финики жевал как морковь*= | | | | | | | | | | | | | | Солнце – G2V (V – это классификация по светимости - т.е. последовательности). Эта цифра добавлена с 1953 года. | Таблица 13 – там указаны спектры звезд |. | | | | | | | | | | | | | | |
| ***5. Химический состав звезд*** | |
| Определяется по спектру (интенсивности фраунгоферовых линий в спектре).Разнообразие спектров звезд объясняется прежде всего их разной температурой, кроме того вид спектра зависит от давления и плотности фотосферы, наличием магнитного поля, особенностями химического состава. Звезды состоят в основном из водорода и гелия (95-98% массы) и других ионизированных атомов, а у холодных в атмосфере присутствуют нейтральные атомы и даже молекулы. | |
| ***6. Светимость звезд*** | |
| Звезды излучают энергию во всем диапазоне длин волн, а светимость **L=σ T44πR2**- общая мощность излучения звезды. L = 3,876\*1026Вт/с. В 1857г **Норман Погсон** в Оксфорде устанавливает  формулу  **L1/L2=2,512М2-М1**. Сравнивая звезду с Солнцем, получим формулу **L/L****=2,512 М****-М** , откуда логарифмируя получим **lgL=0,4 (M** **-M)**  Светимость звезд в большинстве 1,3.10-5L<L<5.105L .  Большую светимость имеют звезды-гиганты, звезды малой светимости - звезды-карлики. Наибольшей светимостью обладает голубой сверхгигант - звезда Пистолет в созвездии Стрельца - 10000000 L! Светимость красного карлика Проксимы Центавра около 0,000055 L. | |
| ***7. Размеры звезд***  ***-*** существует несколько способов их определения: | |
| **1)** Непосредственное измерение углового диаметра звезды (для ярких ≥2,5m, близких звезд, >50 измерено) с помощью интерферометра Майкельсона. Впервые измерен угловой диаметр α Ориона- Бетельгейзе 3декабря 1920г =  **Альберт Майкельсон**  и **Франсис Пиз**. **2)** Через светимость звезды **L=4πR2σT4**в сравнении с Солнцем. **3)** По наблюдениям затмения звезды Луной определяют угловой размер, зная расстояние до звезды. | |
| *По своим размерам, звезды делятся (*название: карлики, гиганты и сверхгиганты ввел **Генри Рессел** в 1913г, а открыл их в 1905г **Эйнар Герцшпрунг**, введя название "белый карлик"), введены с 1953 годана:   * + - * + Сверхгиганты  (I)         + Яркие гиганты  (II)         + Гиганты    (III)         + Субгиганты   (IV)         + Карлики главной последовательности  (V)         + Субкарлики   (VI)         + Белые карлики   (VII)        Размеры звезд колеблются в очень широких пределах от 104 м до 1012 м. Гранатовая звезда m Цефея имеет диаметр 1,6 млрд. км; красный сверхгигант e Возничего А имеет размеры в 2700R - 5,7 млрд. км! Звезды Лейтена и Вольф-475 меньше Земли, а нейтронные звезды имеют размеры 10 - 15 км. | |
| ***8. Масса звезд*** - одна из важнейших характеристик звезд, указывающая на ее эволюцию, т.е. определяет жизненный путь звезды. | |
| *Способы определения:*  1. Зависимость масса-светимость, установленная астрофизиком **А.С. Эддингтон** (1882-1942, Англия). **L≈m3,9** for  2. Использование 3 уточненного закона Кеплера, если звезды физически двойные (§26)  Теоретически масса звезд 0,005M (предел Кумара 0,08M)<M<150M, причем маломассивных звезд существенно больше, чем тяжеловесных, как по количеству, так и по общей доле заключенного в них вещества (M=1,9891×1030кг (333434 масс Земли)≈2.1030кг). | |
| Самые легкие звезды с точно измеренной массой находятся в двойных системах. В системе Ross 614 компоненты имеют массы 0,11 и 0,07 M. В системе Wolf 424 массы компонентов составляют 0,059 и 0,051 M. А у звезды LHS 1047 менее массивный компаньон весит всего 0,055 M.       Обнаружены "коричневые карлики" с массами 0,04 - 0,02 M. | |
| ***9. Плотность звезд*** - находится **ρ=М/V=M/(4/3πR3)** | |
| Хотя массы звезд имеют меньший разброс, чем размеры, но плотности их сильно различаются. Чем больше размер звезды, тем меньше плотность. Самая маленькая плотность у сверхгигантов: Антарес (α Скорпиона) ρ=6,4\*10-5кг/м3,  Бетельгейзе (α Ориона) ρ=3,9\*10-5кг/м3.Очень большие плотности имеют белые карлики: Сириус В  ρ=1,78\*108кг/м3.  Но еще больше средняя плотность нейтронных звезд. Средние плотности звезд изменяются в интервале от 10-6 г/см3 до 1014 г/см3 - в 1020 раз! | |

**Связь между физическими характеристиками звезд.**

**Основной материал:**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| В 1905г **Эйнар Герцшпрунг** установил зависимость светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений. В 1913г **Генри Рессел** также независимо установил данную зависимость и представил ее графически. Зависимость "спектр-светимость" получила название ***диаграммы Герцшпрунга-Рессела***. **Диаграмма показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.** **Уточнена и дополнена другими учеными.**   1. Подавляющее большинство звезд принадлежит главной последовательности. 2. Чем горячей звезды, тем большую светимость имеют. 3. Группы звезд делятся по размерам. 4. Звезды данного спектрального класса не могут иметь произвольной светимости (и наоборот). 5. По диаграмме исследуют эволюцию. 6. Большинство звезд – карлики.        Любая звезда известного спектрального класса и светимости может быть отображена на диаграмме Г - Р отдельной точкой. Особый смысл диаграмма приобретает в том случае, когда она строится для группы связанных между собой звезд, например, звездного скопления. Для любой такой совокупности звезд точки распределяются неслучайным образом: большинство их оказывается в полосе, идущей по диагонали от верхнего левого края вниз направо (так называемой главной последовательности). Это связано с тем, что основным фактором, определяющим спектральный класс звезды и ее светимость, является ее масса. Главная последовательность - это, по существу, последовательность масс. | |
| **HRDIAGR** | **Главная n6последовательность** (около 90% звезд)**:** - это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности  - это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.     Красные гиганты и сверхгиганты располагаются над главной последовательностью справа, белые карлики – под ней слева, поэтому начало левой части главной последовательности представлена голубыми звёздами с массами ~50 солнечных, конец правой — красными карликами с массами ~0.08 солнечных.       Диаграмма Г - Р для звездного скопления показывает, сколько звезд находится на каждой стадии эволюции. Вместе с теоретическими представлениями об увеличении скорости эволюции с ростом звездной массы, это позволяет определять возраст скоплений. Если по вертикальной оси откладывать для скопления видимую, а не абсолютную звездную величину, то появляется возможность оценить расстояние до этого скопления.      Диаграммы Г - Р полезны также для отображения последовательности изменений цвета и светимости отдельной звезды в ходе эволюции - до попадания на главную последовательность, при нахождении на ней и после ухода с нее. В итоге появляется эволюционный трек звезды. |
| **В 1911–24гг астрономы Холм, Рассел, Герцшпрунг и Эддингтон установили, что для звезд главной последовательности существует связь между светимостью L и массой М, и построили диаграмму масса–светимость. Приближенно зависимость “масса- светимость” выражается отношением  L≈m3,9.** | |

**Вращение звезд**

|  |  |
| --- | --- |
| Vra | Солнце с Т=25÷30 сут/оборот, видно по пятнам, при Vэкв=2 км/с. Все звезды вращаются. Чем горячее звезда – тем быстрее скорость вращения. Определить скорость можно, используя эффект Доплера **υ=∆λ.с/λо**.  Самая быстрая α Персея m=4,06m, 3R , 65L , В1, V=500 км/с. |