

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Карпин Андрей Владимирович

Должность: Руководитель НИИ

Дата подписания: 25.03.2023 10:18:24

Уникальный программный ключ:

2e905c9a64921ebc9b6e02a1d35ea145f7838874

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Новоуральский технологический институт–**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(НТИ НИЯУ МИФИ)**

**Колледж НТИ**

---

Цикловая методическая комиссия  
естественнонаучных и социально-гуманитарных дисциплин

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ И ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ ПО УЧЕБНОМУ ПРЕДМЕТУ ОУП.08 «АСТРОНОМИЯ»**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
обучающихся по программе среднего профессионального образования

специальность 09.02.07

«Информационные системы и программирование»

очная форма обучения

на базе основного общего образования

квалификация


программист

Новоуральск 2021

ОДОБРЕНО:  
на заседании  
цикловой методической комиссии  
естественнонаучных и социально-  
гуманитарных дисциплин

Протокол № 2 от 05.03.2021 г.

Председатель ЦМК ЦМК ЕН и СГД

 И.А. Балакина

Составлены в соответствии с  
рабочей программой учебной  
дисциплины ОУП.08 «Астрономия»  
по специальности 09.02.07  
Информационные системы и  
программирование

Методические рекомендации по практическим и лабораторным занятиям  
ОУП.08 Астрономия– Новоуральск: Изд-во колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
2021. – 58 с.

## АННОТАЦИЯ

Методические указания по практическим и лабораторным занятиям ОУП.08  
Астрономия предназначена для реализации государственных требований к  
минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности  
09.02.07 «Информационные системы и программирование» среднего  
профессионального образования базового уровня, обучающихся на базе  
основного общего образования, и содержит разделы: пояснительная записка,  
инструкции к практическим занятиям, критерии оценки, Список литературы и  
электронных ресурсов

Разработчик: Стародубцева А.Н., преподаватель высшей категории,  
председатель ЦМК общетехнических дисциплин, энергетики и электроники

Редактор: Стародубцева А.Н.

## СОДЕРЖАНИЕ

Окончание таблицы

Введение.....	6
Объем учебной нагрузки на выполнение практических и лабораторных работ.....	8
Пояснительная записка к лабораторным работам.....	9
Лабораторные работы №1.....	13
Лабораторные работы №2.....	14
Лабораторные работы №3.....	18
Пояснительная записка к практическим занятиям.....	25
Практические занятия №1.....	26
Практические занятия №2.....	29
Практические занятия №3.....	31
Практические занятия №4.....	39
Практические занятия №5.....	43
Практические занятия №6.....	49
Практические занятия №7.....	52
Литература и электронные ресурсы.....	57

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации предназначены для студентов, обучающихся по специальности 09.02.07 «Информационные системы и программирование» и направлены на оказание помощи при выполнении практических и лабораторных работ по учебной дисциплине ОУП.08 Астрономия.

Цель выполнения практических и лабораторных работ: формирование предметных и метапредметных результатов освоения обучающимися основной образовательной программы базового курса астрономии.

Формируемые умения:

### **предметные**

- использовать карту звездного неба для нахождения координат светила;
- решать задачи на применение изученных астрономических законов;
- владение основными методами научного познания, используемыми в астрономии: описание; объяснять полученные результаты и делать выводы;
- обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами;

### **метапредметные**

- выполнять познавательные и практические задания;
- классифицировать объекты исследования, структурировать изучаемый материал;
- на практике пользоваться основными логическими приемами, методами наблюдения, моделирования.

**2 ОБЪЕМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ  
И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Количество часов</b>
Практические занятия	10
Лабораторные работы	6
<b>Всего:</b>	<b>16</b>

### **3 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

#### **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

##### ***Общие положения***

Лабораторная работа – небольшой научный отчет, обобщающий проведенную студентом работу, которую представляют для защиты преподавателю. К лабораторным работам предъявляется ряд требований, основным из которых является полное, исчерпывающее описание всей проделанной работы, позволяющее судить о полученных результатах, степени выполнения заданий и профессиональной подготовке студентов.

В отчет по лабораторной работе должны быть включены следующие пункты:

- цель работы;
- оборудование;
- краткие теоретические сведения;
- описание экспериментальной установки и методики эксперимента;
- экспериментальные результаты;
- анализ результатов работы;
- выводы.

##### ***Требования к содержанию отдельных частей отчета по лабораторной работе***

Название лабораторной работы приводится без слова тема и в кавычки не заключается.

В оборудовании указываются приборы и необходимые средства измерения.

Цель работы должна отражать тему лабораторной работы, а также конкретные задачи, поставленные студенту на период выполнения работы.

Краткие теоретические сведения. В этом разделе излагается краткое теоретическое описание изучаемого в работе явления или процесса, приводятся также необходимые расчетные формулы. Материал раздела не должен копировать содержание методического пособия или учебника по данной теме, а ограничивается изложением основных понятий и законов,

расчетных формул, таблиц, требующихся для дальнейшей обработки полученных экспериментальных результатов.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента. В данном разделе приводится схема экспериментальной установки с описанием ее работы и подробно излагается методика проведения эксперимента, процесс получения данных и способ их обработки.

Экспериментальные результаты. В этом разделе приводятся непосредственно результаты, полученные в ходе проведения лабораторных работ: экспериментально определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы. Обязательно необходимо оценить погрешности измерений.

Анализ результатов работы. Раздел отчета должен содержать подробный анализ полученных результатов, интерпретацию этих результатов на основе физических законов. Следует сравнить полученные результаты с известными литературными данными, обсудить их соответствие существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчетов или литературных данных, необходимо обсудить возможные причины этих несоответствий.

Выводы. В выводах кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически значения физических величин, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчетной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

### ***Оформление отчета о проделанной работе***

- 1.Номер работы.
- 2.Наименование работы.
- 3.Цель работы.
- 4.Оборудование
- 5.Чертеж (рисунок) (если требуется)
- 6.Формулы для определения искомых величин и их погрешностей.
- 7.Таблица с результатами измерений и вычислений.

8. Окончательный результат, вывод и прочее (согласно цели работы).

**Критерии оценивания лабораторных работ:**

***Оценка «5» ставится, если обучающийся:***

Правильно определил цель опыта и выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений. Самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью. Научно грамотно, логично описал наблюдения и сформировал выводы из опыта. В представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы.

***Оценка «4» ставится, если обучающийся выполнил требования к оценке «5», но:*** Опыт проводил в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерений. Было допущено два – три недочета или более одной грубой ошибки и одного недочета. Эксперимент проведен не полностью или в описании наблюдений из опыта обучающийся допустил неточности, выводы сделал неполные.

***Оценка «3» ставится, если обучающийся:***

Правильно определил цель опыта; работу выполняет правильно не менее чем наполовину, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы. Подбор оборудования, объектов, материалов, а также работы по началу опыта провел с помощью преподавателя; или в ходе проведения опыта и измерений опыта были допущены ошибки в описании наблюдений, формулировании выводов. Допускает грубую ошибку в ходе эксперимента (в объяснении, в оформлении работы, в соблюдении правил техники безопасности при работе с материалами и оборудованием), которая исправляется по требованию преподавателя.

***Оценка «2» ставится, если обучающийся:***

Не определил самостоятельно цель опыта: выполнил работу не полностью, не подготовил нужное оборудование и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов. Опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно. В ходе работы и в отчете обнаружилось в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к оценке «3». Допускает две (и более) грубые ошибки в ходе эксперимента, в объяснении, в оформлении работы, в соблюдении правил техники безопасности при работе с веществами и оборудованием, которые не может исправить даже по требованию учителя.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «ИЗУЧЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНОЙ КАРТЫ»

### Цель:

1. Научиться определять вид звездного неба в любой момент суток произвольного дня года.
2. Научиться определять координаты звезд.

**Оборудование:** Подвижная карта звездного неба, накладной круг.

### Теоретическая часть.

Вид звёздного неба изменяется из - за суточного вращения Земли. Изменение вида звёздного неба в зависимости от времени года происходит вследствие обращения Земли вокруг Солнца. Подвижная карта звёздного неба изображена на рис.1. Она состоит из карты звездного неба и накладного круга.

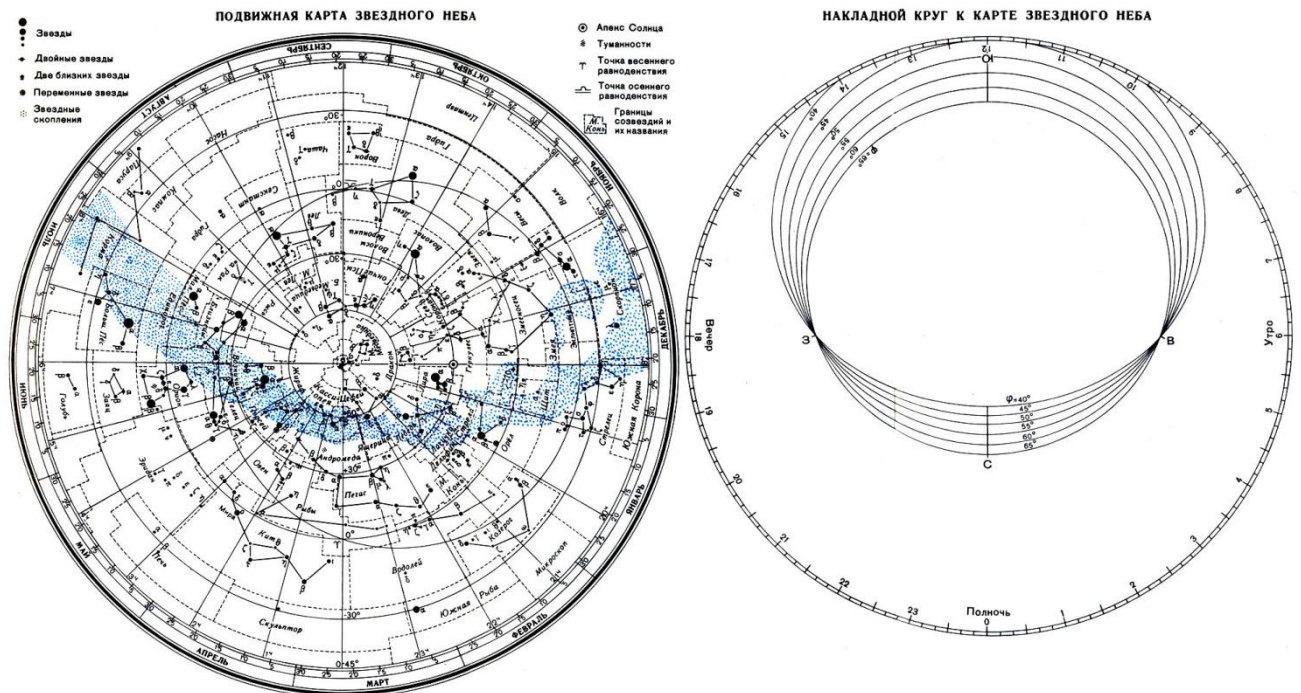


Рисунок1- Звездная карта

На карте звёзды показаны чёрными точками, размеры которых характеризуют яркость звёзд, туманности обозначены штриховыми линиями. Северный полюс мира изображён в центре карты. Линии, исходящие от северного полюса мира, показывают расположение кругов

склонения. На звёздной карте для двух ближайших кругов склонения угловое расстояние равно 2 ч. Небесные параллели нанесены через  $30^\circ$ . С их помощью произвести отсчёт склонение светил  $\delta$ . Точки пересечения эклиптики с экватором, для которых прямое восхождение 0 и 12 ч., называются точками весеннего  $\gamma$  и  $\Omega$  равноденствий. По краю звёздной карты нанесены месяцы и числа, а на накладном круге – часы.

Для определения местоположения небесного светила необходимо месяц, число, указанное на звёздной карте, совместить с часом наблюдения на накладном круге.

На карте зенит расположен вблизи центра выреза (в точке пересечения нити, изображающей небесный меридиан с небесной параллелью, склонение которой равно географической широте места наблюдения).

Область карты, заключенная внутри небесного экватора, представляет северную небесную полусферу; остальная часть карты изображает поле южной небесной полусферы. Изображения созвездий южной полусферы растянуты, и их вид несколько отличается от привычного вида тех же созвездий на небе.

По наружному обряду карты, называемому лимбом дат, нанесены календарные числа и названия месяцев года.

Помимо координатной сетки нанесены границы и название созвездий, наиболее яркие звезды в каждом созвездии, туманности и звездные скопления, Млечный Путь.

Внешний обряд круга, называемый часовым лимбом, разделен на 24 часа. Часовой лимб оцифрован в системе среднего времени.

### **Ход работы**

1. Установить подвижную карту звездного неба на день и час наблюдения и назвать созвездия, видимые в данный момент времени.
2. Установить подвижную карту звездного неба на день и час наблюдения и назвать созвездия, невидимые в данный момент времени.
3. Определить, будут ли видны созвездия Девы, Рака, Весов в полночь 15 сентября?
4. Определить, какие из перечисленных созвездий: Малая Медведица, Волопас, Возничий, Орион – для данной широты будут незаходящими?
5. Определить светила, находящиеся в зените 25 мая в 22 часа?
6. Определить светила, которые кульминируют в 11 часов 5 мая?
7. Найдите на звездной карте и назовите объекты, имеющие координаты:  
 $\delta = -9^\circ$ ,  $\alpha = 15^{\text{ч}} 12^{\text{м}}$ .  
 $\delta = +48^\circ$ ,  $\alpha = 3^{\text{ч}} 40^{\text{м}}$ .
8. Определить экваториальные координаты следующих звезд:

### **Склонение $\delta$ . Прямое восхождение $\alpha$**

$\alpha$  Тельца (Альдебаран)

$\beta$  Ориона (Ригель)

$\alpha$  Близнецов (Кастор)

$\alpha$  Льва (Регул)

$\alpha$  Волопаса (Арктур)

9.Сделать вывод по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ СЧЕТА ВРЕМЕНИ»

**Цель работы:** изучение различных систем счета времени.

**Оборудование:** модель небесной сферы, астрономический календарь (постоянная и переменная части), подвижная звездная карта.

**Вопросы к допуску:**

1. Понятие звездного времени.
2. Среднее и истинное солнечное время.
3. Уравнение времени.
4. Связь местного времени с географической долготой.

### *Основные теоретические сведения*

Измерение времени основано на наблюдениях суточного вращения небесного свода и годового движения Солнца, т.е. на вращении Земли вокруг оси и на обращении Земли вокруг Солнца.

Вращение Земли вокруг оси происходит почти равномерно, с периодом, равным периоду вращения небесного свода. Поэтому по углу поворота Земли от некоторого начального положения можно судить о протекшем времени. За начальное положение Земли принимается момент прохождения плоскости земного меридиана места наблюдения через избранную точку на небе, или, что одно и то же, момент верхней кульминации этой точки на данном меридиане.

Продолжительность основной единицы времени, называемой сутками, зависит от избранной точки на небе. В астрономии за такие точки принимаются:

- точка весеннего равноденствия (*звездное время*),
- центр видимого диска Солнца (*истинное Солнце*, истинное солнечное время),
- *среднее Солнце* — фиктивная точка, положение которой на небе может быть вычислено теоретически для любого момента времени (среднее солнечное время).

Для измерения длинных промежутков времени служит тропический год, основанный на движении Земли вокруг Солнца.

*Тропический год* — промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра истинного Солнца через точку весеннего равноденствия. Содержит 365,2422 средних солнечных суток.

Из-за медленного движения точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу, вызванного прецессией, относительно звезд Солнце оказывается в той же точке неба через промежуток времени на 20 мин. 24 с. больший, чем тропический год. Он называется *звездным годом* и содержит 365,2564 средних солнечных суток.

**Звездное время.** Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане называется *звездными сутками*.

За начало звездных суток на данном меридиане принимают момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия.

Время, протекшее от верхней кульминации точки  $\Upsilon$  до любого другого ее положения, выраженное в долях звездных суток, называется *звездным временем*  $S$ .

Угол, на который Земля повернется от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до какого-нибудь другого момента, равен часовому углу точки  $\Upsilon$  в этот момент.

$$S = t\gamma.$$

Практически для установления начала звездных суток или звездного времени в какой-то момент надо измерить часовой угол  $t$  какого-либо светила  $M$ , прямое восхождение которого известно. Тогда звездное время:

$$S = \alpha + t,$$

где  $t = \_Qm$ ,  $\alpha = \_ \Upsilon m$ , а  $t\gamma = \_Q\Upsilon = S$ .

*Звездное время* в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол. В момент верхней кульминации светила его часовой угол  $t = 0$ , тогда  $S = \alpha$ .

Звездное время для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будет разным. Разность звездного времени в двух пунктах земной поверхности в один и тот же физический момент равна разности *географических долгот* этих пунктов.

$$S_2 - S_1 = \lambda_2 - \lambda_1.$$

**Истинное солнечное время.** Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца (центра солнечного диска) на одном и том же географическом меридиане называется *истинными солнечными сутками*. За начало истинных солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации Солнца (*истинная полночь*).

Время, протекшее от нижней кульминации Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток называется *истинным солнечным временем*  $T_c$ .

Истинное солнечное время  $T_c$  на данном меридиане в любой момент:

$$T_c = t_c + 12^h,$$

где  $t_c$  – часовой угол Солнца.

Истинные солнечные сутки имеют различную продолжительность, так как:

1. Солнце движется не по небесному экватору, а по эклиптике, наклоненной к экватору под углом  $23^{\circ}26'$ .
2. Движение Солнца по эклиптике неравномерно.

**Среднее солнечное время.** Чтобы получить сутки постоянной продолжительности и в то же время связанные с движением Солнца, в астрономии введены понятия двух фиктивных точек — среднего эклиптического и среднего экваториального Солнца.

Среднее эклиптическое Солнце равномерно движется по эклиптике со средней скоростью Солнца.

Среднее экваториальное Солнце равномерно движется по экватору с постоянной скоростью среднего эклиптического Солнца и одновременно с ним проходит точку весеннего равноденствия.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца на одном и том же географическом меридиане называется *средними солнечными сутками*.

Продолжительность средних солнечных суток равна среднему значению продолжительности истинных солнечных суток за год.

За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимают момент нижней кульминации среднего экваториального Солнца (*средняя полночь*).

Время, протекшее от нижней кульминации среднего экваториального Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток, называется *средним солнечным временем*  $T_m$ .

Среднее солнечное время  $T_m$  на данном меридиане в любой момент:

$$T_m = t_m + 12^h,$$

где  $t_m$  – часовой угол Солнца.

Разность между средним и истинным солнечным временем в один и тот же момент называется **уравнением времени  $\eta$**

$$\eta = T_m - T_c = t_m - t_c = \alpha_c - \alpha_m,$$

где  $t$  – часовой угол, а  $\alpha$  — прямое восхождение.

Отсюда следует

$$T_m = T_c + \eta = t_c + 12^h + \eta.$$

Уравнение времени обращается в нуль около 15 апреля, 14 июля, 1 сентября и 24 декабря, и четыре раза в году принимает экстремальные значения, из них наиболее значительные около 11 февраля ( $\eta = +14^m$ ) и 2 ноября ( $\eta = -16^m$ ).

Уравнение времени публикуется в астрономических календарях - ежегодниках ВАГО для каждой средней полуночи на меридиане Гринвича. Если в календаре дан момент верхней кульминации центра истинного Солнца, то имея

в виду, что этот момент дан по среднему времени, и что в данный момент истинное солнечное время равно  $12^h$ , получим уравнение:

$$\eta = T_m - 12^h.$$

**Всемирное время.** Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана называется *всемирным, или мировым временем*  $T_0$ .

Местное среднее солнечное время любого пункта на Земле определяется:

$$T_m = T_0 + \lambda^h,$$

где  $\lambda^h$  – долгота данного пункта, выраженная в часовой мере (h).

**Поясное время.** Местных систем счета времени бесчисленное множество, как и меридианов.

В 1884 году была предложена поясная система счета среднего времени. Счет времени ведется только на 24 основных географических меридианах, расположенных друг от друга по долготе точно через  $15^\circ$ , приблизительно *посередине* каждого часового пояса. *За основной меридиан нулевого пояса принят Гринвичский.*

Местное среднее солнечное время основного меридиана какого-либо часового пояса называется *поясным временем*  $T_n$ . Связь поясного времени с местным и всемирным выражается следующим образом:

$$T_m - T_n = \lambda^h - n^h,$$

$$T_n = T_0 + n^h$$

где  $n^h$  – число целых часов, равное номеру часового пояса (долгота основного меридиана часового пояса).

**Декретное время.** В целях более рационального распределения электроэнергии, идущей на освещение предприятий и жилых домов, в летнее время вводят летнее время. В СССР 16.07.1930г. декретом правительства стрелки часов перевели на 1 час вперед против поясного времени.

**Для получения зачета необходимо:**

1. Уметь свободно ориентироваться в разных системах счета времени.
2. С помощью подвижной звездной карты уметь определить звездное время, зная в этот момент среднее местное время, а также уметь решать и обратную задачу.
3. Представить преподавателю оформленные вычисления, требуемые в задании.

**Цель работы:** определение блеска, светимости и расстояния между звездами в двойной системе.

**Оборудование и пособия:** астрономический календарь (постоянная часть), калькулятор.

**Вопросы к допуску:**

1. Типы кратных звездных систем.
2. Характеристики затменно-переменных и спектрально-двойных звездных систем.

### *Основные теоретические сведения*

**Двойные и кратные звезды.** Наблюдения показывают, что некоторые звезды объединены в физически связанные между собой пары. Они называются *физическими* двойными звездами.

Существуют также случайные объединения звезд, когда кажется, что звезды образуют пару вследствие эффекта проекции двух физически не связанных объектов. Такие пары называются *оптическими*.

Двойные звезды встречаются очень часто. Их изучение важно для выяснения природы звезд и для космогонических проблем происхождения и эволюции звезд.

Оба компонента пары сильно притягиваются друг к другу, но сила притяжения уравнивается центробежной силой вращения. Это приводит к орбитальному движению вокруг общего центра масс. Скорость этого движения и форма орбиты несут информацию о массах небесных тел.

Двойные системы очень многообразны. Существуют пары настолько близкие друг к другу, что их поверхности почти соприкасаются. Приливное взаимодействие приводит к тому, что компоненты приобретают форму эллипсоидов и с их поверхностей вещество перетекает с одного компонента на другой или даже постепенно выбрасывается за пределы системы. Периоды обращения таких систем составляют несколько часов.

Двойственность тесной системы обнаруживается с помощью спектрографа, а также путем изучения взаимных затмений, вызывающих переменность блеска. Эти звезды нельзя увидеть отдельно. Такие системы называются *спектрально-двойными* или *фотометрическими двойными*, в зависимости от того, с помощью спектрографа или фотометра устанавливается двойственность.



Когда два компонента разделены сильнее, на расстояние в несколько сотен радиусов, их можно различить в телескоп. Такие пары называют *визуально-двойными*.

Расстояния между компонентами этих пар могут быть столь велики, что притяжение других звезд способно разрушить двойную систему.

Компоненты могут быть одинаковыми и совсем разными. Иногда одна из звезд настолько мала, что не видна и выдает свое присутствие, вызывая аномалии в движении главной звезды. Такие системы называются *астрометрическими двойными*.

Часто встречаются кратные звездные системы, состоящие из нескольких звезд. При этом такие пары могут быть одновременно визуально-двойными, спектрально-двойными и иметь невидимые спутники. Например, звезда Альфа Центавра.

**Затменно-переменные звезды. Кривые блеска, определение орбит компонент и физических характеристик.** Затменными переменными называются такие неразрешимые в телескопы тесные пары звезд, видимая зв. величина которых меняется вследствие периодически наступающих для земного наблюдателя затмений одного компонента системы другим. В этом случае звезда с большей светимостью называется главной, а с меньшей — спутником. Типичные примеры — Алголь ( $\beta$  Персея) и  $\beta$  Лиры.

Вследствие регулярно происходящих затмений главной звезды спутником, а также спутника главной звездой, суммарная видимая зв. величина меня-

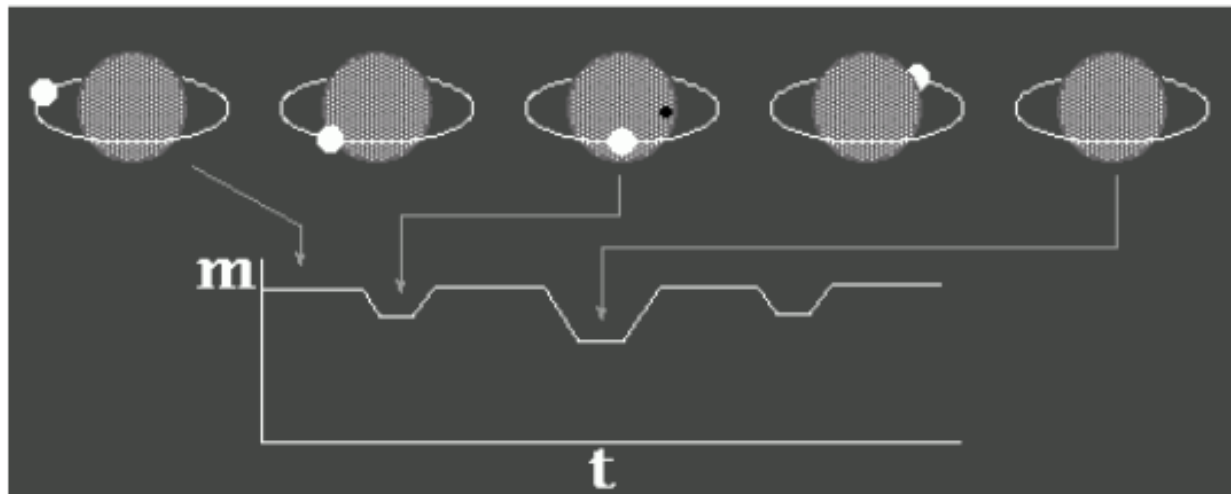


Рис.15

График изменения блеска затменно-двойной звезды

ется периодически.

График, изображающий изменение потока излучения звезды со временем называется кривой блеска. Момент времени, в который звезда имеет наименьшую видимую звездную величину, называется эпохой максимума, а наибольшую — эпохой минимума.

Разность звездных величин в минимуме и максимуме называется амплитудой, а промежуток времени между двумя последовательными максимумами или минимумами — периодом переменности.

По характеру кривой блеска затменной переменной звезды можно найти элементы орбиты одной звезды относительно другой, относительные размеры компонентов, представление об их форме.

На кривой блеска видны два минимума — глубокий, соответствующий затмению главной звезды, и слабый, возникающий, когда главная звезда затмевает спутник.

На основании детального изучения кривых блеска можно получить следующие данные о компонентах затменных переменных звезд:

1. Характер затмений определяется наклоном и размерами звезд. Когда диск одной звезды полностью перекрывается диском другой, соответствующие области кривой блеска имеют плоские участки, что говорит о постоянстве излучения системы в течение некоторого времени. Если затмения частные — минимумы острые.

Если звезды примерно равны по размерам, минимумы и максимумы кривой примерно одинаковы, если одна звезда значительно меньше, то максимум сильно превосходит минимум.

2. На основании продолжительности минимумов находят радиусы компонентов выраженные в долях большой полуоси орбиты, так как продолжительность затмения пропорциональна диаметрам звезд.

3. Если затмение полное, то по отношению глубин минимумов можно найти отношение светимостей, а при известных радиусах — отношение эффективных температур звезд.

4. Плавное изменение кривой блеска говорит об эллипсоидальности, вызванной приливным воздействием очень близких компонентов двойных звезд.

В настоящее время известно около 4000 затменных звезд различных типов. Минимальный известный период — около часа, максимальный более 57 лет.

*Спектрально-двойные звезды.* В спектрах некоторых звезд наблюдаются периодическое раздвоение или колебание положения спектральных линий. Если эти звезды являются затменными переменными, то колебания линий происходят с тем же периодом, что и изменение блеска. При этом в моменты соединений, когда обе звезды движутся перпендикулярно лучу зрения, отклонение спектральных линий от среднего положения равно 0. Если наблюдаемый спектр принадлежит только одной звезде, то вместо раздвоения линий наблюдается их смещение то в красную, то в синюю область спектра. Зависимость от времени лучевой скорости, определенной по смещениям линий, называется *кривой лучевых скоростей*.

В настоящее время известно около 2500 звезд, двойственная природа которых установлена только на основании спектральных наблюдений. Для 750 из

них получены кривые лучевых скоростей, позволяющие найти периоды обращения и форму орбиты.

Так как энергия, получаемая нами от кратной звезды равна сумме энергий от каждой из компонент, то блеск  $E$  кратной звезды равен сумме блеска ее компонент:

$$E = E_1 + E_2 + \dots,$$

и поэтому ее видимая  $m$  и абсолютная  $M$  звездные величины всегда меньше звездной величины  $m_i$  и  $M_i$  любого компонента.

Вычисление суммарной звездной величины легче всего произвести, пользуясь соответствующими таблицами.

Если видимую звездную величину более яркого компонента обозначить через  $m_1$ , а более слабого – через  $m_2$ , то  $m_2 > m_1$ , и по разности

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

в таблицах отыскивается поправка  $\Delta m'$ , позволяющая определить

$$m = m_1 - \Delta m'.$$

Этот табличный метод может быть последовательно применен к компонентам звезды любой кратности.

Согласно формуле Погсона отношение блеска двух звезд  $E_1$  и  $E_2$  связано с их звездными величинами  $m_1$  и  $m_2$ :

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

Таким образом, зная видимые звездные величины компонент кратной звезды, можно вычислить отношение блеска этих звезд.

Энергия, проходящая в единицу времени через замкнутую поверхность, окружающую данный источник излучения, называется его светимостью. Следовательно, блеск звезды пропорционален ее светимости и обратно пропорционален квадрату расстояния до нее. Обозначим светимость буквой  $L$ , расстояние до звезды – буквой  $r$ , а коэффициент пропорциональности –  $k$ . Тогда

$$E = k \frac{L}{r^2}.$$

Для двух звезд имеем

$$E_1 = k \frac{L_1}{r_1^2}, \quad E_2 = k \frac{L_2}{r_2^2}.$$

Деля первое равенство на второе, получим:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{L_1 \cdot r_2^2}{L_2 \cdot r_1^2}.$$

Если две звезды составляют физически двойную звезду, то расстояние до этих звезд практически одинаково:  $r_1 = r_2$ . Тогда получим:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Отношение блеска двух звезд системы равно отношению их светимостей. Линейное расстояние между компонентами физически двойной звезды может

быть вычислено только в том случае, если известны годичный параллакс  $\pi$  и наклонение  $i$  орбиты компонента — спутника к картинной плоскости, т.е. к плоскости, перпендикулярной к лучу зрения наблюдателя. Эта плоскость касательна к небесной сфере в той ее точке, в которой находится звезда. Если  $i$  не известно, то можно установить лишь проекцию между звездами на картинную плоскость.

Пусть компоненты двойной звезды видны под углом  $\rho''$ , параллакс двойной звезды равен  $\pi''$ , расстояние между компонентами  $d$ , проекция этого расстояния на картинную плоскость —  $d_n$ , расстояние от Земли до Солнца равно одной астрономической единице  $a_0$ . Обозначив расстояние звезды от Земли через  $r$ , получим:

$$d_n = r \sin \rho''; \quad a_0 = r \sin \pi'';$$

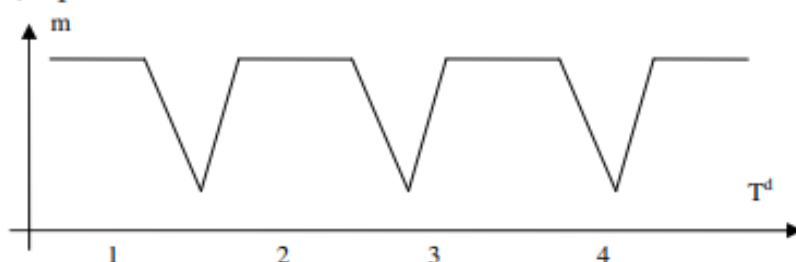
так как  $\rho''$  и  $\pi''$  очень малы, то

$$\frac{\sin \rho''}{\sin \pi''} = \frac{\rho''}{\pi''}.$$

Следовательно,  $d_n / a_0 = \rho'' / \pi''$ . Но  $a_0 = 1$  а.е. Тогда  $d_n = \rho'' / \pi''$ . В таком случае  $d_n$  вычисляется в астрономических единицах.

### Образец заданий

- По кривой изменения блеска затменной переменной звезды определить:
  - характеристики звезд пары: размеры относительно друг друга и относительно их орбиты; составляет ли блеск спутника заметную долю блеска главной звезды;
  - форму, характер затмения (полное, частное или кольцеобразное);
  - период обращения звезд;
  - продолжительность затмения.



- Вычислить проекцию на картинную плоскость линейного расстояния между компонентами, отношение их светимостей и суммарную видимую звездную величину (приняв, что если  $m_0 = 0$ , то  $E_0 = 1$ ), двойных звезд:
  - $\beta$  Скорпиона
  - $\gamma$  Девы
- Определить по таблице общую видимую звездную величину двойных звезд:
  - $\gamma$  Девы
  - $\gamma$  Дельфина

4. Определить общую светимость, приняв светимость Солнца = 1, двойной звезды  $\beta$  Скорпиона.
5. Определить видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине  $m$  и соотношению блеска  $E$  между компонентами:

$$m = 3^m,74$$

первый компонент ярче третьего в 3.5 раза;

второй компонент ярче третьего в 1.9 раза.

### Примеры выполнения некоторых заданий

1. Вычислить проекцию на картинную плоскость линейного расстояния между компонентами и суммарную видимую звездную величину (приняв, что если  $m_0 = 0$ , то  $E_0 = 1$ ), двойной звезды:  $\beta$  Скорпиона.

Проекцию на картинную плоскость линейного расстояния  $d_n$  между компонентами двойной звезды можно вычислить, зная угловое расстояние между компонентами  $\rho''$  и годичный параллакс  $\pi''$  этой звезды. Угловое расстояние  $\rho''$  взять из таблицы «Двойные и кратные звезды» астрономического календаря (напр. Школьного)  $\rho'' \approx 14''$ , а годичный параллакс  $\pi''$  можно найти, зная расстояние (из той же таблицы) до данной двойной звезды в парсеках  $r$  (пс). В таблице  $r$  может быть дано в световых годах, как в данном случае:  $r = 650$  св. лет. Переведем в парсеки, зная, что  $1 \text{ пс} = 3.26$  св. лет. Получим:  $r = 650 / 3.26 = 199.4$  пс. Тогда годичный параллакс  $\pi'' = 1/r(\text{пс})$ , т. е.  $\pi'' \approx 1/199.4 = 0''.005$ . А проекция на картинную плоскость линейного расстояния в астрономических единицах  $d_n = \rho'' / \pi''$ . Т. е.  $d_n = 14 / 0.005 = 2791$  а.е.

Суммарную видимую звездную величину  $m$  можно найти, используя формулу Погсона (приняв, что если  $m_0 = 0$ , то  $E_0 = 1$ ), записанную для логарифма отношения блеска данной двойной к блеску звезды с параметрами  $m_0 = 0$  и  $E_0 = 1$ , т.е.  $\lg(E/E_0) = 0.4(m_0 - m) \Rightarrow \lg E = -0.4m$ . Откуда суммарная видимая звездная величина  $m = -2.512 \lg E$  (\*), где  $E$  – суммарный блеск двойной звезды. Как известно  $E = E_1 + E_2$ , где  $E_1$  – это блеск первого компонента, а  $E_2$  – это блеск второго компонента. Блеск отдельных компонентов можно найти по формулам Погсона, записанным для отношения блеска данного компонента к блеску звезды с параметрами  $m_0 = 0$  и  $E_0 = 1$ , т.е.  $E_1/E_0 = 2.512^{(m_0 - m_1)}$  и  $E_2/E_0 = 2.512^{(m_0 - m_2)}$ , где  $m_1$  и  $m_2$  – видимые звездные величины компонентов двойной звезды, данные в таблице. Учитывая  $m_0 = 0$  и  $E_0 = 1$ , получаем  $E_1 = 2.512^{(-m_1)}$  и  $E_2 = 2.512^{(-m_2)}$ . Для нашей звезды  $m_1 = 2^m.6$  и  $m_2 = 4^m.9$ . Поэтому  $E_1 = 2.512^{(-2.6)} = 0.09$  и  $E_2 = 2.512^{(-4.9)} = 0.01$ . Далее  $E = E_1 + E_2 = 0.1$ . Подставляя в (\*), получаем  $m = -2.512 \lg(0.1) = 2^m.512$ .

2. Определить, приняв светимость Солнца  $L_c = 1$ , общую светимость двойной звезды  $\beta$  Скорпиона. Суммарная видимая звездная величина этой звезды  $m = 2^m.512$ .

Известно, что блеск звезды пропорционален ее светимости и обратно пропорционален квадрату расстояния до нее:  $E = kL/r^2$ . То же можно записать и для Солнца:  $E_c = kL_c/r_c^2$ . Разде-

$$L = L_c \frac{E r^2}{E_c r_c^2}.$$

лим первое выражение на второе и выразим светимость звезды:

Отношение  $E/E_c$  по формуле Погсона:

$$L = \frac{r^2}{r_c^2} 2.512^{(m_c - m)}.$$

С учетом  $L_c = 1$ , получаем:

$$\frac{E}{E_c} = 2.512^{(m_c - m)}.$$

Видимая звездная величина Солнца  $m_c = -26^m$ , расстояние до Солнца  $r_c = 1$  а.е., видимая звездная величина  $\beta$  Скорпиона  $m = 2^m.512$ , а расстояние до нее  $r = 650$  св. лет. Выразив  $r$  в а.е., получим  $r = 41126475$  а.е.. Подставляя в формулу, получаем:  $L = 41126475^2 \times 2.512^{(-26 - 2.512)} = 6651$ .

3. Определить видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине  $m$  и соотношению блеска  $E$  между компонентами:  $m = 3^m.74$

первый компонент ярче третьего в 3.5 раза;

второй компонент ярче третьего в 1.9 раза.

Сначала запишем отношения блеска между компонентами, данные в условии:  $E_1/E_3 = 3.5$ ,  $E_2/E_3 = 1.9$ . Отсюда  $E_1 = 3.5E_3$ ,  $E_2 = 1.9E_3$ . Видимую звездную величину каждого компонента трехкратной звезды по ее общей видимой звездной величине  $m$  можно определить, используя формулу Погсона, записанную для логарифма отношения блеска данного компонента к суммарному (общему) блеску звезды: например,  $\lg(E/E_3) = 0.4(m_3 - m)$ . Отсюда  $m_3 = m + 2.5 \lg(E/E_3)$  (\*). Суммарный (общий) блеск звезды:  $E = E_1 + E_2 + E_3$ . Подставив  $E_1 = 3.5E_3$  и  $E_2 = 1.9E_3$ , получим  $E = 3.5E_3 + 1.9E_3 + E_3 = 6.4E_3$ . Следовательно,  $E/E_3 = 6.4$ . Подставив в (\*), и в итоге будем иметь  $m_3 = 3^m.74 + 2.5 \lg(6.4) = 5^m.75$ .

Видимую звездную величину первого компонента найдем, используя формулу:  $\lg(E_1/E_3) = 0.4(m_3 - m_1)$ . Отсюда  $m_1 = m_3 - 2.5 \lg(E_1/E_3)$ . Подставив  $E_1/E_3 = 3.5$  и  $m_3$  получим  $m_1 = 5^m.75 - 2.5 \lg(3.5) = 4^m.38$ .

Видимую звездную величину второго компонента найдем, используя формулу  $\lg(E_2/E_3) = 0.4(m_3 - m_2)$ . Отсюда  $m_2 = m_3 - 2.5 \lg(E_2/E_3)$ . Подставим  $E_2/E_3 = 1.9$  и  $m_3$  получим  $m_2 = 5^m.75 - 2.5 \lg(1.9) = 5^m.05$ .

**Практические занятия** - одна из важнейших форм контроля самостоятельной работой обучающихся над учебным материалом, качеством его усвоения. Готовясь к практическим занятиям, обучающиеся должны изучить рекомендованную литературу: первоисточники, соответствующие разделы учебников, учебных пособий, конспекты лекций и т.д.

**Цель практических занятий** – формирование практических умений: выполнение определённых действий, операций, необходимых в последующей профессиональной или учебной деятельности, а также контроль приобретенных умений и знаний.

В связи с этим содержанием практических занятий является решение задач, выполнение вычислений, расчётов, работа с литературой, работа с лекциями, справочниками, инструкциями. Выполнению практических занятий может предшествовать проверка знаний обучающихся, их теоретической готовности к выполнению заданий.

#### **Критерии оценивания**

**Оценка 5** ставится за работу, выполненную полностью без ошибок и недочетов.

**Оценка 4** ставится за работу, выполненную полностью, но при наличии в ней не более одной негрубой ошибки и одного недочета, не более трех недочетов.

**Оценка 3** ставится, если ученик правильно выполнил не менее  $2/3$  всей работы или допустил не более одной грубой ошибки и двух недочетов, не более одной грубой и одной негрубой ошибки, не более трех негрубых ошибок, одной негрубой ошибки и трех недочетов, при наличии четырех-пяти недочетов.

**Оценка 2** ставится, если число ошибок и недочетов превысило норму для оценки 3 или правильно выполнено менее  $2/3$  всей работы.

#### **Перечень практических занятий**

ПЗ№1 Определение расстояний до тел Солнечной системы и их размеров

ПЗ№2 Решение задач на законы Кеплера.

П.Р.№3 Малые тела Солнечной системы

ПЗ№4 Решение задач на закон смещения Вина и закон Стефана-Больцмана

П.Р.№5 Определение светимости звезд»

ПЗ№6 Эволюция Вселенной. Закон Хаббла

ПЗ№7 Черные дыры, их природа и опасность

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И ИХ РАЗМЕРОВ

Используя третий закон Кеплера, среднее расстояние всех планет от Солнца можно выразить через среднее расстояние Земли от Солнца. Определив его в километрах, можно найти в этих единицах все расстояния в Солнечной системе.

С 40-х годов нашего века радиотехника позволила определять расстояния до небесных тел посредством радиолокации, о которой вы знаете из курса физики. Советские и американские ученые уточнили радиолокацией расстояния до Меркурия, Венеры, Марса и Юпитера.

Классическим способом определения расстояний был и остается угломерный геометрический способ. Им определяют расстояния и до далеких звезд, к которым метод радиолокации неприменим. Геометрический способ основан на явлении параллактического смещения.

*Параллактическим смещением* называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя (рис. 1).

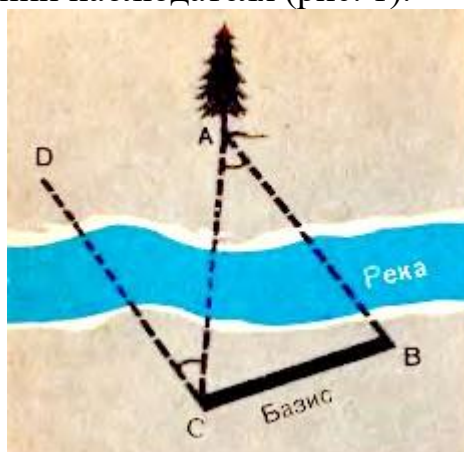


Рисунок 2- Измерение расстояния до недоступного предмета по параллактическому смещению.

Посмотрите на вертикально поставленный карандаш сначала одним глазом, затем другим. Вы увидите, как он при этом переменяет положение на фоне далеких предметов, направление на него изменилось. Чем дальше вы отодвинете карандаш, тем меньше будет параллактическое смещение. Но чем дальше отстоят друг от друга точки наблюдения, т. е. чем больше базис, тем больше параллактическое смещение при той же удаленности предмета. В нашем примере базисом было расстояние между глазами. Принцип параллактического смещения широко используется в военном деле при определении расстояния до цели посредством дальномера. В дальномере базисом является расстояние между объективами.

Для измерения расстояний до тел Солнечной системы за базис берут радиус Земли. Наблюдают положение светила, например Луны, на фоне далеких звезд одновременно из двух обсерваторий. Расстояние между обсерваториями должно быть как можно больше, а соединяющий их отрезок должен составлять угол, по возможности близкий к прямому с



направлением на светило, чтобы параллактическое смещение было максимальным. Определив из двух точек А и В (рис. 3) направления на наблюдаемый объект, несложно вычислить угол  $p$ , под которым с этого объекта был бы виден отрезок, равный радиусу Земли.

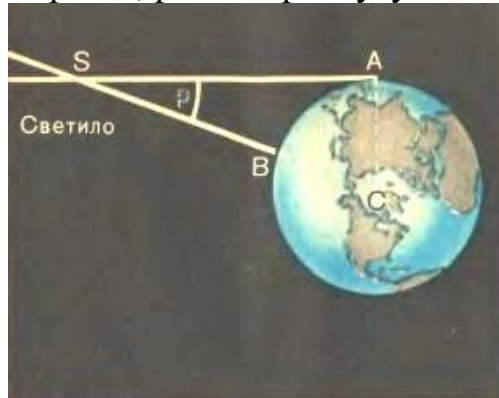


Рисунок 3- Горизонтальный параллакс светила.

Угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения, называется *горизонтальным параллаксом*.

Чем больше расстояние до светила, тем меньше угол  $p$ . Этот угол равен параллактическому смещению светила для наблюдателей, находящихся в точках Л и В, точно так же как СЛВ для наблюдателей веточках С и В (рис. 2). САВ удобно определять по равному ему ВСА а равны они, как углы при параллельных прямых (DC параллельна АВ по построению).

Расстояние

$$SC = D = \frac{R}{\sin p},$$

где  $R$  - радиус Земли. Приняв  $R$  за единицу, можно выразить расстояние до светила в земных радиусах.

Параллакс Луны составляет  $57'$ . Все планеты и Солнце гораздо дальше, и их параллаксы составляют секунды. Параллакс Солнца, например,  $p_s = 8,8''$ . Параллаксу Солнца соответствует среднее расстояние Земли от Солнца, примерно равное  $150\,000\,000$  км. Это расстояние принимается за *одну астрономическую единицу* (1 а. е.). В астрономических единицах часто измеряют расстояния между телами Солнечной системы.

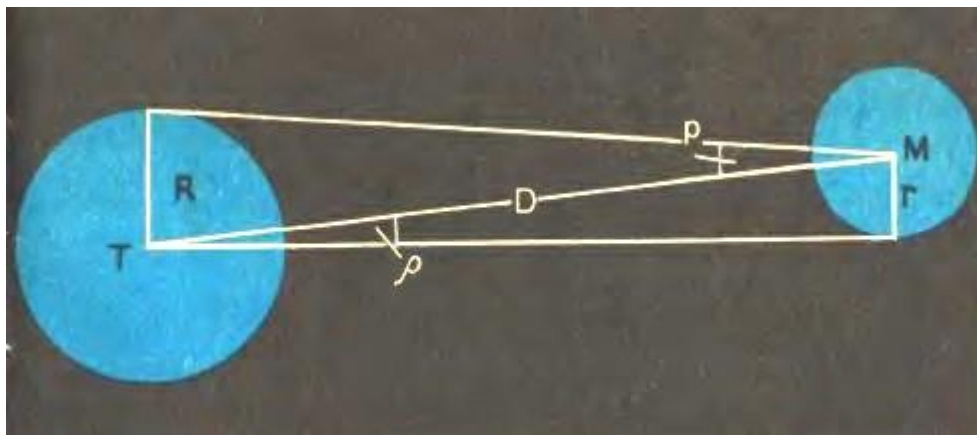


Рисунок 4- Определение линейных размеров небесных светил по их угловым размерам

При малых углах  $\sin p = p$ , если угол  $p$  выражен в радианах. Если  $p$  выражен в секундах дуги, то вводится множитель

$$\sin 1'' = \frac{1}{206265},$$

где 206265 — число секунд в одном радиане.

Тогда

$$\sin p = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206265''}.$$

Знание этих соотношений упрощает вычисление расстояния по известному параллаксу:

$$D = \frac{206265''}{p''} R.$$

1. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдаемого с Земли в противостоянии, если Юпитер в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля?
2. Расстояние Луны от Земли в ближайшей к Земле точке орбиты (перигее) 363 000 км, а в наиболее удаленной точке (апогее) 405 000 км. Определите величину горизонтального параллакса Луны в этих положениях.
3. Измерьте транспортиром угол DCA (рис. 1) и угол ASC (рис. 2), линейкой — длину базисов. Вычислите по ним соответственно расстояния CA и SC и проверьте результат прямым измерением по рисункам.
4. Измерьте на рисунке 3 транспортиром углы  $p$  и  $Q$  и определите по полученным данным отношение диаметров изображенных тел.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

**Основные теоретические сведения.** Движение планет вокруг Солнца описывается законами Кеплера, которые были сформулированы Иоганном Кеплером так:

1. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.
2. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равновеликие площади.
3. Квадраты сидерических периодов обращений планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит.

Благодаря работам И. Ньютона получены обобщенные законы Кеплера, которые в настоящее время имеют вид:

1. Под действием силы притяжения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболу. Эта формулировка подходит для описания движения всех небесных тел: спутников, комет, двойных звезд и др.
2. Площадь, описанная радиусом вектором за единицу времени есть величина постоянная.

**Примеры решения задач:**

1. *Через какой промежуток времени повторяются нижние соединения Меркурия?*

**Дано:**

$$T_{\oplus} = 1 \text{ год}$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$

$$T_{\text{☿}} = 0,24 \text{ года}$$

**Решение:**

Определите синодический период Меркурия:

Выполните преобразования формулы:  $S = \frac{T_{\oplus} \cdot T}{T_{\oplus} - T}$

Выполните расчёты:  $S = \frac{1 \cdot 0,24}{1 - 0,24} \approx 0,32 \text{ года}$

**Найти: S-?**

$$0,32 \cdot 365,25 \approx 117$$

Переведите синодический период из лет в сутки:

**Ответ:** нижние соединения Меркурия повторяются через 117 суток.

2. *Рассчитайте продолжительность года на Венере.*

**Дано:**

$$T_{\oplus} = 1 \text{ год}$$

$$a_{\oplus} = 1 \text{ а.е.}$$

$$a_{\ominus} = 0,72 \text{ а.е.}$$

**Найти:**  $T_{\ominus}$  -?

**Решение:**

Запишите III закон Кеплера:  $\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}$

Выполните преобразование формулы:  $T = T_{\oplus} \sqrt{\left(\frac{a}{a_{\oplus}}\right)^3}$

Выполните расчёты:  $T = 1 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,72}{1}\right)^3} \approx 0,61$

Переведите звёздный период в сутки:  $0,61 \cdot 365,25 \approx 223$

**Ответ:** год на Венере длится 223 дня.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3 МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

### 1. Астероиды

Малые планеты, или астероиды, в основном обращаются между орбитами Марса и Юпитера и невооруженным глазом невидимы. Первая малая планета была открыта в 1801 г., и по традиции ее назвали одним из имен греко-римской мифологии - *Церерой*. Вскоре были найдены и другие малые планеты, названные *Паллада*, *Веста* и *Юнона*. С применением фотографии стали открывать все более слабые астероиды. В настоящее время известно более 3000 астероидов. На протяжении миллиардов лет астероиды время от времени сталкиваются друг с другом. На эту мысль наводит то, что ряд астероидов имеет не шарообразную, а неправильную форму. Суммарная масса астероидов оценивается всего лишь в 0,1 массы Земли.

Самый яркий астероид - Веста не бывает ярче 6-й звездной величины. Самый крупный астероид - Церера. Его диаметр около 800 км, и за орбитой Марса даже в сильнейшие телескопы на столь малом диске ничего нельзя рассмотреть. Самые мелкие из известных астероидов имеют диаметры лишь около километра (рис. 5). Конечно, у астероидов нет атмосферы. На небе малые планеты выглядят как звезды, отчего их и назвали астероидами, что в переводе с древнегреческого означает "звездоподобные". Они обладают характерным для планет петлеобразным перемещением на фоне звездного неба. Орбиты некоторых астероидов имеют необычайно большие эксцентриситеты. Вследствие этого в перигелии они подходят к Солнцу ближе Марса и Земли, а *Икар* - ближе, чем Меркурий (рис. 6). В 1968 г. Икар приблизился к Земле на расстояние менее 10 млн. километров, но его ничтожное притяжение никакого влияния на Землю не имело. Время от времени близко подходят к Земле Гермес, Эрот и другие малые планеты.

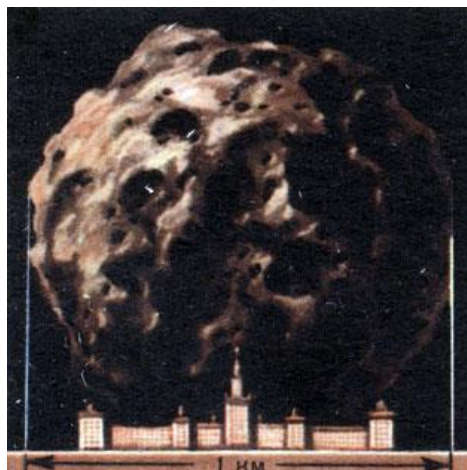


Рисунок 5- Размер одного из наименьших известных астероидов в сравнении со зданием МГУ

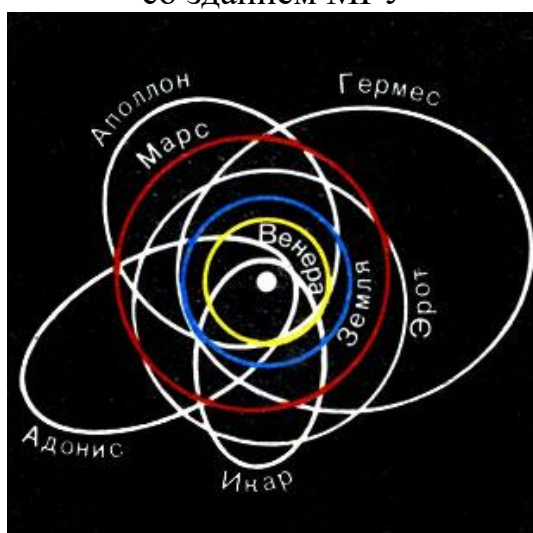


Рисунок 6- Орбиты некоторых астероидов с большим эксцентриситетом орбит

Новые астероиды открывают ежегодно. Первооткрыватель имеет право на выбор названия открытой им планеты, которое затем утверждается международным комитетом. Чаще всего астероидам присваивают имена известных ученых, героев, деятелей искусства. Так, в 1978 г. был открыт астероид, получивший позднее имя *Воронвеля* в честь автора настоящего учебника.

## 2. Болиды и метеориты

Болидом называется довольно редкое явление - летящий по небу огненный шар (рис. 7). Это явление вызывается вторжением в плотные слои атмосферы крупных твердых частиц, называемых метеорными телами. Двигаясь в атмосфере, частица нагревается вследствие торможения и вокруг нее образуется обширная светящаяся оболочка, состоящая из горячих газов. Болиды часто имеют заметный угловой диаметр и бывают видны даже днем. Суеверные люди принимали такие огненные шары за летящих драконов с огнедышащей пастью. От

сильного сопротивления воздуха метеорное тело нередко раскалывается и с грохотом выпадает на Землю в виде осколков. Остатки метеорных тел, упавшие на Землю, называются метеоритами.



Рисунок 7- Полет болида

Метеорное тело, имеющее небольшие размеры, иногда целиком испаряется в атмосфере Земли. В большинстве случаев его масса за время полета сильно уменьшается и до Земли долетают лишь остатки, обычно успевающие остыть, когда космическая скорость уже погашена сопротивлением воздуха. Иногда выпадает целый метеоритный дождь. При полете метеориты оплавливаются и покрываются черной корочкой. Один такой "черный камень" в Мекке вделан в стену храма и служит предметом религиозного поклонения.

Известны три вида метеоритов: каменные, железные (рис. 8) и железо-каменные. Иногда метеориты находят через много лет после их падения. Особенно много найдено железных метеоритов. В СССР метеорит - собственность государства и подлежит сдаче в научные учреждения для изучения. По содержанию радиоактивных элементов и свинца определяют возраст метеоритов. Он различен, но самые старые метеориты имеют возраст 4,5 млрд. лет. Некоторые наиболее крупные метеориты при большой кратер и образуют метеоритные кратеры, напоминающие лунные. Самый большой кратер из хорошо сохранившихся находится в Аризоне (США) (рис. 9). Его диаметр 1200 м и глубина 200 м. Этот кратер возник, по-видимому, около 5000 лет назад. Найдены следы еще больших и более древних метеоритных кратеров. Все метеориты - это члены Солнечной системы.



Рисунок 8- Железный метеорит

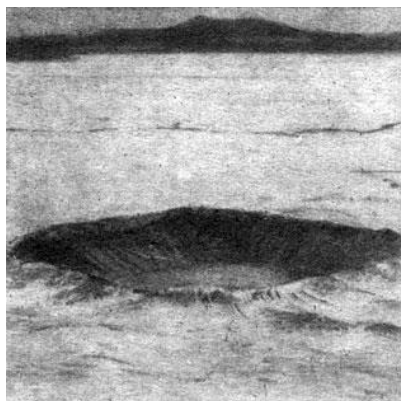


Рисунок 9- Аризонский метеоритный кратер

Судя по тому, что открыто немало мелких астероидов, пересекающих орбиту Марса, можно думать, что метеориты - это осколки тех астероидов, которые пересекают орбиту Земли. Структура некоторых метеоритов свидетельствует о том, что они подвергались высоким температурам и давлениям и, следовательно, могли существовать в недрах разрушившейся планеты или крупного астероида.

В составе метеоритов обнаружено значительно меньшее число минералов, чем в земных горных породах. Это свидетельствует о примитивном характере метеоритного вещества. Однако многие минералы, входящие в состав метеоритов, не встречаются на Земле. Например, каменные метеориты содержат округлые зерна - хондры, химический состав которых почти идентичен с составом Солнца. Это наиболее древнее вещество дает сведения о начальном этапе формирования планет Солнечной системы.

### **3. Кометы. Их открытие и движение**

Находясь в пространстве вдали от Солнца, кометы имеют вид очень слабых, размытых, светлых пятен, в центре которых находится ядро. Очень яркими и "хвостатыми" становятся лишь те кометы, которые проходят сравнительно близко от Солнца. Вид кометы с Земли зависит также и от расстояния до нее, углового расстояния от Солнца, света Луны и т. п. Большие кометы - туманные образования с длинным бледным хвостом - считались вестниками разных несчастий, войн и т. п. Еще в 1910 г. в царской России служили молебны, чтобы отвести "божий гнев в образе кометы".

Впервые И. Ньютон вычислил орбиту кометы из наблюдений ее перемещения на фоне звезд и убедился, что она, подобно планетам, двигалась в Солнечной системе под действием тяготения Солнца. Его современник, английский ученый Э. Галлей (1656-1742), вычислив орбиты нескольких появлявшихся ранее комет, предположил, что в 1531, 1607 и 1682 гг. наблюдалась одна и та же комета, периодически возвращающаяся к Солнцу, и впервые предсказал ее появление. В 1758 г (через 16 лет после смерти Галлея), как и было предсказано, комета действительно появилась и получила название кометы Галлея. В афелии она уходит за орбиту Нептуна (рис. 10) и через 75-76 лет вновь возвращается к Земле и Солнцу. В 1986 г. она снова прошла на



кратчайшем расстоянии от Солнца. На встречу с кометой впервые были направлены автоматические межпланетные станции, снабженные различной научной аппаратурой.

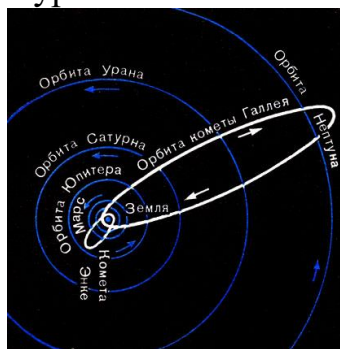


Рисунок 10- Орбиты комет Галлея и Энке



Рисунок 11-Комета Галлея (январь 1986 г.). Виден излом хвоста под воздействием солнечного ветра в магнитном поле Солнца. (Фотография получена на высокогорной станции (высота 2800 м) Казахской обсерватории.)

Комета Галлея относится к числу *периодических комет*. Теперь известно много короткопериодических комет с периодами обращения от трех (*комета Энке*) до десяти лет. Их афелии лежат около орбиты Юпитера. Приближение комет к Земле и их будущий видимый путь по небу вычисляют заранее с большой точностью. Наряду с этим есть кометы,двигающиеся по очень вытянутым орбитам с большими периодами обращения. Мы принимаем их орбиты за параболы, хотя в действительности они, по-видимому, являются очень вытянутыми эллипсами, но различить, эти кривые, зная лишь малый отрезок пути комет вблизи Земли и Солнца, нелегко. Большинство комет не имеют хвоста и видны лишь в телескоп.

Каждый год появляются сведения об открытии нескольких неизвестных ранее комет, которые получают название по фамилии обнаружившего их ученого. В каталоги занесено около тысячи наблюдавшихся комет.

#### 4. Физическая природа комет

Маленькое ядро диаметром в доли километра является единственной твердой частью кометы, и в нем практически сосредоточена вся ее масса. Масса комет крайне мала и нисколько не влияет на движение планет. Планеты же производят большие возмущения в движении комет.

Ядро кометы, по-видимому, состоит из смеси пылинок, твердых кусочков вещества и замерзших газов, таких, как углекислый газ, аммиак, метан. При приближении кометы к Солнцу ядро прогревается и из него выделяются газы и пыль. Они создают газовую оболочку - голову кометы. Газ и пыль, входящие в состав головы, под действием давления солнечного излучения и корпускулярных потоков образуют хвост кометы, всегда направленный в сторону, противоположную Солнцу (рис. 12).



Рисунок 12- Хвост кометы растет с приближением ее к Солнцу и всегда направлен от Солнца

Чем ближе к Солнцу подходит комета, тем она ярче и тем длиннее ее хвост вследствие большего ее облучения и интенсивного выделения газов. Чаще всего он прямой, тонкий, струйчатый. У больших и ярких комет иногда наблюдается широкий, изогнутый веером хвост (рис. 13). Некоторые хвосты достигают в длину расстояния от Земли до Солнца, а голова кометы - размеров Солнца. С о удалением от Солнца вид и яркость кометы меняются в обратном порядке и комета исчезает из вида, достигнув орбиты Юпитера.



Рисунок 13- Фотография кометы Мркоса 1957 г.

Спектр головы и хвоста кометы имеет обычно яркие полосы. Анализ спектра показывает, что голова кометы состоит в основном из паров углерода и циана, а в составе ее хвоста имеются ионизованные молекулы оксида углерода (II) (угарного газа). Спектр ядра кометы является копией солнечного спектра, т. е. ядро светится отраженным солнечным светом. Голова и хвост светятся холодным светом, поглощая и затем переизлучая солнечную энергию (это разновидность флуоресценции). На расстоянии Земли от Солнца комета не горячее, чем Земля.

Выдающийся русский ученый Ф. А. Бредихин (1831-1904) разработал способ определения по кривизне хвоста силы, действующей на его частицы. Он установил классификацию кометных хвостов и объяснил ряд наблюдаемых в них явлений на основе законов механики и физики. В последние годы стало ясно, что движение газов в прямых хвостах и изломы вызваны взаимодействием ионизованных молекул газов хвоста с налетающим на них потоком частиц (корпускул), летящих от Солнца, который называют солнечным ветром. Воздействие солнечного ветра на ионы кометного хвоста превосходит их притяжение Солнцем в тысячи раз. Усиление коротковолновой радиации Солнца и корпускулярных потоков вызывает внезапные вспышки яркости комет.

И в наше время иногда среди населения высказываются опасения, что Земля столкнется с кометой. В 1910 г. Земля прошла сквозь хвост кометы Галлея, где есть угарный газ. Однако его примесь в приземном воздухе не удалось обнаружить, так как даже в голове кометы газы чрезвычайно разрежены. Столкновение Земли с ядром кометы крайне маловероятное событие. Возможно, такое столкновение наблюдалось в 1908 г. как падение Тунгусского метеорита. При этом на высоте нескольких километров произошел мощный взрыв, воздушная волна которого повалила лес на огромной площади.

## **5. Метеоры и метеорные потоки**

Давно замечено, что ядра периодических комет истощаются, с каждым оборотом они светятся все слабее. Не раз наблюдалось деление кометных ядер на части. Это разрушение производили либо солнечные приливы, либо столкновения с метеоритными телами. Комета, открытая чешским ученым Биэлой еще в 1772 г., наблюдалась при повторных возвращениях с семилетним периодом. В 1846 г. ее ядро распалось, и она превратилась в две слабые кометы, которые после 1852 г. не наблюдались. Когда в 1872 г., по расчетам, исчезнувшие кометы должны были пройти вблизи Земли, наблюдался дождь "падающих звезд". С тех пор 27 ноября это явление повторяется ежегодно, хотя и менее эффектно. Мелкие твердые частички распавшегося ядра бывшей кометы Биэлы растянулись вдоль ее орбиты (рис. 14), и, когда Земля пересекает их поток, они влетают в ее атмосферу. Эти частички вызывают в атмосфере явление метеоров и полностью разрушаются, не долетая до Земли.

Известен ряд других метеорных потоков, ширина которых, как правило, неизмеримо больше, чем размер породивших их ядер комет.

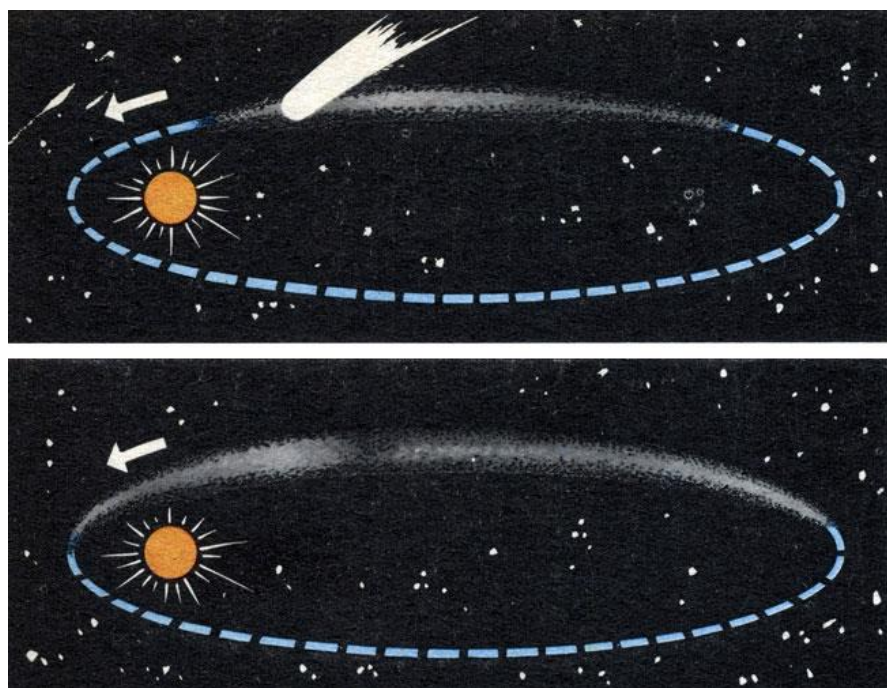


Рисунок 14-Схема превращения распадающегося ядра кометы в поток метеорных частиц

С кометой Галлея связаны два метеорных потока, один из которых наблюдается в мае, другой - в ноябре.

Фотографируя путь одного и того же метеора на звездном небе, как он проецируется для наблюдателей, отстоящих друг от друга на 20-30 км, определяют высоту, на которой появился метеор. Чаще всего метеорные тела начинают светиться на высоте 100-120 км и полностью испаряются уже на высоте 80 км. В их спектрах видны яркие линии железа, кальция, кремния и др. Изучение спектров метеоров позволяет установить химический состав твердых частиц, покинувших ядро кометы. Фотографируя полет метеора камерой, объектив которой перекрывается вращающимся затвором, получают прерывистый след, по которому можно оценить торможение метеора воздухом.

Масса метеорных тел - порядка миллиграммов, а размер - доли миллиметра. Вероятно, метеорные тела - это пористые частицы, заполненные кометным льдом, который испаряется первым.

Удастся определить и скорость метеоров. Метеорные тела, догоняющие Землю, имеют скорости, с которыми они влетают в атмосферу, не менее 10 км/с, а летящие навстречу Земле - до 60-70 км/с.

*Подумайте, почему минимальная и максимальная скорости встречи метеорных тел с Землей имеют именно такие значения.*

Раскаленные газы, оставляемые метеорным телом, образуют светящийся след. Метеорная частица на своем пути ионизует воздух. След из ионизованного воздуха отражает радиоволны. Это позволило применить для изучения метеоров радиолокатор.

Метеоры иногда кажутся вылетающими из некоторой области на небе, называемой радиантом метеорного потока (рис. 15). Это эффект перспективы. Пути метеоров, летящих по параллельным направлениям, будучи продолжены, кажутся сходящимися вдали, как рельсы железной дороги. Радиант находится на небе в том направлении, откуда летят данные метеорные тела. Всякий радиант занимает определенное положение среди созвездий и участвует в суточном вращении неба. Положение радианта определяет название метеорного потока. Например, метеоры, наблюдающиеся 10-12 августа, радиант которых находится в созвездии Персея, называются персеидами.



Рисунок 15- Дождь метеоров из радианта. Эффект перспективы

**Задания:**

1. После захода Солнца на западе находится комета. Как относительно горизонта направлен ее хвост?
2. Какова большая ось орбиты кометы Галлея, если период ее обращения 76 лет?
3. Как можно доказать, что действительно звезды с неба не падают?
4. Болид, замеченный на расстоянии 0,5 км от наблюдателя, имел видимый диск вдвое меньше лунного. Каков был его действительный диаметр?
5. Может ли комета, периодически возвращаясь к Солнцу, вечно сохранять свой вид неизменным?

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4**  
**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА**

*Закон Стефана-Больцмана.*

Подстановка (1.10) в (1.3) и выполнение интегрирования (см. задачу 1.1) приводит к закону Стефана-Больцмана, определяющему энергетическую светимость абсолютно черного тела:

$$M_e^0 = \sigma \cdot T^4 \quad (1.12)$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – постоянная Стефана-Больцмана.

В соответствии с законом Стефана-Больцмана энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры.

Для серых тел зависимость энергетической светимости от температуры более сложная:

$$M_e = a_T \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (1.13)$$

поскольку коэффициент теплового излучения  $a_T$  является в общем случае функцией температуры.

*Закон смещения Вина*

Исследование формулы (1.11) на экстремум позволяет заключить, что в спектре излучения абсолютно черного тела имеется максимум, приходящийся на длину волны  $\lambda_m$ , определяемую температурой

тела:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad (1.14)$$

где  $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ .

Соотношение (1.14) описывает закон смещения Вина, в соответствии с которым с повышением температуры тела длина волны, на которую приходится максимум излучения, смещается в ультрафиолетовую область спектра.

Максимальная спектральная плотность энергетической светимости определяется из соотношений (1.14) и (1.11) и равна

$$M_{\lambda T}^0 = C \cdot T^5, \quad (1.15)$$

где  $C = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$ .

### Примеры решения задач:

**Задача 1.** Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка плавильной печи,  $\Phi = 34$  Вт. Определить температуру печи, если площадь отверстия  $S = 6 \text{ см}^2$ .

Дано:

$$\Phi = 34 \text{ Вт}$$

$$S = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$T - ?$

### Решение

от

### По закону Стефана - Больцмана

$$R_s = \sigma T^4,$$

куда

$$T = \sqrt[4]{\frac{R_s}{\sigma}}.$$

По определению

$$R_s = \frac{\Phi}{S}, \text{ тогда } T = \sqrt[4]{\frac{\Phi}{S \sigma}}; \quad T = \sqrt[4]{\frac{34}{6 \cdot 10^{-4} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} = 1000 \text{ К.}$$

Ответ:  $T = 1000 \text{ К.}$

**Задача 2.** Какова должна быть температура абсолютно черного тела, чтобы максимум спектральной плотности энергетической светимости приходился на красную границу видимого спектра ( $7,6 \cdot 10^{-7}$ )? На фиолетовую ( $3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ )?

Дано:

$$\lambda_m = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\lambda_m = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$T_1 - ?$   $T_2 - ?$

### Решение

Температуру определим из закона Вина:

$$\lambda_m = \frac{c_1}{T}, \text{ откуда } T = \frac{c_1}{\lambda_m}, \quad c_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м К.}$$

Вычислим

$$T_1 = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{7,6 \cdot 10^{-7}} = 3810 \text{ К}; \quad T_2 = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{3,8 \cdot 10^{-7}} = 7620 \text{ К.}$$

Ответ:  $T_1 = 3810 \text{ К}; \quad T_2 = 7620 \text{ К.}$

**Задача 3.** Какое количество энергии излучает  $1 \text{ см}^2$  затвердевающего свинца в 1 сек. отношение энергетических светимостей поверхностей свинца и абсолютно черного тела для этой температуры считать равным 0,6. Температура поверхности  $t = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Дано:

$$S = 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$a = 0,6$$

$$T = 600 \text{ К}$$

$W - ?$

Решение

**По закону Стефана - Больцмана для абсолютно черного тела**

$$R_s = \sigma T^4,$$

**для любого тела**

$$R'_s = \alpha R_s = \alpha \sigma T^4,$$

где  $R'_s$  - энергетическая светимость тела.

По определению  $R'_s = \frac{W}{S t}$  откуда  $W = R'_s S t$ , тогда  $W = \alpha \sigma T^4 S t$ .

Вычислим энергию  $W$ :

$$W = 0,6 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 600^4 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 0,46 \text{ Дж.} \quad \text{Ответ: } W = 0,46 \text{ Дж.}$$

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

#### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВИТИМОСТИ ЗВЕЗД»



**Цель работы:** изучение классификации звездных спектров, диаграммы Герцшпрунга-Рессела, определение светимостей звезд.

**Оборудование и пособия:** IBM - совместимый компьютер типа XT/AT 286 и выше, с монитором не хуже EGA 256 К, DOS версии не ниже 3.0, пакет программ ASTRONOM, астрономический календарь (постоянная часть), целевые спектрограммы звезд.

**Вопросы к допуску:**

1. Гарвардская классификация звездных спектров.
2. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела.

### *Основные теоретические сведения*

**Спектральная классификация.** Звездные спектры позволяют изучать физические характеристики звезд и судить о процессах, происходящих в их недрах.

Звезды имеют непрерывные спектры, на которые накладываются темные и яркие спектральные линии. Различия спектров звезд заключаются в количестве и интенсивности наблюдаемых спектральных линий, а также в распределении энергии в непрерывном спектре.

Часть лучей, проходящих через атмосферу звезды, поглощается, причем это поглощение может быть непрерывным, когда ослабляется некоторый более или менее протяженный участок спектра, и избирательным, когда поглощаются узкие участки спектра.

Спектры большинства звезд удалось расположить в виде последовательности, вдоль которой линии одних химических элементов постепенно ослабевают, а других — усиливаются. Сходные между собой спектры объединяются в спектральные классы. Тонкие различия между ними позволяют выделить подклассы.

Звезды, принадлежащие различным спектральным классам, отличаются своими температурами.

Эта классификация была впервые применена на Гарвардской обсерватории в начале XX века. Позднее Гарвардская классификация дополнялась, видоизменялась и сегодня — это сложная схема с множеством индексов и подразделов. В результате работы гарвардских астрономов появился “Каталог Генри Дрэпера”, содержащий спектральные характеристики 225 320 звезд северного и

южного полушария неба и включающий практически все звезды до 9 зв. величины.

В Гарвардской классификации спектральные типы обозначены буквами латинского алфавита

Q - P -
WN
C
R - N  
W - O - B - A - F - G -
K -
M.  
WC
S

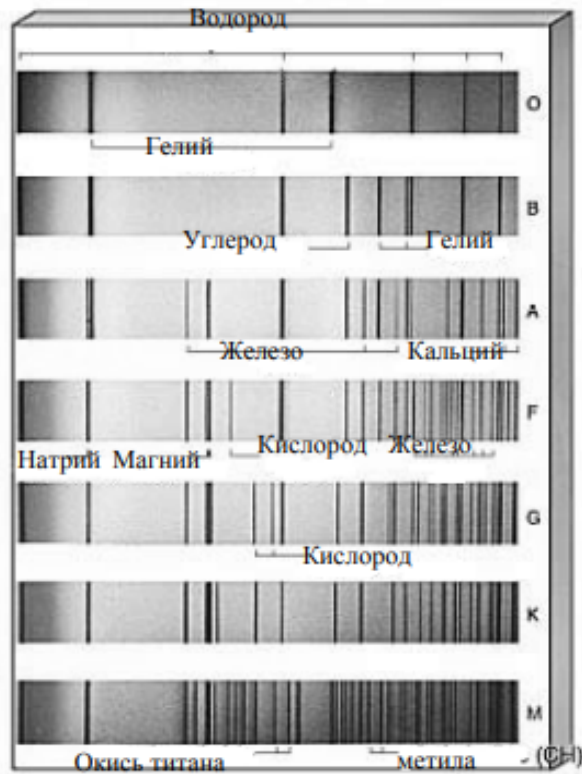


Рис. 13  
Спектры

**Класс О.** Большая интенсивность ультрафиолетовой области свидетельствует о высокой температуре. Свет этих звезд кажется голубоватым. Наиболее интенсивны линии ионизованного гелия и, многократно ионизованных, углерода, кремния, азота, кислорода. Есть слабые линии нейтрального гелия и водорода. Температура фотосферы - 30 000 К.

**Класс В.** Наибольшую интенсивность имеют линии нейтрального гелия. Хорошо видны линии водорода. Цвет голубовато-белый. Температура - 20 000 К. Типичная звезда — Спика.

**Класс А.** Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Хорошо видны линии ионизованного кальция. Цвет белый. Температура — 10 000 К. Типичные звезды — Вега, Сириус.

**Класс F.** Линии водорода ослабевают. Усиливаются линии ионизованных металлов (кальция, железа, титана). Цвет желтоватый. Температура — 7 000 К. Типичная звезда — Процион.

**Класс G.** Очень интенсивны линии ионизованного кальция. Цвет желтый. Температура — 6 000 К. Типичная звезда — Солнце.

**Класс К.** Фиолетовый конец ослаблен, что свидетельствует о сильном уменьшении температуры. Цвет красноватый. Температура — 4 000 К. Типичные звезды — Арктур, Альдебаран.

**Класс М.** Линии металлов ослабевают. Спектр пересечен полосами поглощения молекул окиси титана и других молекулярных соединений. Цвет красный. Температура — 3 000 К. Типичная звезда — Бетельгейзе (альфа Ориона).

Кроме основных классов есть ответвления от классов G и K, представляющие собой звезды с аномальным химическим составом, отличающимся от химического состава большинства других звезд.

**Класс C.** Содержит углеродные звезды. В спектрах выделены линии поглощения атомов и полос поглощения молекул углерода.

**Класс S.** Циркониевые звезды. Вместо полос окиси титана присутствуют полосы окиси циркония.

В классах R и N заметны различные молекулярные соединения.

Буквой Q обозначаются спектральные классы новых звезд.

Буквой P обозначаются спектральные классы спектров планетарных туманностей.

Буквой W обозначаются спектры звезд типа Вольфа-Райе — очень горячие звезды, в спектрах которых много эмиссионных линий.

В спектрах звезд WN видны спектральные линии азота.

В спектрах звезд WC видны спектральные линии углерода. Температуры фотосфер этих звезд очень высоки: от 60 000 до 100 000 К.

Внутри каждого спектрального класса можно установить плавную последовательность подклассов, переходящих из одного в другой. Каждый класс (кроме O) делится на 10 подклассов, обозначаемых цифрами от 0 до 9, которые ставятся после буквы.

Спектральный класс O делится на подклассы от O4 до O9,5.

После таких обозначений ставятся разные значки, если спектр обладает особенностями. Если присутствуют эмиссионные линии, ставится буква e. Звезды-сверхгиганты часто отличаются глубокими узкими линиями. Это отмечается буквой s (сF0). Давление газа в той области звездной оболочки, где образуются спектральные линии, влияет на их ширину. При малой плотности и малом давлении спектральные линии тонкие и резко очерченные. Эта особенность указывает на высокую светимость.

Интенсивность избранных линий поглощения позволяет судить о светимости звезды, является она гигантом или карликом. В первом случае перед спектральным классом ставится индекс g (гигант), во втором — d (карлик).

Другие особенности, нетипичные для данного класса обозначаются буквой p (pecular) — пекулярные спектры (A5p).

Осевое вращение звезд приводит к расширению и размыванию спектральных линий. Поэтому введены индексы n — диффузные линии, и s — резкие линии, они пишутся рядом с обычным символом спектрального класса.

Сравнивая спектрограмму звезды со стандартными звездными спектрами, можно установить подкласс звезды и приближенно оценить ее температуру.

Различия в деталях спектров одного и того же подкласса позволяют оценить светимость звезд. *Светимостью* называется поток энергии, излучаемый звездой по всем направлениям.

$$\lg(L_*/L_\odot) = 0,4 (M_* - M_\odot),$$

где  $M_c$  и  $M_z$  — абсолютные звездные величины Солнца и любой звезды соответственно, а  $L_c$  и  $L_z$  — их светимости. Обычно светимость Солнца принимается равной единице и светимости звезд выражаются в единицах светимости Солнца. Тогда:

$$\lg L_z = 0,4 (M_c - M_z).$$

Абсолютную звездную величину звезды можно найти по формуле.

$$M = m + 5 - \lg r.$$

А если она известна, можно найти расстояние до звезды.

$$\lg r = \frac{m - M}{5} + 1$$

Разность между фотографической и визуальной звездными величинами называется *показателем цвета*  $C$ .

$$C = m_{\text{фот}} - m_{\text{виз}} = M_{\text{фот}} - M_{\text{виз}}.$$

Температура может быть найдена по формуле:

$$T = \frac{7200^0}{C + 0^m,64}.$$

Помимо Гарвардской классификации была разработана еще спектральная классификация звезд по светимостям. Она называется Йеркская классификация или “классификация МКК” по имени разработчиков — Моргана, Кинана и Колльмана.

В этой классификации оставлены спектральные классы Гарвардской классификации, но введено понятие о классе светимости, который определяется по виду и относительной интенсивности некоторых избранных для этой цели спектральных линий. Класс светимости — это характеристика абсолютной звездной величины.

Ia — яркие сверхгиганты (светимость около 10 000).

Iab — промежуточные сверхгиганты.

Ib — слабые сверхгиганты (светимость 5 000).

II — яркие гиганты.

III — слабые (нормальные) гиганты.

IV — субгиганты.

V — главная последовательность (до спектрального класса F — гиганты, после — карлики)

VI — субкарлики.

VIIa и VIIb — белые карлики.

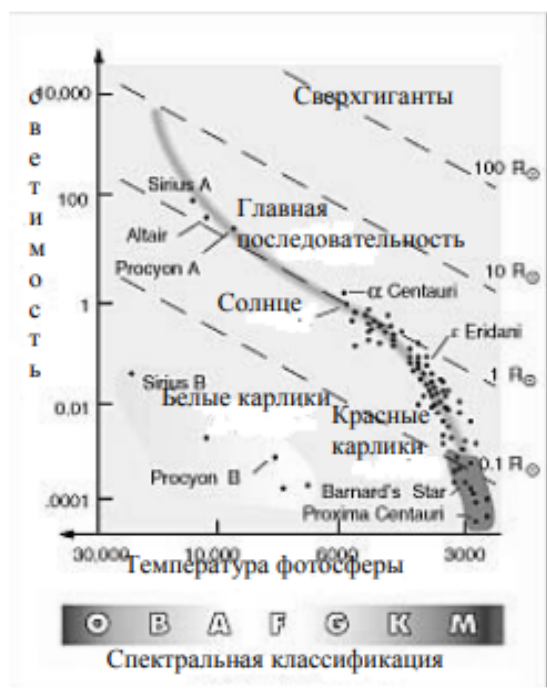


Рис.14  
 Диаграмма  
 Герцшпрунга-Рассела

**Диаграмма Герцшпрунга-Рассела.** В 1905 году Эйнар Герцшпрунг и в 1910 году Генри Рассел установили существование зависимости между видом спектра и светимостью звезд.

Эта зависимость иллюстрируется графиком, по одной оси которого откладывается спектральный класс, по другой — абсолютная звездная величина. Эта диаграмма называется *диаграммой спектр-светимость* или *диаграммой Герцшпрунга-Рассела*.

Положение каждой звезды на диаграмме определяется ее физической природой и стадией эволюции. Поэтому на диаграмме запечатлена вся история рассматриваемой системы звезд.

Диаграмма позволяет выделить различные группы звезд, объединенные общими физическими свойствами, и установить зависимость между некоторыми их физическими характеристиками. С помощью диаграммы можно исследовать химический состав и эволюцию звезд.

Верхняя часть диаграммы соответствует звездам большой светимости, которые при данном значении температуры отличаются большими размерами. Здесь располагаются гиганты и сверхгиганты.

Нижняя часть диаграммы занята звездами малой светимости. Здесь находятся карлики.

В левой части располагаются горячие звезды более ранних спектральных классов, а в правой — более холодные звезды, соответствующие более поздним спектральным классам.

Диагональ идущая слева вниз направо, называется главной последовательностью. Вдоль нее расположены звезды, начиная от самых горячих до наиболее холодных.

### ***Образец заданий***

1. Классифицировать сфотографированные щелевым спектрографом предложенные спектры звезд.

2. Вычислить расстояние, абсолютную визуальную и фотографическую величину предложенных звезд по формулам, приведенным в описании.
3. Найти значения абсолютной звездной величины и светимости предложенных звезд с помощью программного пакета ASTRONOM.
4. Изучить положение этих звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, определить, к каким классам светимости они относятся.
5. Перейти к диаграмме “спектр-масса”, найти значение массы, радиуса и плотности.
6. Пользуясь нижеприведенной таблицей, построить график зависимости между показателем цвета и температурой звезд, указав на том же графике основные спектральные классы.

### Шкала эффективных температур звезд

Спектр	Показатель цвета	Эффективная температура
O 5	- 0,45	35 000°
B 0	- 0,31	21 000°
B 5	- 0,117	13 500°
A 0	0,00	10 000°
A 5	+ 0,16	8 100°
F 0	+ 0,30	7 200°
F 5	+ 0,45	6 500°
G 0	+ 0,57	6 000°
G 5	+ 0,70	5 400°
K 0	+ 0,84	4 700°
K 5	+ 1,11	4 000°
M 0	+ 1,39	3 300°
M 5	+1, 61	600°

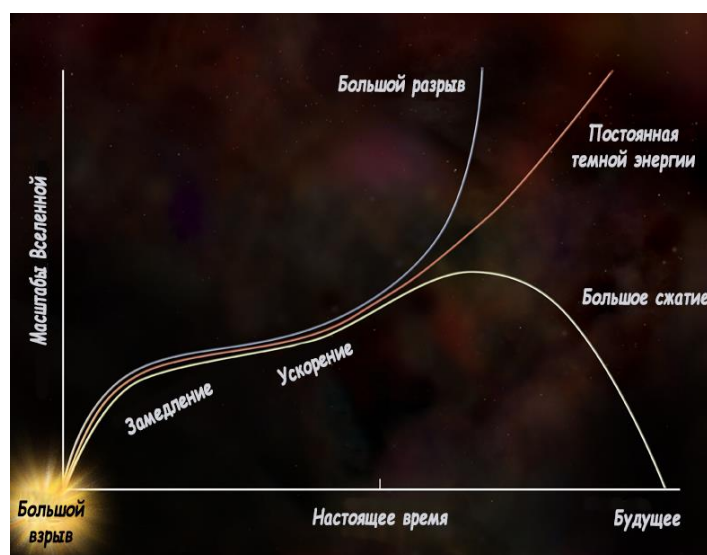
7. По полученной в предыдущем задании зависимости определить показатель цвета и вычислить абсолютную видимую и фотографическую звездную величину предложенной звезды.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6 ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. ЗАКОН ХАББЛА

Закон Хаббла – физико-математическая формула, доказывающая, что наша Вселенная постоянно расширяется. Причем расширение космического пространства, в котором находится и наша галактика Млечный путь, характеризуется однородностью и изотропией. То есть, наша Вселенная расширяется одинаково во всех направлениях. Формулировка закона Хаббла доказывает и описывает не только теорию расширения Вселенной, но и главную идею ее происхождения – теорию Большого взрыва.

Наиболее часто в научной литературе закон Хаббла встречается под следующей формулировкой:  $v=H_0 \cdot r$ . В этой формуле  $v$  означает скорость галактики,  $H_0$  – коэффициент пропорциональности, который связывает расстояние от Земли до космического объекта со скоростью его удаления (этот коэффициент еще называют «Постоянной Хаббла»),  $r$  – расстояние до галактики.

В некоторых источниках встречается другая формулировка закона Хаббла:  $cz=H_0 \cdot r$ . Здесь  $c$  выступает, как скорость света, а  $z$  символизирует собой красное смещение – сдвиг спектральных линий химических элементов в длинноволновую красную сторону спектра по мере их удаления. В физико-теоретической литературе можно обнаружить и другие формулировки данного закона. Однако от разности формулировок суть закона Хаббла не меняется, а его суть заключается в описании того факта, что наша Вселенная непрерывно расширяется во всех направлениях.



Предпосылкой к открытию закона Хаббла был целый ряд астрономических наблюдений. Так, в 1913 году американский астрофизик Вейл Слайдер обнаружил, что Туманность Андромеды и несколько других огромных космических объектов движутся с большой скоростью, относительно Солнечной системы. Это дало ученому основание

предположить, что туманность – это не формирующиеся в нашей галактике планетарные системы, а зарождающиеся звезды, которые находятся за пределами нашей галактики. Дальнейшее наблюдение за туманностями показало, что они не только являются другими галактическими мирами, но и постоянно удаляются от нас. Этот факт дал возможность астрономическому сообществу предположить, что Вселенная постоянно расширяется.

В 1927 году бельгийский ученый-астроном Жорж Леметр экспериментально установил, что галактики во Вселенной удаляются друг от друга в космическом пространстве. В 1929 году американский ученый Эдвин Хаббл при помощи 254-сантиметрового телескопа установил, что Вселенная расширяется и галактики в космическом пространстве удаляются друг от друга. Используя свои наблюдения, Эдвин Хаббл сформулировал математическую формулу, которая по сегодняшний день точно описывает принцип расширения Вселенной, и имеет огромное значение, как для теоретической, так и практической астрономии.

Закон Хаббла: применение и значение для астрономии



## Эволюция Вселенной

Закон Хаббла имеет огромное значение для астрономии. Его широко применяют современные ученые в рамках создания различных научных теорий, а также при наблюдении космических объектов.

Главное значение закона Хаббла для астрономии заключается в том, что он подтверждает постулат: Вселенная постоянно расширяется. Вместе с этим закон Хаббла служит дополнительным подтверждением теории Большого взрыва, ведь, как считают современные ученые, именно Большой взрыв послужил толчком для расширения «материи» Вселенной.

Закон Хаббла позволил выяснить также, что Вселенная расширяется во всех направлениях одинаково. В какой точке космического пространства не оказался бы наблюдатель, если он посмотрит вокруг себя, он заметит, что все объекты вокруг него одинаково от него удаляются. Наиболее удачно этот факт можно выразить цитатой философа Николая Кузанского, который еще в XV веке сказал: «Любая точка есть центр Безграничной Вселенной».



При помощи закона Хаббла современные астрономы могут с высокой долей вероятности просчитывать положение галактик и скоплений галактик в будущем. Точно так же с его помощью можно вычислить предположительное месторасположение любого объекта в космическом пространстве, спустя определенное количество времени.

### **Интересные факты**

1. Величина, обратная постоянной Хаббла, равна примерно 13,78 миллиардам лет. Эта величина указывает на то, сколько времени прошло с момента начала расширения Вселенной, а значит, вполне вероятно указывает и на ее возраст.
2. Наиболее часто закон Хаббла используют для определения точных расстояний до объектов в космическом пространстве.
3. Закон Хаббла определяет удаление от нас далеких галактик. Что касается ближайших к нам галактик, то здесь его действие не так ярко выражено. Связано это с тем, что эти галактики помимо скорости, связанной с расширением Вселенной, обладают еще и своей собственной скоростью. В связи с этим они могут, как удаляться от нас, так и приближаться к нам. Но, в общем и целом закон Хаббла актуален для всех космических объектов во Вселенной.

### **Задания**

#### **Часть А. Ответить на вопросы:**

1. Астероиды – это
2. Упавшие на Землю космические тела называют
3. Хвост кометы состоит из:
4. По мнению учёных, пояс астероидов – это куски несформировавшейся планеты:
5. Плазменный хвост кометы направлен:
6. Куда мелкие камешки и песчинки влетают в атмосферу Земли с огромными скоростями, возникают:
7. Самый большой известный метеорит:  
А. Тунгусский; Б. Гоба; В. Челябинский; Г. Галлея.

#### **Часть Б. Выберите номера верных утверждений.**

1. Астероиды – это крупные звезды.
2. Большинство астероидов движутся между орбитами планет Марса и Юпитера.
3. Кометы состоят из ядра, головы и хвоста.
4. Самая известная комета – Церера.
5. Метеориты – упавшие на Землю космические тела.
6. В переводе с греческого языка метеориты - это «парящие в воде».
7. У одной и той же кометы не может быть несколько хвостов.
8. По своему составу метеориты могут быть как каменными, так и железными.

## ПРАТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7 ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, ИХ ПРИРОДА И ОПАСНОСТЬ

Черные дыры (рис. 1) - один из самых необыкновенных объектов, предсказываемых общей теорией относительности Эйнштейна.



Рисунок 16- Черная дыра

У черных дыр интересная история, поскольку они преподнесли теоретикам немало сюрпризов, приведших к лучшему пониманию природы пространства-времени. Самой большой черной дырой во Вселенной является черная дыра, расположенная в центре галактики NGC 1277 в созвездии Персея, находящаяся на расстоянии 228 миллионов световых лет от Земли. Черные дыры настолько массивны, что их вторая космическая скорость быстрее, чем скорость света.

Что такое черная дыра и как она образуется

Чёрная дыра – это область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий, а её характерный размер - гравитационным радиусом (рис. 2).

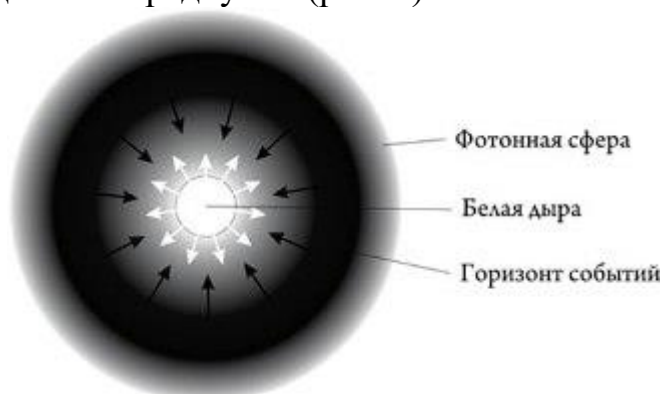


Рисунок 17- Строение черной дыры

В конце жизни звезда может начать сжиматься к центру за счет потери внутреннего давления. При этом перейдя определенную границу - радиус

Шварцшильда, ее плотность станет настолько велика, что она продолжит сжатие и его уже ничего не сможет остановить. В результате получается объект с огромной массой и плотностью т. е. черная дыра. Называется "черной", т. к. вторая космическая скорость у поверхности превышает скорость света.

Черные дыры могут образовываться в результате астрофизических процессов, когда у звезд с массой, на порядок превышающей массу Солнца, кончается термоядерное топливо, и они обрушиваются внутрь себя под действием гравитационных сил. Имеется достаточно данных наблюдений, свидетельствующих о реальности существования таких черных дыр во Вселенной.



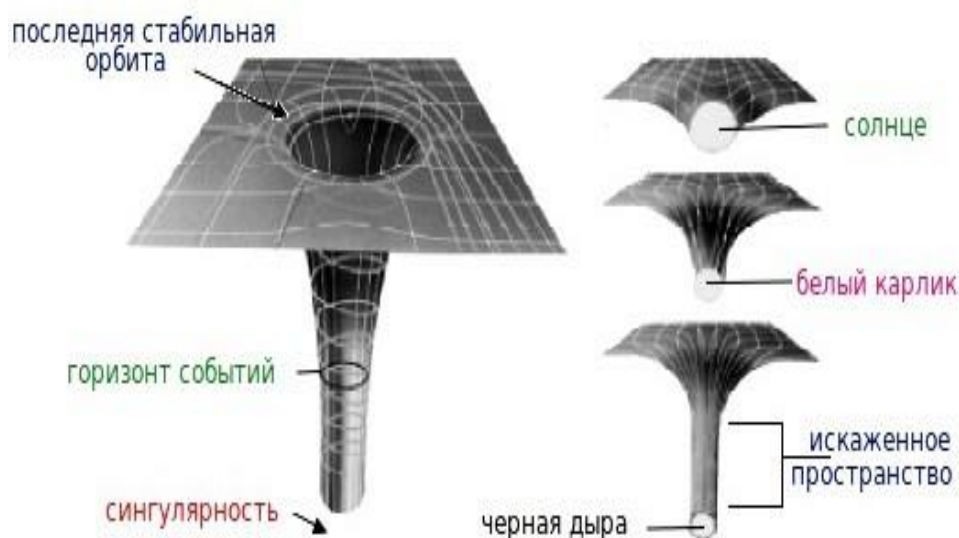
Рисунок 18- Массивная черная дыра поглощает звезду

С астрофизической точки зрения, обнаруженные черные дыры подразделяются на две категории:

первый тип - это черные дыры, образовавшиеся в результате коллапса массивных звезд и обладающие соответствующей массой. Поскольку черные дыры кажутся нам реально черными, наблюдать их крайне сложно. Если повезет, мы можем увидеть лишь шлейф газа, затягиваемого в черную дыру. Разгоняясь при падении, газ разогревается и испускает характерное излучение, которое мы только и можем обнаружить. Источником газа при этом является другая звезда, образующая парную систему с черной дырой и обращающаяся вместе с ней вокруг центра масс двойной звездной системы. Иными словами, сначала мы имели обычную двойную звезду, затем одна из звезд в результате гравитационного коллапса превратилась в черную дыру. После этого черная дыра начинает засасывать газ с поверхности горячей звезды.

второй тип - это гораздо более массивные черные дыры в центрах галактик. Их масса превышает массу Солнца в миллиарды раз. Опять же, падая на такие черные дыры, вещество разогревается и испускает характерное излучение, которое со временем доходит до Земли, его-то мы и можем обнаружить. Предполагается, что все крупные галактики, включая нашу, имеют в центре свою черную дыру.

Согласно теории Эйнштейна черная дыра представляет собой бездонный провал в пространстве-времени, падение в который необратимо. Что упало, то пропало в черной дыре навеки.



## Рисунок 19-Гравитационные воронки (искривление пространства-времени) Свойства черных дыр

У черных дыр очень интересные свойства. После коллапса звезды в черную дыру ее свойства будут зависеть только от двух параметров: массы и углового момента вращения. То есть, черные дыры представляют собой универсальные объекты, то есть, их свойства не зависят от свойств вещества, из которого они образованы. При любом химическом составе вещества исходной звезды свойства черной дыры будут одними и теми же. То есть, черные дыры подчиняются только законам теории гравитации - и никаким иным.

Другое любопытное свойство черных дыр заключается в следующем: предположим, вы наблюдаете процесс, в котором участвует черная дыра. Например, можно рассмотреть процесс столкновения двух черных дыр. В результате из двух черных дыр образуется одна более массивная. Этот процесс может сопровождаться излучением гравитационных волн, и уже построены детекторы с целью их обнаружения и измерения. Процесс этот теоретически просчитать весьма непросто, для этого нужно решить сложную систему дифференциальных уравнений. Однако имеются и простые теоретические результаты. Площадь сферы Шварцшильда получившейся черной дыры всегда больше суммы площадей поверхностей двух исходных черных дыр. То есть, при слиянии черных дыр площадь их поверхности растет быстрее массы. Это так называемая «теорема площадей», она была доказана Стивеном Хокингом (Steven Hawking) в 1970 году.

### Обнаружение черных дыр

Поскольку свет не может вырваться из массивных живых силков, он не может быть виден. Поэтому чтобы искать черные дыры, можно полагаться только на косвенные доказательства их существования. Одним из способов поиска черной дыры, являются нахождение областей в открытом космосе, которые обладают большой массой и находятся в темном пространстве. При поиске подобных типов объектов, астрономы

обнаружили их в двух основных областях: в центрах галактик и в двойных звездных системах нашей Галактики.



Рисунок 20- Искажение изображения галактики, проходящей перед черной дырой

На самом деле, большинство астрономов теперь считают, что супер массивная черная дыра может существовать в центре нашей галактики Млечный Путь (рис. 5). Означает ли это, что она в конечном итоге все поглотит? На самом деле, нет. Черная дыра имеет ту же массу, что и оригинальные звезды, потому как была сформирована из них. Пока ничего не предвещает слишком близкого приближения к горизонту событий, так что это безопасно. Вполне вероятно, что миллиарды звезд в нашей галактике будут продолжать орбиту вокруг этой гигантской черной дыры миллиарды лет вперед. Доказательства этой и других черных дыр может быть подтверждены с помощью функции поиска для рентгеновских лучей. Астрономы полагают, что черные дыры излучают их в большом количестве.

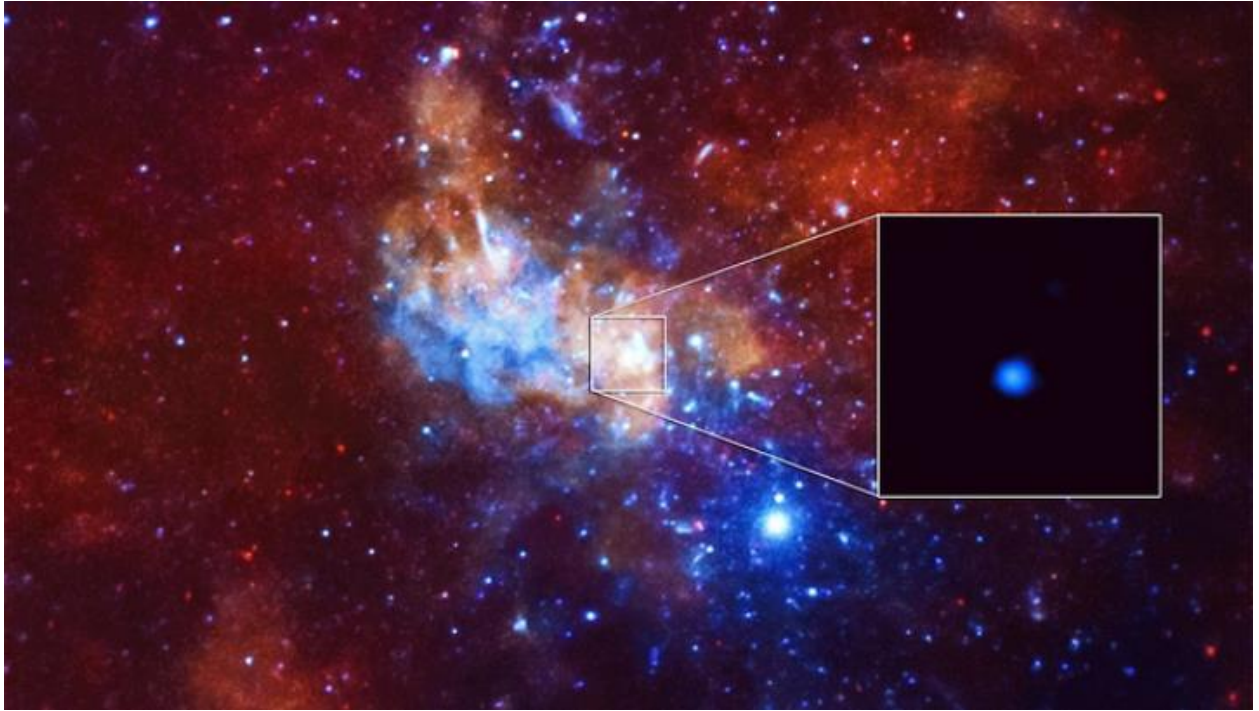


Рисунок 21- Черная дыра в центре Млечного пути выдала ярчайшую вспышку.

**Задания:**

**1. Составить конспект по теме «Черные дыры»**

**2. Ответить на вопросы:**

- Квазары, центральные регионы далеких галактик, содержат, как считается
- Когда звезда умирает, она становится черной дырой, если имеет массу по меньшей мере:
- Общая теория относительности говорит, что черные дыры имеют:
- Как называется точка в центре черной дыры?
- Горизонт событий черной дыры это:

## ЛИТЕРАТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

### Для студентов *Учебники*

1. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Астрономия. Базовый уровень. 11 класс : учебник для общеобразоват. организаций / Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут. — М. : Дрофа, 2017.
2. *Левитан Е.П.* Астрономия. Базовый уровень. 11 класс. : учебник для общеобразоват. организаций / Е. П. Левитан. — М. : Просвещение, 2018.
3. Астрономия : учебник для проф. образоват. организаций / [Е.В.Алексеева, П.М.Скворцов, Т.С.Фещенко, Л.А.Шестакова], под ред. Т.С. Фещенко. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.
4. *Чаругин В.М.* Астрономия. Учебник для 10—11 классов / В.М.Чаругин. — М. : Просвещение, 2018.

### Учебные и справочные пособия

1. *Куликовский П.Г.* Справочник любителя астрономии / П. Г.Куликовский. — М. : Либроком, 2013.
2. Школьный астрономический календарь. Пособие для любителей астрономии / Московский планетарий — М., (на текущий учебный год).

### Для внеаудиторной самостоятельной работы

1. «Астрономия — это здорово!» <http://menobr.ru>
2. «Знаешь ли ты астрономию?» <http://menobr.ru>

### Для преподавателей

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (в текущей редакции).
2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 17 мая 2012 г. № 413 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования» (с изм. и доп. от 29 декабря 2014 г., 31 декабря 2015 г., 29 июня 2017 г.).
3. Приказ Минобрнауки России «О внесении изменений в Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413» от 29 июня 2017 г. № 613.
4. Письмо Минобрнауки России «Об организации изучения учебного предмета «Астрономия» от 20 июня 2017 г. № ТС-194/08.
5. Информационно-методическое письмо об актуальных вопросах модернизации среднего профессионального образования на 2017/2018 г. — <http://www.firo.ru/>
6. *Горелик Г. Е.* Новые слова науки — от маятника Галилея до квантовой гравитации. — Библиотечка «Квант», вып.127. Приложение к журналу «Квант», № 3/2013. — М. : Изд-во МЦНМО, 2017.
7. *Кунаш М.А.* Астрономия 11 класс. Методическое пособие к учебнику Б. А.Воронцова-Вельяминова, Е. К. Страута /М. А. Кунаш — М. : Дрофа, 2018.
8. *Кунаш М. А.* Астрономия. 11 класс. Технологические карты уроков по учебнику Б. А. Воронцова-Вельяминова, Е. К. Страута / М. А. Кунаш — Ростов н/Д : Учитель, 2018.
9. *Левитан Е.П.* Методическое пособие по использованию таблиц — Астрономия/astronomiya\_tablicy\_metodika. pdf

10. Сурдин В.Г. Галактики / В.Г. Сурдин. — М. : Физматлит, 2013. Сурдин В.Г. Разведка далеких планет / В.Г.Сурдин. — М. : Физматлит, 2013. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями / В.Г.Сурдин. — Издательство ЛКИ, 2017.

## ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Астрономическое общество. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.saimsu.ru>
2. Б.А. Воронцов-Вельяминов, Е.К. Страут. Астрономия. Базовый уровень. 11 класс [Электронный ресурс]: учебник. – М.: Дрофа, 2017. – Режим доступа: <https://reader.lecta.ru/read/7934-65>
3. Гомулина Н.Н. Открытая астрономия / под ред. В.Г. Сурдина. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.college.ru/astronomy/course/content/index.htm>
4. Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.saimsu.ru>
5. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.izmiran.ru>
6. Компетентностный подход в обучении астрономии по УМК В. М.Чаругина. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.youtube.com>
7. Часть 1. Преподавание астрономии как отдельного предмета. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.youtube.com>
8. Часть 2. Роль астрономии в достижении учащимися планируемых результатов освоения основной образовательной программы СОО. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.youtube.com>
9. Часть 3. Методические особенности реализации курса астрономии в урочной и внеурочной деятельности в условиях введения ФГОС СОО. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.youtube.com>
10. Новости космоса, астрономии и космонавтики. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.astronews.ru>
11. Общероссийский астрономический портал. Астрономия РФ. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://xn--80aqldeblhj0l.xn--p1ai/>
12. Российская астрономическая сеть. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.astronet.ru>
13. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия «Энциклопедия Кругос-вет». [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.krugosvet.ru>
14. Энциклопедия «Космонавтика». [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.cosmoworld.ru>
15. <http://www.astro.websib.ru/>
16. <http://www.myastronomy.ru>
17. <http://class-fizika.narod.ru>
18. <https://sites.google.com/site/astronomlevitan/plakaty>
19. <http://earth-and-universe.narod.ru/index.html>
20. <http://catalog.prosv.ru/item/28633>
21. <http://www.planetarium-moscow.ru/>
22. <https://sites.google.com/site/auastro2/levitan>
23. <http://www.gomulina.orc.ru/>
24. <http://www.myastronomy.ru>
25. [www.pedsovet.org/publikatsii/astronomiya](http://www.pedsovet.org/publikatsii/astronomiya)
26. [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru)



27. [www.astrolab.ru](http://www.astrolab.ru)
28. [www.stellarium.org](http://www.stellarium.org)