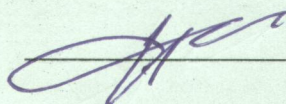


Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Геолого-географический факультет
Кафедра геологии и географии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой геологии и
географии



А.И. Павловский

СОГЛАСОВАНО

Декан геолого-географического
факультета



А.П. Гусев

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

АСТРОНОМИЯ

для специальности

1 – 31 02 01 – 02 География (научно-педагогическая деятельность)

Составители: старший преподаватель Галезник О.И., ассистент Митько Ю.В.

Рассмотрено и утверждено
на заседании кафедры геологии и географии
11.03.2020 г., протокол № 8

Рассмотрено и утверждено
на заседании научно-методического
совета университета

15.04. 2020 г., протокол № 5

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Геолого-географический факультет
Кафедра геологии и географии

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой геологии и
географии

_____ А.И. Павловский

СОГЛАСОВАНО
Декан геолого-географического
факультета

_____ А.П. Гусев

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

АСТРОНОМИЯ
для специальности

1 – 31 02 01 – 02 География (научно-педагогическая деятельность)

Составители: старший преподаватель Галезник О.И., ассистент Митько Ю.В.

Рассмотрено и утверждено
на заседании кафедры геологии и географии
11.03.2020 г., протокол № 8

Рассмотрено и утверждено
на заседании научно-методического
совета университета
_____ 20 ____ г., протокол № _____

02 Содержание учебно-методического комплекса по дисциплине «Астрономия»

- 01 Титульный лист.
- 02 Содержание.
- 03 Пояснительная записка.
- 1 Теоретический раздел.
 - 1.1 Перечень теоретического материала.
- 2 Практический раздел.
 - 2.1 Перечень практических работ.
 - 2.2 Задания для практических работ.
- 3 Контроль знаний
 - 3.1 Перечень вопросов к зачету.
- 4 Вспомогательный раздел
 - 4.1 Учебная программа дисциплины.
 - 4.2 Перечень рекомендуемой литературы.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Астрономия – наука, изучающая строение и развитие космических тел, их систем и всей Вселенной. Методы астрономических исследований очень разнообразны. Одни из них применяются при определении положения космических тел на небесной сфере, другие – при изучении их движения, третьи – при исследовании характеристик космических тел различными методами и, соответственно, с помощью различных инструментов ведутся наблюдения Солнца, туманностей, планет, метеоров, искусственных спутников Земли

В настоящее время важнейшие цели и задачи курса астрономии заключаются в формировании представлений о современной естественнонаучной картине мира, о единстве физических законов, действующих на Земле и в безграничной Вселенной, о непрерывно происходящей эволюции нашей планеты, всех космических тел и их систем, а также самой Вселенной.

В первом разделе «Введение» рассматривается общая информация о теме, цели, задачах курса астрономии. Кроме того характеризуются астрономические методы исследования и практическое применение астрономических исследований.

В разделе «Природа тел Солнечной системы» излагается информация об планетах Солнечной системе и звездах.

В разделе «Строение и эволюция Вселенной» изучаются вопросы о Галактике и строении Вселенной.

Содержание курса «Астрономия» направлено на формирование у студентов:

- понимания принципиальной роли астрономии в познании фундаментальных законов природы и современной естественно-научной картины мира;
- знаний о физической природе небесных тел и систем, строения и эволюции Вселенной, пространственных и временных масштабах Вселенной;
- наиболее важных астрономических открытиях, определивших развитие науки и техники;
- умений объяснять видимое положение и движение небесных тел принципами определения местоположения и времени по астрономическим объектам.

Общее количество часов – 96 (зачетных единиц – 2,5); аудиторное количество часов – 52, из них: лекции – 34, в том числе управляемая самостоятельная работа – 6, практические занятия – 18. Форма отчетности – зачет.

Лекция 1

Введение

Астрономия – наука о Вселенной, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

Объекты изучения: звезды, планеты, кометы, метеоры, туманности, галактики, материя, находящаяся в межзвездном пространстве.

Изучение происходит в разных диапазонах электромагнитных волн, оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском, и т.д.

Астрономия имеет три основные задачи:

- Изучение видимых и действительных положений и движения небесных тел в пространстве, определение их размеров и формы.
- Изучение физического строения небесных тел, т.е. химического состава и физических условий на поверхности и в недрах небесных тел.
- Исследование происхождения и развития, предсказание дальнейших судеб отдельных небесных тел и их систем.

По характеру используемой информации выделяются три основных раздела:

- астрометрия,
- небесная механика,
- астрофизика.

Астрометрия изучает положение небесных тел и вращение Земли, опираясь на теоретические и практические методы измерений углов на небе, для чего организуются позиционные наблюдения небесных светил. Важнейшие цели астрометрии:

- установление систем небесных координат,
- получение параметров, характеризующих наиболее полную закономерности вращения Земли.

Небесная механика изучает движение небесных тел под действием тяготения, разрабатывает методы определения их траекторий на основании наблюдаемых положений на небе, позволяет рассчитать таблицы их координат на дальнейшее время (эфемериды), изучает взаимное влияние тел на их движение, рассматривает движение и устойчивость систем небесных и искусственных тел.

Астрофизика изучает происхождение (космогония), строение, хим. состав, физические свойства и эволюцию отдельных небесных тел и систем вплоть до всей Вселенной в целом (космология).

Астрономия очень взаимосвязана с математикой, физикой, химией, философией, биологией. Нынешний вид астрономия приобрела лишь в 19 - 20 –х веках. До этого она неразрывно включала в себя ряд других отраслей знания и была теснее связана с философией и теологией.

Астрономия – одна из древнейших наук. Она возникла из практических потребностей человека раньше всех других наук. Примерно шесть тысяч лет назад египтяне уже согласовали свой календарь с астрономическим явлением. Они заметили, что начало разлива Нила совпадает с появлением

над горизонтом перед самым восходом Солнца звезды Сириус (по-египетски Сотис). Это наблюдение и было положено в основу египетского календаря.

В странах, где было развито мореплавание, в особенности до изобретения компаса, особое внимание уделялось способам ориентирования по звездам.

В самых ранних письменных документах древнейших цивилизаций Египта, Вавилона, Китая, Индии и Америки имеются следы астрономической деятельности. В различных местах Земли находят сооружения из каменных глыб и обработанных столбов, ориентированные на астрономически значимые направления. Эти направления совпадают, например, с точками восхода Солнца в дни равноденствий и солнцестояний, что позволяет считать их древними астрономическими наблюдательными площадками. Подобные каменные солнечно-лунные указатели найдены в Южной Англии – Стоунхендж, в России на Южном Урале – Аркаим, и других местах.

Наблюдения – основной источник информации о небесных телах, процессах и явлениях, происходящих во Вселенной. Для проведения наблюдений во многих странах созданы специальные научно-исследовательские учреждения – астрономические обсерватории.

Современные обсерватории оснащены крупными оптическими телескопами, представляющими собой очень большие, сложные и в значительной степени автоматизированные инструменты.

Телескоп увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и собирает во много раз больше света, приходящего от небесного светила, чем глаз наблюдателя. Благодаря этому в телескоп можно рассматривать невидимые невооруженным глазом детали поверхности ближайших к Земле небесных тел и увидеть множество слабых звезд.

В астрономии расстояние между объектами на небе измеряют углом, образованным лучами, идущими из точки наблюдения к объектам. Такое расстояние называется угловым, и выражается оно в градусах и долях градуса. Невооруженным глазом две звезды видны отдельно, если они отстоят на небе друг от друга на угловом расстоянии не менее 1–2'. В крупные телескопы удастся наблюдать отдельно звезды, угловое расстояние между которыми составляет сотые или даже тысячные доли секунды (под углом 1" «видна» спичечная коробка примерно с расстояния 10 км).

Существует несколько типов оптических телескопов.

В телескопах-рефракторах, где используется преломление света, лучи от небесных светил собирает линза (или система линз).

В телескопах-рефлекторах – вогнутое зеркало, способное фокусировать отраженные лучи.

В зеркально-линзовых телескопах (кадиоптриках) – комбинация зеркал и линз.

С помощью телескопов производятся не только визуальные и фотографические наблюдения, но преимущественно высокоточные фотоэлектрические и спектральные наблюдения. Телескопы, приспособленные для фотографирования небесных объектов, называются

астрографами. Фотографические наблюдения имеют ряд преимуществ перед визуальными. К основным преимуществам относятся:

- документальность – способность фиксировать происходящие явления и процессы и долгое время сохранять полученную информацию;

- моментальность – способность регистрировать кратковременные явления, происходящие в данный момент;

- панорамность – способность запечатлеть на фотопластинке одновременно несколько объектов и их взаимное расположение;

- интегральность – способность накапливать свет от слабых источников; детальность получаемого изображения.

Сведения о температуре, химическом составе, магнитных полях небесных тел, а также об их движении получают из спектральных наблюдений. Спектральный анализ имеет исключительно важное значение для астрономии.

Кроме света, небесные тела излучают электромагнитные волны большей длины волны, чем свет (инфракрасное излучение, радиоволны), или меньшей (ультрафиолетовое, рентгеновское излучения и гамма-лучи).

Многие открытия при изучении Солнечной системы, нашей и других галактик связаны с радиотелескопами, предназначенными для исследования небесных тел в радиодиапазоне.

Значительная часть невидимого излучения небесных тел поглощается земной атмосферой и не доходит до поверхности Земли. Поэтому наземные наблюдения приходится дополнять внеатмосферными, которые стали возможны благодаря успешным запускам искусственных спутников Земли, автоматических межпланетных станций и орбитальных научных станций. Бортовые астрономические приборы способны исследовать небесные тела во всех диапазонах длин волн.

Астрономические наблюдения используются для решения важных проблем народного хозяйства. К их числу относятся: измерение времени, составление точных географических карт, выполнение разнообразных геодезических работ, ориентировка по небесным светилам на море, в воздухе и в космическом пространстве.

Изучение Луны и планет Солнечной системы позволяет лучше узнать нашу Землю. В сферу деятельности людей уже включаются околоземное космическое пространство и ближайшие к Земле небесные тела. В будущем освоение космоса позволит расширить среду обитания людей, что, в частности, может облегчить решение экологических проблем.

Новые требования к астрономии предъявляет космонавтика. Нужно уметь с большой точностью определять расстояния до небесных тел Солнечной системы, выбирать подходящее для межпланетных перелетов время, знать расположение наиболее опасных участков орбит космических ракет, уметь выбирать оптимальные траектории искусственных небесных тел. Таким образом, астрономия является наукой, необходимой людям.

Лекция 2

Элементы сферической астрономии

1. Общие понятия о звездном небе. Созвездия, их число и история возникновения

Звезды были объединены в группы с целью ориентировки. Эти группы называются созвездия.

Созвездия носят различные названия, полученные в разное время, от глубокой древности до 18 века. Все зодиакальные созвездия были названы очень давно и затруднительно сказать какими народами. Большинство ярких созвездий Северного неба названы в честь древнегреческих героев или мифических персонажей еще древними народами. Созвездия менее яркие названы европейскими астрономами в 16 - 18 веках. Все невидимые в Европе созвездия Южного полушария названы в эпоху Великих географических открытий. Клавдий Птолемей приводит в своем списке 48 созвездий. Звездный каталог Птолемея содержит 1026 звезд.

Невооруженным глазом на небе в Северном полушарии видно около 5000 звезд. В телескоп от 1-й до 14 -й величин видно около 77 млн. звезд.

Созвездия, приведенные Птолемеем:

12 зодиакальных: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы.

36 остальных: Большая Медведица, Малая Медведица, Дракон, Цефей, Волопас, Северная Корона, Геркулес, Лира, Лебедь, Кассиопея, Персей, Возничий, Змееносец, Змея, Стрела, Орел, Дельфин, Малый Конь, Пегас, Андромеда, Треугольник, Кит, Орион, Эридан, Заяц, Большой Пес, Малый Пес, Корабль Арго (Корма, Киль, Паруса), Гидра, Чаша, Ворон, Жертвенник, Центавр, Волк, Южный Венец, Южная Рыба.

Позднее было создано еще около 50 созвездий.

Окончательное число и границы созвездий определены на астрономическом съезде, который проходил в 1922 году. Все небо было условно разделено на 88 частей.

С 17 столетия отдельные звезды в созвездиях стали обозначать буквами греческого алфавита.

С 8 века Беда Достопочтенный и другие теологи пытались заменить языческие названия созвездий и вставить христианские. Существуют календари, где Святой Петр вместо Овна, Святой Андрей вместо Тельца и др. Большая Медведица – лодка Св. Петра, Малая Медведица – Св. Михаил, Мария Магдалина вместо Кассиопеи, Андромеда – Гроб Господень, Солнце – Иисус Христос, Луна – Дева Мария.

Была попытка заменить 12 зодиакальных созвездий гербами двенадцати знатнейших королевских фамилий Европы.

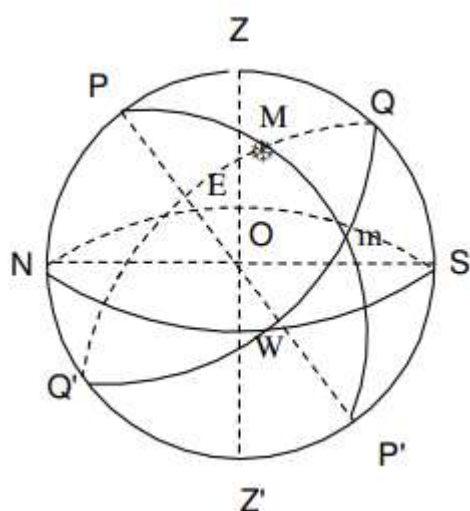
Суточное вращение, понятие о небесной сфере

Луна перемещается по небесной сфере со скоростью 13 градусов в сутки, Солнце – 1 градус в сутки.

Звезды восходят и заходят на одной и той же широте всегда в одном и том же месте. При изучении видимых движений небесных тел необходимо определять их положения в моменты наблюдения. Видимые положения светил определяются только направлениями, так как расстояния до них несущественны.

Сфера произвольного радиуса с центром, помещенным в произвольной точке пространства, называется небесной сферой.

Вращение небесной сферы повторяет вращение небесного свода. Небесная сфера служит для изучения видимых положений и движений небесных тел.



Вращение небесной сферы повторяет вращение небесного свода.

Прямая ZOZ' , проходящая через центр O небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в месте наблюдения называется вертикальной линией. Вертикальная линия пересекает небесную сферу в точках Зенита и Надира. Большой круг небесной сферы $SWNE$, плоскость которого перпендикулярна к вертикальной линии, называется математическим или истинным горизонтом. Математический горизонт делит небесную сферу на две половины – видимую и невидимую для наблюдателя. Диаметр PP' , вокруг которого происходит вращение небесной сферы называется осью мира. Ось мира пересекается с небесной сферой в северном и южном полюсах. Большой круг небесной сферы $QWQ'E$, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется небесным экватором. Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария – северное и южное.

Небесный экватор пересекается с математическим горизонтом в двух точках – точке востока E и точке запада W .

Круги высот, проходящие через точки востока и запада, называются первыми вертикалами - восточным и западным.

Большой круг небесной сферы $PZQSP'Z'Q'N$, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира, называется небесным меридианом.

Небесный меридиан делит поверхность небесной сферы на восточное и западное полушария.

Плоскость небесного меридиана и плоскость математического горизонта пересекаются по прямой линии NOS, которая называется полуденной линией. Небесный меридиан пересекается с математическим горизонтом в двух точках - точке севера и точке юга.

Большой круг небесной сферы ZMZ', проходящий через зенит, светило M и надир, называется кругом высоты или вертикалом светила.

Малый круг небесной сферы (bMb), плоскость которого параллельна плоскости небесного экватора, называется небесной или суточной параллелью светила. Видимые суточные движения светил совершаются по суточным параллелям. Большой круг небесной сферы PMP', проходящий через полюсы мира и светило M, называется часовым кругом, или кругом склонения светила.

Положение основных элементов небесной сферы относительно друг друга зависит от географической широты φ места наблюдения. Под углом φ к плоскости математического горизонта расположена ось мира PP'.

Системы небесных координат

Положение светила на небе однозначно определяется по отношению к основным плоскостям и связанным с ними линиям и точкам небесной сферы и выражается количественно двумя величинами (центральными углами или дугами больших кругов), которые называются небесными координатами.

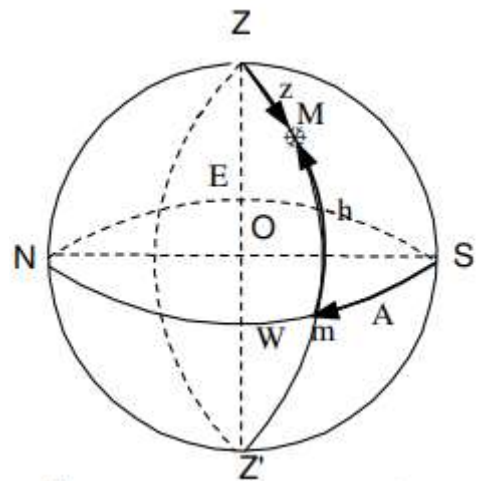
Горизонтальная система.

Основной плоскостью является плоскость математического горизонта NWSE, а отсчет ведется от зенита и от одной из точек математического горизонта. Одной координатой является зенитное расстояние z , или высота светила над горизонтом h . Высотой h светила M называется дуга вертикального круга m M от математического горизонта до светила, или центральный угол mOM между плоскостью математического горизонта и направлением на светило M. Высоты отсчитываются в пределах от 0 до 90° к зениту и от 0 до -90° к надиру. Зенитным расстоянием светила называется дуга вертикального круга ZM от зенита до светила.

$$z + h = 90^\circ$$

Положение самого вертикального круга определяется другой координатой - азимутом A.

Азимутом A светила называется дуга математического горизонта Sm от точки юга S до вертикального круга, проходящего через светило.



Азимуты отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, т.е. к западу от точки юга, в пределах от 0 до 360^0 .

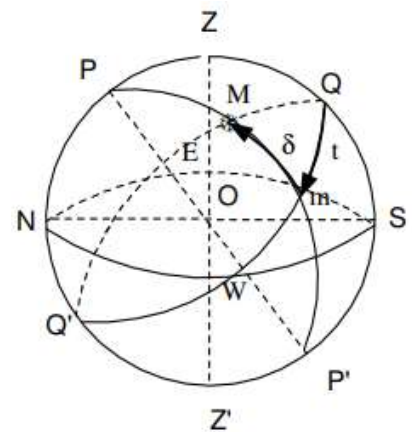
Система координат используется для непосредственных определений видимых положений светил с помощью угломерных инструментов.

Первая экваториальная система координат.

Начало отсчета – точка небесного экватора Q. Одной координатой является склонение.

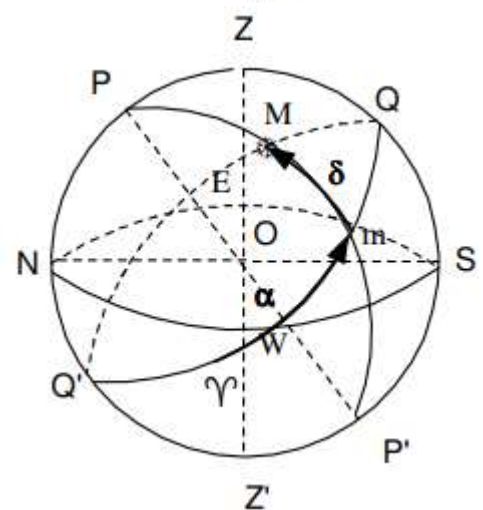
Склонением δ называется дуга mM часового круга PMmP' от небесного экватора до светила. Отсчитываются от 0 до $+90^0$ к северному полюсу и от 0 до -90^0 к южному. западу от Q в пределах от 0 до 360^0 или от 0 до 24 часов.

Система координат используется в практической астрономии для определения точного времени.



Вторая экваториальная система координат.

Одной координатой является склонение δ , другой прямое восхождение α . Прямое восхождение α светила M называется дуга небесного экватора m от точки весеннего равноденствия до часового круга, проходящего через светило. Отсчитываются в сторону противоположную суточному вращению в пределах от 0 до 360^0 или от 0 до 24 часов. Система координат используется для определения звездных координат и составления каталогов. Высота полюса мира над горизонтом, высота светила в меридиане. Высота полюса мира над горизонтом всегда равна астрономической широте места наблюдения.



Если склонение светила меньше географической широты, то оно кульминирует к югу от зенита на $z = \phi - \delta$.

или на высоте $h = 90^0 - \phi + \delta$.

1) Если склонение светила равно географической широте, то оно кульминирует в зените и $z = 0$, а $h = +90^0$.

2) Если склонение светила больше географической широты, то оно кульминирует к северу от зенита на $z = \delta - \phi$ или на высоте $h = 90^0 + \phi - \delta$.

Условия для восхода и заката светил.

Светило восходит и заходит на данной широте, если $\delta < (90^0 - \phi)$.

Светило будет незаходящим или не восходящим, если $\delta > (90^0 - \phi)$.

Для наблюдателя на земном экваторе все светила восходящие и заходящие.

На полюсах наблюдатели могут созерцать только полусферы.

Явление пересечения светилом небесного меридиана называется кульминацией светила.

Если светило пересекает верхнюю часть меридиана – наступает верхняя кульминация, если нижнюю – нижняя кульминация.

Переход от горизонтальных координат светила к экваториальным и обратно, в общем случае, осуществляется с использованием формул сферической тригонометрии. Однако эта задача упрощается при кульминации светил.

Суточное вращение небесной сферы на разных широтах и связанные с ним явления. Суточное движение Солнца. Смена сезонов и тепловые пояса

Измерения высоты Солнца в полдень (т.е. в момент его верхней кульминации) на одной и той же географической широте, склонение Солнца $\delta_{\odot}$ в течение года изменяется в пределах от $+23^{\circ}36'$ до $-23^{\circ}36'$, два раза проходя через нуль.

Прямое восхождение Солнца $\alpha_{\odot}$ на протяжении года также постоянно изменяется от 0 до 360° или от 0 до 24 часов.

Рассматривая непрерывное изменение обеих координат Солнца, можно установить, что оно перемещается среди звёзд с запада на восток по большому кругу небесной сферы, который называется эклиптикой.

20-21 марта Солнце находится в точке Υ , его склонение $\delta_{\odot} = 0$ и прямое восхождение $\alpha_{\odot} = 0$.

В день весеннего равноденствия 21-22 июня Солнце и его склонение максимально $\delta_{\odot} = 23^{\circ}26'$, а прямое восхождение $\alpha_{\odot} = 6$ часов.

В полдень дня летнего солнцестояния Солнце поднимается на максимальную высоту над горизонтом: $h_{\odot} = 90^{\circ} - \varphi + 23^{\circ}26'$

в средних широтах Солнце НИКОГДА не бывает в зените

Около 23 сентября склонение солнца $\delta_{\odot} = 0$, прямое восхождение $\alpha_{\odot} = 12$ часов. Этот день (начало астрономической осени) называется днём осеннего равноденствия.

22-23 декабря Солнце склониться минимально $\delta_{\odot} = -23^{\circ}26'$, а прямое восхождение $\alpha_{\odot} = 18$ часов.

Изменение экваториальных координат Солнца в течение года происходит неравномерно.

Видимое движение Солнца по эклиптике связано с действительным движением Земли по своей орбите вокруг Солнца, а также с тем фактом, что ось вращения Земли не перпендикулярна плоскости её орбиты, а составляет угол $\varepsilon = 23^{\circ}26'$. Если бы $\varepsilon = 0$, то на любой широте в любой день года день был бы равен ночи (без учёта рефракции и размера Солнца).

Полярные дни, длящиеся от 24 часов до полугода и соответствующие ночи, наблюдаются за полярными кругами.

Скорость перемещения (общая годовая прецессия в эклиптике) за год: $l = 360^{\circ}/26\,000 = 50,26''$.

В начале нашей эры точка весеннего равноденствия находилась в созвездии Овна, от которого и получила своё обозначение (Υ), а точка осеннего равноденствия – в созвездии Весов ($\underline{\Omega}$). С тех пор точка Υ переместилась в созвездие Рыб, а точка $\underline{\Omega}$ – в созвездие Девы, но их обозначения остались прежними.

Лекция 3

Измерение времени

Измерение времени основано на наблюдениях суточного вращения свода и годичного 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 (звёздное 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 звёзд Солнце оказывается в той же точке неба через промежуток времени на 20 мин. 24 с. больший, чем тропический год. Он называется **звёздным годом** и содержит 365,2564 средних солнечных суток.

Звёздное время

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

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

Время, протекшее от верхней кульминации точки до любого другого её положения, выраженное в долях звёздных суток называется *звёздным временем s*. Угол, на который Земля повернётся от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до какого-нибудь другого момента, равен часовому углу точки в этот момент.

$$s = t.$$

Практически для установления начала звёздных суток или звездного времени в какой-то момент надо измерить часовой угол t какого-то светила M , прямое восхождение которого известно.

$$\text{Тогда } t = Qm, \alpha = m, \text{ а } t = Q = s = \alpha + t.$$

Звёздное время в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол.

В момент верхней кульминации светила его часовой угол $= 0$, тогда $s = \alpha$.

Истинное солнечное время

Промежуток времени между двумя последовательными 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 численно равно часовому углу Солнца $t_c + 12h$.

Истинные солнечные сутки имеют различную продолжительность, так как:

1. Солнце движется не по небесному экватору, а по эклиптике, наклонённой на угол $23^\circ 26'$.
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 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 численно равно часовому углу Солнца $t_m + 12h$.

Уравнение времени

Разность часовых углов среднего экваториального Солнца t_m и истинного Солнца t_c называется *уравнением времени* η .

$$\eta = t_m - t_c.$$

Всемирное время

Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана называется всемирным или мировым временем T_0 .

Местное среднее солнечное время любого пункта на Земле определяется:

$$m = T_0 + \lambda^h.$$

Поясное время

Местных систем счёта времени бесчисленное множество, как и меридианов.

В 1884 году была предложена поясная система счёта среднего времени. Счёт времени ведётся только на 24 основных географических меридианах, расположенных друг от друга по долготе точно через 15° , 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 .

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

$$T_n = T_0 + n^h$$

Декретное время

В целях более рационального распределения электроэнергии, идущей на освещение предприятий и жилых домов, в летнее время вводят летнее время.

В СССР 16.07.1930 г. декретом правительства стрелки часов перевели на 1 час вперёд против поясного времени.

Календарь, принципы его построения и различные виды

Лунные, солнечные и лунно-солнечные календари, история возникновения и развития.

Система счёта длительных промежутков времени называется *календарём*.

Древние народы измеряли промежутки времени, наблюдая за движением светил.

Для измерения длительных промежутков времени используют период обращения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца. Эти явления сложны и поэтому ещё издревле возникала путаница с установлением точного числа дней и месяцев в году. В целый год, т.е. во время видимого обращения Солнца вокруг Земли, входит не целое количество дней и не целое количество равных месяцев.

По современным данным один тропический год (промежуток времени между двумя прохожденьями Солнца через точку весеннего равноденствия) равен 365,2422 суток. В основу месяца положено обращение Луны вокруг Земли. Но каждый лунный месяц имеет 29-30 дней. Значит в году не может быть 12 ровных лунных месяцев.

Одни народы, например, евреи и арабы, жили и живут по лунному календарю. Год в этом календаре содержит ровно 12 лунных месяцев продолжительностью 29-30 дней. Из-за того, что лунный год имеет меньше дней, чем тропический, у арабов вообще нет фиксированного начала года, оно постоянно перемещается по сезонам. В течение жизни одного человека год может начинаться и весной, и летом, и зимой, и осенью. Другие народы комбинировали солнечный и лунный циклы, пытались найти компромисс.

Римляне первоначально исчисляли время лунными годами. Новый год начинался 1 марта. До сих пор некоторые месяцы современного календаря называются по этой традиции (сентябрь – седьмой, декабрь – десятый и т.д.). Впоследствии первый день года был перенесён на 1 января, так как с 153 г. до н.э. в этот день вступали в должность консулы.

Гай Юлий Цезарь провёл реформу древнего римского календаря, основанного на движении Луны. Он ввёл с 1 января 45 г. до н.э. солнечный календарь. Средняя продолжительность года по этому календарю равна 365,25 суток. Чтобы избежать ошибки, связанной с дробным числом дней, каждые 4 года добавлялся 1 день. Год с 366-ю днями называется с тех пор високосным. Лишний день вставлялся не 29 февраля, как это делается сейчас, а между 24 и 25 числами. У римлян счёт дней был отличный от нашего. Отправным пунктом являлся не первый день месяца, а какое-то знаменательное событие, которое могло быть даже в другом месяце. Фиксировались обычно три дня каждого месяца, каждый из которых соответствовал началу новой лунной фазы. Принятое ныне исчисление дней с первого до последнего в месяце установилось лишь 6 в. н. э.

Например, дни в феврале считались от мартовских колэнд. Так 24 февраля по-римски называлось «шестой день до мартовских колэнд».

А так как в високосном году было два двадцать четвёртых числа, то второе называлось «дважды шестой до мартовских колэнд». На латинском языке это звучит так: "bis sextum Kalendae Mart". Позднее год с лишним днём

стал называться *annus bissextus*. Латинское слово биссекстус превратилось в русском языке в високосный.

Этот календарь в память о Юлии Цезаре называется юлианским. Месяц июль тоже назван в память об императоре. Месяц август был назван в честь императора Октавиана Августа в 8 в.н.э. Остальные месяцы календаря называются по разным традициям, например январь в честь бога Януса, февраль в честь ежегодных очистительных обрядов *Februa*, март по имени бога Марса, май по имени богини Майи, июнь по имени богини Юноны.

В юлианском календаре один день прибавляется в годы, номера которых делятся на 4 без остатка.

Однако, средняя продолжительность тропического года, измеренного по истинному обращению Земли вокруг Солнца, отличается от юлианского на 0,0078 суток. Для жизни одного поколения это неощутимо, но за 128 лет разница составляет сутки.

В Средние века погрешность стала равной семи дням. Это было замечено церковными деятелями.

По христианской традиции праздник Пасхи связывается с днём весеннего равноденствия и рассчитывается относительно 21 марта.

Это правило было принято в 325 году на Никейском Вселенском Соборе. Из-за неточности юлианского календаря в 16 веке весеннее равноденствие, как природное явление, приходилось на 11 марта, а Пасха рассчитывалась исходя из древней традиции, считая, что оно должно быть 21 марта.

Обсуждение реформы календаря продолжалось несколько столетий. Наконец, папа Григорий XIII 24 февраля 1582 года издал буллу, в которой провозглашал новый календарь и постановлял, что после четверга 4 октября 1582 года наступит пятница 15 октября.

Григорианский календарь основан на более точном знании тропического года и полностью привязан к астрономическим явлениям. Дата весеннего равноденствия всегда приходится на 21 марта и не может сместиться. Небольшое несоответствие между григорианским и истинным тропическим годами всё же есть. Разница в один день набегает за 3300 лет. Такая погрешность сегодня для нас несущественна.

Високосный год – каждый четвёртый, за исключением годов с целым числом столетий (1700, 1800,...). Год с целым числом столетий считается високосным только тогда, когда число сотен делится на 4 без остатка.

Преимущество Григорианского календаря ещё и в том, что расчёт церковных праздников основан на логике Вселенских Соборов.

В России этот календарь был введён со среды 31 января 1918 года. Следующий день уже был 14 февраля. За время, прошедшее со времён Юлия Цезаря календарная ошибка достигла 13 дней.

В католических странах переход на новый календарь произошёл в XVI веке, в Скандинавии и Великобритании в 18 веке.

Православные страны Греция, Болгария, Румыния, Сербия приняли новый стиль в начале XX века.

В современном церковном православном календаре есть много ошибок. Различные годовщины празднуются неверно из-за того, что разница между григорианским и юлианским календарём не была постоянной, а менялась. В IV веке она была равна 1 дню, а в XX веке достигла 13 дней. Например, преставление преподобного Сергия, игумена Радонежского приходится на 25 сентября (8 октября) 1392 года. 8 октября по старому стилю для 1392 года не соответствует 25 сентября по новому. В XIV веке разница составляла всего 9 дней. Значит, чествование должно проходить 29 сентября по новому календарю. Практически все даты, глубже XVIII столетия празднуются с ошибкой.

Эры. Исходный пункт каждого летоисчисления называется *эрой*. Эры у разных народов были разные и связывались с какими-либо знаменательными событиями или с годами правления царей и императоров. В Греции применялась эра Олимпиад (начало 776 г. до н.э.). **Года записывались так: ОI 5 3 - 3-й год 5-й Олимпиады.** В Риме использовалась эра от Основания Рима (753 г. до н.э.) и счёт годов от назначения консулов. Последний консул был Флавий Василий Младший в 541 году н.э. и года считали *post consulatum Basilii*. В средневековой Европе распространена была эра Диоклетиана (29 августа 284 г. н.э.). В Александрии она была переименована в эру мучеников чистых, поскольку император Диоклетиан преследовал христиан и сохранилась в Египте до 19 века.

Евреи используют эру от Сотворения мира, которая начинается в 3761 году до н.э.. Христиане тоже используют эру от сотворения мира, но имеют разные традиции счёта лет. Все они основываются на подсчёте библейских поколений, но имеют свои особенности. Например, византийская традиция считает, что в год начала мира должны начинаться солнечный круг (количество лет, за которое повторяется совпадение високосных лет и начала недель), лунный круг (период повторяемости лунных фаз) и 15-летний индиктион. Получилось, что сотворение мира произошло в 5508 году до н.э.

Эру от Рождества Христова ввёл в 525 году папский архивариус Дионисий Малый. 248 год эры Диоклетиана он приравнял 532 году от Рождения Христа. Исследователи считают, что Дионисий выбрал эту дату для удобства расчёта пасхалии, потому что точно определить дату рождения Иисуса Христа никому до сих пор не удалось. Эра от Рождества Христова начала употребляться кое-где в 10 веке, а повсеместно в католических странах лишь с 15 века.

Юлианские дни. При решении некоторых задач астрономии нужно знать число средних солнечных суток, протекших между двумя датами, далеко отстоящими друг от друга. Это легко сделать при помощи юлианских дней. Юлианские дни – это дни, которые непрерывно считаются через годы, столетия и тысячелетия от 1 января 4713 года до н.э. Начало каждого юлианского дня считается в средний гринвичский полдень.

Лекция 4

Строение Солнечной системы

Развитие представлений о строении мира. Гео- и гелиоцентрические системы мира

Древние мудрецы помещали Землю в центр мироздания. Некоторые считали её шарообразной, другие – плоской или чечевицеобразной, а небо – куполом. Пифагорейцы считали, что Земля и планеты движутся по окружностям, так как это самый идеальный путь.

Евдокс, чтобы объяснить наблюдательные несоответствия идеального движения, предложил систему концентрических сфер, в центре которых находится Земля. На самой дальней сфере закреплены звёзды. Для описания движения Луны и Солнца понадобилось по три движущихся друг относительно друга сферы, а для описания планет – по четыре. Идеи Евдокса принял Аристотель. Он усовершенствовал систему Евдокса. В его описании мира было уже 55 подвижных сфер для удовлетворительного описания всех перемещений небесных тел. Сферичность Земли Аристотель доказывал, ссылаясь на искривлённость её тени на поверхности Луны во время лунных затмений. По представлению Аристотеля, если бы Земля двигалась, то камень, брошенный с башни, должен был бы приземлиться на большом расстоянии от башни, возникали бы штормовые ветры.

Пифагорец Филолай в 5 в. до н.э. предполагал, что Земля вращается вокруг центрального огня. Гераклит учил, что Меркурий и Венера движутся вокруг Солнца, а Солнце вокруг Земли.

Птолемей решил, что поскольку центр Вселенной – место, куда должны двигаться все тела, то если бы Земля не была в центре, то летела бы к центру быстрее всех тел, имеющих на её поверхности.

Системы Браге, Бруно и Коперника

Николай Коперник введя гелиоцентрическую систему мира, всё же считал, что планеты движутся по окружностям и равномерно, поэтому для того, что бы описать сложное движение небесных тел приходилось пользоваться эпициклами. Его система насчитывала 34 круговых движения. Кое-кто считал, что система Коперника насчитывала 48 движений, в то время, как в одной из разновидностей системы Птолемея было всего 40 движений. Книга Коперника была издана в 1543 году и посвящена римскому папе Павлу III. Вначале она не была осуждена католической церковью, но вызвала ярость протестантов. Работа Коперника была внесена в «Индекс запрещённых книг» лишь через 70 лет, благодаря усилиям Дж. Бруно.

Тихо Браге считал, что Земля неподвижна и находится в центре мира, а Солнце вращается вокруг Земли. Планеты же вращаются вокруг Солнца. Т. Браге обнаружил, что кометы движутся вокруг Солнца, а не являются

атмосферными явлениями. Наблюдения Тихо Браге помогли И. Кеплеру открыть три закона движения небесных тел.

Открытия Галилея, Кеплера показали, что мир сложнее, чем его представляла система мира Аристотеля и разрушили догматическое восприятие природы.

Видимое движение планет и его объяснение. Конфигурации планет

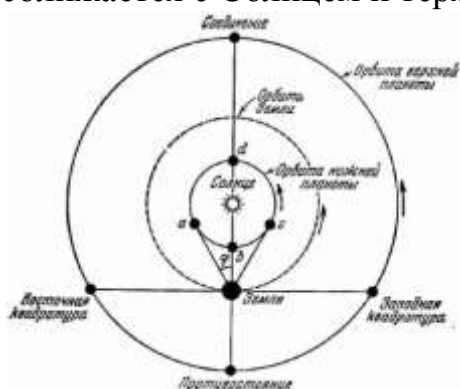
Мы наблюдаем движение планет Солнечной системы с движущейся вокруг Солнца Земли и это приводит к ряду особенностей в их видимых перемещениях на небе. Траектории движения планет проектируются на неподвижные звёзды. Планеты, как и Солнце, движутся только по зодиакальным созвездиям, постоянно пересекая эклиптику, но никогда сильно не удаляются от неё.

Планеты движутся прямо, в направлении движения Солнца по эклиптике, потом замедляют свой ход, останавливаются и движутся в противоположном направлении. Через какое-то время направление движения снова меняется. Эти движения называются прямыми и попятными. Древние астрономы называли планеты из-за их сложного движения «блуждающими светилами».

Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей планеты и Земли. При этом планеты имеют петлеобразные траектории. Размер петли зависит от отношения радиусов орбит планеты и Земли. У Юпитера угловой размер петли около 110, а у Плутона всего 30.

При своём движении по орбитам планеты могут занимать различные положения относительно Солнца и Земли. Эти положения называются конфигурации. Конфигурации различаются для нижних и для верхних планет. Нижними являются планеты, находящиеся ближе к Солнцу, чем Земля, верхними - те, которые дальше.

Для нижних планет выделяют конфигурации: нижнее и верхнее соединение с Солнцем, наибольшая западная и восточная элонгации. Слово элонгация означает удаление. Смысл двух элонгаций заключается в том, что если мы будем наблюдать нижние планеты с Земли, то они будут находиться на самом большом угловом расстоянии от Солнца. Когда планета находится в соединении, то она с Земли не наблюдается, так как максимально сближается с Солнцем и теряется в его лучах.



Конфигурации для верхних планет несколько иные. Верхние планеты имеют соединение, противостояние (оппозицию), западную и восточную квадратуру. Смысл этих конфигураций можно понять аналогично, как и для нижних планет. Соединение означает соединение с Солнцем при наблюдении планеты с Земли. Значит, во время нахождения

планеты в этой конфигурации, она наблюдаться не может, так как теряется в солнечных лучах. В противостоянии, наоборот, планета будет видна лучше всего, так как противостоит Солнцу, а значит наблюдается на обратной стороне неба. В это время планета ближе всего подходит к Земле и видна почти всю ночь. Нижняя планета находится ближе всего к Земле в момент нижнего соединения и дальше всего в момент верхнего. Верхняя планета приближается в момент противостояния и удаляется в момент соединения.

Прямые и попятные движения планет объясняются различием орбитальных линейных скоростей планеты и Земли.

Синодический период обращения (S) планеты это промежуток времени между её двумя последовательными одноименными конфигурациями.

Сидерический или звёздный период обращения (T) это промежуток времени, в течение которого планета совершает один полный оборот вокруг Солнца по своей орбите.

Сидерический период обращения Земли называется звёздным годом (T_3).

Угловое перемещение по орбите за сутки у планеты = $360/T$, а у Земли = $360/T_3$.

Разность суточных угловых перемещений планеты и Земли есть видимое смещение планеты за сутки, т.е. $360/S$.

Получаем для нижних планет

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_3}$$

Для верхних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T}$$

Это уравнения синодического движения.

Непосредственно из наблюдений могут быть определены только синодические периоды обращений планет S и сидерический период T обращения Земли. Сидерические же периоды обращений планет вычисляются по уравнению синодического движения.

Продолжительность звёздного года равна 365,256 средних солнечных суток. Фаза планеты измеряется отношением площади освещённой части видимого диска ко всей его площади. Угол между направлением с планеты на Солнце и Землю называется фазовым углом.

При фазовом угле $\psi = 180^\circ$ планета находится между Солнцем и Землёй, фаза равна нулю, планета не освещена совсем. При фазовом угле $\psi = 0^\circ$ Земля и Солнце находятся по одну сторону от планеты, фаза равна 1, видимый диск планеты освещён полностью.

Связь между фазой и фазовым углом:

$$\Phi = \cos^2 \frac{\psi}{2}$$

Для нижних планет фазовый угол изменяется от 0 до 180° . Для Марса не более $48,3^\circ$, для Юпитера 11° , для остальных меньше 11° . Для верхних планет фаза близка к 1.

Лекция 5

Законы движения небесных тел

Определение расстояний в Солнечной системе

Кажущееся смещение светила, обусловленное перемещением наблюдателя, называется *параллактическим смещением*, или параллаксом светила. Параллактические смещения светила тем больше, чем ближе светило к наблюдателю и чем больше перемещение наблюдателя.

Координаты светил, определённые из точки на поверхности Земли называются *топоцентрическими*.

Топоцентрические координаты планет различны в разных местах Земли. Поэтому координаты относят к центру земли и называют геоцентрическими. Угол между направлениями, по которым светило М" было бы видно из центра Земли и из какой-нибудь точки на её поверхности, называется *суточным параллаксом светила*.

Суточный параллакс есть угол p' , под которым со светила был бы виден радиус Земли в месте наблюдения.

Для светила, находящегося в зените, суточный параллакс равен 0. Для светила, наблюдаемого на горизонте, суточный параллакс принимает максимальное значение и называется *горизонтальным параллаксом* p . Знание горизонтального параллакса светила позволяет найти расстояние от центра Земли до светила.

Если принять горизонтальный параллакс Солнца равным $8'',794$, то расстояние от Земли до Солнца будет равно 149 597 870 км. Это расстояние называется *астрономической единицей (а.е.)*.

Движение тела под действием силы тяжести. Виды орбит

Под действием силы тяготения одно небесное тело движется относительно другого по одному из конических сечений: гиперболе, параболе или эллипсу (в предельном случае – по прямой или окружности).

Из интеграла движения следует:

- 1) $a \rightarrow \infty$, $V_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ – параболическая скорость;
- 2) $a = r$, $V_c = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ – круговая скорость,

Т.о., если начальная скорость второго тела v_0 :

- 1) $0 < v_0 < v_c$, то орбита – эллипс, а точка начала движения – апоцентр;
- 2) $v_0 = v_c$, то орбита – окружность;
- 3) $v_c < v_0 < v_p$, то орбита – эллипс, а точка начала движения – перигей;
- 4) $v_0 = v_p$, то орбита – парабола, v_p – минимальная скорость ухода на ∞ ;
- 5) $v_0 > v_p = v_h$, то орбита – гипербола.

Определение масс небесных тел

Закон всемирного тяготения Ньютона позволяет измерить одну из важнейших физических характеристик небесного тела – его массу.

Массу небесного тела можно определить:

- а) из измерений силы тяжести на поверхности данного тела (гравиметрический способ);
- б) по третьему (уточненному) закону Кеплера;
- в) из анализа наблюдаемых возмущений, производимых небесным телом в движениях других небесных тел.

Первый способ применим пока только к Земле и заключается в следующем.

На основании закона тяготения ускорение силы тяжести на поверхности Земли

$$g = f \frac{m}{R^2},$$

где m — масса Земли, а R — ее радиус. Отсюда масса Земли

$$m = \frac{gR^2}{f},$$

Ускорение силы тяжести g (точнее, ускорение составляющей силы тяжести, обусловленной только силой притяжения), так же как и радиус Земли R , определяется из непосредственных измерений на поверхности Земли. Постоянная тяготения f достаточно точно определена из опытов Кэвендиша и Йолли, хорошо известных в физике.

С принятыми в настоящее время значениями величин g , R и f по формуле (2.25) получается масса Земли

$$m = 5,976 \cdot 10^{27} \text{ г} \approx 6 \cdot 10^{27} \text{ г}.$$

Зная массу Земли и ее объем, легко найти среднюю плотность Земли. Она равна $5,52 \text{ г/см}^3$.

Третий, уточненный закон Кеплера позволяет определить соотношение между массой Солнца и массой планеты, если у последней имеется хотя бы один спутник и известны его расстояние от планеты и период обращения вокруг нее.

Действительно, движение спутника вокруг планеты подчиняется тем же законам, что и движение планеты вокруг Солнца и, следовательно, уравнение (2.24) может быть записано в этом случае так:

$$\frac{T^2(M+m)}{t_c^2(m+m_c)} = \frac{a^3}{a_c^3},$$

где M , m и m_c — массы Солнца, планеты и ее спутника, T и t_c — периоды обращений планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты, a и a_c — расстояния планеты от Солнца и спутника от планеты соответственно.

Разделив числитель и знаменатель левой части дроби этого уравнения на m и решив его относительно масс, получим

$$\left(\frac{M}{m} = 1\right) : \left(1 + \frac{m_c}{m}\right) = \frac{t_c^2 a^3}{T^2 a_c^3}$$

Отношение $\frac{M}{m}$ для всех планет очень велико; отношение же $\frac{m_c}{m}$ наоборот, мало (кроме Земли и ее спутника Луны) и им можно пренебречь.

Тогда в уравнении останется только одно неизвестное отношение $\frac{M}{m}$, которое легко из него определяется. Например, для Юпитера определенное

таким способом обратное отношение $\frac{m}{M}$ равно 1 : 1050.

Так как масса Луны, единственного спутника Земли, сравнительно с земной массой достаточно большая, то отношением $\frac{m_c}{m}$ в уравнении (2.26) пренебрегать нельзя. Поэтому для сравнения массы Солнца с массой Земли необходимо предварительно определить массу Луны. Точное определение массы Луны является довольно трудной задачей, и решается она путем анализа тех возмущений в движении Земли, которые вызываются Луной.

Под влиянием лунного притяжения Земля должна описывать в течение месяца эллипс вокруг общего центра масс системы Земля — Луна.

По точным определениям видимых положений Солнца в его долготе были обнаружены изменения с месячным периодом, называемые «лунным неравенством». Наличие «лунного неравенства» в видимом движении Солнца указывает на то, что центр Земли действительно описывает небольшой эллипс в течение месяца вокруг общего центра масс «Земля — Луна», расположенного внутри Земли, на расстоянии 4650 км от центра Земли. Это позволило определить отношение массы Луны к массе Земли,

которое оказалось равным $\frac{1}{81,56}$. Положение центра масс системы «Земля — Луна» было найдено также из наблюдений малой планеты Эрос в 1930—1931

гг. Эти наблюдения дали для отношения масс Луны и Земли величину $\frac{1}{81,27}$. Наконец, по возмущениям в движениях искусственных спутников Земли

отношение масс Луны и Земли получилось равным $\frac{1}{81,30}$. Последнее значение наиболее точное, и в 1964 г. Международный астрономический союз принял его как окончательное в числе других астрономических постоянных. Это значение подтверждено в 1966 г. вычислением массы Луны по параметрам обращения ее искусственных спутников.

С известным отношением масс Луны и Земли из уравнения (2.26) получается, что масса Солнца $M_\odot$ в 333 000 раз больше массы Земли, т.е.

$$M_\odot \gg 2 \times 10^{33} \text{ г.}$$

Зная массу Солнца и отношение этой массы к массе любой другой планеты, имеющей спутника, легко определить массу этой планеты.

Массы планет, не имеющих спутников (Меркурий, Венера, Плутон), определяются из анализа тех возмущений, которые они производят в движении других планет или комет. Так, например, массы Венеры и Меркурия определены по тем возмущениям, которые они вызывают в движении Земли, Марса, некоторых малых планет (астероидов) и кометы Энке – Баклунда, а также по возмущениям, производимым ими друг на друга.

Движение космических аппаратов. Три космические скорости

Запуском 4 октября 1957 г. первого в мире советского искусственного спутника Земли человечество открыло новую эру в своей истории – эру создания искусственных небесных тел.

Хотя искусственные небесные тела подчиняются тем же законам, что и естественные, некоторые особенности их орбит и условия, определяющие характер их движения, заслуживают отдельного рассмотрения.

Искусственные спутники Земли (ИСЗ) выводятся на орбиту с помощью многоступенчатых ракет. Последняя ступень ракеты сообщает спутнику определенную скорость на заданной высоте. Тело, запущенное горизонтально на высоте h от поверхности Земли, станет ИСЗ, если его скорость в этот момент окажется достаточной.

Если скорость запуска точно равна круговой скорости на данной высоте h , то тело будет двигаться по круговой орбите.

Если эта скорость превышает круговую, то тело будет двигаться по эллипсу, причем перигей этого эллипса окажется в точке выхода на орбиту.

Если же сообщенная скорость несколько меньше круговой, а высота h достаточно большая, то тело также будет двигаться по эллиптической орбите, но в этом случае точка выхода на орбиту станет апогеем.

Таким образом, космический аппарат может упасть на поверхность любого тела Солнечной системы, может стать его искусственным спутником и может выйти из пределов Солнечной системы скорости.

Первая космическая скорость, или круговая скорость V_1 - скорость, необходимая для обращения спутника по круговой орбите вокруг Земли или другого космического объекта. Если R – радиус орбиты, а G – гравитационная постоянная. Для Земли $V_1 = 7.9$ км/с.

Вторая космическая скорость, называемая также скоростью убегания, или параболической скоростью V_2 – минимальная скорость, которую должно иметь свободно движущееся тело на расстоянии R от центра Земли или другого космического тела, чтобы, преодолев силу гравитационного притяжения, навсегда покинуть его. Для Земли $V_2 = 11.2$ км/с.

Кроме этих общепринятых, существуют еще две редко употребляемые величины: 3-я и 4-ая космические скорости – это скорости ухода, соответственно, из Солнечной системы и Галактики. Их точные значения нельзя определить по ряду причин. Например, 3-ю космическую скорость

обычно определяют как $V_3 = 16,7$ км/с. Но при старте с поверхности Земли или с околоземной орбиты необходимо преодолеть еще притяжение планеты. аппарат может при старте иметь 3-ю космическую скорость всего 16.6 км/с, а для полета в неблагоприятном направлении его необходимо разогнать до 72.8 км/с.

Лекция 6

Солнечная система

Общие сведения о Солнечной системе и её исследований

Солнечная система возникла из одного большого газопылевого облака. Это облако начало сжиматься под действием гравитации, в результате основная часть содержащегося в нём вещества собралась в центральный сгусток, из которого впоследствии возникло Солнце.

Солнечная система состоит собственно из Солнца, а также планет, с их спутниками, комет, астероидов, пыли, газа и мелких частиц. В Солнце сосредоточена практически вся масса Солнечной системы – 99,8%, и своей гравитацией Солнце удерживает вокруг себя все остальные объекты Солнечной системы. Хотя известные нам планеты находятся на сравнительно небольшом расстоянии от Солнца, существует большое число объектов, которые вращаются вокруг него, находясь на очень большом удалении. По современным оценкам, размер Солнечной системы составляет не менее шестидесяти миллиардов километров, при этом споры между астрономами о том, до каких пределов на самом деле простираются границы Солнечной системы, продолжаются. Согласно данным современной астрономии, своим гравитационным полем Солнце способно удерживать тела на гигантском расстоянии, которое более чем в 200 тысяч раз превышает расстояние от Солнца до Земли.

В настоящее время считается, что в Солнечную систему входит 8 больших планет. Эти планеты, по степени удаления от Солнца – Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Самой большой из планет является Юпитер, но даже он намного меньше Солнца по размерам и массе.

Кроме них, вокруг Солнца вращается большое число более мелких тел – астероидов, комет, и просто мелких камней, пыли и газа. Если орбиты больших планет близки к круговым и находятся примерно в одной плоскости, то орбиты малых тел весьма разнообразны и часто имеют вытянутую форму – например, кометы, двигаясь по очень вытянутой орбите, обычно приближаются к Солнцу на несколько недель и затем на долгие годы вновь улетают в далекое космическое пространство. Большая часть астероидов, обращающихся недалеко от Солнца, сосредоточены между орбитами Марса и Юпитера, значительная часть этих астероидов уже открыта и классифицирована. Однако существует ещё более многочисленный пояс астероидов, который расположен за пределами орбиты Нептуна. Из-за большой удалённости от Солнца и, как следствие, малой освещённости, наблюдать астероиды в этом поясе довольно сложно, и точное их число неизвестно.

Большие планеты можно разделить поровну на две группы. Первая половина планет, находящихся наиболее близко к Солнцу – это планеты земной группы – Меркурий, Венера, Земля и Марс. Все эти планеты состоят

из тяжёлых химических элементов, имеют высокую плотность и твердую поверхность. С массой $6 \cdot 10^{24}$ кг и диаметром почти 13 тыс. км. Земля является самой большой и массивной из этих четырёх планет. Однако дальние от Солнца планеты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун значительно превосходят по этим параметрам Землю. По этой причине они получили название планеты-гиганты. Так, масса Юпитера более, чем в 300 раз превышает массу Земли, а диаметр этой планеты – 143 тыс. км. Однако, от планет земной группы они значительно отличаются по своему строению – эти планеты состоят не из тяжёлых элементов, а из газа, в основном из водорода и гелия, подобно Солнцу и другим звёздам, вследствие этого и плотность их сравнительно невелика. Планеты-гиганты не имеют твёрдой поверхности – это просто газовые шары. Для планет-гигантов характерно наличие большого числа спутников, причём среди них встречаются довольно большие, сравнимые по размерам с Луной и даже с Меркурием.

Физический характер Луны

Луна – единственный естественный спутник Земли. Это второй по яркости объект на земном небосводе после Солнца и пятый по величине естественный спутник планет Солнечной системы.

Видимая звёздная величина полной Луны на земном небе – 12^m,71. Освещённость, создаваемая полной Луной возле поверхности Земли при ясной погоде, составляет 0,25 лк.

Луна состоит из коры, верхней мантии, средней мантии, нижней мантии (астеносферы) и ядра. Атмосфера практически отсутствует. Поверхность Луны покрыта так называемым реголитом – смесью тонкой пыли и скалистых обломков, образующихся в результате столкновений метеороидов с лунной поверхностью.

Толщина слоя реголита составляет от долей метра до десятков метров. Толщина коры Луны меняется в широких пределах от 0 до 105 км

Гравитационные силы между Землёй и Луной вызывают некоторые интересные эффекты. Наиболее известный из них – морские приливы и отливы. Максимальная амплитуда приливной волны на Земле наблюдается в заливе Фанди в Канаде и составляет 18 метров.

Две высших точки прилива образуются вследствие того, что гравитационное поле Луны достаточно неоднородно на протяжении размеров Земли.

Планеты земной группы

К планетам земной группы относятся Меркурий, Венера, Земля и Марс. Мы их перечислили в порядке удаленности от Солнца. При исследовании этих планет выяснилось, что все они обладают малыми размерами и, главное, массами. Самая массивная из планет земной группы – Земля – в 330 000 раз легче Солнца.

Планеты земной группы довольно-таки по-разному вращаются вокруг своей оси: один оборот длится от 24 часов для Земли и до 243-х суток у Венеры.

У планет есть атмосферы: довольно плотная у Венеры и почти незаметная у Меркурия. В атмосферах Земли, Венеры, Марса можно обнаружить углекислый газ, водяные пары, азот.

Схож и химический состав планет первой четверки. Они, в основном, состоят из соединений кремния (силикатов) и железа. Остальные элементы, конечно, тоже присутствуют, но их относительно немного.

Строение планет земной группы также одинаково. В центре планет есть железные ядра разной массы. По-видимому, только Венера не имеет расплавленного железного ядра. У остальных часть его находится в жидком состоянии. Выше ядра находится слой, который называют мантией. Мантия тоже может подразделяться на слои: внешний твердый и внутренний жидкий. Верхний слой мантии называют корой. Он подвергается различным внешним воздействиям и несколько отличается от более близких к центру планет слоев мантии.

У этих планет есть магнитные поля: почти незаметное у Венеры и ощутимое у Земли. Меркурий и Марс обладают магнитными полями средней напряженности.

Наконец, планеты земной группы бедны естественными спутниками – еще одним типом небесных тел, населяющих Солнечную систему. Эти тела вращаются не вокруг Солнца, а вокруг планет. В этом смысле, планеты являются спутниками Солнца. Так вот, на четыре планеты земной группы приходится всего три спутника: один большой у Земли и два крохотных у Марса.

Планеты гиганты – их спутники

Из четырех гигантских планет лучше всего изучен Юпитер, самая большая и ближайшая из этой группы к Солнцу планета. Он в 11 раз больше Земли по диаметру и в 300 раз по массе. Период его обращения вокруг Солнца почти 12 лет, а расстояние от него 5,2 а.е. Ось вращения Юпитера почти перпендикулярна к плоскости его орбиты, и поэтому никакой смены времен года на нем нет. У всех гигантских планет вращение вокруг оси довольно быстрое, а плотность мала. Вследствие этого у них значительное сжатие. У Юпитера оно равно $1/16$, и его сразу можно заметить в телескоп. У Сатурна сжатие еще больше: $1/10$, но заметно оно лишь тогда, когда Земля находится в плоскости экватора планеты.

Все планеты-гиганты окружены мощными протяженными атмосферами, и мы видим в них лишь облака, вытянутые полосами, параллельными экватору. Поскольку планеты-гиганты сильно удалены от Солнца, их температура очень низка: на Юпитере – 145°C , на Сатурне – 180°C , на Уране и Нептуне еще ниже. Спектральные наблюдения показывают, что атмосферы планет-гигантов содержат в основном

молекулярный водород и метан CH_4 , а в атмосфере Юпитера есть еще и аммиак NH_3 .

Все планеты-гиганты окружены сложными системами спутников. Эти системы образовались в ходе процесса, напоминающего формирование планет вокруг Солнца, но в меньшем масштабе. Несмотря на то, что мы имеем дело с очень неоднородным множеством объектов, можно отметить несколько общих закономерностей.

У одной группы спутников (диаметром менее 200 км) орбиты находятся на очень малом расстоянии от планеты (исключение – спутники Сатурна) и тесно связаны с кольцами. Пример таких спутников – «пастухи» кольца F у Сатурна.

Другая группа представлена спутниками средних размеров (от 400 до 1500 км), особенно многочисленными у Сатурна и Урана. У некоторых спутников этой группы поверхность гладкая, с небольшим количеством ударных кратеров, что говорит о внутреннем источнике энергии, обеспечившем пластическое изменение поверхности спутника и выравнивании кратеров.

К третьей группе относятся самые большие спутники: четыре Галилеевых спутника Юпитера (Ио, Европа, Ганимед и Каллисто) и спутник Сатурна Титан. По своим размерам они сравнимы с планетой земной группы.

К четвертой группе относятся спутники, которые, по-видимому, представляют собой захваченные планетами-гигантами астероиды. К ней относятся, например, восемь внешних спутника Юпитера. Другой представитель этой группы – Феба, самый далёкий спутник Сатурна; это сферическое тело тёмно-розового цвета, которое движется в обратном направлении

Малые планеты-астероиды

Астероид – небольшое планетоподобное тело Солнечной системы (малая планета). Самый большой из них Церера, имеющий размеры 970х930 км. Астероиды по размерам сильно различаются, самые маленькие из них не отличаются от частиц пыли. Несколько тысяч астероидов известно под собственными именами. Полагают, что насчитывается до полумиллиона астероидов с диаметром более полутора километров. Однако общая масса всех астероидов меньше одной тысячной массы Земли. Большинство орбит астероидов сконцентрировано в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера на расстояниях от 2,0 до 3,3 а.е. от Солнца. Имеются, однако, и астероиды, чьи орбиты лежат ближе к Солнцу, типа группы Амура, группы Аполлона и группы Атена. Кроме того, имеются и более далекие от Солнца, типа центавров. На орбите Юпитера находятся троянцы. Астероиды могут быть классифицированы по спектру отраженного солнечного света: 75% из них очень темные углистые астероиды типа C, 15% – сероватые кремнистые астероиды типа S, а оставшиеся 10% включают астероиды типа M (металлические) и ряд других редких типов. Классы астероидов связаны с

известными типами метеоритов. Имеется много доказательств, что астероиды и метеориты имеют сходный состав, так что астероиды могут быть теми телами, из которых образуются метеориты. Самые темные астероиды отражают 3–4% падающего на них солнечного света, а самые яркие – до 40%. Многие астероиды регулярно меняют яркость при вращении. Вообще говоря, астероиды имеют неправильную форму. Самые маленькие астероиды вращаются наиболее быстро и очень сильно различаются по форме. Столкновения астероидов, происходящие на больших скоростях, постепенно приводят к тому, что они разбиваются на мелкие части.

Кометы. Метеоры. Метеориты.

Кометы – тела Солнечной системы, имеющие вид туманных объектов, обычно со светлым сгустком-ядром в центре и хвостом. Вдали от Солнца у комет нет никаких атмосфер и они ничем не отличаются от обычных астероидов. При сближении с Солнцем на расстояниях примерно 11 а.е. у них сначала появляется газовая оболочка неправильной формы (кома). Кома вместе с ядром (телом) называется головой кометы. В телескоп такая комета наблюдается как туманное пятнышко. Затем, на расстояниях 3-4 а.е. от Солнца у кометы, под действием солнечного ветра, начинает развиваться хвост

Хвосты могут иметь разную форму, которая зависит от природы частиц, его составляющих: на частицы действует сила гравитационного притяжения, зависящая от массы частицы, и сила давления света, зависящая от площади поперечного сечения частиц. Практически вся масса вещества кометы заключена в ее ядре.

Метеоры – явления в верхней атмосфере, возникающие при вторжении в неё твёрдых частиц – метеорных тел. Вследствие взаимодействия с атмосферой метеорные тела частично или практически полностью теряют свою начальную массу; при этом возбуждается свечение и образуются ионизованные следы метеорного тела. Остатки метеорных тел, порождающих очень яркие болиды, могут выпадать на поверхность Земли в виде метеоритов.

Метеоритами называют камни или куски железа, упавшие на Землю, из межпланетного пространства. Метеориты имеют невзрачный вид: серые, черные или черно-бурые куски камней или железа. Однако метеориты – единственные внеземные тела, доступные для непосредственного изучения.

Лекция 7

Земля как астрономический объект

Методы и основные результаты изучения формы Земли. Геоид.

Метод триангуляции впервые был применен Снеллиусом в 1615 г. при измерении дуги меридиана в Голландии. С тех пор и до настоящего времени в разных странах, на разных широтах было измерено много дуг на поверхности Земли и не только по меридианам, но и по параллелям. Измерения показали, что длина дуги 1 меридиана не одинакова под разными широтами: около экватора она равна 110,6 км, а около полюсов - 111,7 км, т.е. увеличивается к полюсам. Т.о кривизна земной поверхности меньше в полярных областях, чем в экваториальных. Следовательно, Земля отличается от шара и имеет несколько сплюснутую форму, близкую к сфероиду. Малая полуось сфероида, совпадающая с осью вращения Земли, равна $b = 6356,86$ км, а большая полуось, лежащая в плоскости экватора, $a = 6378,24$ км.

В результате таких исследований была получена величина экваториального радиуса Земли $a = 6375,75$ км. Величина северного полярного радиуса оказалась равной 6355,39 км, а южного полярного радиуса – 6355,36 км, т.е. южный полюс Земли находится на 30 м ближе к центру Земли, чем северный.

Сжатие Земли оказалось почти таким же, как у эллипсоида Ф.Н.Красовского и А.А.Изотова. На основе многочисленных определений Международный астрономический союз в 1964 г. принял следующие значения элементов земного эллипсоида: $a = 6378,16$ км, $b = 6356,78$ км, $e = 1 : 298,25$. Истинная фигура Земли отличается и от сфероида, и от трехосного эллипсоида и не может быть представлена ни одной из известных математических фигур. Поэтому, говоря о фигуре Земли, имеют в виду нефизическую форму земной поверхности, с океанами и материками, с их возвышенностями и впадинами, а так называемую поверхность геоида. Поверхность, которая совпадает в открытом океане с поверхностью покоящейся воды, называется *геоидом*. Поверхность геоида мало отличается от поверхности земного эллипсоида, поднимаясь над ней внутри материков и опускаясь в океанах. Разность уровней геоида и наиболее близкого к нему по размерам и форме эллипсоида, исключая немногие места на Земле, меньше 100 м.

Внутреннее строение Земли

Земля имеет внутреннее строение. Она состоит из твёрдых силикатных оболочек (коры, мантии), и металлического ядра. Внешняя часть ядра жидкая а внутренняя – твёрдая. Внутренняя теплота планеты, скорее всего, обеспечивается радиоактивным распадом изотопов калия, урана и тория, период полураспада составляет более миллиарда лет. В центре планеты, t поднимается до 7 000 К, а давление может достигать 360 ГПа. Часть

тепловой энергии ядра передаётся к земной коре посредством плюмов. Земная кора – это верхняя часть твёрдой земли. От мантии отделена границей с резким повышением скоростей сейсмических волн – границей Мохоровичича. Типы коры – континентальная и океаническая. Толщина коры колеблется от 6 км под океаном, до 30-50 км на континентах. В строении континентальной коры выделяют три геологических слоя: осадочный чехол, гранитный и базальтовый. Океаническая кора сложена породами основного состава, плюс осадочный чехол. Земная кора разделена на литосферные плиты,двигающиеся относительно друг друга.

Мантия – это силикатная оболочка Земли, сложенная породами, состоящими из силикатов магния, железа, кальция и др. Плавление мантийных пород порождает базальтовые и им подобные расплавы, формирующие при подъёме к поверхности земную кору. Мантия составляет 67 % всей массы Земли и около 83 % всего объёма Земли. Она распространяется от глубин 5-70 километров ниже границы с земной корой, до границы с ядром на глубине 2900 км. Мантия расположена в огромном диапазоне глубин, и с увеличением давления в веществе происходят фазовые переходы, при которых минералы приобретают всё более плотную структуру. Наиболее значительное превращение происходит на глубине 660 километров. Теплоперенос в мантии происходит путём медленной конвекции, посредством пластической деформации минералов. Скорости движения вещества при мантийной конвекции составляют порядка нескольких сантиметров в год. Эта конвекция приводит в движение литосферные плиты. Конвекция в верхней мантии происходит отдельно. Существуют модели, которые предполагают ещё более сложную структуру конвекции. Ядро состоит из железо-никелевого сплава с примесью других сидерофильных элементов. Глубина залегания – 2900 км. Средний радиус сферы – 3,5 тыс. км. Разделяется на твердое внутреннее ядро радиусом около 1300 км и жидкое внешнее ядро радиусом около 2200 км, между которыми иногда выделяется переходная зона. Температура в центре ядра Земли достигает 5000 С, плотность около 12,5 т/м³, давление до 361 ГПа. Масса ядра – $1,932 \cdot 10^{24}$

Атмосфера Земли

Атмосфера это внешняя газовая оболочка Земли, которая начинается у ее поверхности и простирается в космическое пространство приблизительно на 3000 км. Масса современной атмосферы составляет приблизительно одну миллионную часть массы Земли.

Изменение температуры в границах атмосферы на разных высотах поясняется поглощением солнечной энергии газами. Наиболее интенсивнее тепловые процессы происходят в тропосфере. Она защищает все живые организмы Земли от губительного влияния космических излучений и ударов метеоритов, регулирует сезонные температурные колебания, уравнивает

и выравнивает суточные. Если бы атмосферы не существовало, то колебание суточной температуры на Земле достигло бы $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

Одной из главнейших составных атмосферы есть водный пар. Физические процессы, которые происходят в тропосфере, оказывают большое влияние на климатические условия разных районов Земли.

Слои атмосферы:

Нижняя часть атмосферы, до высоты 10-15 км, в которой сосредоточено $\frac{4}{5}$ всей массы атмосферного воздуха, носит название тропосферы. Для нее характерно, что температура здесь с высотой падает в среднем на $0.6^{\circ}/100\text{ м}$. В тропосфере содержится почти весь водяной пар атмосферы и возникают почти все облака. Сильно развита здесь и турбулентность, особенно вблизи земной поверхности, а также в так называемых струйных течениях в верхней части тропосферы.

Над тропосферой до высоты 50-55 км лежит стратосфера, характеризующаяся тем, что температура в ней в среднем растет с высотой. Переходный слой между тропосферой и стратосферой (толщиной 1-2 км) носит название тропопаузы.

Над стратосферой лежит слой мезосферы, примерно до 80 км. Здесь температура с высотой падает до нескольких десятков градусов ниже нуля. Вследствие быстрого падения температуры с высотой в мезосфере сильно развита турбулентность.

Верхняя часть атмосферы, над мезосферой, характеризуется очень высокими температурами и потому носит название термосферы. В ней различаются, однако, две части: ионосфера, простирающаяся от мезосферы до высот порядка тысячи километров, и лежащая над — экзосфера, переходящая в земную корону. Экзосфера. Выше 800-1000 км атмосфера переходит в экзосферу и постепенно в межпланетное пространство.

Магнитосфера Земли

Магнитосфера — область пространства вокруг планеты или другого намагниченного небесного тела, которая образуется, когда поток заряженных частиц, например солнечного ветра, отклоняется от своей первоначальной траектории под воздействием внутреннего магнитного поля этого тела.

Форма и размеры магнитосферы определяются силой внутреннего магнитного поля этого небесного тела и давлением окружающей плазмы (солнечного ветра). Все планеты, имеющие собственное магнитное поле, обладают магнитосферой: Земля, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Меркурий и Марс обладают очень слабыми магнитосферами, а также Ганимед, один из спутников Юпитера.

Магнитосфера Земли имеет сложную форму. Со стороны, обращенной к Солнцу, расстояние до ее границы около 70000 км. Граница магнитосферы, или магнитопауза, со стороны Солнца по форме напоминает снаряд и по приблизительным оценкам находится на расстоянии около 15 R_{e} . С ночной стороны магнитосфера Земли вытягивается длинным цилиндрическим

хвостом (магнитный хвост), радиус которого составляет около 20-25 R_e . Хвост вытягивается на значительное расстояние – намного большее, чем 200 R_e , и где он заканчивается – не известно.

Магнитосфера обеспечивает защиту, без которой жизнь на Земле могла бы не выжить. Граница магнитосферы (магнитопауза) определяется условием равенства давлений магнитного поля и набегающей плазмы,

Лекция 8

Солнце

Когда Земля в перигелии (начало января) видимый диаметр Солнца составляет $32'35''$, а в афелии (начало июля) – $33'31''$. На среднем расстоянии от Земли (1 а.е.) видимый радиус Солнца составляет $960''$, что соответствует линейному радиусу 696000 км.

Объем Солнца $1,41 \cdot 10^{33} \text{ см}^3$, а его масса $2 \cdot 10^{33} \text{ кг}$, что дает среднюю плотность его вещества $1,41 \text{ г.см}^3$.

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца 274 м/сек^2 . Наблюдения отдельных деталей на солнечном диске, а также измерения смещений спектральных линий в различных его точках говорят о движении солнечного вещества вокруг одного из солнечных диаметров, называемого осью вращения Солнца. Плоскость, проходящая через центр Солнца и перпендикулярная к оси вращения, называется плоскостью солнечного экватора. Она образует с плоскостью эклиптики угол в $7^\circ 15'$ и пересекает поверхность Солнца по экватору. Угол между плоскостью экватора и радиусом, проведенным из центра Солнца в данную точку на его поверхности называется гелиографической широтой.

Спектр и химический состав Солнца. Солнечная постоянная

В видимой области излучение Солнца имеет непрерывный спектр. Наибольшей интенсивности непрерывный спектр достигает в синезеленой части спектра, у длин волн $4300\text{--}5000 \text{ \AA}$. Инфракрасная область солнечного спектра до 15 мк частично поглощается при прохождении сквозь земную атмосферу. Здесь расположены полосы молекулярного поглощения, принадлежащие в основном водяным парам, кислороду и углекислому газу. Для длин волн, больших 15 мк , поглощение становится полным, и спектр Солнца доступен наблюдениям только с больших высот. Поглощение спектра Солнца молекулами воздуха продолжает оставаться сильным вплоть до области радиоволн длиной около 1 см , для которых земная атмосфера снова становится прозрачной. При этом обнаруживается, что в радиодиапазоне интенсивность солнечного спектра значительно больше, чем должна быть у тела с температурой 6000° . Другой важной особенностью радиоизлучения Солнца является его переменность, увеличивающаяся с ростом длины волны. Подобной же переменностью обладает и рентгеновское излучение Солнца. Преобладающим элементом на Солнце является водород (70%) Следующим по содержанию элементом является гелий — около 29% массы Солнца. На остальные элементы, вместе взятые, приходится чуть больше 1%.

Поток излучения от Солнца принято характеризовать так называемой *солнечной постоянной*, под которой понимают *полное количество солнечной энергии, проходящей за 1 минуту через перпендикулярную к лучам площадку в*

1 см^2 , расположенную на среднем расстоянии Земли от Солнца. Согласно большому количеству измерений, значение солнечной постоянной Q в настоящее время известно с точностью до 1 %:

$$Q = 1360 \text{ Вт/м}^2.$$

У поверхности Земли поток солнечного излучения уменьшается из-за поглощения и рассеяния в земной атмосфере и в среднем составляет 800-900 Вт/м^2 .

Внутреннее строение Солнца

Одновременно с ростом температуры в более глубоких слоях Солнца должно возрастать давление, определяемое весом всех вышележащих слоев. Следовательно, плотность также будет увеличиваться. В каждой внутренней точке Солнца должно выполняться так называемое условие гидростатического равновесия, означающее, что разность давлений, испытываемых каким-либо элементарным слоем должна уравниваться гравитационным притяжением всех более глубоких слоев. Глубже температура растет, и возрастание плотности замедляется. При равномерном распределении масс плотность всюду равна уже известному нам среднему значению $1,4 \text{ г/см}^3$

$$T = 2\,800\,000^\circ (3\,400\,000^\circ).$$

В недрах Солнца существенную роль играют две ядерные реакции – *протон-протонной* и *углеродного цикла*. Ядерные реакции являются источником энергии, излучаемой Солнцем в мировое пространство. Та часть Солнца, в которой выделение энергии за счет ядерных реакций несущественно и происходит процесс переноса энергии путем поглощения излучения и последующего переизлучения, называется *зоной лучистого равновесия*. Выше этого уровня в переносе энергии начинает принимать участие само вещество, и непосредственно под наблюдаемыми внешними слоями Солнца, образуется конвективная зона, в которой энергия переносится конвекцией. Наконец, самые внешние слои Солнца, излучение которых можно наблюдать, называются *солнечной атмосферой*; в основном она состоит из трех слоев, называемых *фотосферой*, *хромосферой* и *короной*.

Активные образования в солнечной атмосфере. Центры солнечной активности.

Временами в солнечной атмосфере возникают быстро меняющиеся активные образования. В фотосфере, хромосфере и короне проявления солнечной активности весьма различны из-за магнитного поля.

Небольшое усиление магнитного поля до десятков и сотен эрстед сопровождается появлением в фотосфере более яркой области, называемой *факелом*. Они отличаются тонкой структурой и состоят из многочисленных прожилок, ярких точек и узелков – факельных гранул. Возникновение факела

связано с важным свойством магнитного поля – препятствовать движению ионизованного вещества, происходящему поперек силовых линий.

В областях факелов с наибольшим усилением магнитного поля могут возникать солнечные *пятна*. Солнечное пятно появляется в виде крошечной *поры*. Через день пора развивается в круглое темное пятно с резкой границей, диаметр которого постепенно увеличивается вплоть до размеров в несколько десятков тысяч км. Понижение температуры в пятне объясняется влиянием магнитного поля на конвекцию.

Яркие пятна, заметные на этих спектрогелиограммах и совпадающие по своим очертаниям с положением фотосферных факелов, называются *флоккулами*. Увеличение яркости флоккула по сравнению с окружающей невозмущенной хромосферой не дает оснований для определения его температуры, так как в разреженной и весьма прозрачной для непрерывного спектра хромосфере связь между температурой и излучением не подчиняется закону Планка.

Наблюдаются самые мощные и быстро развивающиеся проявления солнечной активности, называемые *хромосферными вспышками*. В начале вспышки яркость одного из светлых узелков флоккула внезапно подрастает.

Активными образованиями, наблюдаемыми в короне, являются *протуберанцы* – более плотные и холодные облака. Чаще всего это длинные, очень плоские образования, расположенные почти перпендикулярно к поверхности Солнца.

Внешний вид солнечной короны тесно связан с проявлением активности в более низких слоях атмосферы. Над пятнами наблюдаются характерные образования в виде изогнутых лучей, напоминающие кусты, а также уплотнения коронального вещества в виде округлых облаков – *корональные конденсации*. Над факелами видны целые системы прямолинейных, слегка волнистых лучей.

Понятие о центре солнечной активности. Совокупность всех проявлений солнечной активности, связанных с данным участком атмосферы и развивающихся в течение определенного времени, называется *центром солнечной активности*. Структура короны также определяется расположением и движением в ней силовых линий магнитного поля.

Эволюция Солнца

Когда облако межзвездной материи достигает критической массы – начинается процесс гравитационной конденсации. Пылевые частицы и газовые молекулы падают к центру облака, потенциальная энергия гравитации переходит в кинетическую, а кинетическая энергия в результате столкновений – в тепло. Облако нагревается и вследствие увеличения температуры возрастает его излучение. Оно превращается в *протозвезду* (звезда в начальной стадии развития). По мере сжатия протозвезды температура ее увеличивается. Когда температура в недрах звезды достигает нескольких миллионов градусов, начинаются термоядерные реакции.

Сначала «выгорает» дейтерий, а затем литий, бериллий и бор. Сжатие в результате выделения дополнительной энергии замедляется, но не прекращается совсем, так как эти элементы быстро оказываются израсходованными. Когда температура повышается еще больше, начинают действовать протон-протонные реакции (для звезд с массой, меньшей $1,5 M_{\odot}$) или углеродно-азотный цикл (для звезд с большей массой). Протозвезды сжимаются за 10^8 лет. В результате термоядерных реакций, протекающих в недрах звезды, происходит «выгорание» водорода. Время пребывания на главной последовательности зависит от скорости термоядерных реакций, а скорость реакций – от температуры.

При выгорании водорода радиус и масса конвективного ядра уменьшаются. Когда весь водород в ядре звезды превратится в гелий, вторая стадия эволюции (стадия главной последовательности) заканчивается. Ядро сжимается, плотность и температура в центральной части звезды возрастают, увеличивается светимость и радиус звезды. Звезда сходит с главной последовательности и становится красным гигантом, вступая в третью стадию эволюции. Предполагается, что в стадии красного гиганта (или сверхгиганта) в плотном ядре звезды в течение некоторого времени может идти реакция превращения гелия в углерод. Когда гелиевая реакция внутри ядра и водородные реакции на его границе исчерпывают себя, третья стадия эволюции (стадия красного гиганта) приходит к концу. Протяженная оболочка гиганта при этом расширяется, ее наружные слои не могут удерживаться силой тяготения и начинают отделяться. Звезда теряет вещество, и масса ее уменьшается. Когда протяженная оболочка гиганта рассеется, остается только ее центральное ядро, полностью лишенное водорода. Ядро находится в вырожденном состоянии, так же как и вещество белых карликов. Белые карлики и являются четвертым и последним этапом эволюции таких звезд, следующим за стадией красного гиганта. В белых карликах ядерные реакции не идут. Белые карлики светят за счет запаса тепловой энергии, накопленной в прошлом. Белые карлики – это остывающие, умирающие звезды.

Лекция 9

Звезды

Модели строения звёзд. Строение вырожденных звёзд (белые карлики и нейтрон звёзды). Чёрные дыры.

Если для звезды известны масса и радиус, то можно получить представление о физических условиях в ее недрах точно таким же путем, как это было сделано для Солнца. Температура T в недрах звезды прямо пропорциональна ее массе M и обратно пропорциональна ее радиусу R . Температуры в недрах звезд главной последовательности постепенно возрастают с увеличением светимости.

От значения температуры сильно зависит характер ядерных реакций в недрах звезды. В Солнце, выделение ядерной энергии в основном происходит в результате протон-протонной реакции. В горячих звездах ранних спектральных классов, в недрах которых температура выше и составляет десятки миллионов градусов, главную роль играет превращение водорода в гелий за счет углеродного цикла. В результате этой реакции выделяется значительно большая энергия, чем при протон-протонной реакции, что и объясняет большую светимость звезд ранних спектральных классов.

Звезды, располагающиеся в различных участках диаграммы спектр – светимость отличаются своим строением. Это подтверждается теоретическими расчетами равновесных газовых конфигураций, выполненными для определенных значений химического состава, массы, радиуса и светимости звезды (так называемых моделей звезд).

Звезды верхней части главной последовательности. Это горячие звезды с массой больше солнечной, из-за чего температура и давление в их недрах выше, чем у звезд более поздних спектральных классов, и выделение термоядерной энергии происходит ускоренным темпом через углеродный цикл. В результате светимость у них также больше, а потому эволюционировать они должны быстрее. Отсюда звезды, находящиеся на главной последовательности – молодые.

Поскольку выделение энергии при углеродном цикле пропорционально очень высокой степени температуры, то переносить энергию должно само вещество, которое начинает перемешиваться, и в недрах массивных звезд главной последовательности возникают центральные конвективные зоны

Звезды нижней части главной последовательности по своему строению подобны Солнцу.

Субкарлики – старые звезды, возникшие на ранних стадиях эволюции Галактики из вещества, не побывавшего еще в недрах звезд, а потому бедного тяжелыми элементами. Вещество субкарликов отличается большей прозрачностью по сравнению с звездами главной последовательности.

Красные гиганты имеют крайне неоднородную структуру. По мере выгорания водорода в центральных слоях звезды область энерговыделения

смещается в периферические слои. В результате образуется тонкий слой энерговыделения, где только и происходит водородная реакция. Он разделяет звезду на две части: внутреннюю – почти лишенное водорода «гелиевое» ядро, в котором реакций нет, и внешнюю, в которой есть водород, но температура и давление недостаточны для протекания реакции. Температура гелиевого ядра недостаточно велика для начала возможной реакции превращения гелия в углерод. Поэтому ядро оказывается лишенным ядерных источников энергии и изотермичным. Оно содержит около четверти массы всей звезды, но при этом обладает размерами только в 1/1000 ее радиуса. Плотность в центре такого ядра достигает 350 кг/см³!

Белые карлики. Важной особенностью структуры красного гиганта является образование в его недрах изотермичного объекта с массой Солнца состоящего из вырожденного газа, в основном гелия. Белые карлики оказываются сверхплотными звездами. Плотность в центре белых карликов может достигать сотен тонн в кубическом сантиметре! Они постепенно излучают огромный запас тепловой энергии вырожденного газа. Более массивные белые карлики сильнее сжаты и для них имеет место четкая зависимость радиуса звезды от ее массы. Однако начиная с некоторого значения массы, давление вырожденного газа не может уравновесить силу гравитации. Такая звезда может неограниченно сжиматься (коллапсировать). Прежде чем это произойдет, звезда должна испытать ядерный взрыв, наблюдаемый как вспышка сверхновой звезды, в результате которого выделится вся возможная ядерная энергия и вещество, перейдет в форму нейтронов. Теперь уже ничто не может предотвратить сжатие звезды. Особая ситуация должна возникнуть, когда радиус коллапсирующей звезды станет меньше $(2fM)/c^2$ где c – скорость света. В этом случае параболическая скорость оказывается больше скорости света. Ничто, даже световой квант из звезды, не может уйти. Такой объект станет невидим. В некоторых случаях можно наблюдать вещество вблизи него. Такое, теоретически возможное, гипотетическое состояние звезды называют черной дырой.

Основные этапы эволюции звезд. Планетарные туманности.

Звезда зарождается и выходит на ветвь Главной последовательности, занимая на ней строго отведенное место, согласно своим начальным параметрам. На Главной последовательности звезда проводит большую часть своей жизни, расходуя постепенно ядерное горючее. Затем на стадии расширения она уходит в область красных гигантов, по окончании которой выходит в полосу неустойчивости и, сбросив конвективную оболочку, превращается в планетарную туманность. Оставшееся ядро, сжимаясь, эволюционирует в белый карлик. А планетарная туманность постепенно рассеивается в космосе, отдавая межзвездной среде составлявшие ее химические элементы.

Известно, что красные гиганты могут превращаться в белые карлики. Интересно то, что они окружены горячей газовой оболочкой, свойства

которой напоминают газовые туманности. Но внешнему сходству с дисками планет они называются планетарными туманностями. В центре их всегда можно заметить ядро – горячую звезду класса О.

Спектры самих планетарных туманностей представляют собой слабый континуум. По внешнему виду планетарных туманностей, можно заключить, что они представляют собой оболочку из сильно разреженного ионизованного газа. По смещениям линий в спектре этих оболочек обнаружено, что они расширяются в среднем со скоростью в несколько десятков километров в секунду.

Полное количество энергии, излучаемой планетарной туманностью, в десятки раз больше, чем излучение ядра в видимой области спектра. Поскольку центральная звезда очень горячая и максимум излучения лежит в ультрафиолетовой области спектра. Жесткое излучение ядра ионизует разреженный газ туманности и нагревает его до температуры одного-двух десятков тысяч градусов. Вместо него атомы туманности испускают видимое излучение, спектр которого содержит наблюдаемые эмиссионные линии и слабое непрерывное свечение.

Планетарные туманности – определенная стадия эволюции некоторых звезд, похожих на неправильные переменные типа RV Тельца. В стадии планетарной туманности звезда сбрасывает с себя оболочку и обнажает свои горячие внутренние слои. Судя по скорости расширения оболочки, этот процесс должен происходить очень быстро. Изменения могут иметь место и внутри звезды. Есть основания что, некоторые звезды превращаются в белые карлики.

Кратные и переменные звёзды (кратные, визуально-двойные, спектрально-двойные звёзды, невидимые спутники звёзд, затменно-двойные звёзды). Особенности строения тесных двойных систем.

Часто на небе встречаются две или несколько близко расположенных звезд. Некоторые из них на самом деле далеки друг от друга и физически не связаны между собой. Они только проектируются в очень близкие точки на небесной сфере и потому называются оптическими двойными звездами. В отличие от них, физическими двойными называются звезды, образующие единую динамическую систему и обращающиеся под действием сил взаимного притяжения вокруг общего центра масс. Двойственность некоторых тесных пар, компоненты которых не видны в отдельности, может быть обнаружена либо фотометрически (затменные переменные звезды), либо спектроскопически (спектрально-двойные).

Визуально-двойные звезды. Двойные звезды, двойственность которых обнаруживается при непосредственных наблюдениях в телескоп, называются визуально-двойными. Видимую орбиту звезды-спутника относительно главной звезды находят по длительным рядам наблюдений, выполненным в различные эпохи. С точностью до ошибок наблюдений эти орбиты всегда

оказываются эллипсами. В настоящее время зарегистрировано свыше 60 000 визуально-двойных систем.

Спектрально-двойные звёзды. Спектрально-двойные звёзды те же двойные звёзды, компоненты которых столь близки между собой, что не видны порознь даже в самые сильные телескопы. Двойственность таких звёзд обнаруживается только по периодическим смещениям либо раздвоениям линий в их спектрах вследствие Доплера эффекта, происходящего вследствие орбитального движения компонентов.

Невидимые спутники. Это тела планетарных размеров и масс, обращающиеся вокруг некоторых звёзд подобно планетам в Солнечной системе. Полагают, что массы крупнейших невидимых спутников меньше необходимой для ядерного самовозгорания водород-дейтериевой смеси. Образоваться такие тела могли из части вещества, не вошедшего в центральную звезду. Больше половины звёзд в Галактике образуют кратные системы (двойные, тройные и т. д.) и, по оптимистическим оценкам, до 10% звёзд могут иметь невидимые спутники.

Тесные двойные системы. Тесные двойные системы представляют собою такие пары звезд, расстояние между которыми сопоставимо с их размерами. При этом существенную роль начинают играть приливные взаимодействия между компонентами. Под действием приливных сил поверхности обеих звезд перестают быть сферическими, звезды приобретают эллипсоидальную форму и у них возникают направленные друг к другу приливные горбы, подобно лунным приливам в океане Земли.

Физические переменные звёзды (пульсирующие переменные; эруптивные переменные: в начале эволюции, новые, сверхновые; пульсары, нейтронные звёзды). Рентгеновские источники излучения.

Физическими переменными называют звезды, которые изменяют свою светимость в результате физических процессов, происходящие в самой звезде. Такие звезды могут и не иметь постоянную кривую блеска.

Все переменные звезды, в том числе затменно-переменные, имеют специальные обозначения. Впереди названия соответствующего созвездия ставятся буквы латинского алфавита R, S, T... или просто букву V с цифрами.

Цефеидами называются пульсирующие звезды высокой светимости, названные так по имени одной из первых открытых переменных звезд – δ Цефея.

Особая группа переменных – молодые звезды типа Т Тельца, Они меняют свой блеск беспорядочным образом, но иногда у них прослеживаются и признаки периодичности, связанные с вращением вокруг оси. Среди звезд меньшей светимости также имеются переменные различных типов, общее известное число которых примерно раз в 10 меньше количества пульсирующих гигантов. Все они проявляют свою переменность в виде повторяющихся вспышек, которые могут быть объяснены различного рода

выбросами вещества. Поэтому всю эту группу звезд вместе с новыми звездами называют эруптивными переменными.

Звезды в начале эволюции. Наиболее молодыми звездами, по-видимому, еще не завершившими процесса гравитационного сжатия, следует считать переменные типа Т Тельца. Это карлики спектральных классов чаще всего F-G.

Новые звезды. Термин «новая» звезда не означает появление вновь возникшей звезды, а отражает определенную стадию переменности некоторых звезд. Новыми звездами называют эруптивные переменные звезды особого типа, у которых хотя бы однажды наблюдалось внезапное и резкое увеличение светимости не менее чем на 7-8 звездных величин. Всего в настоящее время известно около 300 новых звезд, из них около 150 вспыхнуло в нашей Галактике. По характеру спектра вблизи эпохи максимума различают 2 типа сверхновых звезд. Сверхновые I типа вблизи максимума отличаются непрерывным спектром, в которых не видно никаких линий. У сверхновых II типа светимость в максимуме несколько меньше, чем у сверхновых I типа. Их спектры отличаются усилением ультрафиолетового свечения

Пульсары. Длительность отдельного импульса у таких источников составляет от несколько миллисекунд до несколько десятых долей секунды. Резкость импульсов и необычайная правильность их повторений позволяют с очень большой точностью определить периоды пульсаций этих объектов, названных пульсарами. Рентгеновское излучение, которое возникает на других небесных телах, не достигает поверхности Земли, т. к. полностью поглощается атмосферой. Оно исследуется спутниковыми рентгеновскими телескопами, такими как Чандра и XMM-Ньютон.

Методы определения расстояний до звёзд

Метод параллакса. Вследствие годичного движения Земли по орбите близкие звезды немного перемещаются относительно далеких «неподвижных» звезд. За год такая звезда описывает на небесной сфере малый эллипс, размеры которого тем меньше, чем звезда дальше. В угловой мере большая полуось этого эллипса приблизительно равна величине максимального угла, под которым со звезды видна 1 а. е. (большая полуось земной орбиты), перпендикулярная направлению на звезду. Этот угол, называемый годичным или тригонометрическим параллаксом звезды, равный половине ее видимого смещения за год, служит для измерения расстояния до нее на основе тригонометрических соотношений между сторонами и углами треугольника. Расстояние r до звезды, определяемое по величине ее тригонометрического параллакса, равно: $r = 206265'' / (\text{а. е.})$, где параллакс выражен в угловых секундах. Для удобства определения расстояний до звезд с помощью параллаксов в астрономии применяют специальную единицу длины – парсек (пс). Звезда, находящаяся на расстоянии 1 пс, имеет

параллакс, равный 1". Согласно вышеназванной формуле, $1 \text{ пс} = 206265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{18} \text{ см.}$

Фотометрический метод определения расстояний. Освещенности, создаваемые одинаковыми по мощности источниками света, обратно пропорциональны квадратам расстояний до них. Следовательно, видимый блеск одинаковых светил (т. е. освещенность, создаваемая у Земли на единичной площадке, перпендикулярной лучам света) может служить мерой расстояния до них. Абсолютные звездные величины многих классов светил (звезд, галактик и др.) можно оценивать по ряду их физических свойств. Зная расстояния до некоторого числа звезд, вычисленные методом параллакса, можно было вычислить светимости и сопоставить их со спектром тех же звезд.

Определение расстояния по относительным скоростям. Косвенным показателем расстояния до звезд являются их относительные скорости: как правило, чем ближе звезда, тем больше смещается она по небесной сфере. Определить таким способом расстояние, конечно нельзя, но этот способ дает возможность «вылавливать» близкие звезды. Также существует другой метод определения расстояний по скоростям, применимый для звездных скоплений. Он основан на том, что все звезды, принадлежащие одному скоплению, движутся в одном и том же направлении по параллельным траекториям. Измерив лучевую скорость звезд с помощью эффекта Доплера, а также скорость, с которой эти звезды смещаются относительно очень удаленных, то есть условно неподвижных звезд, можно определить расстояние до интересующего нас скопления.

Цефеиды. Важный метод определения фотометрических расстояний в Галактике и до соседних звездных систем—Галактик — основан на характерном свойстве переменных звезд — цефеид. Цефеиды — это неустойчивые звезды спектральных классов от F6 до G8, которые пульсируют в результате нарушения равновесия между силой тяжести и внутренним давлением, причем кривая изменения их параметров напоминает гармонический закон. С течением времени колебания ослабевают и затухают. Периоды различных цефеид от 1,5 часов до 45 суток. Все цефеиды — гиганты большой светимости, причем светимость строго зависит от периода.

Лекция 10

Галактика

Распределение звёзд в Галактике. Скопления. Общее строение Галактики.

Скопления галактик – гравитационно-связанные системы галактик, одни из самых больших структур во вселенной. Размеры скоплений галактик могут достигать 10^8 световых лет.

Скопления условно разделяются на два вида:

регулярные – скопления правильной сферической формы, в которых преобладают эллиптические и линзовидные галактики, с чётко выраженной центральной частью. В центрах таких скоплений расположены гигантские эллиптические галактики. Пример регулярного скопления — скопление Волос Вероники.

иррегулярные – скопления без определённой формы, по количеству галактик уступающие регулярным. В скоплениях этого вида преобладают спиральные галактики. Пример – скопление Девы.

Массы скоплений варьируются от 10^{13} до 10^{15} масс Солнца.

Распределение звезд в Галактике имеет две ярко выраженные особенности: во-первых, очень высокая концентрация звезд в галактической плоскости, и во-вторых, большая концентрация в центре Галактики.

Размеры Галактики:

- диаметр диска Галактики около 30 кпк (100 000 световых лет),
- толщина – около 1000 световых лет.

Солнце расположено очень далеко от ядра Галактики – на расстоянии 8 кпк (около 26 000 световых лет).

Центр Галактики находится в созвездии Стрельца.

Галактика состоит из диска, гало и короны. Центральная, наиболее компактная область Галактики называется ядром. В ядре высокая концентрация звезд: в каждом кубическом парсеке находятся тысячи звезд. Если бы мы жили на планете около звезды, находящейся вблизи ядра Галактики, то на небе были бы видны десятки звезд, по яркости сопоставимых с Луной. В центре Галактики предполагается существование массивной черной дыры.

Галактика содержит две основных подсистемы (два компонента), вложенные одна в другую и гравитационно-связанные друг с другом. Первая называется сферической – гало, ее звезды концентрируются к центру галактики, а плотность вещества, высокая в центре галактики, довольно быстро падает с удалением от него. Центральная, наиболее плотная часть гало в пределах нескольких тысяч световых лет от центра Галактики называется балдж. Вторая подсистема – это массивный звездный диск. Он представляет собой как бы две сложенные краями тарелки. В диске концентрация звезд значительно больше, чем в гало. Звезды внутри диска

движутся по круговым траекториям вокруг центра Галактики. В звездном диске между спиральными рукавами расположено Солнце.

Звезды галактического диска были названы населением I типа, звезды гало – населением II типа.

Пространственное перемещение звёзд. Вращение Галактики

Вращение Галактики происходит по часовой стрелке, если смотреть на Галактику со стороны ее северного полюса, находится в созвездии Волосы Вероники. Угловая скорость вращения зависит от расстояния от центра и убывает по мере удаления от центра. Солнце движется со скоростью около 220 км/с вокруг центра Галактики и делает полный оборот вокруг центра за 220 миллионов лет. За время своего существования Солнце облетело Галактику примерно 30 раз. Звезды гало быстро движется по всевозможным направлениям, так что среднее различие между скоростями пространственно близких звезд – дисперсия скоростей – составляет для них сотни км в сек. Звезды диска – это значительно более «холодная» система, зато с более быстрым вращением. Однако самая низкая динамическая температура у совокупности газовых облаков в диске галактики и у молодых звезд, которые из этих облаков образуют и поэтому сохраняет те же особенности движения. Их дисперсия скоростей в большинстве наблюдаются галактик близка к 10 км/с, что в 15–30 раз меньше, чем скорость вращения вокруг центра. Анализ вращения показал, что Галактике помимо гало, балджа и диска, вместе с нахождением в них газа, есть большие массы несветящегося вещества, названного скрытой массой или темным гало. Масса Галактики с учетом скрытой массы оценивается примерно в 10^{12} масс Солнца.

Межзвёздные пыль, газ, молекулярные облака. Космические лучи, галактическая корона и магнитное поле

Пылевые частицы в нашей Галактике сильно концентрируются к плоскости галактического диска, поэтому Большая часть тёмных пятен сосредоточена именно на фоне Млечного Пути. Межзвёздная пыль полностью закрывает от нас ядро нашей Галактики. Если бы не это обстоятельство, на ночном небе между созвездиями Стрельца и Скорпиона сияло бы огромное размытое пятно, по яркости соперничающее с диском Луны. Межзвёздная пыль предстаёт перед наблюдателями не только в виде тёмных туманностей. Если вблизи пылевого облака находится звезда, которая его освещает, то это облако будет видно уже как светлая туманность. В таком случае её называют отражательной туманностью.

Межзвёздная пыль состоит из двух видов частиц: графитовых и силикатных. Межзвёздный газ – это разреженная газовая среда, заполняющая всё пространство между звёздами. Межзвёздный газ прозрачен. Полная масса межзвёздного газа в Галактике превышает 10 миллиардов масс Солнца или несколько процентов суммарной массы всех звёзд нашей Галактики.

Обширные области молекулярного газа с массами 10^4 - 10^6 солнечных масс называется гигантскими молекулярными облаками (ГМО).

Изолированные гравитационно связанные маленькие молекулярные облака с массами меньше чем несколько сотен масс Солнца называют глобулой Бока.

Наиболее важные результаты о природе межзвездной среды в этой области Галактики получаются на основании изучения космических лучей, представляющих собой весьма энергичные элементарные частицы и атомные ядра, движущиеся с огромными скоростями, близкими к скорости света. Энергии этих частиц поистине колоссальны. Проходя через земную атмосферу, космические лучи сталкиваются с молекулами воздуха и порождают много новых энергичных частиц. Содержание в космических лучах наиболее тяжелых элементов, таких как Ca, Fe, Ni, превышающие среднее содержание их в космосе в несколько десятков раз. Аномально высокое содержание лития, бериллия и бора в космических лучах объясняется расщеплением более тяжелых ядер из-за столкновений с ядрами атомов межзвездного газа. Существующее магнитное поле в Галактике, а именно поляризация света удаленных звезд. Точные измерения показали, что излучения многих звезд, наблюдаются в больших областях на небе, одинаково поляризовано, причем плоскость поляризации плавно изменяет свое направление в пределах всей области. Характер и величина ($\sim 10\%$) поляризации говорят о том, что межзвездное поглощение, которое испытывает свет далеких звезд, вызывается удлинёнными частицами, одинаково ориентированными в больших областях Галактики. Естественно предположить, что подобной ориентированной силой является магнитное поле. Галактическая корона, совокупность шаровых скоплений, занимает концентрический с ядром Галактики, почти сферический объём, средний диаметр которого превышает поперечник Галактики. К Галактической короне относят также большое количество звёзд, состоящие вместе с шаровыми скоплениями сферическую составляющую нашей Галактики. В частности, к ней относят короткопериодические цефеиды, встречающиеся в самих шаровых скоплениях, для которых они служат индикаторами расстояний. Галактическую корону называют иногда галактическим гало. В некоторых случаях в астрономической литературе Галактическую корону называют крайне разреженную среду, состоящую из газа, быстрых электронов и космических лучей, заполняющую обширный эллипсоидальный объём, окружающий Галактику за пределами распространения её звёздной составляющей. Тогда под гало подразумевают только звёздную составляющую Галактической короны.

Классификация галактик

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК ПО ХАББЛУ



The diagram illustrates Hubble's classification of galaxies, organized into two rows. The top row shows the progression from elliptical to spiral galaxies: E0 (a smooth, round elliptical galaxy), E3 (a slightly flattened elliptical galaxy), E7 (a highly flattened elliptical galaxy), and S0 (a lenticular galaxy with a central bulge and a thin disk). The bottom row shows the progression from Sa (a regular spiral galaxy with a central bar) to Sb (an intermediate spiral galaxy) to Sc (a loose, irregular spiral galaxy). The labels E0, E3, E7, S0, Sa, Sb, Sc, SBa, SBb, and SBc are placed below their respective galaxy images.

Е0 Е3 Е7 S0

Sa Sb Sc

SBa SBb SBc

В ранней классификации отсутствовали неправильные галактики

На этой диаграмме 61 близкий объект снятый космическими телескопами Гершель и Спитцер. Они расположены примерно в 10-100

миллионах световых лет от Земли и были сфотографированы в рамках исследовательских программ.

На изображениях галактик вместо звезд, видна межзвездная пыль, которая нагревается горячими молодыми звездами, видимые только инфракрасными телескопами, такими как Гершель и Спитцер.

Каждое отдельное изображение трехцветное и показывает теплую пыль (синий цвет), обнаруженную Спитцером на длине волны 24 мкм, и более прохладную пыль снятую Гершелем в диапазоне 100 мкм (зеленый) и 250 мкм (красный).

Эллиптические галактики – имеют форму сфероида или удлинённой сферы. На небе, где можно видеть только два из трех измерений, эти звездные острова овальные и имеют форму дисков. Их поверхностная яркость уменьшается, по направлению от центра. Чем больше число в классификации эллиптических галактик, тем большую форму эллипса они имеют. Так, например, по классификации E0 – идеально круглая, а E7 в форме овала. Эллиптическая шкала варьирует от E0 до E7.

Спиральные состоят из трех основных компонентов: балджа, диск и гало. Балдж (выпуклость) находится в центре галактики. Она содержит, в основном, старые звезды. Диск состоит из пыли, газа и молодых звезд. Диск образует ряд структур. Наше Солнце, например, находится в руке Ориона. Гало – свободные, сферические структуры, расположенные вокруг балджа. Гало содержит старые звездные скопления, известные как шаровые скопления.

Галактика типа S0 это промежуточный тип между E7 и спиральными Sa. Они отличаются от эллиптических, поскольку имеют выпуклость и тонкий диск, но отличаются от Sa, потому что они не имеют спиральную структуру. S0 галактики, также известны как линзовидные

Неправильные не имеют постоянной и симметричной структуры. Они делятся на две группы, IrrI и IrrII. IrrI имеют регионы HII, которые являются областями ионизированного водорода. Также в них много молодых горячих звезд. IrrII содержат большое количество пыли, которая блокирует большую часть света от звезд. Все это делает практически невозможным обнаружить отдельные звезды. Их форма, зачастую, является совершенно неправильной.

Определение расстояний до галактик. Закон Хаббла. Красное смещение в спектрах галактик.

Существует несколько способов определения расстояний до галактик. Легче всего это можно сделать, если в галактике наблюдаются хорошо изученные объекты, светимость которых известна. Для определения расстояний достаточно найти видимую звездную величину такого объекта и вычислить модуль расстояния, не забывая при этом учитывать влияние межзвездного поглощения света. О расстояниях до удаленных галактик, в которых перечисленные объекты не видны, судят по их видимым угловым размерам или по видимой звездной величине. Для этого необходимо,

очевидно, знать размеры или светимости галактик данного типа. Наконец, еще один способ основан на определении величины красного смещения. Это явление заключается в том, что все спектральные линии в спектрах далеких галактик оказываются смещенными к красному концу.

Закон Хаббла (закон всеобщего разбегания галактик) – эмпирический закон, связывающий красное смещение галактик и расстояние до них линейным образом. Закон Хаббла установлен экспериментально Э. Хабблом в 1929 году для галактик с помощью 100" телескопа, который разрешает ближайшие галактики на звезды. Среди них были цефеиды, используя зависимость «период-светимость» которых, Хаббл измерил расстояние до них, а также красное смещение.

Полученный Хабблом коэффициент пропорциональности составлял около 500 км/с на мегапарсек. Современное значение составляет $74,2 \pm 3,6$ км/с на мегапарсек. Столь существенную разницу обеспечивают два фактора: отсутствие поправки нуль-пункта зависимости «период-светимость» на поглощение (которое тогда ещё не было открыто) и существенный вклад собственных скоростей в общую скорость для местной группы галактик.

Красное смещение – наблюдаемое для всех далёких источников (галактики, квазары) понижение частот излучения, свидетельствующее о динамическом удалении этих источников друг от друга и, в частности, от нашей Галактики, т.е. о нестационарности Метагалактики. Красное смещение для галактик было обнаружено американским астрономом В. Слайфером в 1912-1914 году; в 1929 году Э. Хаббл открыл, что красное смещение для далёких галактик больше, чем для близких, и возрастает приблизительно пропорционально.

Квазары

Квазары – самые отдаленные от нас астрономические объекты. Расстояние до этого квазара, видимого в оптический телескоп как звезда девятнадцатой величины, составляет 12,8 млрд световых лет. Радиосигналы, посланные этими квазарами тогда, когда еще не была сформирована наша Галактика, в том числе Солнечная система, можно только сегодня зарегистрировать на земле. А преодолевают эти лучи огромное расстояние – более 13 млрд световых лет.

Пространственное распределение галактик

Обычно галактики встречаются небольшими группами, содержащими по десятку членов, часто объединяющимися в обширные скопления сотен и тысяч галактик. Наша Галактика входит в состав так называемой Местной группы, включающей в себя три гигантские спиральные галактики (наша Галактика, туманность Андромеды и туманность в созвездии Треугольника), а также более 15 карликовых эллиптических и неправильных галактик, крупнейшими из которых являются Магеллановы Облака. В среднем

размеры скоплений галактик составляют около 3 Мпс. В отдельных случаях диаметр их может превышать 10-20 Мпс. Они делятся на рассеянные (неправильные) и сферические (правильные) скопления. Рассеянные скопления не обладают правильной формой и имеют нерезкие очертания. Галактики в них весьма слабо концентрируются к центру. Примером гигантского рассеянного скопления может служить ближайшее к нам скопление галактик в созвездии Девы. На небе оно занимает примерно 120 кв. градусов и содержит несколько тысяч преимущественно спиральных галактик. Расстояние до центра этого скопления составляет около 11 Мпс. Сферические скопления галактик более компактны, чем рассеянные, и обладают сферической симметрией. Их члены заметно концентрируются к центру. Примером сферического скопления является скопление галактик в созвездии Волос Вероники, содержащее очень много эллиптических и линзообразных галактик. Его диаметр составляет почти 12 градусов. В нем содержатся около 30 000 галактик ярче 19 фотографической звездной величины. Расстояние до центра скопления составляет около 70 Мпс.

Практическая работа № 1

Основные элементы небесной сферы

Цель работы: изучение основных элементов и суточного вращения небесной сферы на ее модели

Теоретическая часть.

Небо представляется наблюдателю как сферический купол, окружающий его со всех сторон. В связи с этим еще в глубокой древности возникло понятие небесной сферы (небесного свода) и определены ее основные элементы.

Небесной сферой называется воображаемая сфера произвольного радиуса, на внутренней поверхности которой, как представляется наблюдателю, расположены небесные светила. Наблюдателю всегда кажется, что он находится в центре небесной сферы (т. O на рис. 1.1).

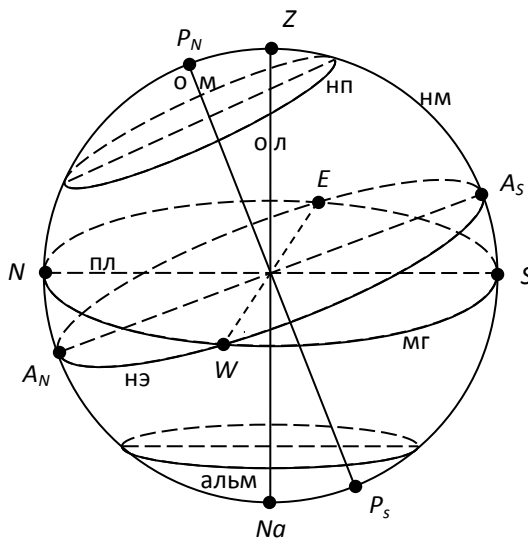


Рис. 1.1. Основные элементы небесной сферы

Пусть наблюдатель держит в руках отвес – небольшой массивный грузик на нити. Направление этой нити называют *линией отвеса*. Проведем линию отвеса через центр небесной сферы. Она пересечет эту сферу в двух диаметрально противоположных точках, называемых *зенитом* Z и *надиром* Na . Зенит находится точно над головой наблюдателя, а надир скрыт земной поверхностью.

Проведём через центр небесной сферы плоскость, перпендикулярную к отвесной линии. Она пересечет сферу по большому кругу, называемому *математическим* или *истинным горизонтом*. (Напомним, что круг, образованный сечением сферы плоскостью, проходящей через центр, называется *большим*; если же плоскость рассекает сферу, не проходя через ее центр, то сечение образует *малый круг*). Математический горизонт параллелен видимому горизонту наблюдателя, но не совпадает с ним.

Через центр небесной сферы проведём ось, параллельную оси вращения Земли, и назовём *осью мира* (по латыни – Axis Mundi). Ось мира пересекает небесную сферу в двух диаметрально противоположных точках, называемых *полюсами мира*. Полюсов мира два – *северный* P_N и *южный* P_S . За северный полюс мира принимается тот, по отношению к которому суточное вращение небесной сферы, возникающее вследствие вращения Земли вокруг своей оси, происходит против часовой стрелки, если смотреть на небо изнутри небесной сферы (как мы на него и смотрим). Вблизи северного полюса мира расположена Полярная звезда – α Малой Медведицы – самая яркая звезда в этом созвездии.

Точка математического горизонта, наиболее близкая к северному полюсу мира, называется *точкой севера* N . Самая отдаленная от северного полюса мира точка истинного горизонта – *точка юга* S . Она же расположена ближе всего к южному полюсу мира. Линия в плоскости математического горизонта, проходящая через центр небесной сферы и точки севера N и юга S , называется *полуденной линией*.

Через центр небесной сферы перпендикулярно к оси мира проведём плоскость. Она пересечет сферу по большому кругу, называемому *небесным экватором*. Небесный экватор пересекается с истинным горизонтом в двух диаметрально противоположных точках *востока* E и *запада* W . Небесный экватор делит небесную сферу на две половины – *северное полушарие* с вершиной в северном полюсе мира P_N и *южное полушарие* с вершиной в южном полюсе мира P_S . Плоскость небесного экватора параллельна плоскости земного экватора.

Точки севера N , юга S , запада W и востока E называются *сторонами горизонта*.

Большой круг небесной сферы, проходящий через полюса мира P_N и P_S , зенит Z и надир Na , называется *небесным меридианом*. Плоскость небесного меридиана совпадает с плоскостью земного меридиана наблюдателя и перпендикулярна плоскостям математического горизонта и небесного экватора. Небесный меридиан делит небесную сферу на два полушария – *восточное*, с вершиной в точке востока E , и *западное*, с вершиной в точке запада W . Небесный меридиан пересекает математический горизонт в точках севера N и юга S . На этом основаны метод ориентации по звездам на земной поверхности. Если мысленно соединить точку зенита Z , лежащую над головой наблюдателя, с Полярной звездой и продолжить эту линию дальше, то точка ее пересечения с горизонтом и будет точкой севера N . Небесный меридиан пересекает математический горизонт по полуденной линии.

Малый круг, параллельный истинному горизонту, называется *альмукантарат* (по-арабски – круг равных высот). На небесной сфере можно провести сколько угодно альмукантаратов.

Малые круги, параллельные небесному экватору, называются *небесными параллелями*, их также можно провести бесконечно много. Суточное движение звёзд происходит вдоль небесных параллелей.

Большие круги небесной сферы, проходящие через зенит Z и надир Na , называются *кругами высоты* или *вертикальными кругами (вертикалами)*. Вертикальный круг, проходящий через точки востока E и запада W , называется *первым вертикалом*. Плоскости вертикалов перпендикулярны математическому горизонту и альмукантаратам.

Большие круги, проходящие через полюса мира P_N и P_S , называются *часовыми кругами* или *кругами склонения*. Плоскости часовых кругов перпендикулярны небесному экватору и небесным параллелям.

Небесный меридиан является одновременно и вертикальным кругом, и кругом склонения, поэтому его плоскость перпендикулярна и математическому горизонту, и небесному экватору.

В какой бы точке на поверхности Земли не находился наблюдатель, он всегда видит суточное вращение небесной сферы, происходящее вокруг оси мира. Наблюдателю при этом кажется, что каждое светило небосвода описывает в течение суток окружность вокруг Полярной звезды, то есть движется по небесной параллели.

Пусть наблюдатель находится на поверхности Земли в точке с географической широтой φ . Изобразим схематично земной шар и наблюдателя на нем (рис. 1.3). Отметим положения основных элементов небесной сферы в проекции на плоскость географического меридиана наблюдателя.



Рис. 1.3. расположение основных элементов небесной сферы относительно земного наблюдателя

Из рис. 1.3 видно, что угол наклона оси мира к плоскости математического горизонта равен φ . Это позволяет нам сформулировать *теорему о высоте Полярной звезды над горизонтом*:

Высота северного полюса мира (Полярной звезды) над горизонтом численно равна географической широте места наблюдения.

Для г. Стерлитамака географическая широта равна: $\varphi = 53^\circ 27'$, то есть Северный полюс мира, отмеченный на небе Полярной звездой (α Малой Медведицы), находится на высоте $53^\circ 27'$.

Земля обращается вокруг Солнца по орбите, форма которой близка к круговой, с периодом один год. Земному наблюдателю, не замечающему собственного движения, при этом кажется, что Солнце описывает среди звезд на небесной сфере круг с периодом 1 год.

Солнце в астрономии обычно обозначается символом $\odot$.

Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора на угол, равный $23^\circ 26'$, который называется *наклоном эклиптики* и обозначается ε . Это – угол между плоскостями орбиты Земли и земного экватора.

Точки небесной сферы, удаленные от всех точек эклиптики на 90° , называются *полюсами эклиптики* (рис. 1.4). Северный полюс эклиптики, обозначаемый Π_N , находится в северном полушарии небесной сферы, южный Π_S – в южном полушарии. Примечательно, что недалеко от северного полюса эклиптики расположена чрезвычайно красивая планетарная туманность Кошачий Глаз (NGC 6543), к сожалению, не видимая невооруженным глазом.

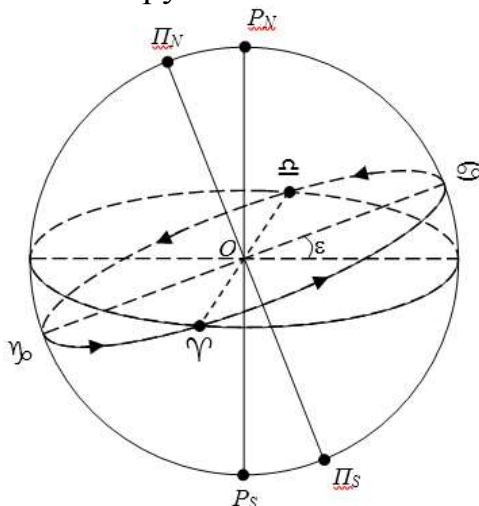


Рис. 1.4. Основные точки эклиптики

Точки пересечения эклиптики и небесного экватора называются *точками равноденствий*. Их две. Одна из них – *точка весеннего равноденствия*, обозначаемая символом созвездия Овен γ и находящаяся ныне в соседнем созвездии Рыбы. В ней Солнце бывает ежегодно 21 марта. Вторая – *точка осеннего равноденствия* ε , которую Солнце проходит 23 сентября. Она обозначается знаком созвездия Весов, а находится в настоящее время в Деве.

Наиболее отдаленные от небесного экватора точки эклиптики называют *точками солнцестояний*. Их также две. Точку *летнего солнцестояния* $\odot$, находящуюся в Близнецах, Солнце проходит 22 июня, а в

точке зимнего солнцестояния Υ , расположенной в Стрельце, бывает 22 декабря.

Задания.

1. Изучить основные элементы небесной сферы и изменение их положения относительно наблюдателя в процессе суточного вращения небесной сферы и зарисовать в тетради.
2. Указать расположение основных элементов небесной сферы относительно истинного горизонта.

Практическая работа № 2

Система небесных координат

Цель работы: изучение условий видимости небесных светил в различных местах земной поверхности.

Теоретическая часть.

Видимое положение светил и любых точек на небесной сфере определяется двумя сферическими координатами. В астрономии используется несколько различных систем небесных координат. Выбор той или иной системы координат определяется содержанием выполняемой задачи. Однако, принцип построения всех систем сферических координат един.

На небесной сфере выбирается большой круг, принимаемый за *основной круг* системы координат. Именно он определяет название системы координат. Две диаметрально противоположные точки небесной сферы, удаленные на 90° от всех точек основного круга, называются *полюсами* этого круга.

Одна координата отсчитывается вдоль основного круга от некоторой выбранной точки, называемой *нуль – пунктом* системы координат. Вторая координата отсчитывается от основного круга в перпендикулярном направлении, вдоль большого круга, проходящего через полюса основного круга.

Горизонтальная система координат. За основной круг принимается *математический горизонт*. Его полюсами являются точки зенита (Z) и надира (Na). Нуль-пунктом в горизонтальной системе координат является *точка юга* S на горизонте (рис. 2.1).

Положение небесного светила в горизонтальной системе определяется двумя координатами – *азимутом* A , изменяющимся в пределах от 0° до 360° , и *высотой* h , принимающей значения от 0° до $\pm 90^\circ$.

Азимут A отсчитывается вдоль математического горизонта от точки юга S в западном направлении. Азимуты основных точек горизонта:

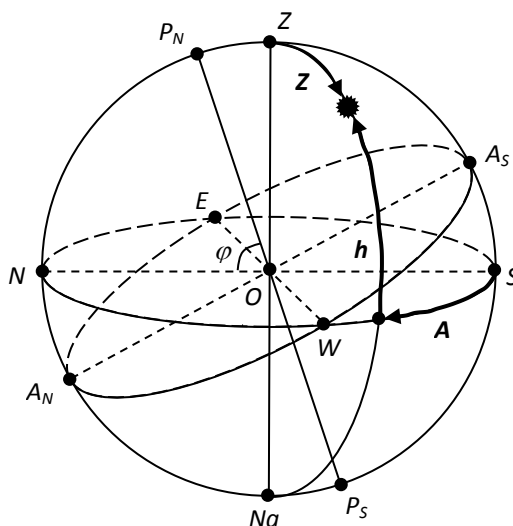


Рис. 2.1. Горизонтальная система координат

$$A_S = 0^\circ, \quad A_W = 90^\circ, \quad A_N = 180^\circ, \quad A_E = 270^\circ.$$

Вторая координата – высота h – отсчитывается вдоль вертикального круга от математического горизонта до светила. Над горизонтом высота светила положительна, под горизонтом – отрицательна. Все точки горизонта имеют высоту 0° , зенит – 90° , надир – -90° .

В практике наблюдений часто измеряют не высоту h , а зенитное расстояние z , то есть, удаленность светила от точки зенита до светила вдоль вертикального круга. Очевидно, что связь между высотой и зенитным расстоянием определяется формулой:

$$z + h = 90^\circ. \quad (2.1)$$

Зенитное расстояние всегда положительно и изменяется в пределах от 0° (точка Z) до 180° (Na). Все точки, лежащие на одном альмукантарате, имеют одинаковую высоту и зенитное расстояние.

При суточном вращении небесной сферы горизонтальные координаты светил непрерывно изменяются, принимая в различные моменты времени строго определенные различные значения. Это позволяет заранее вычислять горизонтальные координаты небесных светил и определять условия их видимости в заданные моменты времени. Но для составления звездных карт, списков и каталогов небесных объектов горизонтальная система координат не пригодна. Для этой цели требуется такая система координат, в которой вращение небесной сферы не влияло бы на значения обеих координат светила.

Экваториальные системы координат. Для неизменности сферических координат необходимо, чтобы координатная сетка вращалась вместе с небесной сферой. Наиболее пригодны для этих целей *экваториальные системы координат*. В них за основной круг принимается *небесный экватор*, полюсами которого являются *северный и южный полюсы мира*.

Первая экваториальная система координат. За нуль-пункт в первой экваториальной системе принимается *южная точка небесного экватора* A_S , не изменяющая своего положения на небе относительно горизонта при суточном вращении неба. От этой точки вдоль небесного экватора в направлении суточного вращения небесной сферы отсчитывается координата, называемая *часовым углом* t (рис. 2.2). Часовые углы измеряются в часовой мере и пределы их значений: от 0^h до 24^h . Вторая координата – *склонение* δ . Так называется дуга круга склонения от небесного экватора до светила. Склонение измеряется в градусной мере и изменяется в пределах: от 0° до $\pm 90^\circ$. В северном полушарии неба склонение положительно, а в южном отрицательно.

Иногда вместо склонения используется так называемое *полярное расстояние* p , измеряемое дугой круга склонения от северного полюса мира P_N до светила. Полярное расстояние всегда положительно и изменяется в пределах от 0° (точка P_N) до 180° (P_S). Полярное расстояние связано со склонением δ светила следующим соотношением:

$$\delta + p = 90^\circ. \quad (2.2)$$

Все точки небесной сферы, лежащие на одной небесной параллели, имеют одно и тоже склонение. При суточном вращении небесной сферы любое светило движется, описывая круг, вдоль небесной параллели, при этом его склонение не изменяется. Однако вторая координата – часовой угол светила – при суточном вращении неба непрерывно меняется. В связи с этим использовать первую экваториальную систему координат при составлении звездных карт и списков звезд нельзя.

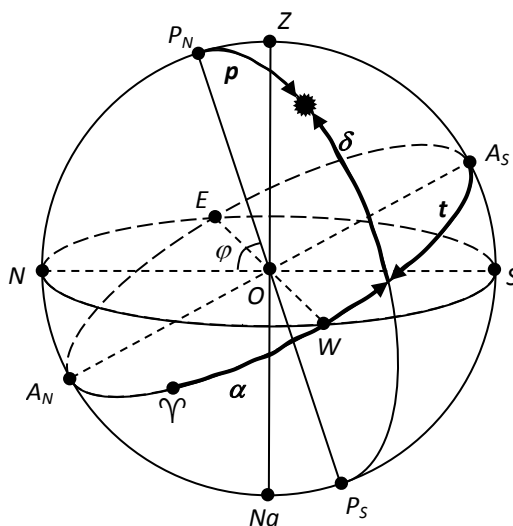


Рис. 2.2. Экваториальные системы координат

Обычно первая экваториальная система координат используется в процессе астрономических наблюдений при наведении телескопа на светило.

Вторая экваториальная система небесных координат. В этой системе координат основной круг – небесный экватор, а нуль-пункт – точка весеннего равноденствия на нем. Она вместе со всеми точками небесного экватора участвует в суточном вращении небесной сферы.

Во второй экваториальной системе координат положение светила на небесной сфере также определяется двумя координатами (рис. 2.2). Одна из них – по-прежнему – *склонение* δ . Другая называется *прямым восхождением* и обозначается α .

Прямое восхождение α называется дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия γ до точки пересечения небесного экватора с кругом склонения светила. Прямое восхождение всегда положительно, отсчитывается в направлении против суточного вращении небесной сферы,

Рис. 2.3. Кульминации светила

Как мы знаем, при суточном вращении небесной сферы любое светило движется вдоль небесной параллели. При этом оно дважды в сутки пересекает небесный меридиан. Моменты пересечения светилом небесного меридиана называются *кульминациями*. Различают две кульминации светила – верхнюю и нижнюю. *Верхняя кульминация*, когда высота светила максимальна, происходит в южной стороне неба, над точкой юга S на горизонте (рис. 2.3.). В момент *нижней кульминации*, происходящей вблизи точки севера N на горизонте, высота светила имеет наименьшее значение. Высоту светила в верхней и нижней кульминациях можно рассчитать по формулам

$$h_{\text{в.к.}} = (90^\circ - \varphi) + \delta, \quad (2.3)$$

$$h_{\text{н.к.}} = \delta - (90^\circ - \varphi). \quad (2.4)$$

В каждом месте земной поверхности с определенной географической широтой φ , условия видимости небесных светил зависят от соотношения их склонения δ и широты φ . В зависимости от этого соотношения одни светила являются незаходящими в данном месте Земли, другие – невосходящими, третьи – восходят и заходят. Причем продолжительность их пребывания над горизонтом на протяжении суток и положение точек их восхода и захода опять-таки зависят от соотношения φ и δ (рис. 2.4). Условия видимости светил выводятся из формул, определяющих их высоту в верхней и нижней кульминации.

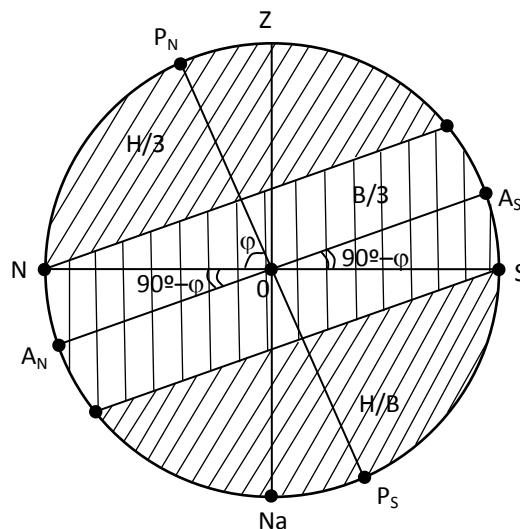


Рис. 2.4. Области незаходящих и невосходящих светил

Светила, которые даже в момент нижней кульминации не уходят под горизонт, то есть $h_{\text{н.к.}} \geq 0^\circ$, называются *незаходящими*. На основе этого определения можно записать *условие незаходимости*:

$$\delta > (90^\circ - \varphi). \quad (2.5)$$

Светила, которые даже в верхней кульминации не поднимаются над горизонтом, то есть $h_{\text{в.к.}} \leq 0^\circ$, называются *невосходящими*. Для них справедливо условие невосходимости:

$$\delta < -(90^\circ - \varphi). \quad (2.6)$$

Светила, верхняя кульминация которых происходит над горизонтом, а нижняя – под горизонтом, называются *восходящими* и *заходящими*. Условие восходимости и заходимости имеет вид:

$$(90^\circ - \varphi) > \delta > -(90^\circ - \varphi). \quad (2.7)$$

Соотношение между φ и δ определяет также и расположение светила относительно зенита в момент верхней кульминации:

при $\delta < \varphi$ верхняя кульминация светила происходит к югу от зенита;

при $\delta = \varphi$ в момент верхней кульминации светило проходит через точку зенита;

при $\delta > \varphi$ верхняя кульминация светила наблюдается к северу от зенита.

Поэтому при вычислении зенитного расстояния $z_{\text{в.к.}}$ или высоты $h_{\text{в.к.}}$ светила в верхней кульминации, около числового результата необходимо проставить буквы *S* или *N* (юг или север), указывающие направления верхней кульминации. Кроме того, поскольку высота светил может быть положительной и отрицательной, перед числовым ее значением следует обязательно поставить соответствующий знак.

Для определения условий видимости небесных светил в южном полушарии Земли нужно помнить, что там над истинным горизонтом находится южный полюс мира, большинство видимых небесных светил принадлежит южной небесной полусфере и имеет отрицательное склонение ($\delta < 0^\circ$), причем в нижней кульминации светила проходят через небесный меридиан над точкой юга или под ней. Поэтому при расчетах проще всего считать географическую широту φ точек южного полушария Земли и склонение δ небесных светил южной небесной полусферы положительными, а окончательному результату приписывать противоположное направление (*N* вместо *S* и наоборот). При вычислениях следует обязательно выполнять чертежи, которые дают наглядное представление о решаемых задачах и предохраняют от возможных ошибок.

Рассмотренные ранее условия видимости светил наглядно демонстрируются на модели небесной сферы. Помня, что всегда высота полюса мира $h_{\text{PN}} = \varphi$, можно установить модель небесной сферы на определенную географическую широту φ и, укрепив насадки-светила в разных точках модели (в точках с различным склонением), увидеть при вращении модели различные суточные пути светил, плоскости которых

наклонены к плоскости истинного горизонта под одним и тем же углом $i = 90^\circ - \varphi$.

Изменяя склонение δ насадок-светил, можно выяснить расположение точек их восхода и захода, условия их кульминации и условиях невосходящих и незаходящих светил.

Если же, не меняя склонения δ светил, последовательно устанавливать модель небесной сферы на разную широту φ , то можно убедиться в изменении условий видимости одних и тех же светил. Особенно рекомендуется обратить внимание на продолжительность пребывания над горизонтом различных широт светил, лежащих на небесном экваторе ($\delta = 0^\circ$). Это позволяет выяснить возможность наблюдений звезд на различных широтах областей северной и южной полусферы.

Установка модели небесной сферы для земного экватора ($\varphi = 0^\circ$; $h_{PN} = 0^\circ$) и северного географического полюса ($\varphi = +90^\circ$; $h_{PN} = +90^\circ$) позволяет представить себе вид звездного неба на этих широтах.

Задание.

1. Вычислить зенитное расстояние и высоту в верхней и нижней кульминации звезд на земном экваторе, северном тропике, северном полярном круге, северном географическом полюсе и в городах:

Звезды	Города
Капелла и Альфард	Санкт-Петербург и Махачкала
Мирфак и Ригель	Пермь и Нальчик
Шедар и Спика	Мурманск и Грозный
Мицар и Фомальгаут	Петрозаводск и Астрахань
Алголь и Сириус	Новгород и Майкоп
Вега и Антарес	Москва и Владивосток
Денеб и Мира	Архангельск и Южно-Курильск
Дубхе и Менкар	Владимир и Биробиджан

Практическая работа № 3

Основы работы с подвижной картой звездного неба

Цель работы: формирование навыков работы с подвижной картой звездного неба.

Задания.

1. Определить видимость звезд:
 - Видимость созвездия Водолея 31 августа в 00 часов. (да)
 - Видимость созвездия Кита 10 октября в 21 час. (да)
 - Видимость созвездия Большого Пса 5 октября в 19 часов 30 минут (нет).
 - Видимость созвездия Козерога 15 августа в 1 час 10 минут (да)
 - Видимость созвездия Волопаса 18 ноября в 5 часов. (да)
 - Видимость созвездия Стрельца 9 июля в 17 часов (нет)
 - Видимость созвездия Ориона 20 декабря в 5 часов 10 минут. (наполовину)
 - Видимость созвездия Змееносца 1 января в 00 часов. (нет)
 - Видимость созвездия Рыбы 23 ноября в 3 часа (наполовину)
 - Видимость созвездия Зайца 22 марта в 19 часов 50 минут. (да)
2. Определить время восхода и захода:
 - В какое время восходит α –Ориона 20 декабря? (17.30)
 - В какое время восходит β –Ориона 5 февраля? (15.10)
 - В какое время заходит α –Большого Пса 10 января? (3.30)
3. Найти созвездия, расположенные между точками запада и севера 25 октября в 21 час. (*запад – восток: Змееносец, Змея, Волопас и Волосы Вероники*)
4. Определить, какие из перечисленных созвездий – Малая Медведица, Волопас, Возничий, Орион – для данной широты будут незаходящими. (*Малая Медведица, Возничий, Волопас на половину*)
5. Определить, какое созвездие будет находиться вблизи горизонта с востока на юг 5 мая в полночь. (Орел, Щит, Змея, часть Скорпиона).

Практическая работа № 4 Гелиоцентрическая система Коперника

Цель работы: определение синодического и сидерического периода обращения небесных тел.

Теоретическая часть.

Существуют 2 системы мира:

а) по Птолемею: *геоцентрическая система, все небесные тела движутся около неподвижной Земли, которая является центром.*

б) по Копернику: *Земля – третья планета от Солнца и обращает Солнце за один звездный год; планеты движутся в пространстве вокруг Солнца – центра.*

Планетой называют небесное тело, движущееся вокруг звезды в ее гравитационном поле, имеющее форму, близкую к сферической, светящееся отраженным от звезды светом.

Помимо общего суточного движения планеты на фоне звезд описывают сложные петлеобразные пути. При медленном перемещении с запада на восток движение планеты называют прямым, а при перемещении с востока на запад – обратным, или попятным.

Конфигурациями планет называют характерные взаимные расположения планет, Земли и Солнца.

Синодический период обращения (S) – промежуток времени между двумя последовательными одноименными конфигурациями планеты.

Сидерический (или звездный) период обращения (T) – промежуток времени, в течение которого планета совершает полный оборот вокруг Солнца по орбите относительно звезд.

Формулы взаимосвязи синодического и сидерического периодов обращений:

а) для нижних планет:
$$S = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T_{\oplus} - T} \quad \text{или} \quad 1/S = 1/T - 1/T_{\text{Земли}}$$

б) для верхних планет:
$$S = \frac{T \cdot T_{\oplus}}{T - T_{\oplus}} \quad \text{или} \quad 1/S = 1/T_{\text{Земли}} - 1/T$$

Задания.

1. Перечислите:

а) нижние планеты;

б) верхние планеты;

2. Решите задачи:

Звездный период обращения Юпитера равен 12 годам. Через какой промежуток времени повторяются его противостояния?

Нижние соединения Меркурия повторяются через 116 суток. Определите сидерический период Меркурия.

Определите звездный период Венеры, если ее нижние соединения повторяются через 584 суток.

Какой синодический период Марса, если его звездный период $T = 1,88$ земного года?

Практическая работа № 5

Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе. Законы Кеплера

Цель работы: изучение закономерностей в движении планет и вычисление их конфигураций.

Теоретическая часть.

Под действием гравитационного притяжения к Солнцу планеты обращаются вокруг него по слабовытянутым эллиптическим орбитам. Солнце находится в одном из фокусов эллиптической орбиты планеты. Это движение подчиняется законам Кеплера.

Кеплер сформулировал 3 закона:

Первый закон Кеплера. Все планеты обращаются по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Второй закон Кеплера. Радиус-вектор планеты (линия, соединяющая центр Солнца с центром планеты) за равные промежутки времени описывает равновеликие площади.

Третий закон Кеплера. Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Задания.

1. Решить задачи:

Определите период обращения астероида Белоруссия, если большая полуось его орбиты $a = 2,40$ а. е.

Звездный период обращения Юпитера вокруг Солнца $T = 12$ лет. Каково среднее расстояние от Юпитера до Солнца?

Период обращения малой планеты Шагал вокруг Солнца $T = 5,6$ года. Определите большую полуось ее орбиты.

Большая полуось орбиты астероида Тихов $a = 2,71$ а. е. За какое время этот астероид обращается вокруг Солнца?

Практическая работа № 6

Космические скорости

Цель работы: формирование навыков определения космических скоростей.

Теоретическая часть.

Космическая скорость – это минимальная начальная скорость, которую необходимо придать объекту (например, космическому аппарату) на поверхности небесного тела, чтобы:

- v_1 – объект стал искусственным спутником центрального тела, то есть стал вращаться по круговой орбите вокруг него на нулевой или пренебрежимо малой высоте относительно поверхности,
- v_2 – объект преодолел гравитационное притяжение центрального тела и начал двигаться по параболической орбите, получив тем самым возможность удалиться на бесконечно большое расстояние от него,
- v_3 – при запуске с планеты объект покинул планетную систему, преодолев притяжение звезды.

• **Первая космическая скорость** $V_I = \sqrt{G \frac{M}{R}} = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ км/с}$, такую скорость необходимо сообщить телу, чтобы оно стало искусственным спутником Земли, по другому называют «круговая скорость».

• **Вторая космическая скорость** $V_{II} = 11,2 \text{ км/с}$. Если сообщить телу такую скорость, то оно сможет преодолеть силу земного притяжения и навсегда уйти от Земли.

• **Третья космическая скорость**, которую необходимо сообщить телу, чтобы оно покинуло пределы Солнечной системы. Значение этой скорости $V_{III} = 16,6 \text{ км/с}$.

Задания.

1. Вычислить первую космическую скорость для планет Солнечной системы.

Небесное тело	Первая космическая скорость, км/с	Вторая космическая скорость, км/с	Масса, кг
Меркурий	2,7	4,2	$3,28 \cdot 10^{23}$
Венера	7,2	10,4	$4,87 \cdot 10^{24}$
Марс	3,5	5,0	$6,42 \cdot 10^{23}$
Юпитер	43,5	60,4	$1,9 \cdot 10^{27}$
Сатурн	26,0	36,4	$5,7 \cdot 10^{26}$
Уран	15,3	20,8	$8,7 \cdot 10^{25}$
Нептун	17,0	23,7	$1,03 \cdot 10^{26}$
Солнце	439,3	617,7	$1,99 \cdot 10^{30}$

2. Выяснить связь космической скорости от массы и радиуса небесного тела тел. (Чем больше масса и чем меньше радиус небесного тела, тем больше его космические скорости)

3. Решить задачи

- Вычислите первую космическую скорость для Солнца. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, диаметр Солнца $1,4 \cdot 10^9$ м. (437км/с)
- Вычислите первую космическую скорость для Луны. Масса Луны $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, диаметр Луны 3474 км. (4,5км/с).

Практическая работа № 7

Закон всемирного тяготения и задача двух тел

Цель работы: определение масс небесных тел и изучение гравитационного ускорения.

Теоретическая часть.

Из закона всемирного тяготения вытекают, как следствия, все три закона Кеплера, которые И. Ньютон вывел математически в более общем виде, применимом не только к обращению планет вокруг Солнца, но и к любым системам обращающихся тел.

Задача определения орбиты одного небесного тела относительно другого называется *задачей двух тел*. При решении этой задачи небесное тело большей массы M , называемое центральным телом, полагается неподвижным, и определяется орбита, по которой тело меньшей массы m движется относительно центрального тела. Ньютон показал, что в поле тяготения центрального тела любое другое небесное тело будет двигаться по одному из конических сечений – кругу, эллипсу, параболе или гиперболе, причем центральное тело всегда находится в одном из фокусов орбиты движущегося тела, линейная скорость v которого относительно центрального на данном расстоянии r определяется интегралом энергии.

В результате круговая скорость равна

$$v_a = \sqrt{\frac{\mu}{r}}.$$

Если на расстоянии r от центрального тела скорость v движущегося тела несколько превышает v_a , соответствующую расстоянию r , такое тело также будет спутником центрального, и будет двигаться вокруг него по эллиптической орбите, большая полуось которой a может быть вычислена по интегралу энергии. Чем больше v превышает v_a , тем более вытянутой будет эллиптическая орбита ($0 < e < 1$).

Скорость

$$v_n = v_a \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$$

называется *параболической скоростью*.

При $v > v_n$ движение тела происходит по гиперболе ($e > 1$).

При вычислении тех или иных величин приходится пользоваться самыми различными единицами измерений. Так, расстояние между небесными телами выражаются и в километрах ($км$) и в астрономических единицах ($а.е.$), массы небесных тел – в массах Земли, массах Солнца, а иногда и в граммах ($г$), время – в годах, средних солнечных сутках и в секундах, линейная скорость, как правило, – в $км/с$ и так далее.

В астрономии часто применяется гауссова система единиц, в которой массы небесных тел выражаются в массах Солнца, единицей длины является

астрономическая единица (*а.е.*), а единицей времени – средние солнечные сутки.

Задания.

1. По движению Луны вокруг Земли определить массу Земли.
2. Вычислить круговую и параболическую скорости на среднем, перигелийном и афелийном расстояниях малой планеты: 1) Психеи; 2) Андромахи; 3) Эскулапии; 4) Урании; 4) Галатеи; 5) Глазенапии; 6) Полигимнии; 7) Фотографики.
3. Определить в массах Земли массу Солнца и планеты: 1) Марса (по движению Фобоса); 2) Юпитера (по движению Ио); 3) Сатурна (по движению Титана); 4) Урана (по движению Ариэля); 5) Нептуна (по движению Тритона); 6) Марса (по движению Деймоса); 7) Юпитера (по движению Европы); 8) Сатурна (по движению Япета).
4. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, Луны и той же планеты.

Практическая работа № 8

Планетарные тела и системы

Цель работы: характеристика планет Солнечной системы.

Задание.

Используя данные литературных источников необходимо охарактеризовать планеты Солнечной системы и заполнить таблицу:

[illegible]

Практическая работа № 9

Спутники планет Солнечной системы

Цель работы: характеристика основных спутников планет Солнечной системы.

Задание.

Используя данные литературных источников необходимо охарактеризовать спутники планет Солнечной системы и заполнить таблицу:

Название спутника	Название соответствующей планеты	Радиус орбиты (тыс. км)	Диаметр спутника (км)	Период обращения (в сутках)	Плотность (г/см ³)	Открыватель и год обнаружения	Особенности спутника

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 2 ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Тема 1.1 Земля как астрономический объект

Методы и основные результаты изучения формы Земли. Геоид. Изучение Земли с помощью ИСЗ. Географические координаты. Вид географических широт. Изменяемость географических координат. Жидкая (гидросфера) и твердая (литосфера) оболочки Земли. Внутреннее строение Земли. Понятие астеносферы. Атмосфера: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера (ионосфера) и экзосфера. Магнитосфера Земли.

РАЗДЕЛ 3 СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Тема 3.1 Наша Галактика

Наша Галактика. Ее размеры и структура. Звездные скопления. Спиральные рукава. Ядро Галактики. Области звездообразования. Вращение Галактики. Проблема «скрытой» массы (темная материя).

Тема 3.2 Строение и эволюция Вселенной

Разнообразие мира галактик. Квазары. Скопления и сверхскопления галактик. Основы современной космологии. «Красное смещение» и закон Хаббла. Эволюция Вселенной. Нестационарная Вселенная А.А. Фридмана. Большой взрыв. Реликтовое излучение. Ускорение расширения Вселенной. «Темная энергия» и антитяготение.

Вопросы к зачету по дисциплине «Астрономия»

1. Общее понятие об астрономии, связь с другими науками
2. История возникновения и развития науки астрономии
3. Общие понятия о звездном небе. Созвездия, их число и история возникновения
4. Суточное вращение, понятие о небесной сфере
5. Системы небесных координат
6. Измерение времени
7. Звёздное время
8. Истинное солнечное время
9. Среднее солнечное время
10. Уравнение времени, всемирное время, поясное время, декретное время
11. Календарь, принципы его построения и различные виды
12. Развитие представлений о строении мира. Гео- и гелиоцентрические системы мира
13. Видимое движение планет и его объяснение. Конфигурации планет
14. Определение расстояний в Солнечной системе
15. Движение тела под действием силы тяжести. Виды орбит
16. Определение масс небесных тел
17. Движение космических аппаратов. Три космические скорости
18. Общие сведения о Солнечной системе и её исследований
19. Физический характер Луны
20. Планеты земной группы
21. Планеты гиганты – их спутники
22. Малые планеты-астероиды
23. Кометы. Метеоры. Метеориты.
24. Методы и основные результаты изучения формы Земли. Геоид.
25. Внутреннее строение Земли
26. Атмосфера Земли
27. Магнитосфера Земли
28. Общее понятие о Солнце
29. Спектр и химический состав Солнца. Солнечная постоянная
30. Внутреннее строение Солнца
31. Активные образования в солнечной атмосфере. Центры солнечной активности
32. Эволюция Солнца
33. Модели строения звёзд. Строение вырожденных звёзд (белые карлики и нейтрон звёзды). Чёрные дыры
34. Основные этапы эволюции звезд. Планетарные туманности
35. Кратные и переменные звёзды (кратные, визуально-двойные, спектрально-двойные звёзды, невидимые спутники звёзд, затменно-двойные звёзды). Особенности строения тесных двойных систем

- 36. Физические переменные звёзды (пульсирующие переменные; эруптивные переменные: в начале эволюции, новые, сверхновые; пульсары, нейтронные звёзды). Рентгеновские источники излучения
- 37. Методы определения расстояний до звёзд
- 38. Распределение звёзд в Галактике. Скопления. Общее строение Галактики
- 39. Пространственное перемещение звёзд. Вращение Галактики
- 40. Межзвёздная пыль, газ, молекулярные облака. Космические лучи, галактическая корона и магнитное поле
- 41. Классификация галактик
- 42. Определение расстояний до галактик. Закон Хаббла. Красное смещение в спектрах галактик
- 43. Квазары. Пространственное распределение галактик

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
УО «ГГУ имени Ф. Скорины»

_____ И.В. Семченко

Регистрационный № УД-_____/р.

АСТРОНОМИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности:

1 – 31 02 01 - 02 «География (научно-педагогическая деятельность)»

Учебная программа составлена на основе учебного плана специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность» УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» утвержденного 09.04.2019 г., регистрационный № G31-01-19/УП

СОСТАВИТЕЛЬ:

Ю.В. Митько – ассистент кафедры геологии и географии Учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой геологии и географии ГГУ имени Ф. Скорины

(протокол № 9 от 10.04.2019 г.);

Научно-методическим советом университета
ГГУ имени Ф. Скорины

(протокол № 8 от 17.05.2019 г.);

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Астрономия – наука, изучающая строение и развитие космических тел, их систем и всей Вселенной.

Методы астрономических исследований очень разнообразны. Одни из них применяются при определении положения космических тел на небесной сфере, другие – при изучении их движения, третьи – при исследовании характеристик космических тел различными методами и, соответственно, с помощью различных инструментов ведутся наблюдения Солнца, туманностей, планет, метеоров, искусственных спутников Земли

В настоящее время важнейшие цели и задачи астрономии заключаются в формировании представлений о современной естественнонаучной картине мира, о единстве физических законов, действующих на Земле и в безграничной Вселенной, о непрерывно происходящей эволюции нашей планеты, всех космических тел и их систем, а также самой Вселенной.

Содержание программы учебной дисциплины «Астрономия» направлено на формирование у студентов: понимания принципиальной роли астрономии в познании фундаментальных законов природы и современной естественно-научной картины мира; знаний о физической природе небесных тел и систем, строения и эволюции Вселенной, пространственных и временных масштабах Вселенной; наиболее важных астрономических открытиях, определивших развитие науки и техники; умений объяснять видимое положение и движение небесных тел принципами определения местоположения и времени по астрономическим объектам,

В результате изучения дисциплины будут сформированы следующие компетенции:

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

ПК-1. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, законы и закономерности наук о Земле в профессиональной деятельности.

ПК-2. Применять метода математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в геофизике, геохимии, экологии и других науках естественнонаучного профиля. Разрабатывать методические подходы, выбирать приборы и оборудование, картографические и справочные материалы и проводить научно-исследовательские работы в области наук о Земле.

ПК-3. Владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием навыков работы с компьютером как средством управления информацией.

ПК-4. Определять проблемы в области наук о Земле и осуществлять постановку научных задач, представляющих как теоретический интерес, так и практическую значимость в области глобального и регионального природопользования.

ПК-5. Проводить анализ результатов полевых и экспериментальных исследований и измерений, оценивать их достоверность и осуществлять математическую обработку.

ПК-10. Оценивать последствия антропогенного воздействия на окружающую среду, разрабатывать приемы территориальной оптимизации среды жизнедеятельности населения.

ПК-13. Анализировать исторические и современные проблемы экономической и социальной жизни общества, проблемы и тенденции его устойчивого развития.

ПК-14. Выбирать оптимальные рекомендации по разрешению отраслевых, региональных, национальных и глобальных проблем в области природопользования.

ПК-15. Выполнять анализ и математическую обработку результатов полевых и экспериментальных исследований в области наук о Земле.

ПК-16. Реализовывать на практике принципы и нормативы рационального природопользования.

ПК-17. Самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

ПК-20. Проводить комплексную географическую экспертизу природно-хозяйственных и социально-экономических проектов в различных отраслях природопользования.

ПК-23. Организовывать и проводить мониторинг окружающей среды, проводить паспортизацию социально-экономических объектов, поселений и территорий.

ПК-34. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-35. Пользоваться глобальными информационными ресурсами для решения задач природопользования.

ПК-43. Разрабатывать и использовать в учебном процессе современное научно-методическое обеспечение.

ПК-44. Применять психолого-педагогические навыки в организации подготовки специалистов для высшей и средней школы.

ПК-45. Готовить научные и учебно-методические доклады, материалы к мультимедийным презентациям на основе анализа информационных ресурсов, инновационных технологий, проектов и решений.

ПК-46. Знать современные проблемы природопользования, определять цели инновационной деятельности и способы их достижения.

Общее количество часов – 96 (зачетных единиц – 2,5); аудиторное количество часов – 52, из них: лекции – 34, в том числе управляемая самостоятельная работа – 6, практические занятия – 18. Форма отчетности – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АСТРОНОМИИ

Тема 1.1 Предмет астрономии

Астрономия, ее связь с другими науками. Предмет, объект, задачи астрономии. Роль астрономии в развитии цивилизации. Структура и масштабы Вселенной. Особенности астрономических методов исследования. Практическое применение астрономических исследований.

Тема 1.2 Элементы сферической астрономии

Небесная сфера. Основные плоскости, линии и точки небесной сферы. Эклиптика. Системы небесных координат. Суточное вращение небесной сферы и связанные с ним явления. Суточное движение Солнца. Положения небесного экватора, эклиптики, оси мира, точки весеннего равноденствия и их относительное изменение со временем. Смена сезонов и тепловые пояса.

Тема 1.3 Измерение времени

Звездное, истинное и среднее солнечное время. Связь времен. Уравнение времени. Системы счета времени: местное, поясное, всемирное, декретное, эфемеридное и атомное время. Календарь. Юлианские дни.

Тема 1.4 Строение Солнечной системы

Развитие представлений о строении мира. Геоцентрическая система мира. Становление гелиоцентрической системы мира. Конфигурации планет и условия их видимости. Синодический и сидерический (звездный) периоды обращения планет.

Тема 1.5 Законы движения небесных тел

Законы Кеплера. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе. Горизонтальный параллакс. Движение небесных тел под действием сил тяготения. Определение массы небесных тел. Движение искусственных спутников Земли и космических аппаратов в Солнечной системе. Космические скорости.

РАЗДЕЛ 2 ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Тема 2.1 Солнечная система

Понятие о Солнечной системе. Земля и Луна – двойная планета. Исследования Луны космическими аппаратами. Планеты земной группы. Природа Меркурия, Венеры и Марса. Планеты-гиганты, их спутники и кольца. Малые тела Солнечной системы: астероиды, планеты-карлики, кометы, метеороиды. Метеоры, болиды и метеориты.

Тема 2.2 Земля как астрономический объект

Методы и основные результаты изучения формы Земли. Геоид. Изучение Земли с помощью ИСЗ. Географические координаты. Вид

географических широт. Изменяемость географических координат. Жидкая (гидросфера) и твердая (литосфера) оболочки Земли. Внутреннее строение Земли. Понятие астеносферы. Атмосфера: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера (ионосфера) и экзосфера. Магнитосфера Земли.

Тема 2.3 Солнце

Излучение и температура Солнца. Состав и строение Солнца. Методы астрономических исследований; спектральный анализ. Физические методы теоретического исследования. Закон Стефана–Больцмана. Источник энергии Солнца. Атмосфера Солнца. Солнечная активность и ее влияние на Землю. Роль магнитных полей на Солнце.

Тема 2.4 Звезды

Звезды: основные физико-химические характеристики и их взаимосвязь. Годичный параллакс и расстояния до звезд. Светимость, спектр, цвет и температура различных классов звезд. Эффект Доплера. Массы и размеры звезд. Двойные и кратные звезды. Гравитационные волны. Модели звезд. Переменные и нестационарные звезды. Цефеиды – маяки Вселенной. Эволюция звезд различной массы.

РАЗДЕЛ 3 СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Тема 3.1 Наша Галактика

Наша Галактика. Ее размеры и структура. Звездные скопления. Спиральные рукава. Ядро Галактики. Области звездообразования. Вращение Галактики. Проблема «скрытой» массы (темная материя).

Тема 3.2 Строение и эволюция Вселенной

Разнообразие мира галактик. Квазары. Скопления и сверхскопления галактик. Основы современной космологии. «Красное смещение» и закон Хаббла. Эволюция Вселенной. Нестационарная Вселенная А.А. Фридмана. Большой взрыв. Реликтовое излучение. Ускорение расширения Вселенной. «Темная энергия» и антитяготение.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Общие вопросы астрономии	10	12	–	–	–	–	–
1.1	Предмет астрономии 1. Астрономия, ее связь с другими науками. 2. Предмет, объект, задачи астрономии. 3. Особенности астрономических методов исследования. 4. Практическое применение астрономических исследований.	2	–	–	–	–	–	–
1.2	Элементы сферической астрономии 1. Небесная сфера. Основные плоскости, линии и точки небесной сферы. 2. Системы небесных координат. 3. Суточное вращение небесной сферы и связанные с ним явления. 4. Суточное движение Солнца.	2	4	–	–	–	–	–
1.3	Измерение времени 1. Звездное, истинное и среднее солнечное время. 2. Связь времен. Уравнение времени. 3. Системы счета времени: местное, поясное, всемирное, декретное, эфемеридное и атомное время. 4. Время и календарь.	2	2	–	–	–	–	–

1.4	Строение Солнечной системы 1. Развитие представлений о строении мира. Геоцентрическая система мира. 2. Становление гелиоцентрической системы мира. 3. Конфигурации планет и условия их видимости. 4. Синодический и сидерический (звездный) периоды обращения планет.	2	2	—	—	—	—	—
1.5	Законы движения небесных тел 1. Законы Кеплера. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе. 2. Определение массы небесных тел. 3. Движение искусственных спутников Земли и космических аппаратов в Солнечной системе. 4. Космические скорости	2	4	—	—	—	—	—
2	Природа тел Солнечной системы	14	6	—	—	—	2	—
2.1	Солнечная система 1. Понятие о Солнечной системе. 2. Планеты земной группы. Природа Меркурия, Венеры и Марса. 3. Планеты-гиганты, их спутники и кольца. 4. Малые тела Солнечной системы: астероиды, планеты-карлики, кометы, метеороиды.	4	2	—	—	—	—	—
2.2	Земля как астрономический объект 1. Методы и основные результаты изучения формы Земли. 2. Изучение Земли с помощью ИСЗ. 3. Географические координаты. 4. Оболочки Земли 5. Внутреннее строение Земли.	2	—	—	—	—	2	—
2.3	Солнце 1. Излучение и температура Солнца. 2. Состав и строение Солнца. 3. Методы астрономических исследований; спектральный анализ. Источник энергии Солнца. 4. Солнечная активность и ее влияние на Землю. 5. Роль магнитных полей на Солнце.	2	2	—	—	—	—	—

2.4	Звезды 1. Звезды: основные физико-химические характеристики и их взаимосвязь. 2. Годичный параллакс и расстояния до звезд. 3. Светимость, спектр, цвет и температура различных классов звезд. 4. Массы и размеры звезд. Двойные и кратные звезды. 5. Гравитационные волны.	4	2	–	–	–	–	–
3	Строение и эволюция Вселенной	8	–	–	–	–	4	–
3.1	Наша Галактика 1. Наша Галактика. Ее размеры и структура. 2. Звездные скопления. Спиральные рукава. 3. Ядро Галактики. 4. Области звездообразования. Вращение Галактики. 5. Проблема «скрытой» массы (темная материя).	2	–	–	–	–	2	–
3.2	Строение и эволюция Вселенной 1. Разнообразие мира галактик. Скопления и сверхскопления галактик. 2. Основы современной космологии. 3. Эволюция Вселенной. 4. Реликтовое излучение. 5. Ускорение расширения Вселенной.	2	–	–	–	–	2	–
Всего часов за 3 семестр:		28	18	–	–	–	6	зачет

Ассистент кафедры геологии и географии

Ю.В.Митько

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методические рекомендации по организации и выполнению УСР по дисциплине «Астрономия»

Для самостоятельного изучения выделяются следующие темы дисциплины «Астрономия»:

1. Земля как астрономический объект
2. Наша Галактика
3. Строение и эволюция Вселенной

Самостоятельное изучение данных тем преследует следующие цели:

- активизация учебно-познавательной деятельности обучающихся;
- формирование у обучающихся умений и навыков самостоятельного приобретения и обобщения знаний;
- формирование у обучающихся умений и навыков самостоятельного применения знаний на практике;
- саморазвитие и самосовершенствование.

Учебная программа УСР

Тема 2.2 Земля как астрономический объект – 2 часа.

Тема 3.1 Наша Галактика – 2 часа.

Тема 3.2 Строение и эволюция Вселенной – 2 часа.

Цели: сформировать достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания; сформировать компетенции на уровне воспроизведения; сформировать компетенции на уровне применения полученных знаний.

Виды заданий УСР с учетом модулей сложности

А) задания, формирующие достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:

1. Составить конспект лекций по темам на основе изучения специальной литературы по заданной теме.

Б) задания, формирующие компетенции на уровне воспроизведения;

1. Подготовить реферат по одной из предложенных тем.

Объем реферата по УСР – до 4–5 страниц печатного текста. Шрифт – Times New Roman, размер – 14, без переносов. Поля: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 10 мм. Межстрочный интервал – одинарный, выравнивание – по ширине страницы, абзацный отступ – 10 мм.

Структура работы – реферат может включать в себя следующие разделы: титульный лист; введение; основная часть; список использованных источников (не менее 3 источников).

Текстовая часть реферата нумеруется от первой до последней страницы по возрастанию, титульный лист работы является первым, номер страницы на

титульном листе не указывается. В титульном листе указываются: название учреждения образования, название кафедры, номер и тема УСР, данные об исполнителе.

Рекомендуемые темы рефератов

1. Астрономия – древнейшая из наук.
2. Современные обсерватории.
3. Об истории возникновения названий созвездий и звезд.
4. История календаря.
5. Хранение и передача точного времени.
6. История происхождения названий ярчайших объектов неба.
7. Прецессия земной оси и изменение координат светил с течением времени.
8. Системы координат в астрономии и границы их применимости.
9. Античные представления философов о строении мира.
10. Точки Лагранжа.
11. Современные методы геодезических измерений.
12. История открытия Плутона и Нептуна.
13. Конструктивные особенности советских и американских космических аппаратов.
14. Полеты АМС к планетам Солнечной системы.
15. Проекты по добыче полезных ископаемых на Луне.
16. Самые высокие горы планет земной группы.
17. Современные исследования планет земной группы АМС.
18. Парниковый эффект: польза или вред?
19. Полярные сияния.
20. Самая тяжелая и яркая звезда во Вселенной.
21. Экзопланеты.
22. Правда и вымысел: белые и серые дыры.
23. История открытия и изучения черных дыр.
24. Идеи множественности миров в работах Дж. Бруно.
25. Идеи существования внеземного разума в работах философов-космистов.
26. Проблема внеземного разума в научно-фантастической литературе.
27. Методы поиска экзопланет.
28. История радиопосланий землян другим цивилизациям.
29. История поиска радиосигналов разумных цивилизаций.
30. Методы теоретической оценки возможности обнаружения внеземных цивилизаций на современном этапе развития землян.
31. Проекты переселения на другие планеты: фантазия или осуществимая реальность.

В) задания, формирующие компетенции на уровне применения полученных знаний

1. Обсуждение и защита рефератов.
2. Контрольная работа. Проводится на практическом занятии в письменной форме.

При подготовке к контрольной работе необходимо:

- самостоятельно изучить тему соответствующей УСР, используя литературу, список которой представлен в задании;
- внимательно изучить вопросы соответствующей УСР (контрольная работа);
- подготовить ответы на каждый вопрос контрольной работы.

Примерный перечень практических работ

1. Элементы небесной сферы и система небесных координат
2. Основы работы с подвижной картой звездного неба
3. Гелиоцентрическая система Коперника
4. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе. Законы Кеплера
5. Космические скорости
6. Законы движения небесных тел
7. Солнечная система
8. Солнце
9. Звезды

Рекомендуемые формы контроля знаний

1. Защита практических работ.
2. Тестовые задания.

Рекомендуемые темы контрольных работ

1. Элементы сферической астрономии
2. Земля как астрономический объект
3. Наша Галактика
4. Строение и эволюция Вселенной

Рекомендуемая литература

Основная

1. Астрономия: учебное пособие / М.М. Дагаев [и др.]. – Москва: Просвещение, 1983. – 384 с.
2. Астрономия: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по естественнонаучным специальностям (с электронным приложением) / В.И. Шупляк, [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 309 с.
3. Бакулин, П.И. Курс общей астрономии / П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. – М.: Наука, 1977. – 544 с.
4. Засов, А.В. Астрономия: учебное пособие / А.В. Засов, Э.В. Кононович. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 256 с.
5. Романова, В.В. Астрономия. Практикум: пособие / В.В. Романова. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2016. – 111 с.

Дополнительная

1. Астрономический атлас: справочное издание / перевод с итальянского В.С. Гостик. – Минск: Попурри, 2012. – 232 с.
2. Галузо, И.В. Астрономия: сборник качественных задач и вопросов: учебное пособие / И.В. Галузо, В.А. Голубев, А.А. Шимбалева. – Минск: Аверсэв, 2007. – 256 с.
3. Гуревич, Л.Э. Происхождение галактик и звезд / Л.Э. Гуревич, А.Д. Чернин – М.: Наука, 1987. – 190 с.
4. Дагаев, М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии / М.М. Дагаев – М.: Высшая школа, 1972. – 284 с.
5. Дагаев, М.М. Сборник задач по астрономии / М.М. Дагаев – М.: Просвещение, 1980. – 128 с.
6. Куликовский, П.Г. Звездная астрономия: учебное пособие / П.Г. Куликовский. – Москва: Наука, 1985. – 272 с.
7. Масевич, А.Г. Эволюция звезд: теория и наблюдения / А.Г. Масевич – М.: Наука, 1988. – 280 с.
8. Москаленко, Е.И. Методы внеатмосферной астрономии / Е.И. Москаленко – М.: Наука, 1984. – 280 с.
9. Ридпат, Я. Астрономия: полная энциклопедия / Я. Ридпат. – Москва: АСТ: Астрель, 2006. – 300 с.
10. Сурдин В.Г. Большая энциклопедия астрономии: самое полное современное издание: более 2500 астрономических терминов / В.Г. Сурдин. – Москва: ЭКСМО, 2012. – 480 с.
11. Юрисов, В.А. Учебно-методическое руководство по курсу «Астрономия» / В.А. Юрисов. – Москва: МГЗПИ, 1979. – 47 с.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ДИСЦИПЛИНЫ _____ «АСТРОНОМИЯ» _____**

С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

1 - 31 02 01 – 01 «География (научно-педагогическая деятельность)»

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Геофизика	Геологии и географии	Утверждена без изменений	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 8 от 10.04.2019
Геохимия	Геологии и географии	Утверждена без изменений	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 8 от 10.04.2019
Общая геология	Геологии и географии	Утверждена без изменений	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 8 от 10.04.2019

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на ____/____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры геологии и географии
(протокол № __ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
геологии и географии
доцент

_____ А.И. Павловский

УТВЕРЖДАЮ

Декан геолого-географического факультета УО «ГГУ им. Ф. Скорины»
к.г.-м.н., доцент

_____ А.П. Гусев

Рекомендуемая литература

Основная

1. Астрономия: учебное пособие / М.М. Дагаев [и др.]. – Москва: Просвещение, 1983. – 384 с.
2. Астрономия: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по естественнонаучным специальностям (с электронным приложением) / В.И. Шупляк, [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 309 с.
3. Бакулин, П.И. Курс общей астрономии / П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. – М.: Наука, 1977. – 544 с.
4. Засов, А.В. Астрономия: учебное пособие / А.В. Засов, Э.В. Кононович. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 256 с.
5. Романова, В.В. Астрономия. Практикум: пособие / В.В. Романова. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2016. – 111 с.

Дополнительная

1. Астрономический атлас: справочное издание / перевод с итальянского В.С. Гостик. – Минск: Попурри, 2012. – 232 с.
2. Галузо, И.В. Астрономия: сборник качественных задач и вопросов: учебное пособие / И.В. Галузо, В.А. Голубев, А.А. Шимбалев. – Минск: Аверсэв, 2007. – 256 с.
3. Гуревич, Л.Э. Происхождение галактик и звезд / Л.Э. Гуревич, А.Д. Чернин – М.: Наука, 1987. – 190 с.
4. Дагаев, М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии / М.М. Дагаев – М.: Высшая школа, 1972. – 284 с.
5. Дагаев, М.М. Сборник задач по астрономии / М.М. Дагаев – М.: Просвещение, 1980. – 128 с.
6. Куликовский, П.Г. Звездная астрономия: учебное пособие / П.Г. Куликовский. – Москва: Наука, 1985. – 272 с.
7. Масевич, А.Г. Эволюция звезд: теория и наблюдения / А.Г. Масевич – М.: Наука, 1988. – 280 с.
8. Москаленко, Е.И. Методы внеатмосферной астрономии / Е.И. Москаленко – М.: Наука, 1984. – 280 с.
9. Ридпат, Я. Астрономия: полная энциклопедия / Я. Ридпат. – Москва: АСТ: Астрель, 2006. – 300 с.
10. Сурдин В.Г. Большая энциклопедия астрономии: самое полное современное издание: более 2500 астрономических терминов / В.Г. Сурдин. – Москва: ЭКСМО, 2012. – 480 с.
11. Юрисов, В.А. Учебно-методическое руководство по курсу «Астрономия» / В.А. Юрисов. – Москва: МГЗПИ, 1979. – 47 с.