



Роль и место астрономии в системе естественнонаучных знаний

Чаругин В.М. – доктор физ.-мат. наук, профессор астрофизики




2017

Школьный курс астрономии призван способствовать формированию современной естественнонаучной картины мира, раскрывать развитие представлений о строении Вселенной как о длительном и сложном пути познания человечеством окружающей природы и своего места в ней.



Чаругин В.М. Астрономия 10-11 классы (базовый уровень)

Состав УМК:

- Учебное пособие + ЭФУ 
- Рабочие программы 
- Поурочные методические рекомендации 
- Тетрадь-тренажёр
- Тетрадь-практикум
- Тетрадь-экзаменатор



СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

Глава I. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

1. Структура и масштабы Вселенной	7
2. Далёкие глубины Вселенной	12
Подведём итоги	14

Глава II. АСТРОМЕТРИЯ

3. Звёздное небо	16
4. Небесные координаты	20
5. Видимое движение планет и Солнца	22
6. Движение Луны и затмения	24
7. Время и календарь	28
Подведём итоги	32

Глава III. НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

8. Система мира	34
9. Законы движения планет	40
10. Космические скорости	44
11. Межпланетные полёты	46
Подведём итоги	48

Глава IV. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

12. Современные представления о Солнечной системе	50
13. Планета Земля	52
14. Луна и её влияние на Землю	56
15. Планеты земной группы	60
16. Планеты-гиганты. Планеты-карлики	64
17. Малые тела Солнечной системы	68
18. Современные представления о происхождении Солнечной системы	72
Подведём итоги	74

Глава V. АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ

19. Методы астрофизических исследований	76
20. Солнце	80
21. Внутреннее строение и источник энергии Солнца	86
22. Основные характеристики звёзд	91
23. Внутреннее строение звёзд	94
24. Белые карлики, нейтронные звёзды, пульсары, чёрные дыры	95
25. Двойные, кратные и переменные звёзды	98
26. Новые и сверхновые звёзды	100
27. Эволюция звёзд: рождение, жизнь и смерть звёзд	103
Подведём итоги	106

- Курс ориентирован на новые методы исследования Вселенной с помощью гравитационно-волновых и нейтринных телескопов
- Ученики смогут найти описание сложных астрономических явлений и подходы к решению современных астрономических проблем на базе знакомых школьникам физических законов
- Особое внимание уделяется современным достижениям и открытиям в области астрономии
- В первую очередь это относится к открытию ускоренного расширения Вселенной и большого числа экзопланет, поиску и связям с внеземными цивилизациями



Глава VI. МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — НАША ГАЛАКТИКА	
28. Газ и пыль в галактике	108
29. Рассеянные и шаровые звёздные скопления	110
30. Сверхмассивная чёрная дыра в центре Млечного Пути	112
Подведём итоги	114
Глава VII. ГАЛАКТИКИ	
31. Классификация галактик	116
32. Активные галактики и квазары	120
33. Скопления галактик	122
Подведём итоги	124
Глава VIII. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	
34. Конечность и бесконечность Вселенной — парадоксы классической космологии	126
35. Расширяющаяся Вселенная	128
36. Модель горячей Вселенной и реликтовое излучение	132
Подведём итоги	134
Глава IX. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ	
37. Ускоренное расширение Вселенной и тёмная энергия	136
38. Обнаружение планет около других звёзд	138
39. Поиск жизни и разума во Вселенной	140
Подведём итоги	142
Заключение	143

Курс ориентирован на новые методы исследования Вселенной с помощью гравитационно-волновых и нейтринных телескопов.

Ученики смогут найти описание сложных астрономических явлений и подходы к решению современных астрономических проблем на базе знакомых школьникам физических законов.

Особое внимание уделяется современным достижениям и открытиям в области астрономии.

В первую очередь это относится к открытию ускоренного расширения Вселенной и большого числа экзопланет, поиску и связям с внеземными цивилизациями

Разделение неба на созвездия (10000 лет до н.э. – Большая медведица Сибирь, Аляска, Берингов пролив медвежий стиль).



Созвездие Большой Медведицы

В индейском эпосе семь звёзд Ковша Большой Медведицы изображают не только саму медведицу, но и крадущихся за ней охотников

3 ЗВЁЗДНОЕ НЕБО

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какие созвездия входят в созвездия Скорпиона и Близнецов.
- Древнейший Скорпион на звездном небе.
- Почему древние астрономы назвали созвездия.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие вы знаете небесные тела?
- Названия созвездия на русском языке?

В эпоху беспробудно ночью мы можем рассмотреть небо, условно разделив его на созвездия. Если наблюдать за звездами в течение нескольких вечеров, то можно заметить, что наиболее яркие звезды могут быть расположены в отдельные группы – созвездия.

ИСТОРИЧЕСКОЕ При наблюдениях на звездном небе древние астрономы заметили, что созвездия распределялись на воображаемой воображаемой сфере. Многие из созвездий имеют форму, которую легко запомнить и определить (рысь – созвездие Рыбы, кошка – созвездие Кассиопея, W – созвездие Близнецов). Правда эти же фигуры на звездном небе мы можем не только в одну сторону увидеть, но и в другую. Это означает, что созвездия не записаны на той же части неба, где мы их обнаружили в первый раз, но на их оборотной, или обратной стороне.

Благодаря этому древние астрономы – жители древнего Египта и Вавилона – смогли в полной мере использовать созвездия для определения времени года. Понимая, что созвездия движутся друг относительно друга по небу, они могли предсказать, когда какое-либо созвездие появится на горизонте, и наоборот, когда оно исчезнет за ним.

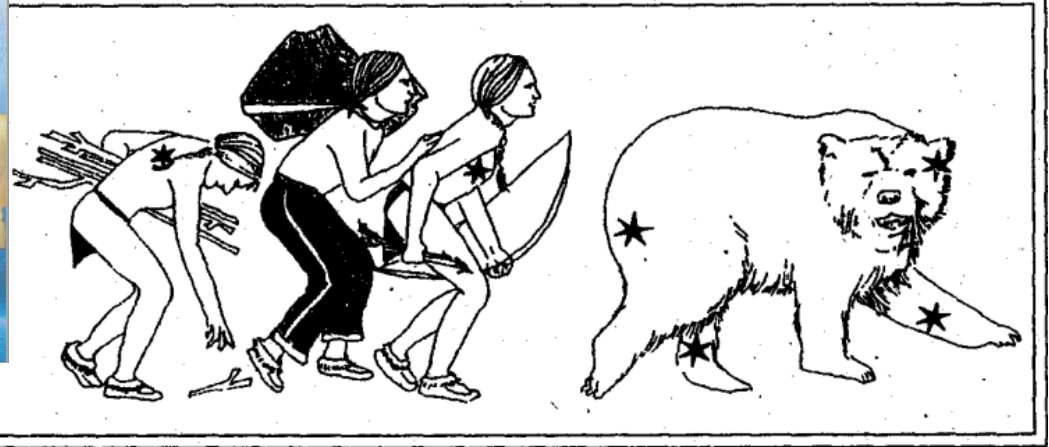
Наиболее заметные группы звезд объединены в созвездия, которые мы можем наблюдать с Земли (Пегас, Скорпион, Близнец и др.) и которые (Пегас, Телец, Змея и др.) при наблюдении в южном направлении неба. Многие созвездия получили названия животных, птиц, насекомых и растений.

Чтобы легче ориентироваться среди звезд, древнейший астроном Гиппарх, живший во II в. до н.э., предложил выделить определенные звездные группы и назвать их созвездиями. Самые яркие – звезды первой величины – обозначает 1^m , а самые слабые, второй величины, – 2^m . По количеству звезд в созвездиях астрономы вычисляли, какие созвездия являются наиболее яркими. Самые яркие звезды называются звездами первой и даже второй величины.

Наиболее яркие звезды на небе имеют собственную ячею, а остальные звездочки являются звездами второй величины. В зависимости от положения созвездия на небе и от времени года мы можем видеть на небе разные созвездия. Например, созвездие Большой Медведицы мы можем увидеть в северном полушарии в любое время года, а созвездие Южного Креста – только в южном полушарии.

Самые яркие звезды

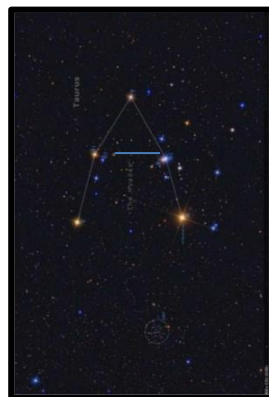
Звезда	Созвездие	Расстояние от Земли, в световых годах	Мagnitude
Сирена	Медведь Гр.	8,8	1,96
Альдебаран	Бык	4,3	0,77
Артурус	Ковш	36,7	0,84
Вега	Лиры	26	0,03
Альциона	Землянич.	42,2	0,75
Регул	Льва	8,6	0,57
Поларис	Медведь Гр.	34,1	0,78
Альриэль	Орла	30,5	0,75
Альсиер	Орла	16,8	0,75
Альдебаран	Быка	36,7	0,75
Альриэль	Орла	16,8	0,75
Альсиер	Орла	16,8	0,75
Альдебаран	Быка	36,7	0,75
Альриэль	Орла	16,8	0,75
Альсиер	Орла	16,8	0,75



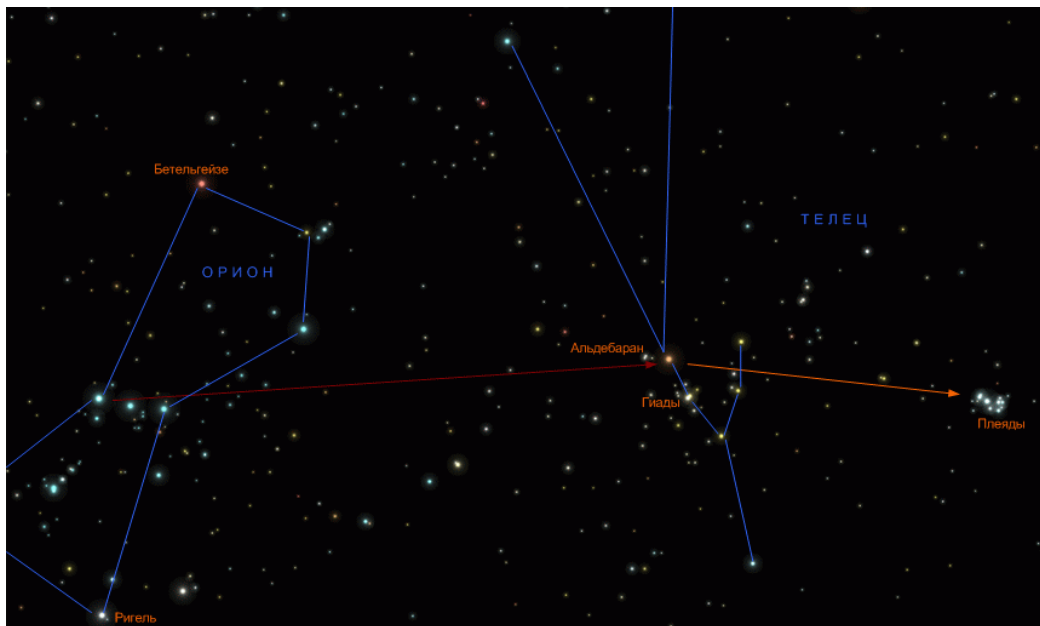
Связь с алфавитами индоевропейской группы языков

Обобщение опыта использования геометрических схем на небосводе и живописных образов земных предметов привело к появлению письменности и искусства счета. Например, схематическое изображение созвездия Тельца ♂ (послужило прообразом звука "А" в языках племен индоевропейской группы).

69



Похоже на букву А



11

температура составляет всего несколько кельвинов. Именно в этих областях образуются новые звёзды.

На поверхности Солнца температура равна примерно 6000 К, а в его центре — около 15 000 000 К. В некоторых звёздах температура в центре достигает миллиардов кельвинов. Благодаря высоким температурам в них протекают термоядерные реакции и образуются все, в том числе тяжёлые, химические элементы.

Во время взрывов сверхновых звёзд выделяется так много энергии, что огромные массы вещества приобретают скорости порядка 10 000—20 000 км/с, и образуются потоки элементарных частиц, скорости которых близки к скорости света. Остаток такого взрыва — *Кравовидную туманность* — мы наблюдаем в созвездии Тельца.

В первой четверти XX в. Э. Хаббл открыл удивительный факт расширения Вселенной и сделал вывод о сверхплотном состоянии вещества в начале этого расширения. Последние наблюдения показали, что Вселенная расширяется с ускорением. И если по наблюдениям движения галактик не так давно была открыта новая сила Вселенного отталкивания. Природа этой силы пока не ясна. Кроме этого, было установлено, что основную часть Вселенной занимают тёмная материя и тёмная энергия, а обычное вещество составляет всего несколько процентов.

Астрономы проводят наблюдения во всех диапазонах длин волн, выходя за пределы земной атмосферы космические телескопы, работающие в инфракрасном, видимом, рентген- и гамма-диапазоне. Например, наблюдения в инфракрасных лучах центра Млечного Пути помогли обнаружить там сверхмассивную чёрную дыру с массой, в два миллиона раз превышающей массу Солнца.

В лабораториях мы не можем достичь той степени разреженности, которая есть в межпланетном пространстве, и той степени сжатия, которая встречается в белых карликах и нейтронных звёздах.

В земных условиях практически нереально достичь тех гигантских температур, до которых разогреваются центры звёзд, а для получения частиц, движущихся со скоростью, близкой к скорости света, нам не хватит мощностей всех электростанций Земли. Наблюдения с помощью нейтринных телескопов потоков нейтрино от Солнца и сверхновых звёзд позволили заглянуть внутрь этих небесных тел.

В последние годы астрономы начали исследовать гравитационные волны, которые генерируются при столкновениях чёрных дыр.

Таким образом, астрономия позволяет изучать физические процессы в экстремальных условиях, которые не могут быть достигнуты на Земле.

Шаровое скопление звёзд M13 в созвездии Геркулеса

Кравовидная туманность — остаток взрыва сверхновой звезды

ВОПРОСЫ:

- Что изучает астрономия?
- Какими способами изучают Вселенная?
- Из каких объектов состоит Вселенная?

52

13

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какова форма Земли.
- Как выглядит внутреннее строение Земли.
- Как парниковый эффект делает комфортной жизнь на Земле.

ВСПОМНИТЕ:

- Каков состав объектов Солнечной системы?
- По каким законам движется планета?

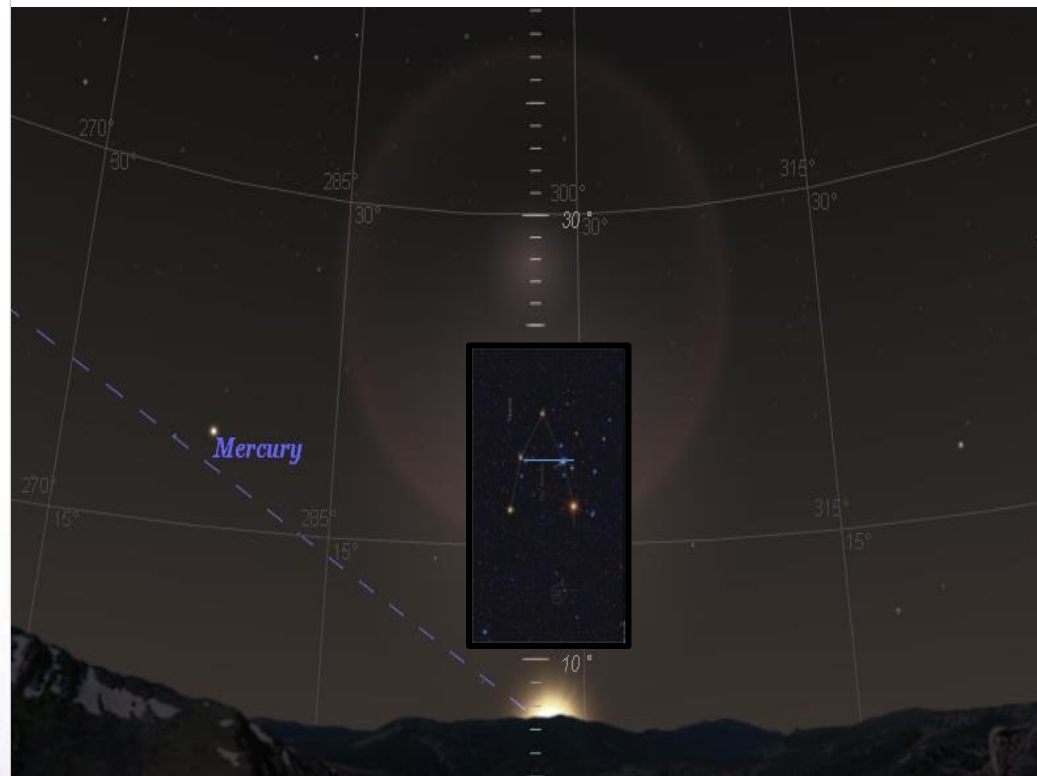
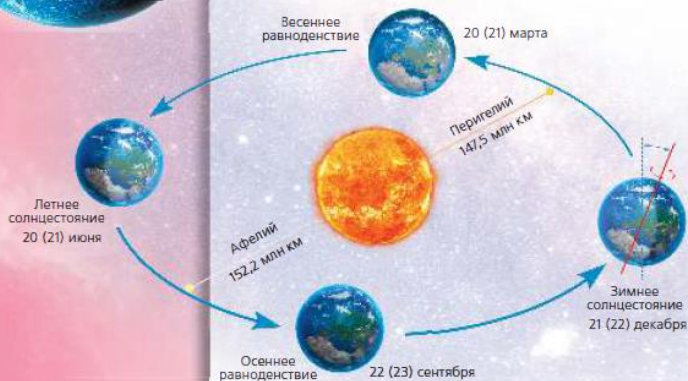
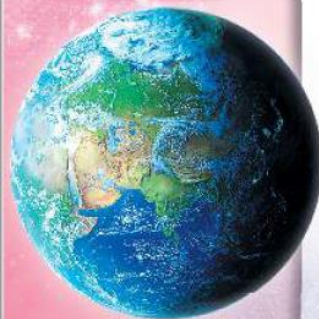
Третья по счёту от Солнца планета — Земля — имеет форму сфероида (чуть приплюснутого шара) со средним радиусом $R_с = 6378$ км. Экваториальный радиус Земли равен 6378,16 км, полярный радиус — 6356,78 км, т.е. на полюсе мы будем находиться на 21,38 км ближе к центру Земли, чем на экваторе. На снимках из космоса видны форма Земли и основные детали поверхности.

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ Ось вращения Земли наклонена под углом $66,5^\circ$ к плоскости её орбиты (к плоскости эклиптики). При движении Земли вокруг Солнца ось её вращения практически постоянно «смотрит» на Полярную звезду. Благодаря этому происходят периодические изменения освещённости и продолжительности дня и ночи в северном и южном полушариях Земли, а также смена сезонов года. В действительности ось вращения Земли (ось мира, поскольку она параллельна) описывает на небесной сфере малый круг, совершая один полный оборот за 26 000 лет.

Ближайшие сотни лет северный полюс мира, на который направлена ось вращения Земли, будет находиться недалеко от Полярной звезды, затем начнёт удаляться от неё. Через 12 000 лет полюс мира приблизится к самой яркой звезде северного неба — Веге из созвездия Лира.

Перемещается и точка весеннего равноденствия. Она медленно движется навстречу годичному движению Солнца по эклиптике.

Описанное явление носит название прецессии оси вращения Земли.



Движение солнца через зодиакальные созвездия

Эклиптика

Рыбы

Водолей

Овен

Точка Весеннего равноденствия, в ней Солнце будет 20 марта в 7^ч 33^м и начнется астрономическая Весна

Апрель Март февраль

19

ПОЛЯРНАЯ ЗВЕЗДА Полярную звезду (α Малой Медведицы) легко найти на продолжении линии от двух крайних звезд β и α ковша Большой Медведицы.

В течение суток все звезды небесной сферы вращаются вокруг Полярной звезды, которая одна остаётся на месте.

Кажущееся явление вращения небесной сферы вокруг Полярной звезды отражает действительное вращение земного шара вокруг своей оси.

Ось, параллельная оси видимого вращения небесной сферы, называют **осью мира**.

Ось мира пересекает небесную сферу в двух точках — полюсах мира.

ЗОДИАКАЛЬНЫЕ СОЗВЕЗДИЯ. ЭКЛИПТИКА Особое место среди созвездий занимают 12 зодиакальных созвездий, через которые проходит годичный путь Солнца — **эклиптика**. Так в марте Солнце движется по созвездию Рыб, в мае — Тельца, в августе — Льва, в ноябре — Скорпиона и т. д. Наряду со звёздами на небе наблюдаются планеты, которые медленно перемещаются среди неподвижных звёзд, оправдывая своё название: *планетас* в переводе с греческого означает «блуждающая звезда».

Полярная звезда

Малая Медведица

Большая Медведица

Суточное вращение звёзд вокруг полюса мира

Зодиакальные созвездия

ВАШЕ МНЕНИЕ:

- Можно ли, наблюдая за звёздным небом, доказать, что Земля вращается вокруг своей оси?
- Как можно сориентироваться ночью по звёздам?

ВОПРОСЫ:

- От чего зависит звёздная величина?
- Что такое небесная сфера?
- Как определить ось мира и полюсы мира?
- Что такое эклиптика?

Открытие прецессии

59

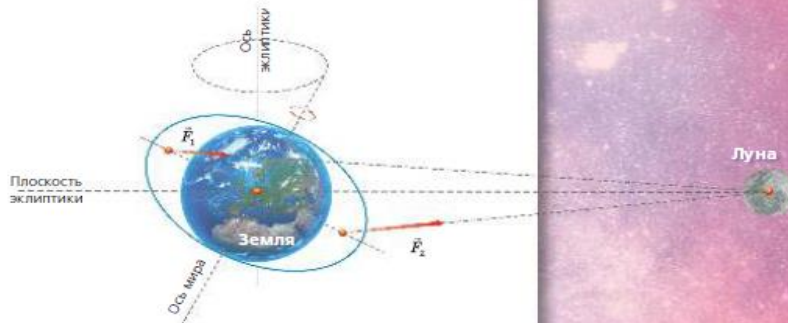
Вследствие вращения Земли приливные выступы образуются каждый следующий момент уже в новых точках земной поверхности. Поэтому в течение одного оборота Луны (24 ч 52 мин) они обойдут вокруг всего земного шара. За это время в каждом месте случается два прилива и два отлива.

Солнце, как и Луна, также вызывает приливы. Несмотря на большую удалённость от Земли, благодаря большой массе Солнца приливы, которые оно вызывает, всего в 2,5 раза меньше лунных.

Во время полнолуний и новолуний лунные и солнечные приливы складываются и наблюдаются самые большие приливы.

Напротив, когда Луна в первой или последней четверти, во время лунного прилива будет солнечный отлив. Действие Солнца уменьшает действие Луны, и приливы делаются существенно меньшими.

ПРЕЦЕССИЯ — явление, при котором момент импульса тела меняет своё направление в пространстве под действием момента внешней силы.

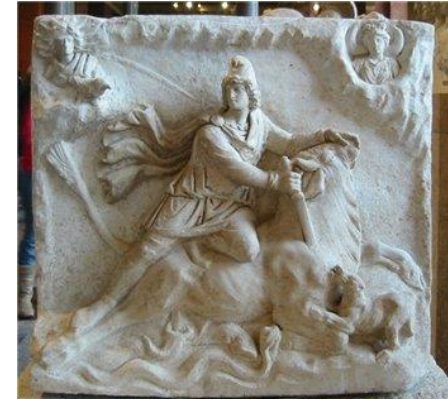
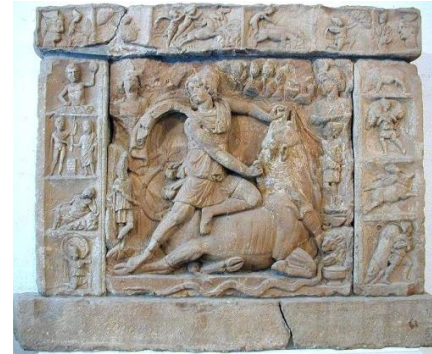


Так как Земля из-за своей сплюснутости имеет избыток массы в экваториальной области, то Луна и Солнце своим притяжением этих выступов стремятся повернуть Землю таким образом, чтобы земной экватор совместился с плоскостью эклиптики.

Этот поворот складывается с осевым вращением Земли и приводит к медленному обращению оси вращения Земли вокруг направления на полюс эклиптики с периодом примерно 26000 лет.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Вследствие чего возникает прецессия земной оси?
- Когда на Земле можно наблюдать максимальные приливы? Аргументируйте свой ответ.



Возникновение новой религии Митраизм (таутохомия) (2 век до н.э. – 5 век н.э.)

Элитарность астрономии (среди жрецов, высших слоёв общества)



Муза Урания

Во всех древних философских школах астрономия занимала ведущее место. Так как астрономия не затрагивала непосредственно условия жизни и деятельности человека, то ее потребность возникала на более высоком уровне умственного и духовного развития человека. Неудивительно, что в древней Греции астрономия имела свою богиню (музу Уранию).

Большинство древнегреческих мыслителей участвовало в создании гражданских кодексов полисов. Замечательно, что в каждом кодексе есть основной принцип гармонии: равенство граждан перед законом. Только этот принцип, по мысли философов, позволил бы достичь такого **совершенства общественных отношений, которое было бы подобно совершенству звездного неба**

Солнечное затмение

26

В древних китайских летописях (XXII в. до н. э.) описывается печальная судьба двух придворных астрономов Хи и Хо, которые не предсказали солнечное затмение 22 октября 2137 г. до н. э., вызвавшее серьёзное замешательство в народе. По приказу императора им отрубили головы. Судьба этих астрономов показывает, какое значение в Древнем Китае придавали затмениям.

Солнечные затмения бывают только во время новолуния. Они случались бы каждое новолуние, если бы Луна двигалась по эклиптике. Но вследствие наклонения лунной орбиты Луна в новолуние чаще проходит выше или ниже Солнца.

Очевидно, затмение возможно только тогда, когда Луна во время новолуния находится недалеко от эклиптики, т. е. вблизи одного из узлов лунной орбиты точек пересечения лунного пути с эклиптикой.

Так как Луна движется по эллиптической орбите, она бывает то ближе, то дальше от Земли, поэтому её видимый угловой диаметр бывает то больше, то меньше солнечного. Если во время затмения Луна находится ближе к Земле и её видимый размер больше солнечного, то лунный диск полностью закрывает солнечный и наблюдается полное солнечное затмение.

Если во время затмения Луна находится в более далёкой части орбиты и её угловой диаметр меньше солнечного, то во время затмения край солнечного диска остаётся не закрытым и наблюдается яркое кольцо вокруг тёмного диска Луны — кольцеобразное затмение.

Полные солнечные затмения случаются довольно часто (в среднем 13 затмений за 18 лет), но каждое затмение может наблюдаться лишь в сравнительно узкой полосе земной поверхности. Поэтому в конкретном месте Земли это явление случается очень редко — один раз в десятки и сотни лет.



Схема солнечного затмения

Античный историк Геродот упоминает об астрономе Фалесе Милетском, который, используя Сарос, предсказал солнечное затмение, происшедшее в 584 г. до н. э. в Малой Азии во время битвы лидийцев с мидянами. Сражающиеся были настолько поражены этим событием, что прекратили битву, заключили мир, а крепящий его диастемический брак.

Лунная тень
Лунная полутень

84

МОН АСТРОНОМИЧЕСКИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведите наблюдения за солнечными пятнами.

«ТОМОНИКИ»

- Нанесите чертёнок на Солнце. Ни в коем случае не смотрите в окуляр! Сожгите глаза!
- Спроектируйте изображение Солнца на белый экран и зарисуйте.
- Подсчитайте полное число пятен N в число групп пятен g . Отдельное пятно тоже считается группой.
- Подсчитайте число Вольфа $W = 10g + N$, которое характеризует солнечную активность.
- Если возможно, повторите наблюдения через несколько дней. Обратите внимание на перемещение пятен по диску Солнца.



излучений, образующихся в более глубоких слоях Солнца, потому мы не можем заглянуть в его подфотосферные слои. В фотосфере видна зернистая структура, получившая название грануляции (Г).

Характерные угловые размеры гранул, напоминающих по виду рисовые зёрна, составляют 1–2, но линейные их размеры достигают тысяч и более километров. Наблюдения показывают, что грануляция находится в непрерывном движении и изменении. Гранулы живут от 5 до 10 мин, на их месте появляются новые.

Исследование характера движения вещества в гранулах показало, что в центре более яркой и горячей части гранулы происходят потоки из-под фотосферы более горячего вещества в окружающее под фотосферу более холодного и холодного вещества, охлаждающего гранулу. Скорость подъёма и опускания газа составляет около 1 км/с, а разница между температурой горячего и холодного вещества близка к 300 К. Таким образом, грануляция на Солнце указывает на то, что энергия в фотосфере поступает из более глубоких и горячих слоёв Солнца путём конвекции.

На ярком фоне фотосферы наблюдаются тёмные пятна. Размеры солнечных пятен могут достигать свыше 10 000 км². Такие крупные пятна хорошо видны даже невооружённым глазом (конечно, только сквозь тёмный светофильтр).

На фоне относительно яркой фотосферы пятно нам кажется чёрным. Однако измерения показали, что яркость пятен в 5–10 раз меньше яркости окружающей фотосферы, а их реальный цвет — красноватый. По этим измерениям, используя закон излучения Стефана-Больцмана, легко оценить температуру пятен, которая оказалась около 4000 К.

Наблюдения показали наличие сильного магнитного поля в пятнах. В некоторых пятнах магнитная индукция достигает 0,5 Тл, в то время как в среднем в фотосфере она составляет $10^{-4} - 10^{-5}$ Тл.

Сильное магнитное поле пятен является причиной их низкой температуры. Это объясняется тем, что вещество фотосферы представляет собой плазму, состоящую из заряженных частиц. Сильное магнитное поле тормозит движение плазмы, замедляет её конвекцию и тем самым ослабляет поступление тепла из внутренних слоёв Солнца. В результате температура вещества в области пятен уменьшается, и пятна выглядят тёмными на фоне яркой фотосферы.

На рисунке 6 показана фотография Солнца, полученная во время полного солнечного затмения. На снимке хорошо видна внешняя часть солнечной атмосферы — корона, являющая вид лучистого межзвездного свечения, яркость которого в миллион раз меньше яркости фотосферы. Солнечная корона проследивается до расстояний в десять и более радиусов Солнца.

85

Наблюдения показали, что солнечная корона нагрета до температуры около $2 \cdot 10^6$ К. При такой температуре вещество короны представляет собой полностью ионизованную плазму, которая в основном излучает в рентгеновских лучах.

И действительно, при наблюдениях в рентгеновские телескопы, которые установлены на космических астрономических обсерваториях за пределами земной атмосферы, солнечная корона представляется в полной красе, в то время как поверхность Солнца — её фотосфера — практически не видна.

Во время полных солнечных затмений на краю Солнца во внутренних слоях солнечной короны наблюдаются протуберанцы — струи горячего вещества, имеющие вид выступов и фонтанов (Ж). Одни из них — спокойные протуберанцы — в течение многих часов висят над солнечной поверхностью, другие — эруптивные (вспарывные) — внезапно с огромной скоростью взлетают над поверхностью, быстро поднимаются до высоты в десятки и даже сотни тысяч километров и также быстро падают вниз (З).

Из короны в межпланетное пространство истекает непрерывный поток частиц (протонов, ядер гелия, ионов, электронов), называемый солнечным ветром. Частицы солнечного ветра покидают солнечную корону со скоростью около 800 км/с, поэтому солнечное притяжение не может их удержать. Вблизи Земли скорость солнечного ветра достигает 400 км/с.

Солнечная активность. Наблюдения показывают, что число солнечных пятен меняется со временем в среднем около 11 лет.

Когда наблюдается максимальное число пятен, то говорят о максимуме солнечной активности. В годы максимума солнечной активности значительно возрастает число мощных протуберанцев, одновременно с солнечной активностью меняется и форма солнечной короны.

Одним из самых значительных проявлений солнечной активности являются солнечные вспышки, во время которых выделяется колоссальная энергия — в течение десяти минут до 10^9 Дж энергии.

Наблюдения со спутников установили, что во время солнечных вспышек происходит резкое увеличение ультрафиолетового излучения, появляется мощное рентгеновское и гамма-излучение.

Детали быстрых заряженных частиц, установленные на искусственных спутниках, показали, что при мощных солнечных вспышках в межпланетное пространство выбрасываются с огромными скоростями, иногда доходящими до 100 000 км/с, миллиарды частиц, обладающих большой кинетической энергией и ионизирующих плазмой солнечных космических лучей. Их основной состав — ядра атомов водорода, гелия, а также элементов.

Вспышки и другие проявления солнечной активности оказывают значительное влияние на биологические земные условия, на физические условия в земной атмосфере и окружающем космическом пространстве. Так, с опустившимся в течение полу 70 лет в XVII в. связывают малый ледниковый период, наступивший в Европе в то время. Первыми распространены эпидемий и даже войны подкреплены ороизидативному циклу солнечной активности.



Советский учёный А.Л. Чижевский собрал подробные сведения о периодичности эпидемических заболеваний и составил их с данными о солнечной активности. На основании обнаруженной связи он в 1929 г. предсказал некоторые эпидемии на 35 лет вперёд. Так, семь из восьми предсказанных Чижевским эпидемий гриппа действительно произошли.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:
 ● Каков химический состав Солнца?
 ● Опишите строение солнечной атмосферы.
 ● Что такое солнечная активность?
 ● Какие явления на Земле связаны с солнечной активностью?

Схема солнечного затмения

ВРЕМЯ И КАЛЕНДАРЬ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- В чём отличие между звёздным и солнечным временем.
- Как устроен лунный календарь.
- Как устроен солнечный календарь.
- В чём состоит отличие юлианского календаря от григорианского.

ВСПОМНИТЕ:

- Где появились первые календари?
- Чему равна продолжительность синодического месяца?

Основной задачей астрономии в течение веков было измерение времени и ведение календаря. Течение времени может измеряться посредством какого-либо регулярно повторяющегося в природе процесса. Этот процесс должен быть равномерным, чтобы установленные с его помощью единицы счёта времени сохраняли свою продолжительность, только тогда ими можно будет пользоваться.

ЗВЁЗДНОЕ И СОЛНЕЧНОЕ ВРЕМЯ Вся наша жизнь связана с периодическими астрономическими явлениями природы — с чередованием дня и ночи, сезонов года, т.е. с вращением Земли вокруг своей оси и обращением Земли вокруг Солнца. Поэтому из астрономических наблюдений установлены две основные единицы счёта времени — *сутки и год*. Если время измеряют по звёздам, то за единицу времени принимают *звёздные сутки*.

Звёздные сутки — период вращения Земли вокруг собственной оси в системе отсчёта, связанной с удалёнными звёздами. Он равен промежутку времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же меридиане. Звёздные сутки делятся на 24 ч по 60 мин, и каждая минута — на 60 с. Сутки начинаются, когда точка весеннего равноденствия находится в верхней кульминации — выше всего над точкой юга.

Звёздное время S измеряется часовым углом точки весеннего равноденствия t_γ . Для любой звезды имеется связь между звёздным временем S , часовым углом t и прямым восхождением α звезды:

$$S = t_\gamma = \alpha + t.$$

Звёздное время удобно для астрономов, но в повседневной жизни мы пользуемся *солнечным временем*.

Продолжительность солнечных суток, по которым мы живём, определяется промежутком времени между двумя последовательными верхними кульминациями Солнца. Солнечные сутки также делятся на 24 ч, час — на 60 мин и минута — на 60 с. Различают *истинное* солнечное время T_0 , *среднее* солнечное время T_1 , *мировое* T_0 и *полюсное* солнечное время.

Истинное солнечное время (T_0) измеряется часовым углом Солнца (t_0), увеличенным на 12 часов:

$$T_0 = t_0 + 12^h.$$

Момент верхней кульминации Солнца называется *истинным полднем* (середина дня). В это время часовый угол Солнца $t_0 = 0^h$ и истинное солнечное время $T_0 = 12^h$. В момент нижней кульминации Солнца, называемый *истинной полночью* (середина ночи), $t_0 = 12^h$, а истинное солнечное время $T_0 = 24^h = 0^h$, т.е. заканчиваются текущие и начинаются новые солнечные сутки.

Истинные солнечные сутки продолжительнее звёздных суток примерно на 4 минуты. Допустим, что в момент весеннего равноденствия Земля находилась в положении 1 α , и в этот момент в пункте O её поверхности наступил истинный полдень, т.е. Солнце (C) вместе с точкой весеннего равноденствия (γ) находилось на меридиане (видимое положение Солнца на небе отмечено знаком \odot).

По прошествии звёздных суток Земля повернётся (по стрелке D) на угол 360° и переместится по своей орбите (по стрелке A) на угол $\odot \approx 1^\circ$ в положение 2. Тогда точка весеннего равноденствия снова окажется в меридиане, а Солнце до него ещё не дойдёт, так как за звёздные сутки оно сместится по эллиптике к востоку (по стрелке B) на тот же угол $\odot \approx 1^\circ$, в положение $\odot 2$.

Чтобы в пункте O снова наступил истинный полдень, Земле необходимо повернуться ещё на угол $\odot < 1^\circ$ (пункт O займёт положение O'), на что требуется около 4^m (вспомним, что $1^\circ = 4^m$). Таким образом, продолжительность истинных солнечных суток соответствует повороту Земли примерно на 361° .

Солнце движется по эллиптике неравномерно — зимой быстрее, чем летом. Кроме этого, Солнце перемещается по эллиптике, а часовый угол отсчитывается вдоль небесного экватора. Это приводит к тому, что истинное солнечное время неравномерно.

Для удобства пользования вводят среднее солнечное время T_1 . За основу берётся средняя продолжительность суток за год. Наши часы отрегулированы как раз на продолжительность средних солнечных суток.

Разница между средним и истинным солнечным временем, которую называют *уравнением времени*, рассчитывается на каждый день и приводится в астрономических календарях. Эта разница равна нулю 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря. 11 февраля эта разница достигает $+14$ мин, а 2 ноября -16 мин.

В каждом месте на Земле своё солнечное время. Среднее время на нулевом меридиане Гринвичской обсерватории в Лондоне получило название *всемирного времени* (обозначается T_0). Тогда в любом пункте с долготой λ среднее солнечное время

$$T_1 = T_0 + \lambda.$$

Как видно, уже в пределах большого города, в разных его концах, а тем более в пределах области среднее солнечное время различно, что неудобно для использования в реальной жизни. Поэтому было введено *полюсное время* T_n . В этой системе весь земной шар разбит вдоль меридианов на 24 часовых пояса, в каждом месте внутри пояса время одинаковое.

Зная всемирное время T_0 и номер n часового пояса, можно определить полюсное время:

$$T_n = T_0 + n.$$



30

Из приведённых формул получим связь между поясным и средним солнечным временем:

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda.$$

В России в 1918 г. было введено *декретное время*, которое на один час больше поясного. Его действие сохранилось до наших дней.

Московское время — декретное время для Москвы — поясное время второго часового пояса, увеличенное на час:

$$T_M = T_0 + 2^* + 1^* = T_0 + 3^*.$$

КАЛЕНДАРИ Основой любого календаря служат длительные промежутки времени, определяемые по периодическим явлениям природы — смене лунных фаз и смене сезонов года.

Календари, основанные на смене лунных фаз, называются *лунными*, на смене сезонов года — *солнечными*, а на обоих этих явлениях — *лунно-солнечными*.

Каждый календарь обязан установить определённый порядок счёта дней (солнечных суток), число суток в длительных периодах времени и указать начало счёта самих периодов.

Первая задача не вызывает затруднений, третья решается тоже весьма просто, так как за начало счёта можно принять любое реальное или мифическое событие.

Вторая же задача решалась бы легко, если бы период смены лунных фаз, называемый лунным (синодическим) месяцем, и тропический год (период смены сезонов года) содержали в точности целое число суток.

Но все три периода несоизмеримы между собой:

тропический год $T_T = 365^d, 24220 = 365^d 5^h 48^m 46,08^s$;

лунный месяц $S = 29^d, 53059 = 29^d 12^h 44^m 02,98^s$.

В то же время календарный месяц и календарный год должны содержать целое число суток, чтобы начало каждого месяца и года совпадало с началом суток. Поэтому создание идеально точного календаря невозможно, и время от времени в него приходится вносить поправки.

Лунный календарный год содержит 354 дня и делится на 12 месяцев, длительность которых чередуется по 30 и 29 дней и в среднем составляет 29,5 суток, т. е. близка к периоду смены лунных фаз. Для согласования календаря с сезонами года в лунном календаре раз в несколько лет вводят дополнительный месяц. Лунный календарь широко используется в мусульманском мире.

В Древнем Египте за три тысячелетия до нашей эры был создан солнечный календарь. Из наблюдений было установлено, что первое предутреннее появление ярких звёзд после периода их невидимости повторяется примерно через 360 суток. Поэтому первый древнеегипетский календарь содержал 360 дней и состоял из 12 месяцев, по 30 дней в каждом.



31

Для удобства счёта времени эклиптика была разделена по числу дней в календарном году на 360 частей — градусов, и такое деление окружности сохранилось до наших дней.

В дальнейшем длительность года была уточнена, и к началу нашей эры его продолжительность составляла 365,25 суток.

Римский император Юлий Цезарь (100—44 гг. до н. э.), в 46 г. до н. э. поручил египетскому астроному Созигену разработать новый календарь.

Созиген принял среднюю продолжительность календарного года равной 365,25 суток (365^d 6^h) — по египетскому счислению, — назвав этот промежуток времени *юлианским годом* (в честь Юлия Цезаря). Поскольку календарный год должен содержать целое число суток, было принято отсчитывать в трёх последовательных годах по 365 дней, а в каждом четвёртом году — 366 дней (удлиненные, или високосные годы).

Но юлианский год длиннее реального тропического года на 11 мин 14 с. К 1570 г., т. е. за 1245 лет, астрономические явления, связанные с сезонами года, сместились на 10 суток и, например, день весеннего равноденствия, который должен был приходиться на 21 марта, пришёл на 11 марта. Такое смещение вызвало расхождение между принятыми датами религиозных праздников и явлениями природы, по которым эти праздники были установлены.

Своим распоряжением (буллой) от 24 февраля 1582 г. римский папа Григорий XIII ввёл новый календарь, приказав следующей день после четверга 4 октября 1582 г. считать пятницей 15 октября (вместо 5 октября) 1582 г., и таким образом в 1583 г. днём весеннего равноденствия снова стало 21 марта.

Реформированный календарь стал называться *григорианским календарём*, или новым стилем. В нём чередование простых и високосных годов в пределах каждого столетия ведётся так же, как и в юлианском календаре, но последний год столетия считается високосным только в том случае, если номер столетия делится на 4.

В России на григорианский календарь перешли в 1918 г., сместив даты уже на 13 суток.

Длительность года в календаре, по которому мы сейчас живём, лишь на 0,0003 суток (на 25,9^с) превышает длительность тропического года и, следовательно, смещение равноденствий и солнцестояний на 1 день вперёд происходит только за 3333 года.

Год в юлианском календаре делился на 12 месяцев с чередованием по 31 дню в нечётных месяцах и по 30 дней в чётных, за исключением последнего месяца года — февраля, на долю которого в простом году оставалось 29 дней, а в високосном — 30 дней. В начале нашей эры римский сенат переименовал шестой месяц в Август в честь императора.

Кроме того, в этот месяц добавили 1 день (получился 31 день), который забрали у февраля, в котором осталось 28 дней в обычные годы и 29 в високосные.

Спутники Магеллана, вернувшись из кругосветного путешествия, увидели, что они потеряли целые сутки, несмотря на то что капитан каждый день в журнале отмечал моменты восхода и захода Солнца. Это связано с тем, что, двигаясь на кораблях с востока на запад, они по отношению к Земле сделали на один оборот меньше, чем Земля и люди, которые не путешествовали с ними.

ВОПРОСЫ:

- Что такое солнечные и звёздные сутки?
- 25 декабря солнечные часы в Москве показали истинный полдень. Каково московское время в этот момент и время в Лондоне? Долгота Москвы $\lambda \approx 2^{\circ}30'$.
- 22 декабря в Москве в истинный полдень склонение Солнца составляет $23,5^{\circ}$. Чему равна высота Солнца над горизонтом в этот момент?



22

ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ И СОЛНЦА

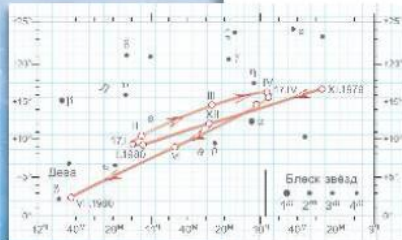
ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое петлеобразное движение планет.
- Что такое попятное и прямое движение планет.
- Что такое эклиптика.
- Как Солнце движется неравномерно по эклиптике.

ВСПОМНИТЕ:

- Какие бывают системы небесных координат?
- Какие основные точки и линии небесной сферы вы знаете?

Видимый петлеобразный путь Марса по созвездиям Льва в 1979–1980 гг. (римские цифры обозначают первые числа месяцев)



На фоне звёзд, не меняющих своего взаимного расположения на небе и группирующихся в созвездия, невооружённым глазом видны пять ярких планет, которые изо дня в день медленно изменяют своё положение, как бы блуждая среди звёзд (напомним, что «планетас» в переводе с греческого — «блуждающая звезда»).

ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ Наблюдая за движением планет в течение длительного времени, можно заметить, что планеты в основном перемещаются с запада на восток, не отходя далеко от эклиптики, постоянно находясь в пределах пояса зодиакальных созвездий. Это движение планет, похожее на движение Солнца и Луны среди звёзд, называют **прямым движением**.

В движении каждой планеты время от времени наступают остановки, получившие название **стойний**, после которых планета начинает двигаться среди звёзд в обратном направлении, т.е. с востока на запад. Это обратное, или **попятное движение** длится несколько недель или месяцев, затем следует новая остановка (новое стойние), после чего планета продолжает своё прямое движение к востоку. Таким образом, видимый путь планет на небе получается петлеобразным или зигзагообразным.

У Меркурия дуга попятного движения составляет около 13°, у Марса — около 15°, у Юпитера — немного более 10°.

Петлеобразные участки видимого пути планет могут находиться в разных зодиакальных созвездиях.

Весь пояс зодиакальных созвездий Марс обходит за 687 суток, Юпитер — за 12 лет, а Сатурн — за 29,5 лет.

Эти три планеты периодически бывают вблизи Солнца и тогда не видны; затем постепенно отступают от него к западу и в области неба, противоположной Солнцу, описывают очередную петлю. В зависимости от расположения относительно Солнца эти планеты видны в различные часы тёмного времени суток, в том числе и на протяжении всей ночи.

Меркурий и Венера всегда находятся вблизи Солнца, удаляясь от него попеременно к западу и к востоку не более чем на 28° (Меркурий) и 48° (Венера). Благодаря близости к Солнцу эти две планеты видны только в вос-

точной области неба под утро, до восхода Солнца, либо в западной стороне по вечерам, вскоре после захода Солнца. Таким образом, видимое движение Меркурия и Венеры значительно отличается от видимого пути Марса, Юпитера и Сатурна. Перемещение же Солнца и Луны на фоне звёзд происходит по большим кругам всегда в прямом направлении.

НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА СРЕДИ ЗВЁЗД Кроме знакомого всем с детства суточного движения Солнца по небу, наблюдается и годичное перемещение нашего светила по небесной сфере вдоль некоторой линии, называемой **эклиптикой**.

Эклиптика — проекция земной орбиты на небесную сферу. Эта линия проходит через 12 зодиакальных созвездий: в мае Солнце движется по созвездию Тельца, в июне — Близнецов, в августе — Льва, в ноябре — Скорпиона и т.д.

Если проследить за движением Солнца по эклиптике в течение года, то обнаружится его неравномерность. Действительно, 21 марта, в день весеннего равноденствия, Солнце находится на эклиптике в точке γ — точке весеннего равноденствия. Далее, перемещаясь по эклиптике, 22 июня Солнце проходит точку летнего солнцестояния — ☊. В этот день продолжительность дня в северном полушарии максимальна.

Далее, пройдя дугу в 180° по эклиптике, 22 сентября Солнце пересекает точку осеннего равноденствия — ♎.

22 декабря Солнце проходит точку зимнего солнцестояния — ♄; продолжительность этого дня минимальна.

Пройдя полную окружность по эклиптике, Солнце завершает своё годичное движение по зодиакальным созвездиям в точке весеннего равноденствия.

Измерения видимого углового диаметра Солнца в течение года показали, что в начале января он максимален и составляет около 32' 5". В начале июля он минимален и составляет 31' 5".

Так как движение Солнца по эклиптике отражает движение Земли вокруг Солнца, то это означает, что зимой Солнце к нам ближе, чем летом. Правда, изменение расстояния до Солнца в течение года настолько мало, что не оказывает влияния на смену сезонов на Земле.

Путь Луны среди звёзд похож на солнечный, но значительно сложнее.

23

За время с 21 марта по 22 сентября Солнце проходит половину своего годичного пути (весну и лето), т.е. 180°, за 186 суток, вторую половину своего пути (осень и зиму) с 22 сентября по 21 марта, т.е. за 179 суток. Таким образом, осенью и зимой движение Солнца совершается быстрее, чем весной и летом.

Быстрее всего Солнце движется 1–5 января — 1,017° в сутки, медленнее всего 1–5 июля — 0,95° в сутки.



ВАШЕ МНЕНИЕ:

● Можно ли с помощью горизонтальной системы координат построить карту звёздного неба? Аргументируйте ответ.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Почему планеты называют блуждающими звёздами?
- Опишите путь Солнца среди звёзд в течение года.

Движения планет и циклы китайского календаря. (Создан в III тысячелетии до н.э.)
60-ти летний цикл календаря — период, через который Юпитер и Сатурн соединяются в одном и том же зодиакальном созвездии.

Развитие теории и наблюдений за движением Солнца и планет

40

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- По каким законам движутся планеты.
- Как определять массы планет по элементам их движения.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое эллипс и каковы его основные элементы?
- Как формулируется закон всемирного тяготения?



Иоганн Кеплер (1571–1630)

Немецкий математик, астроном, механик, оптик. Первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы.

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ

Поместив Землю в центр Солнечной системы, Коперник полагал, что планеты движутся равномерно по окружностям. Но к XVI в. с повышением точности астрономических наблюдений стало ясно, что теория движения планет требует уточнения. Большую роль в этом сыграли наблюдения великого датского астронома Тихо Браге (1546–1601). В течение многих лет он изучал движение планет в специально выстроенной обсерватории. Его наблюдения отличались высокой точностью, несмотря на то что учёный смотрел на небесные тела невооружённым глазом. Телескоп был изобретён только в 1610 г. Наблюдения Тихо Браге были обработаны знаменитым астрономом Иоганном Кеплером.

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА. Изучая движение планет Марс по наблюдениям Тихо Браге и используя расчёты Коперника, Кеплер сначала изобразил орбиты Земли и Марса окружностями с радиусами 1 и 1,52 а.е. Чтобы объяснить неравномерное движение Солнца по эллипсу, Кеплер сместил его из центра земной орбиты на $1/10$ (0,017) его радиуса. Но многочисленные попытки изобразить орбиту Марса окружностью с центром в Солнце или вне его оказались неудачей: вычисленные положения планеты на небе не совпадали с наблюдаемыми.

Тогда Кеплер отверг многовековое убеждение в круговом равномерном движении планет и стал подбирать для Марса более подходящую форму орбиты. Лучшие результаты подошли эллипс с Солнцем в одном из фокусов и эксцентриситетом $e = 0,091$.



Следовательно, принятое Кеплером положение Солнца вне центра круговой орбиты Земли означало, что Земля тоже движется по эллиптической орбите с небольшим эксцентриситетом $e = 0,017$ и её движение, как и движение Марса, неравномерно.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА. В 1616 г. Кеплер сформулировал свой первый закон орбиты каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Следовательно, орбиты всех планет Солнечной системы имеют один общий фокус, расположенный в центре Солнца.

На рисунке **a** изображена орбита планеты M в виде эллипса с Солнцем в одном из фокусов F_1 . Центр эллипса находится в точке O , большая ось $AP = 2a$, полуось $AO = OP = a$.



Ближайшую к Солнцу точку P орбиты называют перигелием, а наиболее удалённую точку A — афелием.

При движении планеты M вокруг Солнца её гелиоцентрическое расстояние (расстояние от Солнца) равно модулю радиуса-вектора $r = F_1M$. Перигелийское расстояние $r = a(1 - e)$, афелийское $Q = a(1 + e)$. Первому закону Кеплера подчиняются также движения комет и астероидов.

В дальнейшем И. Ньютон, используя открытый им Закон всемирного тяготения, дал более общую формулировку рассматриваемого нами закона.

Первый обобщённый закон Кеплера: под действием силы притяжения от небесного тела движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений — кругу, эллипсу, параболе или гиперболу.

Эксцентриситетом для окружности $e = 0$, для эллипса $0 < e < 1$, для параболы $e = 1$, для гиперболы $e > 1$.

Эллипсы планетных орбит мало отличаются от окружностей.

В Солнечной системе наибольший эксцентриситет имеет орбита Меркурия $e = 0,206$, эксцентриситет орбиты Земли $e = 0,0167$.

Знаменитая комета Галлея имеет эксцентриситет орбиты $e = 0,967$, и перигелий она подходит к Солнцу на расстоянии 0,387 а.е., а в афелий удаляется от Солнца на расстояние 35,3 а.е. — за орбиту Нептуна.

41

Эксцентриситетом называют отношение расстояния между фокусами эллипса к его большой оси (к большому диаметру):

$$e = \frac{F_1F_2}{2a}$$



МОЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИИ

Нарисуйте эллипс. Укажите на рисунке основные элементы этой геометрической фигуры.

Простой способ вычерчивания эллипса следует из его определения. Возьмите в фокусы F_1 и F_2 две булавки, надените на них нитку со связанными концами.

Если теперь двигать карандаш по булавке так, чтобы нитка всё время оставалась натянутой, то получится эллипс.

Укажите основные элементы полученного эллипса.

Определите эксцентриситет полученного эллипса.

равных спутников или вокруг другой звезды этому закону

ОШАДЕМ:

равное время равно

по эллиптической орбите S_1 находится

а проходит дугу EA , или от точки S_1 , равна AS_1E . Так как эти

второй закон Кеплера

изменение скорости движения по орбите больше, чем планету, т.е. в перигелии.

зона Кеплера решения каждой планеты

в отдельности.

Естественно, у Кеплера возникла мысль о существовании закономерности, связывающей все планеты в стройную единую планетную систему.

Только в 1618 г. он нашёл такую закономерность, известную под названием третьего закона Кеплера.

ТРЕТИЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Если у одной планеты период обращения вокруг Солнца равен T_1 и большая полуось, равная среднему гелиоцентрическому расстоянию, равна a_1 , а у другой планеты аналогичные величины соответственно равны T_2 и a_2 , то выполняется соотношение

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

Отсюда следует, что

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3} = \dots = \frac{T_n^2}{a_n^3} = C = \text{const.}$$

Постоянная C является постоянной для всех тел планетной системы, её численное значение зависит от принятых единиц измерений.

43

Так, если выразить периоды T в земных годах, а длину a в астрономических единицах (а.е.), то для Земли $T = 1$, $a = 1$ и, следовательно, для любой планеты Солнечной системы

$$\frac{T^2}{a^3} = 1.$$

В выражение третьего закона Кеплера не входят значения эксцентриситетов орбит. Поэтому, каковы бы были значения эллипсичности орбиты ни имели, при равных больших полуосях орбит периоды обращения по ним одинаковы.

В 1781 г. английский астроном В. Гершель открыл новую планету за орбитой Сатурна. Эту планету назвали Уран. Изучение движения Урана обнаружило расхождения между теоретически предсказанными и наблюдаемыми положениями планеты. Так, в 1823–1826 гг. Уран опережал расчётное положение почти на 10° , затем стал отставать. К 1840 г. отставание достигло 15° . Была высказана гипотеза, что за Ураном находится ещё одна планета, которая своим притяжением влияет на движение Урана. Два молодых астронома, англичанин Дж. Адамс и француз У. Леверье по наблюдениям расхождений рассчитали положение новой планеты. Вот что написал Леверье астроному берлинской обсерватории И. Галле: «Направьте телескоп в созвездие Водолея в точку эклиптики с долготой 325° и в пределах одного градуса от этого места Вы найдёте новую планету. Она девятой звездной величины и имеет заметный размытый диск». В первую же ночь наблюдений Галле открыл в указанном месте планету, названную Нептуном. Открытие Нептуна знало начало новой эпохи подтверждения справедливости закона Всемирного тяготения и стало триумфом небесной механики.

ЗАДАЧА Карликовая планета Плутон, которая была открыта в 1930 г., находится на среднем расстоянии от Солнца — 39,5 а.е. Определите период обращения Плутона вокруг Солнца.

Решение: из формулы для третьего закона Кеплера находим $T = 1 \cdot a^{3/2} = 39,5^{3/2} = 247,7$ года.

С момента открытия Плутон пройдёт чуть меньше трёх длин своей орбиты.

Кеплер не учитывал массы планет. И. Ньютон, опираясь на Закон всемирного тяготения, вывел третий обобщённый закон Кеплера, который математически записывается так:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$$

где M_1 и M_2 — массы двух притягивающихся тел.

Для Солнечной системы масса Солнца $M_1 = M_{\odot} \gg M_2$ массы любой планеты, и тогда

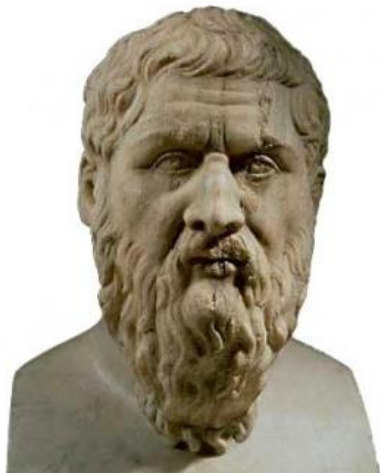
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_{\odot}}$$

Правая часть уравнения — постоянная C для всех тел Солнечной системы, что и утверждает третий закон, полученный Кеплером в результате анализа наблюдений.

Третий обобщённый закон Кеплера позволяет определять массы планет по движению их спутников, масс двойных звёзд по элементам их орбит и т.д.

ВОПРОСЫ:

- Как формулируются законы движения планет, полученные Кеплером по результатам наблюдений?
- Как И. Ньютон изменил третий закон Кеплера?
- Комета Галлея имеет эксцентриситет орбиты $e = 0,967$ и период обращения вокруг Солнца $T = 76$ лет. Чему равны большая полуось орбиты, перигелий и афелий расстояния кометы? Где расположен афелий кометы?

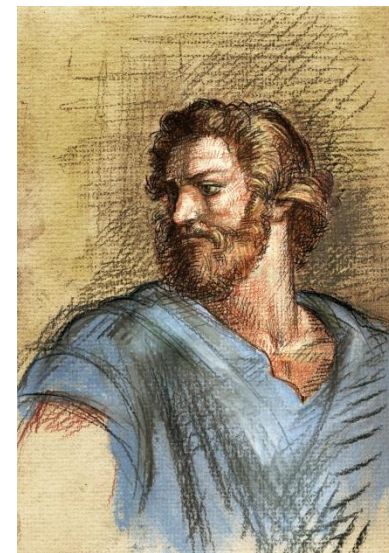


Платон

Платон: «Астрономия побуждает смотреть ввысь и ведёт от нашего мира к другим мирам» (Платон «Государство» 427-347 до н.э.)

Аристотель: «Семь свободных искусств – основа воспитания, которое надлежит давать не для практической пользы, но потому, что оно достойно свободнорождённого человека и само по себе прекрасно» (Аристотель «Политика», 384-322 до н.э.)

Аристотель



Мировоззренческая роль астрономии и необходимость её изучения (монастыри и первые университеты – астрономия один из обязательных предметов).

Карл Великий в 782 г. создал придворное общество ученых монахов - знатоков сочинений древних авторов. По инициативе этого общества при монастырях открыли школы, в которых обязательными предметами были арифметика, латинский язык и астрономия .

В XIV в. астрономию включили в число предметов факультета свободных искусств университетов. Этот факультет был обязательным во всех университетах. Этот факультет был, предварительным, так как подготавливал к обучению на основных факультетах (богословском, юридическом, медицинском).

Изучение семи свободных искусств проводилось в два цикла, которые назывались тривиум и квадривиум. В тривиуме изучались грамматика, риторика и диалектика. **В следующем квадривиуме – арифметика, геометрия, астрономия и музыка.**

27

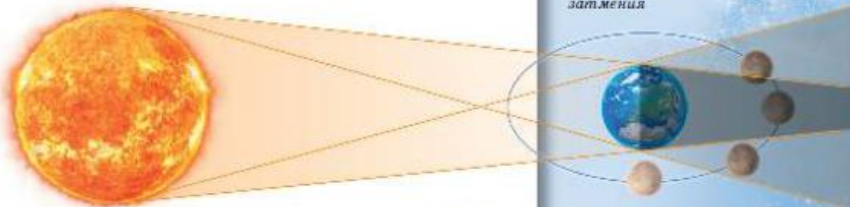
Так, например, в Москве полные солнечные затмения происходили 11 августа 1123 г., 20 марта 1140 г., 7 июня 1415 г., 25 февраля 1476 г., 19 августа 1887 г. Очередное полное затмение Солнца в Москве продолжительностью около 7 минут произойдёт 16 октября 2126 г.

ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ В отличие от солнечных, лунные затмения представляют собой физическое явление прохождения Луны сквозь земную тень. Во время полного затмения Луна видна на небе, только её свет заметно слабее, чем обычно, и имеет тёмно-красный цвет. Это объясняется тем, что солнечные лучи, проходя через земную атмосферу, преломляются в ней и таким образом попадают на поверхность Луны.

На протяжении календарного года происходит от 2 до 5 солнечных затмений и от 0 до 3 лунных затмений.




Схема лунного затмения



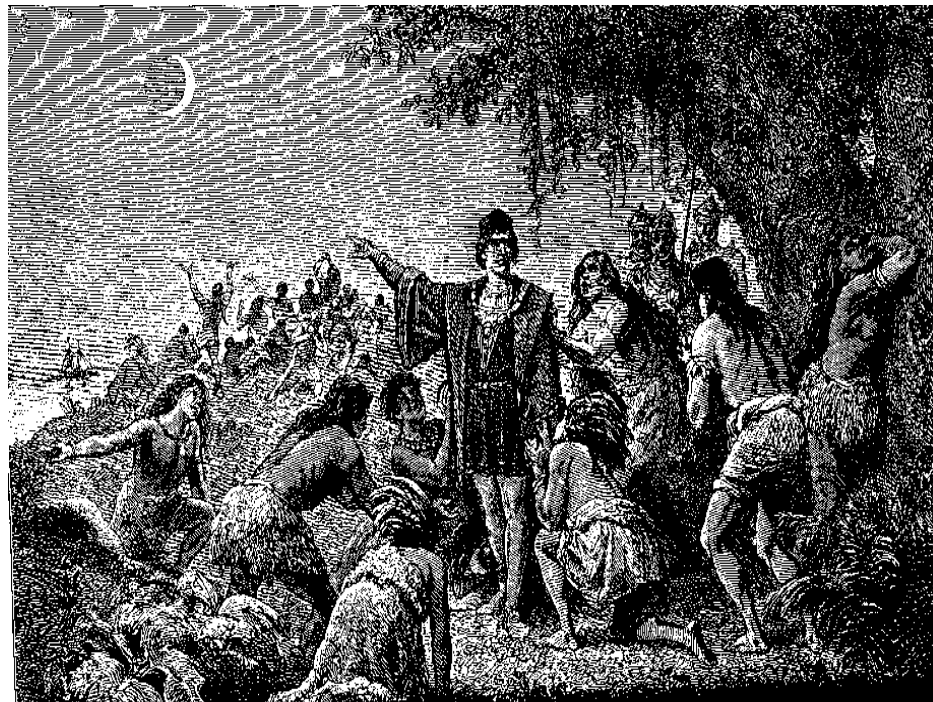
Ещё древние вавилоняне заметили, что все затмения повторяются в том же порядке примерно через 18 лет и 11 дней.

Этот период у древних вавилонян назывался циклом Сароса (в переводе с египетского *saros* — повторение), им пользовались для предсказаний затмений.

 Христофор Колумб, которому вместе с его небольшим отрядом грозила голодная смерть на Ямайке из-за недружелюбного и агрессивного отношения местных жителей-караيبов, нашёл способ добыть припасов, пригрозив им, что он лишит их лунного света. Вожди не поверили угрозам. Колумб знал, что 29 февраля 1504 г. вечером произойдёт затмение Луны. В этот день он пригласил вождей к себе и, как хороший актёр, прекрасно провёл сцену «котятня» и последующего великодушного «возвращения» им Луны. С этого момента продовольственные припасы доставлялись в его лагерь в изобилии и без всяких проволочек.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Что такое сидерический месяц?
- Опишите фазы Луны.
- Предскажите затмение Солнца. Полное затмение Солнца произошло 29 марта 2006 г. Когда обязательно наступит следующее такое затмение?



Колумб грозит караибам на о. Ямайка, что лишит их лунного света, если они не доставят ему припасов

34

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как в античные времена пред- ставляли строение Солнечной системы.
- Как в гелиоцентрической системе мира объясняют петлеобразное движение планет.
- Какие наблюдения доказывают, что Земля обращается вокруг Солнца, а не наоборот.
- Как учёные определили расстояние до звезд.
- Что такое парсек.

ВСПОМНИТЕ:

- Как движется планета для наблюдателя с Земли?
- Как движутся звезды по небесной сфере?

Древнегреческий математик и астроном Евдокс (около 408—355 гг. до н. э.) объяснил петлеобразное движение планет как комбинация 26 чисто умозрительных геометрических сфер. Выдающийся философ и создатель древней физики Аристотель пытался усовершенствовать геоцентрическую систему мира, увеличив число сфер до 56, утверждая, что они представляют собой круглые сферы. Считая шарообразную Землю центром Вселенной, ограниченной хрустальной сферой неподвижных звезд, Аристотель говорил о резком сплывании всего небесного от земного. Согласно Аристотелю, небесная система состоит из эфира — особого светящегося, невесомого, вечного и неизменяемого вещества. Круговое движение — самое совершенное, и поэтому небесные светила могут двигаться только равномерно по кругам. Двигаясь с тем же может быть, центром кругового движения другие тел

8

СИСТЕМА МИРА

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА Пытаясь представить себе строение мира (Вселенной), объяснить видимые движения небесных светил и предсказать их положение на небе, древнегреческие мыслители создавали геометрические модели, известные под названием геоцентрических систем мира (от греч. *Гео* — Земля, т. е. Земля в центре мира). В этих системах центром Вселенной считалась неподвижная Земля, а все небесные светила — обр

Такой взгляд на природу и то, что в действительности было вполне закономерен, так как непосредственно вытекал из наблюдений: никаких признаков вращения Земли не обнаруживалось, зато наблюдалось равномерное суточное вращение всего вместе со светилами вокруг Земли. Поэтому равномерное движение по окружности считалось совершенным (идеальным) и приписывалось всем без исключения небесным светилам. Суточное вращение звезд объясняется просто: считается, что звезды находятся на внутренней поверхности сферы, которая равномерно вращается вокруг Земли. Но чтобы объяснить перемещение Солнца, Луны и неравномерное петлеобразное передвижение планет по звездному небу, не нарушая принципа совершенного движения по окружности, приходилось создавать сложные построения из большого числа геометрических сфер, различая по своим размерам.

Многочисленные астрономические наблюдения подтолкнули во II в. выдающийся александрийский астроном Клавдий Птолемей. Будучи сторонником учения Аристотеля, он разработал математическую теорию движения Солнца, Луны и планет, позволявшую с большой по тому времени точностью предсказывать видимые положения этих светил на небе.

Упрощенная схема его геоцентрической системы мира представлена на рисунке 8. В соответствии со скоростью перемещения светил Птолемей располагал их в следующей последовательности от Земли: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн. Далее располагались сферы неподвижных звезд, ограничивающая Вселенную. В системе Птолемея вращение небесной сферы вокруг Земли с востока на запад объясняет восход и заход светил. Помимо этого, Солнце и Луна равномерно движутся вокруг Земли в прямом направлении (с запада на восток) по большим кругам — деферентам (от лат. *деференте* — вращающийся). Планеты также равномерно и в прямом направлении движутся по малым кругам — эпициклам

(от греч. *эпи* — на и *киклос* — круг), а центры эпициклов равномерно движутся в прямом направлении по своим деферентам. Сочетание движений планет по эпициклам с движением эпициклов по деферентам объяснило видимое петлеобразное движение планет.

Знание параметров циклов и эпициклов, их угловых радиусов и скорости перемещения по ним позволило заранее рассчитать положение планеты в будущем.

Система мира Птолемея сыграла большую роль в науке, так как позволяла предсказывать видимое положение планет и побуждала астроном совершенствовать наблюдения с целью уточнения теории движения планет.

Система мира Птолемея хорошо укладывалась в рамки религиозных христианских представлений о Вселенной, поэтому она поддерживалась церковью. Благодаря этому она продолжалась в науке почти три тысячи лет.

Между тем потребности мореплавания требовали более точного предсказания положений планет на много лет вперед. В рамках геоцентрической системы мира Птолемея составление таких таблиц требовало вычисления тысяч эпициклов.

К середине XIII в. общее число эпициклов достигло 70 и настолько запутало вычисления видимых положений планет, что неадекватность системы Птолемея стала очевидной.



Клавдий Птолемей (ок. 100 — ок. 170) Древнегреческий учёный. Разработал математическую теорию движения планет вокруг неподвижной Земли.



Николай Коперник (1473—1543) Польский астроном. Объяснил видимое движение небесных светил вращением Земли вокруг оси и обращением планет (в том числе Земли) вокруг Солнца. Свое учение изложил в сочинении «Об обращении небесных сфер».

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА КОПЕРНИКА В середине XVI в. Николай Коперник обнаружил, что суточное движение небесного свода очень просто объяснить вращением Земли вокруг своей оси. Он показал, что вся сложность системы Птолемея сразу исчезает, если основываться на следующих гипотезах:

- 1) планеты вращаются вокруг Солнца, а не вокруг Земли;
- 2) Земля есть одна из планет и, следовательно, также обращается вокруг Солнца.

Таким образом, по теории Коперника планеты действительно движутся по кругам без всяких остановок и поворотов; описываемые ими пути (эпициклы) кончатся из-за того, что мы смотрим на них с движущейся Земли.

Падичное движение Солнца по эклиптике объясняется годичным движением Земли вокруг Солнца. Земля никак не выдвигается и является одной из планет, занимая третье место от Солнца. Порядком расположения планет от Солнца такой: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн. Система Коперника с Солнцем в центре называется гелиоцентрической (от греч. *гелиос* — Солнце). Вокруг Земли движется только Луна.

Рассмотрим видимое движение так называемой верхней планеты (например, Марса), т. е. планеты, находящейся дальше от Солнца, чем Земля.

На рисунке 9 цифрами 1, 2, 3, 4, ... обозначены положения Земли и планеты на своих орбитах в различные моменты времени. Земля и планета движутся в том же направлении, но движение планеты медленнее.

В первый момент, когда Земля и планета расположены на своих орбитах в точке 1, планета будет на бесконечно большой небесной сфере в точке 1. Ко второму моменту планета передвинется среди звезд влево, т. е. к востоку. Но так как Земля движется быстрее планеты, то в следующем моменте планета начнет замедлять своё видимое движение до момента 3, где она останавливается. Далее она меняет движение на обратное.

В четвёртый момент наступает противостояние планеты. Земля обгоняет её по орбите, а на небесной сфере планета будет двигаться с востока на запад, т. е. попятно, вплоть до момента 5.

В моменты 6 и 7 планета обгонит Землю, и мы будем наблюдать прямое движение планеты по небесной сфере с запада на восток. Таким образом, планета обогнет на заданном небе путь 1—2—3—4—5 в форме петли.

Внешняя планета подходит ближе всего к Земле во время противостояния, когда она находится на небе в точке, противоположной Солнцу. Следовательно, в это время Солнце, Земля и планета находятся на одной прямой. Как видно на рисунке 9, область точки противостояния планета совершает обратное (попятное) движение.

Во время противостояния планета видна всю ночь, достигая максимальной высоты над горизонтом в полночь.

Когда планета проходит за Солнцем (и, следовательно, не видна), то говорят, что она находится в соединении с Солнцем. В это время происходит её самое быстрое прямое движение, так как Земля и планета движутся навстречу друг другу.

К внутренним (или нижним) планетам относятся Меркурий и Венера, их орбиты расположены ближе к Солнцу, чем Земля. По этой причине Венера бывает видна только как утренняя или вечерняя звезда: утром она может быть видна на рассвете на востоке в лучах утренней зари, а вечером на западе в лучах вечерней зари. При этом она никогда не отходит от Солнца дальше, чем на 45°.

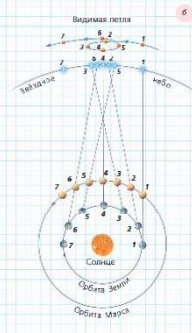
На рисунке 10 показано, как Земля и планета движутся в одну сторону. Планета движется быстрее Земли. В первый момент планета находится на одной линии с Землей за Солнцем и с Землей не видна; это положение называется верхним соединением планеты с Солнцем. После этого она появляется восточнее Солнца и в каждом днём отходит от него всё дальше влево, т. е. к востоку. В это время она видна на вечернем.

Достигнув наибольшего восточного удаления (угла между Солнцем, планетой и Землей равен 90°), она начинает опять приближаться к Солнцу, проходит между Солнцем и Землей в положении так называемого нижнего соединения и появляется по другую сторону Солнца, и появляется от него, а в виде утренней звезды.

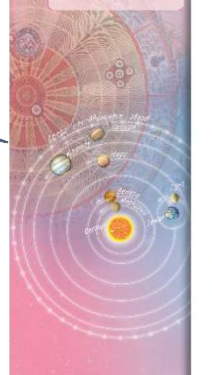
После наибольшего западного удаления, когда угол между Солнцем, планетой и Землей равен 90°, она опять приближается к Солнцу, и наконец, скрывается за ним; затем всё повторяется в том же порядке.

По повторяющимся на небе положениям планет относительно Солнца Коперник вычислил расстояния от планет до Солнца, приняв за единицу измерения среднее расстояние от Земли до Солнца — 1 астрономическую единицу (1 а. е. = 149,6 млн км).

- Меркурий — 0,4;
- Венера — 0,7;
- Земля — 1;
- Марс — 1,5;
- Юпитер — 5;
- Сатурн — 10.



Гелиоцентрическая система мира Коперника





Гравюра XVIII в. из официального отчёта Академии Наук.
Екатерина II наблюдает прохождение Венеры по диску Солнца в 1769 г.
На стеле за спиной императрицы различима дата: MDCCLXIX.

116

31

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК

- ВЫ УЗНАЕТЕ:**
- Как классифицируют галактики по форме.
 - Как определяют расстояние до галактик по красному смещению.
 - Знают Хаббла.
- ВСПОМНИТЕ:**
- Что такое зарывшие и расосные галактики (спиральные).
 - Как можно определить расстояние до галактик и звездных скоплений?

Наблюдая за переменными звездами — цефеидами, позволило определить расстояние до многих звездных скоплений и туманностей. В 20-е гг. XX в. было установлено, что многие туманности, называвшиеся ранее эллиптическими и спиральными, находятся за пределами нашей Галактики и являются самостоятельными звездными системами — галактиками. По числу звездных и их звезд они не уступают нашей звездной системе. Изучив строение галактик, их распределение и движение в пространстве имеют решающее значение для понимания законов эволюции всей части наблюдаемой нами Вселенной.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК. Число галактик, доступных наблюдению в крупнейшие телескопы, достигнет десятка миллиардов. Несмотря на исключительное многообразие внешнего вида, большинство галактик все же можно объединить в несколько основных типов: эллиптические (E), спиральные (S) и неправильные (I).

В эллиптических галактиках относятся те из них, которые имеют вид круглой или эллипсов. Их кривая плавно уменьшается от центра к периферии. Никакой внутренней структуры у этих галактик нет. Наблюдения показывают, что эти галактики не вращаются, а

117

них очень мало газа и пыли, поэтому в них новые звезды не образуются, она состоит из старых звезд. Массы самых крупных эллиптических галактик достигают величины $10^{11} M_{\odot}$.

Спиральная галактика состоит из ядра и вращающихся спиральных рукавов, или ветвей. У обычных спиральных галактик (S) эти ветви отходят непосредственно от ядра. У персиковидных спиральных галактик они обозначаются (SB) ядро сосредоточено по диаметру поперечной плоскости — перпендикулярно. От ядра этой перемычкой и начинаются спиральные ветви. Так, одна из ближайших к нам звездных систем — Туманность Андромеды — является спиральной галактикой, а галактика M33 (300) спиральная галактика с перемычкой. Стоит так, что наша Галактика пошла по туманности Андромеды.

Спиральные галактики вращаются, у них много газа и пыли, которые концентрируются в плоскости галактики и в спиральных рукавах, в них много молодых горячих звезд спектральных классов O и B. Эти звезды излучают свечение диффузных газовых туманностей, распределенных с пыляными облаками вдоль спиральных ветвей. Облака газовых пылевых облаков и притягивают в них голубые звезды спектральных классов O и B говорят об активном процессе образования звезд, происходящего в спиральных рукавах этих галактик. Массы спиральных галактик составляют от 10^{10} до $10^{11} M_{\odot}$.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК

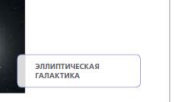


ВСЕЛЕННАЯ

ЛИНЕЙНАЯ ГАЛАКТИКА



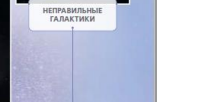
ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ГАЛАКТИКА



СПИРАЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ



СПИРАЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ С ПЕРЕМЫЧКОЙ



НЕПРАВИЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Звёзды

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД

Как и Солнце, звёзды освещают Землю, но из-за огромного расстояния до них освещённость, которую они создают на Земле, на много порядков меньше солнечной.

ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ. Имеем связь между звездной волнической и освещённостью, создаваемой звездой:

$$m = -2,5 \lg \frac{L}{L_{\odot}} - 19 \text{ или } L = 10^{-0,4(m+19)} L_{\odot}$$

Наблюдения показали, что среди звезд встречаются и сотни тысяч раз более мощные, чем Солнце, и звёзды со светимостями в десятки тысяч раз меньшими, чем у нашего Солнца.

Определения температур поверхности звезд показали, что от температуры поверхности звезды зависит её видимый цвет и наличие спектральных линий поглощения тех или иных химических элементов в её спектре.

Так, Сириус светит белым цветом и его температура равна почти 10 000 К. В спектре хорошо видны спектральные линии поглощения атома водорода (H₁, H₂, H₃). Звезда Бетельгейзе (от Ориона) имеет красный цвет и температуру поверхности около 3000 К. В спектре звезда (рис. а) видны линии молекул оксида титана TiO. Солнце желтого цвета имеет температуру 6000 К.

По температуре, цвету и виду спектра все звезды разделили на спектральные классы, которые обозначаются буквами O, B, A, F, G, K, M.

Почему же спектры звезд различны, хотя их химический состав примерно одинаков? Дело в том, что при температуре около 3000 К существуют молекулярные соединения, которые и вызывают в спектре фотохимия звезды полосы поглощения.

Спектры звезд различных спектральных классов

• Pup	O
• Ori	B
• CMa	A
• CMi	F
• Boo	G
• Aur	K
• Ori	M
• Cet	M

22

- ВЫ УЗНАЕТЕ:**
- Каковы основные звезды.
 - Что лежит в ней классификация.
 - Что представляет собой диаграмма «Спектральный класс — светимость звезд».
 - Какова связь между массой и светимостью звезды.

- ВСПОМНИТЕ:**
- Каков источник энергии Солнца?
 - Каково строение Солнца?

Почему звезда имеет $m = 2^+$ и создает освещённость на поверхности Земли $E = 4 \cdot 10^{-8} \text{ вт/м}^2$, что почти в 2000 раз меньше освещённости, создаваемой Солнцем.

Расстояние до Полярной звезды составляет 200 парсеков или около 650 световых лет ($1 \text{ п.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$). По этому светимости Полярной:

$$L_p = 4 \cdot 10^{31} \text{ вт} = 4 \cdot 2,34 \cdot 10^{10} \text{ вт}^2 \cdot 4 \cdot 10^{-10} \text{ вт/м}^2 = 6 \cdot 10^{31} \text{ вт} = 4600 L_{\odot}$$

Почему же спектры звезд различны, хотя их химический состав примерно одинаков? Дело в том, что при температуре около 3000 К существуют молекулярные соединения, которые и вызывают в спектре фотохимия звезды полосы поглощения.

•	a
•	Беллатрис
•	Сириус
•	Процион
•	Капелла
•	Арктур
•	Бетельгейзе
•	Мира

Галактики

63

полярные ледяные шапки, состоящие из углекислоты и водяного льда. Они увеличиваются зимой и уменьшаются летом.

По наблюдениям Марса во время его великого противостояния в конце XIX в. итальянский астроном Дж. Скиапарелли был составлена карта планеты. Многие астрономы того времени полагали, что каналы на поверхности планеты имеют искусственное происхождение. В настоящее время поверхность Марса изучена детально космическими станциями, нижних каналов не обнаружено.



Карта Марса Дж. Скиапарелли

Марс имеет два естественных спутника — Фобос и Деймос, которые видны лишь в сильное телескопы. Оба спутника сфотографированы космическими станциями. Они являются безформенными глыбами размером 27-21-19 км (Фобос) и 15-12-8 км (Деймос) и вращаются на астероидных орбитах. Поверхность спутников покрыта кратерами диаметрами от 50 до 10 км, несомненно являющимися результатом метеоритных ударов, так как в недрах малых тел вулканическая деятельность невозможна.

ВОПРОСЫ:

- Что общего у планет земной группы? Чем это сходство обусловлено?
- В чем различия планет земной группы? Чем эти различия обусловлены?

Марс

6800 км, или 0,533 диаметра Земли. Массы планеты равны 0,107 массы Земли. Средняя плотность вещества планеты составляет 3950 кг/м³, или 0,72 плотности Земли. Иногда Марс называют «красной планетой» из-за красноватого оттенка поверхности, придаваемого ей окислами железа.

Вращение Марса вокруг своей оси примерно, с периодом 24-37-28^м (марсианские звездные сутки), что определяет длительность его солнечных суток 24-39-39^м, которые продолжительнее земных всего лишь на 39,5^м. Наклон оси вращения Марса равен 24,56^о, т.е. близок к наклону земной оси (23-26^о).

Почему на Марсе, как и на Земле, имеются жаркий, два умеренных и два холодных тепловых пояса, а также происходит смена сезонов года, вызванная на которых почти в 2 раза продолжительнее земных сезонов, продолжительности вращательного периода 687 земных суток.

Среднегодовая температура поверхности Марса, так как он удален от Солнца на 1,52 Земли, получает тепла в 2,3 раза меньше, чем наша Земля. Тем не менее зимой, ни жара, ни морозы. По наблюдениям марсохода «Викинг-1» температура днем на поверхности до +10...+20^о С, а ночью падает до -80^о С. Такие резкие колебания температуры объясняются очень разреженной атмосферой, которая не в состоянии сохранить тепло, полученное днем поверхностью планеты, а в зимнее время быстро излучается в мировое пространство.

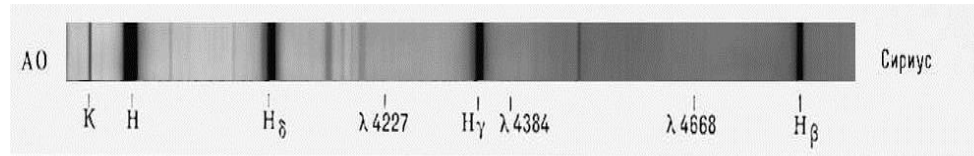
В атмосфере планеты содержится до 95% углекислого газа, около 2% азота, 0,3% кислорода и примерно 0,01% водяных паров. Плотность атмосферы и ее давление у поверхности так же, как и атмосфера Земли на высоте 30 км. При таких условиях вода не может находиться в жидком состоянии. Но наличие обводнения на поверхности, по мнению высказывающих ученых, указывает на возможное существование воды и, следовательно, плотной атмосферы на Марсе в далеком прошлом. А там, где была вода, возможно, была жизнь.

В настоящее время несколько марсоходов исследуют поверхность планеты и надеются найти иные признаки воды и жизни. Дополнительное исследование ожидается

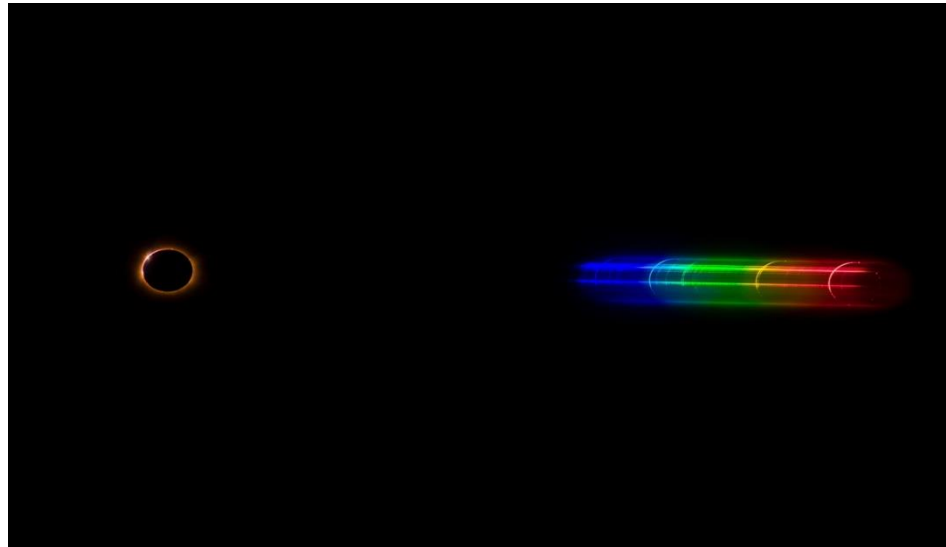
Полно Маринер — гигантская система каналов на поверхности Марса

Плутини, которые вызывают спутники на Марсе, немалочисленны, но несут на их орбиту лишь на далекие спутники. Так, Деймос, состоит из приливног горба, который он вызывает на Марсе. Приливног этого горба сходен Деймос, и он является от планеты. Ситуация похожа на то, что происходит с Луной. Но по фобос, наоборот, горбится приливног горбом, который он вызывает своим притяжением на Марсе, так как Фобос обгоняет его. Расчеты показывают, что Фобос должен упасть на Марс в течение нескольких миллионов лет. Следовательно, Фобос со временем у Марса недолго, несколько миллионов лет назад.

К началу XX в. физическая картина мира казалась почти завершенной. Окрыленное успехами XVIII-XIX вв. сообщество ученых верило, что в бесконечной Вселенной происходят процессы, подчиняющиеся уже известным физическим законам. Задача науки — это решение прикладных проблем.



Линейчатый спектр звёзд?



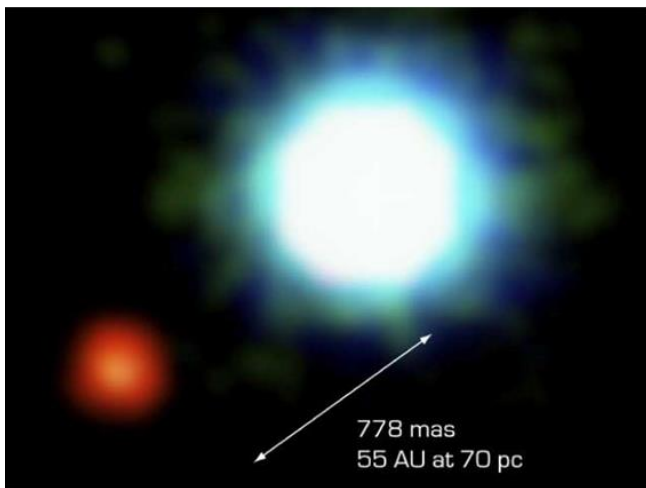
Правда, эту спокойную картину нарушали «небольшие» **астрономические проблемы**: объяснение спектров звезд, проблема трех тел, строение и энергетика Солнца, аномалии в движении перигелия Меркурия, ненаблюдаемость светового эфира, фотометрический и гравитационный парадоксы, парадокс «тепловой смерти Вселенной».

Как заглянули внутрь Солнца?



$\Delta E = 4,3 \cdot 10^{-12}$ Дж – энергия связи, которая выделяется

Через квадратный см каждую секунду проходит $7 \cdot 10^{12}$ нейтрино



Снимок получен на 8-ми метровом телескопе в Чили

12

2

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Где и как работают самые крупные оптические телескопы.
- Как астрономы исследуют гамма-излучение Вселенной.
- Что увидели гравитационно-волновые и нейтринные телескопы.

ВСПОМНИТЕ:

- Что изучает астрономия?
- Какими способами изучают Вселенную?
- Из каких объектов состоит Вселенная?

ДАЛЕКИЕ ГЛУБИНЫ ВСЕЛЕННОЙ

В последние десятилетия современная астрономия нацелена на изучение самых дальних областей Вселенной и изучение детальной структуры небесных тел. Для этого было построено несколько обсерваторий с гигантскими телескопами.

СОВРЕМЕННЫЕ ЗЕМНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ Следует отметить южную международную астрономическую обсерваторию в Чили. Благодаря тому, что она находится на высоте около 2635 м, удалось существенно уменьшить влияние атмосферы на формирование изображений небесных тел. Очень Большой Телескоп, состоящий из четырёх телескопов диаметром 8,2 м каждый. С помощью компьютерных технологий они могут работать вместе как гигантский интерферометр с угловым разрешением в несколько миллизекунд дуги.

Чувствительные инфракрасные приёмники света позволили проникнуть в центр Млечного Пути через облака газа и пыли, которые непрозрачны для видимого света, изучить движение отдельных звёзд в центре и обнаружить сверхмассивную чёрную дыру в нём.

Два телескопа с объективами по 10,4 м в диаметре установлены на высоте 4154 м в обсерватории на Гавайских островах. Соединённые вместе с помощью компьютерных технологий, телескопы начали работать, как телескоп диаметром 86 м с пространственным разрешением 0,004" (под таким углом будет видна буква «о» в нашем учебнике с расстояния 100 км).

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ И всё-таки атмосфера ограничивает наблюдения за небесными телами и мешает их проведению. Поэтому астрономы запускают телескопы за пределы земной атмосферы.

Используя длительные экспозиции, удалось заглянуть в далёкое прошлое Вселенной, в эпоху формирования первых галактик. Впервые были получены изображения протогалактик, первых сгустков материи, которые сформировались менее чем через миллиард лет после Большого взрыва.

13

Один из самых крутых космических оптических телескопов с диаметром зеркала 2,4 м – телескоп Хаббла – уже свыше 27 лет работает на высоте 540 км.

«Стали Творения» в Туманности Орла. В них рождаются новые звёзды

В настоящее время в космическом пространстве работает российская космическая обсерватория «РадиоАстрон». Совместно с наземными радиотелескопами обсерватория работает как радионитерферометр. Телескоп движется по очень вытянутой орбите с апогеем до 360000 км. По пространственному разрешению он сравним с радиотелескопом, который имел бы зеркало диаметром от Земли до Луны. «РадиоАстрон» позволяет получить информацию о структуре галактических и внегалактических радиостолбов на угловых масштабах до 8 микросекунд дуги ($8 \cdot 10^{-6}$ ”).

Сейчас в космическом пространстве вокруг Земли вращается гамма-телескоп имени Ферми. Так как гамма-излучение образуется при высокоэнергетических процессах рождения и аннигиляции частиц и античастиц, при ядерных реакциях, то телескоп позволяет исследовать эти процессы в небесных телах. На рисунке показана карта распределения γ -излучения по всему небу, полученная телескопом Ферми. На фотографии неба в γ -лучах выделяется излучение полюсов Млечного Пути, которое объясняется остатками взрывов сверхновых звёзд, нейтронных звёзд и чёрных дыр, концентрирующихся на плоскости Млечного Пути. Загадкой для астрономов являются два γ -пучка, протянувшихся перпендикулярно вверх и вниз от центра. Многие астрономы склонны думать, что в γ -излучении себя проявляют необычные свойства тёмной материи.

В настоящее время мы получаем информацию о небесных телах не только в различных диапазонах электромагнитного излучения. Большое развитие получила нейтринная астрономия, с её помощью удалось заглянуть внутрь Солнца и в ядра взрывающихся сверхновых звёзд. Совершенно новое направление представляет гравитационно-волновую астрономию. Её первые успехи связаны с прямым наблюдением гравитационного излучения, которое, по-видимому, образовалось при слиянии двух чёрных дыр.

Бурное развитие современной астрономии связано как с традиционным развитием наземных обсерваторий, так и с запуском телескопов за пределы земной атмосферы и наблюдениям в невидимых для астрономии диапазонах длин волн – инфракрасном, рентгеновском и γ -диапазоне.

Карта распределения γ -излучения

Neutrino Telescope



Cosmic Rays

1.6 km

100,000 gal. tank

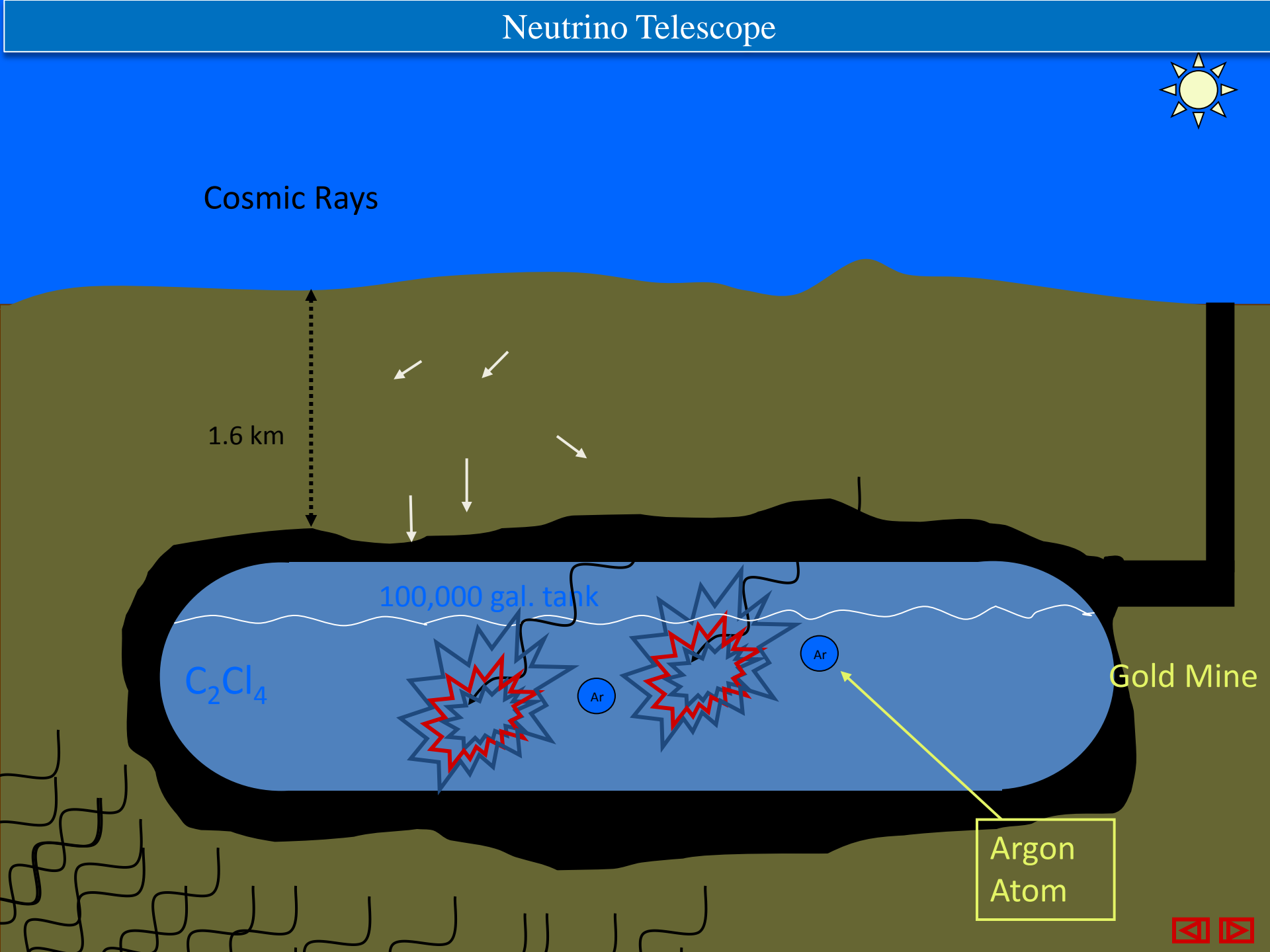


Ar

Ar

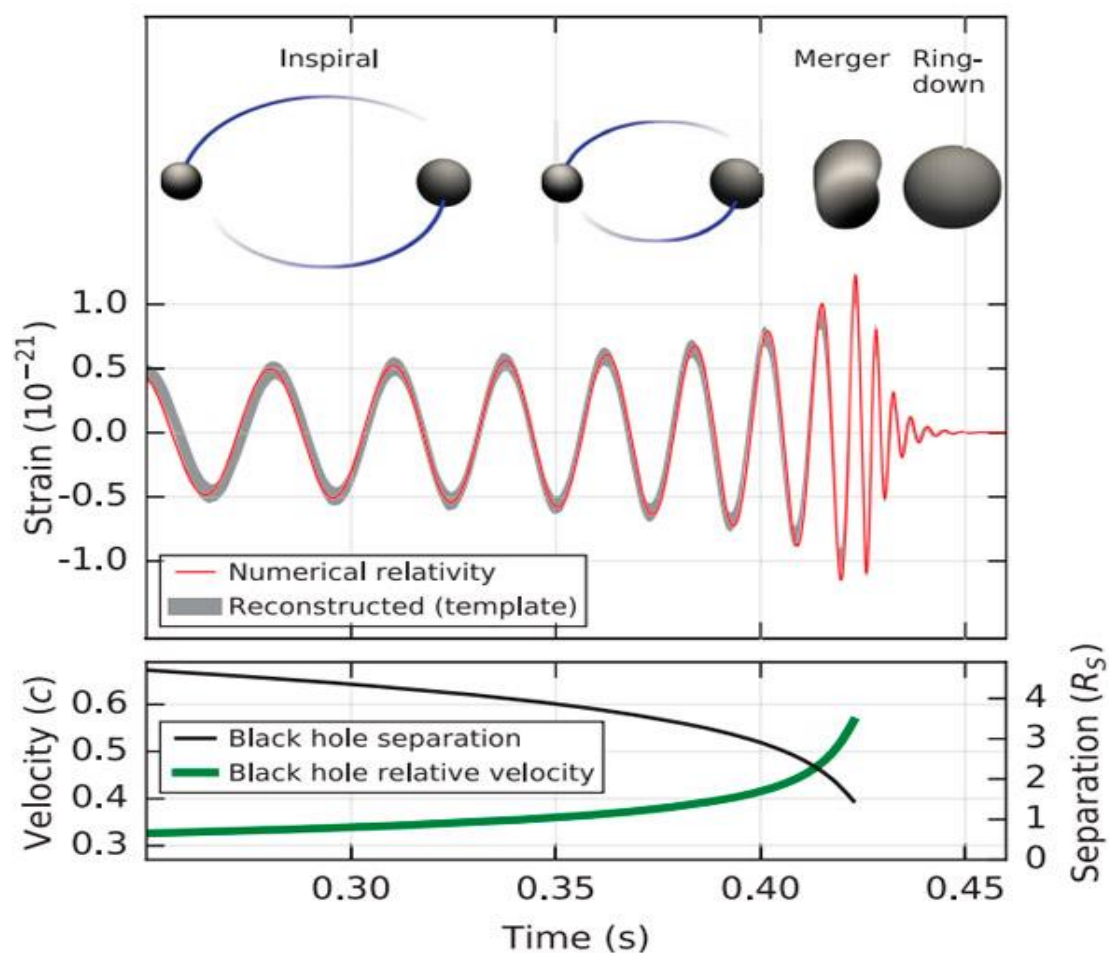
Gold Mine

Argon Atom



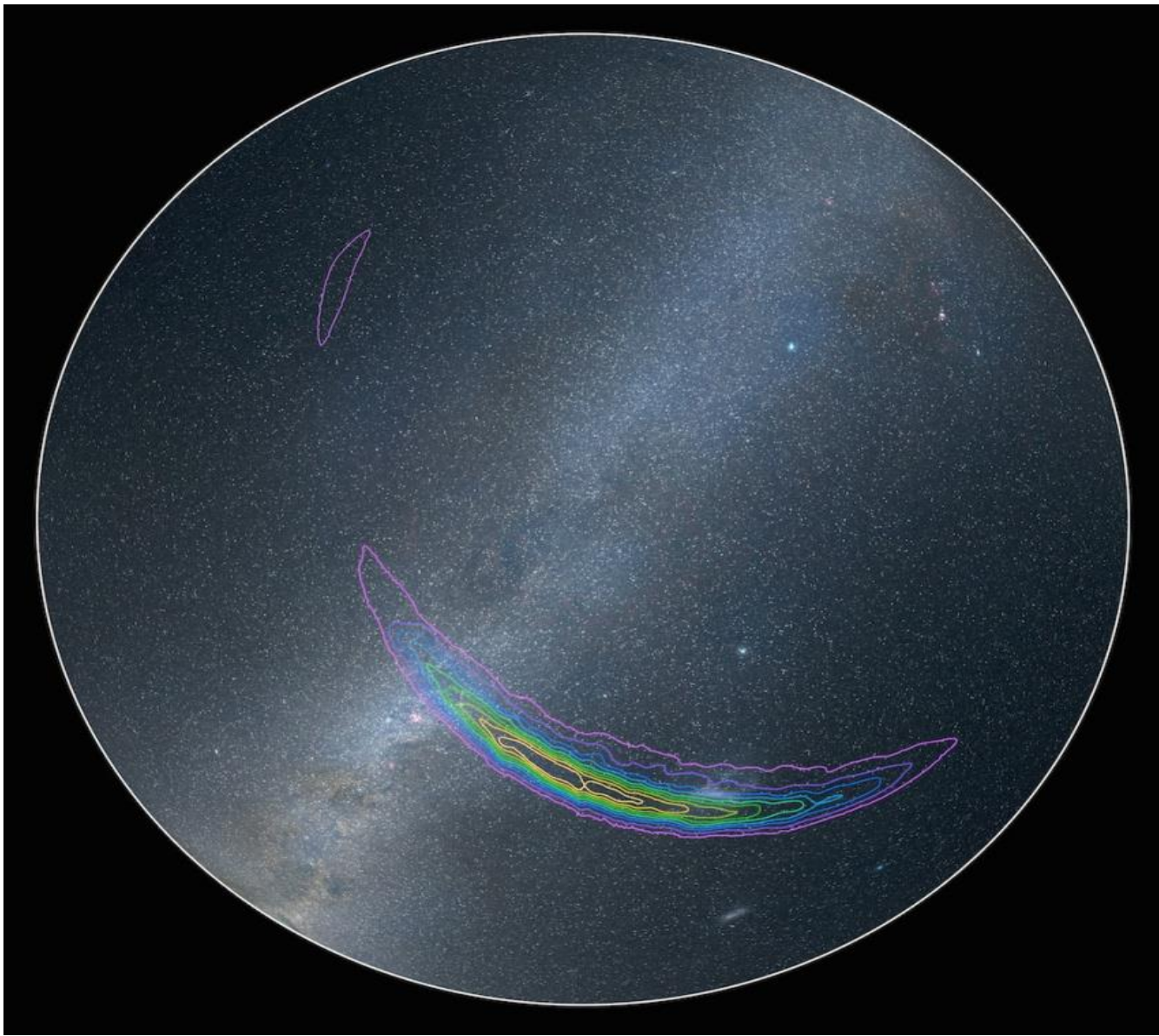


Изменение длин плечей меньше одной десятитысячной диаметра протона (10^{-19} м) могут быть обнаружены.



Вверху: профиль гравитационно-волнового излучения и соответствующие ему стадии слияния двух черных дыр.

Внизу: изменение эффективных орбитальных параметров пары с течением времени до момента слияния. Изображение из обсуждаемой статьи в *Physical Review Letters* Черные дыры в этом событии имели в 29 и 36 раз большие массы, чем масса Солнца, и событие произошло 1,3 млрд. лет назад. Примерно масса в 3 раза большая массы Солнца в доли секунды превратилась в гравитационные волны



Список наблюдательных работ

- 1. Определение диаметра Солнца с помощью камеры обскура.
- 2. Определение высоты Солнца с помощью гномона.
- 3. Измерение числа пятен (числа Вольфа) и оценка периода вращения Солнца (наблюдения в телескоп).
- 4. Фотографирование Луны через телескоп и определение высоты гор и размеров кратеров и морей на Луне.
- 5. Определение широты и долготы места по измерениям высоты Солнца в полдень с помощью гномона.

• Вечерние наблюдения в телескоп

Наблюдения осенних и зимних созвездий

Определение продолжительности сидерического и синодического месяца по движению и фазам Луны

Наблюдение планет, двойных звёзд, скоплений.

Работы с подвижной картой неба.

Работы с фотографиями небесных тел.