

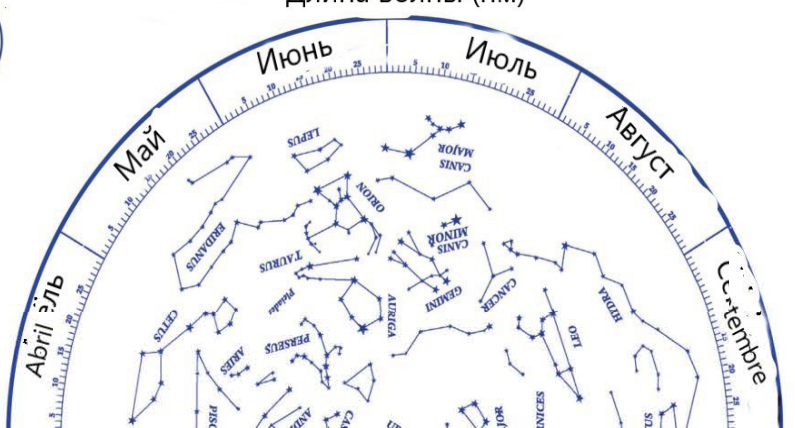
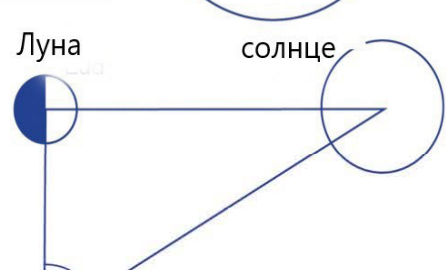
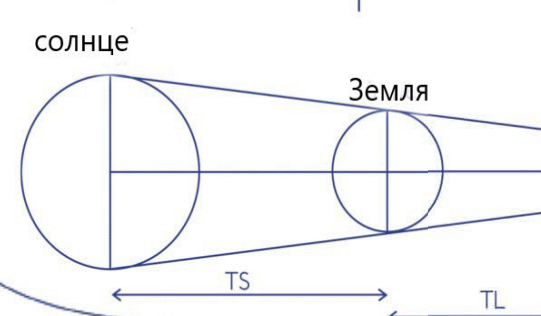
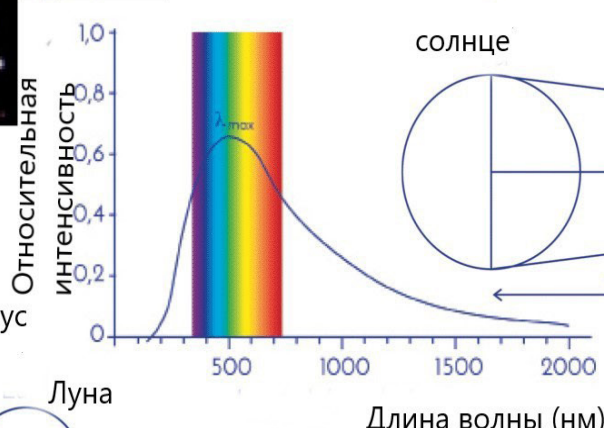
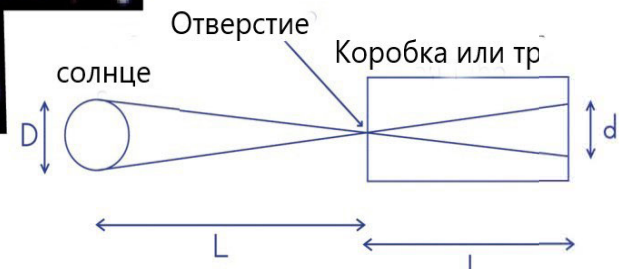
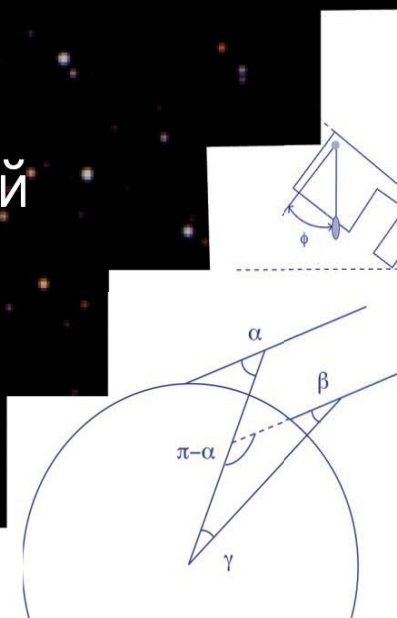
# 14 шагов к Вселенной

Курсы астрономии для преподавателей естественных наук и аспирантов

Сеть астрономического образования в школах NASE

Международный астрономический союз IAU

Редакторы: Роза М. Рос и Беатрис Гарсия





# 14 шагов к Вселенной

Курс астрономии  
для преподавателей  
и аспирантов  
естественных наук

Международный астрономический союз UAI

Издательства: Rosa M. Ros и Beatriz García

Сеть для обучения астрономии в школах

NASE



[www.naseprogram.org](http://www.naseprogram.org)



Первое издание: декабрь 2020 г.

© NASE

©Тексты: Хуан А. Бельмонте, Франсис Бертомье, Александр да Коста, Ханс Диг, Сусана Деустуа, Хульета Фиерро, Беатрис Гарсия, Мэри Кей Хеменуэй, Рикардо Морено, Джей М. Пасачофф, Джон Перси, Мадлен Рохас, Роза М. Рос, Флориан Зейтц, Андреа Соса, Магда Ставински, Ана Вильяэскуза, 2020 г.

Редакторы: Роза М. Рос и Беатрис Гарсия

Графический дизайн: Мария Видаль

Напечатано в ЕС

ISBN: 978-84-15771-84-5

Печать: Альбедо Фулledoум С.Л. Барселона, Испания, 2022 год.

# Индекс

Введение	7
Эволюция Звезд	8
Космология	20
История астрономии	26
Солнечная система	38
Видимый горизонт и солнечные часы	54
Звездный, солнечный и лунный демонстра тор	68
Система Земля-Луна-Солнце: фазы и затмения	86
Портфель молодого астронома	96
Спектр Солнца и пятна на Солнце	110
Жизнь звезд	122
Астрономия вне видимого	136
Расширение Вселенной	146
Планеты и экзопланеты	160
Элементы астробиологи	182
Подготовка наблюдений	196
Археoaстрономия и его образовательный потенциал	210



# Введение

Подготовка учителей необходима для улучшения преподавания астрономии в школах. Основная цель NASE - предложить качественные учебные курсы всем странам, заинтересованным в развитии астрономии на разных уровнях образования, интегрировать предметы, связанные с этой дисциплиной, в различные учебные программы и познакомить молодых людей с наукой через изучение Вселенной. Эти курсы разделены на 14 разделов (включая лекции и практические занятия), которые составляют начальную подготовку учителей астрономии. Эти первые 14 шагов к пониманию Вселенной, собранные в этой публикации, представляют собой работу профессоров и профессиональных астрономов, разрабатывавших курсы в течение нескольких лет, которые можно найти на веб-сайте NASE.

Следует отметить, что все предлагаемые мероприятия способствуют активному участию, наблюдению и, при необходимости, построению моделей для лучшего понимания научного содержания. Во всех школах есть игровая площадка, поэтому предлагается использовать это пространство как «астрономическую лабораторию» с целью проведения астрономических наблюдений и превращения учащихся в главных действующих лиц собственного обучения.

А благодарим всех авторов за сотрудничество в обработке материала. Мы также хотели бы поблагодарить за большую помощь, полученную для перевода и редактирования русской версии этой книги, Яблошевскую Юлию Сергеевну, Ксению Кантор и Мадлен

Рохас и Константин Корчуганов, а также за разработку и доработку рисунков и графиков в Ederlinda Vi для окончательного редактирования. и пересмотр текстов.

Чтобы узнать больше о курсах, разработанных на данный момент, мероприятиях и новых курсах, появившихся после первоначального курса, мы приглашаем читателя посетить веб-сайт NASE. Программа не ограничивается учебными курсами, так что после различных действий можно сформировать рабочие группы с учителями определенного населенного пункта, которые и поддерживают пламя, создавая больше материалов и новых занятий, выполняя их доступны в Интернете.

Кроме того, в Интернете можно найти различные дополнительные материалы, которые предлагают профессору, прошедшему курсы NASE, множество возможностей для расширения своих знаний и деятельности в своей школе.

Мы закончим эту презентацию цитатой из Конфуция (551 - 479 до н.э.), которая очень хорошо соответствует проекту и его целям:

я послушал и забыл  
Я видел и запомнил  
я сделал и понял

Главная цель NASE — сделать астрономию ближе для всех, чтобы каждый мог понять и оценить процесс усвоения новых знаний.

# Эволюция Звезд

Джон Перси

Международный Астрономический Союз, Университет Торонто (Канада)

.....

## Аннотация

Эта статья содержит полезную информацию о звездах и их эволюции для учителей Физики в средней школе. Она также включает ссылки на типичную школьную учебную программу по естествознанию и предлагает некоторые соответствующие занятия для учащихся.

## Цели

- Понять звездную эволюцию и процессы ее определяющие.
  - Понять Диаграмму Герцшпрунга-Рассела.
  - Понять систему абсолютной и видимой величин.
- .....

## Введение

Звездная эволюция означает изменения, которые происходят в звездах, от их рождения, через их долгую жизнь, до их смерти. Гравитация "заставляет" звезды излучать энергию. Гравитация "заставляет" звезды излучать энергию. Чтобы уравновесить эту потерю энергии, звезды производят энергию путем термоядерного синтеза более легких элементов в более тяжелые. При этом медленно изменяется их химический состав, следовательно, и другие свойства. В конце концов у них кончается ядерное топливо, и они умирают. Понимание природы и эволюции звезд помогает нам понимать и ценить природу и эволюцию нашего собственного Солнца - звезды, которая делает возможной жизнь на Земле. Оно помогает нам понять происхождение нашей Солнечной системы, а также атомов и молекул, из которых состоит все, включая жизнь. Оно помогает нам ответить на такие фундаментальные вопросы, как " производят ли достаточно энергии другие звезды, и живут ли они достаточно долго, и остаются ли они достаточно стабильными, так что жизнь могла бы зародиться и развиваться на планетах вокруг них?" По этим и другим причинам звездная эволюция является интересной темой для студентов.

## Свойства Солнца и Звезд

Первый шаг к пониманию происхождения и эволюции Солнца и звезд - это понимание их свойств. Учащиеся должны понять, как определяются эти свойства. Солнце - ближайшая звезда. Солнце обсуждалось и в других лекциях этой серии. В этой статье мы рассмотрим Солнце, так как оно связано со звездной эволюцией. Студенты должны понимать свойства, структуру и источник энергии Солнца, потому что те же принципы позволяют астрономам определять структуру и эволюцию всех звезд.

## Солнце

Основные свойства Солнца относительно легко определить по сравнению со свойствами других звезд. Его среднее расстояние, равное  $1.495978715 \times 10^{11}$  м, мы называем одной Астрономической Единицей. Исходя из этого, его наблюдаемый угловой радиус (959,63 угловых сек.) может быть преобразован геометрией в линейный радиус:  $6.96265 \times 10^8$  м или 696,265 км. Наблюдаемый поток Солнечного излучения ( $1,370 \text{ Вт/м}^2$ ) на расстоянии Земли может быть преобразован в полную мощность:  $3.85 \times 10^{26}$  Вт.

Его массу можно определить по гравитационному притяжению планет, используя Ньютоновские законы движения и тяготения:  $1,9891 \times 10^{30}$  кг. Температура излучающей поверхности - слой, из которого исходит его свет - 5780 К. Его период вращения составляет примерно 25 дней, но изменяется в зависимости от широты на Солнце, и оно почти точно круглое. Оно состоит в основном из водорода и гелия. В занятии 2 учащиеся смогут наблюдать Солнце, нашу ближайшую звезду, чтобы увидеть, как выглядит звезда.

## Звезды

Наиболее очевидным наблюдаемым



свойством звезды является ее видимая яркость. Она измеряется как величина, являющаяся логарифмической мерой потока энергии, который мы получаем.

Шкала магнитуд была разработана греческим астрономом Гиппархом (около 190-120 до н. э.). Он классифицировал звезды по величинам 1, 2, 3, 4 и 5. Вот почему более слабые звезды имеют более положительные величины. Позже было обнаружено, что, поскольку наши органы чувств логарифмически реагируют на раздражители, существует фиксированное доля яркости (2.512), соответствующая разнице в 1.0 по величине. Самая яркая звезда на ночном небе имеет магнитуду -1.44. Самая слабая звезда, видимая в самый большой телескоп, имеет магнитуду около 30.

Видимая яркость звезды  $V$  зависит от ее мощности  $P$  и расстояния  $D$  до нее. Согласно закону обратных квадратов яркости: яркость прямо пропорциональна мощности и обратно пропорциональна квадрату расстояния:  $V = P/D^2$ . Для ближайших звезд расстояние можно измерить с помощью параллакса. В Занятии 1 учащиеся могут сделать демонстрацию, чтобы продемонстрировать параллакс и показать, что параллакс обратно пропорционален расстоянию до наблюдаемого объекта. Мощность звезд затем может быть

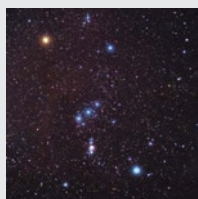


Рис. 1: Созвездие Ориона. Бетельгейзе, верхняя левая звезда, холодная и поэтому выглядит красноватой. Денеб, нижняя правая звезда, горячая и поэтому выглядит голубоватой. Туманность Ориона видна под тремя звездами в середине созвездия.

вычислена по измеренной яркости и закону обратных квадратов яркости.

Различные звезды имеют немного разный цвет; это легче всего увидеть, посмотрев на звезды Ригель (Бета Ориона) и Бетельгейзе (Альфа Ориона) в созвездии Ориона (рис. 1). В Занятии 3 учащиеся могут наблюдать звезды ночью и испытать чудо и красоту

настоящего неба. Цвета звезд обусловлены различными температурами излучающих слоев звезд. Холодные звезды кажутся слегка красными; горячие звезды кажутся слегка голубыми. (Противоположно цветам,

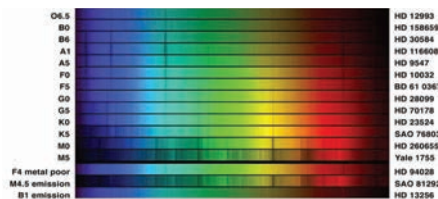


Рис. 2: Спектр многих звезд, от самых горячих (O6.5: верхняя) до самых холодных (M5: четвертая снизу). Спектры выглядят по-разному из-за разных температур звезд. Три нижних спектра принадлежат своеобразным в некотором роде звездам. Источник: Национальная Оптическая Астрономическая Обсерватория.

которые можно увидеть на краях горячей и холодной воды в вашей ванной комнате!) Из-за того, как наши глаза реагируют на цвет, красная звезда кажется красновато-белой, а голубая - голубовато-белой.

Цвет можно точно измерить с помощью фотометра с цветными фильтрами, а затем по цвету можно определить температуру.

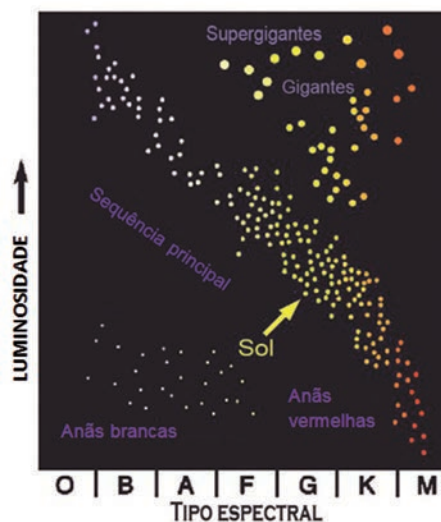


Рис. 3: Диаграмма Герцшпрунга-Рассела, график зависимости звездной величины или светимости от температуры звезд. По историческим причинам, температура возрастает влево. Буквы OBAFGKM – описательные спектральные типы связанные с температурой. Диагональные линии отражают радиус звезд; большие звезды (гиганты и сверхгиганты) находятся в верхнем правом углу, меньшие звезды (карлики) – в нижнем левом. Обратите внимание на главную последовательность идущую из нижнего правого угла в верхний левый. Большинство звезд находятся здесь. Массы звезд главной последовательности показаны. Расположения некоторых известных звезд также отмечены. Источник: Калифорнийский Университет в Беркли, des.

Температуру звезды можно также определить по ее спектру - распределению цветов или длин волн в свете звезды (рис. 2). Этот рисунок демонстрирует красоту цветов света от звезд. Этот свет прошел через внешнюю атмосферу звезды, и ионы, атомы и молекулы в атмосфере удаляют определенные длины волн из спектра. Это приводит к появлению темных линий или отсутствию цветов в спектре (рис. 2). В зависимости от температуры атмосферы атомы могут

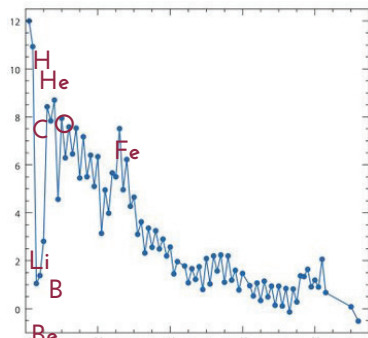


Рис. 4: Содержание элементов в Солнце и звездах. Водорода и Гелия наибольшее количество. Литий, бериллий, и бор имеют очень малое содержание. Углерода, азота, и кислорода много. Содержание других элементов сильно уменьшается с возрастанием атомного числа. Водород в 1012 раз больше урана. Элементы с четным количеством протонов имеют более высокое содержание чем у элементов с нечетным количеством протонов. Элементы легче железа производятся за счет термоядерного синтеза в звездах. Элементы тяжелее железа производятся нейтронным захватом при взрывах сверхновых. Источник: НАСА.

быть ионизованными, возбужденными или объединенными в молекулы. Таким образом, наблюдаемое состояние атомов в спектре дает информацию о температуре.

Столетие назад астрономы обнаружили важную связь между мощностью звезды и ее температурой: для большинства (но не для всех) звезд мощность больше для звезд с большей температурой. Позже выяснилось, что определяющим фактором была масса звезды: более массивные звезды более мощные и горячие. График зависимости мощности от температуры называется диаграммой Герцшпрунга-Рассела (рис. 3). Для учащихся очень важно научиться строить графики (Занятие 8) и интерпретировать их (рис. 3).

Одной из главных задач астрономии является определение мощностей звезд различных видов. Затем, если такая звезда наблюдается в другом месте во вселенной, астрономы могут использовать ее измеренную яркость  $V$  и предполагаемую мощность  $P$ , чтобы определить ее расстояние  $D$  по закону обратных квадратов яркости:  $V = P/D^2$ .

Спектры звезд (и туманностей) также показывают, из чего состоят звезды: кривая космического содержания (рис. 4). Они состоят примерно на 3/4 из водорода, на 1/4 из гелия и на 2% из более тяжелых элементов, в основном углерода, азота и кислорода.

Около половины звезд в окрестностях Солнца являются двойными звездами - две звезды движутся вокруг друг друга. Двойные звезды важны, потому что они позволяют астрономам измерять массы звезд. Массу одной звезды можно измерить, наблюдая за движением второй звезды, и наоборот. Сириус, Процион и Капелла являются примерами двойных звезд. Есть также кратные звезды: три или более звезд движущиеся друг вокруг друга. Альфа Центавра, ближайшая к Солнцу звезда,

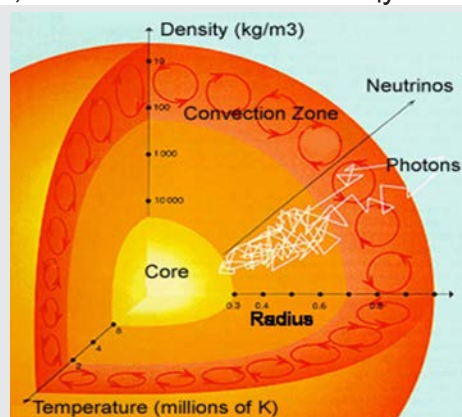


Рис. 5: Поперечное сечение Солнца, определенное из физических моделей. Во внешней конвективной зоне энергия передается конвекцией; под ней передается излучением. Энергия производится в ядре. Источник: Институт Теоретической Физики, Университет Осло.

является тройной звездой. Эпсилон Лир - это четверная звезда.

Как упоминалось выше, существует важное соотношение между мощностью звезды и ее массой: мощность пропорциональна примерно кубу массы. Это называется

зависимость масса — светимость.

Массы звезд колеблются от 0.1 до 100 масс Солнца. Их мощности колеблются от 0.0001 до 1,000,000 мощностей Солнца. Самые горячие нормальные звезды около 50,000 K; самые холодные - около 2,000 K. Когда астрономы исследуют звезды, они обнаруживают, что Солнце массивнее и мощнее, чем 95% всех остальных звезд в его окрестностях. Массивные, мощные звезды крайне редки. Солнце - это не средняя звезда. Оно выше среднего!

## Строение Солнца и Звезд

Строение Солнца и звезд определяется в первую очередь гравитацией. Гравитация заставляет текучее Солнце быть почти идеально сферическим. Глубоко в Солнце давление будет расти из-за веса слоев газа над ним. Согласно газовым законам, которые применимы к совершенному газу, плотность и температура также будут выше, если давление выше. Если более глубокие слои горячее, тепло будет течь наружу, потому что тепло всегда течет от горячего к менее горячему. Это может происходить за счет излучения или конвекции. Эти три принципа сводятся к зависимости масса — светимость.

Если теплотечет из Солнца, то более глубокие слои будут охлаждаться, и гравитация будет сжимать Солнце – если только не будет произведена энергия в центре Солнца. Оказывается так и есть, поскольку Солнце не сжимается, а удерживается радиационным давлением, создаваемым в процессе термоядерного синтеза, описанного ниже.

Эти четыре простых принципа применимы ко всем звездам. Они могут быть выражены в виде уравнений и решены на компьютере. Это дает модель Солнца или любой звезды: давление, плотность, и поток энергии на любом расстоянии от центра звезды. Это основной метод, с помощью которого астрономы изучают строение и эволюцию звезд. Модель строится для конкретной предполагаемой массы и состава звезды; и по ней астрономы могут предсказать радиус звезды, мощность и другие наблюдаемые свойства. (рис. 5).

Астрономы недавно разработали очень мощный метод проверки своих моделей строения Солнца и звезд - гелиосейсмологию или, для других звезд, астеросейсмологию. Солнце и звезды тихонько вибрируют в тысячах различных паттернах или режимах. Их можно пронаблюдать с помощью чувствительных инструментов и сравнить со свойствами вибраций, которые были бы предсказаны в моделях.

## Источник Энергии Солнца и Звезд

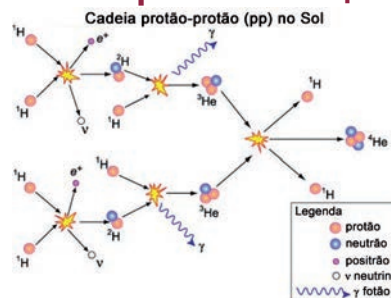


Рис. 6: Протон-протонный цикл, в ходе которого водород превращается в гелий в Солнце и других звездах низкой массы. На этом и следующем рисунке, заметьте что нейтрино ( $\nu$ ) выделяются в некоторых реакциях. Энергия выделяется в форме гамма лучей ( $\gamma$ -лучи) и кинетической энергии ядра. Источник: Австралийский Национальный Телескоп.

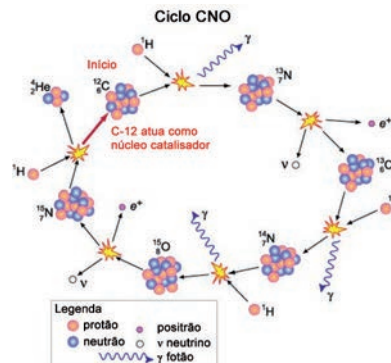


Рис. 7: CNO-цикл, в ходе которого водород превращается в гелий в звездах с массой больше Солнечной. Углерод-12 ("начало") действует как катализатор; участвует в процессе, не будучи израсходованным сам по себе. Источник: Австралийский Национальный Телескоп.

На протяжении многих веков ученые задавались вопросом об источнике энергии Солнца и звезд. Наиболее очевидным источником является химическое сжигание топлива, такого как нефть или природный газ, но из-за очень высокой мощности Солнца ( $4 \times 10^{26}$  Вт) этот источник длился бы всего несколько тысяч лет. Но еще несколько столетий назад люди думали, что возраст Земли и Вселенной составляет всего несколько тысяч лет, потому что

именно так, казалось, говорит Библия!

После работы Исаака Ньютона, который разработал Закон Всемирного Тяготения, ученые поняли, что Солнце и звезды могут генерировать энергию путем медленного сжатия. Гравитационная (потенциальная) энергия будет преобразована в тепло и излучение. Этого источника энергии хватило

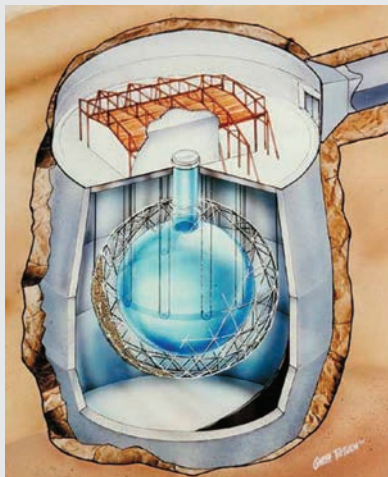


Рис. 8: Детектор SNO, где ученые подтвердили модели термоядерного синтеза в Солнце наблюдая предсказанный поток нейтрино. Сердцем обсерватории является большой резервуар с тяжелой водой. Ядро дейтерия (см. текст) периодически взаимодействует с нейтрино и производит наблюдаемую вспышку света. Источник: Нейтринная Обсерватория в Садбери.

бы на несколько десятков миллионов лет. Геологические данные, однако, предполагали, что Земля, а следовательно, и Солнце, были намного старше этого.

В конце 19-го века ученые обнаружили радиоактивность, или атомный распад. Радиоактивные элементы, однако, очень редки в Солнце и звездах, и не могли обеспечить их энергией в течение миллиардов лет.

Наконец, в 20-м веке ученые поняли, что легкие элементы могут сливаться в более тяжелые элементы, процесс, называемый ядерным синтезом. Если температура и плотность были бы достаточно высокими, то произвелось бы большое количество энергии - более чем достаточно, чтобы питать Солнце и звезды. Элемент с наибольшей потенциальной энергией слияния был водородом, а водород

является самым распространенным элементом в Солнце и звездах.

В маломассивных звездах, таких как Солнце, синтез водорода происходит в серии реакций, называемых pp-циклом. Протоны сливаются, образуя дейтерий. Другой протон сливается с дейтерием, образуя гелий-3. Ядра гелия-3 сливаются с образованием гелия-4, нормального изотопа гелия (рис. 6).

В массивных звездах водород превращается в гелий через другую серию реакций, называемую CNO-циклом, в котором углерод-12 используется в качестве катализатора (рис. 7). В конечном результате в каждом случае четыре ядра водорода сливаются, образуя одно ядро гелия. Небольшая часть массы ядер водорода преобразуется в энергию; см. Занятие 9. Так как ядра обычно отталкиваются друг от друга из-за их положительных зарядов, слияние происходит только в том случае, если ядра сталкиваются энергично (высокая температура) и часто (высокая плотность).

Если ядерный синтез питает Солнце, тогда термоядерные реакции должны производить большое количество субатомных частиц, называемых нейтрино. Они обычно проходят сквозь материю, не взаимодействуя с ней. Каждую секунду через наши тела проходят миллиарды нейтрино. Специальные "нейтринные обсерватории" могут обнаружить несколько таких нейтрино. Первые нейтринные обсерватории обнаружили лишь треть от предсказанного числа нейтрино. Эта "проблема Солнечных нейтрино" продолжалась более 20 лет, но в конечном итоге была решена Нейтринной Обсерваторией в Садбери (SNO) в Канаде (рис. 8). Сердцем обсерватории был большой резервуар с тяжелой водой - водой, в которой некоторые ядра водорода являются дейтерием. Эти ядра случайно поглощают нейтрино и испускают вспышку света. Существует три типа нейтрино. Две трети Солнечных нейтрино превращались в другие типы. SNO чувствителен ко всем трем типам нейтрино и обнаружил полное число нейтрино, предсказанное теорией.

## Жизни Солнца и Звезд:

Поскольку "научный метод" является такой фундаментальной концепцией в преподавании науки, мы должны начать с объяснения того, как астрономы понимают эволюцию звезд:

- с помощью компьютерного моделирования, основанного на законах физики, как описано выше;

- наблюдая за звездами на небе, которые находятся на различных стадиях эволюции, и помещая их в логическую "эволюционную последовательность";

- наблюдая звездные скопления: группы звезд, которые сформировались из одного облака газа и пыли в одно время, но с разными массами. В нашей галактике есть тысячи звездных скоплений, в том числе около 150 шаровых скоплений, которые являются одними из самых старых объектов в нашей галактике. Гиады, Плеяды и большинство звезд Большой Медведицы - это скопления, которые можно увидеть невооруженным глазом. Скопления - это "эксперименты природы": группы звезд, образованные из одного материала в одном месте в одно время. Их звезды отличаются только массой. Поскольку разные скопления имеют разный возраст, мы можем видеть, как совокупность звезд разной массы появляется в разном возрасте после их рождения.

- путем непосредственного наблюдения быстрых стадий эволюции; это будет



Рис. 9: Туманность Улитка, планетарная туманность. Газы в туманности были выброшены звездой во время ее фазы эволюции как красный гигант. Ядром звезды является горячий белый карлик. Его можно увидеть, слабо, в центре туманности.. Источник: НАСА.

очень редко, потому что они делятся лишь очень малую часть жизни звезд;

- путем изучения изменений периодов пульсирующих переменных звезд. Эти изменения малы, но заметны. Периоды этих звезд зависят от радиуса звезды. Поскольку радиус изменяется из-за эволюции, период также будет меняться. Изменение периода может быть измерено с помощью систематических, длительных наблюдений звезд.

Первый метод, использование компьютерного моделирования, был тем же самым методом, который использовался для определения строения звезды. Как только строение звезды известно, мы знаем температуру и плотность в каждой точке звезды, и мы можем вычислить, как химический состав будет меняться происходящими термоядерными процессами. Эти изменения в составе могут быть затем включены в следующую модель в эволюционной последовательности.

Самые известные пульсирующие переменные звезды называются Цефеидами, в честь звезды Дельта Цефея, которая является ярким примером. Существует зависимость между периодом изменения Цефеиды и ее мощностью. Измеряя период, астрономы могут определить мощность, а следовательно, и расстояние, используя закон обратных квадратов яркости. Цефеиды являются важным инструментом для определения размерных и возрастных масштабов Вселенной.

В Занятии 5 учащиеся могут наблюдать переменные звезды с помощью таких проектов, как Citizen Sky. Это позволит им развить различные научные и математические навыки, занимаясь настоящей наукой и, возможно, даже внести свой вклад в астрономические знания.

## Жизнь и Смерть Солнца и Звезд

Синтез водорода - очень эффективный процесс. Он поддерживает светимость звезд на протяжении всех их долгих жизней.

Термоядерные реакции протекают быстрее всего в центре звезды, где температура и плотность наиболее высокие. Таким образом, звезда развивает ядро из гелия, которое постепенно расширяется от центра. Когда это происходит, ядро звезды должно стать более горячим, сжавшись, так что водород вокруг ядра гелия будет достаточно горячим, чтобы слиться. Это приводит к тому, что внешние слои звезды расширяются - сначала медленно, но затем все быстрее. Она становится красным гигантом, в сотни раз больше Солнца. Наконец, центр гелиевого ядра становится достаточно горячим, чтобы гелий превращался в углерод. Этот синтез уравнивает внутреннее толчок гравитации, но ненадолго, потому что синтез гелия не так эффективен, как синтез водорода. Теперь углеродное ядро сжимается, чтобы стать более горячим, а внешние слои звезды расширяются, чтобы стать еще большим красным гигантом. Самые массивные звезды расширяются до еще больших размеров; они становятся красными сверхгигантами.



Рис. 10: Крабовидная Туманность, остатки взрыва сверхновой, который был зафиксирован астрономами в Азии в 1054 н.э. Ядро взорвавшейся звезды теперь быстро-вращающаяся нейтронная звезда, или пульсар, внутри туманности. Малая часть ее вращательной энергии передается туманности, заставляя ее светиться. Источник: НАСА.

Звезда умирает, когда у нее кончается топливо. Больше нет источника энергии, который поддерживал бы внутреннюю часть звезды горячей и создавал бы достаточное давление газа, чтобы остановить гравитацию от сжатия звезды. Тип смерти зависит от массы звезды.

Продолжительность жизни звезды также зависит от ее массы: маломассивные звезды имеют низкие светимости и очень длинные времена жизни - десятки

миллиардов лет. Звезды с большой массой имеют очень высокие светимости и очень короткие времена жизни - миллионы лет. Большинство звезд имеют очень маломассивны, и их времена жизни превышают нынешний возраст Вселенной.

Прежде чем звезда умирает, она теряет массу. Когда она использует остатки своего водородного топлива, а затем гелиевого топлива, она раздувается в красного гиганта, более чем в сто раз большую по радиусу и более чем в миллиард раз большую по объему, чем Солнце. В Занятии 4 учащиеся могут сделать масштабную модель, чтобы визуализировать огромные изменения в размере звезды по мере ее эволюции. Гравитация во внешних слоях красного гиганта очень низкая. Также она становится неустойчивой к пульсации, ритмичному расширению и сжатию. Из-за большого размера красного гиганта на каждый цикл пульсации уходят месяцы, а то и годы. Это вытесняет внешние слои звезды в пространство, образуя красивую, медленно расширяющуюся планетарную туманность вокруг умирающей звезды (рис. 9). Газы в планетарной туманности возбуждаются до флуоресценции ультрафиолетовым светом от горячего ядра звезды. В конце концов, они будут удаляться от звезды и соединяться с другими газами и пылью, образуя новые туманности, из которых будут рождаться новые звезды.

Жизни массивных звезд немного отличаются от жизней маломассивных звезд. В маломассивных звездах энергия переносится наружу из ядра излучением. В ядре массивных звезд энергия переносится конвекцией, поэтому ядро звезды полностью перемешано. По мере того как в ядре расходуется последний бит водорода, звезда очень быстро превращается в красного гиганта. В случае маломассивных звезд переход более плавный. Масса звезд должна быть больше 0.08 масс Солнца. В противном случае они не будут достаточно горячими и плотными в своих центрах, чтобы водород мог синтезировать. Самые массивные звезды имеют массу, равную примерно ста массам Солнца. Более массивные звезды

были бы настолько мощными, что их собственное излучение не позволило бы им образоваться и оставаться стабильными.

## Обычные, Маломассивные Звезды

В звездах с начальной массой меньше примерно восьми масс Солнца, потеря массы оставляет ядро меньше 1.4 масс Солнца. В этом ядре нет термоядерного топлива. Внутренний толчок гравитации уравнивается внешним давлением электронов. Они сопротивляются любому дальнейшему сжатию из-за принципа Паули - закона квантовой теории, который



Рис. 11: Художественное представление двойной звезды Лебедь X-1, источника рентгеновского излучения. Она состоит из массивной звезды обычной плотности (слева), и черной дыры (справа), примерно в 15 масс Солнца, на общей орбите. Часть вещества звезды обычной плотности падает на аккреционный диск вокруг черной дыры и в конечном итоге в саму черную дыру. Газы нагреваются до очень высоких температур, излучая тем самым рентгеновские лучи. Источник: НАСА.

утверждает, что существует предел числа электронов, которые могут существовать в данном объеме. Это ядро называется белым карликом. Массы белых карликов меньше 1.44 масс Солнца. Это называется пределом Чандрасекара, потому что Индо-Американский астроном и нобелевский лауреат Субраманьян Чандрасекар показал, что белый карлик, более массивный, чем этот, разрушится под собственным весом.

Белые карлики - это нормальные конечные пункты звездной эволюции. Они очень распространены в нашей галактике. Но их трудно увидеть: они не больше Земли, поэтому, хотя они горячие, у них очень мало излучающей площади Их мощности в тысячи раз меньше, чем у Солнца. Они излучают только потому, что они горячие объекты, медленно охлаждающиеся по мере того, как они излучают свою энергию. Вокруг ярких звезд Сириуса и Прокциона вращаются

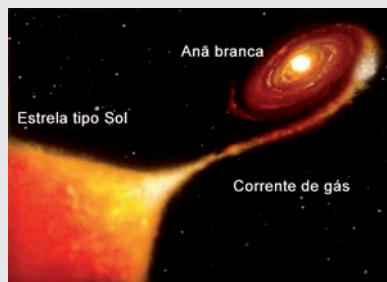


Рис. 12: Катастрофическая переменная. Вещество звезды обычной плотности (слева) падает на белый карлик (справа). Оно попадает в аккреционный диск вокруг белого карлика, что вызывает мерцание яркости. Вещество в конечном итоге падает на белый карлик, где оно может вспыхнуть или взорваться. Источник: НАСА. НАСА).

белые карлики. Эти белые карлики не имеют никакого источника энергии, кроме накопленного ими тепла. Они подобны тлеющим углям, остывающим в камине. Через миллиарды лет они полностью остынут и станут холодными и темными.

## Обычные, Маломассивные Звезды

Массивные звезды — горячие и мощные, но очень редкие. У них короткий срок жизни - несколько миллионов лет. Их ядра горячие и достаточно плотные, чтобы плавить элементы до железа. У железного ядра нет достаточной энергии для синтеза или деления. Нет источника энергии, чтобы поддерживать ядро в горячем состоянии и противостоять силе тяжести. Гравитация коллапсирует ядро звезды за секунду, превращая его в шар нейтронов (или даже более странную материю) и высвобождая огромное количество гравитационной энергии. Это заставляет внешние слои звезды взрываться как сверхновая (рис. 10). Эти внешние слои выбрасываются со скоростью до 10 000 км / сек.

Сверхновая при максимальной яркости может быть такой же яркой, как целая галактика из сотен миллиардов звезд. Тихо Браге, и Иоганн Кеплер наблюдали и изучали яркие сверхновые звезды в 1572 и 1604 годах соответственно. Согласно Аристотелю, звезды были идеальными и не менялись; Тихо Браге и Иоганн Кеплер доказали обратное. В нашей галактике (Млечный Путь) сверхновые не наблюдались в течение 400 лет. Сверхновая, видимая невооруженным глазом, наблюдалась в 1987 году в Большом

Магеллановом Облаке, небольшой галактике-спутнике Млечного Пути.

Масса ядра сверхновой звезды превышает предел Чандрасекара. Протоны и электроны в разрушающейся активной зоне сливаются, чтобы произвести нейтроны и нейтрино. Вспышку нейтрино удалось зарегистрировать с помощью нейтринной обсерватории. Пока масса ядра примерно в

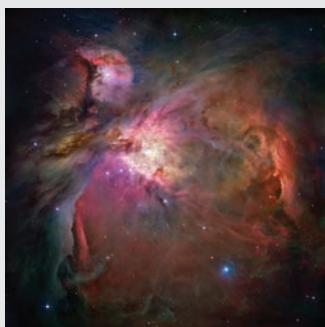
превращается в углерод, высвобождая достаточно энергии, чтобы разрушить звезду.

При взрыве сверхновой все химические элементы, образовавшиеся в результате термоядерных реакций, выбрасываются в космос. При взрыве, хотя и в небольших количествах, образуются элементы тяжелее железа, поскольку нейтроны облучают более легкие ядра, которые выбрасываются.

## Очень редкие, Очень Массивные Звезды

Очень массивные звезды очень редки - одна звезда на миллиард. Их сила в миллион раз больше, чем у Солнца, и их жизнь очень коротка. Они настолько массивны, что когда у них заканчивается энергия и их ядро разрушается, его масса более чем в три раза превышает массу Солнца. Гравитация преодолевает даже квантовое давление нейтронов. Ядро продолжает схлопываться до тех пор, пока оно не станет настолько плотным, что его гравитационная сила не позволит чему-либо вырваться из него, даже свету. Это становится черной дырой. Черные дыры не излучают излучения, но, если у них есть спутник в виде нормальной звезды, они заставляют его двигаться по орбите. Наблюдаемое движение спутника позволяет астрономам обнаружить черную дыру и измерить ее массу. Более того: небольшое количество газа от нормальной звезды может быть притянутым к черной дыре и нагрето до тех пор, пока оно не засветится в рентгеновских лучах, прежде чем упасть в черную дыру (рисунок 11). Таким образом, черные дыры являются сильными источниками рентгеновского излучения, и их обнаруживают с помощью рентгеновских телескопов.

В самом центре многих галактик, в том числе нашей галактики Млечный Путь, астрономы обнаружили сверхмассивные черные дыры, в миллионы или миллиарды раз массивнее Солнца. Их масса измеряется по их влиянию на видимые звезды около центров галактик. Сверхмассивные черные дыры, похоже, образовались в процессе зарождения галактики, но неясно, как это произошло. Одна из целей астрономии 21 века -



ИНЖИР. 13: Туманность Ориона, большое облако газа и пыли, в котором формируются звезды (и их планеты). Газ светится флуоресценцией. Пыль образует темные пятна поглощения, которые можно увидеть, особенно в левом верхнем углу фотографии. (Источник: НАСА).

три раза меньше массы Солнца, оно будет стабильным. Внутренняя сила тяжести уравновешивается квантовым давлением нейтронов наружу. Объект называется нейтронной звездой. Его диаметр около 10 км. Его плотность более чем в  $10^{14}$  раз больше плотности воды. Его можно увидеть в рентгеновский телескоп, если он все еще очень горячий, но нейтронные звезды были обнаружены очень неожиданным образом - как источники импульсов радиоволн, называемых пульсарами. Период их пульса составляет около секунды, иногда намного меньше. Импульсы производятся сильным магнитным полем нейтронной звезды, которое разбрасывается почти со скоростью света из-за быстрого вращения звезды.

Существует второй вид сверхновых, которые возникают в двойных звездных системах, в которых одна звезда умерла и стала белым карликом. Когда вторая звезда начинает расширяться, она может пролить газ на своего белого карлика-компаньона. Если масса белого карлика становится больше, чем предел Чандрасекара, белый карлик «сгорает»; его материал почти мгновенно



блюдаемое движение спутника позволяет астрономам обнаружить черную дыру и измерить ее массу. Более того: небольшое количество газа от норма-

## Катастрофические Переменные

Около половины всех звезд - двойные звезды, две или более звезды на взаимной орбите. Часто орбиты очень большие, и две звезды не мешают эволюции друг друга. Но если орбита мала, две звезды могут взаимодействовать, особенно когда одна превращается в красного гиганта. И если одна звезда умирает, чтобы стать белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой, эволюция нормальной звезды может пролить материал на мертвую звезду, и может произойти много интересного (рис. 12). Двойная звездная система различается по яркости по разным причинам и называется катаклизмической переменной звездой. Как отмечалось выше, белый карлик-компаньон может взорваться как сверхновая, если ему будет передана достаточная масса. Если бы нормальная звезда пролила материал, богатый водородом, на белый карлик, этот материал мог бы взорваться в результате синтеза водорода как новая звезда. Материал, падающий на белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру, мог просто стать очень горячим, так как его гравитационная потенциальная энергия преобразовывалась в тепло и производило излучение высокой энергии, такое как рентгеновские лучи.

В представлении художника о черной дыре (рис. 11) вы можете увидеть аккреционный диск газа вокруг черной дыры и поток газа от нормальной звезды, текущий к ней.

## Рождение Солнца и Звезд

Звезды рождаются сейчас! Поскольку время жизни самых массивных звезд составляет всего несколько миллионов лет, а возраст Вселенной превышает десять миллиардов лет, отсюда следует, что эти массивные звезды должны были родиться совсем недавно. Их местоположение дает подсказку: они находятся в больших облаках газа и пыли, называемых

туманностями, и рядом с ними. Газ состоит из ионов, атомов и молекул, в основном водорода, небольшого количества гелия и очень небольшого количества более тяжелых элементов. Пыль состоит из зерен силиката и графита размером менее микрометра. Пыли гораздо меньше, чем газа, но она играет важную роль в туманности. Он позволяет молекулам образовываться, защищая их от интенсивного излучения близлежащих звезд.

Его поверхность может служить катализатором образования молекул. Ближайшая большая яркая туманность - туманность Ориона (рис. 13). Горячие звезды в туманности заставляют атомы газа светиться флуоресценцией. Пыль теплая и излучает инфракрасное излучение. Он также блокирует свет от звезд и газа позади него, вызывая темные пятна в туманности. Гравитация - это сила притяжения, поэтому неудивительно, что некоторые части туманности будут медленно сокращаться. Это произойдет, если гравитационная сила больше, чем давление турбулентности этой части облака. На первых стадиях сжатия может помочь ударная волна от ближайшей сверхновой или радиационное давление от соседней массивной звезды. Как только начинается гравитационное сжатие, оно продолжается. Около половины энергии, выделяемой в результате гравитационного сжатия, нагревает звезду. Другая половина излучается. Когда температура в центре звезды достигает примерно 1000000K, начинается термоядерный синтез дейтерия; когда температура немного выше, начинается термоядерный синтез нормального водорода. Когда производимая энергия равна излучаемой, звезда «официально» рождается. Когда начинается

гравитационное сжатие, материал имеет очень малое вращение (угловой момент) из-за турбулентности в облаке. По мере того как сжатие продолжается, «сохранение углового момента» приводит к увеличению вращения. Этот эффект обычно наблюдается в фигурном катании; когда фигурист хочет перейти в быстрое вращение, он подтягивает руки как можно ближе к своей оси вращения (своему телу), и скорость вращения увеличивается

того как вращение сжимающейся звезды продолжается, «центробежная сила» (как это привычно, но неправильно называется) заставляет материал вокруг звезды превращаться в диск. Звездочка образуется в плотном центре диска. В самом диске образуются планеты - скалистые планеты, близкие к звезде, и газообразные и ледяные планеты в холодном внешнем диске.

В туманностях, таких как туманность Ориона, астрономы наблюдали звезды на всех стадиях формирования. Они наблюдали протопланетные диски, в которых формируются планеты, подобные нашей. А начиная с 1995 года астрономы открыли экзопланеты или внесолнечные планеты - планеты вокруг других звезд, подобных Солнцу. Это убедительное доказательство того, что планеты действительно образуются как нормальный побочный продукт звездообразования. Во Вселенной может быть много планет, таких как Земля!

.....

## Список Литературы

·Bennett, Jeffrey et al, *The Essential Cosmic Perspective*, Addison-Wesley; one of the best of the many available textbooks in introductory astronomy, 2005.

·Kaler, James B, *The Cambridge Encyclopedia of Stars*, Cambridge Univ. Press, 2006.

·Percy, J.R, *Understanding Variable Star*, Cambridge University Press, 2007.

## Интернет-Источники

·American Association of Variable Star Observers. <http://www.aavso.org>. Education project: <http://www.aavso.org/vsa>

·Chandra X-Ray Satellite webpage. [http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar\\\_ev/](http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar\_ev/)

·Kaler's "stellar" website. <http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html>

·Stellar Evolution on Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\\\_evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\_evolution)



# КОСМОЛОГИЯ

Джульета Фиерро, Биатрис Гарсия, Сюзана Деустуа

Международный астрономический союз, Национальный автономный университет Мексики (México DF, Мексика), Национальный технологический университет (Мендоса, Аргентина), Научный институт космического телескопа (Балтимор, США)

## Аннотация

Хотя каждый отдельный небесный объект имеет свои особенности, понимание эволюции Вселенной само по себе является увлекательной темой. Несмотря на то, что мы привязаны к Земле, понимание того, что мы так много знаем о Вселенной, захватывает.

Астрономия в 19 веке была сосредоточена на каталогизации свойств отдельных небесных объектов: планет, звезд, туманностей и галактик. К концу XX века акцент сместился на понимание свойств категорий объектов: звездных скоплений, образования галактик и структуры Вселенной. Теперь мы знаем возраст и историю Вселенной, и что ее расширение ускоряется, но мы еще не знаем природу темной материи. И мы продолжаем делать новые открытия. Сначала мы опишем некоторые свойства галактик, которые являются частью крупномасштабной структуры Вселенной. Позже мы рассмотрим так называемую стандартную модель Большого взрыва и доказательства, подтверждающие эту модель.

## Цели

- Узнать как Вселенная развивалась с момента Большого взрыва до наших дней.
- Выяснить как устроены материя и энергия во Вселенной.
- Проанализировать как астрономы узнают историю Вселенной.

## Галактики

Галактики состоят из звезд, газа, пыли и темной материи, и они могут быть очень большими, более 300 000 световых лет в диаметре. Галактика, которой принадлежит Солнце, имеет сто

миллиардов (100 000 000 000) звезд. Во Вселенной миллиарды таких галактик.

Наша галактика - большая спиральная галактика, похожая на галактику Андромеды (рис. 1а). Солнцу требуется 200 миллионов лет, чтобы вращаться вокруг своего центра со скоростью 250 километров в секунду. Поскольку наша Солнечная система погружена в диск галактики, мы не можем видеть всю галактику, это очень похоже на попытку изобразить лес, когда вы находитесь в его центре. Наша галактика



Рис. 1а: Галактика Андромеды. Спиральная галактика очень похожа на наш Млечный Путь. Солнце находится на внешнем крае одного рукава нашей галактики. (Фото: Билл Шенинг, Ванесса Харви / Программа REU / NOAO / AURA / NSF) Рис. 1b: Большое Магелланово Облако. Неправильная спутниковая галактика Млечного Пути, которую можно увидеть невооруженным глазом из южного полушария. (Фото: ESA и Эххард Славик)

называется Млечный Путь. Невооруженным глазом с Земли мы можем увидеть множество одиночных звезд и широкий пояс, состоящий из огромного количества звезд и межзвездных облаков газа и пыли. Структура нашей галактики была открыта в результате наблюдений с помощью оптических и радиотелескопов, а также других галактик. (Если бы не было зеркал, мы могли бы представить себе, каково наше собственное лицо, глядя на другие лица.) Мы используем радиоволны, поскольку они могут проходить сквозь облака, непрозрачные для видимого света, подобно

тому, как мы принимаем звонки на мобильный телефон, находящиеся внутри здания.

Мы классифицируем галактики на три типа. Неправильные галактики меньше и более многочисленны, они обычно богаты газом и образуют новые звезды. Многие из этих галактик являются спутниками других галактик. У Млечного Пути 30 галактик-спутников, и первыми из них были обнаружены Магеллановы облака, которые видны из южного полушария.

Спиральные галактики, как и наша, обычно имеют два рукава, сильно или слабо закрученных по спирали, исходящих из центральной части, называемой балджем. Ядра галактик, подобных нашей, как правило,

содержат черные дыры, в миллионы раз превышающие массу Солнца. Новые звезды рождаются в основном в рукавах из-за большей плотности межзвездного вещества, сжатие которого дает начало звездам.

Когда черные дыры в ядрах галактик притягивают облака газа или звезд, материя нагревается и, прежде чем упасть в черную дыру, часть ее выходит в струях раскаленного газа, которые движутся в космосе и нагревают межгалактическую среду. Они известны как активные галактические ядра, и они есть у большого числа спиральных галактик.

Самые большие галактики - эллиптические (хотя есть и маленькие эллиптические). Считается, что они, как и гигантские спирали, образуются при слиянии меньших галактик. Некоторое свидетельство этому исходит из разнообразия возраста и химического состава различных групп звезд в объединенной галактике.

Галактики образуют скопления галактик с тысячами компонентов. Гигантские эллипсы обычно находятся в центрах скоплений, а некоторые из них имеют два ядра в результате недавнего слияния двух галактик.

Скопления и сверхскопления галактик распределены во Вселенной в виде нитевидных структур, окружающих огромные области, лишенные галактик. Это как если бы Вселенная в больших масштабах была пузырьковой ванной, где галактики находятся на поверхности пузырьков.

## Космология

Мы опишем некоторые свойства Вселенной, в которой мы живем. Вселенная состоит из материи, энергии и пространства и со временем развивается. Его временные и пространственные размеры намного больше, чем мы используем в нашей повседневной жизни.

Космология пытается ответить на фундаментальные вопросы о Вселенной: откуда мы пришли? Какое будущее у Вселенной? Где мы? Сколько лет Вселенной?

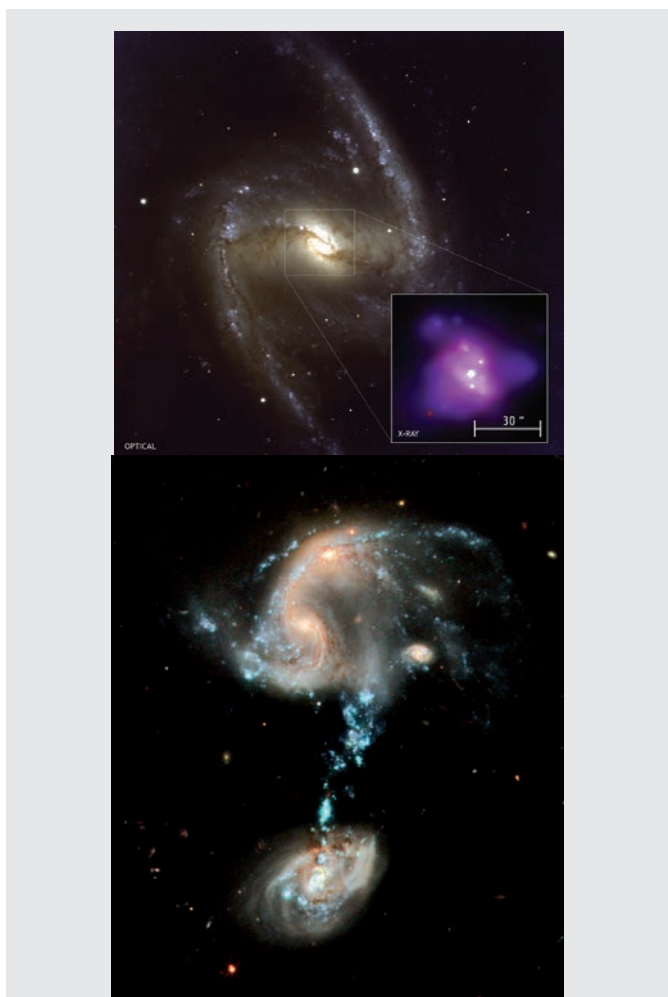


Рис. 2a: Оптическое изображение галактики NGC 1365, полученное с помощью ESO VLT, и изображение рентгеновского материала Chandra вблизи центральной черной дыры. (Фото: NASA, EKA, Наследие Хаббла (STScI / AURA) - ESA / Hubble Collaboration и А. Эванс).

Рис. 2b: Arp 194 - система двух галактик взаимодействует в очень впечатляющем процессе. Ядра объединяются, и выпускается синий хвост (предоставлено NASE, ESA и команда Hubble Heritage Team (STScI))



Рис. 3: Скопление галактик Abell 2218. Видны дуги, вызванные эффектом гравитационного линзирования. (Фото: NASA, ЕКА, Ричард Эллис (Калифорнийский технологический институт) и Жан-Поль Кнейб (Обсерватория в Южных Пиренеях, Франция)).

Стоит отметить, что наука развивается. Чем больше мы знаем, тем больше понимаем, как много мы не знаем. Карта полезна, даже если она представляет собой всего лишь изображение участка, точно так же, как наука позволяет нам иметь представление о природе, видеть некоторые ее аспекты и предсказывать события, и все это основано на разумных предположениях, которые обязательно должны быть подтверждены измерениями и данными..

### Размеры Вселенной

Расстояния между звездами огромны. Земля находится в 150 000 000 км от Солнца, Плутон - в 40 раз дальше. Ближайшая звезда находится в 280 000 раз дальше, а ближайшая галактика в 10 миллиардов (10 000 000 000) раз больше. Филаментная структура галактик в десять триллионов (единица с 12 нулями) раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца.

### Возраст Вселенной

Наша Вселенная возникла 13,7 миллиарда (13 700 000 000) лет назад. Солнечная система сформировалась намного позже, 4,6 миллиарда (4 600 000 000) лет назад. Жизнь на Земле возникла 3,8 миллиарда (3 800 000 000) лет назад, а динозавры вымерли 65 миллионов лет назад. Современные люди существуют всего около 150 000 лет назад.

Мы полагаем, что наша Вселенная имела

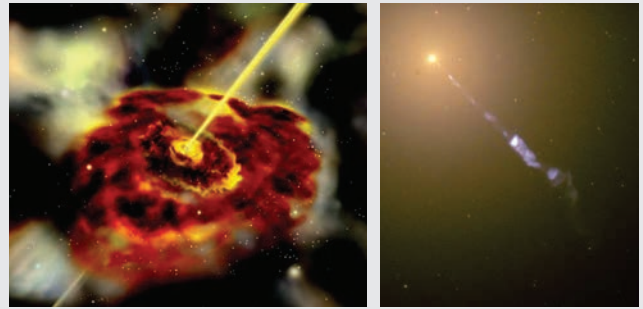


Рис. 4а: Художественная иллюстрация черной дыры в центре галактики. (Фото: NASA E / PO - Государственный университет Сономы). Рис. 4б: Галактика M87, пример реальной галактики джет. (Фото: NASA и группа «Наследие Хаббла»).

началово времени, потому что мы наблюдаем ее быстрое расширение. Это означает, что все скопления галактик удаляются друг от друга, и чем дальше они находятся, тем быстрее удаляются. Если мы измерим скорость расширения, мы сможем оценить, когда все пространство было едино. По данным расчетам возраст 13,7 миллиарда лет. Этот возраст не противоречит звездной эволюции, поскольку мы не наблюдаем звезд и галактик старше 13,5 миллиардов лет. Событие, начавшее расширение Вселенной, известно как Большой взрыв.

### Измерение скорости

Вы можете измерить скорость звезды или галактики с помощью эффекта Доплера. В повседневной жизни мы испытываем эффект Доплера, когда слышим изменение тона сирены скорой помощи или полицейской сирены, когда она приближается, а затем проходит мимо. Простой эксперимент - поместить звонящий будильник в сумку с длинной ручкой. Если кто-то другой раскручивает сумку за ручку с вытянутой рукой над головой, мы можем обнаружить, что тон меняется, когда часы движутся к нам или от нас. Мы могли бы вычислить тактовую частоту, слушая изменение тона, который тем выше, чем выше скорость.

Свет, излучаемый небесными объектами, также претерпевает изменение частоты или цвета, которое можно измерить в зависимости от скорости, с которой они приближаются или удаляются. Длина волны становится длиннее (краснее) при удалении от нас и короче (синей), когда они движутся к нам.



Рис. 5: На сегодняшний день обнаружено более 300 темных и плотных облаков пыли и газа, в которых происходят процессы звездообразования. Суперкластер Abell 90/902. (Фото: космический телескоп Хаббла, NASA, EKA, К. Хейманс (Университет Британской Колумбии) и М. Грей (Университет Ноттингема)).

Когда Вселенная была более компактной, звуковые волны, проходя через нее, создавали области большей и меньшей плотности. Сверхскопления галактик образовались там, где плотность вещества была максимальной. По мере расширения Вселенной пространство между областями высокой плотности увеличивалось в размере и объеме. Структура волокон Вселенной является результатом расширения Вселенной.

### Звуковые волны

Звук распространяется через среду, такую как воздух, вода или дерево. Когда мы издаем звук, мы генерируем волну, которая сжимает материал вокруг него. Эта волна сжатия проходит через материал к нашему уху и сжимает барабанную перепонку, которая передает звук нашим чувствительным нервным клеткам. Мы не слышим взрывы от Солнца или штормов Юпитера, потому что пространство между небесными объектами почти пусто и, следовательно, сжатие звука не может распространяться.

Примечательно, что центра расширения Вселенной нет. Используя двумерную аналогию, представьте, что мы находимся в Париже в офисе ЮНЕСКО, и Земля расширяется. Мы бы заметили, что все города будут отдаляться друг от друга и от нас, но у нас не было бы оснований говорить, что мы находимся в центре расширения, потому что все жители других городов наблюдали бы за расширением одинаково.

Хотя, с нашей точки зрения, скорость света в 300 000 километров в секунду чрезвычайно велика, но не бесконечно. Звездному свету требуются сотни лет, чтобы достичь Земли, а свету галактик - миллионы лет. Вся информация из космоса поступает очень долго, поэтому мы всегда видим звезды такими, какими они были в прошлом, а не такими, какие они есть сейчас.

Есть объекты настолько далекие, что их свет еще не успел достичь нас, поэтому мы не можем их увидеть. Дело не в том, что их там нет, просто они были сформированы после того как излучение с той области неба было нами зафиксировано.

Конечная скорость света имеет несколько значений для астрономии. Искажения в пространстве влияют на траекторию света, поэтому, если мы видим галактику в определенном месте, ее на самом деле может не быть сейчас, потому что кривизна пространства меняет ее положение. Кроме того, звезды больше нет на том месте, которое вы наблюдаете, потому что звезды движутся. И они не такие, какими мы их видим сейчас. Мы всегда видим небесные объекты такими, какими они были, и чем дальше они находятся, тем дальше в прошлое мы их видим. Таким образом, анализ похожих объектов на разных расстояниях эквивалентен наблюдению одного и того же объекта в разное время в его эволюции. Другими словами, мы можем увидеть историю звезд, если посмотрим на те, которые, по нашему мнению, принадлежат к одному и тому же типу, но находятся на разных расстояниях.

Мы не можем видеть край Вселенной, потому что ее свет не успел достичь Земли. Наша Вселенная бесконечна по размеру, поэтому мы видим только участок радиусом 13,7 миллиарда световых лет, то есть там, где свет успел достичь нас с момента Большого взрыва. Источник излучает свет во всех направлениях, поэтому разные части Вселенной становятся объектами его существования в разное время. Мы видим все небесные объекты такими, какими они были в то время, когда они излучали свет, который мы наблюдаем сейчас, потому что

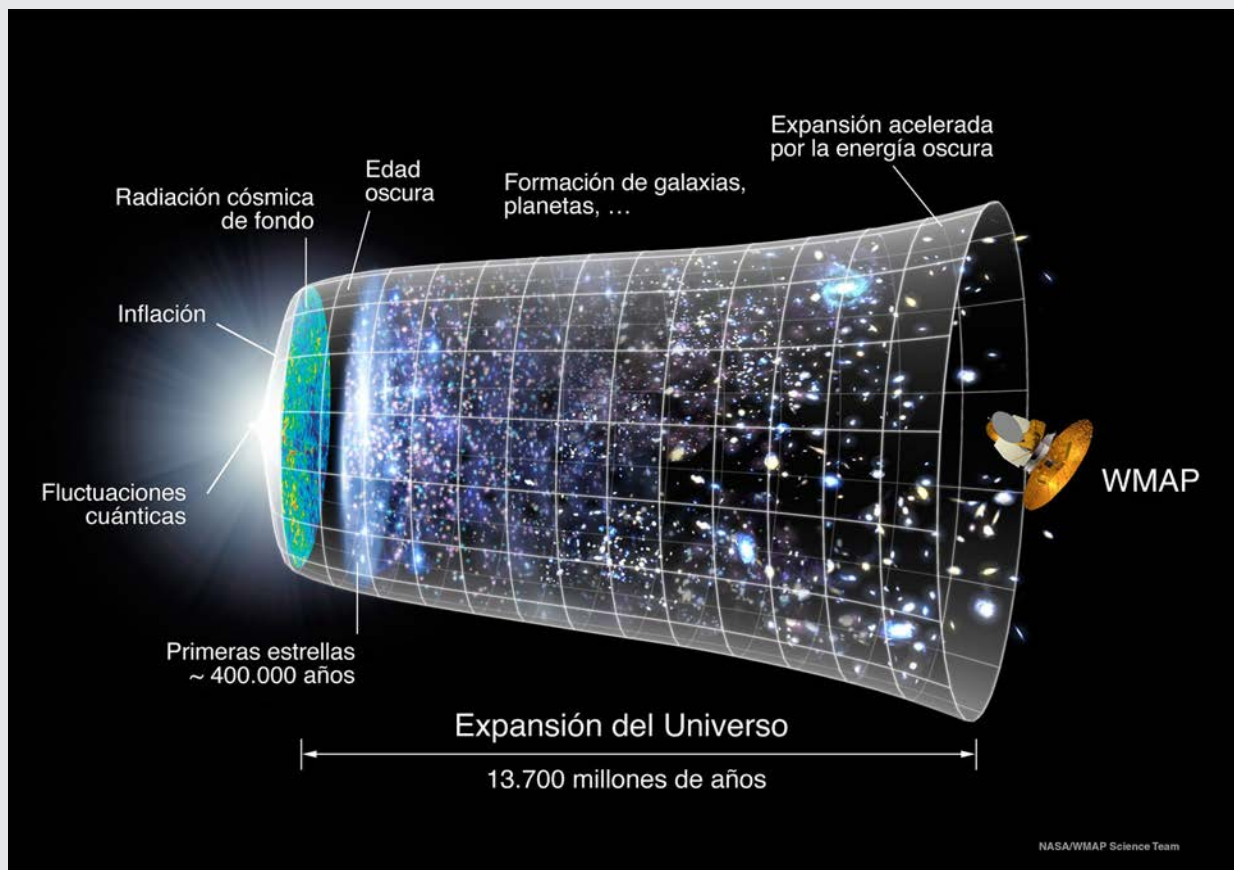


Рис. 6: Расширение Вселенной. (Фото: NASA).

свету требуется определенное время, чтобы достичь нас. Это не означает, что мы занимаем какое-то привилегированное положение во Вселенной, любой наблюдатель в любой другой галактике наблюдал бы что-то эквивалентное тому, что мы обнаруживаем.

Как и во всех других науках, в астрономии и астрофизике, чем больше мы узнаем о нашей Вселенной, тем больше вопросов мы раскрываем. Теперь мы обсудим темную материю и темную энергию, чтобы дать представление о том, сколько мы еще не знаем о Вселенной.

Темная материя не взаимодействует с электромагнитным излучением, поэтому не поглощает и не излучает свет. Обычное вещество, такое как звезда, может излучать или поглощать свет, как и облако межзвездной пыли. Темная материя нечувствительна к любому излучению, имеет массу и, следовательно, гравитационное притяжение. Это было обнаружено благодаря его влиянию на движение видимой материи. Например,

если галактика движется по орбите вокруг явно пустого пространства, мы уверены, что что-то ее привлекает. Подобно тому, как солнечная система удерживается вместе гравитационной силой Солнца, которая удерживает планеты на их орбитах, у рассматриваемой галактики есть орбита, потому что что-то ее притягивает. Теперь мы знаем, что темная материя присутствует в отдельных галактиках, она присутствует в скоплениях галактик и, по-видимому, является основной нитевидной структуры Вселенной. Темная материя - самый распространенный тип материи во Вселенной.

Теперь мы также знаем, что расширение Вселенной ускоряется. Это означает, что существует сила, противодействующая действию гравитации. Темная энергия - это название, данное астрономами этому недавно открытому явлению. В отсутствие темной энергии расширение Вселенной замедлилось бы.

Наши текущие знания о содержании



материи и энергии во Вселенной таковы, что 74 процента - это темная энергия, 22 процента - темная материя и только 4 процента - это нормальная светящаяся материя (все галактики, звезды, планеты, газ, пыль). природа и свойства 96 процентов Вселенной еще предстоит открыть.

Будущее нашей Вселенной зависит от количества видимой материи, темной материи и темной энергии. До открытия темной материи и темной энергии считалось, что расширение прекратится, и гравитация обратит расширение, что приведет к Большому сжатию, когда все вернется в одну точку. Но как только было установлено существование темной материи, теория была изменена. Теперь расширение достигнет постоянного значения в бесконечное время в будущем. Но теперь, когда мы знаем о темной энергии, ожидаемое будущее состоит в том, что расширение ускорится, как и объем Вселенной. Конец Вселенной очень холодный и очень темный в бесконечное времени

## Список литературы

Greene, B., *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (2006) / *El tejido del cosmos* (2010)

Fierro, J., *La Astronomía de México*, Lectorum, México, 2001.

Fierro, J, Montoya, L., "La esfera celeste en una pecera", *El Correo del Maestro*, núm 47, p.10-17, México, 2000.

Fierro J, Domínguez, H, *Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo*, Lectorum, México, 2005.

Fierro J, Domínguez, H, "La luz de las estrellas", Lectorum, *El Correo del Maestro*, México, 2006.

Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, *Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo*, Alfabara, 2006.

Thuan, Trinh Xuan, *El destino del universo: Después del big bang* (Biblioteca ilustrada) (2012) / *The Changing Universe: Big Bang and After* (New Horizons) (1993).

·Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Weinberg, Steven y Nestor Miguez, *Los tres primeros minutos del universo* (2009)

## Интернет ресурсы

·The Universe Adventure <http://www.universeadventure.org/> or <http://www.cpepweb.org>

·Ned Wright's Cosmology Tutorial (in English, French and Italian) <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>

# История астрономии

Джей Пасачофф, Магда Ставински, Мэри Кей Хеменуэй  
Международный астрономический союз, Колледж Уильямса (Массачусетс, США), Астрономический институт Румынской академии (Бухарест, Румыния), Техасский университет (Остин, США)

.....

## Краткое описание

В этом кратком изложении истории астрономии приводится обзор повсеместного распространения астрономии на ее истоках, за которым следует описание ключевых событий в развитии астрономии в Западной Европе до времен Исаака Ньютона.

## Цели

- Дать схематический обзор истории астрономии в различных регионах мира, чтобы показать, что астрономия всегда являлась объектом интереса человечества.
  - Перечислить главные фигуры в истории астрономии, внесшие свой вклад в серьезные изменения в подходе к этой дисциплине вплоть до Ньютона: Тихо Браге, Коперник, Кеплер и Галилей.
  - Ограниченное время конференции не позволяет охватить историю астрономии в наши дни, но более подробную информацию можно найти в других главах этой книги.
- .....

## Предыстория

На темном небе древние народы могли видеть, как звезды поднимаются в восточной части неба, движутся вверх и заходят на западе. В одном направлении звезды двигались крошечными кругами. Сегодня, когда мы смотрим на север, мы видим звезду в этом месте - Полярную звезду, или Полярис. Эта звезда не очень яркая: 48 звезд на небе ярче ее, но находится она в интересном месте. В древние времена другие звезды были ориентированы на северный полюс Земли, а иногда звезд поблизости от полюса и вовсе не было.

Поскольку люди часто наблюдали за небом, они заметили, что некоторые из наиболее ярких объектов не поднимались и не заходили вместе со звездами. Разумеется, самым ярким объектом на ночном небе была луна. Каждую ночь она поднималась почти на час позже, и фоном ей служили разные звезды. Так же менялась и ее форма – то, что мы сейчас называем фазами.

Но некоторые из этих огней в небе двигались иначе, чем другие. Греки стали называть их странниками или планетами. Практически каждая цивилизация на Земле заметила эти объекты и дала им названия.

Некоторые древние люди построили памятники, например, стоячие круги Стоунхенджа в Англии, или гробницы на Менорке в Испании, совпавшие с Южным Крестом в 1000 году нашей эры. Вавилоняне вели серьезные записи астрономических явлений, но греки, основываясь на этих знаниях, пытались «объяснить» небо.

## Греки

Большинство древних греков, включая Аристотеля (384 г. до н.э. - 322 г. до н.э.), считали, что Земля находится в центре вселенной и состоит из четырех элементов: Земли, Воздуха, Огня и Воды. За пределами Земли был пятый элемент, эфир (или квинтэссенция), который составлял точки света в небе.

Как эти странники передвигались среди звезд? В основном они шли в том же направлении, что и звезды: восходили на востоке и двигались на запад. Но иногда казалось, что они останавливаются и движутся в обратном направлении по отношению к звездам. Это обратное движение называется «ретроградным» движением,

чтобы отличить его от поступательного движения, называемого «прогрессивным».

Греческий астроном Клавдий Птолемей (ок. 90 - ок. Н. Э. 168) работал в Александрии в Северной Африке во втором веке нашей эры. Птолемей хотел уметь предсказывать положение планет и пришел к математическому решению. Следуя Аристотелю, он поместил Землю в центр Вселенной. Луна и планеты вращаются вокруг нее вложенными кругами, которые увеличиваются по мере удаления от Земли. Что, если планеты действительно движутся по маленьким кругам, центры которых находятся на больших кругах? Затем при некотором движении маленьких кругов они будут двигаться назад быстрее, чем центры этих кругов движутся вперед. Живущие на Земле, таким образом, увидят, как планеты движутся в обратную сторону.

Эти маленькие круги называются «эпициклами», а большие круги - «деферентами». Идея Птолемея о кругах, движущихся по кругам, господствовала над западной наукой более тысячи лет. Переход от наблюдения к теории с использованием математики был уникальным и важным шагом в развитии западной науки.

Несмотря на то, что ни у кого не было одинаковых названий для наблюдаемых объектов, практически все культуры на Земле наблюдали за небом. Они использовали эту информацию для создания календарей и прогнозирования сезонных циклов посадки, сбора урожая или охоты, а также религиозных церемоний. Как и греки, некоторые из них разработали очень сложную математику для предсказания движения планет или затмений, но это не означает, что они пытались создать то, что мы бы назвали научной теорией. Вот некоторые примеры:

## Африка

Стоящие камни в Набте в Нубийской пустыне старше Стоунхенджа на 1000 лет. Египтяне использовали астрономию для строительства своих пирамид, а также расширяли свои религиозные верования, включая в них знания о звездах. С петроглифов в Наморатунге

(Кения) началось брендирование крупного рогатого скота. Звездные предания приходят со всех уголков Африки, от области догонов в Мали до Западной Африки, Эфиопии и Южной Африки.

## Исламская астрономия

Многие астрономические открытия были сделаны в исламском мире, особенно во время Золотого века ислама (8-15 века), и в большинстве своем были написаны на арабском языке. Он был наиболее развит



Рис. 1: Астролябия арабов

на Ближнем Востоке, в Центральной Азии, Аль-Андалусе, Северной Африке, а затем на Дальнем Востоке и в Индии. Значительное количество звезд на небе, таких как Альдебаран и Альтаир, а также такие астрономические термины, как алидада, азимут, альмукутантарат, являются прямым переносом из арабского языка. Арабы изобрели арабские числа, включая использование нуля. Их интересовали позиции и время суток (так как это было полезно для молебнов). Также было сделано много открытий и в области оптики. Многие произведения на греческом языке были сохранены для потомков благодаря их переводам на арабский язык.

Сообщается, что первые систематические наблюдения в исламской культуре проводились под патронажем Аль-Маамуна (786-833 г. Н. Э.). Здесь и во многих других частных обсерваториях от Дамаска до Багдада измерялись градусы меридиана, устанавливались солнечные параметры и проводились подробные

наблюдения Солнца, Луны и планет.

В исламской астрономии использовались следующие инструменты: небесные глобусы и армиллярные сферы,



Рис. 2: Чичен-Ица (Мексика) - важные археологические памятники астрономии майя.

астролябия, солнечные часы и квадранты.

## Америка

### Северная Америка

Коренные народы Северной Америки также давали имена своим созвездиям и рассказывали истории о небе, которые передавались в устной традиции. Некоторые артефакты, такие как каменные колеса или строения, остаются свидетельством использования ими астрономии в повседневной жизни.

### Астрономия народов Майя

Майя были мезоамериканской цивилизацией, известной первой полностью развитой письменностью в доколумбовой Америке, а также искусством, архитектурой, математическими и астрономическими системами. Первоначально основанные в доклассический период (ок. 2000 г. до н.э. - 250 г. н.э.), города майя достигли наивысшего уровня развития в классический период (ок. 250 г. до н.э. - 900 г. н.э.) и продолжались в течение постклассического периода до прибытия испанцев. Народы майя пережили упадок классического периода, приход испанских конкистадоров и последующую испанскую колонизацию Америки.

Астрономия майя - одна из самых известных древних астрономий в мире, особенно знаменита своим календарем, который сейчас ошибочно интерпретируется как предсказывающий

конец света. Майя кажутся единственной дотелескопической цивилизацией, которая продемонстрировала знание, что туманность Ориона не является звездной точкой.

Майя очень интересовались зенитными проходами - временем, когда Солнце проходит прямо над головой. Поскольку широта большинства их городов находится ниже тропика Рака, эти зенитные переходы будут происходить дважды в год на равном расстоянии от точки солнцестояния. Божество с именем Ныряющий Бог отождествлялось с этим положением Солнца.

Венера была для майя самым важным астрономическим объектом, даже более важным, чем Солнце. Календарь майя - это система календарей и альманахов, использовавшаяся в цивилизации майя в доколумбовой Мезоамерике и в некоторых современных общинах майя в высокогорных районах Гватемалы и Оахаки, Мексика.

Хотя мезоамериканский календарь произошел не от майя, его последующие версии были расширены этим народом. Наряду с календарями ацтеков календари майя лучше всего задокументированы и наиболее понятны.

### Ацтекская астрономия

В центральной Мексике существовали определенные этнические группы, которые говорили на языке науатль и доминировали на значительной части Мезоамерики в 14, 15 и 16 веках - период, называемый в мезоамериканской хронологии поздним постклассическим периодом.

Культура и история ацтеков в первую очередь известны благодаря археологическим свидетельствам, найденным при раскопках, таких как раскопки известного Темпло-мэра в Мехико и многих других, из берестяных кодексов, свидетельств испанских конкистадоров или из описаний ацтекской культуры XVI и XVII веков. История написана испанскими священнослужителями и владеющими грамотой ацтеками на испанском языке или языке науатль.

Ацтекский календарь или солнечный камень - это самый ранний монолит, оставшийся

от доиспанской культуры в Центральной и Южной Америке. Считается, что он был вырезан около 1479 года. Это круглый монолит с четырьмя концентрическими кругами. В центре изображено лицо Тонатиу (Бога Солнца), украшенное нефритом и держащее во рту нож. Четыре солнца или более ранние «миры» представлены квадратными фигурами, обрамляющими Пятое Солнце в центре. Внешний круг состоит из 20 областей, которые представляют дни каждого из 18 месяцев, составляющих ацтекский календарь. Чтобы завершить 365-дневный солнечный год, ацтеки включили 5 жертвенных дней, или Немонтеми.

Подобно почти всем древним народам, ацтеки сгруппировали в ассоциации кажущиеся яркие звезды (созвездия): Мамалхуазтли (Пояс Ориона), Тианкицтли (Плеяды), Читлалтлахтли (Близнецы), Читлалколотль (Скорпион) и Ксонекуилли (Малая Медведица или Южный Крест) для других и т. д.). Кометы называли «звездами с дымом».

Большие периоды времени в ацтекской космологии определяются эпохами разных солнц, конец каждого из которых был определен крупными бедствиями, такими как разрушение ягуарами, ураганами, пожарами, наводнениями или землетрясениями.

### **Астрономия инков**

Цивилизация инков - это цивилизация доколумбовой Андской группы. Она образовалась в начале 13 века в бассейне Куско в Перу, а затем распространилась вдоль Тихого океана и Анд, охватив западную часть Южной Америки. На пике своего развития инки простирались от Колумбии до Аргентины и Чили, через Эквадор, Перу и Боливию.

Инки считали своего короля, Сапа Инку, «ребенком Солнца». Они идентифицировали различные темные области или темные туманности в Млечном Пути как животных и связали их появление с сезонными дождями.

Инки использовали солнечный календарь для сельского хозяйства и лунный календарь для религиозных праздников. Согласно хроникам испанских конкистадоров,

на окраине Куско в современном Перу находилась большая публично выставленная система дат, состоящая из 12 колонн высотой 5 метров, которые можно было увидеть издали. С его помощью люди могли обозначать даты. Они отмечали два праздника: Инти Райми и Капак Райми, летнее и зимнее солнцестояние соответственно.

У них были свои собственные созвездия: Юту (Куропатка) была темной зоной в Млечном Пути, которую мы называем Угольным мешком. Они называли скопление Плеяд Коллка. Со звездами созвездия Лирь они нарисовали одно из самых известных им животных и называли его Маленькая Серебряная лама или цветная лама, самой яркой звездой которой (Вега) была Уркучиллай, хотя, по мнению некоторых исследователей, это было имя всего созвездия. Кроме того, были созвездия Мачакуау (змея), Хампату (жаба), Аток (лисица), Кунтур и т. д.

Места для основания крупных городов решались исходя из положения звезд и сторон света.

На окраине Куско находился важный храм, посвященный Солнцу (Инти), из которого выходили линии радиальной формы, разделявшие долину на 328 храмов. Это число до сих пор остается загадкой, но одно из возможных объяснений связано с астрономией: оно совпадает с днями, содержащими двенадцать лунных месяцев. И 37 дней, которые выпадают из 365 дней солнечного года, совпадают с днями, когда скопление Плеяд не наблюдается из Куско.

### **Индия**

Самое раннее письменное упоминание, которое дается в религиозной литературе Индии (2-е тысячелетие до нашей эры), к первому тысячелетию до н.э. стало установившейся традицией, когда начали формироваться различные вспомогательные отрасли обучения.

В течение следующих столетий ряд индийских астрономов изучали различные аспекты астрономических наук, после чего последовал глобальный диалог с другими культурами. В

качестве инструментов использовались гномоны и армиллярные сферы.

Индусский календарь, использовавшийся в древние времена, претерпел множество изменений в процессе структуризации страны, и сегодня существует несколько версий региональных индийских календарей, а также индийский национальный календарь. В индуистском календаре день начинается с местного восхода солнца. Оно делено на пять «свойств», называемых ангасами.

Эклиптика разделена на 27 накшатр, которые называются лунными домами или астеризмами. Они отражают цикл Луны относительно неподвижных звезд, 27 дней и 72 часа, причем дробная часть компенсируется вставной 28-й накшатрой. Вычисление накшатры, по-видимому, было хорошо известно во времена Ригведы (2–1 тысячелетия до нашей эры).

## Китай

До арабов китайцы считались самыми вдумчивыми и точными наблюдателями небесных явлений по всему миру. Подробные записи астрономических наблюдений начались во время периода враждующих государств (4 век до н.э.) и процветали с периода Хань. Некоторые элементы индийской астрономии достигли Китая с распространением буддизма во время династии Поздняя Хань (25–220 г. н.э.), но более полное поглощение индийской астрономической мысли произошло во время династии Тан (618–907 г.).

Астрономия была возрождена под влиянием западной космологии и технологий после того, как иезуиты учредили свои миссии. В 17 веке был представлен телескоп. Оборудование и инновации, используемые китайской астрономией: армиллярная сфера, небесный глобус, армиллярная сфера с водным приводом и башня небесного шара.

Китайская астрономия была больше сосредоточена на наблюдениях, чем на теории. Согласно писаниям иезуитов, посетивших Пекин в 17 веке, китайцы располагали данными за 4

000 лет до нашей эры, включая взрыв сверхновых, затмения и появление комет.

В 2300 году до нашей эры они разработали первый известный солнечный календарь, а в 2100 году до нашей эры зарегистрировали солнечное затмение. В 1200 году до нашей эры они описали солнечные пятна, назвав их «темными пятнышками» на Солнце. В 532 г. до н. э. Они оставили свидетельства появления сверхновой звезды в созвездии Аквилы и в проходах кометы Галлея в 240 и 164 г. до н.э. В 100 г. до н.э. китайцы изобрели компас, с помощью которого они отмечали направление на север.

В более позднее время они определили прецессию равноденствий в один градус на каждые 50 лет, зарегистрировали больше сверхновых и обнаружили, что хвост

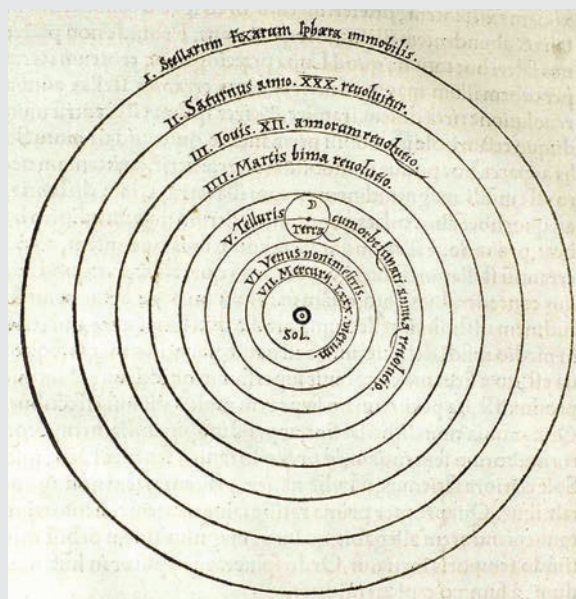


Рис. 3: Диаграмма Коперника, впервые показывающая Солнце в центре того, что мы теперь называем Солнечной системой. Эта диаграмма взята из первого издания *De Revolutionibus Orbium Caelestium* (О вращении небесных сфер), опубликованного в 1543 году.

комет всегда указывает в направлении, противоположном положению Солнца.

В 1006 году н.э. они отметили появление сверхновой, настолько яркой, что ее можно было увидеть днем. Это самая яркая задокументированная сверхновая. В 1054 году они наблюдали сверхновую, остатки которой позже назовут Крабовидной туманностью.



Рис. 4. Первая диаграмма Коперника на английском языке из приложения Томаса Диггеса к книге его отца «Прогноз вечности», впервые опубликованной в 1556 году. Она содержала только диаграмму Птолемея. Приложение Томаса Диггеса впервые появилось в 1576 году; эта диаграмма взята из печати 1596 года.

Их представление небесной сферы отличалось от западной. Небесный экватор был разделен на 28 частей, называемых «домами», и в общей сложности насчитывалось 284 созвездия с такими названиями, как Диппер, Три ступени, Верховный дворец, Тренога, Копье или Гарпун. Китайский Новый год начинается в день первого новолуния после того, как Солнце входит в созвездие Водолея.

Китайский ученый-эрудит Шен Куо (1031-1095 г. н.э.) не только первым в истории описал магнитно-стрелочный компас, но и более точно измерил расстояние между Полярной звездой и истинным Севером, которое можно было использовать для навигации. Шен Куо и Вэй Пу также создали проект ночных астрономических наблюдений в течение пяти лет подряд – интенсивная работа, которая даже могла бы конкурировать с более поздней работой Тихо Браге в Европе. Они также нанесли точные координаты планет на звездную карту для этого проекта и создали теории движения планет, включая ретроградное движение.

## Западная Европа

После падения Рима знания, собранные греками, скудно передавались через работу монахов, которые часто просто копировали рукописи, не видя в них для себя никакого смысла. В конце концов, с появлением кафедральных школ и первых университетов ученые начали решать задачи, которые ставила наука. Благодаря торговле (и воровству) новые манускрипты с Востока попали через крестовые походы, а контакты с исламскими учеными (особенно в Испании) позволили сделать переводы на латынь. Некоторые ученые пытались упорядочить информацию, чтобы она соответствовала их христианской точке зрения.

## Математический гений: Николай Коперник из Польши

В начале 1500-х годов Николай Коперник (1473–1543) пришел к выводу, что Вселенная была бы проще, если бы в ее центре находилось Солнце, а не Земля. Тогда ретроградное движение планет происходило бы, даже если все планеты



Рис. 5: Складная диаграмма Кеплера из его *Mysterium Cosmographicum* (Тайны Космоса), опубликованного в 1596 году. Его размышления о геометрическом расположении Солнечной системы были вытеснены в следующем десятилетии его расположением планет в соответствии с первыми двумя из трех его законов. планетарное движение, система, которой мы придерживаемся и по сей день.

просто будут вращаться вокруг Солнца по кругу. Обратное движение стало бы оптической иллюзией, возникающей, когда мы пролетаем мимо другой планеты. Точно так же, как если бы вы остановились на светофоре, и справа от вас была бы машина, если вы начнете двигаться первым, вы можете на короткое время подумать, что машина движется назад.

Коперник поделился своими идеями с математиками, но не опубликовал их, пока молодой ученый Георг Ретикус не убедил его и не организовал публикацию в другом городе. Печатная копия *De Revolutionibus Orbium Coelestium* прибыла как раз тогда, когда Коперник умирал в 1543 году. Он, возможно, никогда не видел неподписанного предисловия, написанного издателем, в котором говорилось, что в книге был изложен лишь математический способ вычисления позиций, а не правда. Вслед за Аристотелем Коперник использовал круги и добавил несколько эпициклов. Его книга следовала структуре книги Птолемея, но его приверженность математической простоте находилась под влиянием Пифагора.

Книга Коперника содержит (рис. 3), пожалуй, самую известную диаграмму в истории науки. На нем показано Солнце в центре ряда кругов. Коперник рассчитал скорости, с которыми планеты вращаются вокруг Солнца, поскольку он знал, какая из них движется быстрее всего по небу. Таким образом, он получил планеты в правильном порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, и он также получил правильные относительные расстояния до планет. Но его вычисления действительно описывали положения планет не намного лучше, чем метод Птолемея.

В Англии Леонард Диггес написал книгу на английском языке о Земле и Вселенной. В 1576 году его сын Томас написал приложение, в котором описал новые идеи Коперника. В приложении впервые появилась англоязычная версия диаграммы Коперника (рис. 4). Диггес также показал звезды на разных расстояниях от Солнечной системы, а не только на одной небесной сфере.

## Гений наблюдений: Тихо Браге из Дании

Датский аристократ Тихо Браге (1546–1601) захватил остров Хвен у побережья Копенгагена и получал плату за аренду от местных жителей. На этом острове он использовал свое богатство, чтобы построить большую обсерваторию с крупнейшими и точнейшими приборами. Хотя это были дотелескопические инструменты, они отличались тем, что позволяли более точные измерения положения звезд и планет, чем это было возможно раньше.

Тихо управлял своим домом как предшественник современного университета, с приглашенными учеными, которые приезжали работать с ним. Он делал все более совершенные устройства для наблюдения за положением звезд и планет и вел точные записи.

СНО из-за своего научного рвеня



Рис.6: Из «*Harmonices Mundi*» Кеплера («Гармония мира»), опубликованного в 1619 году.

он пренебрегал некоторыми своими обязанностями перед монархом, и когда пришли новый король и королева, он был изгнан. Он решил переехать в

Меркурий	0.387 ua	0.240 года
Венера	0.723 ua	0.615 года
Земля	1 ua	1 года
Марс	1.523 ua	1.881 года
Юпитер	5.203 ua	11.857 года
Сатурн	9.537 ua	29.424 года

Таблица 1: Расстояния от Солнца и периоды планет во времена Кеплера



Прагу, на европейский континент, взяв с собой даже свои печатные машины и уже напечатанные страницы, свои записи и свои передвижные инструменты.

Тихо удалось повысить точность научных наблюдений. Его наблюдения за кометой на разных расстояниях показали, что сферы не обязательно должны быть вложены друг в друга с Землей в центре. Таким образом, он создал свою собственную модель Вселенной - гибрид между Птолемеем и Коперником: Солнце и Луна вращаются вокруг Земли, а другие планеты вращаются вокруг Солнца. У Тихо все еще были круги, но, в отличие от Аристотеля, он позволял кругам пересекать друг друга.

Мы ценим Тихо в первую очередь за кладезь качественных наблюдений за положением среди звезд планеты Марс. Тихо пригласил молодого математика Иоганна Кеплера присоединиться к нему в Праге. Именно благодаря Кеплеру слава Тихо в значительной степени сохранилась.

### **Использование математики: Иоганн Кеплер из Германии**

Будучи учителем в Граце (Австрия), молодой Иоганн Кеплер (1571–1630) вспомнил свой детский интерес к астрономии, чему поспособствовали увиденные им комета и лунное затмение. Он понял, что существует пять твердых форм, состоящих из сторон равной формы, и что если бы эти



Рис. 7а: Один из двух уцелевших телескопов Галилея попал в Институт Франклина в Филадельфии в 2009 году во время его первого визита в Соединенные Штаты. Обратите внимание, что внешняя часть объектива прикрыта картонным кольцом. Скрывая внешнюю часть линзы, которая была наименее точной, Галилей улучшил качество своих изображений. (Фото: Джей М. Пасачофф).

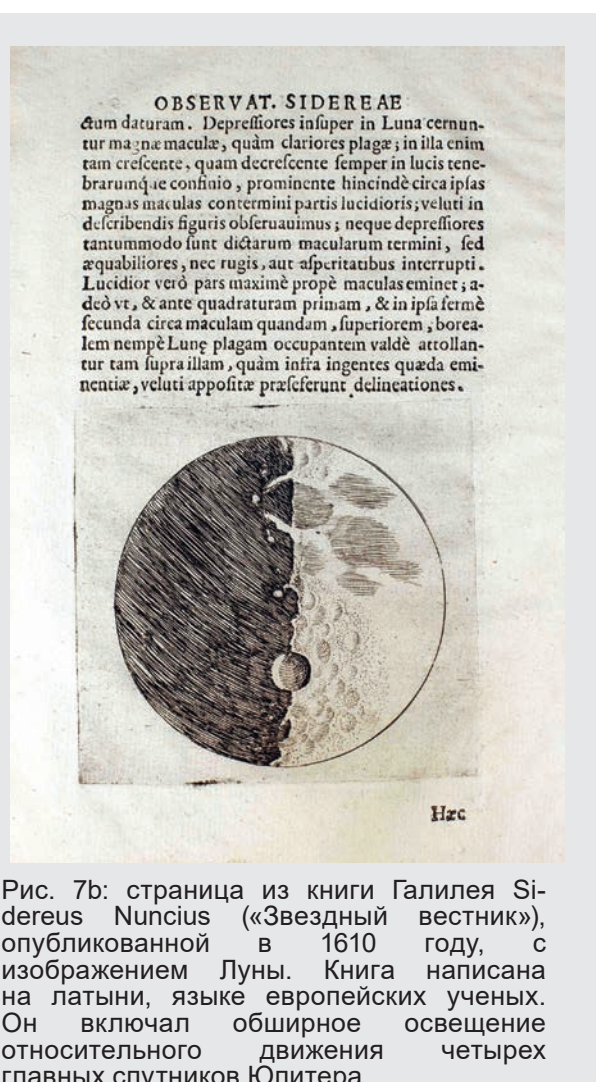


Рис. 7b: страница из книги Галилея *Sidereus Nuncius* («Звездный вестник»), опубликованной в 1610 году, с изображением Луны. Книга написана на латыни, языке европейских ученых. Он включал обширное освещение относительного движения четырех главных спутников Юпитера.

твердые тела были вложены и разделены сферами, они могли бы соответствовать шести известным планетам. Его книга по этой теме «*Mysterium Cosmographicum*» (Тайна космоса), опубликованная в 1596 году, содержала одну из самых красивых диаграмм в истории науки (рис. 5). В нем он вложил октаэдр, икосаэдр, додекаэдр, тетраэдр и куб с восемью, двенадцатью, двадцатью, четырьмя и шестью сторонами соответственно, чтобы показать расстояние между известными в то время планетами. Схема, хоть и очень красивая, абсолютно неверная.

Но математические способности Кеплера заслужили ему интервью у Тихо. В 1600 году он стал одним из нескольких помощников Тихо, и он провел вычисления, используя данные, которые накопил Тихо. Как-то Тихо отправился на официальный обед и обильно выпил. Как гласит история, этикет не позволил ему встать из-за стола, и у него лопнул мочевого пузыря. Его быстрая и мучительная смерть

была тщательно описана в дневнике.

Но Кеплер получил данные не сразу. Впервые, данные были одной из немногих ценных вещей, которые могли унаследовать дети Тихо, поскольку Тихо женился на простолюдинке и не имел права завещать недвижимость. Но Кеплер в конце концов получил доступ к данным Тихо касательно Марса и попытался привести их в соответствие со своими расчетами. Для точных вычислений Кеплер даже составил свою собственную таблицу логарифмов.

Данные, которые Кеплер получил от Тихо, касались положения Марса на небе на фоне звезд. Он попытался вычислить, каким должно быть его реальное движение вокруг Солнца. Долгое время он пытался описать круг или орбиту в форме яйца, но не мог достаточно точно сопоставить наблюдения. В конце концов, он попытался создать геометрическую фигуру под названием эллипс, своего рода сжатый круг. И все сошлось! Это открытие является одним из величайших в истории астрономии, и, хотя Кеплер сначала применил его к Марсу и другим планетам в нашей солнечной системе, сейчас мы применяем его к сотням планет, которые мы обнаруживаем вокруг других звезд.

Книга Кеплера 1609 года, *Astronomia Nova* (Новая астрономия), содержала первые два из трех его законов движения:

*Первый закон Кеплера: планеты вращаются вокруг Солнца по эллипсам, причем Солнце находится в одном из фокусов.*

*Второй закон Кеплера: линия, соединяющая планету и Солнце, замечает равные площади в равное время.*

Эллипс - это замкнутая кривая, на которой есть две ключевые точки; они известны как фокусы. Чтобы нарисовать собственный эллипс, поставьте две точки на листе бумаги; каждая из них будет фокусом. Затем возьмите веревку, длина которой превышает расстояние между фокусами. Приклейте их к фокусам. Затем прикрепите карандаш к веревке



Рис. 8: В 2009 году в честь 400-летия первого использования Галилеем телескопа на небе на колонну на вершине Кампанилы, башни 15-го века (восстановленной в начале 20-го века), в Венеции была помещена мемориальная табличка. На табличке сказано, что Галилей продемонстрировал свой телескоп знати Венеции для наблюдений за кораблями, находящимися относительно далеко в море; это было до того, как он повернул подзорную трубу вверх. Надпись на мемориальной доске можно приблизительно перевести как «Галилео Галилей, со своей подзорной трубой, 21 августа 2009 года, расширил горизонты человека 400 лет назад» (Фото: Джей М. Пасачофф)

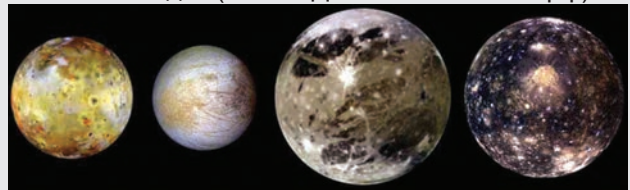


Рис. 9: Сам Галилей был бы поражен, увидев, что его одноименный космический корабль и его предшественники показали с «спутников Медичи», которые он обнаружил в 1609 году. Здесь они показаны в изображениях в их истинном относительном масштабе. Слева направо мы видим Ио, вновь всплывшую на поверхность с двумя дюжинами постоянно извергающихся вулканов. На второй позиции Европа, главный подозреваемый в обнаружении внеземной жизни благодаря океану, который находится под гладким слоем видимого льда. Третий - Ганимед, самая большая луна в Солнечной системе, демонстрирующая особенно удивительно изрезанную часть своей поверхности. Справа - Каллисто, находящаяся дальше остальных, покрытая твердым льдом, на котором сохранились рубцы от наложенных друг на друга ударов метеоритов, произошедших за миллиарды лет. (Фото: НАСА, Galileo Mission, PIA01400)

и, натянув ее, осторожно перемещайте из стороны в сторону. Созданная кривая будет одной стороной эллипса; как двигать карандаш, чтобы нарисовать другую сторону, весьма очевидно. Этот эксперимент с веревкой показывает одну из ключевых точек, определяющих эллипс: сумма расстояний от точки на эллипсе до каждого фокуса остается постоянной. Круг - это особый вид эллипса, в котором две точки расположены друг над другом.

Кеплер продолжал искать гармонию в движении планет. Он связывал скорости

планет с музыкальными нотами, причем более высокие ноты соответствовали более быстрым планетам, а именно Меркурию и Венере. В 1619 году он опубликовал свою главную работу *Harmonices Mundi* («Гармония миров»). В него (рис.6) он включил не только музыкальные отсылки с нотами, но и то, что мы называем его третьим законом движения планет:

*Третий закон движения планет Кеплера: квадрат периода обращения планеты вокруг Солнца пропорционален кубу размера ее орбиты.*

Астрономы склонны измерять расстояния между планетами в астрономических единицах, что соответствует среднему расстоянию между Землей и Солнцем, или 150 миллионам километров.

Попробуйте возвести первый столбец в квадрат, а второй - в куб. Вы увидите, что они примерно равны. Погрешности обусловлены приблизительных расчетов, не реальным положением дел, хотя с большим количеством десятичных знаков влияние других планет можно было бы обнаружить.

**Открытия с телескопом: Галилео Галилей из Италии**  
2009 год был Международным годом астрономии, объявленным сначала Международным астрономическим союзом, затем ЮНЕСКО и, наконец, Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций. Почему? 400 лет назад, 1609 году, Галилео Галилей использовал телескоп.

Галилей (1564 - 1642) был профессором в Падуе, части Венецианской республики. Он слышал о голландском изобретении, с помощью которого далекие объекты казались ближе. Хотя он ни разу не видел это устройство, он вычислил, какие линзы в нем должны были быть, и самостоятельно собрал его. Он презентовал свой телескоп венецианской знати как военное и коммерческое изобретение, позволившее бы увидеть корабли в море дальше, чем когда-либо прежде. Оно имело большой успех.

Затем ему пришла в голову идея обратить телескоп вверх. Хотя телескоп было трудно

использовать, он имел очень узкое поле обзора и его трудно было навести, Галилею удалось увидеть часть Луны и понять, что на ней много образований и структур. Благодаря своему образованию в области итальянской живописи эпохи Возрождения он понял, что структура представляет собой свет и тень, и что он видит горы и кратеры. По длине теней и по тому, как они менялись при изменении освещения от Солнца, он даже мог определить, насколько они высоки. Несколькими месяцами ранее англичане Томас Харриот направили аналогичный телескоп на Луну, но он нарисовал лишь несколько туманных скетчей и набросков. Но Харриота не интересовали публикации или слава, и его работы стали известны только после его смерти.

Одна линза, которую Галилей использовал для своих открытий, треснувшая, остается в Музее истории науки во Флоренции, Италия, и также там находятся два сохранившихся телескопа (рис. 7а).

Галилей начал писать о своих открытиях в конце 1609 года. Он обнаружил не только горы и кратеры на Луне, но и то, что Млечный Путь состоит из множества звезд, как и некоторые астеризмы. Затем, в январе 1610 года, он обнаружил четыре «звезды» около Юпитера, которые двигались вместе с ним и меняли свое положение от ночи к ночи. Это ознаменовало открытие главных спутников Юпитера, которые мы теперь называем галилеевыми спутниками. Он записал свои открытия в книгу под названием *Sidereus Nuncius* (Звездный вестник), которую он опубликовал в 1610 году (рис. 7b). Со времен Аристотеля и Птолемея считалось, что Земля была единственным центром вращения, а Аристотеля считали непогрешимым. Таким образом, открытие спутников Юпитера, показавшее, что Аристотель мог ошибаться, было огромным ударом по геоцентрическим представлениям и, следовательно, сильным аргументом в пользу гелиоцентрической теории Коперника.

Галилей пытался назвать спутники в честь своего покровителя Космо Медичи, чтобы выслужиться. Но эти имена не прижились. Через несколько лет Симон Мариус предложил

названия, которые мы используем сейчас. (Мариус, возможно, даже видел спутники немного раньше Галилея, но он опубликовал их намного позже.) Слева направо: Ио, Европа, Ганимед и Каллисто (рис. 9). Даже в небольшой любительский телескоп вы можете увидеть их ясной ночью и заметить, как через несколько часов они изменят положение. Они обращаются вокруг Юпитера с периодами до нескольких дней.

Даже в самые большие и технологичные наземные телескопы астрономы не могли получить четкое представление о структуре на поверхности галилеевых спутников. Только когда спутники НАСА Pioneer 10 и 11, а затем Voyager 1 и 2 подлетели близко к системе Юпитера, мы увидели достаточно деталей на спутниках, чтобы иметь возможность характеризовать их и их поверхности. С помощью наземных и космических наблюдений астрономы до сих открывают спутники Юпитера, хотя недавно обнаруженные спутники намного меньше и слабее, чем галилеевы.

Галилей использовал свои открытия, чтобы найти во Флоренции хорошую работу с более высокой зарплатой. К сожалению, Флоренция была ближе к папской власти в Риме, выступая в роли его своеобразного банка, и была менее либеральной, чем Венецианская республика. Он продолжал писать на различные научные темы, такие как солнечные пятна, кометы, плавающие тела. Каждое из его наблюдений, казалось, выдвигало аргумент против какого-либо аспекта исследований Аристотеля. Он обнаружил, что у Венеры есть фазы, которые показали, что Венера вращается вокруг Солнца. Это не доказывало, что Земля вращается вокруг Солнца, поскольку гибридная космология Тихо объяснила эти фазы. Но Галилей видел в этом поддержку теории Коперника.

В 1616 году церковные чиновники в Риме запретили ему преподавать коперниканство, теорию, что Солнце, а не Земля, находится в центре Вселенной. Ему удавалось хранить молчание долгое время, но в 1632 году он опубликовал свой «Dialogo» («Диалог о двух

главных мировых системах»), в котором трое мужчин обсуждали гелиоцентрическую и геоцентрическую системы. У него было официальное разрешение на публикацию книги, но она явно показала его предпочтение гелиоцентрической системе Коперника. Его судили за непослушание и приговорили к домашнему аресту, где он оставался до конца своей жизни.

## Гений наблюдений: Тихо Браге из Дании

Многие считают, что в тройку лучших физиков всех времен входят Исаак Ньютон, Джеймс Клерк Максвелл и Альберт Эйнштейн. Кратко: Ньютон открыл закон всемирного тяготения, Клерк Максвелл объединил электричество и магнетизм, а Эйнштейн открыл специальную и общую теорию относительности.

По большей части правдивой истории, молодой Исаак Ньютон (1642-1727) был отправлен домой из Кембриджского университета в Вулсторп, недалеко от Линкольна, в Англии, когда английские университеты были закрыты из-за эпидемии. Находясь там, он увидел яблоко, упавшее с яблони, и понял, что сила, которая управляла падением яблока, без сомнения, была той же силой, которая управляла движением Луны.

В конце концов Ньютон вернулся на факультет в Тринити-колледж в Кембридже. Тем временем группа ученых в Лондоне собралась в кофейне, чтобы сформировать общество (ныне Королевское общество), а юного Эдмонда Галлея отправили в Кембридж, чтобы подтвердить, что блестящий математик Исаак Ньютон мог бы помочь им в важном научном вопросе. Путешествие из Лондона в Кембридж на дилижансе было намного дольше и труднее, чем занимающая всего час поездка на поезде в наши дни.

Галлей спросил Ньютона, если есть ли сила, уменьшающаяся пропорционально квадрату расстояния, какую форму будет иметь орбита? И Ньютон ответил, что это будет эллипс. Возмущенный, Галлей спросил, доказал ли он это, и Ньютон сказал, что это где-то было в

его бумагах. Он сказал, что не может их найти, хотя, возможно, он просто ждал времени, чтобы решить, действительно ли он хочет предать свой анализ огласке. Как бы то ни было, Ньютон был вынужден выдать некоторые из своих математических выводов. В течение нескольких лет они привели к его самой известной книге *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Математические принципы естественной философии), где то, что они тогда называли философией, включает в себя то, что мы теперь называем наукой.

«Начала» Ньютона вышли в 1687 году на латыни. Ньютон тогда еще был учителем в колледже; это было задолго до того, как он был посвящен в рыцари за свою более позднюю работу для монетного двора Англии. Галлею пришлось заплатить за издание книги Ньютона, он отстаивал ее и даже написал предисловие.

Известно, что «Начала» включали в себя закон Ньютона, показывающий, как сила тяжести уменьшается на квадрат расстояния, и его доказательство законов Кеплера о планетных орбитах. В книгу также включены законы движения Ньютона, тщательно перенесенные на латынь, тогда как законы Кеплера похоронены в его тексте.

Законы движения Ньютона: Первый закон движения Ньютона: движущееся тело стремится оставаться в движении, а тело в покое имеет тенденцию оставаться в покое.

Второй закон движения Ньютона (современная версия): сила = масса, умноженная на ускорение.

Третий закон движения Ньютона: на каждое действие существует равное и противоположное противодействие.

Ньютон заложил основы математической физики, которые привели к современной науке.

## Астрономические исследования продолжают

Подобно тому, как древние народы интересовались небом и хотели найти свое место во Вселенной, нынешние астрономы опираются на открытия прошлого с той же мотивацией. Теоретические и наблюдательные открытия переместили понимание нашего места во Вселенной от геоцентрического видения Птолемея к гелиоцентрической гипотезе Коперника, к открытию того, что Солнечная система не находится в центре нашей галактики, к нашему пониманию галактик, распределенных по Вселенной.

Современная астрономия пытается понять природу темной материи и темной энергии. Теория относительности Эйнштейна указывает на то, что наша галактика не только не находится в центре Вселенной, но и что само понятие «центр» достаточно бессмысленно. Недавние открытия сотен экзопланет, вращающихся вокруг других звезд, показали, насколько необычной может быть наша Солнечная система. Новые теории образования планет параллельны новым наблюдениям за неожиданными планетными системами. Перед современными астрономами лежит такой же путь открытий, как и перед астрономами тысяч или сотни лет назад.

## Библиография

Хоскин, М. (редактор), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.

Пасачофф Дж. И Филиппенко А. *Космос: астрономия в новом тысячелетии*, 4-е изд., Cambridge University Press, 2012.

## Библиография

• [www.solarcorona.com](http://www.solarcorona.com)

• <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>

• <http://www2.astronomicalheritage.net/guara>, 2006.

# Солнечная система

Магда Ставински, Беатрис Гарсия, Андреа Соса

Международный астрономический союз, Астрономический институт Румынской академии (Румыния), Институт технологий обнаружения астрочастиц (Аргентина), Университет Республики (Уругвай)

## Резюме

Несомненно, во Вселенной, в которой мы говорим о звездных и солнечных системах, планетах и экзопланетах, самая известная система — это Солнечная. Можно подумать, что все знают, что такое Солнце, что такое планеты, какие бывают кометы и астероиды. Но так ли это на самом деле? Если мы хотим понять Солнечную систему с научной точки зрения, мы должны сначала знать правила, которые её определяют.

Телами Солнечной системы согласно постановлению Международного Астрономического Союза от 24 августа 2006 г. Являются.

- планеты
- естественные спутники планет
- карликовые планеты
- другие малые тела: астероиды, метеориты, кометы, пыль, объекты пояса Койпера и др.

Обобщая, любая другая звезда, окруженная небесными телами по тем же законам, называется экзопланетной системой. Один из вопросов, на который нужно ответить по этой теме: каково место Солнечной системы во Вселенной? Но он не единственный. В этой главе мы попытаемся представить наиболее важные характеристики нашей и других систем.

## Цели

- Узнать, какое место Солнце занимает во Вселенной;
- Узнать, какие тела составляют Солнечную систему.
- Узнать подробности о различных телах Солнечной системы, особенно самых известных.

## Солнечная система

Что такое система?

Система по определению представляет собой набор элементов (принципов, законов, сил и т. д.), которые взаимодействуют друг с другом в соответствии с рядом принципов или правил.

Для определения Солнечной системы мы укажем элементы множества, состоящего из центральной звезды — Солнца, — и всех тел, его окружающих и связанных с ним силами тяготения.

Солнечная система расположена в одном из внешних рукавов нашей Галактики, также называемой Млечный Путь. Этот рукав известен как рукав Ориона. Он расположен в области относительно небольшой звездной плотности.

Солнце вместе со всей Солнечной системой движется вокруг центра Галактики, расположенного на расстоянии от 25000 до 28000 световых лет (примерно на половине её радиуса), с периодом обращения 225-250 миллионов лет (галактический год Солнечной системы). Величина скорость, с которой оно движется по этой почти круговой орбите, составляет около 220 км/с, а направление движения совпадает с направлением к текущему положению звезды Вега.

Наша Галактика состоит из более чем 1000 туманностей и примерно 200 миллиардов звезд вместе с их планетами. Её полная масса примерно в 1000 миллиардов раз больше, чем у Солнца, а её диаметр составляет около 100 000 световых лет. Очень близко к Солнечной системе находится система Альфа Центавра (самая яркая звезда в созвездии Центавра), состоящая из трёх звезд: пара звёзд Альфа Центавра А и В, похожих на Солнце, которые вращаются на расстоянии 0,2 световых года вокруг красного карлика Альфа Центавра С относительно небольшой светимости.



Рис. 1: Солнечная система в масштабе размеров основных её тел



Рис. 2: Место Солнечной системы в Галактике (симуляция)

Последняя - ближайшая к Солнцу звезда, она находится на расстоянии 4,24 световых года; поэтому его еще называют «Проксима Центавра» (proxima - близкая)

Наша Галактика является частью группы галактик, называемой Местной группой, состоящей из трех больших галактик и ряда из 30 меньших. Наша Галактика имеет форму спирали с перемычкой. Рукава этой спирали, выходящие из краёв бара и образованных определенным распределением звезд, содержат, кроме других объектов, туманности, межзвёздное вещество и молодые звезды, которые постоянно рождаются из этого вещества. Центр галактики состоит из старых звезд, сосредоточенных в группах сферической формы. В нашей Галактике насчитывается около 200 таких групп, из которых только 150 наиболее изученных. Эти группы сосредоточены в основном в галактическом центре. Солнечная система расположена на 20 световых лет выше плоскости диска Галактики и на расстоянии 28 000 световых лет от центра Галактики. Центр галактики находится

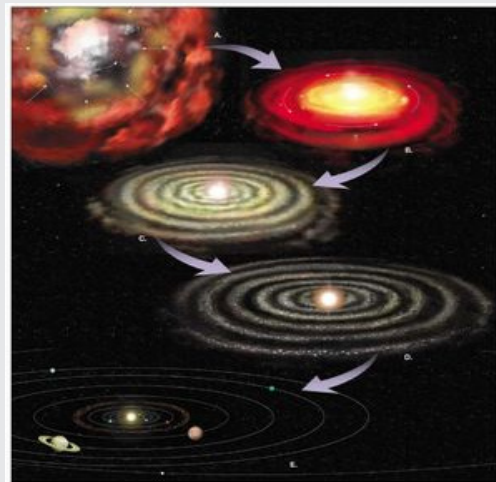


Рис. 3: Схема процесса формирования Солнечной системы, основанная на стандартной «небулярной гипотезе», впервые предложенной Кантом и Лапласом в семнадцатом веке.

в направлении созвездия Стрельца.

### Формирование и эволюция

Согласно стандартной теории, Солнечная система была сформирована около 4.6 миллиардов лет назад гравитационным сжатием облака межзвездного газа и пыли. Коллапс облака начался после сильного внешнего возмущения (возможно, взрыва сверхновой), которое заставило гравитационную силу преодолеть давление газа.

Сохранение углового момента заставило туманность вращаться все быстрее и быстрее, сплющиться и образовать протосолнце в центре, а вокруг него - протопланетный диск из газа и пыли. В протопланетном диске были сконденсированы маленькие твердые ядра планетезималей, которые затем в процессе аккреции накапливали вещество на них, образуя планеты.

Гипотеза примитивной туманности была предложена в 1755 году Эммануилом Кантом, а также отдельно Пьером-Симоном Лапласом.

Стандартная теория (основанная на «небулярной гипотезе», первоначально предложенной Кантом и Лапласом) объясняет компланарность и квазикруглость орбит и была подтверждена наблюдениями нескольких планетных систем вокруг других звезд.

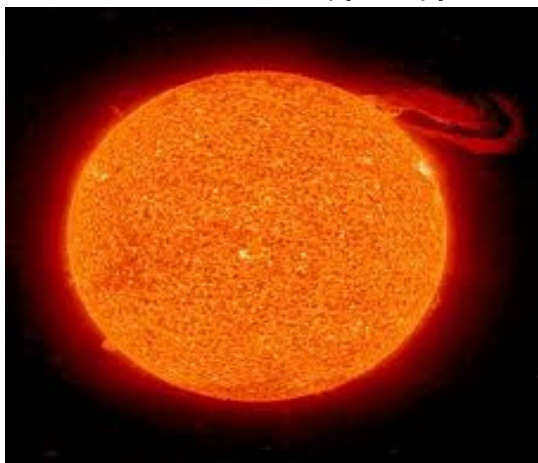


Рис. 4а: Солнце в инфракрасных лучах

## Солнце

Солнце - звезда промежуточной массы, его возраст составляет примерно 4,6 миллиарда лет. В настоящее время Солнце завершило почти половину своего эволюционного цикла, который связан с превращением водорода в гелий в его ядре посредством ядерного синтеза. Каждую секунду в ядре Солнца более четырех миллионов тонн вещества становятся веществом тяжелее и энергией, генерируя не только гелий, но также нейтрино и электромагнитное излучение.

Большая часть Солнца (74%) - это водород, почти 25% - гелий, а остальной 1% — более тяжелые элементы.

### Жизненный цикл Солнца

Примерно через 5 миллиардов лет Солнце станет гигантом, а затем белым карликом, окруженным планетарной туманностью. Водород будет истощен, и это приведет к радикальным изменениям, включая полное разрушение Земли. Солнечная активность, точнее ее магнитная активность, оценивается по количеству и размеру пятен на его поверхности, а также по солнечным вспышкам и изменениям солнечного ветра, который рассеивает солнечное вещество в Солнечную систему и за её пределы.

## Планеты

Для классификации планет, мы используем определение, данное Международным Астрономическим Союзом (МАС) на его 26 Генеральной Ассамблее, проведенной в Праге, в 2006 году.

В Солнечной системе планета — это небесное тело, которое:

1. находится на орбите вокруг Солнца,
2. имеет достаточную массу для поддержания гидростатического баланса (почти круглая форма)
3. «очистило окрестности» вокруг своей орбиты.

Тело, не являющееся спутником, которое соответствует только первым двум из этих критериев, классифицируется как «карликовая планета».

Согласно МАС, планеты и карликовые

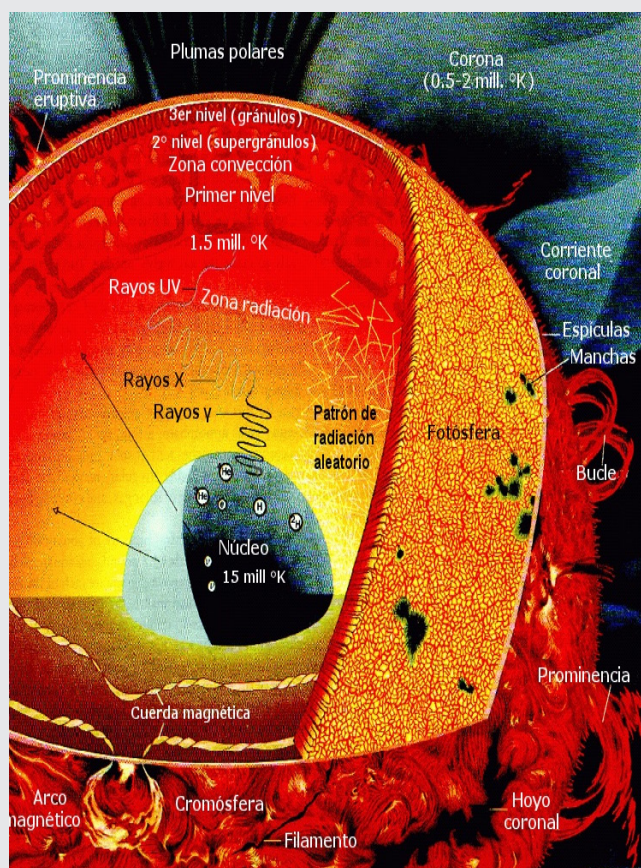


Рис 4б: Внутренняя структура Солнца



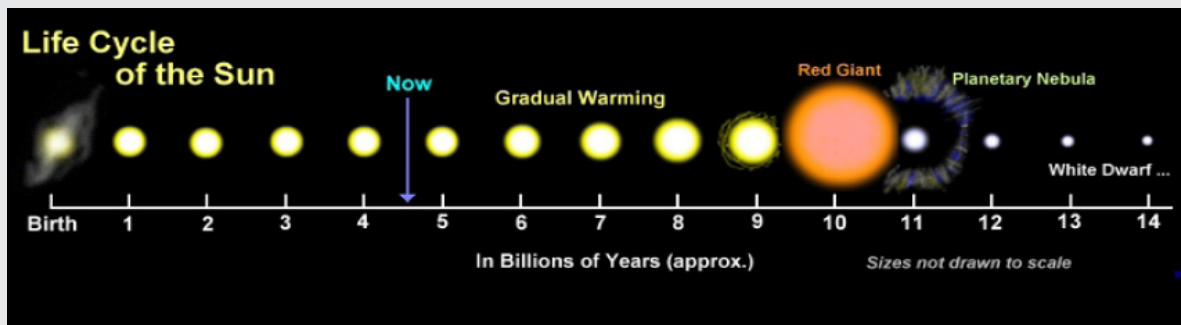


Рис. 5: Жизненный цикл Солнца, от протозвезды до белого карлика

планеты — это два разных типа объектов. Неспутник, отвечающий только первому критерию, называется «малым телом Солнечной системы» (SSSB), как, например, в случае астероидов.

Первоначальные проекты переклассификации тел в Солнечной системе планировали включить карликовые планеты в подкатегорию планет, но поскольку это могло привести к добавлению нескольких десятков новых планет в систему, от этого проекта отказались. В 2006 году были добавлены три карликовые планеты (Церера, Эрида и Макемаке) и переклассифицирована одна (Плутон). Таким образом, в Солнечной системе 2006 года было пять карликовых планет: Церера, Плутон, Макемаке, Хаумеа и Эрида. С годами к списку карликовых планет добавлялись все новые тела в процессе их открытия и изучения.

Это определение отличает планеты от более мелких тел и бесполезно за пределами Солнечной системы, где мелкие тела не могут быть обнаружены современными технологиями. Внесолнечные планеты или экзопланеты рассматриваются отдельно в соответствии с дополнительным руководством проекта 2003 года по определению планет, которое отличает их от более массивных и крупных карликовых звезд.

8 планет Солнечной системы можно разделить на:

- 4 планеты земного типа во внутренней области (Меркурий, Венера, Земля и Марс): каменные, с приблизительной плотностью от 4 до 5 г/см<sup>3</sup>;
- 4 планеты-гиганта во внешнем регионе,

которые, в свою очередь, делятся на:

- Газовые гиганты: Юпитер и Сатурн. Более богаты H и He, с химическим составом, аналогичным солнечному;
- Ледяные гиганты: Уран и Нептун. Лед преобладает над газами, химический состав сильно отличается от солнечного.

Планеты-гиганты легче планет земной

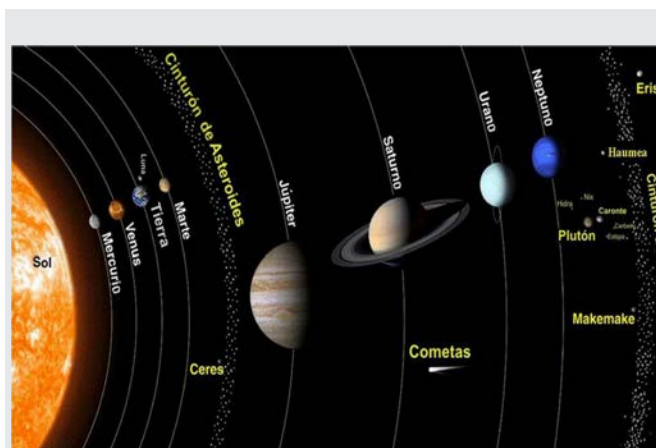


Рис. 6: Тела Солнечной системы. (не в масштабе)

группы, их плотность составляет от 0,7 г/см<sup>3</sup> (Сатурн) до 2 г/см<sup>3</sup>.

Планеты-гиганты сформировались в масштабе времени порядка 10 миллионов лет (планеты земной группы образовались примерно за 100 миллионов лет). Они не были сформированы «на месте», а мигрировали из места начального образования: это было вызвано процессами обмена угловым моментом между формирующимися планетами-гигантами и планетезималями, перенесёнными в другие регионы Солнечной системы или выброшенными из неё совсем.

Характеристика каждой планеты подразумевает определение ее общих свойств, таких как масса, радиус, плотность, период вращения вокруг



Рис. 7 : Меркурий

своей оси (планетный день), период обращения вокруг Солнца (планетный год), химический состав ее структуры и атмосферы, вместе с другими величинами.

В этом тексте мы не будем приводить таблицы данных, поскольку они доступны в Интернете, вместе с традиционных учебниками. Здесь мы сосредоточимся только на описании природы каждого тела, его происхождения и тех данных, которые представляют интерес, или цвета, чтобы учитель мог работать над этим предметом в классе.

## Меркурий

Меркурий — ближайшая к Солнцу и самая маленькая планета Солнечной системы. Это планета земного типа, расположенная во внутренней части Солнечной системы. Она получила свое название от римского бога искусства и торговли.

У Меркурия нет естественных спутников. Это одна из пяти планет, которые можно увидеть с Земли невооруженным глазом. Его смогли наблюдать в телескоп только с семнадцатого века. Его исследованием занимались два космических аппарата: Маринер-10 (трижды в 1974-1975 годах) и Мессенджер (дважды в 2008 году).

Хоть его и можно увидеть невооруженным глазом, его нелегко наблюдать именно из-за его близости к Солнцу. На небе он никогда не отходит от Солнца далеко, наблюдения возможны только во время элонгаций (наибольшего углового расстояния от Солнца), незадолго до рассвета и немного после заката. Однако, космические миссии дали нам достаточно информации, показывающую, как удивительно Меркурий очень похож на Луну.

Стоит упомянуть некоторые характеристики планеты: она самая маленькая в Солнечной системе и самая близкая к Солнцу. Он имеет наиболее эксцентричную орбиту ( $e = 0,2056$ ) с наибольшим наклоном к эклиптике ( $i = 7^\circ$ ). Его синодический период составляет 115,88 дней, что означает, что три раза в год он оказывается в положении максимальной элонгации к западу от Солнца (так называемая «утренняя звезда», положение максимальной элонгации к востоку от Солнца называют «вечерней звездой»). В обоих случаях элонгация не превышает  $28^\circ$ .

Его радиус в 2440 километров делает ее самой маленькой планетой в Солнечной системе, меньше даже двух галилеевых спутников Юпитера: Ганимеда и Каллисто.

Плотность  $5,427 \text{ г/см}^3$  делает ее самой плотной планетой после Земли (чья плотность  $5,5 \text{ г/см}^3$ ). Железо, скорее всего, является основным тяжелым элементом (70% вещества всей планеты), что обуславливает её высокую плотность. Считается, что у Меркурия нет атмосферы, но это неверно: атмосфера, чрезвычайно редкая и очень тонкая, образована молекулярным кислородом (42%), натрием (29,0%), водородом (22,0%), гелием (6,0%), калием (0,5%), а также следами аргона, азота, двуокиси углерода, водяного пара, ксенона, криптона и неона.

Меркурий — единственная планета (кроме Земли), имеющая значительное магнитное поле, которого, хоть оно и порядка 1/100 магнитного поля Земли, достаточно для создания магнитосферы, простирающейся до полутора радиусов планеты, по сравнению с 11,5 радиусами в случае Земли.

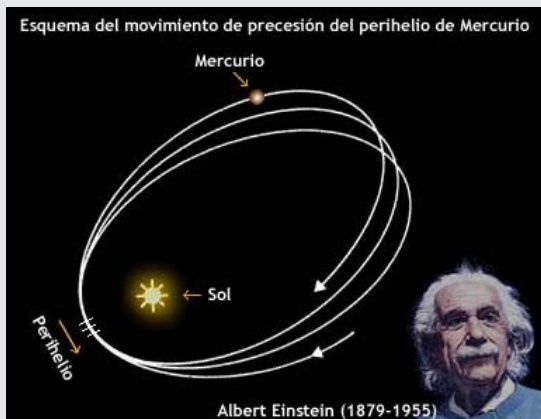


Рис. 8: Прецессионное движение перигелия Меркурия

Наконец, ещё одна схожесть с Землей: магнитное поле биполярное, с магнитной осью, наклоненной на  $11^\circ$  к оси вращения.

Внутри Меркурия температуры сильно варьируются. Когда планета проходит через перигелий, температура на экваторе в полдень может достигать  $427^\circ\text{C}$ : этого достаточно, чтобы вызвать плавление металлов, вроде цинка. Однако, сразу после наступления темноты температура может упасть до  $-183^\circ\text{C}$ , что означает суточное изменение температуры величиной  $610^\circ\text{C}$ ! Ни одна другая планета не обладает таким большим изменением; оно может быть связано с интенсивным солнечным излучением в течение дня, отсутствием плотной атмосферы и продолжительностью дня Меркурия (интервал между восходом и заходом составляет почти три земных месяца), которого достаточно для сохранения тепла или охлаждения в течение ночи аналогичной продолжительности.

Кратеры Меркурия очень похожи на кратеры Луны по морфологии, форме и структуре. Самый примечательный из них — бассейн Калорис, свидетельство великой катастрофы.

Падения, вызывающие кратеры, представляют собой самые катастрофические события, влияющие на поверхность планеты. Они могут вызвать изменение планетарной коры и даже внутренние нестабильности. Так и произошло во время образования кратера Калорис диаметром 1550 километров.

## Прецессия перигелия Меркурия

Как и у любой другой планеты, перигелий Меркурия не фиксирован, но движется вокруг Солнца регулярным образом. Долгое время это движение было на 43 угловые секунды в столетие быстрее предсказаний классической ньютоновской небесной механики. Это расхождение было предсказано общей теорией относительности Эйнштейна, причем причиной этого было искривление пространства из-за массы Солнца. Совпадение между наблюдаемым движением перигелия и предсказанием



Рис. 9: Поверхность Венеры (Телескоп Магеллан)

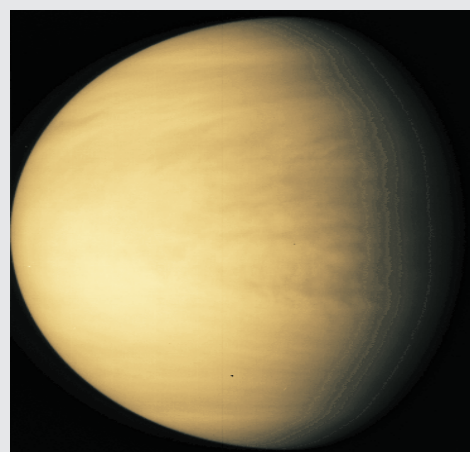


Рис. 10: Венера в видимых лучах (Телескоп имени Хаббла)

общей теории относительности было большим свидетельством обоснованности этой теории.

## Венера

Одна из четырех планет внутренней

системы, по строению аналогичная Земле, вторая по удаленности от Солнца. Названа в честь римской богини любви и красоты.

Близость к Солнцу, а также структура и плотность атмосферы Венеры делают её одним из самых горячих тел в Солнечной системе. Она имеет очень слабое магнитное поле и не имеет естественных спутников. Это одна из немногих планет, вращающаяся вокруг своей оси ретроградно, и единственная, у которой период вращения вокруг оси больше орбитального. Венера — самый яркий объект на небе после Солнца и Луны.

Траектория движения Венеры вокруг Солнца — почти окружность: ее орбита имеет эксцентриситет 0,0068, то есть самый маленький в Солнечной системе. Год Венеры составляет 0,924 её звездного дня.

По размеру и геологическому строению Венера очень похожа на Землю. Атмосфера очень плотная. Смесь CO<sub>2</sub> и плотных облаков двуокиси серы создают самый большой парниковый эффект в Солнечной системе, с достигаемой температурой около 460 °С. Температура поверхности Венеры выше, чем у Меркурия, хотя Венера почти вдвое дальше от Солнца, и получает только около 25% солнечной радиации, получаемой Меркурием. Поверхность планеты имеет практически равномерный



Рис. 11: Земля и Луна (Миссия Галилео, 1998)

Замечательной особенностью Венеры является ее ретроградное вращение (хотя у Урана оно тоже есть): она очень медленно вращается вокруг своей оси против

часовой стрелки, в то время как планеты Солнечной системы обычно вращаются по часовой стрелке. Период её вращения известен только с 1962 года. Медленное и ретроградное вращение делает солнечные сутки намного короче звездных, причем эти дни длиннее, чем у планет с обычным вращением. Следовательно, в солнечном году Венеры менее 2 полных дней. Причины ретроградного вращения Венеры до сих пор не выяснены. Наиболее вероятным объяснением является столкновение с другим крупным телом при образовании планет Солнечной системы. Возможно также, что атмосфера Венеры повлияла на вращение планеты своей большой плотностью. обсерваторией SOHO в 1997 году.

Венера имеет уникальную атмосферу: её давление на поверхность достигает 93 атмосфер (9,3 МПа), а состоит она в основном из ~ 96,5% диоксида углерода, ~ 3,5% азота, 0,015% диоксида серы, 0,007% аргона, 0,002% водяного пара, 0,0017% оксида углерода, 0,0012% гелия, 0,0007% неона.

### **Венера - двойняшка Земли. Аналогия.**

- Они родились в одно время из одного и того же газа и пыли 4,6 миллиона лет назад;
- Обе являются планетами внутренней Солнечной системы;
- Их поверхности имеют разнообразный рельеф: горы, поля, долины, плато, вулканы, ударные кратеры и т. д.
- Обе имеют относительно небольшое количество кратеров, что свидетельствует об относительно молодой поверхности и плотной атмосфере;
- Они имеют близкий химический состав.

### **Прохождение Венеры по диску Солнца**

Прохождение Венеры происходит, когда планета проходит между Землей и Солнцем, а тень Венеры пересекает солнечный диск. Из-за наклона орбиты Венеры по отношению к земной орбите, это явление очень редкое по человеческим меркам. Оно происходит дважды каждые 8 лет, и этот двойное прохождение отделяется от следующего более чем на столетие (105,5 и 121,5 лет). Последние прохождения состоялись 8 июня 2004 г. и 6 июня 2012,

следующее нужно ждать 11 декабря 2117 г.

## Земля

Земля - третья по удаленности от Солнца планета в Солнечной системе и пятая по размерам. Является планетой внутренней Солнечной Системы. Это самая большая планета Земного типа и единственная с найденной на ней жизнью. Образовалась около 4,57 миллиарда назад; единственный естественный спутник, Луна, начал вращаться по орбите вскоре после образования Земли, около 4 533 миллионов лет назад, существует несколько теорий о его происхождении. 71% поверхности Земли покрыто водой, остальные 29% - твердые и «сухие», но в целом вода составляет крошечное количество вещества по сравнению с общим составом планеты.

Между Землей и остальной Вселенной происходит постоянное взаимодействие. К примеру, причиной приливов на Земле является Луна. Кроме того, она постоянно влияла на скорость вращения Земли. Все тела земного шара притягиваются к нему, эта сила притяжения называется силой тяжести, а ускорение, с которым эти тела падают в гравитационном поле, называется гравитационным ускорением (обозначается «g» = 9,81 м/с<sup>2</sup>). Считается, что причиной появления Мирового океана стал «ливень» из комет в ранний период существования Земли. Позже, столкновения астероидов помогли решительно изменить окружающую среду. Изменения орбиты планеты можно рассматривать как причины ледниковых периодов, имевшие место в истории, когда поверхность Земли покрывалась слоем льда.

Давление его атмосферы на поверхности составляет 101,3 кПа и состоит из 78% азота (N<sub>2</sub>), 21% кислорода (O<sub>2</sub>), 0,93% аргона, 0,04% углекислого газа и 1% водяного пара (изменяется с погодой).

## Марс

Марс - четвертая от Солнца планета в Солнечной системе и вторая по размерам после Меркурия. Принадлежит к группе планет земного типа. Назван в честь римского бога войны из-за его красноватого цвета. Несколько космических миссий

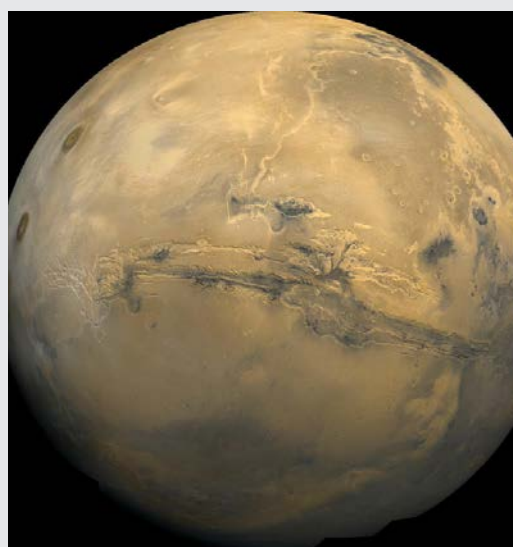
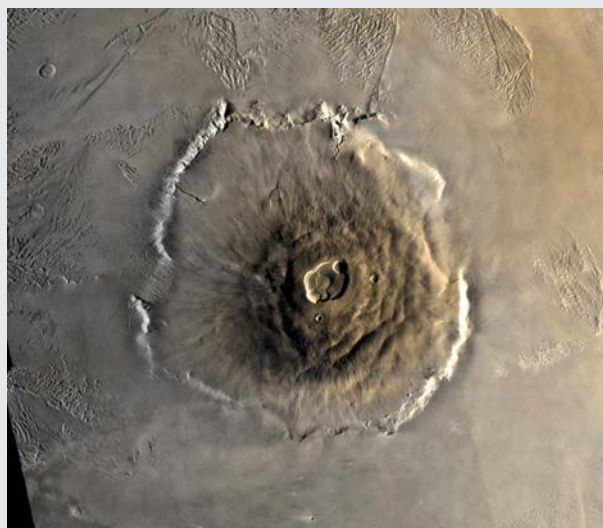


Рис. 12: Марс (слева); Вулкан Олимп (справа)

изучали его с 1960 года, чтобы узнать как можно больше о его географии, климате, а также других деталях; они продолжают это делать в поисках воды и, возможно, признаков жизни под его поверхностью.

Марс можно наблюдать невооруженным глазом. Он менее яркий, чем Венера, и лишь изредка ярче Юпитера. Он превосходит последнего в своих наиболее выгодных конфигурациях (противостояниях). Из всех тел Солнечной системы именно красная планета привлекла внимание большинства авторов научной фантастики. Основной причиной этого являются его знаменитые каналы, впервые названные так в 1858 году Джованни Скиапарелли и рассматриваемые этим автором как искусственные, что, как мы знаем сегодня, было совершенно неправильным. Красный цвет Марса обуславливает оксид железа

(также называемый гематитом), который содержится в минералах на его поверхности. Марс имеет очень крутой рельеф, с самой высокой горой в Солнечной системе (вулкан Олимп) высотой около 25 км и самым большим из известных каньонов (Долины Маринер) со средней глубиной 6 км.

Эта планета имеет в центре железное ядро диаметром около 1700 км, покрытое оливиновой мантией и базальтовой корой, со средней толщиной 50 км. Марс окружен атмосферой, состоящей в основном из двуокиси углерода. Раньше у него была активная гидросфера, то есть когда-то на его поверхности была вода, но изменения условий атмосферного давления, вероятно, из-за потери магнитного поля и изменений температуры, привели к испарению воды при комнатной температуре. В настоящее время марсианская атмосфера характеризуется давлением на поверхности 0,6–1,0 кПа и состоит на 95,72% из двуокиси углерода, 2,7% азота, 1,6% аргона, 0,2% кислорода, 0,07% окиси углерода, 0,03% водяного пара; 0,01% оксида азота, а также следов неона, криптона, формальдегида, ксенона, озона и метана.

У Марса есть два естественных спутника, Фобос и Деймос — вероятно, астероиды, захваченные планетой. Диаметр Марса в два раза меньше диаметра Земли, а его поверхность равна поверхности её континентов. Его масса составляет одну десятую земной. Его притяжение несколько меньше, чем у Меркурия, хотя его масса вдвое больше.

Плоскости экватора Марса и его орбиты вокруг Солнца не совпадают. Наклон оси Марса аналогичен наклону оси Земли, поэтому на Марсе есть времена года, как на Земле. Размеры полярных шапок меняются в зависимости от сезона за счет обмена углекислого газа и воды с атмосферой. Марсианский день всего на 39 минут длиннее земного. А из-за относительного расстояния от Солнца в марсианском году на 322 дней больше, чем в земном.

Марс — ближайшая к Земле внешняя планета, её расстояние до Земли становится

ещё меньше во время противостояния, когда Земля находится между Марсом и Солнцем.

27 августа 2003 года Марс находился всего в 55,76 млн км от Земли, то есть на 0,3727 астрономических единиц: это наименьшее расстояние, зарегистрированное за 59 618 лет. Такое событие породило множество всевозможных фантазий, например, что Марс можно было бы увидеть размером с



Рис. 14: Юпитер (слева); Полярные сияния на Юпитере (справа, изображение телескопа имени Хаббла)

Луну. Однако, с видимым диаметром 25,13 угловой секунды Марс можно увидеть невооруженным глазом как точку; а Луна имеет видимый диаметр в 30 угловых минут (1800 угловых секунд). Близость, подобная той, что была в 2003 году, произойдет 28 августа 2287 года, когда расстояние между двумя планетами составит 55,69 миллиона километров.

## Юпитер

Юпитер — пятая от Солнца планета, диаметр которой в 11 раз больше диаметра Земли,

самая большая из всех планет Солнечной системы. В сравнении с нашей планетой, ее масса в 318 раз больше, а объем — в 1300 раз. Обращается вокруг Солнца на расстоянии 778 547 200 километров. Юпитер — четвертый по яркости объект на небе, видимый невооруженным глазом (после Солнца, Луны, Венеры и иногда Марса). Открытие Галилео Галилеем и Симоном Мариусом в 1610 году четырех его великих спутников: Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто (известных как галилеевы спутники) было первым открытием центра видимого движения, которого не было на Земле. Это было важным свидетельством в пользу гелиоцентрической теории движения планет Николая Коперника. Проверка Галилеем теории Коперника принесла ему неприятности с инквизицией. До миссий «Вояджер» было известно только 16 спутников Юпитера: сегодня мы знаем, что их насчитывается более 60, и наверняка некоторые из них еще предстоит обнаружить.

Предполагается, что ядро планеты сделано из твердого вещества, в 10-15 раз превышающего массу Земли. Над этим ядром находится основная часть планеты, состоящая из жидкого металлического водорода: из-за температуры и давления внутри Юпитера водород является жидкостью, а не газом. В этом состоянии материал является электрическим проводником и источником магнитного поля Юпитера. Также этот слой содержит немного гелия и немного остатков льда.

Самый поверхностный слой планеты состоит в основном из молекулярного водорода и гелия, жидкого во внутренней части и газообразного во внешней части. Атмосфера, которую мы видим, — это только верхняя часть этого глубокого слоя. Вода, диоксид углерода, метан, а также другие простые молекулы присутствуют в небольших количествах.

Атмосфера Юпитера состоит примерно из 86% водорода и 14% гелия со следами метана, воды, аммиака и других элементов. Считается, что его состав очень похож на первоначальную структуру молекулярного облака, из которого образовалась

Солнечная система (в этом смысле отличаются Уран и Нептун, которые также являются газообразными, но имеют меньше водорода и гелия в составе).

Отличительной особенностью Юпитера является его Большое красное пятно, которое впервые было замечено благодаря наземным телескопам более 300 лет назад. Это овал размером примерно 12000 на 25000 километров, достаточно большой, чтобы покрыть две Земли. Это область высокого давления, верхние облака которой намного выше и холоднее окружающих областей. Подобные образования наблюдались у Сатурна и Нептуна. Пока неизвестно, почему структуры такого типа так долго сохраняются.

На Юпитере и других газовых планетах ветры дуют с огромной скоростью в большом диапазоне широт. Ветры дуют в противоположных направлениях в двух соседних полосах. Различия в температуре и химическом составе ответственны за различную окраску полос, видимую на изображениях планеты. Атмосфера Юпитера очень беспокойная. Ветры вызваны в основном внутренним теплом планеты, а не Солнцем, как это происходит на Земле. Атмосфера Юпитера имеет поверхностное давление 20-200 кПа (уровень облаков), а ее химический состав - 90% водорода, 10% гелия, ~ 0,3% метана, ~ 0,036% аммиака, ~ 0,003% дейтерия (HD), 0,0006% этана, 0,0004% воды, а также лед из аммиака, воды и гидросульфида аммония ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ).

Магнитосфера Юпитера очень мощная, в 14 раз сильнее, чем у Земли, и простирается примерно на 650 миллионов км (за пределы орбиты Сатурна). Спутники Юпитера включены в его атмосферу, что частично объясняет активность на Ио. Главная проблема космических путешествий будущего, а также задача для разработчиков зондов «Вояджер» и «Галилео» заключается в том, что вокруг Юпитера имеется большое количество заряженных частиц, захваченных его магнитным полем. Это «излучение» похоже, но намного более интенсивное, кольцами Юпитера и его верхними слоями

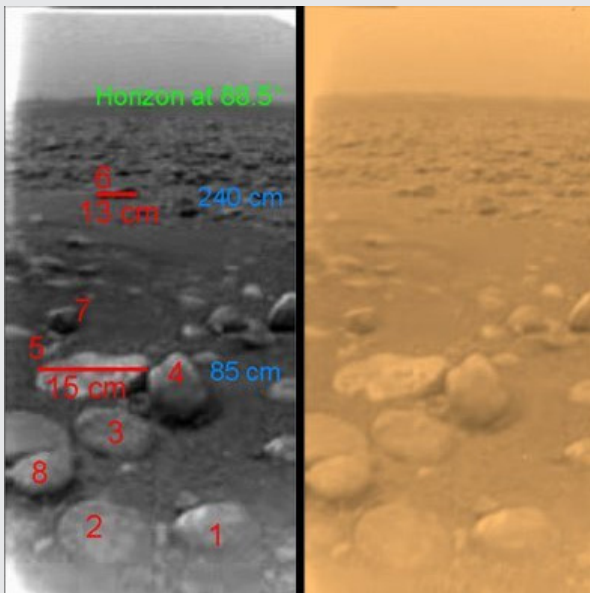
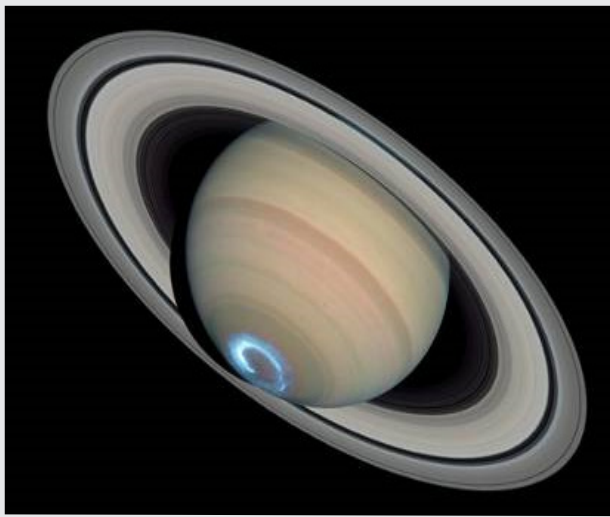


Рис. 14: Полярное сияние Сатурна (слева); последнее фото с поверхности Титана миссии Кассини-Гюйгенс (справа)

чем наблюдаемое в поясах Ван Аллена на Земле; оно было бы смертельным для любого незащищенного человека. Зонд «Галилео» обнаружил неизвестное ранее интенсивное излучение между кольцами Юпитера и его верхними слоями атмосферы. Этот новый радиационный пояс имеет интенсивность в 10 раз больше, чем у поясов Ван Аллена на Земле. Удивительно, что он содержит ионы гелия высокой энергии неизвестного происхождения. de J

У Юпитера есть кольца, подобные Сатурну, но гораздо более тонкие и непрозрачные: в отличие от колец Сатурна, кольца Юпитера темные. Вероятно, они состоят из мелких крупинок каменистого материала и, кажется, не содержат льда. Вероятно,

частицы колец Юпитера не задерживаются там надолго (из-за атмосферы и магнитного поля). Зонд «Галилео» обнаружил четкое свидетельство того, что кольца непрерывно подпитываются пылью, образованной при ударах микрометеоритов о внутреннюю часть колец; эти удары очень сильны из-за гравитационного поля Юпитера.

## Сатурн

Сатурн, шестая по удаленности от Солнца планета в Солнечной системе, является гигантской газовой планетой, второй по массе и объему после Юпитера (в 3,3 раза меньше Юпитера, но в 5,5 раз больше Нептуна и в 6,5 раз больше Урана). Он в 95 раз массивнее Земли, его диаметр почти в 9 раз больше земного. Сатурн — единственная планета в Солнечной системе, чья средняя массовая плотность меньше, чем у воды:  $0,69 \text{ г/см}^3$ . Это означает, что его атмосфера, состоящая в основном из водорода, менее плотная, чем вода, но ядро намного плотнее. Состоит в основном из водорода.

Эта планета имеет форму сфероида, сплющенного на полюсах и выпуклого на экваторе. Его экваториальный и полярный диаметр различаются примерно на 10% из-за быстрого вращения вокруг своей оси и очень жидкого внутреннего состава.

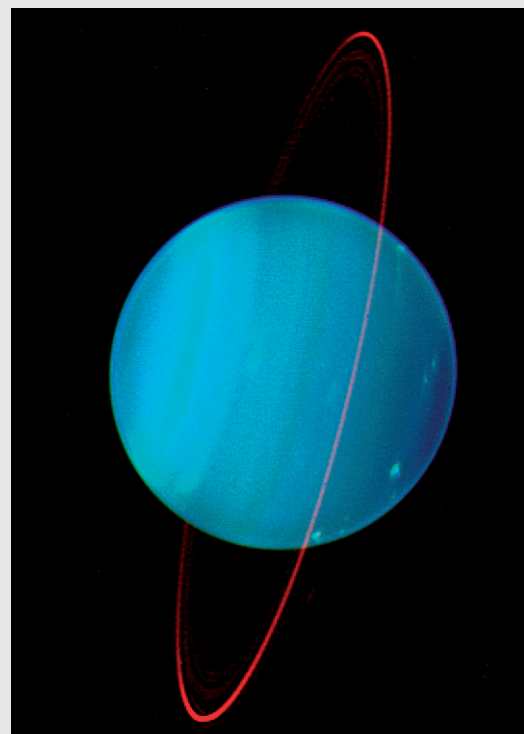


Рис. 15: Уран



Другие газообразные планеты-гиганты Солнечной системы (Юпитер, Уран, Нептун) тоже сплюснуты, но в меньшей степени.

Подобно Юпитеру, атмосфера Сатурна состоит из параллельных полос, хоть они и менее заметны и больше на экваторе. Облачные системы Сатурна (а также длительные штормы) были впервые обнаружены миссиями «Вояджер». Облако, наблюдаемое в 1990 году, является примером большого белого пятна, эфемерного феномена Сатурна, который происходит каждые 30 лет. Если периодичность останется прежней, следующая буря, вероятно, произойдет в 2020 году. В 2006 году НАСА наблюдало шторм размером с ураган на Южном полюсе, у которого был четко очерченный циклон. Это единственный циклон, наблюдаемый на другой планете, кроме Земли.

Кольца Сатурна являются одним из самых красивых достопримечательностей Солнечной системы и являются его главным отличием. В отличие от двух других планет-гигантов, которые сравнительно с их темными кольцами очень яркие (альbedo от 0,2 до 0,6), кольца Сатурна можно увидеть в бинокль. Они постоянно изменяются: происходят столкновения, аккумуляция материи и т. д. У Сатурна большое количество спутников. Сколько их точно, сказать сложно, любой кусок льда из его колец можно считать спутником. В 2009 году было идентифицировано 62 спутника. 53 были подтверждены и им присвоены имена. Большинство из них небольшие: 31 имеют диаметр менее 10 км, 13 - менее 50 км. Только семь достаточно велики, чтобы принимать сферическую форму под действием собственной силы тяжести. Титан — самый большой из них, больше Меркурия и Плутона, и единственный спутник в Солнечной системе с плотной атмосферой, на поверхность которого миссия Кассини поместила зонд Гюйгенс в 2004 году. Миссия изучила этот мир: на нём происходит круговорот, похожий на круговорот воды на Земле, но из метана, элемента, находящегося в трех состояниях на поверхности спутника.



Рис. 16: и особенности его орбитальное и осевое вращение

## Уран

Уран также является газообразной планетой-гигантом и имеет кольца: как минимум 13 главных. Занимает седьмое место в Солнечной системе по удалению от Солнца, третье по размерам и четвертое по массе. Это первая планета, обнаруженная только в телескопическую эпоху. Хотя ее можно увидеть невооруженным глазом, как и другие 5 классических планет, из-за ее слабой светимости ее было нелегко идентифицировать как планету. Уильям Гершель объявил о своем открытии 13 марта 1781 года, тем самым впервые

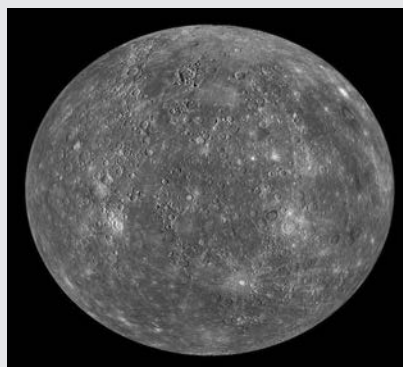


Рис. 17: Нептун

наше время расширив границы Солнечной системы. Уран — первая планета, обнаруженная в телескоп.

Уран и Нептун имеют внутренний и атмосферный состав, отличный от состава двух других газовых гигантов, Юпитера и Сатурна. Вот почему астрономы иногда относят их к другой категории — замороженным гигантам или субгигантам.

Атмосфера Урана, хотя и состоит в основном из водорода и гелия, также содержит большое количество водяного льда, аммиака и метана, а также следы углеводородов. Уран имеет самую холодную атмосферу в Солнечной системе, которая достигает минимальной температуры  $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Он имеет сложную структуру облаков, нижние слои предположительно образованы из воды, а верхние — из метана. Как и другие газовые планеты-гиганты, Уран имеет кольцевую систему, магнитосферу и многочисленные естественные спутники. Система Урана уникальна в Солнечной системе, потому что его ось вращения практически лежит в плоскости его орбиты. Его северный и южный полюса находятся там, где у других планет находится экватор. В 1986 году «Вояджер-2» получил изображения Урана, показавшие планету без особых характеристик в видимом свете, без облачных слоев или облачных систем, как на других газообразных планетах. Однако недавние наблюдения показали признаки смены времен года и увеличения метеорологической активности, когда Уран приближался к точке равноденствия в декабре 2007 года. Ветер на его поверхности может достигать скорости 250 м/с.

У Урана очень крутая ось вращения, почти параллельная его орбитальной плоскости. Можно сказать, что он вращается по своей орбите и последовательно выставляет на Солнце свой северный и южный полюса. Одним из следствий такой ориентации является то, что полярные области получают больше энергии от Солнца, чем экваториальные. Однако на экваторе Уран теплее, чем на полюсах, и причина этому еще не найдена. Практически все теории о происхождении такого наклона оси содержат идею катастрофического столкновения с другим телом в прошлом.

Период обращения Урана вокруг Солнца составляет 84 земных года. Его среднее расстояние до Солнца — около 3 миллиардов километров. Поток солнечного излучения на Уране составляет около  $1/400$  от получаемого Землей.

Период вращения внутренних слоев Урана

составляет 17 часов 14 минут. Однако, в верхних слоях атмосферы возникают сильные ветры в направлении вращения, как это бывает со всеми газовыми планетами-гигантами. Следовательно, около  $60$  градусов широты видимые части атмосферы перемещаются быстрее и совершают полный оборот менее чем за 14 часов. Атмосферное давление на Уране меньше 1,3 бар, а её химический состав — 83% водорода, 15% гелия, 2,3% метана, 0,009% дейтерия и следы льда из аммиака, воды, гидросульфида аммония ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ).

Хотя мы очень мало знаем о его внутреннем составе, мы с уверенностью знаем про наличие отличий от Юпитера или Сатурна. Теоретически, Уран должен иметь твердое ядро из силикатов железа диаметром около 7500 км, окруженное слоем, состоящим из смешанного с гелием, метаном и аммиаком водяного льда, толщиной 10000 км, за которым следует поверхностный слой из водорода и жидкого гелия (~7600 км), медленно испаряющегося в атмосфере. В отличие от Юпитера и Сатурна, Уран не настолько массивен, чтобы удерживать водород в металлическом состоянии вокруг своего ядра. Сине-зеленый цвет обусловлен наличием в атмосфере метана, который поглощает красный и инфракрасный солнечный свет.

У Урана как минимум 27 естественных спутников. Первые два были обнаружены Уильямом Гершелем 13 марта 1787 года и были названы Титанией и Обероном.

## Нептун

Нептун-восьмаяисамаяудаленнаяотСолнца планета Солнечной системы. Это также последняя планета-гигант. Он был открыт немецким астрономом Иоганном Готфридом Галле 23 сентября 1847 года по указанию Урбано Леверье, который, как и английский астроном Джон Коуч Адамс, открыл его «на кончике пера», и показал, в какой области неба его можно будет наблюдать.

Нептун не виден невооруженным глазом и в телескоп выглядит как сине-зеленый диск. Его только один раз посетил космический

зонд "Вояджер-2", который прошел рядом с ним 25 августа 1989 года. Крупнейший спутник - Тритон. Внутренний состав похожа Уран. Считается, что он имеет твердое ядро, состоящее из силикатов и железа, почти такого же размера, как масса Земли. Его ядро, как и ядро Урана, предположительно покрыто довольно однородным составом (лёд, 15% водорода и немного гелия), без «слоёв», как у Юпитера и Сатурна.

Его голубоватый цвет обусловлен в основном метаном, который поглощает свет красного диапазона. Его атмосфера состоит из 80% водорода, 19% гелия, 1,5%



метана, ~0,019% дейтерия, ~0,00015% этана и льда, состоящего из аммиака, воды, гидросульфида аммония и метана.

Как и на других газообразных планетах-гигантах, на Нептуне бушует целая система ветров, образованная очень быстрыми движениями вещества в полосах, параллельных экватору, с сильными штормами и вихрями. Самые быстрые ветры в Нептуне дуют со скоростью более 2000 км/ч. Во время визита «Вояджера-2» наиболее интересным наблюдаемым образованием было «Большое темное пятно», которое, предположительно, размером с «Большое красное пятно» Юпитера. Возможно, что это гигантский темный ураган,двигающийся со скоростью около 1000 км/ч. Планетарные кольца Нептуна мало заметны, темны и

их происхождение до сих пор неизвестно. Нептун имеет по крайней мере 14 естественных спутников, среди которых наиболее важным является Тритон, открытый Уильямом Ласселлом всего через 17 дней после открытия Нептуна.

## Карликовые планеты

### Система Плутон-Харон и Эрида

Несмотря на существование дюжины подтвержденных карликовых планет, Плутон (среднее расстояние от Солнца 39 а.е.), его спутник Харон и Эрида (планета ещё большего, чем Плутон, размера, после открытия которой произошла реклассификация планет в Солнечной системе), представляются особенно интересными.

Плутон был открыт в 1930 году Клайвом Томбо, считался планетой и был переклассифицирован в августе 2006 года как карликовая планета. Имеет эксцентрическую орбиту, наклоненную на 17° относительно плоскости эклиптики. Его перигелий простирается до 29,7 а. е., а афелий - до 49,5 а. е. Самый большой спутник Плутона, Харон, достаточно велик для того, чтобы оба тела вращались вокруг общего центра масс вне этих планет, т. е. систему Плутон-Харон можно считать двойной. Четыре других малых спутника, Никс, Гидра, Цербер, Стикс, вращаются вокруг пары Плутон-Харон. Плутон находится в орбитальном резонансе 3:2 с Нептуном (за два оборота Плутона вокруг Солнца Нептун обернется три раза).

Эрида была обнаружена в январе 2005 года группой из Паломарской обсерватории под руководством Майкла Э. Брауна. С размерами немного большими, чем Плутон, она считалась десятой планетой до повторной классификации МАС в 2006 году. У неё есть маленький спутник с именем Дисномия. Как и Плутон, Эрида является частью пояса Койпера или транснептуновых объектов.

## Другие тела Солнечной системы

### Межпланетная среда

Помимо света, Солнце излучает непрерывный поток заряженных частиц (плазмы), называемый солнечным ветром.

Этот поток рассеивается со скоростью 1,5 миллиона километров в час, образуя гелиосферу: тонкую атмосферу, которая охватывает Солнечную систему до примерно 100 а.е. (до области гелиопаузы). Вещество, составляющее гелиосферу, называется межпланетной средой. 11-летний солнечный цикл, а также частые солнечные вспышки и корональные выбросы массы нарушают гелиосферу и создают пространственный климат. Вращение солнечного магнитного поля действует на межпланетную среду, создавая при этом нынешний гелиосферу, являющейся самой большой структурой Солнечной системы.

Магнитное поле Земли защищает атмосферу от солнечного ветра. Взаимодействие между солнечным ветром и магнитным полем Земли вызывает северное сияние. Гелиосфера обеспечивает частичную защиту Солнечной системы от космических лучей; эта защита сильнее у планет с магнитным полем.

Межпланетная среда имеет как минимум две области космической пыли в виде диска. Первое, облако зодиакальной пыли, находится внутри Солнечной системы и излучает зодиакальный свет. Вероятно, он образовался в результате столкновения внутри пояса астероидов, вызванного их взаимодействием с планетами. Второй проходит между 10 и 40 а.е. и, вероятно, образовался во время подобных столкновений в поясе Койпера. Это остатки планетарной аккреции, включающие разнообразные популяции астероидов, комет и транснептуновых объектов.

### **Кометы**

Кометы — это небольшие тела Солнечной системы диаметром порядка километров, обычно состоящие из летучих льдов. У них очень эксцентричные орбиты, иногда с перигелием во внутренней Солнечной системе, а афелием за пределами орбиты Плутона.

Когда комета входит во внутреннюю часть Солнечной системы, ее близость к Солнцу приводит к сублимации и ионизации ее поверхности, создавая хвост: длинную структуру из газа и пыли.

Короткопериодические кометы (например, комета Галлея) завершают свою орбиту менее чем за 200 лет и, по-видимому, происходят из пояса Койпера. Долгопериодические кометы (например, комета Хейла-Боппа) имеют период в несколько тысяч лет и, предположительно, происходят из облака Оорта — гипотетической области внешней Солнечной системы. Наконец, есть кометы, которые имеют гиперболическую траекторию и, кажется, приходят из-за пределов Солнечной системы. Старые кометы, потерявшие большую часть летучих компонентов, теперь считаются астероидами.

Кентавры, расположенные между 9 и 30 а.е., представляют собой ледяные тела, похожие на кометы, которые вращаются между Юпитером и Нептуном. Самый большой известный кентавр, Харикло, имеет диаметр от 200 до 250 км. Первый обнаруженный кентавр, Хирон, изначально считался кометой, поскольку у него наблюдался кометоподобный хвост. Некоторые астрономы относят кентавров к телам пояса Койпера.

### **Источники малых тел в Солнечной системе**

Источники — это относительно стабильные области Солнечной системы, где объекты могут оставаться в течение времени, сравнимого с возрастом системы, до тех пор, пока некая возмущающая сила не изменит их орбиту.

В СС три крупных источника малых тел:

**1. Главный пояс астероидов.** Другие популяции малых тел происходят из этого региона, например, астероиды, приближающиеся к Земле (известные как NEAS по английской аббревиатуре - Near Earth Asteroid System).

Астероиды — это в основном небольшие тела Солнечной системы, образованные горными породами и нелетучими металлическими минералами. Главный пояс занимает орбиту между Марсом и Юпитером, на расстоянии от 2,3 до 3,3 а.е. от Солнца. Предположительно,

астероиды главного пояса являются следами формирования Солнечной системы, которые не смогли образовать более крупное небесное тело из-за гравитационного вмешательства Юпитера.

Размер астероидов варьируется от нескольких сотен километров до микроскопических пылинок. Все, кроме самого большого, Цереры, считаются малыми телами, хотя некоторые из них, такие как Веста и Гигея, могут быть классифицированы как карликовые планеты, если показано, что они достигают гидростатического равновесия. В поясе астероидов находятся тысячи, даже миллионы тел диаметром более километра. Однако общая масса пояса не превышает одной тысячной массы Земли. Церера (2,77 а.е.) - самое большое тело пояса астероидов и его единственная карликовая планета (классифицированная как таковая в 2006 году). Её диаметр составляет почти 1000 км, и этого достаточно, чтобы сила тяжести придавала ей сферическую форму.

## 2. Пояс Койпера (транснептуновый).

Это область, откуда прилетают короткопериодические кометы. Пояс Койпера представляет собой большое кольцо, образованное обломками похожего на пояс астероидов кольца, но в основном состоящего из льда. Первая часть пояса Койпера простирается между 30 и 50 а.е. от Солнца и заканчивается у «обрыва Койпера», и его вторая часть начинается на 100 а.е. Состоит в основном из малых тел, а также из некоторых более крупных, таких как Квавар, Варуна или Оркус, которые можно отнести к карликовым планетам. Пояс Койпера можно разделить в основном на «классические» объекты и объекты, резонирующие с Нептуном. Примером этого эффекта могут быть плутини, находящиеся с Нептуном в таком же резонансе, как Плутон (3:2).

## 3. Облако Оорта.

Гипотетическая область, предположительно, имеет сферическое распределение и образовано замороженными планетезималиями, отброшенными планетами-гигантами во время формирования СС. Благодаря возмущениям от близкого прохождения

звезд, гигантских молекулярных облаков или галактических приливов, орбиты некоторых объектов этой области могут измениться, направившись вовнутрь Солнечной системы и становясь долгопериодическими кометами.

## Экзомиры

В 1995 году швейцарские астрономы Майкл Майор и Дидье Келоз объявили об обнаружении экзопланеты, вращающейся вокруг 51 Пегаса. Эта звезда и ее планета были названы Гельветий и Димидио в 2015 году после публичного голосования, проводимого МАС. 10 мая 2016 года коллаборация ученых, работающих с телескопом «Кеплер», объявила об обнаружении крупнейшей коллекции экзопланет. Из примерно 5000 кандидатов более 3200 были проверены, и 2325 из них были обнаружены «Кеплером», предназначенным для обнаружения экзопланет земного типа. Спутник НАСА "Обзор транзитных экзопланет", выведенный на орбиту в 2018 году, использует тот же метод, что и телескоп Кеплера, для наблюдения за 200 000 близлежащими яркими звездами и поиска планет, в особенности размером с Землю или больше (суперземли). Сколько звезд имеют планетные системы? В скольких из этих экзопланетных систем есть планеты в зоне обитаемости, где вода может быть в жидком состоянии; и в скольких из этих планет в зоне обитаемости существует жизнь? Это вопросы, на которые у современных астрономов пока нет ответа.

## Библиография

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Пасачофф Дж. И Филиппенко А. *Космос: астрономия в новом тысячелетии*, 4-е изд., Cambridge University Press, 2012.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.

# Видимый горизонт и солнечные часы

## Роза М. Рос (Rosa M. Ros)

Международный астрономический союз, Политехнический университет Каталонии (Барселона, Испания)

### Вступление

Изучение горизонта существенно облегчает студентам их первые шаги при обучении в образовательном центре. Простая модель, которую нужно сделать в каждом центре, позволит легко освоить и понять азы астрономии. Модель также сможет представить самые простые экваториальные солнечные часы, и из нее мы можем сделать другие модели часов (горизонтальные и вертикальные)

### Цели

- Понять суточное и годовое движение Солнца.
- Понять движение небесного свода.
- Понять конструкцию элементарных солнечных часов.

### Земля вращается вокруг Солнца и вокруг своей оси

Общеизвестно, что Земля вращается вокруг своей оси, и это приводит к смене дня и ночи. Ось вращения астрономы древности называли осью Земли, т.к. казалось, что

мы можем предположить, что это круговое движение (т.к. эксцентриситет эллипса почти ноль, то орбита получается почти круговая).



Рис. 2а, 2b и 2с. Расположение четырех сфер, представляющих Землю и в центре лампочка, представляющая Солнце. Очень важно установить правильное взаимное положение, чтобы линия от центра Солнца к центру Земли была под углом  $23^\circ$  по отношению к полу, который и представляет плоскость экватора.

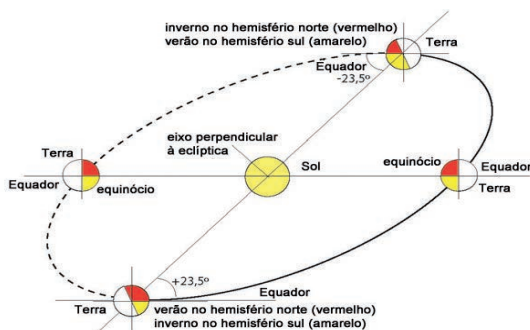


Рис. 1. Схема орбиты Земли. Угол между земным экватором и плоскостью эклиптики  $23.5^\circ$ . Угол между земной осью вращения и перпендикуляром к плоскости эклиптики также  $23.5^\circ$ .

небо движется вокруг этой оси (дневное и ночное небо). Но Земля движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Как первое допущение,

полный оборот вокруг Солнца. И она совершает его в плоскости эклиптики, или другими словами в плоскости своей орбиты, которая не перпендикулярна земной оси вращения, а находится под углом. И этот угол между земной осью вращения и перпендикуляром к плоскости эклиптики равен  $23.5^\circ$ . Точно также, угол между плоскостью земного экватора и плоскостью эклиптики равен  $23.5^\circ$  (рис. 1). Этот угол и является причиной смены времен года. Для наглядного представления этого явления мы

сконструируем небольшую модель (рис. 2). Нам понадобятся четыре сферы, которые будут представлять модель Земли. И светящаяся лампочка, которую нужно поместить в центр, она будет представлять Солнце. На сферах нужно нарисовать земную поверхность, главное обозначив



Рис. 3. Модель движения Земли по орбите, которая объясняет смену времен года. Когда Земля в позиции А, то наступает лето в Северном полушарии и зима в Южном. Когда Земля по позиции С, то наступает зима в Северном полушарии и лето в Южном. А при положении Земли в позиции В и D оба полушария освещаются одинаково и наступает равноденствие, когда день равен ночи.

экватор и полюса. Затем, мы задаем значения расстояний, в зависимости от размера этих сфер. В нашем случае мы используем модели с диаметром 8 см. Возьмем небольшую квадратную скатерть или бумагу с диагональю 25 см. Четыре сферы мы разместим крестообразно (одна напротив другой, как на рис. 2). И поднимем

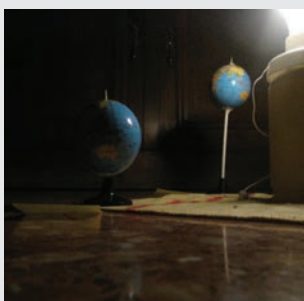


Рис. 4а. В позиции А лето в Северном полушарии, и Солнце на  $23.5^\circ$  выше экватора. А в Южном полушарии зима.



Рис. 4б. В позиции С в Северном полушарии зима, и Солнце на  $23.5^\circ$  ниже экватора. В то же время в Южном полушарии лето.

их с помощью палочек на высоту 3, 15, 25 и 15 см соответственно. Эти цифры мы рассчитали исходя из того, что угол между плоскостью экватора и плоскостью эклиптики должен составлять порядка  $23^\circ$ .

Помещаем эту модель в темную комнату и включаем лампочку (вместо лампочки



Рис. 5. Проектор одинаково освещает две сферы, что образует одинаковые участки тени и света.

напротив другой, как на рис. 2). И поднимем можно использовать и свечу, главное соблюдать правильное соотношение по высоте). Очевидно, что на Северное полушарие сферы в позиции А попадает больше света, чем на Северное полушарие в позиции С (рис.3). В тоже время Южное полушарие лучше освещено у сферы С, чем у сферы А. У сфер В и D оба полушария освещены одинаково, что соответствует весеннему и осеннему равноденствию. Про более освещенный участок Земли мы говорим, что там лето, про менее освещенный, что зима. Из наблюдения можем сделать вывод: когда Земля в позиции А, то наступает лето в Северном полушарии и зима в Южном полушарии. Когда Земля в позиции С, то наступает зима в Северном полушарии и лето в Южном.

Эта модель открывает много возможностей для обучения. Можно представить какого-нибудь человека, который живет в одном из полушарий, и посмотреть, как он видит солнце на разной высоте в зависимости от сезона. Например, представим, что человек живет в Северном полушарии. Когда Земля в позиции А, то человек видит Солнце на  $23.5^\circ$  выше экваториальной плоскости (рис. 4а). Тем не менее, если он в том же Северном полушарии, а Земля в позиции С, то он видит солнце ниже экватора на  $-23.5^\circ$  (рис. 4б). А когда он в позиции В и D,

то видит солнце точно на экваторе, т.е.  $0^\circ$ .

## Параллельная Земля

Позицию, которую мы используем в предыдущей модели, можно назвать «Земля со стороны». Её не легко наблюдать, находясь в своем городе, и даже кажется, что это невозможно. Ведь мы «приклеены» к Земле и не можем оторваться и увидеть её со стороны, как астронавт из иллюминатора космического корабля. Но есть простой способ, который позволит нам посмотреть на нашу Землю со стороны и увидеть освещенные участки день за днем и час за часом. Давайте используем для этого параллельную Землю. Это глобус, который будет освещаться так же, как и Земля, настоящим Солнцем.

Прожектор, освещающий две сферы, дает на них одинаковые участки света и тени (рис.5). Поэтому, если мы сориентируем глобус в точном соответствии с положением нашей планеты, то сможем наблюдать за ней со стороны, как астронавт, находящийся гораздо дальше МКС.

Мы будем использовать обычный глобус, у которого уберем подставку и поставим его на стакан так, чтобы наклон его оси совместить с земной осью (используем компас, чтобы правильно выстроить направление Север-Юг). Так же мы знаем, что наш город должен быть наверху глобуса. Потому что в любой точке мира, где бы мы ни жили, если мы будем двигаться в любом направлении на многие километры, то земля всегда будет под нашими ногами. Так что наше расположение всегда наверху.

С помощью компаса определяем направление Север-Юг, по которому выставляем ось Земли и наш город размещаем на самом верху глобуса (рис. 6а). Чтобы убедиться, что глобус расположен правильно, вы можете поставить карандаш вертикально в точку вашего города. Если карандаш упадет, то нужно еще подкорректировать положение глобуса. Когда ваш город будет точно сверху, то карандаш будет стоять устойчиво. Мы проиллюстрируем это с помощью фигурки, которую поставим на место нашего нахождения (рис. 6б).



Рис. 6а. Глобус со стандартной подставкой, не может служить моделью. Идеальная модель, это глобус, расположенный на улице в стакане, правильно ориентированный, с вашим городом наверху.



Рис. 6б. Можно поставить фигурку, чтобы обозначить наше местонахождение. Кусочками пластилина отметить линию раздела между светлыми и темными участками. С течением времени линия будет сдвигаться. Также можно поставить палочки и изучать их тень.



Рис. 7а. Когда Северный полюс находится в солнечной части, то значит в Северном полушарии лето, и мы наблюдаем феномен полуночного солнца. В Южном полушарии, Южный полюс находится в тени, поэтому там зима.





Рис. 7b. На Северном полюсе ночь, значит в Северном полушарии зима. В Южном полушарии Южный полюс освещен, поэтому там лето.



Рис. 7с. Линия, разделяющая день и ночь, проходит через оба полюса, поэтому это первый день весны или первый день осени.

С помощью кусочков пластилина мы обозначаем границу света-тени и наблюдаем, как час за часом эта линия медленно движется по поверхности глобуса и в какой-то момент наступает ночь. Можно поставить небольшие палочки, как гномон (стрелка солнечных часов) и смотреть, как их тени ведут себя в течении дня. Так мы можем наглядно увидеть, что меняется при вращении Земли (рис. 6b).

Самое интересное - это визуализировать движение и увидеть, как линия света и тени (смены дня и ночи) меняет свое положение в течении года. Так можно убедиться, что летом (рис. 7a), зимой (рис. 7b) и в периоды равноденствия (рис. 7с) положение этой



Рис. 8. Классическая модель небесной сферы

После изучения этих двух моделей, мы считаем, что необходимо познакомиться с «реальной» моделью. Моделью, которая сможет дать представление о движении звезд относительно горизонта, с позиции наблюдателя, который «привязан» к определенному месту на Земле. Мы сделаем модель с видимым для наблюдателя горизонтом, **НАСТОЯЩУЮ МОДЕЛЬ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ.**

## Наблюдение

Преподаватели разных наук (механики, физики, химии, биологии и т.д.) склонны говорить, что невозможно обучать их предмету в учебных заведениях полноценно, если нет лаборатории. В этом смысле, учителям астрономии повезло, т.к. у них всегда есть астрономическая лаборатория. Во всех учреждениях и школах есть место, где учащиеся играют: открытая площадки или двор. И они могут служить не только для игр, но и быть астрономическими лабораториями, где у обучающихся будет возможность проверить и применить знания астрономии на практике.

Проблема, которая может возникнуть у учащегося, который использует школьный двор для практических занятий по астрономии, это отсутствие связи между объяснениями

учителя на модели небесной сферы внутри класса и реальной ситуацией за пределами школьного класса. Когда учитель рассказывает о меридианах и параллелях или координатах места, приводя примеры на доске, в тексте или показывая на модели,

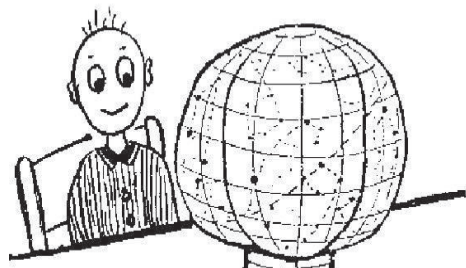


Рис. 9. Небесная сфера со стороны

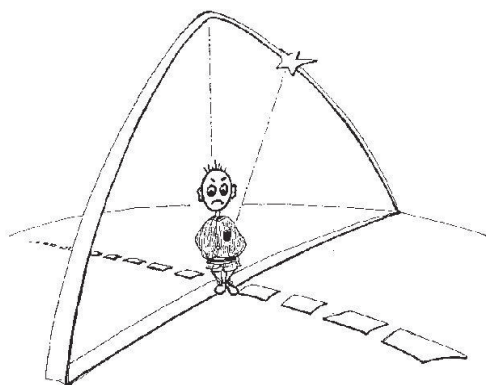


Рис. 10. Небесная сфера глазами внутреннего наблюдателя

как на рис. 8, это кажется не сложным, и ученики обычно понимают это без проблем. Ведь предметы и обозначения, которые у них перед глазами, уже знакомы и аналогичны тем, которые они изучали на географии (рис. 9).

Проблемы начинаются, когда они смотрят на небо и на нем нет линий. Невозможно увидеть ось вращения и действительно нелегко найти хоть что-то знакомое в небе. Принципиальное различие в том, где находится ученик. В классе, когда он получал новую информацию, он наблюдал небесную сферу со стороны. Поэтому сейчас ему сложно перестроиться и применить эти знания, находясь внутри небесной сферы (рис. 10).

Очевидно, что, увидев такие проблемы, мы начали думать, как изменить презентацию информации в классе. Чтобы сделать ее более понятной, нужно изложить ее с позиции наблюдателя сферы изнутри. Но если представить небесную сферу только с позиции внутреннего наблюдателя, то

будет не практично. Ученики ведь должны быть способны читать астрономические книги и понимать соответствующие абстракции небесной сферы с позиции внешнего наблюдателя, как это принято в научных книгах. Приняв это все во внимание, мы задумались о модели, которая совместила бы в себе обе позиции, предоставив лучший охват горизонта и сделав «линии на небе видимыми».

## Модель видимого горизонта

Начинаем мы с того, что делаем фотографию



Рис. 11. Видимый горизонт

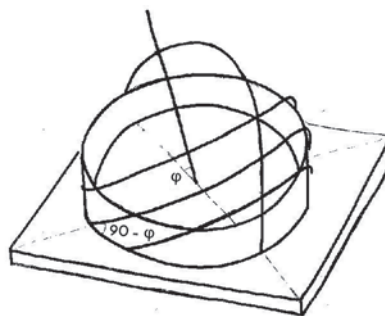


Рис. 12. Модель с горизонтом и полярной осью

видимого горизонта. Не сложно сделать несколько фотографий с помощью фотоаппарата на штативе из любого места школьного двора (если здания не мешают) или с любого балкона, откуда хорошо виден горизонт. (Место, где стоял штатив мы пометим мелом или краской). Очень важно выбрать хорошее место, т.к. идея в том, что в этом месте будет размещаться модель во время каждого наблюдения. Делая каждый снимок, необходимо немного заступать на участок предыдущего снимка, чтобы потом эти общие (повторяющиеся) зоны наложить друг на друга и получить

непрерывную цепь фотографий горизонта.

Когда у нас есть все фотографии, мы их соединяем. Располагая последовательно одну за другой и формируем цилиндр. Закрепляем его на квадратной деревянной основе и ставим на место, с которого мы делали снимки (рис. 11). Очень важно расположить фотографии согласно реальному горизонту.



Рис. 13. Модель круга горизонта с полярной осью



Рис. 14. Модель с меридианом данной

Потом мы вставляем земную ось вращения. Определив широту этого места, мы можем вставить проволоку с соответствующим наклоном (широтой) в модель (рис. 12). Зная широту, можно установить ось вращения модели. Т.к. модель сориентирована в соответствии с видимым горизонтом, то используем удлиненную проволоку, чтобы увидеть настоящую ось, обозначить Южный полюс и также представить, где находится Юг (рис. 13). Конечно, легко обозначаем Север и Северный полюс. Потом мы можем нарисовать линию Север-Юг на модели и на том месте, откуда мы делали фотографии (определяя направление Север-Юг стандартным образом). Это очень важно,

ведь каждый раз, используя модель, нам нужно будет ориентировать ее по сторонам света. И уже обозначенная линия Север-Юг очень упростит работу. (Направление можем определить по компасу).

Следующий шаг, это разместить меридиан для данного места. Его очень легко



Рис. 15. Точка заката весеннего или осеннего равноденствия

определить, но его нелегко понять и представить (может потому, что у каждого он свой). Закрепляем проволоку, чтобы она проходила с Севера на Юг и соприкасалась с осью вращения Земли (рис. 14). Данная проволока - это визуализация меридиана для места положения модели. Также она



Рис. 16. След восхода Солнца

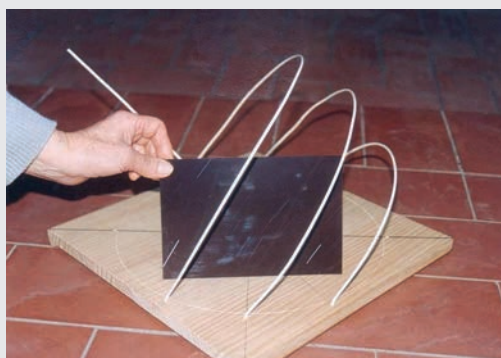


Рис. 17. Следы звезд на востоке

помогает нам легко представить, как идет линия меридиана в небе. Она начинается от определенного места (или здания) реальной местности, которое ученики так же видят на фото своей модели. Проходит над их головами. И идет к месту окончания, которое будет одинаково на местности и на фотографии.13).

Процесс размещения экватора более сложный. Конечно, можно его провести с Запада на Восток. Это будет просто, но с педагогической точки зрения нерационально. В образовательных целях удобнее опять же использовать фотосъемку. Ставим фотоаппарат на штативе на то же самое место, с которого мы делали первые снимки горизонта. (Для этого мы помечали это место краской, чтобы при необходимости опять его использовать). И с помощью закрепленной на штативе камеры мы делаем снимки восхода и заката в первый день весны и осени. Тогда у нас будет две фотографии с точными ориентирами восточного и западного направления у модели и для реального горизонта. Устанавливаем экватор из проволоки перпендикулярно земной оси вращения.

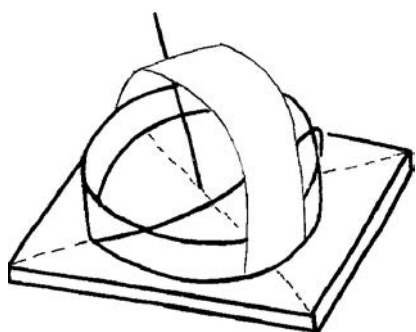


Рис. 18. Фотографии местного меридиана

Прикрепляем его с восточной и западной стороны (на линии в горизонтальной плоскости, которая перпендикулярна линии Север-Юг). Тем не менее не легко расположить эту проволоку по отношению к проволоке, которая изображает ось вращения, потому что она наклонная. Остается вопрос, какой наклон использовать. Мы сделаем четыре или пять фотографий рассветов в первый день весны или осени. Фотографировать солнце опасно, когда оно высоко в небе, но безопасно во время

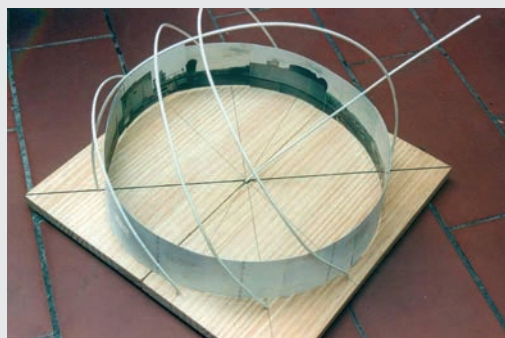


Рис. 19. Траектории Солнца в первый день каждого сезона. Точки рассвета и заката не совпадают, за исключением двух дней: равноденствия.

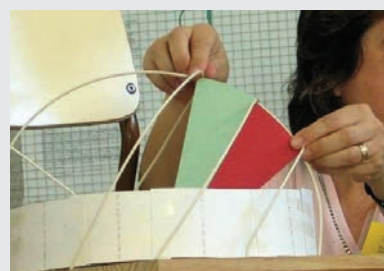


Рис. 20. Угол между двумя траекториями в первый день двух последовательных сезонов  $23.5^{\circ}23.5^{\circ}$

рассветов и закатов, когда атмосфера Земли выступает в качестве фильтра. Мы будем использовать все фотографии и подходящую компьютерную программу, чтобы совместить их (используя исходный горизонт), и мы сможем определить наклон самого Солнца над горизонтом. Фотографии будут использованы, чтобы представить точный наклон проволоки, символизирующей экватор на модели (рис. 15). Используя фотографии восточной и западной точки, можно проследить угол наклона экватора по положению Солнца и поставить проволоку в соответствии с ним. Мы знаем точки крепления и угол наклона, поэтому закрепляем проволоку экватора на подставке и на пересечении с меридианом (рис. 16).

Принимая во внимание, что Солнце - это обычная звезда (Солнце самая важная звезда для нас, т.к. она самая близкая, но его поведение не отличается от других звезд), мы можем узнать наклон движения звезд, когда они появляются и исчезают за горизонтом. Чтобы это сделать, нам нужно только сделать две фотографии этих мгновений около восточной и западной точки (рис. 17).

Эти фотографии, упомянутые в предыдущем абзаце, возможно не получится сделать в городе, где находится школа. Нам нужно будет выехать в сельскую местность или на природу, где не помешает световое загрязнение, и делать фотографии на однообъективный зеркальный фотоаппарат. Поставить его на штатив и использовать спусковой тросик. Около 10 минут выдержки будет достаточно. Очень важно, чтобы фотоаппарат стоял параллельно горизонту (проверьте его положение по уровню).

Используйте эту возможность, чтобы составить небольшое портфолио из фотографий. Например, вы можете сделать снимок участка неба одного из полюсов на выдержке 15 минут, следующий снимок – захватив участок неба выше полюса (вдоль местного меридиана), далее следуя по меридиану сделать третий снимок и последующие, пока не достигнете горизонта с другой стороны. Идея в том, чтобы сфотографировать весь меридиан с Севера на Юг, проходящий над нашими головами. Очевидно, что меридиан места, где мы сейчас делаем фотографии, не такой же, как в школе, но ученики легко поймут эту небольшую разницу.

Когда у нас будут все снимки, мы можем выстроить полосу меридиана из них. Благодаря этой полосе, ученики лучше поймут движение небесной сферы вокруг земной оси вращения. Интересно, что на фотографиях траектории звезд будут отличаться по длине, хотя выдержка одинаковая. Около полюсов траектории будут самыми короткими, а на экваторе самыми длинными. Также будет отличаться форма. На экваторе траектории движения звезд будут образовывать прямые линии. На участках около полюсов траектории будут вогнутыми кривыми над экватором и выпуклыми ниже экватора. Если мы распечатаем фотографии достаточно большого формата, то мы можем сложить их в полосу над головами студентов, что позволит им лучше представить и понять движение сферы.

Используя две фотографии восточного и западного направления, можно узнать угол

наклона звездного следа по отношению к экватору, и это позволит расположить экватор без проблем. Мы знаем точки, где его нужно закрепить и знаем наклон, и проволоку можно прикрепить к деревянной подставке и местному меридиану (рис. 17).

Довольно легко поставить полосу с фотографиями местного меридиана на модели. Достаточно распечатать их и сделать отверстие в точке, обозначающей полюс, чтобы наша проволока оси вращения прошла через него. Обратите внимание, что проволока обозначающая экватор соответствует прямым линиям звездных следов на фотографиях (рис. 18).

С помощью этой модели мы даем ученикам возможность увидеть небесную сферу с двух позиций: изнутри и снаружи.

Если мы сделаем фотографии Солнца на рассвете и закате в первый день зимы и лета, то ученики смогут увидеть, что его положение очень отличается. И разница просто



Рис. 21. Модель больших солнечных часов. Мы рассмотрим три типа.

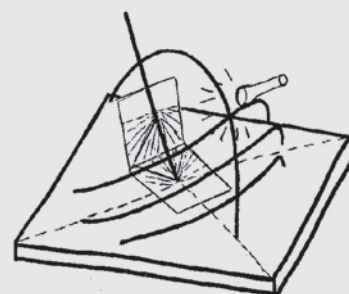


Рис. 22. Часы и сезоны

удивительная. Вы также можете установить параллели: тропик Рака и тропик Козерога с помощью фотографий, которые демонстрируют наклон экватора, ведь наклон у

параллелей такой же. С помощью простого транспортера, можно определить, что внутренний угол между тропиком Рака и экватором около  $23^\circ$ . И такой же угол образуется между экватором и тропиком Козерога (рис. 19 и 20).

Ученикам будет интересно увидеть, что рассветы и закаты не всегда совпадают с Востоком и Западом соответственно. Во многих книгах написано, что Солнце встает на Востоке и садится на Западе. Ученики смогут убедиться, что это правильно только дважды в году и неправильно все оставшиеся дни (рис. 19 и 20).

Таким образом, ученики видят на практике сферу одновременно изнутри (реальную сферу) и снаружи (модель). Благодаря модели, они лучше поймут окружающую их



Рис. 23. Экваториальные часы в Северном полушарии

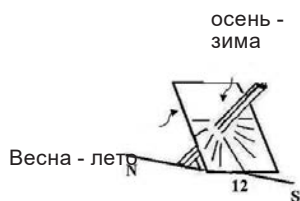


Рис. 24. Экваториальные часы в Южном полушарии

среду и любые вопросы, связанные с ней, будет легче решить. Они также смогут показывать области, который соответствуют движению Солнца (между параллелями на модели) и представлять их в небе и над местным горизонтом своего города. Ориентирование станет их коньком.

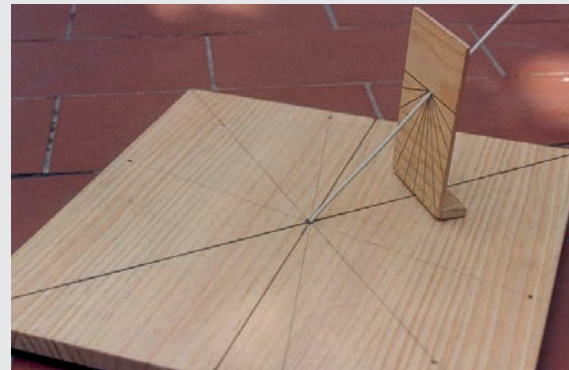
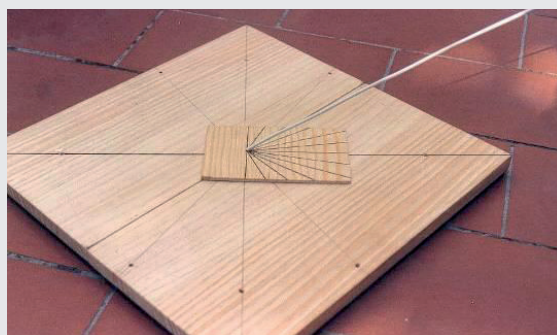
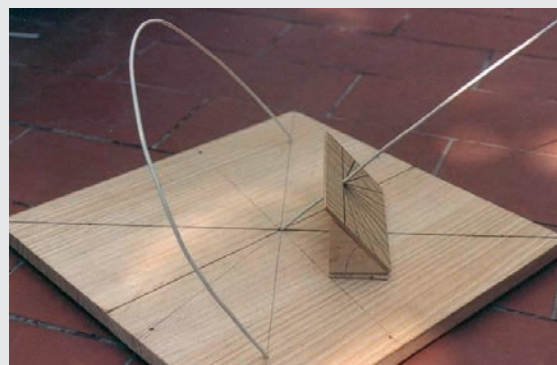


Рис. 26а, 26b, 26с и 26d. Несколько снимков часов

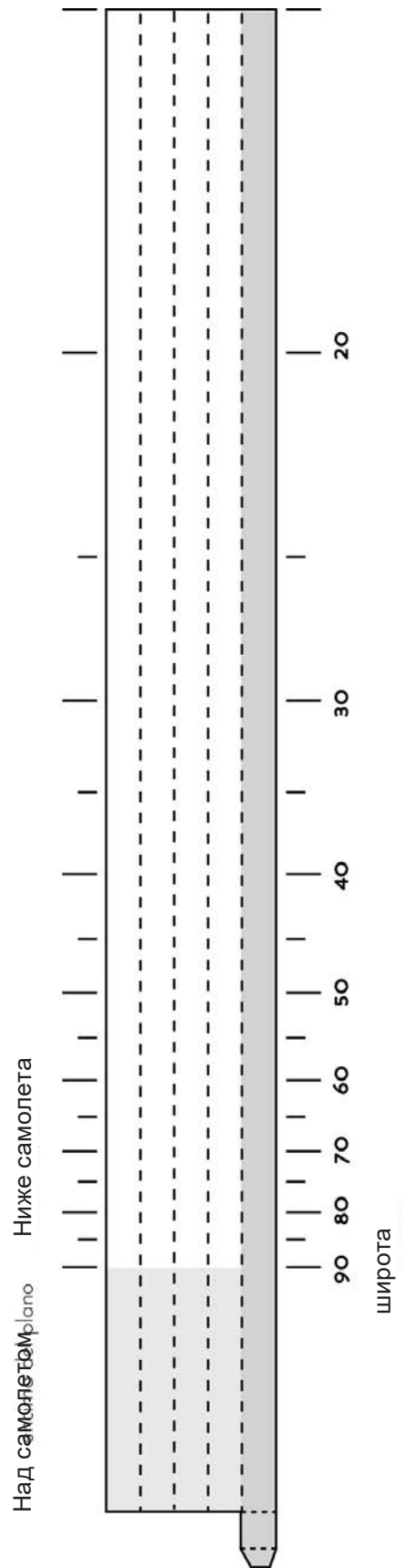
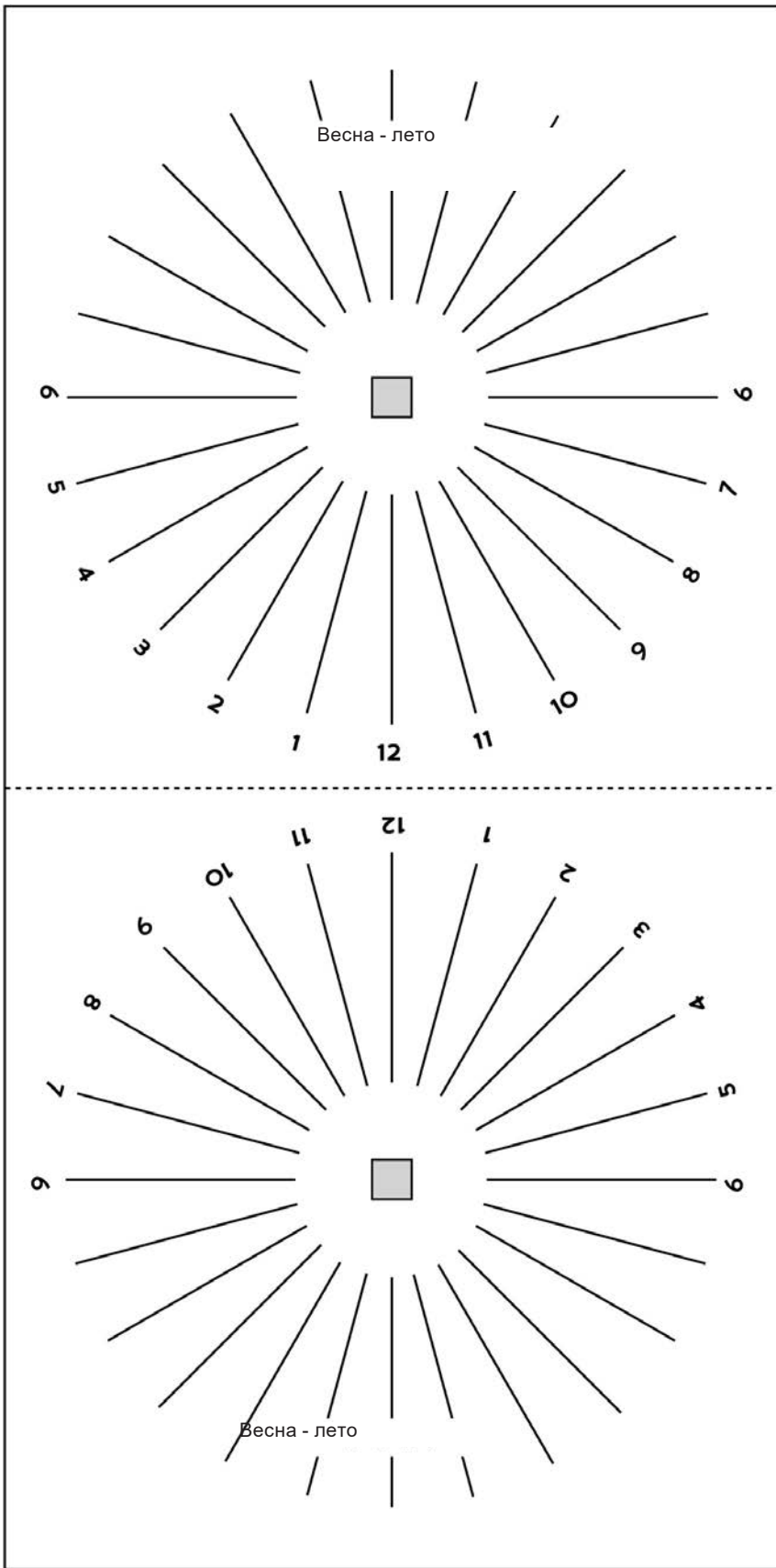


Рис. 25а и 25б. Шаблон экваториальных часов

## Солнечные часы

Есть также другие способы использования данной модели. Она не что иное, как большие солнечные часы. На ней можно просто и понятно объяснить устройство солнечных часов, учитывая только горизонт и движение Солнца. Начнем с того, что ось вращения Земли становится указателем, стрелкой часов.

Если мы установим плоскость в соответствии с плоскостью экватора и разместим фонарик на тропик Рака, то увидим тень от указателя (провода, которая представляет ось вращения Земли) на плоскости экваториального квадранта. А если мы передвинем фонарик на тропик Козерога, то тень упадет на участок ниже плоскости. Понятно, что при размещении фонарика на экваторе, тени не будет. Таким образом легко удостовериться, что летом и весной экваториальные часы показывают время на плоскости часов, зимой и осенью на плоскости под ними и два дня в году (дни равноденствия) они не работают.

Принимая во внимание экваториальную плоскость, вертикальную и горизонтальную (ориентированных с Востока на Запад) мы можем увидеть, что фонарик указывает на одинаковое время в этих трех квадрантах (рис. 21). Также мы можем увидеть утреннее и дневное время с помощью одного и того же указателя (ось вращения Земли). Очевидно, что время одинаково на всех трех часах. И легко определить, в какой части нам нужно прописать утреннее и дневное время для каждого часа. (Все учителя в какой-то момент испытывали трудности с плохо обозначенными часами, но используя эту модель такого больше не повторится).

Передвигая фонарик вдоль тропика Козерога и Рака не сложно увидеть, что поток света от фонаря создает разные конические сечения на плоскости. В первом случае (первый день лета), это почти круг, и закрытая область явно меньше той, что появляется во втором случае. Когда идем по другой параллели (первый день зимы), то сечение овальное, и закрытая область намного больше. Отсюда ученики могут понять, что

радиация сильнее в первом случае, т.к. летом температура поверхности выше, и количество часов солнечного излучения больше. Естественное последствие – это то, что летом теплее, чем зимой (рис. 22).

Мы воспользуемся возможностью упомянуть некоторые моменты, которые нужно знать при конструировании солнечных часов.

Экваториальные часы сделать очень легко. Нужно просто поставить гномон (стрелку часов) в соответствии с земной осью вращения, т.е. выставить направление Север-Юг (компас поможет в этом), и высота над плоскостью горизонта должна быть равна широте вашего места (рис. 23 и 24). Гномон часов любой широты всегда будет размещен в одном направлении.

Линии циферблата экваториальных часов нарисованы под углами 15 градусов (рис. 25a и 25b), потому что Солнце проходит 360 градусов за 24 часа. Если мы разделим 360 на 24, то получим 15

градусов в 1 час. Линии на циферблате горизонтальных или вертикальных часов получаются путем проекции линий экваториальных часов, просто учитывая широту места (рис. 26a, 26b, 26c и 26d).

## Солнечное время и время по наручным часам

Солнечные часы показывают солнечное время, которое не совпадает с временем на ваших часах. Нужно произвести несколько коррекций:

### Коррекция часового пояса (долготы)

Земля разделена на 24 часовых пояса начиная от нулевого меридиана или гринвичского меридиана. Чтобы произвести коррекцию по часовому поясу нужно знать местную долготу и долготу «стандартного» меридиана. Знак «+» у тех, кто восточнее и знак «-», если западнее. Нам нужно посчитать и выразить в часах, минутах и секундах (1 градус = 4 минуты).



день	Янв	Февр	М ар	Апр	М ай	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек
1	+3m 33s	+13m 35s	+12m 22s	+3m 54s	-2m 54s	-2m 12s	+3m 50s	+6m 21s	+0m 2s	-10m 18s	-16m 24s	-11m 1s
6	+5m 50s	+14 m 5s	+11m 17s	+2m 27s	-3m 23s	-1m 22s	+4m 45s	+5m 54s	-1m 23s	-11m 51s	-16m 22s	-9m 1s
11	+7m 55s	+14m 14s	+10m 3s	+1m 4s	-3m 38s	-0m 23s	+5m 29s	+5m 13s	-3m 21s	-13m 14s	-15m 31s	-6m 49s
16	+9m 45s	+14m 4s	+8m 40s	-0m 11s	-3m 40s	+0m 39s	+6m 3s	+4m 17s	-5m 7s	-14m 56s	-15m 15s	-4m 27s
21	+11m 18s	+13m 37s	+7m 12s	-1m 17s	-3m 27s	+1m 44s	+6m 24s	+3m 10s	-6m 54s	-15m 21s	-14m 10s	-1m 58s
26	+12m 32s	+12m 54s	+5m 42s	-2m 12s	-3m	+2m 49s	+6m 32s	+1m 50s	-8m 38s	-16m 1s	-12m 44s	+0m 31s
31	+13m 26s		+4m 12s		-2m 21s		+6m 24s	+0m 21s		-16m 22s		+2m 57s

Таблица 1. Уравнение времени (m – минуты, s - секунды)

## Солнечное время + Все коррекции = Время на наручных

**Пример 1: Барселона (Испания), 24-ое**

**Пример 2: Талса, Оклахома (США), 16-ое**

Коррекция	Комментарий	
1. Длина	Барселона находится в той же «Стандартной» зоне, что и Гринвич.	-8.7 m
2. Летнее время	В мае летнее время + 1 час.	+ 60 m
3. Уравнение времени	Читаем таблицу на 24 мая	-3.6 m

Коррекция	Комментарий	
1. Длина	«Стандартный» меридиан Талсы находится на 90° западной долготы.	+24 m
2. Летнее время	Ноябрь не имеет летнего времени	
3. Уравнение времени	Читаем таблицу на 16 ноября	-15.3 m

Например, в 12 часов по солнечному времени наши «наручные» часы показывают (солнечное время) 12 ч + 47,7 м = 12 ч 47,7 м (время наручных часов).

Например, в 12 часов дня по солнечному времени наши «наручные» часы показывают (солнечное время) 12 ч + 8,7 мин = 12 ч 8,7 мин (время наручных часов).

### Коррекция летнего времени

Почти во всех странах есть летнее и зимнее время (с целью эффективного использования светлого времени суток). Обычно 1 час прибавляется летом. Правительство каждой страны самостоятельно решает необходимость сезонного перевода часов.

### Уравнение временной коррекции

Согласно закону Кеплера, Земля вращается вокруг Солнца по эллипсу. Для механических часов это не создает проблем. Механические часы показывают среднее время в течение всего года. Уравнение времени – это разница между истинным солнечным временем и средним временем. Оно представлено в таблице 1.

### Ориентирование

Другой сложностью для учеников может стать ориентирование. В общем курсе Астрономии мы обязаны выработать у них умение ориентироваться. Возможно наши ученики никогда больше не будут изучать Астрономию. Но есть минимум, которым они должны обладать при окончании курса, это: умение определять, где Север; знать, что траектория Солнца проходит над южной частью горизонта; знать, что планеты движутся через горизонт; и, что самое важное, научиться определять различные географические особенности своего города. Например, над горизонтом Барселоны (рис. 27а и 27б)

ученики рассматривают различные варианты расположения Солнца, Луны и некоторых созвездий на горизонте. Две горы, которые мы видим, находятся в противоположных друг от друга направлениях, но это ничего не значит для учеников, и у них обычно возникают проблемы при определении, какие рисунки реальны, а какие нет. Они знают теорию, но если они не могут представить вероятные варианты, то значит не хватает практики.

Использование модели, сконструированной специально для того, чтобы устранить обозначенные выше недостатки, оказалось даже более эффективно при объяснении многих тем по ориентированию на видимом горизонте, чем изначально ожидалось.

Стоит отметить, что эта модель полезна при объяснении местного положения небесной сферы в течение дня и ночи. Она действительно помогает лучше понять движение Солнца (и других ближайших объектов Солнечной системы).

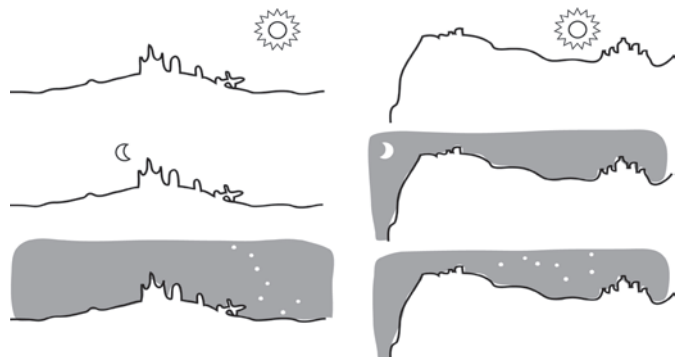


Рис. 27а. Северо-восточный горизонт Барселоны

Рис. 27б. Юго-западный горизонт Барселоны

Хорошей инвестицией в будущее станет крупномасштабная модель. В этом случае, ученики и даже взрослые смогут зайти в нее и проверить положение Солнца по отношению к экватору и параллелям, которые соответствуют первому дню летнего и зимнего солнцестояния (рис 28а). Некоторые научные музеи уже построили себе модель такого типа (рис. 28б).

Поработав с этой моделью, ученики открывают для себя вещи, которые



Рис. 28а. Модель учеников начальной школы



Рис. 28б. Крупномасштабная модель в Научном парке

раньше не могли представить. Например, становится очевидно, что восход и закат Солнца не перпендикулярен горизонту, только если вы не находитесь на экваторе.

## Список литературы

- Alemany, C., Ros, R.M., *Parallel Earth*, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, EU-UNAWA, Barcelona, 2012
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.

- Ros, R.M., *Laboratorio de Astronomía*, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Lanciano, N., *El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica*, 76, p.12-20,1995.

# Звездный, солнечный и лунный демонстратор

Роза М. Рос (Rosa M. Ros), Фрэнсис Бертомью (Francis Berthomieu)

Международный астрономический союз, Политехнический университет Каталонии (Барселона, Испания), CLEA (Ницца, Франция)

## Вступление

В этой работе представлен простой метод, как объяснить наблюдаемые из разных точек Земли движения звезд, Солнца и Луны. В результате мы сконструируем простую модель, которая позволит продемонстрировать наблюдения за их передвижением на различных географических широтах.

## Цели

- Понять видимое движение звезд на разных географических широтах.
- Понять видимое движение Солнца на разных географических широтах.
- Понять движение Луны и смену ее фаз на разных географических широтах.

## Необходимость демонстратора

Не легко объяснить, как происходят видимые движения Солнца, Луны и звезд так, чтобы ученики могли это представить. Они знают, что каждый день Солнце встает и садится, но очень удивляются, когда узнают, что каждый день оно встает и садится в разных точках. Или, что солнечная траектория меняется в зависимости от географической широты места. Демонстратор просто и наглядно объяснит феномен полуденного Солнца и проход Солнцем зенита. И особенно, демонстратор будет полезен при объяснении движения на различных географических широтах.

Легко запомнить, как выглядит каждое созвездие, выучив миф о нем и запомнив геометрические правила по его нахождению на небе. Но это работает только тогда, когда вы находитесь в одном и том же месте на Земле. Из-за движения Небесной сферы, наблюдатель, который живет около Северного полюса, может видеть все звезды

Северного полушария. А тот, кто живет около Южного полюса – все звезды Южного полушария. А что видит наблюдатель, который живет на другой широте?

## Звездный демонстратор: почему есть невосходящие звезды?

Ситуация усложняется, когда наблюдатель живет в зоне, которая не находится на одном из двух полюсов. На деле, это более частая ситуация для большинства наблюдателей. В этом случае, звезды делятся на три категории в зависимости от их видимости (для каждой широты): незаходящие звезды, восходящие и заходящие звезды, невосходящие звезды (рис. 1). Мы все когда-то испытывали удивление, обнаружив, что человек живущий в Северном полушарии, может видеть некоторые звезды Южного полушария. Это похоже на удивление, вызванное феноменом полуденного

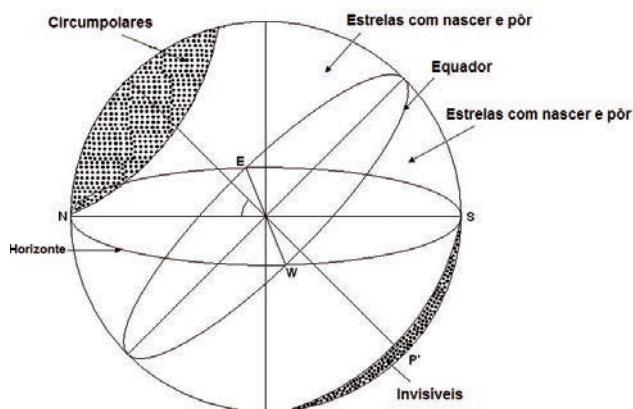


Рис. 1. Три разных типа звезд (видимость с определенной широты): незаходящие (circumpolar), восходящие и заходящие звезды (stars that rise and set) и невосходящие звезды (invisible stars).

Солнца. Зависит от возраста, но все же большинство учеников способны легко понять, какие звезды являются незаходящими для города, в котором они живут. И гораздо сложнее представить, какие звезды будут незаходящими для

других мест на Земле. Если мы попросим их определить, к какому типу звезд относится, например, Сириус, если смотреть на него из Буэнос Айреса, то им сложно будет ответить. Поэтому мы и будем использовать звездный демонстратор, чтобы изучить видимое движение разных звезд в зависимости от широты, на которой находится наблюдатель.

## Главная цель демонстратора

Основная цель - определить, какие созвездия являются незаходящими, какие восходящими и заходящими, а какие.

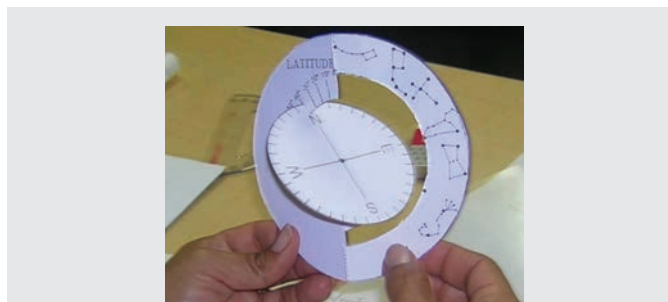


Рис. 2. Использование демонстратора: это пример демонстратора для Северного полушария. Обозначены созвездия из Таблицы 1.

невосходящими для определенных широт.

Если мы наблюдаем за звездами на  $45^\circ$  с. ш., то очевидно, что мы будем видеть много звезд Южного полушария, которые будут восходить и заходить каждую ночь (рис. 1).

В нашем случае демонстратор должен включать созвездия с разными склонениями (прямое восхождение не так важно на данной стадии). Будет очень хорошо, если использовать уже знакомые ученикам созвездия. Пусть у них будет разное прямое восхождение, тогда они будут видимы в течение разных месяцев в году (рис. 2).

Созвездие	Максимальное склонение	Минимальное склонение
Малая Медведица	$+90^\circ$	$+70^\circ$
Большая Медведица	$+60^\circ$	$+50^\circ$
Лебедь	$+50^\circ$	$+30^\circ$
Лев	$+30^\circ$	$+10^\circ$
Орион и Сириус	$+10^\circ$	$-10^\circ$
Скорпион	$-20^\circ$	$-50^\circ$
Южный Крест	$-50^\circ$	$-70^\circ$

Таблица 1. Созвездия, обозначенные на демонстраторе рис. 1.

Когда выбираем созвездие, которое будем рисовать, нужно обозначать только яркие

звезды, чтобы созвездие легко узнавалось и находилось. Не обязательно использовать созвездия, которые находятся на одном меридиане, лучше взять те, которые знакомы ученикам (Таблица 1). Если вам хочется иметь модель для каждого сезона, то вы можете сделать четыре разных демонстратора, по одному на каждый сезон вашего полушария. Вам нужно брать созвездия с разными склонениями, но у которых прямое восхождение между  $21ч.$  и  $3ч.$  для осени (весны), между  $3ч.$  и  $9ч.$  для зимы (лета), между  $9ч.$  и  $14ч.$  для весны (осени), между  $14ч.$  и  $21ч.$  для лета (зимы) в Северном (Южном) полушарии для вечернего неба.

Если мы решаем выбрать созвездия только для одного сезона, то могут возникнуть трудности при выборе созвездий между, например,  $90^\circ$  с.ш. и  $60^\circ$  с.ш., другое между  $60^\circ$  с.ш. и  $40^\circ$  с.ш., еще одно между  $40^\circ$  с.ш. и  $20^\circ$  с.ш., и еще одно между  $20^\circ$  с.ш. и  $20^\circ$  ю.ш., и так далее без повторений достигнуть  $90^\circ$  ю.ш. Если мы также хотим выбрать созвездия, которые хорошо известны ученикам, с небольшим количеством ярких звезд, которые достаточно большие, чтобы покрыть весь меридиан, то нам будет сложно

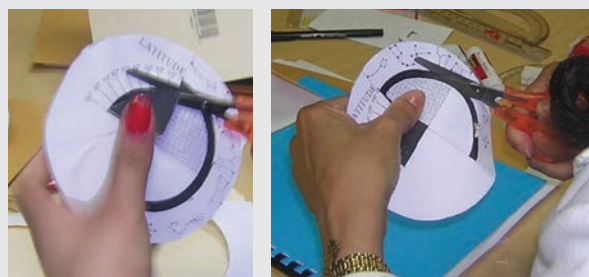


Рис. 3а и 3б. Делаем звездный демонстратор

достигнуть нашей цели. Так как большие, известные и яркие созвездия не покрывают все небо в течение года, то проще будет сделать один демонстратор на весь год.

## Создание демонстратора

Чтобы получить прочный демонстратор (рис. 3а и 3б), нужно склеить две части картона перед вырезанием (рис. 4 и 5). Хорошей идеей будет сделать демонстратор для

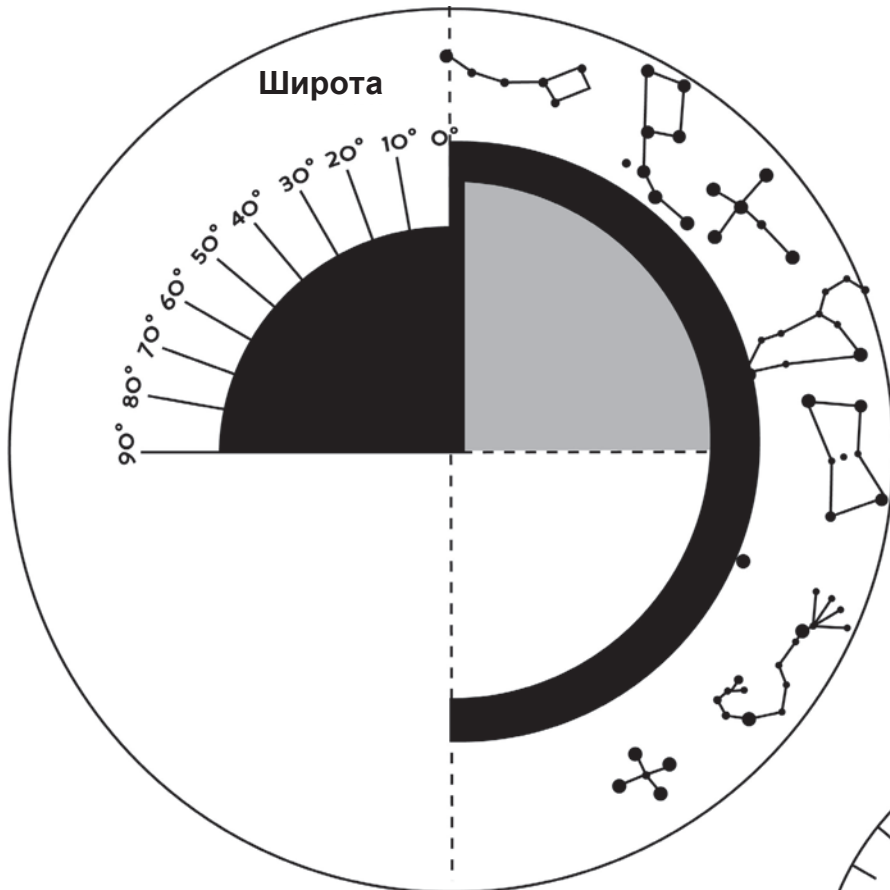


Рис. 4. Основная часть звездного демонстратора для Северного полушария

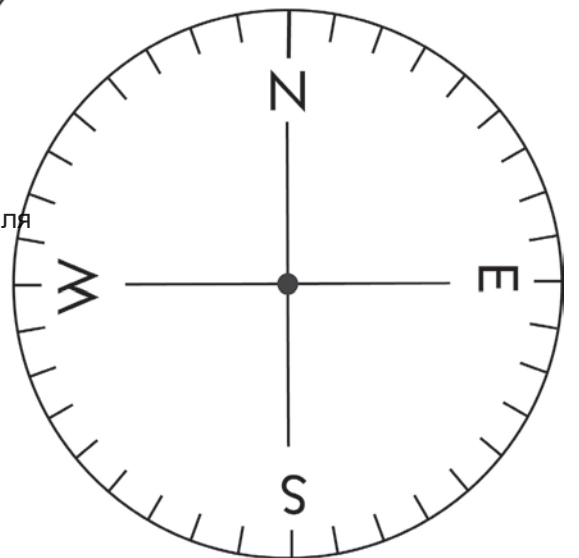


Рис. 5. Диск горизонта

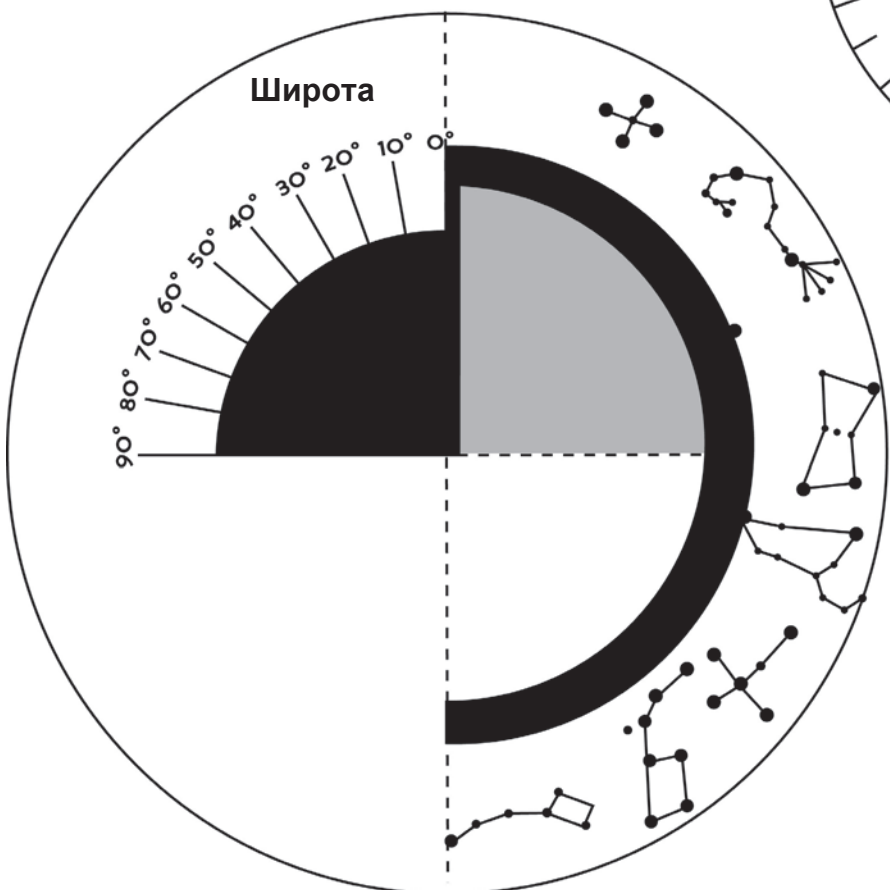


Рис. 6. Основная часть звездного демонстратора для Южного полушария

## Демонстратор для Северного полушария:

- a) Распечатайте рисунки 4 и 5 на картоне.
- b) Вырежьте их по внешним линиям (рис. 4 и 5).
- c) Вырежьте черные области внутри основной части (рис. 4).
- d) Согните основную часть (рис. 4) вдоль пунктирной линии. Посгибайте ее несколько раз, тогда демонстратор будет удобнее в использовании.
- e) Сделайте небольшой надрез на диске горизонта (рис. 5) над "N" (обозначающей Север). Надрез должен быть такой ширины, чтобы вмещал толщину картона.
- f) Приклейте северо-восточный квадрант диска горизонта (рис. 5) на серый квадрант основной части (рис. 4). Очень важно, чтобы прямая линия Север-Юг, продолжала пунктирную линию основной части. Так же, "W" (Запад) на диске горизонта должен совпадать с широтой  $90^\circ$ .
- g) Когда вы прикрепите диск горизонта к основной части, убедитесь, что они встанут перпендикулярно.
- h) Очень важно приклеивать разные части аккуратно, чтобы получить максимальную

точность.

Выберите, какой звездный демонстратор вы хотите сделать, в зависимости от места, где вы живете. Вы также можете сделать демонстратор, выбрав созвездия по вашим критериям.

Например, вы можете включить созвездия, видимые только во время одного сезона, или одного месяца и т.д. Для этого, вам нужно взять только те созвездия, которые имеют прямое восхождение между двумя определенными значениями. Затем нарисовать эти созвездия со значением их склонения на рис. 7. Имейте в виду, что каждый сектор соответствует  $10^\circ$ .

## Применение демонстратора

Чтобы начать использовать демонстратор, вам нужно выставить широту места для вашего обозрения. Мы можем совершать воображаемые путешествия по поверхности Земли используя возможности демонстратора.

Левой рукой держите основную часть

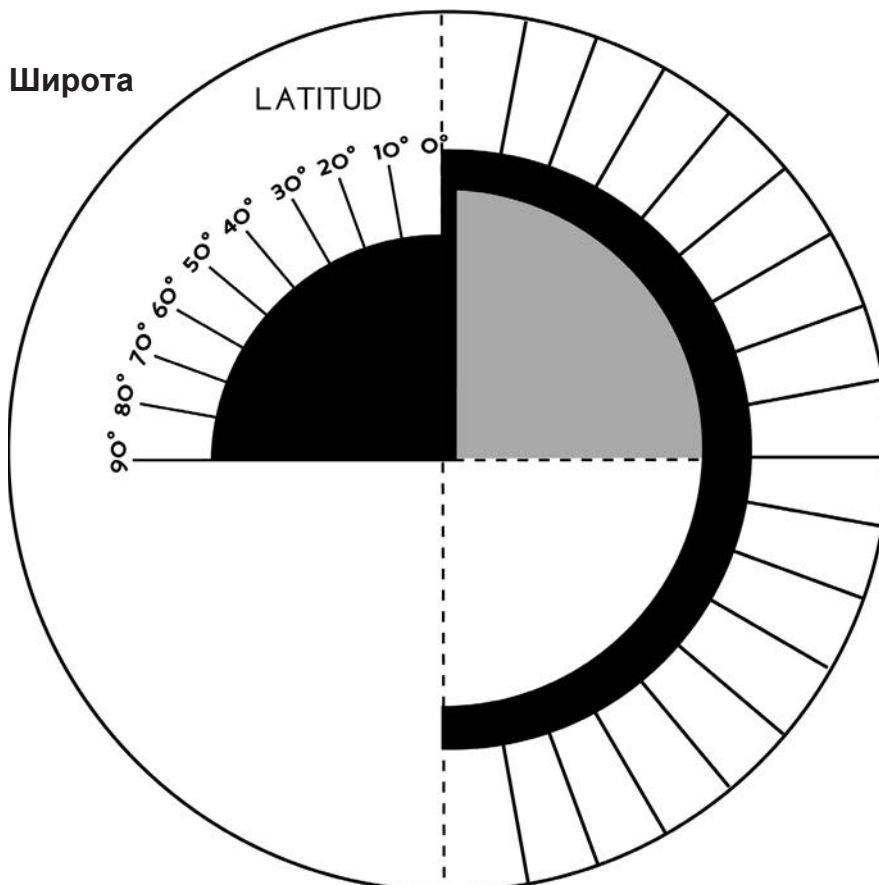


Рис.7: Основная часть звездного демонстратора для Северного или Южного полушария

демонстратора (рис. 4 или 6) за светлую область (ниже квадранта с обозначенными широтами). Выберите широту и передвиньте диск горизонта, чтобы он показывал на нее. Правой рукой двигайте арку с созвездиями слева направо несколько раз.

Вы можете наблюдать, какие созвездия всегда находятся над горизонтом (незаходящие), какие созвездия восходят и заходят, и какие из них всегда ниже горизонта (невосходящие).

### •Склонение звездных троп относительно горизонта

С помощью демонстратора очень легко наблюдать, как в зависимости от широты меняется угол звездных троп относительно горизонта (рис. 8, 9 и 10).

Если наблюдатель живет на экваторе (широта  $0^\circ$ ), этот угол будет  $90^\circ$ . С другой стороны, если наблюдатель живет на Северном или Южном полюсе ( $90^\circ$  с.ш. или  $90^\circ$  ю.ш.) звездная тропы будет параллельна горизонту. В общем, если наблюдатель живет в городе с широтой  $L$ , то склонение звездной тропы относительно горизонта будет  $90^\circ$  минус  $L$  каждый день.

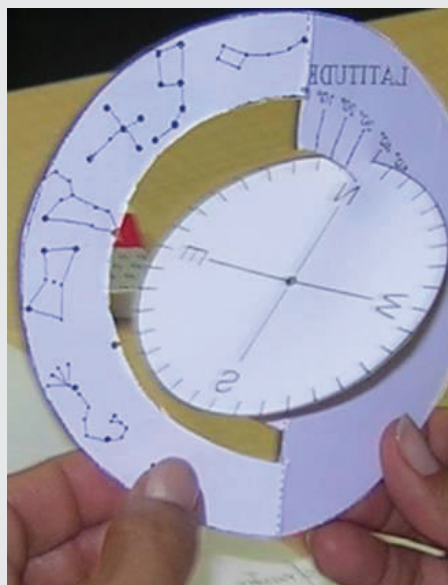


Рис. 9а и 9б. Восход звезд, Монсен,  $41^\circ$  с.ш. (около Барселоны, Испания). Угол звездных троп относительно горизонта составляет  $90^\circ$  минус широта. (Фото: Роза М. Рос, Испания).

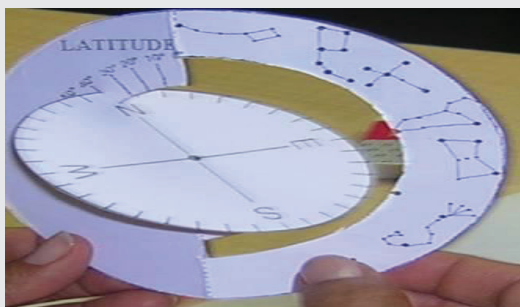


Рис. 8а и 8б. Заход звезд в Энонтекиё в Лапландии  $68^\circ$  с.ш. (Финляндия). Угол троп звезд относительно горизонта равен  $90^\circ$  минус широта. Заметьте, что звездные тропы короче, чем на следующем фото, т.к. из-за северного сияния время выдержки приходится сокращать. (Фото: Ирма Ханнула /Irma Hannula/, Финляндия).

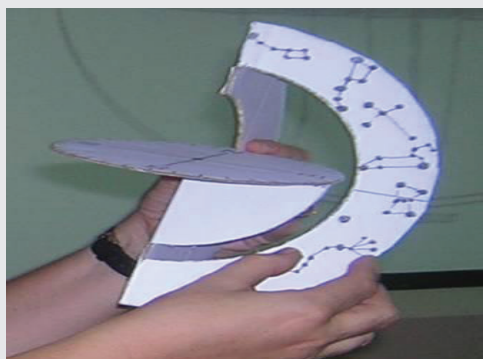


Рис. 10а и 10б. Следы звезд проходят около западной точки в Матеуала (Мексика),  $23^\circ$  с.ш., угол траектории звезд и горизонта составляет  $90^\circ$  минус широта (дополнение географической широты). (Фото: Луиз Джей де ла Круз /Luis J de la Cruz/, Мексика).



Мы можем убедиться в этом, посмотрев на рис. 8, 9 и 10. Фотография (рис. 8а) была сделана в Лапландии (Финляндия). Фотография (рис. 9а) – в Монсени (около Барселоны, Испания), и фотография (рис. 10а) – в Сан-Луис-Потоси (Мексика). Лапландия находится на широте выше, чем Барселона и Сан-Луис-Потоси, поэтому склонение звездных троп меньше.

Используя демонстратор таким способом, ученики могут выполнять разные действия, описанные ниже.

1) Если они выберут  $90^\circ$  с.ш., то наблюдатель будет находиться на Северном полюсе. И мы увидим, что все созвездия Северного полушария незаходящие. Все созвездия Южного полушария невосходящие и нет созвездий, которые были восходящими и заходящими.

2) Если широта  $0^\circ$ , то наблюдатель находится на экваторе, и мы можем увидеть, что все созвездия здесь восходящие и заходящие. Нет ни одного незаходящего или невосходящего.

3) На широте  $20^\circ$  (с.ш. или ю.ш.), меньше незаходящих созвездий, чем на широте  $40^\circ$  (с.ш. или ю.ш. соответственно). Но гораздо больше восходящих и заходящих звезд на широте  $20^\circ$ , чем на широте  $40^\circ$ .

4) На широте  $60^\circ$  (с.ш. или ю.ш.) много незаходящих и невосходящих созвездий.

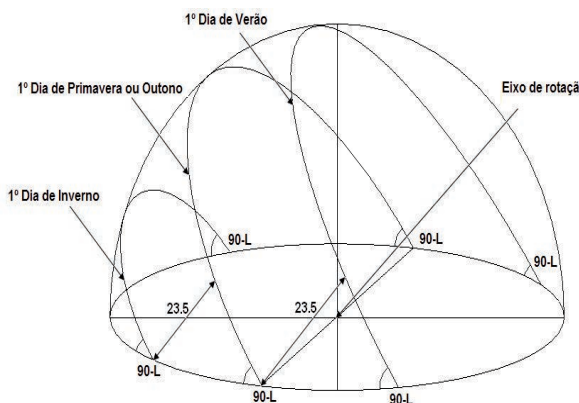


Рис. 11. Три разных траектории Солнца. Первый день весны или осени (1st day of spring or autumn). Первый день лета (1st day of summer). И первый день зимы (1st day of winter).

А количество восходящих и заходящих созвездий меньше, чем на широте  $40^\circ$  (с.ш. или ю.ш. соответственно).

## Создание демонстратора

Очень легко объяснить наблюдаемые с Земли движения Солнца. Ученики знают, что Солнце садится и встает каждый день, но они очень удивляются, когда узнают, что оно день за днем садится и встает из разных точек. Также интересно обратить внимание учеников на различные траектории Солнца в зависимости от широты. Может вызвать сложности объяснение феномена полуночного Солнца или прохода Солнца по зениту. Особенно полезен симулятор может быть для понимания параллактического смещения и при объяснении разности широт.

## Создание демонстратора

Чтобы сделать солнечный демонстратор, нужно учитывать склонение Солнца, которое меняется каждый день. Также, нам нужно включить изменения экваториальных

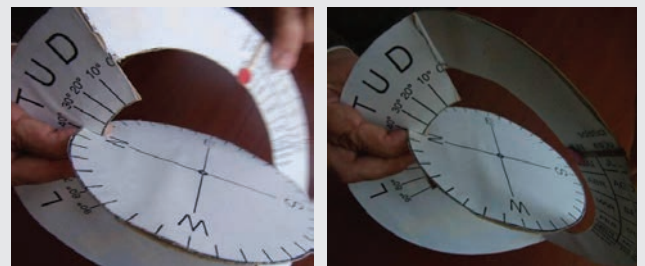


Рис. 12а и 12b. Солнечный демонстратор для Северного полушария на широте  $+40^\circ$ .

координат Солнца в соответствии с сезоном. В первый день весны и осени его склонение  $0^\circ$ , и Солнце движется вдоль экватора. В первый день лета (зимы в Южном полушарии) склонение Солнца  $+23.5^\circ$ , а в первый день зимы (лета в Южном полушарии) склонение  $-23.5^\circ$  (рис. 11). Мы должны быть способны менять эти показатели на модели, если мы хотим изучать траекторию Солнца.

Чтобы получить прочный демонстратор (рис. 12а и 12b), нужно склеить две части картона перед вырезанием. Хорошей идеей будет сделать демонстратор для учителя в два раза большего размера.

**Ниже дана инструкция по изготовлению. Демонстратор для Северного полушария**

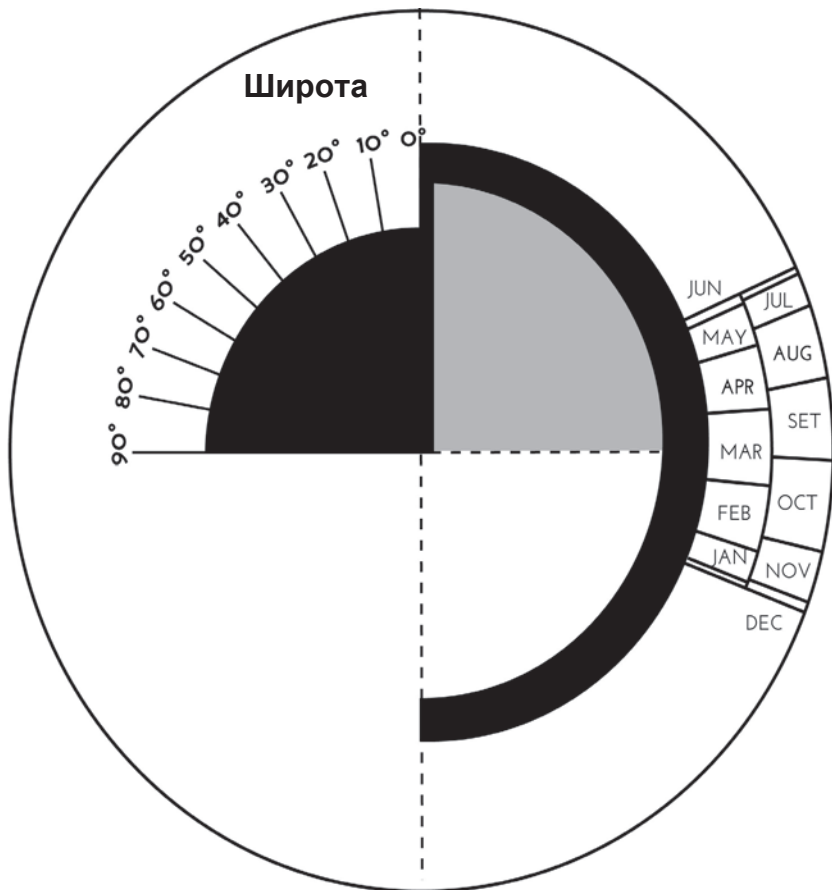


Рис. 13. Основная часть солнечного демонстратора Северного полушария  
 Чтобы сделать солнечный демонстратор Южного полушария нужно следовать этой же инструкции, заменив рис. 13 на рис. 15.

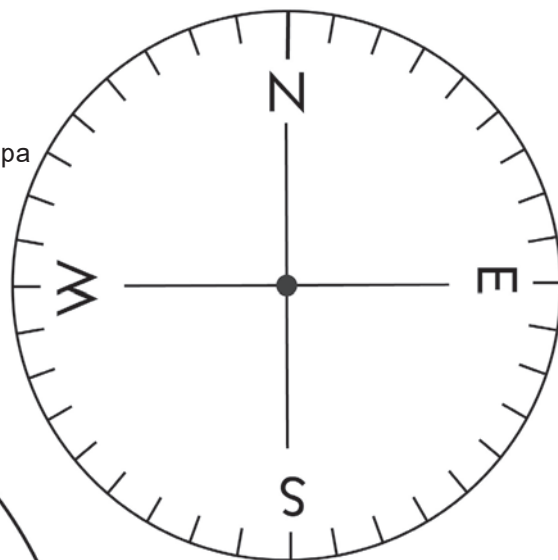


Рис. 15. Основная часть солнечного демонстратора Южного полушария.

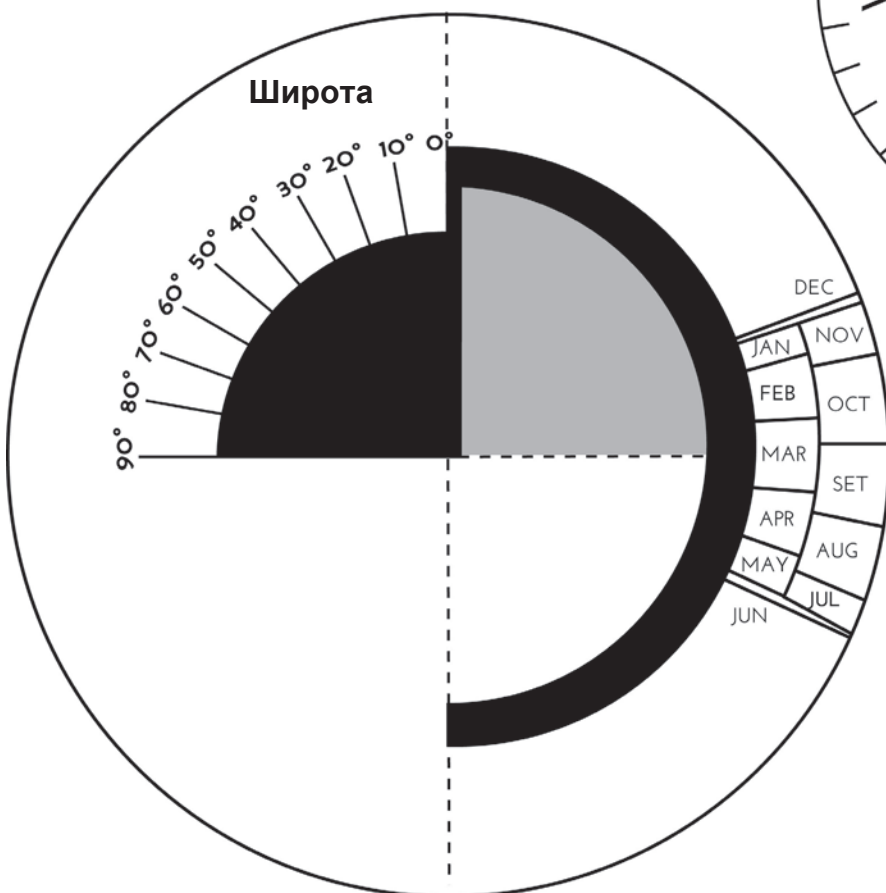


Рис. 14. Диск горизонта

- а) Распечатайте рисунки 13 и 14 на картоне.  
 б) Вырежьте их по внешним линиям (рис. 13 и 14).  
 в) Вырежьте черные области внутри основной части (рис. 13).  
 г) Согните основную часть (рис. 13) вдоль пунктирной линии. Посгибайте ее несколько раз, тогда демонстратор будет удобнее в использовании.  
 д) Сделайте небольшой надрез на диске горизонта (рис. 14) над "N" (обозначающей Север). Надрез должен быть такой толщины, чтобы вмещал толщину картона.  
 е) Приклейте северо-восточный квадрант диска горизонта (рис. 14) на серый квадрант основной части (рис. 13). Очень важно, чтобы прямая линия Север-Юг, продолжала пунктирную линию основной части. Так же, "W" (Запад) на диске горизонта должен совпадать с широтой  $90^\circ$ .  
 ж) Когда вы прикрепите диск горизонта к основной части, убедитесь, что они встают перпендикулярно.  
 з) Очень важно приклеивать разные части аккуратно, чтобы получить максимальную точность.  
 и) Для того, чтобы на демонстраторе появилось Солнце, нарисуйте красный круг на бумаге. Вырежьте его и вложите между двумя полосками узкого прозрачного скотча. Поместите эту прозрачную полоску с красным кругом на подвижную арку основной части. Идея в том, чтобы красный круг, обозначающий Солнце, легко передвигался вверх и вниз вдоль разметок, чтобы размещать Солнце в нужном месяце.

Чтобы сделать солнечный демонстратор Южного полушария нужно следовать этой же инструкции, заменив рис. 13 на рис. 15

#### Демонстратор для Южного полушария:

- а) Распечатайте рисунки 14 и 15 на картоне.  
 б) Вырежьте их по внешним линиям (рис. 14 и 15).  
 в) Вырежьте черные области внутри основной части (рис. 15).  
 г) Согните основную часть (рис. 15) вдоль пунктирной линии. Посгибайте ее несколько раз, тогда демонстратор будет удобнее в использовании.



Рис. 16а и 16б. Восход Солнца в Энонтекиё в Лапландии (Финляндия). Угол тропы Солнца относительно горизонта равен  $90^\circ$  минус значение широты (дополнение широты). (Фото: Сакари Экко /Sakari Ekko/, Финляндия).



Рис. 17а и 17б. Восход Солнца в Гандии (Испания)  $41^\circ$  с.ш. Угол солнечной тропы относительно горизонта равен  $90^\circ$  минус значение широты. (Фото: Роза М. Рос, Испания). M. Ros, Espanya).

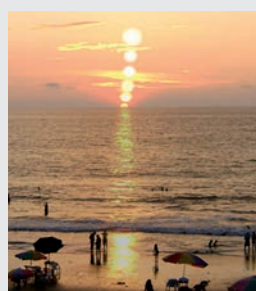


Рис. 18а и 18б. Восход Солнца в Ладрильерос (Колумбия), угол солнечной тропы относительно горизонта  $90^\circ - 4^\circ = 86^\circ$ . (Фото: Марио Соларте /Mario Solarte/, Колумбия).

- е) Сделайте небольшой надрез на диске горизонта (рис. 14) над "S" (обозначающей Юг). Надрез должен быть такой ширины, чтобы вмещал толщину картона.

f) Приклейте юго-западный квадрант диска горизонта (рис. 14) на серый квадрант основной части (рис. 15). Очень важно, чтобы прямая линия Север-Юг, продолжала пунктирную линию основной части. Так же, "Е" (Восток) на диске горизонта должен совпадать с широтой  $90^\circ$ .

g) Когда вы прикрепите диск горизонта (рис. 14) к основной части, убедитесь, что они встают перпендикулярно.

h) Очень важно приклеивать разные части аккуратно, чтобы получить максимальную точность.

i) Для того, чтобы на демонстраторе появилось Солнце, нарисуйте красный круг на бумаге. Вырежьте его и вложите между двумя полосками узкого прозрачного скотча. Поместите эту прозрачную полоску с красным кругом на подвижную арку основной части. Идея в том, чтобы красный круг, обозначающий Солнце, легко передвигался вверх и вниз вдоль разметок, чтобы размещать Солнце в нужном месяце.

### Использование солнечного демонстратора

Сначала нужно выбрать широту. С помощью демонстратора мы также можем совершать воображаемые путешествия по земной поверхности.

Мы будем рассматривать три области:  
1. Средние широты в Северном или Южном полушарии  
2. Полярные области (высокие широты)  
3. Экваториальная область (низкие широты)

*1.–Нахождение в средних широтах в Северном или Южном полушарии: СЕЗОНЫ*

#### •Угол тропы Солнца относительно горизонта

Используя демонстратор, легко убедиться, что угол тропы Солнца относительно горизонта зависит от широты. Если наблюдатель живет на экваторе (широта  $0^\circ$ ), то угол составляет  $90^\circ$ . Если наблюдатель живет на Северном или Южном полюсе (широта  $90^\circ$  с.ш. или  $90^\circ$  ю.ш.), то тропы Солнца параллельна горизонту. В целом,

если наблюдатель живет в городе с широтой  $L$ , то наклон тропы Солнца относительно горизонта будет  $90^\circ$  минус  $L$  каждый день. Мы можем убедиться в этом, посмотрев на рис. 16a и 16b. Фотография на рис. 16a была сделана в Лапландии (Финляндия), а на рис. 17a – в Гандии (Испания). Лапландия находится на более высокой широте, чем Гандия, поэтому наклон тропы Солнца меньше. Фотография на рис. 18a была сделана в Ладрильерос (Колумбия) на широте  $4^\circ$  и соответственно наклон тропы Солнца почти перпендикулярен горизонту,  $86^\circ$ .

#### •Высота солнечной тропы в зависимости от сезона

##### *1.a) Северное полушарие*

Используя демонстратор для своего города (выбрав широту вашего города), очень легко убедиться, что высота Солнца над горизонтом меняется в зависимости от сезона. Например, в первый день весны склонение Солнца  $0^\circ$ . Мы можем поставить Солнце на 21 марта. Затем мы передвигаем Солнце прямо вдоль экватора с Востока на Запад. И видим, что тропы Солнца проходит на определенной высоте над горизонтом.

На одной и той же широте мы повторяем эксперимент меняя дни. Когда мы передвигаем Солнце вдоль экватора в первый день лета, 21 июня (склонение Солнца  $+23^\circ,5$ ), мы видим, что тропы Солнца выше, чем в первый день весны. И наконец, мы повторяем эти действия для первого дня зимы, 21 декабря (склонение Солнца  $-23^\circ,5$ ). И видим, что в этом случае, тропы Солнца проходит ниже. В первый день осени склонение  $0^\circ$ , и солнечная тропы следует по экватору, как в первый день весны.

Конечно, если мы поменяем широту, то высота тропы Солнца изменится, но значение всегда максимальным будет в первый день лета и минимальным – в первый день зимы (рис. 19a и 19b).

##### *1b) Южное полушарие*

Используя демонстратор для своего города (выбрав широту вашего города), очень легко убедиться,

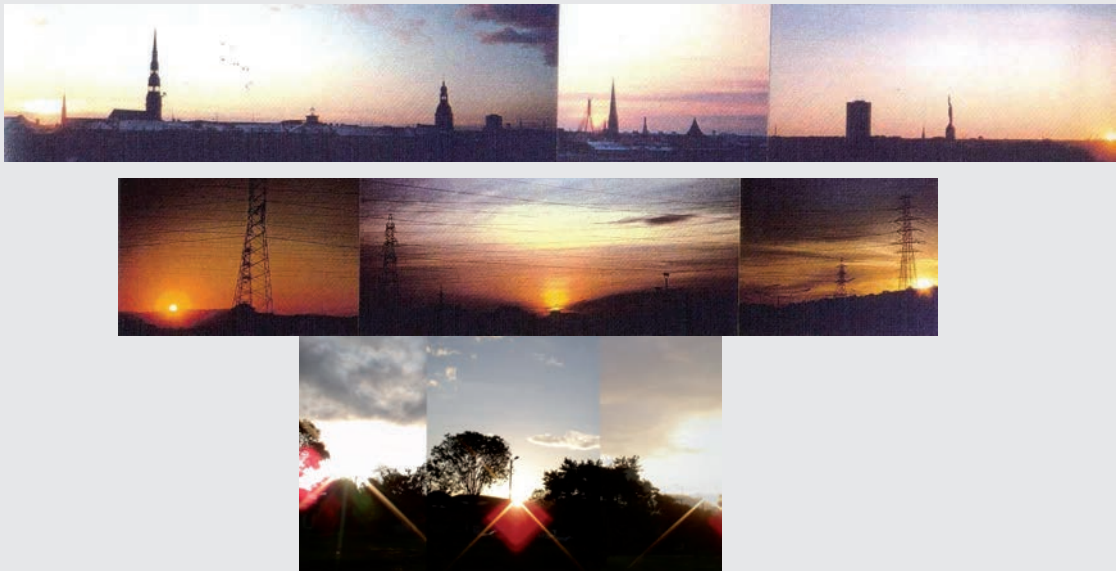


Рис. 20а, 20b и 20с. Закаты в Риге 57° (Латвия), Барселоне 41° (Испания) и Попаяне 2° (Колумбия) первый день каждого сезона (слева/зима, по центру/весна или осень, справа/лето). Закаты на центральных фотографиях находятся на одной линии. И таким образом легко увидеть, что летний и зимний закаты в Риге (самая высокая широта из представленных) находятся на большем расстоянии друг от друга, чем в Барселоне и, тем более, Попаяне. (Фотографии: Илгонис Вилкс /Ilgonis Vilks/, Латвия; Роза М. Рос /Rosa M. Ros/, Испания; и Хуан Карлос Мартинес /Juan Carlos



Рис. 21а. Рассветы в первый день весны или осени

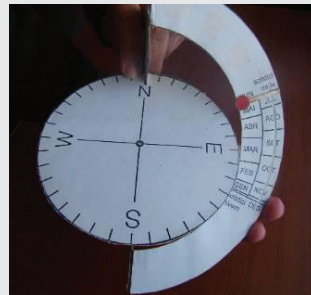


Рис. 21b. Рассветы в первый день лета.



Рис. 21с. Рассветы в первый день зимы

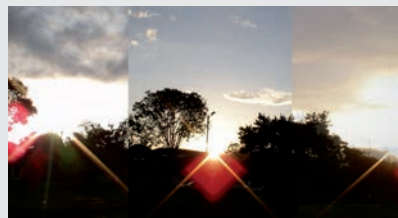


Рис. 22а, 22b и 22с. Закаты в Попаяне 2° (Колумбия), Ла-Пас -19° (Боливия) и Эскель -43° (Аргентина) первый день каждого сезона (слева/лето, по центру/весна или осень, справа/зима). Закаты на центральных фотографиях находятся на одной линии. И таким образом легко увидеть, что летний и зимний закаты в Эскеле (самая высокая широта из представленных) находятся на большем расстоянии друг от друга, чем в Ла-Пасе. (Фотографии: Хуан Карлос Мартинес /Juan Carlos Martínez/, Колумбия; Гонсало Перейра /Gonzalo Pereira/, Боливия; и Нестор Камино /Nestor



Рис. 19а и 19b. Тропа Солнца летом и зимой в Норвегии. Очевидно, что летом Солнце выше, чем зимой. Вот почему летом больше солнечного света и дни длиннее.

меняется в зависимости от сезона. Например, в первый день весны склонение Солнца  $0^\circ$ . Мы можем поставить Солнце на 23 сентября. Затем мы передвигаем Солнце прямо вдоль экватора с Востока на Запад. И видим, что тропа Солнца проходит на определенной высоте над горизонтом.

На одной и той же широте мы повторяем эксперимент меняя дни. Когда мы передвигаем Солнце вдоль экватора в первый день лета, 21 декабря (склонение Солнца  $-23^\circ,5$ ), мы видим, что тропа Солнца выше, чем в первый день весны. И наконец, мы повторяем эти действия, не меняя широты, для первого дня зимы, 21 июня (склонение Солнца  $+23^\circ,5$ ). И видим, что в этом случае, тропа Солнца проходит ниже. В первый день осени склонение  $0^\circ$ , и солнечная тропа следует по экватору, как в первый день весны.

Конечно, если мы поменяем широту, то высота тропы Солнца изменится, но даже тогда максимальное значение всегда будет в первый день лета и минимальное – в первый день зимы.

Примечание:

Летом, когда Солнце находится выше, то его лучи падают на Землю под более прямым углом. Из-за этого излучение концентрируется на небольшой территории, и погода теплее. В летнее время температура выше также из-за того, что Солнце светит дольше, чем зимой.

## • Солнце восходит и заходит в разных местах каждый день

В предыдущих экспериментах, если мы обратим внимание на место, откуда Солнце восходит и куда заходит, то мы заметим, что каждый день это не одно и то же место. В частности, если сравнивать положение Солнца в первый день одного сезона и в первый день последующего сезона, то расстояние между точками восхода (или заката) будет тем больше, чем выше широта (рис. 20а, 20b и 20с).

Это очень просто смоделировать, используя демонстратор. Просто отметьте позицию Солнца в каждый сезон для разных широт, например,  $60^\circ$ ,  $40^\circ$  и  $0^\circ$  (рис. 21а, 21b и 21с).

Фотографии на рис. 20а, 20b и 20с относятся к Северному полушарию. Но точно также происходит и в Южном полушарии (рис. 22а, 22b и 22с). Единственная разница, в порядке сезонов.

Примечание:

Солнце не восходит точно на Востоке и не заходит ровно на Западе. Хотя это и распространенный стереотип, но он неверный. Это случается только два раза в год: в первый день весны и в первый день осени на всех широтах.

Другой интересный факт, заключается в том, что Солнце пересекает меридиан (воображаемую линию, идущую с Северного полюса к зениту и Южному полюсу) в полдень на всех широтах (по солнечному времени). Это может помочь при ориентировании.

## 2.-Полярные области: ПОЛУНОЧНОЕ СОЛНЦЕ

### • Полярное лето и полярная зима

Если мы выставляем полярные широты на демонстраторе ( $90^\circ$  с.ш. или  $90^\circ$  ю.ш. в зависимости от выбранного полюса), то есть три варианта. Когда склонение Солнца равно  $0^\circ$ , то оно движется вдоль горизонта, который также совпадает с экватором.

Если склонение совпадает с первым днем лета, Солнце движется параллельно горизонту. Фактически Солнце всегда

движется параллельно горизонту начиная со второго дня весны и до последнего дня лета. Это означает, что полгода длится день. В первый день осени Солнце опять пересекает горизонт и движется вдоль него. Начиная со второго дня осени и до последнего дня зимы, Солнце движется вдоль горизонта, но ниже него.

Вот и получается полгода ночь. Конечно, выше приведенные примеры, это крайности. Есть северные широты, на которых солнечная тропа не параллельна горизонту. На этих широтах также нет закатов и рассветов, т.к. местная широта слишком высокая. В этих случаях мы наблюдаем то, что называется «полуночным Солнцем».

#### • Полуночное Солнце

Если на демонстраторе мы выберем широту  $70^\circ$  с.ш. (или  $70^\circ$  ю.ш. в зависимости от того, какое полушарие рассматриваем), мы можем смоделировать феномен полуночного Солнца. Если мы поставим Солнце на первый день лета, 21 июня, в Северном полушарии (или 21 декабря в Южном полушарии), то мы увидим, что Солнце не встает и не садится в этот день. Тропа Солнца направлена по касательной к горизонту, но никогда не пересекает его. Этот феномен называют полуночным Солнцем, потому что Солнце видно и в полночь (рис. 23а и 23б).

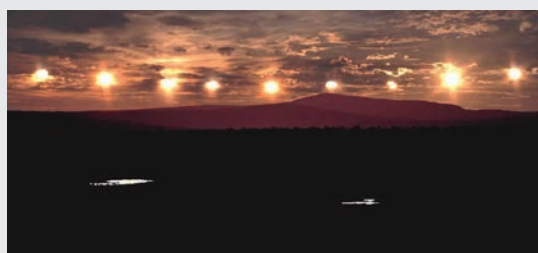


Рис. 23а и 23б. Тропа полуночного Солнца в Лапландии (Финляндия). Солнце достигает горизонта, но не садится, а начинает опять подниматься (Фотографии: Сакари Экко / Sakari Ekko/).

На полюсах ( $90^\circ$  с.ш. или  $90^\circ$  ю.ш.) Солнце полгода находится над горизонтом и другую половину года находится ниже горизонта. Очень легко показать это на нашем

демонстраторе (рис. 24а и 24б).

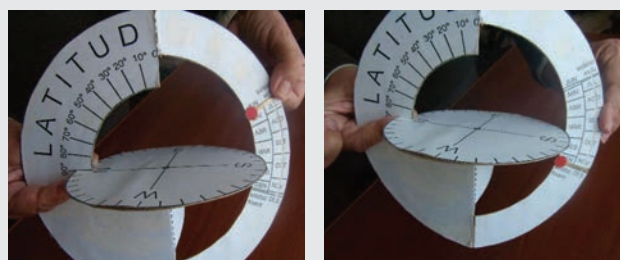


Рис. 24а и 24б. Демонстратор показывает Солнце полгода выше горизонта и полгода ниже.

### 3. – Экваториальная область: СОЛНЦЕ В ЗЕНИТЕ

#### • Солнце в зените

В экваториальных областях четыре сезона не такие явные. Солнечная тропа практически перпендикулярна горизонту и высота Солнце в течение всего года почти не меняется. Продолжительность дней тоже почти одинаковая (рис. 25а, 25б и 25с).

Более того в тропических странах есть несколько особенных дней: дни, когда Солнце проходит зенит. В эти дни солнечные лучи падают перпендикулярно к поверхности земли на экваторе. Из-за этого температура воздуха выше, и тени исчезают под ногами людей (рис. 26а). Т.к. этот феномен легко заметить, то в нескольких древних культурах эти дни считались особенными. Что сохраняется и по сей день. Фактически, для тех, кто живет на территории между тропиками Рака и Козерога, существует два дня в году, когда Солнце находится в зените. Мы можем показать этот феномен на нашем демонстраторе. Также можно посчитать приблизительные даты, которые зависят от широты (рис 26б).

Например, если мы выбираем широту  $15^\circ$  с.ш. (рис 26б), то, используя демонстратор, мы можем примерно рассчитать, в какие дни Солнце здесь будет в зените в полдень. Нужно только поставить палочку перпендикулярно диску горизонта, как на рис. 26б, и мы увидим, что эти дни выпадают на конец апреля и середину августа.

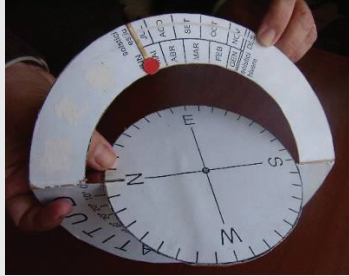
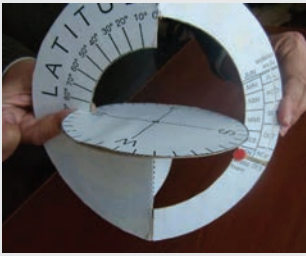


Рис. 25а, 25b и 25с. Восход Солнца в первый день каждого сезона: слева – первый день лета, по центру – первый день весны или осени, и справа – первый день зимы (в Северном полушарии). На экваторе тропы Солнца перпендикулярна горизонту. Солнце восходит примерно в одной и той же точке каждый сезон. Угловое расстояние между рассветами всего  $23.5^\circ$  (наклонение эклиптики). В более высоких широтах тропы Солнце имеет больший наклон и расстояние между тремя точками восхода больше (рис. 20а, 20b, 20с, 22а, 22b и 22с).

## 2.-Полярные области: Демонстраторы большого размера (XXL)

Конечно, демонстратор можно сделать и из другого материала, например, из дерева (рис. 27а). В этом случае, в качестве Солнца можно использовать какую-нибудь лампочку. Тогда с помощью фотоаппарата



Рис. 27а. Большой (XXL) деревянный демонстратор. Рис 27b. Звездный деревянный демонстратор. Рис. 27с. С помощью фотоаппарата, используя длинную выдержку, можно снять солнечную тропу. (Фотографии: Сакари Экко /Sakari Ekko/).



Рис. 26а. Маленькая тень (место около экватора, Солнце почти в зените).

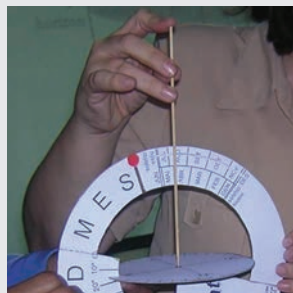


Рис. 26b. Имитация Солнца в зените в Гондурасе ( $15^\circ$  с.ш.).

в режиме длинной выдержки можно визуализировать солнечную тропу (рис. 27с).

## Демонстратор для показа параллельной Земли.

Можно ввести в демонстратор шарик для пинг-понга и таким образом иметь возможность давать простые объяснения годового движения Солнца, как это



делается с параллельной моделью Земли. Для этого вместо круга горизонта мы

будем использовать шарик, похожий на шарик для пинг-понга, и изменим основную деталь, введя две опоры для удержания резинки, которая удерживает в натянутом состоянии центрированный шарик (рис. 28).

Мы просверлим шарик для пинг-понга или аналогичный, диаметрально оси вращения и прикрепим его к основной детали, как показано на рисунке 30.

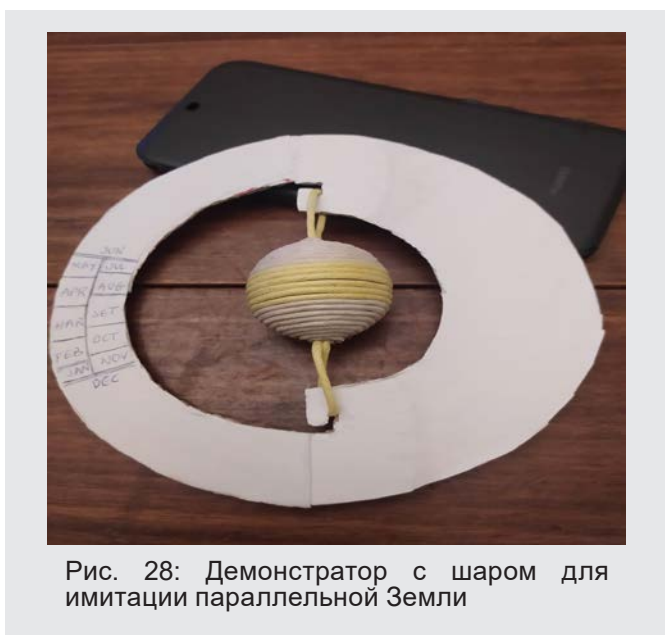


Рис. 28: Демонстратор с шаром для имитации параллельной Земли

В то же время круг широт подавлен, так как в данном случае он не представляет интереса, поскольку вся смоделированная земная сфера используется с помощью шарика для пинг-понга (рис. 29). Затем мы поместим фонарик или фонарик мобильного телефона в месяц, соответствующий положению Солнца (где указано склонение Солнца). Когда мы работаем в Южном полушарии, эта фигура аналогична с месяцами, расположенными в обратном порядке (рис. 30).

Поместив фонарь в положение летнего равноденствия, можно было наблюдать, что область северного полюса освещена, а южного - нет (рис. 31). С фонарем в положении равноденствий линия свет/тьнь проходит точно через северный и южный полюса (рис. 32). Наконец, поместив фонарь в день зимнего солнцестояния, можно наблюдать освещенную зону южного полюса и темную зону северного (рис. 33). На самом деле, этот небольшой

симулятор позволяет рисовать полярные круги Арктики и Антарктики как окружности, образованные краями зон света/тени.

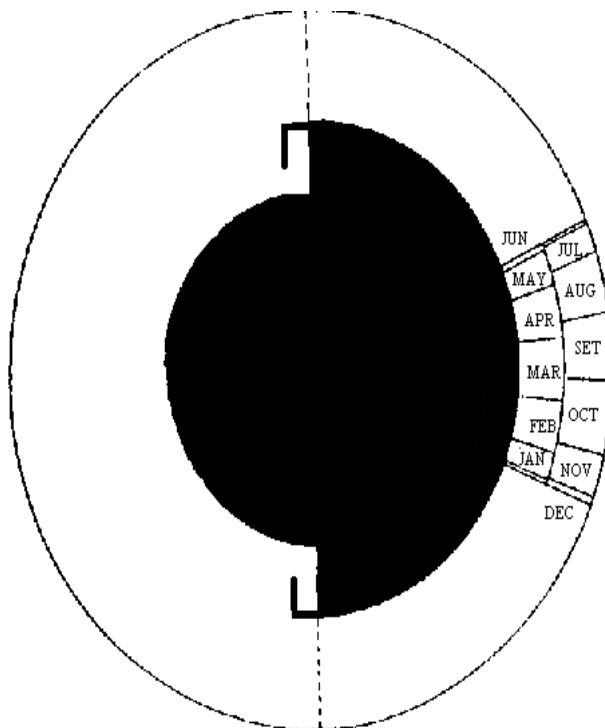


Рис. 29: Уникальная часть демонстратора, на которой закреплен шарик для пинг-понга, для Северного полушария. Необходимо наклеить эту фотокопию на немного толстый картон, чтобы хватило сил удержать шарик.

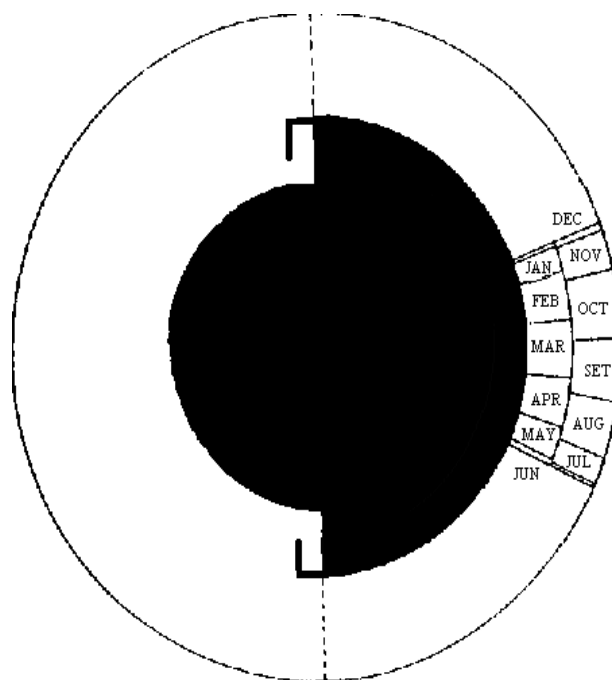


Рис. 30: Уникальная деталь тренажера, на которой закреплен шарик для пинг-понга, для южного полушария. Необходимо наклеить эту фотокопию на немного толстый картон, чтобы хватило сил удержать шарик.

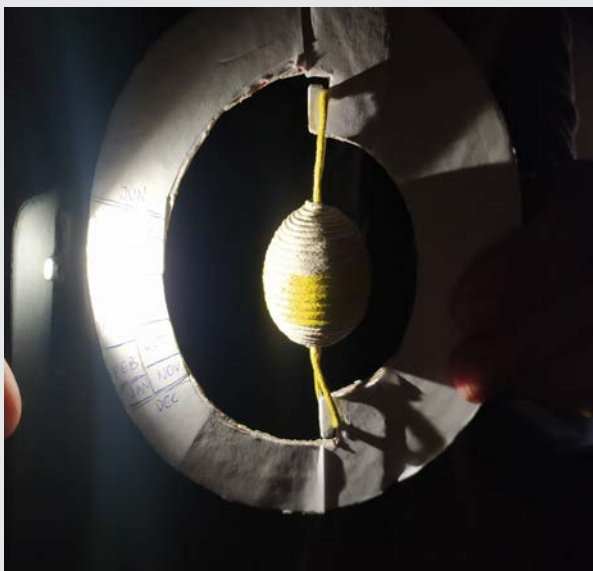


Рис. 31: Лето в Северном полушарии и зима в Южном полушарии.

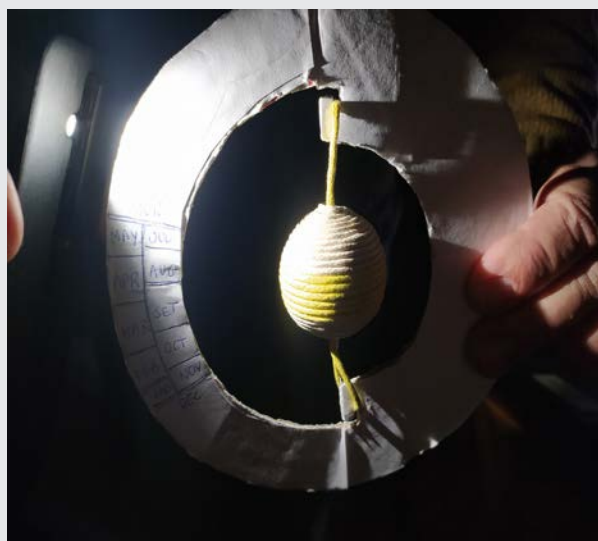


Рис. 32: Равноденствия в двух полушариях



Рис. 33: Зима в Северном полушарии и лето в Южном полушарии.

## Лунный демонстратор: почему в некоторых местах Луна улыбается?

Когда мы рассказываем ученикам про Луну, мы хотим, чтобы они поняли, почему у нее есть разные фазы. Также ученики должны понимать, почему и как происходят лунные затмения. Фазы Луны очень эффектное зрелище и его легко объяснить, используя мяч и лампу.

На рис. 28 представлены последовательные изменения Луны. Существует так называемое «правило большого пальца», согласно которому, растущая Луна (на англ. crescent) похожа по форме на «С». А убывающая Луна похожа на «D». Это правило подходит для жителей Южного полушария, но оно бесполезно для Северного полушария, поэтому говорят, что Луна «обманщица». (Примечание: В России мы используем следующий метод для определения фазы Луны. Если слева от полумесяца приставить палец и получится буква «P», то Луна растущая. А если полумесяц похож на букву «C», то Луна стареющая, т.е. убывающая).

Наша модель будет имитировать фазы Луны (рис.29), и мы увидим, почему Луна становится похожа на «С» и «D». Очень часто мы наблюдаем Луну на горизонте, как показано на рис. 29. Хотя в зависимости от страны, Луна может быть наклонной «С» и наклонной «D» (рис. 30а), или даже может быть похожа на смайлик (улыбающуюся Луну, рис. 30b). Как это можно объяснить? Мы будем использовать лунный демонстратор, чтобы понять, как происходит изменение вида освещенной части Луны на разных широтах.

Когда мы изучаем движение Луны, мы должны учитывать ее положение относительно Солнца (что является причиной смены фаз) и ее склонение (т.к. оно тоже меняется каждый день, быстрее чем у Солнца). Нам нужно сконструировать такой демонстратор, который позволит ученикам легко менять позицию Луны относительно Солнца и склонение, которое сильно отличается в течение месяца. Действительно, как видится с Земли на фоне звезд, Луна за месяц описывает траекторию довольно близкую к траектории Солнца за год по линии «эклиптики» (но с отклонением около  $5^\circ$  из-за наклона своей орбиты).

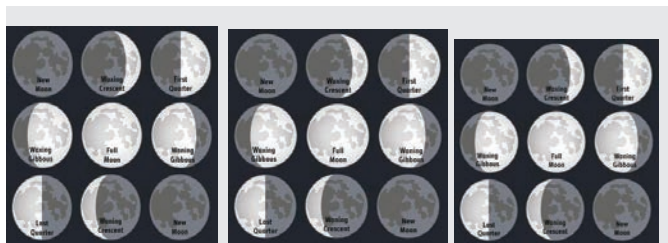


Рис. 34: Фазы Луны.  
Рис. 35: Фазы Луны, наблюдаемые у горизонта.

Луна находится в направлении Солнца, когда «новолуние». Когда «полнолуние», то она в противоположной точке эклиптики, и ее склонение противоположно склонению Солнца (в пределах  $5^\circ$  с. или ю.). Например, во время летнего солнцестояния в июне, «полная» Луна находится в месте, в котором находится Солнце во время зимнего солнцестояния в декабре; ее склонение отрицательное (между  $-18^\circ$  и  $-29^\circ$ ). Суточное движение полной Луны в июне похоже на движение Солнца в декабре. Если мы наблюдаем полумесяц, похожий на «D» в Северном полушарии (и похожий на «C» в Южном), то мы знаем, что Луна под углом  $90^\circ$  относительно Солнца. Тем не менее, это довольно «далеко» от Солнца по тропе эклиптики (разница около трех месяцев). В июне растущая Луна будет иметь склонение близкое к склонению Солнца в сентябре ( $0^\circ$ ). В сентябре, ее склонение будет близкое к склонению Солнца в декабре ( $-23.5^\circ$ ) и т.д.

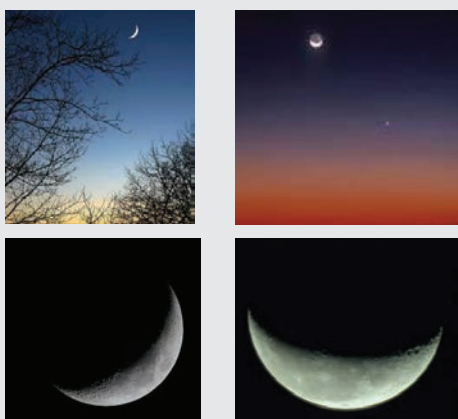


Рис. 36а: Косой полумесяц, рис. 36б: Улыбающаяся Луна.

## Делаем демонстратор

Лунный демонстратор делается таким же способом, как и солнечный. Как и раньше, нам понадобятся модели для Северного полушария и для Южного (рис. 13 и 14 для Северного полушария и рис. 13 и 15 для Южного полушария). Для учителя лучше сделать модель в два раза больше.

На солнечном демонстраторе вместо Солнца ставим имитацию убывающей Луны (в форме «С» для Северного полушария и в форме «D» для Южного). Имитацию Луны делаем в соответствии с ниже приведенной инструкцией.

Для того, чтобы разместить Луну на демонстраторе, вырежьте рис. 31b (лунная четверть) и обклейте ее двумя полосочками скотча с двух сторон (голубой полукруг). Разместите получившуюся прозрачную ленту на дугу демонстратора, где написаны месяцы (рис. 12 или 14 в зависимости от полушария). Задумка в том, что будет легко передвигать эту ленту вверх и вниз по дуге демонстратора, чтобы располагать в Луну в нужном месте.



Рис. 37а: Использование тренажера .  
Рис 37б: Кварт де Луна



## Использование лунного демонстратора

Для начала нужно выбрать широту. И мы совершим воображаемое путешествие по земной поверхности с помощью демонстратора.

Левой рукой держите основную часть демонстратора (рис 32а и 32b) за светлую область (ниже квадранта широт). Выберите широту, передвинув диск горизонта на

нужное значение. Выберите день, для которого вы хотите имитировать движение убывающей Луны. Прибавьте к нему три месяца и разместите там Луну в четвертой фазе (рис. 31b). Календарный месяц, в котором окажется Луна, будет местом, куда Солнце придет через три месяца. Правой рукой передвигайте дугу демонстратора с Востока на Запад.

На демонстраторе Северного полушария, вы можете увидеть, что вид четвертой фазы Луны меняется в зависимости от широты и времени года. С позиции куклы, смотрящей на горизонт, убывающая, четвертая фаза Луны может видаться, как «С» или как «U».

•Если мы выберем широту примерно  $70^\circ$  с.ш. или  $70^\circ$  ю.ш., то, при передвижении дуги с Востока на Запад, увидим Луну, как «С». Время года не имеет значения. Во всех сезонах Луна выглядит, как «С» (рис. 32a).

•Если мы выберем  $20^\circ$  с.ш. или  $20^\circ$  ю.ш., когда наблюдатель находится близко к тропикам, то мы можем увидеть улыбающуюся Луну, в форме «U». Луна движется по линии более перпендикулярной (рис. 32b), чем в предыдущем примере. Форма улыбающейся Луны «U» не меняется с изменением месяца. Весь год она выглядит так.

•Если мы посмотрим с  $90^\circ$  с.ш. или  $90^\circ$  ю.ш., когда наблюдатель находится на полюсе, то в зависимости от выбранного дня:

- мы будем видеть Луну в форме «С», идущую по тропе параллельно горизонту.

- мы не будем видеть Луну совсем, т.к. ее траектория проходит ниже горизонта.

•Если широта будет  $0^\circ$ , то наблюдатель находится на экваторе, и мы видим, что Луна улыбается, как «U». Луна восходит и садится перпендикулярно горизонту. Она будет прятаться (в полдень) в форме «U», а возвращаться в форме «П».

Для наблюдателя, который живет в средних широтах, Луна восходит и заходит под небольшим углом и поэтому в четвертой фазе ее форма будет между «С» и «U».

Выше описанные комментарии подходят и для Луны в форме «D». Только не нужно

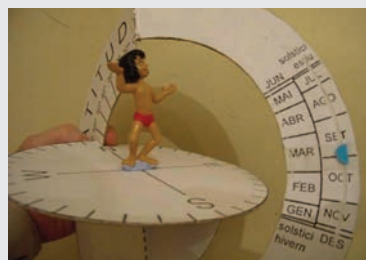


Рис. 38a: Демонстратор для широты  $70^\circ$  северной широты, Рис. 38b: широта  $20^\circ$  южной широты.

забывать скорректировать день для позиции Луны (в этом случае нам нужно будет вычесть три месяца от позиции Солнца).

•Если мы выставляем  $-70^\circ$  (или  $70^\circ$  ю.ш.), мы увидим убывающую Луну, как «D», движущуюся в Востока на Запад. В независимости от времени года. В течение всего года Луна будем в форме «D» (рис. 32a).

•Если широта будет  $-20^\circ$  (рис. 32b), то наблюдатель находится в тропиках, и Луна будет улыбающаяся, как «U», возможно с небольшим наклоном. Луна движется по траектории, перпендикулярной горизонту (рис. 32b) не так, как в предыдущем примере. Форма «U» не меняется с изменением месяца.

•Если широта -  $90^\circ$ , то наблюдатель находится на Южном полюсе и в зависимости от даты сможет увидеть:

-Луну в форме «D», которая движется параллельно горизонту.

-Не увидит Луну совсем, т.к. ее тропа проходит ниже линии горизонта.

• Если широта будет  $0^\circ$ , то наблюдатель находится на экваторе, как и в Северном полушарии, и увидит, что Луна улыбается, как «U». Луна восходит перпендикулярно горизонту, и она будет уходить (в полдень) в форме «U», а возвращаться в форме «П».

Для других наблюдателей, которые живут в средних широтах, восходящий и заходящий полумесяц будет видеться чем-то средним между "D" и "U", степень наклона будет зависеть от широты.

Эти комментарии будут подходить и для Луны в форме «С», опять же за вычетом трех месяцев из позиции Солнца.

*«Благодарность: Автор хочет выразить благодарность Джозефу Снайдеру (Joseph Snider) за изобретение в 1992г. солнечного демонстратора, что вдохновило автора данной работы создать другие виды демонстраторов».*

.....

## **Библиография**

•Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5. Orsay, France, 2001.

•Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.

•Ros, R.M., *Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere*, Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.

•Snider, J.L., *The Universe at Your Fingertips*, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.

•Warland, W., *Solving Problems with Solar Motion Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.

# Система Земля-Луна-Солнце: фазы и затмения

Роза М. Рос

Международный астрономический союз, Технический университет Каталонии  
(Барселона, Испания)

## Краткое описание

Следующая работа посвящена фазам луны, солнечным и лунным затмениям. Эти затмения также используются для определения расстояний и диаметров в системе Земля-Луна-Солнце.

Наконец, объясняется также происхождение приливов.

## Цели

- Чтобы понять, почему у Луны есть фазы.
- Чтобы понять причину лунных затмений.
- Чтобы понять, почему происходят солнечные затмения.
- Для определения расстояний и диаметров системы Земля-Луна-Солнце.
- Чтобы понять происхождение приливов и отливов

## Взаимное положение

Термин «затмение» используется для обозначения самых разных явлений, но во всех случаях затмение происходит, когда один объект пересекает свет перед другим объектом; это зависит от относительного расположения Земли и Луны (непрозрачные объекты), вызывающее прерывание солнечного света.

Солнечное затмение происходит, когда Солнце закрыто Луной, когда она находится между Солнцем и нашей планетой. Такое затмение всегда происходит в новолуние (рис. 1).

Лунные затмения происходят, когда Луна пересекает тень Земли. Это когда Луна находится на противоположной стороне от Солнца, поэтому лунные затмения всегда происходят в фазе полнолуния (рисунок 1).

Земля и Луна движутся по эллиптическим



Рис.1: Солнечные затмения происходят, когда Луна находится между Солнцем и Землей (новолуние). Лунные затмения происходят, когда Луна пересекает теневой конус Земли (то есть Земля находится между Солнцем и полной Луной).

орбитам, которые не находятся в одной плоскости. Орбита Луны имеет наклон 5 градусов по отношению к эклиптике (плоскости орбиты Земли вокруг Солнца). Обе плоскости пересекаются на линии, называемой линией узлов. Затмения происходят, когда Луна находится рядом с линией узлов. Если бы обе плоскости совпадали, затмения были бы гораздо более частыми, чем от нуля до трех раз в год.

## Модели

### Модель скрытого лица

У Луны два движения: вращение и перемещение, которые имеют примерно одинаковую продолжительность, то есть около четырех недель. Это причина того, что с Земли мы всегда можем видеть одну и ту же половину лунной поверхности.

Мы увидим эту ситуацию на простой модели. Мы начинаем с размещения добровольца, который играет роль Земли, и только одного добровольца «Луны» с белой маской. Мы помещаем добровольца «Луна» перед Землей, глядя на Землю, прежде чем начать движение. Таким образом, если Луна движется на 90



Рис. 2: Модель Земля-Луна с добровольцами (для объяснения фаз и видимого лица Луны).

градусов по своей орбите вокруг Земли, она также должна повернуться на 90 градусов вокруг себя и, следовательно, будет продолжать смотреть перед Землей и так далее. Мы спросим земного добровольца, видит ли он то же лицо Луны или может видеть другую часть. Мы повторяем ту же ситуацию четыре раза, всегда двигаясь на 90 градусов. Очевидно, что каждые 90°, то есть каждую неделю, Земля может видеть всегда одну и ту же часть Луны, затылок спиральной спирали никогда не виден.

### Модель фаз Луны

Чтобы объяснить фазы Луны, лучше всего использовать модель с фонариком или проектором (который будет представлять Солнце) и минимум пятью добровольцами. Один из них будет расположен в центре, представляющем Землю, а другие будут располагаться вокруг «Земли» на равных расстояниях, чтобы имитировать различные фазы Луны. Чтобы сделать это более наглядно, каждой «Луне» надеть белую маску, имитирующую цвет Луны. Все они должны быть обращены к «Земле», потому



de més de 120 cm

Рис. 3: Модель Земли и Луны.

что мы знаем, что Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной (рис. 2). Мы поместим фонарик позади одного из этих добровольцев и начнем визуализировать фазы (если смотреть с Земли, то есть в центре). Очень легко обнаружить, что иногда маска полностью светлая, иногда

Диаметр Земли	12 800 Km	4 cm
Диаметр Луны	3 500 Km	1 cm
Расстояние Земля-Луна	384 000 Km	120 cm
Диаметр Солнца	1 400 000 Km	440 cm = 4,4 m
Расстояние Земля-Солнце	150 000 000 Km	4 700 cm = 0,47km

Таблица 1: Расстояния и диаметры системы Земля-Луна-Солнце только на четверть, а иногда совсем не видна (потому что фонарик «Солнце» находится за этой «Луной» и его свет ослепляет сцену). Чем больше добровольцев «Луны», тем больше фаз видно.

### Модель Земля-Луна

Не так-то просто понять геометрию, лежащую в основе фаз Луны, солнечных и лунных затмений. По этой причине

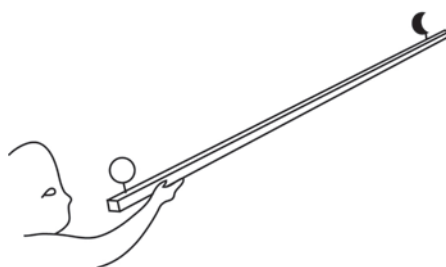


Рис.4: Использование модели во внутреннем дворе школы. предлагается простая модель, чтобы облегчить понимание всех этих процессов.

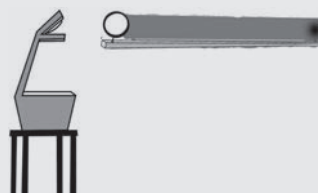
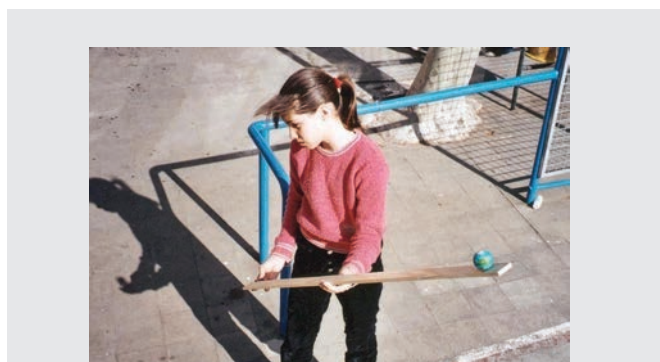


Рис. 5а и 5b: Моделирование лунного затмения

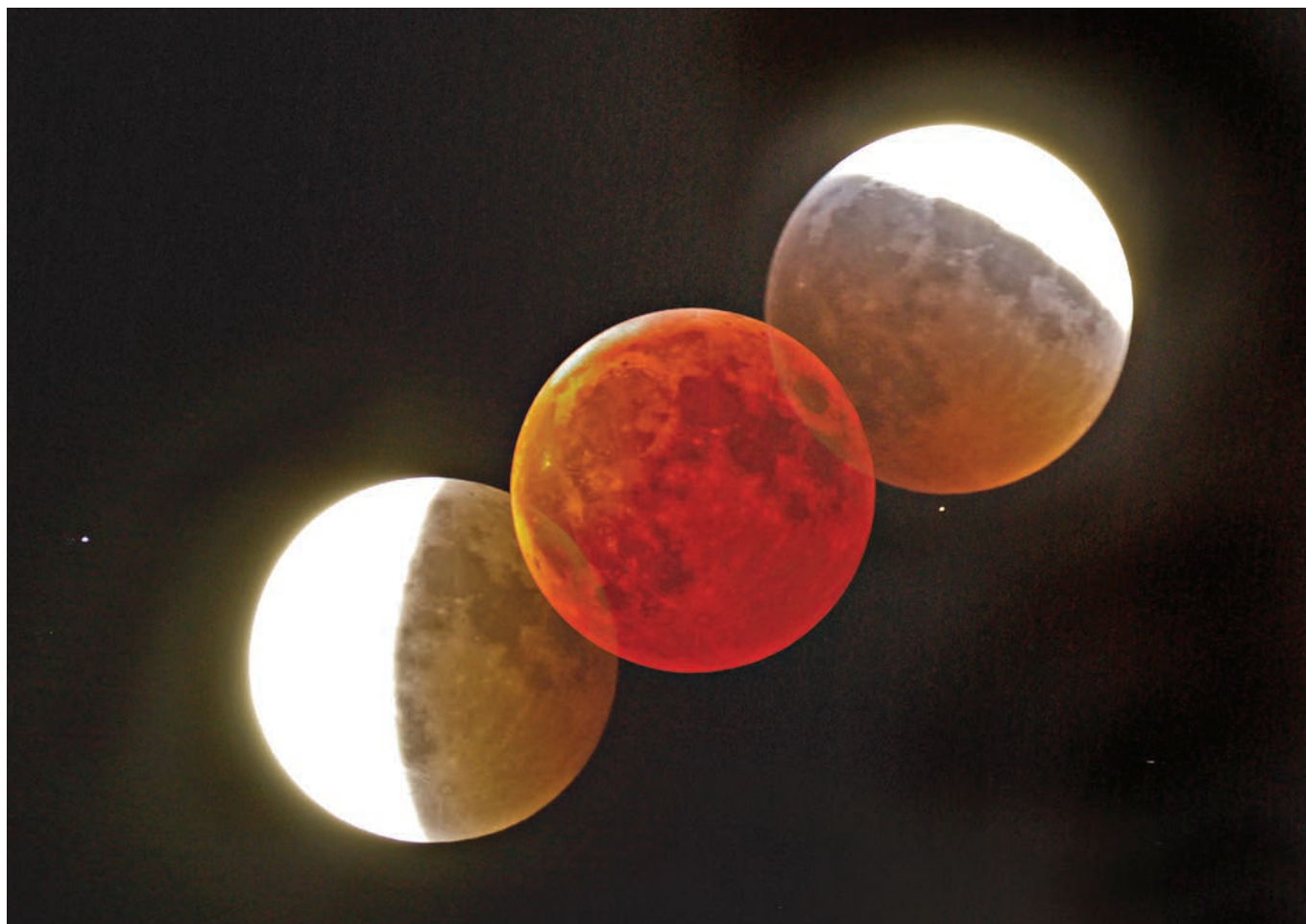


Рис. 6: Фотографии лунного затмения. Наш спутник пересекает теневой конус, создаваемый Землей. la Terra.

длиной 125 см. Расстояние между гвоздями составляет 120 см. На них нужно закрепить два шара диаметром 4 и 1 см (рисунок 3).

Важно сохранить эти относительные размеры, поскольку они представляют собой масштабную модель системы Земля-Луна.

### Воспроизведение фаз Луны::

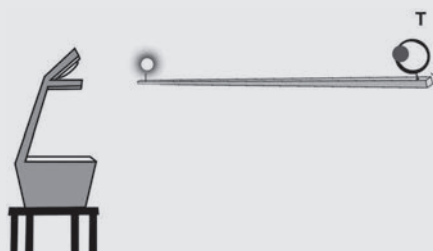


Рис. 7а и 7б Моделирование солнечного затмения

Для того, что бы увидеть Луну днем, направьте модель Луны на Солнце (рис. 4). Наблюдатель должен оставаться за шаром, изображающим Землю. Шар, представляющий Луну, будет казаться таким



Рис.8: Деталь предыдущего рисунка 7а.



Рис. 9: Фотография солнечного затмения 1999 года над регионом поверхности Земли, сделанная с космической станции MIR.



же большим, как настоящая Луна, и его фаза будет такой же. Изменяя ориентацию модели, можно воспроизвести различные фазы Луны при изменении освещенности, получаемой от Солнца. Шар Луна нужно перемещать, чтобы достичь всех фаз.

Лучше заниматься этим на открытом воздухе, но, если облачно, это также можно сделать в помещении, используя проектор в качестве источника света.

### Воспроизведение лунных затмений

Модель держится так, чтобы маленький шар Земли был обращен к Солнцу (лучше использовать проектор или фонарик, чтобы не смотреть на Солнце), а тень Земли покрывала Луну (рис. 5а и 5b) так как он больше Луны. Это простой способ воспроизвести лунное затмение.

### Воспроизведение затмений Солнца

Модель размещается так, чтобы шар Луны был обращен к Солнцу (лучше использовать проектор или фонарик), а тень Луны должна проецироваться на небольшой земной шар. Таким образом, будет воспроизведено солнечное затмение, и небольшое пятно появится над областью Земли (рисунки 7а, 7b и 8). Создать такую ситуацию непросто, потому что необходимо точно настроить наклон модели (по этой причине количество солнечных затмений меньше, чем лунных).

Диаметр Земли	12 800 Km	2,1 cm
Диаметр Луны	3 500 Km	0,6 cm
Расстояние Земля-Луна	384 000 Km	60 cm
Диаметр Солнца	1 400 000 Km	220 cm
Расстояние Земля-Солнце	150 000 000 Km	235 cm

Таблица 2: Расстояния и диаметры

### Наблюдения

- Лунное затмение может произойти только в полнолуние, а солнечное затмение - в новолуние.
- Солнечное затмение можно увидеть только на небольшом участке поверхности Земли.
- Очень редко Земля и Луна выровнены

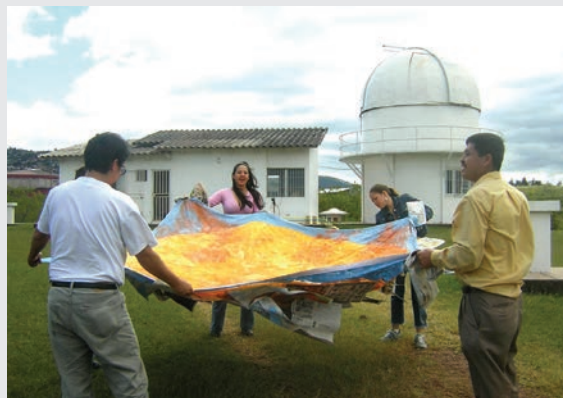


Рис. 10: Модель Солнца.



Рис. 11: Наблюдение за Солнцем и Луной в модели.

достаточно точно, чтобы вызвать затмение, и поэтому оно не происходит каждое новолуние или полнолуние.

### Модель Солнце-Луна

Чтобы визуализировать систему Солнце-Земля-Луна с особым акцентом на расстояниях, мы рассмотрим новую модель,



Рис. 12 и 13: Модель камеры-обскуры.

учитывающую земную точку зрения Солнца

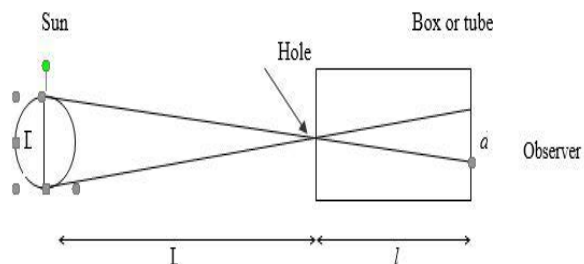


Рис. 14: Базовая геометрия расчета.

и Луны. В этом случае мы предложим ученикам нарисовать и нарисовать большое Солнце диаметром 220 см (более 2 метров в диаметре) на листе, и мы покажем им, что они могут покрыть его маленькой Луной диаметром 0,6 см (менее Диаметром 1 см).

Полезно заменить лунный шар дыркой в деревянной доске, чтобы быть уверенным в положении Луны и наблюдателя.

В этой модели Солнце будет зафиксировано на расстоянии 235 метров от Луны, а наблюдатель будет на расстоянии 60 см от Луны. Студенты очень удивлены, что они могут покрыть большое Солнце этой маленькой Луной. Эту взаимосвязь, в 400 раз превышающую размеры и расстояния, нелегко представить, поэтому было бы хорошо показать их на примере, чтобы понять масштаб расстояний и реальные размеры во Вселенной. Все эти упражнения помогают им (и, возможно, нам) понять пространственные отношения между небесными телами во время солнечного затмения. Этот метод намного лучше, чем чтение ряда чисел в книге.

### Определение диаметра Солнца

Мы можем измерить диаметр Солнца по-разному. Здесь мы представляем простой метод с использованием камеры-обскуры. Мы можем сделать это с помощью обувной коробки или картонной трубки, которая служит центральной осью для алюминиевой фольги или полиэтиленовой пленки.

1. Мы покрыли один конец полупрозрачной пленкой, а другой конец - листом прочной бумагой или алюминиевой

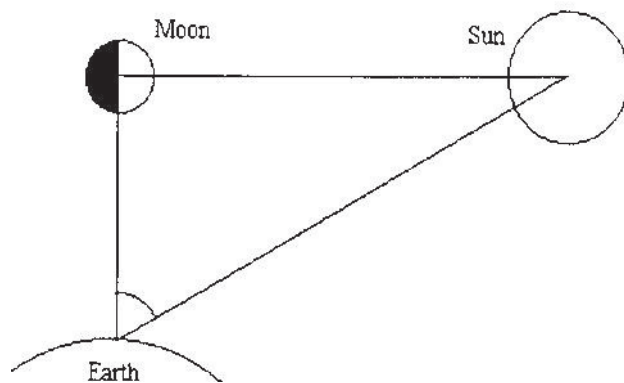


Рис. 15: Относительное положение Луны в фазе четверти.

фольгой, где мы сделаем отверстие с помощью тонкой булавки (рис. 12 и 13).

2. Мы должны направить конец с маленьким отверстием к Солнцу и смотреть в сторону другого конца, который закрыт полупрозрачной пленкой. Мы измерим диаметр  $d$  изображения Солнца на пленке

Чтобы рассчитать диаметр Солнца, просто рассмотрите рисунок 14, на котором показан ход лучей.

Справедливо следующее соотношение:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

Откуда можно определить диаметр Солнца,  $D$ :

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

Зная расстояние от Солнца до Земли  $L = 150\,000\,000$  км, длину трубки  $l$  и диаметр  $d$  изображения Солнца на экране полупрозрачной бумаги, мы можем вычислить диаметр  $D$  Солнца. (Помните, что диаметр Солнца составляет  $1\,392\,000$  км.). Это же самое можно проделать с полной луной, зная, что она находится на расстоянии  $400\,000$  км от Земли.

### Размеры и расстояния в системе Земля-Луна-Солнце

Аристарх (с 310 по 230 г. до н.э.) вывел соотношение между расстояниями и радиусами системы Земля-Луна-Солнце. Он рассчитал радиус Солнца и Луны, расстояние от Земли до Солнца и расстояние от Земли до Луны по отношению к радиусу Земли.

Спустя несколько лет Эратосфен (280-192 до н.э.) определил радиус нашей планеты, и стало возможным вычислить все расстояния и радиусы системы Земля-Луна-Солнце.

Повторим оба эксперимента со студентами. Идея состоит в том, чтобы как можно точнее повторить математический процесс и наблюдения, разработанные Аристархом и Эратосфеном.

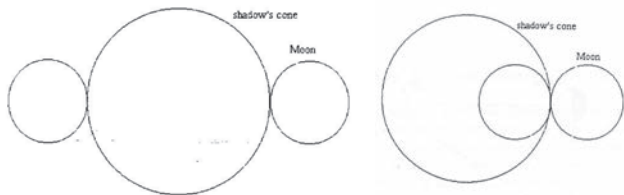


Рис. 16а: Измерение конуса тени.  
Рис. 16б: Измерение диаметра Луны.

### Эксперимент Аристарха

#### Связь расстояний Земля-Луна и Земля-Солнце

Аристарх определил, что угол между линией Луна-Солнце и линией Земля-Солнце, когда Луна находится в фазе четверти, составляет  $\alpha = 87^\circ$  (рис. 15).

Сегодня мы знаем, что он немного ошибался, возможно, потому, что было очень трудно определить точное время четверти луны. Фактически этот угол равен  $\alpha = 89^\circ 51'$ , но процесс, использованный Аристархом, совершенно верен. На рисунке 15, если мы используем определение косинуса, мы можем сделать вывод, что

$$\cos \alpha = ES/EM$$

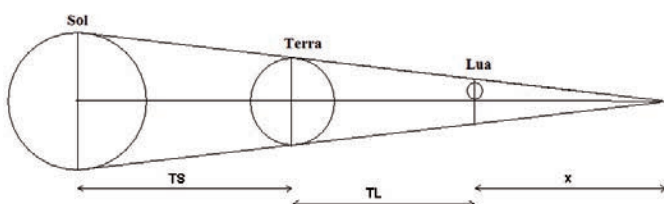


Рис.17: Конус тени и взаимное расположение системы Земля-Луна-Солнце

где ES-расстояние от Земли до Солнца, а EM-расстояние от Земли до Луны. Тогда примерно,

$$ES = 400 EM$$

(хотя Аристарх вывел  $ES = 19 EM$ ).

#### Связь между радиусом Луны и Солнца

Отношение между диаметрами Луны и Солнца должно быть аналогично ранее полученной формуле, потому что с Земли мы наблюдаем оба диаметра как  $0,5^\circ$ . Итак, оба соотношения подтверждают

$$R_S = 400 R_M$$

#### Связь между расстоянием от Земли до Луны и радиусом Луны или между расстоянием от Земли до Солнца и солнечным радиусом

Аристарх полагает, что орбита Луны - это круг вокруг Земли. Поскольку наблюдаемый диаметр Луны составляет  $0,5$  градуса, круговой путь ( $360^\circ$ ) Луны вокруг Земли будет в  $720$  раз больше диаметра. Длина этого пути в  $2\pi$  раза больше расстояния Земля-Луна, то есть  $2 R_M \cdot 720 = 2\pi EM$ . Решая, находим

$$EM = (720 R_M) / \pi$$

Используя аналогичные рассуждения, находим

$$ES = \frac{720 R_S}{\pi}$$

Это соотношение между расстояниями до Земли, радиусом Луны, радиусом Солнца и радиусом Земли.

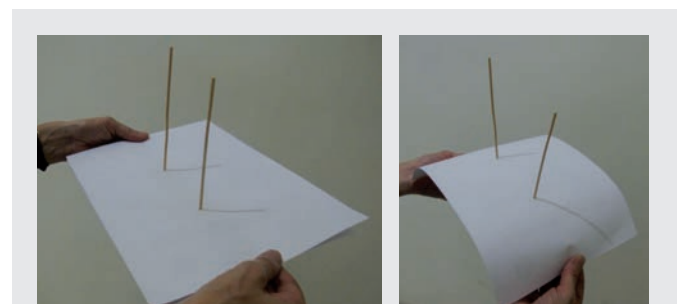


Рис. 18а и 18б: На плоской поверхности две палки создают одинаковую тень, но когда поверхность изогнута, тени разные.

**Связь между расстояниями от Земли до Солнца и Луны, радиусом Луны, радиусом Солнца и радиусом Земли.** Во время лунного затмения Аристарх заметил, что время, необходимое для того, чтобы Луна пересекла теневой конус Земли, в два раза превышало время, необходимое для покрытия поверхности Луны (рисунки

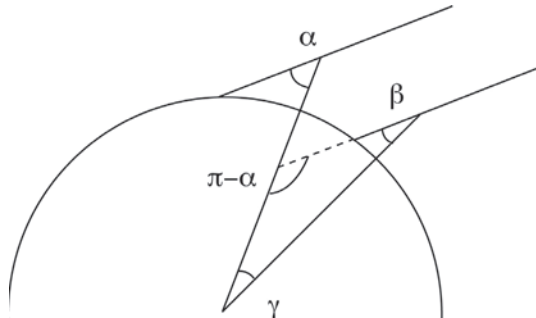


Рис. 19: Размещение отвесов и углов в эксперименте Эратосфена.

16а и 16b). Поэтому он пришел к выводу, что тень диаметра Земли была вдвое больше диаметра Луны, то есть соотношение обоих диаметров или радиуса было 2: 1. Сегодня известно, что это значение составляет 2,6:1.

### Заключительное резюме

Принимая во внимание последние результаты, (рисунок 17). Можно вывести следующие соотношения:

$$x / (2.6 R_M) = (x+EM) / R_E = (x+EM+ES) / R_S$$

где  $x$  – неизвестная величина. Вводя в это выражение отношения  $ES = 400 EM$  и  $RS = 400 RM$ , мы можем упростить выражение,

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

Это позволяет нам выразить все размеры, упомянутые ранее, как функцию радиуса Земли, поэтому

$$R_S = (2005 / 18) R_E, ES = (80200 / \pi) R_E, EM = (401 / (2\pi)) R_E$$

где нам нужно только подставить радиус нашей планеты, чтобы получить все расстояния и радиусы системы Земля-Луна-Солнце.

## Расчеты со студентами

Хорошая идея - повторить измерения, сделанные Аристархом, со студентами. В частности, мы сначала должны вычислить угол между Солнцем и четвертью Луны. Чтобы сделать это измерение, необходимо только иметь теодолит и знать точное время четверти луны.

Поэтому мы попытаемся проверить, составляет ли этот угол  $\alpha = 87^\circ$  или  $\alpha = 89^\circ 51'$  (хотя такую точность очень трудно получить).

Во-вторых, во время лунного затмения, используя секундомер, можно рассчитать соотношение между следующими моментами времени: «первый и последний контакт Луны с конусом тени Земли», т. е. измерить диаметр конуса тени Земли (рисунок 17а) и «время, необходимое для покрытия лунной поверхности», то есть мера диаметра Луны (рисунок 20b). Наконец, можно проверить, является ли соотношение между ними 2: 1 или 2,6: 1, или оно другое. Самая важная цель этого упражнения - не результат, полученный для каждого радиуса или расстояния. Самое важное - указать ученикам, что, если они используют свои знания и интеллект, они могут получить интересные результаты. Аристарху было очень важно получить представление о размерах системы Земля-Луна-Солнце.

Также неплохо было бы измерить вместе со студентами радиус Земли по

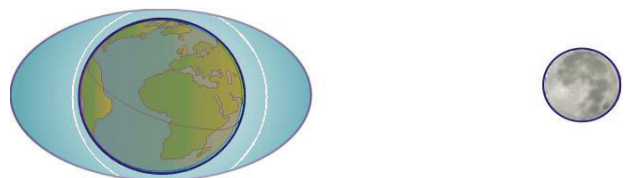


Рис. 20: Эффект прилива.

методу Эратосфена. Хотя эксперимент Эратосфена хорошо известен, мы представляем здесь его краткую версию, чтобы дополнить предыдущий опыт.

### Эксперимент Эратосфена

Эратосфен был директором Александрийской библиотеки. В одном из текстов библиотеки он прочитал, что в



Рис. 21: Влияние на воду относительного ускорения Земли в различных областях океана.

городе Сиена (ныне Асуан) в день летнего солнцестояния, солнечный полдень, Солнце отражалось на дне колодца или



палка не производила тени. Он отметил, что в тот же день, в то же время, палка не производила тени в Александрии. Из этого он пришел к выводу, что поверхность Земли не может быть плоской.

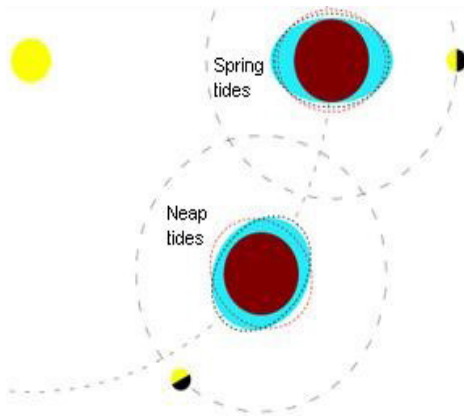


Рис. 22: Весенние приливы и отливы.

Рассмотрим две палки, размещенные перпендикулярно земле в двух городах на поверхности Земли на одном и том же меридиане. Палки должны быть направлены к центру Земли. Обычно лучше использовать отвес. Следует измерить длину отвеса от земли до отметки и длину его тени от основания отвеса до тени отметки.

Можно предположить, что солнечные лучи параллельны. Солнечные лучи создают две тени, по одной для каждого отвеса. Мы измеряем длину отвеса и его тени и, используя определение касательной, получаем углы  $\alpha$  и  $\beta$  (рисунок 19). Центральный угол  $\gamma$  можно вычислить, полагая, что сумма трех углов треугольника равна  $\pi$  радиан. Тогда  $\pi = \pi - \alpha + \beta$  и упрощая

$$\gamma = \alpha - \beta$$

Окончательно установив пропорциональность между углом  $\rho_i$ , длиной его дуги  $d$  (определяемой расстоянием над меридианом между двумя городами) и  $2\rho_i$  радиан окружности меридиана и его длиной  $2\rho_i R_E$ , находим:

$$\frac{2\rho_i R_E}{2\pi} = \frac{d}{\gamma}$$

Тогда мы делаем вывод, что:

$$R_E = d / \gamma$$

где  $\gamma$  было получено в результате наблюдения, а  $d$  - расстояние в км между обоими городами. Мы можем определить  $d$ , используя карту.

В ситуации с Эратосфеном угол  $\beta$  был равен нулю и  $\gamma = \alpha$  и расстояние между Александрией и Сиеной, можно рассчитать радиус Земли.

Также следует отметить, что цель этой деятельности не точность результатов. Вместо этого мы хотим, чтобы учащиеся имели возможность, получить удивительные результаты.

## Приливы

Приливы и отливы - это повышение и понижение уровня моря, вызванное воздействием вращения Земли и гравитационных сил, проявляемых Луной и Солнцем. Форма морского дна и берега в прибрежной зоне также влияет на приливы, но в меньшей степени. Приливы производятся с периодом примерно  $12 \frac{1}{2}$  часов.

Приливы в основном связаны с притяжением Луны и Земли. Высокие приливы происходят по сторонам Земли, обращенным к Луне, и напротив Луны (рис. 20). В промежуточных точках бывают отливы.

Приливы наблюдали еще в древности, но их объяснение стало возможным только после открытия закона всемирного тяготения Ньютона (1687 г.).

$$F_g = G \frac{m_T \times m_L}{d^2}$$

Луна оказывает на Землю гравитационное притяжение. Согласно второму закону Ньютона ( $F = m \cdot a$ ). Таким образом, ускорение, вызванное Луной на Земле, определяется выражением

$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

Где  $m_L$  масса Луны, а  $d$  - расстояние от Луны до точки на Земле.

Поверхность Земли - твердое тело, и поэтому мы можем рассматривать все ускорение этой твердой части, приложенное к центру Земли. Однако вода жидкая и претерпевает явное ускорение, которое зависит от расстояния до Луны. Таким образом, ускорение ближайшей к Луне стороны больше, чем обратной. Следовательно, поверхность океана будет образовывать эллипсоид (рисунок 21).

Этот эллипсоид всегда вытянут к Луне (рис. 20), Земля в свою очередь вращается. Таким образом, в каждой точке Земли будет прилив, за которым последует отлив дважды в день. Действительно, период между приливами и отливами составляет немногим более 12 часов, и причина в том, что Луна вращается вокруг Земли с синодическим периодом около 29,5 дней. Это означает, что она проходит  $360^\circ$  за 29,5 дней, поэтому Луна будет двигаться по небу почти на  $12,2^\circ$  каждый день или на  $6,6^\circ$  каждые 12 часов. Поскольку каждый час Земля вращается примерно на  $15^\circ$ ,  $6,6^\circ$  эквивалентны примерно 24 минутам, поэтому каждый приливный цикл составляет 12 часов 24 минуты. Поскольку время между приливом и отливом составляет примерно половину. Время, необходимое для того, чтобы приливы превратились в отливы, и наоборот, составит около 6 часов 12 минут.

Из-за своей близости Луна оказывает сильнейшее влияние на приливы и отливы. Но Солнце также влияет на приливы и отливы. Когда Луна и Солнце в соединении (Новолуние) или противостоянии (Полнолуние) происходят приливы. Когда Луна

находится в первой и последней четверти, Земля испытывает приливы (рисунок 22).

## Библиография

- Alonso, M., Finn, E. *Física – um curso universitário*. Volume I. Ed. Edgard Blucher, 1972
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo*, Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., *Experimentos de Astronomía*, Editorial Alambra, Mexico, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., "A scale model to study solar eclipses", Proceedings of 3rd EAAE Summer School, 107, 109, Barcelona, 1999
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Reddy, M. P. M., Affholder, M. *Descriptive physical oceanography: State of the Art*. Taylor and Francis. 249, 2001.
- Ros, R.M., *Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities*, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 135, 149, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Viñuales, E., *Aristarchos' Proportions*, Proceedings of 3rd EAAE International Summer School, 55, 64, Barcelona, 1999.
- Ros, R.M., Viñuales, E., *El mundo a través de los astrónomos alejandrinos*, *Astronomía, Astrofotografía y Astronáutica*, 63, 21. Lérida, 1993.



# Портфель молодого астронома

## Роза М. Рос

Международный астрономический союз, Технический университет Каталонии (Барселона, Испания)

.....

### Резюме

Для дальнейшего наблюдения необходимо, чтобы учащиеся имели набор простых инструментов. Предлагается, чтобы они построили некоторые из них, а затем использовали их для наблюдения за небом из самой школы.

Учащиеся должны понимать, как на протяжении веков внедрялись различные инструменты, как они развивались и становились необходимыми. Это важная часть астрономии, отмечая большую способность к их созданию и умение использовать их для проведения наблюдений. Эти требования нелегко разрабатывать вместе со студентами, и поэтому здесь мы предлагаем очень простые приборы.

### Цели

-Понимать важность тщательных наблюдений.

-Понимать использование различных инструментов благодаря тому, что студенты делают их самостоятельно.

.....

### Наблюдения

Мы можем приобрести определенную практику в измерении времени и положения небесных тел со специально подготовленными артефактами. Здесь мы даем некоторую информацию для сбора инструментария для наблюдения в чемодане. Как правило, чемодан и его содержимое изготовлены из картона с использованием клея, ножниц и т.д.. Определенная тема может дать возможность исследовать многие другие древние и современные инструменты.

Художественные и изобретательные способности учащихся позволят им приобрести очень личные чемоданы. Это

занятие можно легко модифицировать и адаптировать под нужды учащихся в зависимости от их возраста, используя более или менее сложные инструменты.

В частности, в этом чемодане:

- Линейка для измерения углов (транспортир)
- Упрощенный квадрант
- Горизонтальный гониометр
- Планисфера
- Карта Луны
- Экваториальные часы
- Спектроскоп

Мы предлагаем чемодан с очень простыми инструментами. Небольшой чемодан можно легко взять с собой в школу или в свободное время. Важно, чтобы он не был слишком большим или хрупким (особенно, если им будут пользоваться очень маленькие ученики). Подчеркнем, что точность в измерениях - это еще не конец этого вида деятельности.

### Содержание

Очевидно, что мы можем симулировать это только на школьном дворе летом. Идея состоит в том, чтобы попрактиковаться с инструментами, которые мы будем делать здесь сейчас.

Для начала нам понадобится картонный ящик, подобный тому, который вы получите по почте с книгой внутри (это будет чемодан). Нужно только расположить ручку на узкой стороне, чтобы широкая сторона была открыта. Внутри коробки мы выложим следующие инструменты:

- Линейка для измерения углов (транспортир), с помощью которой мы сможем определить угловое расстояние между двумя звездами этого созвездия. Она очень проста в использовании, если мы не хотим вводить координаты.

- Для получения высоты звезд можно использовать упрощенный квадрант. Когда



ученики видят объект через видоискатель, строка указывает на угловое положение, связанное с его горизонтом.

- Для определения азимута звезд можно использовать простой горизонтальный гониометр. Очевидно, что для ориентации прибора в направлении Север-Юг необходимо использовать компас.

- Планисфера с созвездиями очень четко отпечатана на диске из белой бумаги и картонном кармане с "отверстие" широты, чтобы поместить диск неба внутрь. Поворачивая диск, мы находим дату и время наблюдения, чтобы распознать основные созвездия на широте "отверстий", которые мы используем.

- Спектроскоп для разделения света на семь цветов, которые его составляют.

- Карта Луны с названиями морей и некоторых кратеров, которые легко узнаваемы через бинокль.

- Фонарик (с красным светом), освещающий карты, прежде чем посмотреть на настоящее небо. Яркий белый свет не даст глазам учеников приспособиться к темноте. Если ученики приносят фонарик в чемодане, необходимо установить красный фильтр спереди. Группа учеников с белыми фонариками может производить большое световое загрязнение, затрудняя наблюдение.

- Компас для настройки различных инструментов.

- И, конечно же, все аксессуары, которые нужны каждому студенту: тетрадь, ручка, часы и, если это возможно, камера.

Следуя инструкциям и чертежам, мы можем получить наши инструменты очень простым способом и использовать их на

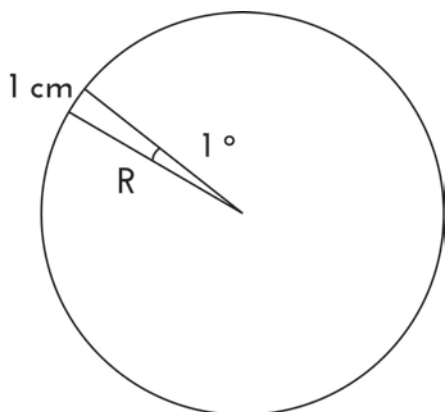


Рис. 1: Радиус R для получения прибора, где 1° эквивалентен 1 см.

открытом воздухе. В течение дня мы будем измерять, например, квадрантом положение (высоту) дерева, холм и так далее. Ночью мы можем измерить положение двух разных звезд или Луны, чтобы понять периодический цикл ее фаз. Мы поощряем студентов собирать необходимые данные..

Для первых ночных наблюдений лучше использовать простые карты, подготовленные заранее, чтобы ознакомиться с наиболее важными созвездиями. Конечно, астрономические карты очень точны, но опыт преподавателей подсказывает, что иногда, без посторонней помощи, они поначалу сбивают с толку

## Транспортир

Рассматривая простую пропорцию, мы можем построить базовый инструмент для измерения углов в любой ситуации. Наша

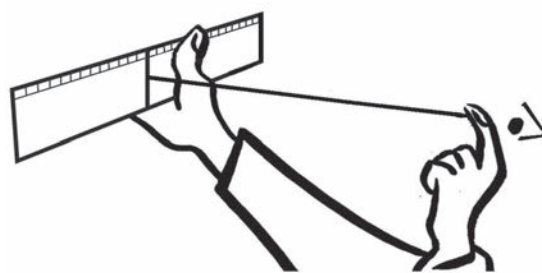


Рис. 2: Используя инструмент (линейку и кусок веревки длиной 57 см), можно измерять углы с точностью 1 см = 1°.

главная цель - ответить на следующий вопрос: "Какое расстояние (радиус R) мне необходимо, чтобы получить устройство, которое 1° эквивалентно 1 см?". 1 см?"

На рисунке 1 мы рассматриваем соотношение между окружностью длиной  $2\pi R$  в сантиметрах и 360 градусам, с 1 см до 1°::

$$\frac{2\pi R \text{ см}}{360^\circ} = \frac{1 \text{ см}}{1^\circ}$$

Поэтому,

$$R = 180 / \pi = 57 \text{ см}$$

### Чтобы построить инструмент

берем линейку, за которую фиксируем веревку длиной 57 см. Очень важно, чтобы веревка не растягивалась.

### Как мы ее используем:

- Мы смотрим, чтобы конец веревки почти касался нашего глаза "на щеке, под глазом".

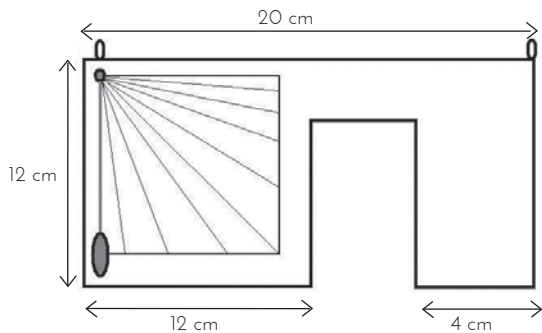


Рис. 3: Квадрант "Пистолет".

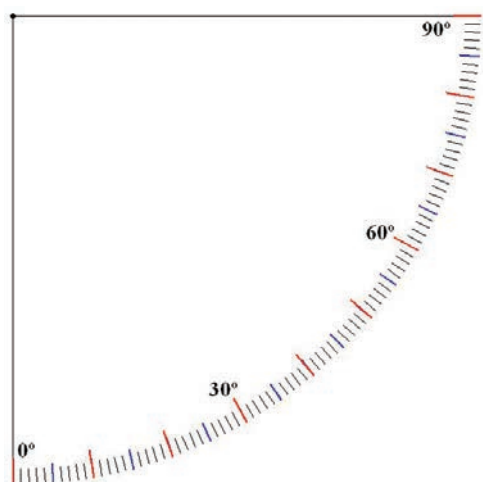


Рис. 4: Градуировка 90° для приклеивания к квадранту.

- Мы можем измерить, используя правило, и значение 1 см равно 1 градусу, если веревка натянута (рисунок 2).

### Предлагаемые упражнения:

*Каково угловое расстояние между двумя звездами одного созвездия? Используйте*

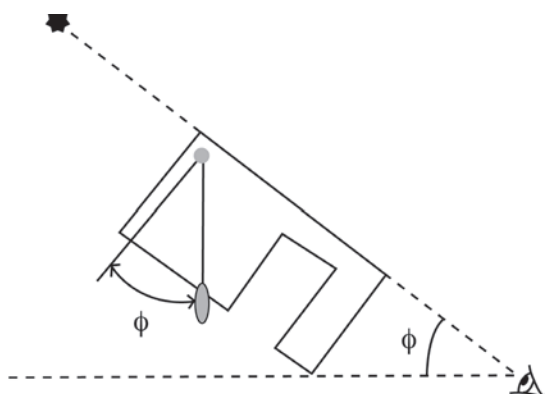


Рис. 5а и 5б: Использование квадранта в стиле "пистолет".

"линейку для измерения углов", чтобы вычислить расстояние (в градусах) между Мерком и Дубном в созвездии Большой Медведицы.

### Упрощенный квадрант: квадрант "пистолет".

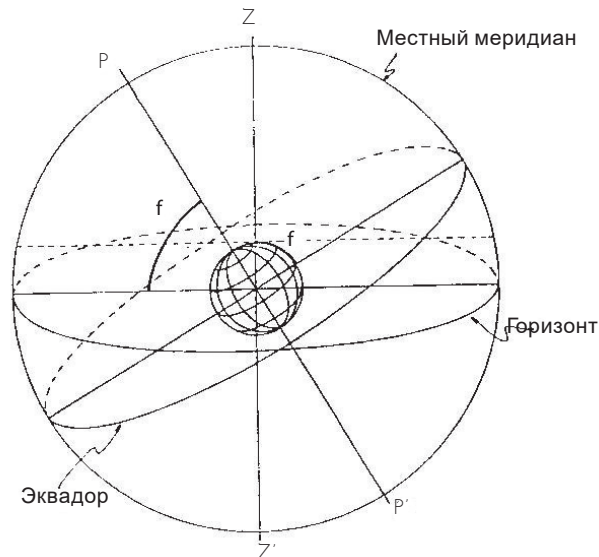


Рис. 6: Ширина места  $\varnothing$  равна высоте Полярного круга.

Очень упрощенная версия квадранта может быть очень полезна для измерения углов. Здесь мы представляем "пистолетную" версию, которая удобна в использовании и рекомендуется для использования студентами.

**Чтобы построить ее:** Вам нужен прямоугольный кусок картона (около 12x20 см). Мы вырезаем прямоугольную область, как на рисунке 3, чтобы держать инструмент. Поставим два круглых крючка сбоку (рис. 3).

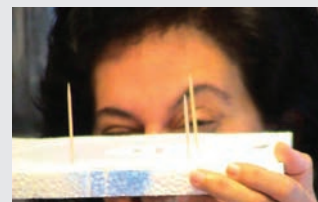
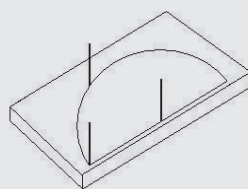


Рис. 7а и 7б: Использование горизонтального гониометра.

В бумажном квадранте (рис. 4) с указанными углами крючков (рис. 3) так, чтобы один из крючков находился в положении 0° (рис. 3). Свяжите веревку сверху, а на другом конце прикрепите небольшой груз.

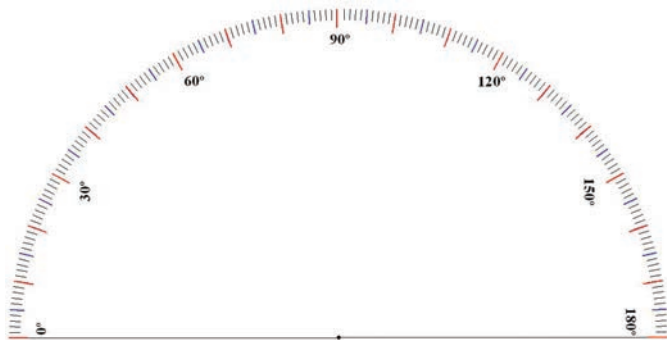


Рис. 8: Градуировка 180 градусов для приклеивания к горизонтальному гониометру.

### Как им пользоваться?

- При просмотре объекта через два крючка строка указывает на угловое положение  $0^\circ$  по отношению к горизонту (рисунок 5б).

- Соломинка, проходящая через крючки, является отличным средством просмотра, которое позволит нам измерить высоту Солнца, проецируя изображение на кусок белого картона. **ВНИМАНИЕ: НИКОГДА НЕ СМОТРИТЕ ПРЯМО НА СОЛНЦЕ!!!**

### Предложенные упражнения:

*Какова широта школы?*

Мы будем использовать квадрант для измерения высоты Полярной звезды. Ширина места равна высоте полюса в этом месте (рис. 6). Вы также можете с помощью этого квадранта вычислить (на уроке математики) высоту школы или другого близлежащего здания.

### Горизонтальный гониометр

Упрощенная версия горизонтального гониометра может быть использована для определения второй координаты, необходимой для определения положения небесного тела.

### Для построения инструмента

Вырезать картонный прямоугольник размером 12x20 см (рис. 7а). Прикрепим полукруг из бумаги (рис. 8) с указанными углами так, чтобы диаметр полукруга был параллелен самой длинной стороне прямоугольника. Используя 3 "иголки" можно отметить два направления в гониометре (рис. 7б).

### Как он используется

- Если мы хотим измерить азимут звезды, то выравниваем стартовую линию полукруга в направлении Север-Юг.
- Азимут - это угол между линией Север-Юг и линией, проходящей через

центр окружности и направление тела.

### Предлагаемые упражнения

#### Каково положение луны сегодня вечером?

Используйте квадрант и горизонтальный гониометр для вычисления высоты и азимута Луны. Для изучения движения Луны ночью, вы можете определить две координаты три раза в час. Таким образом, можно сравнить движение Луны со звездами на небе.

### Планисфера

карты звезд - в зависимости от широты. Мы строим одну из них, но рекомендуем расширить ее с помощью ксерокса.

**Чтобы построить план-сферу:** Мы используем ксерокопию созвездий неба на "белом" диске и поместим ее в держатель в зависимости от вашей широты, близкой к экватору.

### Северное полушарие

Для мест в северном полушарии с широтами от 0 до 20 градусов необходимо подготовить две плоскости, по одной на каждый горизонт. Для построения северного горизонта вырежем окно рис. 9а непрерывной линией соответствующей широты и сложим его по пунктирной линии, чтобы образовался карман. Внутри разместим звездную карту фигуры 10а. Теперь у нас есть плоскость северного горизонта. Продолжим по аналогии строить плоскость южного горизонта. Разрезая и сгибая, как и прежде, окно фигуры 9б в размещении внутри звездной карты на рисунке 10а. Будем использовать обе плоскости по мере того, как будем смотреть на горизонт северный или южный.

Когда мы хотим наблюдать в северном полушарии с широтами от 30 до 70 градусов, достаточно вырезать окно на рисунке 9д по сплошной линии и согнуть пунктирную линию, чтобы получить карман, в котором разместим круг звезд, который мы вырезали выше (рисунок 10а).

### Южное полушарие

Для мест в южном полушарии с широтами от 0 до 20 градусов необходимо подготовить

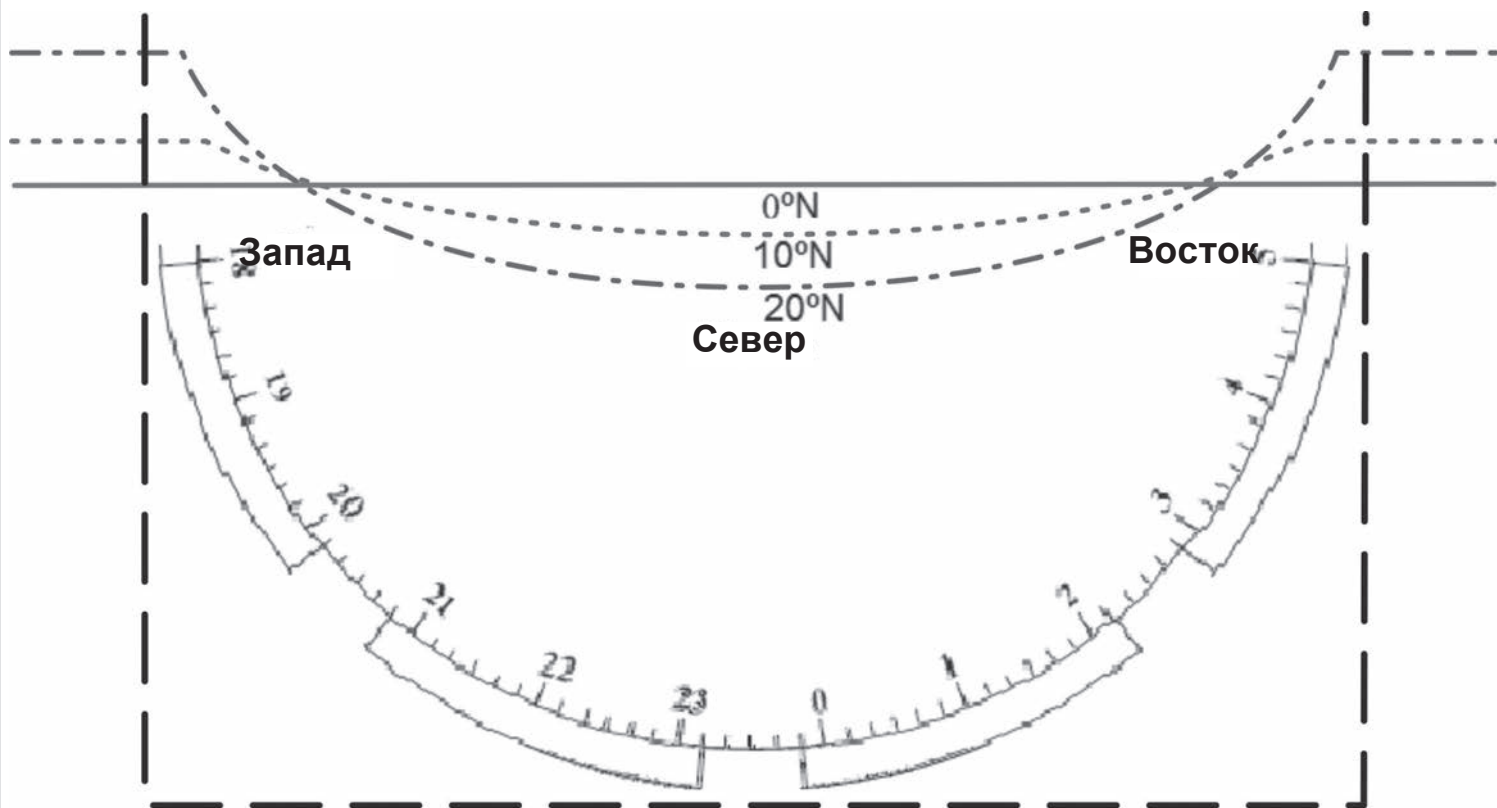


Рис. 9а: Карман северного горизонта в северном полушарии (0, 10 и 20 северная широта).

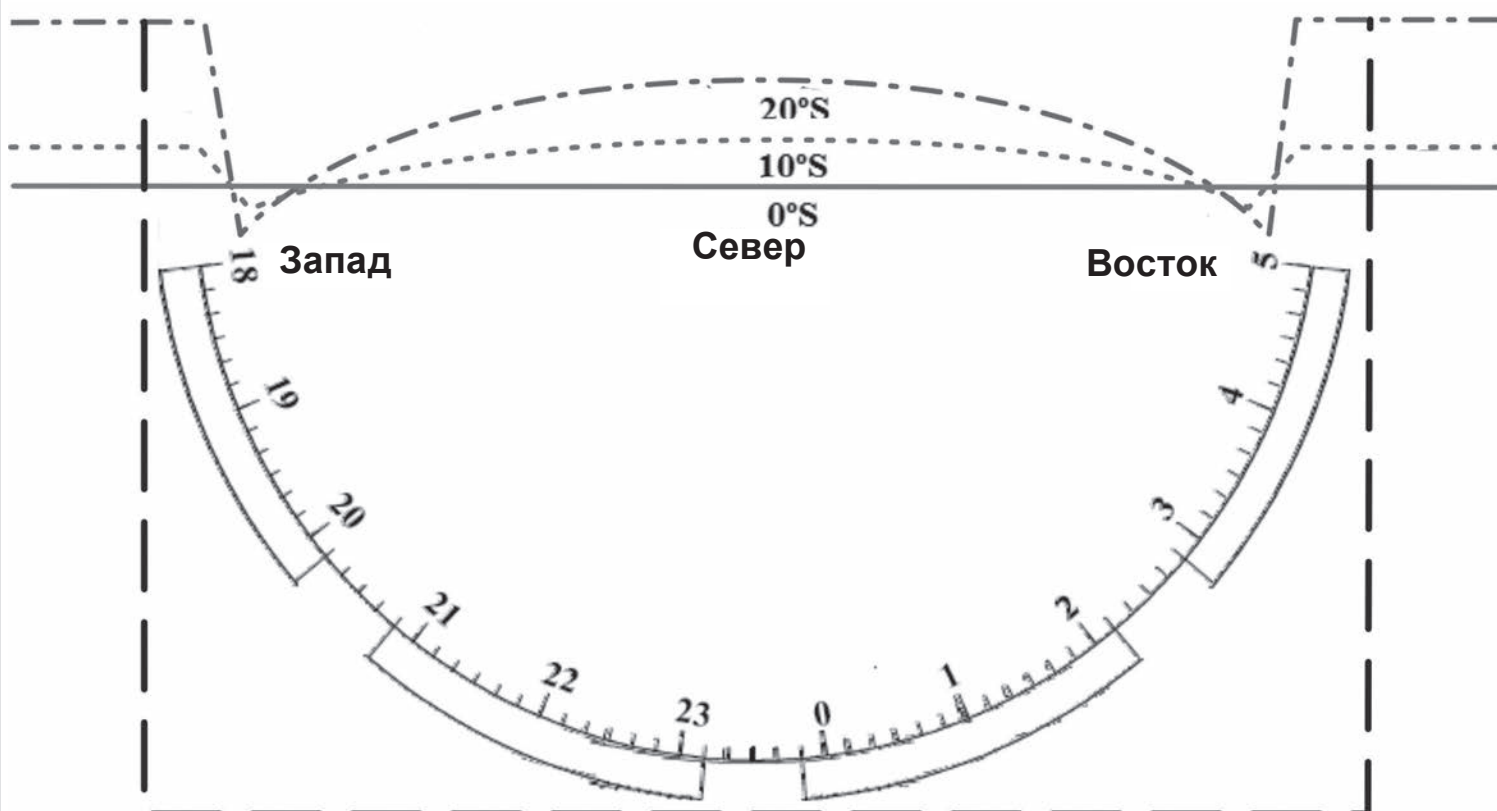


Рис. 9б: Карман южного горизонта в северном полушарии (0, 10 и 20 северной широты).

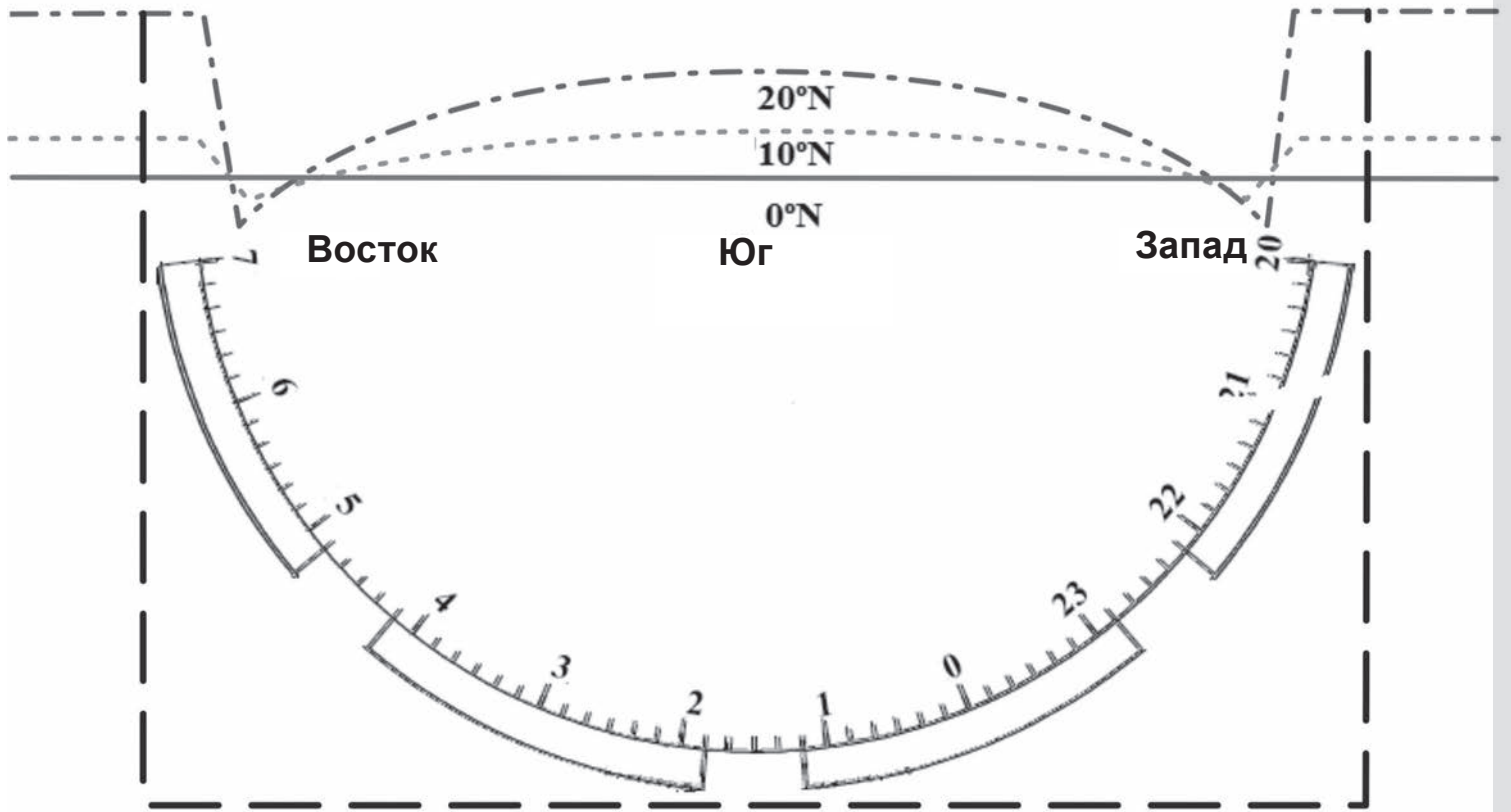


Рис. 9в: Карман северного горизонта в южном полушарии (широта 0, 10 и 20 ю. ш.).

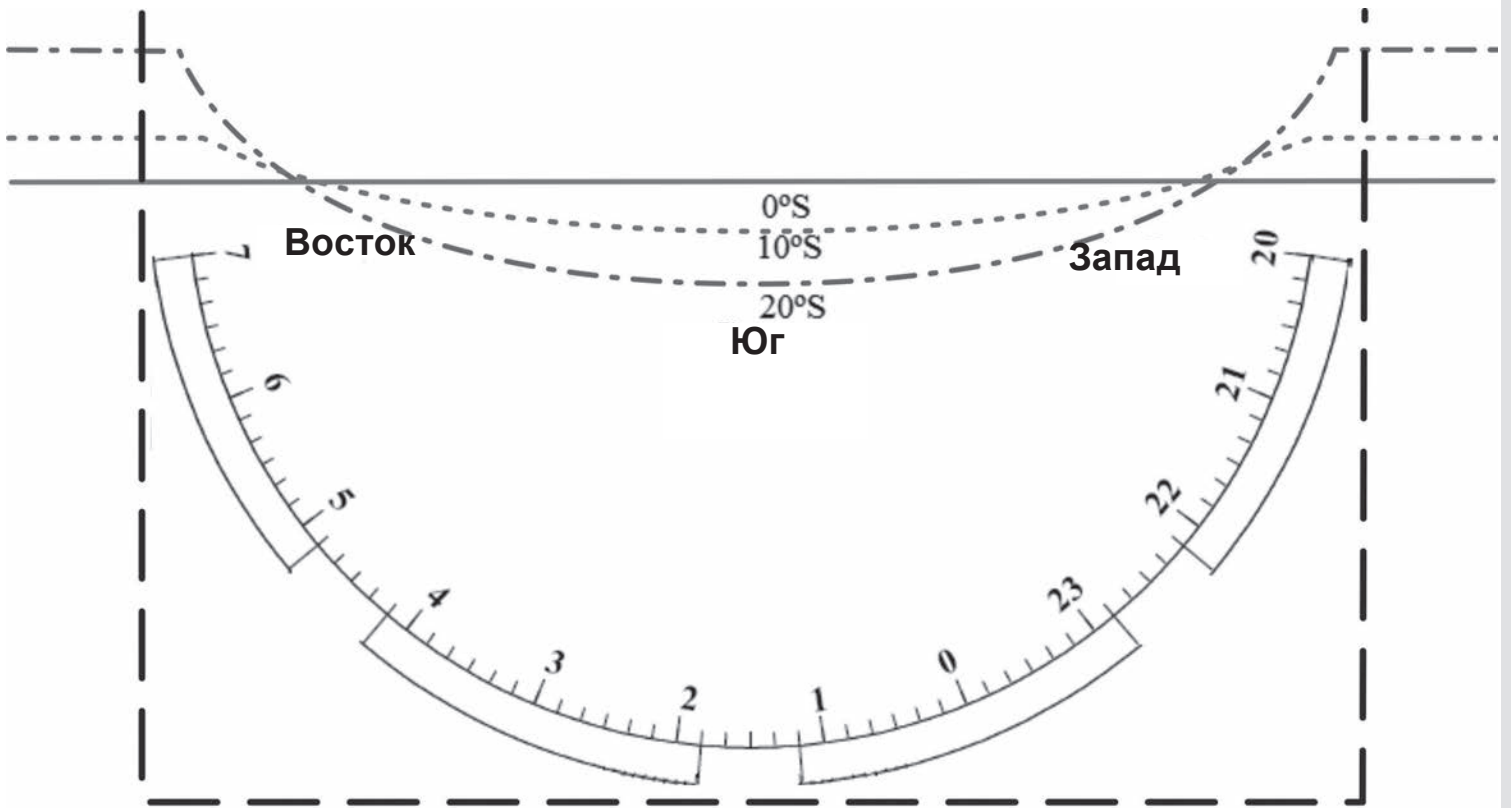


Рис. 9г: Карман южного горизонта в южном полушарии (широта 0, 10 и 20 Юг).

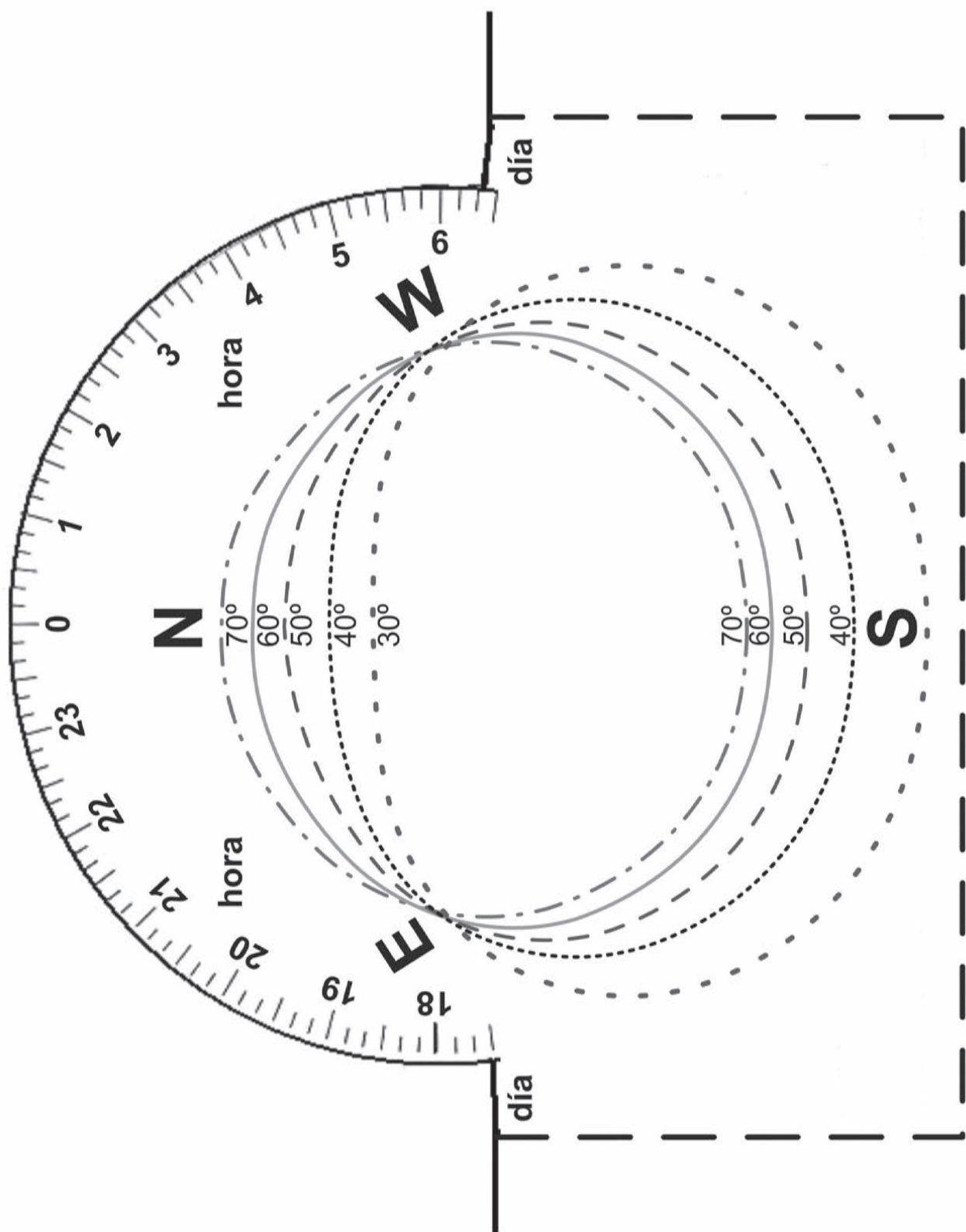


Рис. 9д: Карман для обоих горизонтов в северном полушарии. Широты 30, 40, 50, 60 и 70 северной широты.

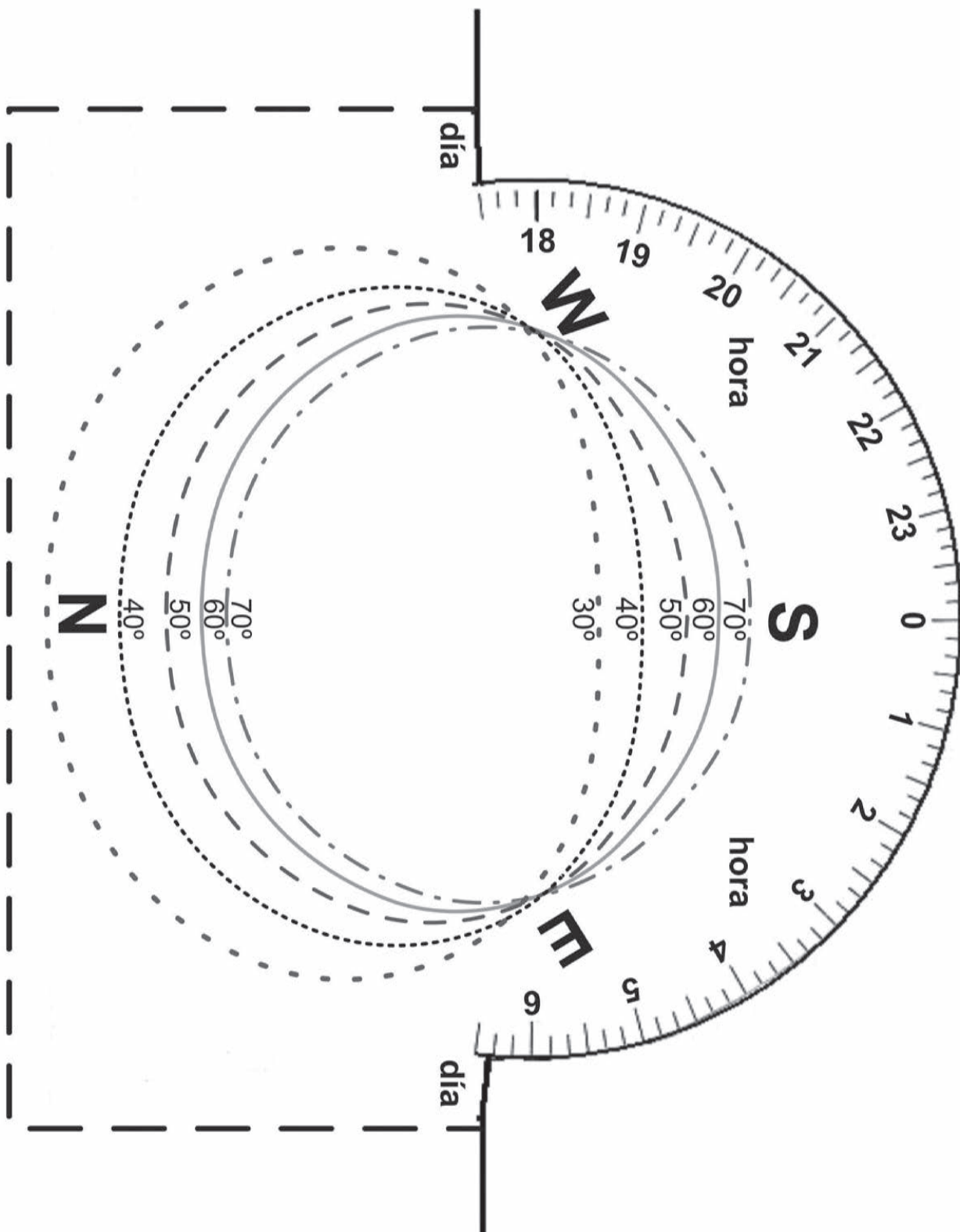


Рис. 9е: Карман для обоих горизонтов в южном полушарии. Широты 30, 40, 50, 60 и 70 южного полушария.

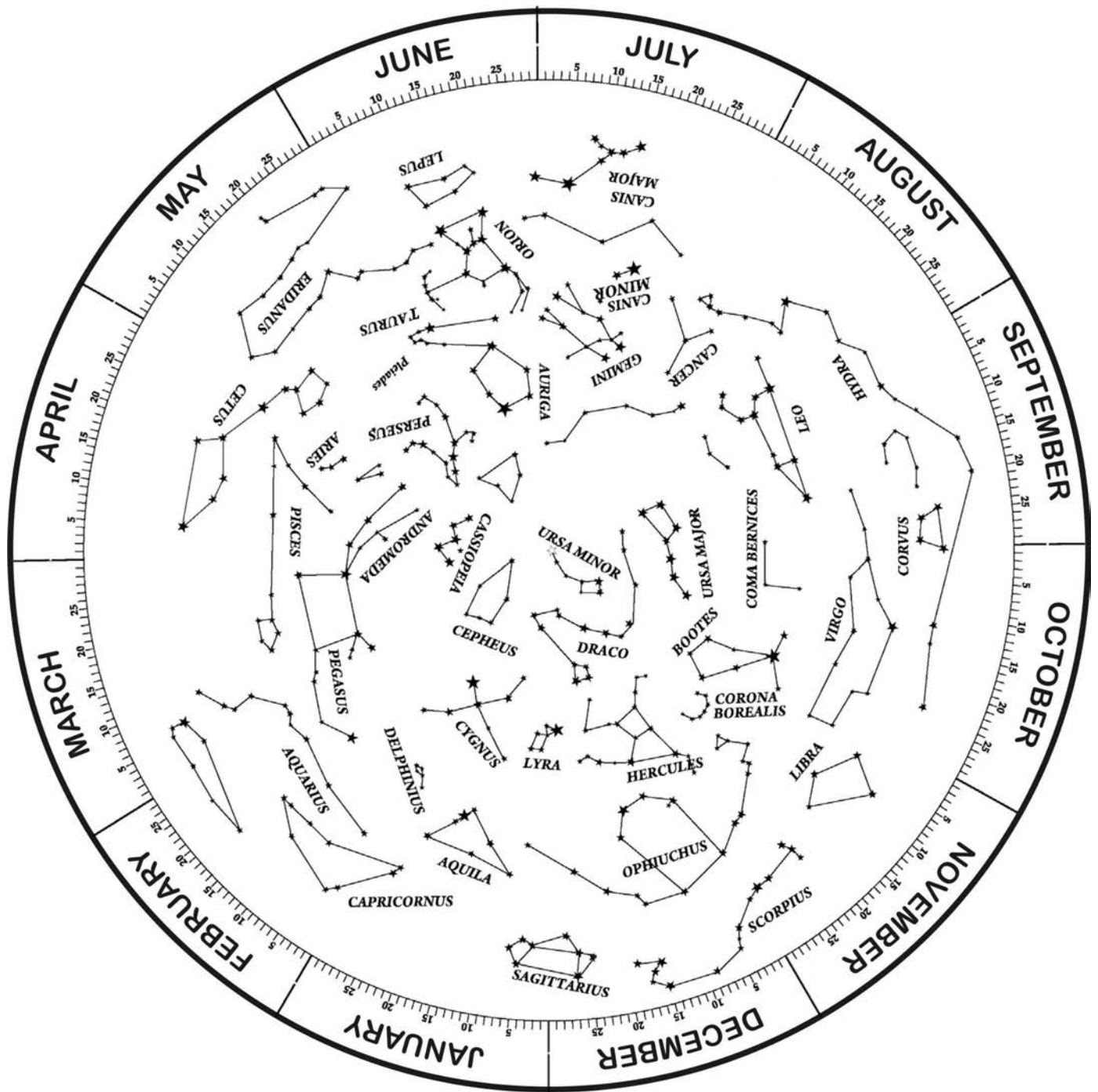


Рис. 10а: Диск или карта звезд, которая находится в кармане. Северное полушарие.





две плоскости, по одной на каждый горизонт. Сначала мы строим северный горизонт. Вырезаем окно фигуры 9в непрерывной линией соответствующей широты и складываем его пунктирной линией, образуя карман. Внутри разместим звездную карту фигуры 10б. С помощью этой операции мы получим плоскость северного горизонта. Аналогично строим плоскость южного горизонта. Разрезая и сгибая, как и прежде, окно рис. 9г в размещении внутри звездной карты на рис. 10б. Будем использовать обе плоскости по мере того, как будем смотреть на горизонт северный или южный.

Когда мы хотим видеть в южном полушарии с широтами от 30 до 70 градусов, достаточно вырезать окно на рис. 9е сплошной линией и согнуть пунктирную линию, чтобы получить карман, в который поместится круг звезд, который мы вырезаем выше (рис. 10б).

### Как пользоваться:



Рис. 11а и 11б: Как использовать спектроскоп

-Поместите дату того дня, когда мы будем смотреть в соответствии со временем наблюдения, вращая круг звезд, и используйте карту мира, глядя на небо в указанном направлении. Отобразится та часть неба, которая видна на небе.

-Примечание: В качестве зонтика используется плоскость. Это карта неба, и вы помещаете её над головой, чтобы распознать созвездия.

### Предлагаемые упражнения

#### Какое небо мы можем увидеть сегодня вечером?

*Используя созданную вами план-сферу для широты вашей школы, поворачивайте звездный диск до тех пор, пока сегодняшняя дата не совпадет со временем, когда вы планируете выйти на улицу и понаблюдать.*

Обратите внимание, что план-сфера - это "карта звезд", и вы должны поднять ее над головой "как зонтик" (это не карта вашего города!).

### Спектроскопия

Пропуская свет солнца через этот чувствительный инструмент, студент сможет визуализировать спектральное разложение света. Это простой способ для

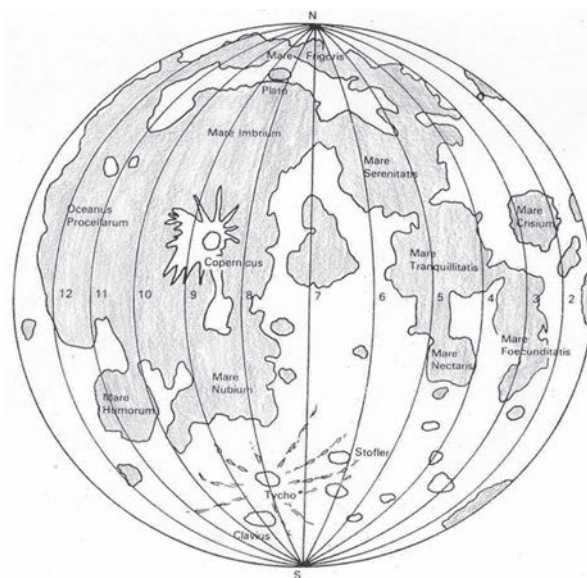


Fig. 12:Схематическая карта Луны.

студентов наблюдать за звездным спектром с помощью инструмента, созданного их собственными руками.

**Как сделать спектроскоп:** Нарисуйте (такого размера, который обычно используется на кухне). Сделайте продольный разрез (рис. 11б), через который студент может наблюдать за спектром. Разрежьте поврежденный (или иным образом непригодный) компакт-диск на 8 равных частей и поместите одну из частей внутри коробки, на дне, записываемой поверхностью вверх. Закройте коробку, оставив открытой только небольшую часть, напротив которой вы построили просмотровую щель.

#### Как его использовать:

-Ориентируйте спичечный коробок так, чтобы солнечный свет падал через открытую секцию, и наблюдайте через просмотровую щель (рис. 11а).

- Внутри спичечной коробки вы увидите, как



- развивать свои творческие способности и умение работать руками;
  - Понимать важность систематического сбора данных;
  - Облегчить понимание более сложных инструментов;
  - Признать важность наблюдения невооруженным глазом, тогда и сейчас.
- .....

## Библиография

- Palici di Suni, C., First Aid Kit. *What is necessary for a good astronomer to do an Observation in any moment?*, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 99, 116, Barcelona, 2005.
- Palici di Suni, C., Ros, R.M., Viñuales, E., Dahringer, F., *Equipo de Astronomía para jóvenes astrónomos*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Vol. 2, 54, 68, Barcelona, 2006.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.



# Спектр Солнца и пятна на Солнце

Александра Коста, Беатрис Гарси, Рикардо Морено

Международный астрономический союз (Португалия), Национальный технологический университет (Мендоса, Аргентина), Школа Retamar (Мадрид, Испания)

## Краткое содержание

Этот семинар состоит из теоретических представлений о спектре Солнца, которые можно использовать в средней школе. Задания подходят для начального и среднего уровня.

Солнце – это главный источник излучения, который излучает почти во всем диапазоне длин волн. Так как наша атмосфера поглощает некоторые длины волн, выходящие за рамки видимого спектра, мы будем рассматривать эксперименты, связанные только с тем диапазоном, который присутствует в повседневной жизни юных астрономов. Другие диапазоны будут рассмотрены в следующем семинаре.

В начале мы рассмотрим основные теоретические знания, а затем перейдем непосредственно к экспериментам, которые смогут продемонстрировать эти теоретические познания. Это в основном простые эксперименты, которые учителя могут воспроизвести в классе, вводя такие определения как поляризация, поглощение, излучение абсолютно черного тела, непрерывный спектр, спектр излучения, спектр поглощения (например солнечный) и линии Фраунгофера.

Мы также расскажем, в чем отличие непрерывного солнечного излучения и корональных выбросов в солнечных пятнах. Кроме того, мы поговорим о свидетельствах вращения Солнца и о том, как эту концепцию можно использовать в школьных проектах.

## Задачи:

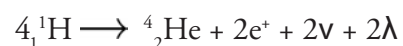
- Понять, что такое спектр Солнца.
- Понять спектр солнечного излучения.
- Понять, что такое солнечные пятна.
- Понять историческое значение солнечных пятен и работы Галилея о вращении

Солнца.

- Понять некоторые характеристики света, такие как поляризация, дисперсия и т. д.

## Солнечное излучение

Солнечная энергия создается внутри Солнца в области, которая называется ядром, где температура достигает примерно 15 миллионов градусов и давление очень высокое. Условия давления и температуры в этой области обычно позволяют протекать ядерным реакциям (термоядерным реакциям). В основной ядерной реакции, которая происходит в ядре Солнца, четыре протона (ядра водорода) превращаются в альфа-частицы (ядра гелия), которые создают два позитрона, два нейтрино и два гамма-фотона, что можно увидеть из уравнения, приведенного ниже:



Масса полученной альфа-частицы меньше, чем если сложить четыре протона вместе. Потерянная масса в соответствии с уравнением, открытым Эйнштейном, преобразуется в энергию:

$$E=mc^2$$

Каждую секунду примерно 600 миллионов тонн водорода превращаются в гелий примерно от 4 до 5 миллионов тонн

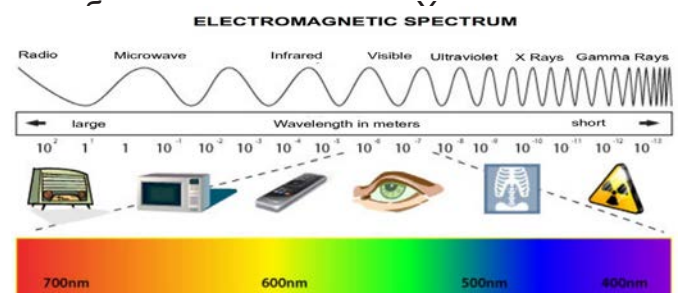


Рис. 1: Солнечный спектр

показаться большой потерей массы, но благодаря этому Солнце может работать так миллиарды лет. И энергия, зародившаяся в ядре, проделывает долгий путь, прежде чем достичь поверхности Солнца.

Энергии, произведённой в недрах Солнца, предстоит долгий путь к поверхности Солнца.

После излучения фотона Солнцем энергия будет распространяться через космос со скоростью 299 793 км / сек в виде электромагнитного излучения.

Электромагнитное излучение имеет длины волн или частоты, которые обычно сгруппированы в разных областях, как показано на рисунке 1.

Частота  $\nu$ , длина волны  $\lambda$  и скорость света связаны между собой выражением:

$$c = \lambda \nu$$

Хотя Солнце является источником излучения на многих длинах волн, мы будем использовать в основном для наших экспериментов видимый спектр. За исключением радиочастот и небольших диапазонов инфракрасного и ультрафиолетового излучения, видимый диапазон света — это те длины волн, для которых наша атмосфера прозрачна (рис. 3), и нам не нужно использовать сложное

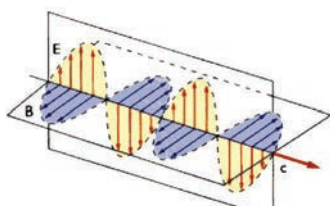


Рис. 2: Поляризация света

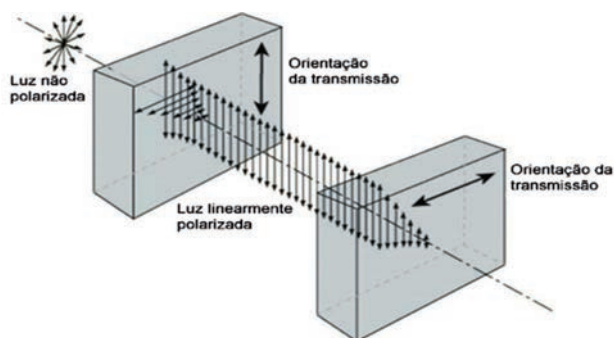


Рис. 3: Когда два фильтра имеют перпендикулярную ориентацию прохождения света, то свет, проходящий через первый фильтр, закрывается вторым фильтром.

оборудование для наблюдения в этом диапазоне. Поэтому они лучше всего подходят для экспериментов в классе.

## Поляризованный свет

Идеальное электромагнитное излучение, излучение с линейной поляризацией, имеет профиль, как показано на рисунке 2.

Солнечный свет не имеет преимущественного направления, но может поляризоваться при отражении под определенным углом или при прохождении через определенные фильтры, называемые поляризаторами.

Свет, проходящий через один из этих фильтров (рисунок 3), колеблется только в одной плоскости. Если вы добавите второй фильтр, могут произойти две вещи:

- 1) когда два фильтра имеют параллельную поляризацию, свет проходит через оба из них (рисунок 4а)
- 2) но если они имеют перпендикулярную поляризацию, свет, проходящий через первый фильтр, закрывается вторым. (рисунок 3) и фильтры становятся непрозрачными (рисунок 4б).

Многие солнцезащитные очки поляризованы для фильтрации отраженного света, которого много на снегу или на море, который обычно поляризован (рисунки 5а и 5б).



Рис. 4а: Если фильтры имеют одинаковую ориентацию, свет проходит.

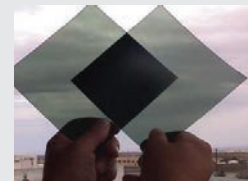


Рис. 4б: Если один из фильтров повернут на 90°, свет не проходит.

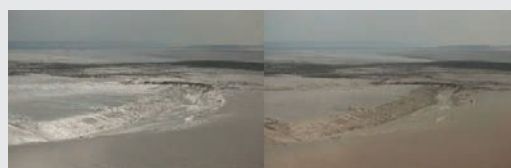


Рис. 5А и 5б: Отраженный свет, сфотографированный с поляризационным фильтром (справа) и без него (слева).

Поляризационные фильтры также используются в фотографии, с их помощью устраняются отражения и небо становится темнее.

В 3D-кино записывают фильм двумя камерами на расстояние, как между глазами человека. Затем в кинотеатрах их показывают с двух проекторов, используя поляризованный свет в перпендикулярном направлении. Зрители носят специальные очки с различными поляризационными фильтрами в перпендикулярном направлении. Это означает, что каждый глаз видит только одно из двух изображений, а зритель видит изображения в 3D.

### Эксперимент 1: Поляризованный свет

Для того чтобы сделать поляризационный фильтр, разрежьте по переносице бесцветные 3D-очки (зеленые и красные очки в этом эксперименте нельзя использовать), чтобы получились две части и можно было выполнить действия, как показано на рисунках 4а и 4b. Вы также можете взять две пары солнцезащитных очков или 3D-очков и сориентировать их так, чтобы продемонстрировать поляризацию, если вы не хотите ломать очки.

Многие солнечные очки имеют поляризационные фильтры, и компьютеры с жидкокристаллическим экраном (LCD) и телевизоры (но не плазменные) также излучают поляризованный свет. Вы можете проверить оба варианта, посмотрев на экран ноутбука в солнечных очках и повернув голову. Если они поляризованы, то под определенным углом экран станет черным. Некоторые пластмассы и стекла в зависимости от их толщины и состава влияют на проходящий через них поляризованный свет. Если вы посмотрите на них в поляризованных очках, вы увидите свет разного цвета.

несколько полосок скотча на кусочек стекла (например от фотокамеры), так чтобы в одной части три кусочка скотча перекрывали друг друга, а в других двух частях пересекались только один раз (см. на рис. 6). На телевизор или компьютер с

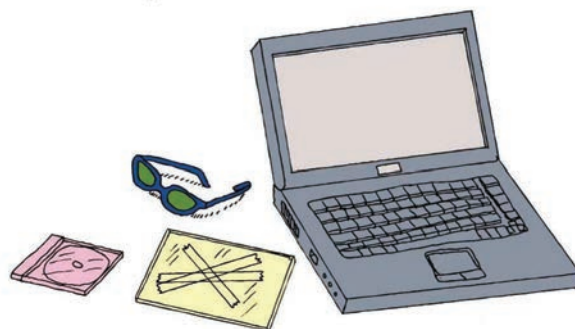


Рис. 6: Свет от жидкокристаллического дисплея компьютера поляризован, и лента поворачивает угол поляризации. Цвета видны при просмотре через поляризованные солнцезащитные очки.

жидкокристаллическим экраном отобразите изображение, в котором основным цветом является белый цвет, например пустой документ в текстовом редакторе. Поместите стекло перед экраном и смотрите в поляризованные солнцезащитные очки. Если повернуть стекло со скотчем, вы увидите, что скотч меняет цвета. Вместо стекла можно использовать прозрачный пластиковый футляр для компакт-дисков. Вы увидите точки, в которых пластика больше. Если вы согнете пластик, вы увидите изменение цвета пластика при просмотре в поляризованном свете и фильтрах.

### Структура Солнца в первом приближении

Солнце имеет структуру, которая может быть описана пятью частями:

1) Ядро и зона лучистого переноса - это области, в которых происходят реакции термоядерного синтеза. Температура внутри этой области составляет 15 миллионов Кельвинов (K), а в лучистой зоне немного ниже, около 8 000 000 K. Энергия передается излучением и переизлучением через область, ближайшую к ядру. Излученный фотон из ядра имеет направление, никак не зависящее от направления поглощенного фотона и может как проникнуть в следующий слой плазмы в лучистой зоне, так и переместиться назад, в нижние слои. Этот процесс можно рассматривать как две отдельные области (ядро и зона лучистого переноса), но очень трудно сказать, где заканчивается одна и



начинается другая, потому  
что их функции смешаны.

2) Конвективная зона – это область, где энергия переносится конвекцией, она имеет температуру ниже 500 000 К. Она начинается от 0.3 солнечных радиуса и заканчивается чуть ниже фотосферы.

3) Фотосфера – мы можем рассматривать её как «поверхность» Солнца, и она является источником поглощения и непрерывного спектра излучения. Фотосфера имеет температуру от 6400 до 4200 К. Это область разбивается на ячейки размером около 1000 км, которые существуют всего несколько часов. Кроме того, на ней обычно есть более холодные участки («всею» 4200 К), которые выглядят как темные пятна.

4) Хромосфера находится вне фотосферы и имеет температуру от 4200 до 1 миллиона К. Она похожа на вертикальные волокна, напоминающие «горящую прерию», с выступами (неровностями) и бликами.

5) Корона является источником солнечного ветра и имеет температуру от одного до двух миллионов К. Верхняя граница короны Солнца до сих пор не установлена. Земля, так же как и другие планеты, находится внутри короны.

## Эксперимент 1: Простая модель строения Солнца

Этот эксперимент может быть выполнен с маленькими детьми. Задача – вырезать различные фигуры на рисунке ниже (см. рис. 7 и 8). Эти фигуры можно вырезать из листов цветной бумаги или раскрасить в следующие цвета: корона - белая, хромосфера - красная, фотосфера - желтая, зона конвекции - оранжевая, зона лучистого переноса - синяя, а ядро - бордовое.

После того, как вы вырежете все части Солнца, их можно наклеить один на другой в правильном порядке (размер каждой части также указывает порядок).

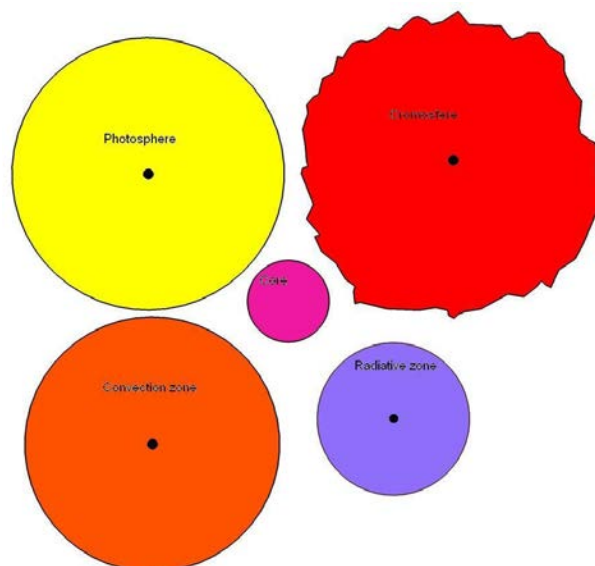


Рис. 7: Слои Солнца для вырезания

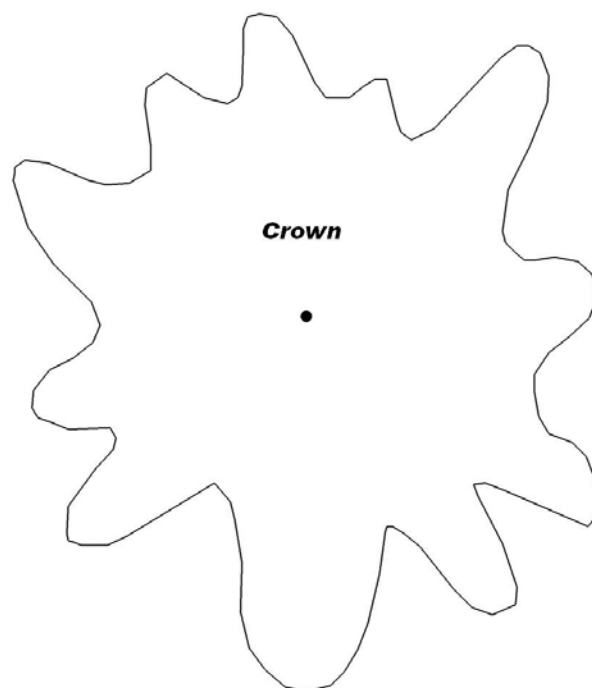


Рис. 8: Корона Солнца для вырезания

## Солнечные пятна

Часто в фотосфере наблюдаются темные пятна, называемые солнечными пятнами. Солнечное пятно обычно состоит из темной центральной области, называемой тенью, окруженной областью ярких и темных волокон, исходящих из тени. Волокна солнечных пятен окружены типичными гранулами фотосферы (рис. 9).

небольшой телескоп пятна кажутся черными, но это только эффект контраста. Если бы вы могли наблюдать это пятно изолированно, оно было бы ярче, чем полная луна.

Разница в интенсивности пятен объясняется тем, что температура пятна на 500–2000 °С ниже температуры окружающей фотосферы. Солнечные пятна являются результатом взаимодействия сильных вертикальных магнитных полей с фотосферой.

Солнечные пятна имеют большое историческое значение, поскольку они позволили Галилео Галилею определить период вращения Солнца и убедиться, что его вращение было дифференциальным, то есть Солнце вращалось быстрее на

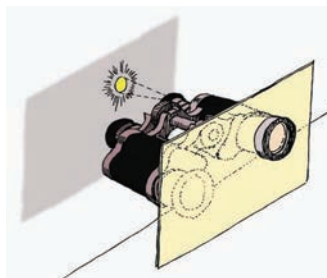


Рис. 10b: Наблюдение через проекцию в бинокль (никогда не смотрите прямо на Солнце).

Если вы наблюдаете солнечные пятна в течение нескольких дней, движение пятна будет похоже на пример на рисунке 11.

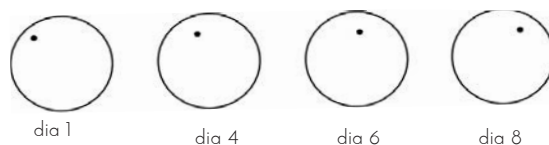


Рис. 11: Изменение положения пятна за несколько дней.

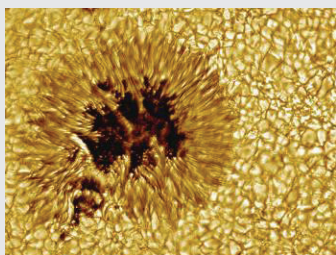


Рис. 9: Крупный план солнечного пятна. (Фото: Vacuum Tower Telescope, NSO, NOAO)

экваторе (период вращения 25.05 дня), чем на полюсах (период вращения 34.3 дня).

### Эксперимент 3: Определение периода вращения Солнца

Простой пример, который вы можете продемонстрировать в классе – это измерение периода вращения Солнца с использованием солнечных пятен. В этом эксперименте вы должны отслеживать солнечные пятна в течение нескольких дней, чтобы измерить вращение Солнца. Наблюдения за Солнцем всегда следует производить с помощью проекции на стену или картон с помощью телескопа (см. рис. 10а) или бинокль (см. рис. 10b). Мы лишним раз подчеркиваем, что никогда нельзя смотреть на Солнце прямо, и тем более в бинокль или телескоп, поскольку это может нанести непоправимый вред глазам.



Рис. 10а: Наблюдение за Солнцем через проекцию в телескоп (никогда не смотрите прямо на Солнце).

Наложите наблюдения на кальку или один рисунок, как показано на рис.12. Затем период можно оценить с помощью простой пропорции:

$$\frac{T}{t} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

Где  $t$  – указывает интервал времени между двумя наблюдениями одного и того же пятна,  $\alpha$  – это центральный угол между смещением двух рассматриваемых пятен (рисунок 12), а  $T$  - период вращения Солнца, который мы хотим вычислить. Этот расчет дает хороший уровень точности.

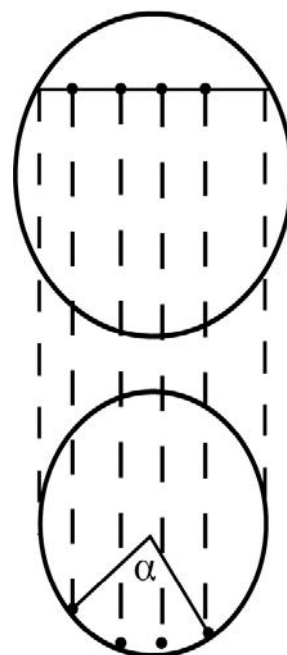


Рис. 12: Расчет углового вращения пятен.

На рис. 13 показан реальный пример, который представляет собой наложение двух фотографий, сделанных 12 августа 1999 года и 19 августа того же месяца и года. Рисуем круг для Солнца и отмечаем линию от центра к каждому из пятен. Затем мы измеряем угол между двумя линиями и получаем 92°. Следовательно, период вращения Солнца будет

$$T = \frac{360^\circ \cdot 7 \text{ дней}}{92^\circ} = 27,3 \text{ дней}$$

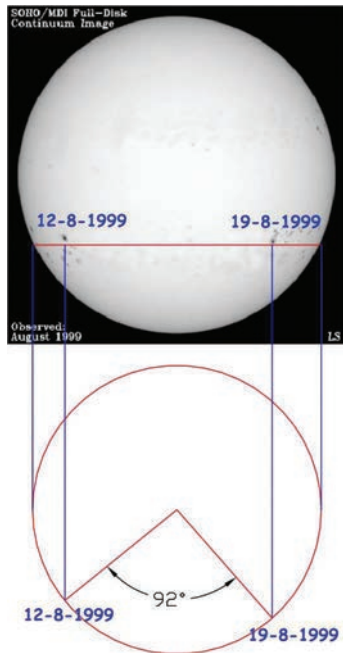


Рис. 13: Определение периода вращения Солнца.

### Излучение, приходящее от Солнца

Солнце - это большой ядерный реактор, в котором огромное количество энергии непрерывно производится и транспортируется к поверхности в виде фотонов. Фотоны - это частицы, ответственные за электромагнитное излучение, количество переносимой ими энергии можно рассчитать по формуле:

$$E = h \cdot \nu$$

где  $E$  - энергия фотона,  $h$  - постоянная Планка ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ) и  $\nu$  - частота, на которой происходит излучение данного фотона. Фотоны, генерируемые Солнцем, отвечают за его спектр.

Общая светимость (или мощность) Солнца огромна: каждую секунду оно излучает больше энергии, чем триллионы атомных бомб. Мы можем представить распространение этой энергии через

пространство в виде раздувающегося пузыря, который становится все больше и больше с расстоянием.

Площадь пузыря равна  $4\pi R^2$ . Если мощность излучения Солнца  $P$ , то энергия, проходящая (за секунду) через квадратный метр на расстоянии  $R$  равна:

$$E = \frac{P}{4\pi R^2}$$

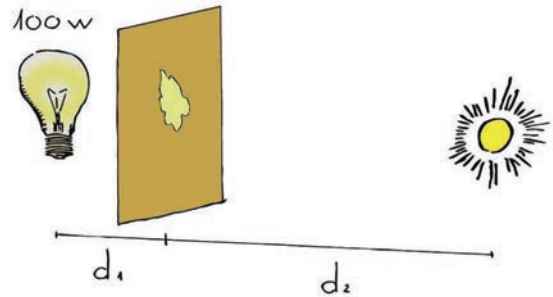


Рис. 14: Сравнение светимости Солнца с лампочкой в 100 Вт.

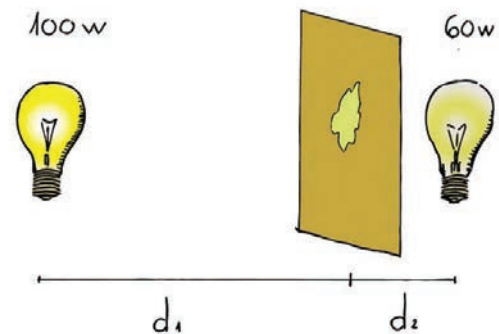


Рис. 15: Если свет, который достигает каждой стороны одинаков, то масляное пятно не видно.

Другими словами, энергия передается как обратный квадрат расстояния. И если мы знаем расстояние до объекта, мы можем вычислить его полную мощность.

### Эксперимент 4 : Определение светимости Солнца

Светимость или мощность Солнца - это энергия, излучаемая им за секунду. Солнце действительно является очень мощным источником света. Давайте оценим его светимость в сравнении с лампочкой на 100 Вт (рис. 14).

Мы можем построить фотометр, который позволит нам сравнивать яркость двух



Рис. 16: Фотометр масляного пятна между двумя лампочками.

источников света. Для этого на середину оберточной бумаги капните пару капель масла (подойдет и обычная белая бумага). Образующееся пятно делает бумагу немного прозрачной, и это будет наш фотометр. Поместив его между двумя источниками света (рис. 14–16), можно отрегулировать расстояние так, что пятно исчезнет. При таком расположении освещения с обеих сторон бумаги энергия, поступающая с каждой стороны, будет одинакова. В этом случае:

$$\frac{100}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{60}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$

В солнечный день вынесите фотометр на улицу с лампочкой не менее 100 Вт (чем ярче, тем лучше). Поместите фотометр между солнцем и лампочкой на таком расстоянии, чтобы обе стороны фотометра казались одинаково яркими. Измерьте расстояние  $d_1$  в метрах от фотометра до нити накала лампочки.

Зная, что расстояние от Солнца до Земли составляет примерно  $d_2 = 150\,000\,000$  км, мы можем вычислить мощность Солнца  $P$  по закону обратных квадратов (множитель  $4 \cdot \pi$  сокращается, поскольку он находится по обе стороны уравнения):

$$\frac{100 \text{ Вт}}{d_1^2} = \frac{P_{\text{Sol}}}{d_2^2}$$



Рис. 17: Фотонам требуется 1 миллион лет, чтобы покинуть фотосферу.

Результат должен быть близок к реальной светимости Солнца, которая составляет  $3.83 \cdot 10^{26}$  Вт.

## Непрозрачность

Энергии высокоэнергетичного фотона, произведенного в ядре Солнца, потребуется до 1 миллиона лет, чтобы достичь фотосферы, поскольку она вырабатывается в самых внутренних частях Солнца, где фотоны взаимодействуют с очень плотным веществом. Взаимодействия между фотонами и веществом происходят в больших количествах в ядре, но их число уменьшается по мере приближения к фотосфере. Фотоны проходят зигзагообразный путь (рис. 17) от ядра до внешних частей Солнца, что может занять многие тысячи лет.

Когда излучение достигает фотосферы, то есть атмосферы Солнца, излучение выходит наружу, практически не взаимодействуя и в большом диапазоне длин волн, создавая непрерывный спектр излучения, который мы видим в фотосфере. Это происходит потому, что ядро и внутренняя часть Солнца непрозрачны для всех длин волн излучения, а его атмосфера прозрачна. В астрономии понятия непрозрачности и прозрачности несколько отличаются от их повседневного использования.

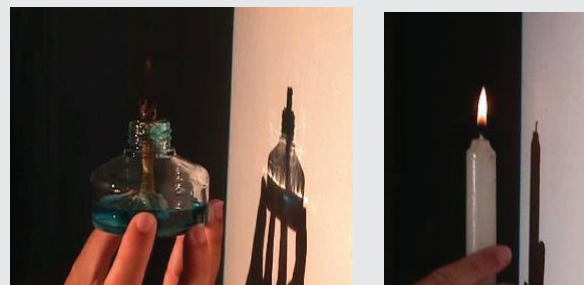


Рис. 18а и 18б: Спиртовая лампа или пламя свечи не оставляют тени на стене. Обратите внимание, что стекло не полностью прозрачно.

Газ может быть прозрачным или непрозрачным в зависимости от того, как он поглощает или рассеивает фотоны, проходящие через него. Например, наша атмосфера прозрачна для видимых длин волн. Однако в туманный день мы мало что видим, поэтому она непрозрачна.

Следует отметить, что прозрачность не означает невидимость. Пламя горелки или свечи прозрачно для длин волн диапроектора.

## Эксперимент 5: Прозрачность и непрозрачность

Можно продемонстрировать эти концепции, используя горелку или свечу (горелка лучше свечи, потому что из-за неполного сгорания свечи иногда выделяют непрозрачный черный дым, который будет виден в пламени). Эксперимент очень прост. Поместите прозрачные и непрозрачные предметы

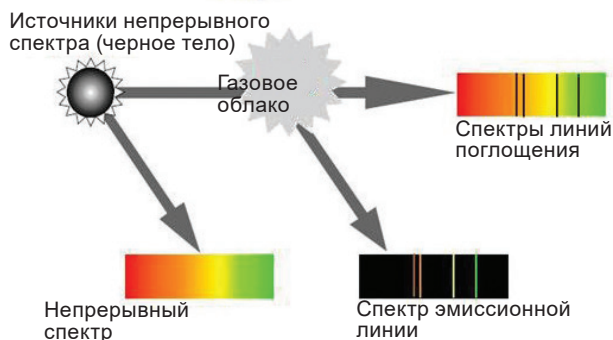


Рис. 19: Законы Кирхгофа и Бунзена.

в лучи света, проецируемые на стену или экран диапроектором, и спросите обучающихся, прозрачный ли они. Для обычных предметов большинство людей знает ответ.

Пламя свечи, горелки или зажигалки также прозрачно, и ученики удивляются, увидев, что пламя не оставляет тени на стене (рис. 18а и 18б). Вы можете объяснить, что это похоже на фотосферу Солнца, которая почти прозрачна для любого излучения.

## Спектр

В 1701 году Ньютон впервые использовал призму, чтобы разделить солнечный свет на составляющие его цвета. Любой свет можно рассеять с помощью призмы или дифракционной решетки, и вы получите его спектр. Спектры можно объяснить тремя

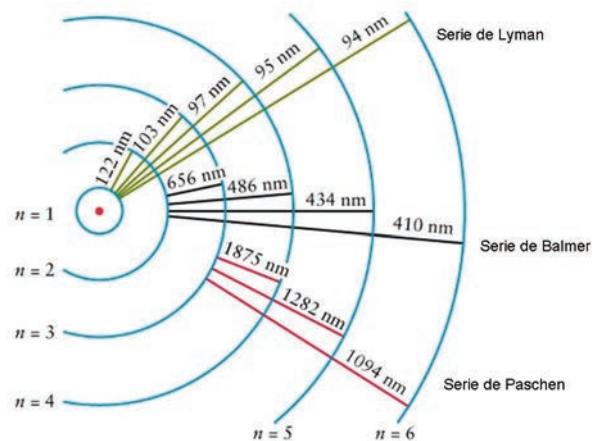


Рис.20: Спектральная серия излучения атома водорода. Возможные переходы между уровнями всегда имеют одинаковое количество энергии.

законами, открытыми Густавом Кирхгофом и Робертом Бунзеном в девятнадцатом веке. Эти три закона представлены на рис. 19.

Letter	Длина волны (мкм)	Химическое	Цветовой диапазон
A	7593,7	O <sub>2</sub> атмосферный	темно красный
B	6867,2	O <sub>2</sub> атмосферный	красный
C	6562,8	H alpha	красный
D1	5895,9	Нейтральный натрий	оранжево-красный
D2	5890,0	Нейтральный натрий	жёлтый
E	5269,6	Нейтральное железо	зелёный
F	4861,3	H beta	голубой

Таблица 1: Фраунгоферовы линии для Солнца.

•**1ый Закон** – нагреваемый плотный объект излучает свет непрерывного спектра.

•**2ой Закон** – горячий разреженный газ излучает свет со спектральными линиями на дискретных длинах волн в зависимости от химического состава газа (спектра излучения).

•**3ой Закон** – нагретый плотный объект, окруженный газом низкой плотности, создает непрерывный спектр с промежутками на дискретных длинах волн, положение которых зависит от химического состава газа и совпадает с положениями второго закона (спектр поглощения).

Линии излучения газа порождаются

переходами электронов между двумя энергетическими уровнями, которые происходят при взаимодействии фотонов с веществом. Как позже объяснил Нильс Бор, уровни энергии в атомах идеально квантованы, а излучаемые частоты всегда одинаковы, потому что разность энергий между уровнями постоянна (рис. 20).

Холодный газ может поглощать ту же энергию, что и горячий. Следовательно, если вы поместите газ между источником нагрева и спектроном, газ поглотит те же линии из непрерывного спектра источника, которые он излучает, будучи горячим, и создаст таким образом спектр поглощения.

Вот что происходит в атмосфере Солнца. Химические элементы, содержащиеся в газе солнечной атмосферы, поглощают частоты, связанные со спектральными линиями этих элементов. Этот факт был подтвержден Джозефом Фраунгофером в 1814 году, поэтому спектральные линии Солнца называются линиями Фраунгофера они перечислены в таблице ниже в соответствии с первоначальными буквенными обозначениями Фраунгофера (1817 г.) для линий поглощения в солнечном спектре.

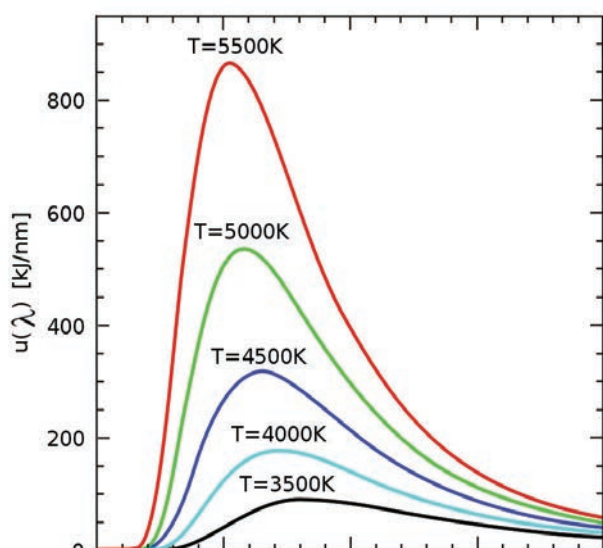


Рис. 21: Планковские кривые черного тела при разных температурах.

Важно понимать, что, анализируя свет, исходящий от Солнца или звезды, мы можем узнать, из чего они сделаны. Сегодня спектрографы высокого разрешения позволяют наблюдать в спектрах множество линий.

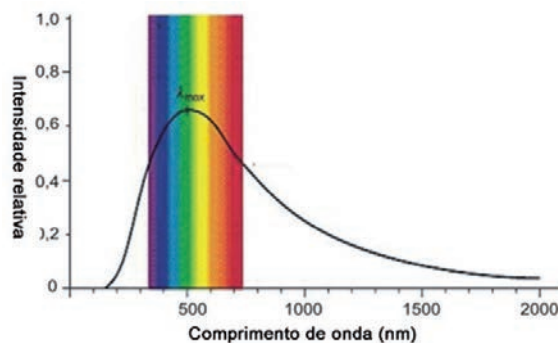


Рис. 22: Кривая излучения «непрерывного спектра» Солнца.

## Излучение абсолютно черного тела

Когда металл нагревается, он становится красным. В темноте металл становится видимым при температуре 400 °С. Если температура продолжает расти, то цвет металла становится оранжевым, желтым и даже синим, пройдя через белый цвет при температуре примерно 10 000 °С. И прозрачный, и непрозрачный металлический предмет будет излучать таким образом.

Когда черное тело (идеализированный объект, не отражающий свет) нагревается, оно испускает излучение во многих диапазонах длин волн. Интенсивность этого излучения на каждой длине волны можно представить кривой, называемой кривой Планка. На рис. 21 показаны кривые Планка для различных температур абсолютно черного тела. Кривая имеет пик на определенной длине волны, что дает нам доминирующий цвет объекта. Этот максимум длины волны  $\lambda_{\text{max}}$  связан с температурой тела по закону Вина:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$

где  $T$  - температура тела. Обратите внимание, что благодаря этому закону, изучая излучение, которое приходит к нам от удаленного объекта, мы можем узнать его температуру без необходимости отправляться туда и измерять температуру напрямую.

Примерами астрономических объектов, которые можно назвать непрозрачными черными телами, являются звезды (за исключением атмосферы и короны),

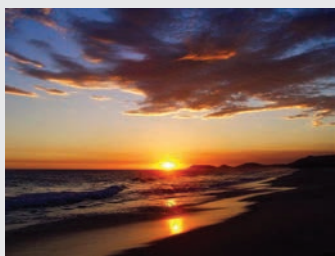


Рис. 23: Цвет неба определяется Рэлеевским рассеянием.



Рис. 24а: В начале свет, nk1rg:

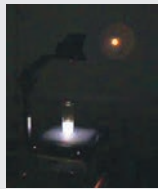


Рис. 24б: Если добавить немного раствора, свет станет желтым.

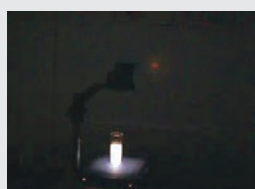


Рис. 24в: Когда стакан полон, свет, достигающий стены, становится красным.

планеты, астероиды или излучение космического микроволнового фона нашей Вселенной.

Закон Вина - это общий закон теплового излучения непрозрачных тел. Например, человеческое тело излучает в инфракрасной области с максимумом излучения на длине волны 9,4 мкм, как гласит закон Вина (при температуре 37°C или 310 K). Поэтому военные используют приборы для ночного наблюдения в диапазоне инфракрасного излучения.

Возвращаясь к Солнцу, поскольку атмосфера Солнца прозрачна, излучение черного тела определяется температурой в фотосфере, где Солнце становится непрозрачным (около 5800 K), поэтому это излучение черного тела должно иметь максимум на длине волны около 500 нм, как показано на рисунке. 22.

Наша атмосфера поглощает инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Интересно, что человеческий глаз эволюционировал, чтобы видеть только видимую часть солнечного света, которая достигает поверхности Земли.

## Рассеяние солнечного света

Когда луч белого света проходит через газ, содержащий частицы, размер которых

превышает длину волны света, свет не распространяется, и рассеиваются все длины волн. Это происходит, когда солнечный свет проходит через облако, содержащее маленькие капли воды (облако выглядит белым). То же самое происходит, когда свет проходит через крупинки соли или сахара. Но если свет рассеивается частицами, размер которых сопоставим с длиной волны (цветом) фотонов, то именно эти фотоны рассеиваются, а не остальные. Такое явление называется рассеянием Рэлея.

В нашей атмосфере синий свет рассеивается больше, чем красный, а фотоны прибывают к нам со всех сторон. Из-за этого небо выглядит голубым (рис. 23), а не черным, как в космосе. На рассвете или закате свет проходит через гораздо более толстый слой атмосферы и содержит меньше синего света, поэтому он кажется более желтым.

Именно поэтому когда свет проходит через большие толщины газа (например, туманности), он красный (потому что синий будет рассеиваться во всех направлениях, и только красный цвет будет приходить к наблюдателю с полной интенсивностью). Такое явление называется дисперсия Рэлея.

## Эксперимент 6: Поглощение и рассеяние

Для этого эксперимента требуется диапроектор (или любой другой источник интенсивного света), разбавленный молочный раствор в высоком стакане, кусок черного картона. Приготовить раствор молока можно добавлением в стакан с водой (50 мл) примерно 1 капли молока. **Самое главное, перед занятием нужно проверить концентрацию раствора.**

Вырежьте из черного картона круг по форме и размеру дна стакана. Поместите пустой стакан в круг и включите проектор (рис. 24а). Свет, достигающий стены, будет белым.

Далее наполните стакан разбавленным молочным раствором. Свет, достигающий стены, становится все более красным (рис. 24б и 24в). По бокам стекла светится голубовато-белый свет.

.....

## Список литературы:

- Broman, L, Estalella, R, Ros, R.M. *Experimentos en Astronomía*. Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.
- Costa, A, Sunlight Spectra, 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Brieu, 1999.
- Costa, A, *Simple Experiments with the Sun, 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings*, Ed. Rosa Ros, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 1999.
- Dale,A.O., Carrol,B.W, *Modern Stellar Astrophysics*, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
- Ferreira,M., Almeida,G, *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Plátano Ed. Téc., Lisboa, 1996.
- Johnson,P.E., Canterna,R, *Laboratory Experiments For Astronomy*, Saunders College Publishing, Nova Iorque, 1987.
- Lang,K.R, *Sun, Earth & Sky*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1995.
- Levy,D, *Skywatching-The Ultimate Guide to the Universe*, Harper Collins Publishers, London, 1995.
- Moreno, R. *Experimentos para todas las edades*, Editorial Rialp, Madrid, 2008
- Rybicki,G.B., Lightman, A.P, *Radiative Processes in Astrophysics*, John Wiley & Sons, E.U.A, 1979.
- Sousa, A.S, *Propriedades Físicas do Sol*, Ed. ASTRO, Porto, 2000.
- Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.V.P, *Introductory Astronomy and Astrophysics*, 3rd Ed., Saunders College Publishing, Orlando, E.U.A, 1992

## Источники в интернете:

- NASA Polar Wind and Geotail Projects, <http://www-istp.gsfc.nasa.gov>.
- Space & astronomy experiments, <http://www.csiro.au/csiro/channel/pchdr.html>
- The Sun, <http://www.astromia.com/solar/sol.htm>
- Nine planets, <http://www.astrored.net/nueve-planetas/solarsystem/sol.html>





# Звездные жизни

Александр Коста, Беатрис Гарсия, Рикардо Морено, Роза М. Рос

Международный астрономический союз, Escola Secundária de Loulé (Португалия), Universidad Tecnológica Nacional-Regional Mendoza (Аргентина), Colegio Retamar (Мадрид, Испания), Технический университет Каталонии (Барселона, Испания).

## Вводная

Чтобы понять жизнь звезд, необходимо понять, что они собой представляют, как мы можем узнать, как далеко они находятся, как они развиваются и каковы различия между ними. С помощью простых экспериментов можно объяснить студентам работу, проделанную учеными по изучению состава звезд, а также построить несколько простых моделей.

## Цели

Этот семинар дополняет курс звездной эволюции NASE, представляя различные мероприятия и демонстрации, сосредоточенные на понимании звездной эволюции. Основными целями являются:

1. Поймите разницу между видимой и абсолютной величиной.
2. Изучите диаграмму Герцшпрунга-Рассела, создав диаграмму цвет-величина.
3. Поймите такие понятия, как сверхновая, нейтронная звезда, пульсар и черная дыра.

## Упражнение 1: Концепция параллакса

Параллакс — это понятие, которое используется для вычисления расстояний в астрономии. Мы выполним простое упражнение, которое позволит нам понять, что такое параллакс. Облицовка стены на определенном расстоянии, которая имеет ориентиры: шкаф, столы, двери и т.д. Вытяните руку перед собой и держите большой палец вертикально (фигуры 1a и 1b).

Сначала зажмите правый глаз, посмотрите например пальцем по центру картинки. Не двигая пальцем, закройте правый глаз и откройте левый. Палец сдвинулся, он больше не совпадает с центром картинки, а с краем коробки.

По этой причине, когда мы наблюдаем небо из двух далеких городов, тела, которые находятся ближе, такие как Луна, смещены по отношению к фоновым звездам, которые гораздо более далеки. Сдвиг больше, если расстояние между двумя местами, где проводятся наблюдения,



1a: Вытянув руку, посмотрите на положение большого пальца относительно фонового объекта, сначала левым глазом (закрыв правый), а затем, рис. 1b, посмотрите правым глазом (с закрытым левым глазом).

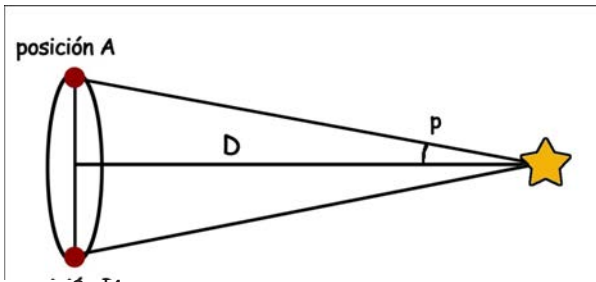
находится дальше друг от друга. Это расстояние называется базовой линией.

## Вычисление расстояний до звезд

Параллаксом параллакса представляет собой видимое изменение положения объекта, если смотреть из разных мест. Положение ближайшей звезды относительно фоновых звезд, которые находятся дальше, кажется, меняется при взгляде из двух



2: Угол параллакса  $p$  - это угловой сдвиг, который можно увидеть при наблюдении за звездой из двух мест, которые находятся на расстоянии одного расстояния между Землей и Солнцем.



3: Измеряя угол параллакса,  $p$ , можно вычислить расстояние  $D$  до объекта.

разных мест. Таким образом, мы можем определить расстояние до ближайших звезд. Параллакс заметен, если расстояние, которое является базовой линией, максимизировано. Это расстояние является диаметром орбиты Земли вокруг Солнца (фигура 2).

Например, если мы наблюдаем ближайшую звезду относительно фоновых звезд с двух позиций  $A$  и  $B$  орбиты Земли (фигура 3), разделенных шестью месяцами, мы можем рассчитать расстояние  $D$ , на котором находится звезда, давая:

$$\tan p = \frac{AB/2}{D}$$

Поскольку  $p$  является очень малым углом, тангенс может быть аппроксимирован как угол, измеренный в радианах:

$$D = \frac{AB/2}{p}$$

Основанием треугольника  $AB/2$  является расстояние Земля-Солнце, 150 млн км. Если у нас есть угол параллакса  $p$ , то расстояние до звезды, в километрах, будет  $D = 150\,000\,000 / p$ , при этом угол  $p$  выражается в радианах. Например, если угол  $p$  равен угловой секунде, то расстояние до звезды равно:

$$D = \frac{150\,000\,000}{2\pi/(360\,60\,60)} = 30939720937064 \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.}$$

Это единица измерения расстояния, которая используется в профессиональной астрономии. Если вы видели звезду с параллаксом в одну угловую секунду, она находится на расстоянии 1 парсек (пар-сек), что эквивалентно  $1 \text{ ps} = 3,26$  световых лет. Меньший параллакс подразумевает большее расстояние до

звезды. Соотношение между расстоянием (в пк) и параллаксом (в угловых секундах) составляет:

$$d = 1/p$$

Простота этого выражения является причиной, по которой оно используется. Например, ближайшая звезда — Проксима Центавра, имеет параллакс «0,76», что соответствует расстоянию 1,31 пс, эквивалентному 4,28 с.л. Первое наблюдение параллакса звезды (61 Лебеда) было сделано Бесселем в 1838 году. Хотя в то время подозревалось, что звезды были настолько далеки, что их нельзя было измерить точными расстояниями.

В настоящее время мы используем параллакс для измерения расстояний до звезд, которые находятся в пределах 300 световых лет от нас. За пределами этого расстояния угол параллакса незначителен, поэтому мы должны использовать другие методы для вычисления расстояний. Однако эти другие методы, как правило, основаны на сравнении с другими звездами, расстояние до которых известно из метода параллакса. Параллакс обеспечивает основу для других измерений расстояний в астрономии, космической лестницы расстояний. Параллакс, по сути, является нижней ступенью этой лестницы расстояний.

## Задание 2: Закон обратных квадратов

Простой эксперимент может быть использован, чтобы помочь понять

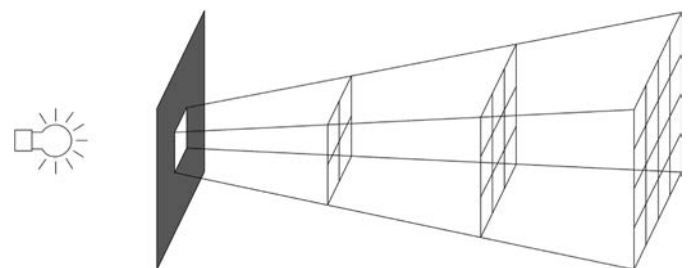


Рис.4: Экспериментальная установка

взаимосвязь между светимостью, яркостью и расстоянием. Это покажет, что видимая величина является функцией расстояния. Как показано на рисунке

Как показано на рисунке 11, вы будете использовать лампочку и картон (или коробку) с вырезанным из нее небольшим квадратным отверстием. Картон с отверстием помещается в одну сторону лампочки. Лампочка излучает свет во все стороны. Определенное количество света проходит через отверстие и освещает мобильный экран, расположенный параллельно картону с отверстием. Экран имеет квадраты того же размера, что и отверстие в картоне. Общее количество света, проходящего через отверстие и достигающего экрана, не зависит от того, как далеко мы помещаем экран. Однако, когда мы помещаем экран дальше, это же количество света должно покрывать большую площадь, и, следовательно, яркость на экране уменьшается. Чтобы смоделировать точечный источник и уменьшить тени, мы также можем использовать третий картон с отверстием очень близко к лампочке. Однако будьте осторожны, чтобы не оставлять этот картон близко к лампочке слишком долго, так как он может загореться.

Мы видим, что когда расстояние между экраном и лампочкой удваивается, площадь, которую иллюминирует свет, становится в четыре раза больше. Это означает, что интенсивность света (свет, поступающий на единицу площади) становится одной четвертью от первоначального количества. Если расстояние утроить, то площадь на экране, по которой распространяется свет, становится в девять раз больше, поэтому интенсивность света составит девятую от исходного количества. Таким образом, можно сказать, что интенсивность обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника. Другими словами, интенсивность

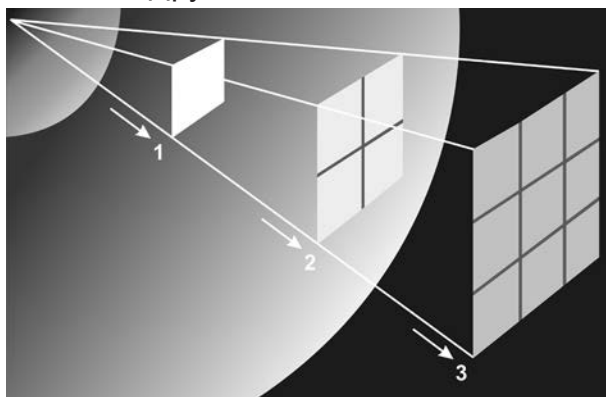


Рис. 5: Свет становится менее интенсивным, чем дальше он находится

обратно пропорциональна общей площади, на которую распространяется излучение, которая является сферой площади поверхности  $4\pi D^2$ .

## Система величин

Представьте, что звезда похожа на лампочку. Яркость зависит от мощности звезды или лампочки и расстояния, с которого мы ее видим. Это можно проверить, поместив лист бумаги напротив лампы: количество света, которое достигает листа бумаги, зависит от мощности лампы и расстояния между листом и колбой. Свет от лампочки равномерно распределяется по поверхности сферы, которая имеет площадь  $4\pi R^2$ , где  $R$  — расстояние между двумя объектами. Поэтому, если удвоить расстояние ( $R$ ) между листом бумаги и лампочкой (рисунок 5), интенсивность, которая достигает бумаги, не половину, а составляет одну четверть (площадь, по которой распространяется свет, в четыре раза выше). А если расстояние утроить, то интенсивность, которая достигает бумаги, составляет одну девятую (площадь сферы, по которой распространяется свет, в девять раз выше).

Яркость звезды можно определить как интенсивность (или поток) энергии, поступающей на площадь в один квадратный метр, расположенную на Земле (рис. 5). Если светимость (или мощность) звезды равна  $L$ , то:

$$B = F = \frac{L}{4\pi R^2}$$

Поскольку яркость зависит от интенсивности и расстояния до звезды, можно увидеть, что можно наблюдать, что внутренне слабая звезда, которая находится ближе, имеет ту же яркость, что и внутренне более светящаяся звезда, но которая находится дальше.

Гиппарх Самосский, во втором веке до нашей эры, составил первый каталог звезд. Он классифицировал самые яркие звезды как звезды 1-й величины, а самые слабые звезды как звезды 6-й величины. Он изобрел систему деления яркости звезды, которая используется до сих пор, хотя и слегка масштабирована с более точными измерениями, чем то, что изначально было сделано невооруженным глазом.

Звезда величиной 2 ярче, чем звезда с величиной 3. Есть звезды, которые имеют звездную величину 0, и даже некоторые звезды, которые имеют отрицательные величины, такие как Сириус, который имеет величину -1,5. Расширяя шкалу на еще более яркие объекты, Венера имеет визуальную величину -4, полная Луна имеет величину -13, а Солнце имеет величину -26,8.

Эти значения правильно называют видимыми величинами  $m$ , поскольку они, по-видимому, измеряют яркость звезд, видимую с Земли. Эта шкала имеет правило, что звезда величины 1 в 2,51 раза ярче, чем звезда величины 2, и эта звезда в 2,51 раза ярче, чем другая звезда величины 3 и т. Д. Это означает, что разница в 5 величин между двумя звездами эквивалентна звезде,

Видимая величина  $m$  — это мера, связанная с потоком света в телескоп от звезды. Фактически,  $m$  вычисляется из потока  $F$  и константы  $C$  (которая зависит от единиц потока и полосы наблюдения) через выражение:

$$m = -2.5 \log F + C$$

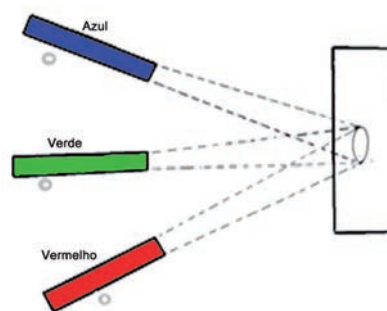


Fig. 8a: Esquema de l'aparell per explicar el color de les estrelles

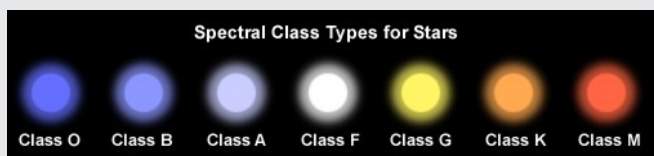


Рис. 6: Спектральные типы звезд в соответствии с их цветом

причем меньшая величина составляет  $2,515 =$  в 100 раз ярче. Эта математическая связь может быть выражена как:

$$\frac{B_1}{B_2} = \left(\sqrt[5]{100}\right)^{m_2 - m_1}$$

ИЛИ

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log \left(\frac{B_1}{B_2}\right)$$

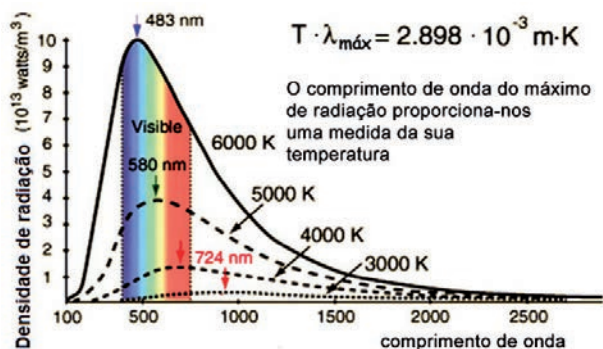
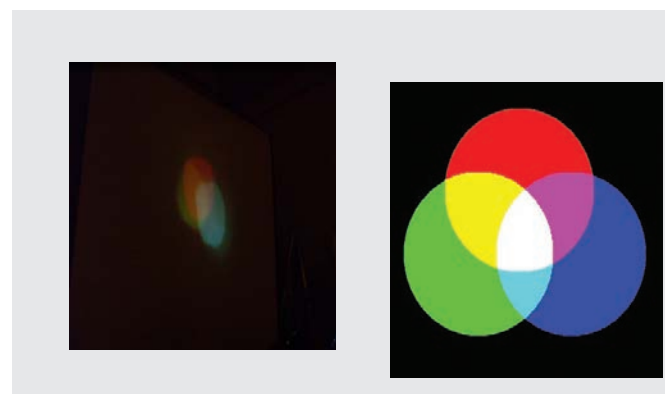
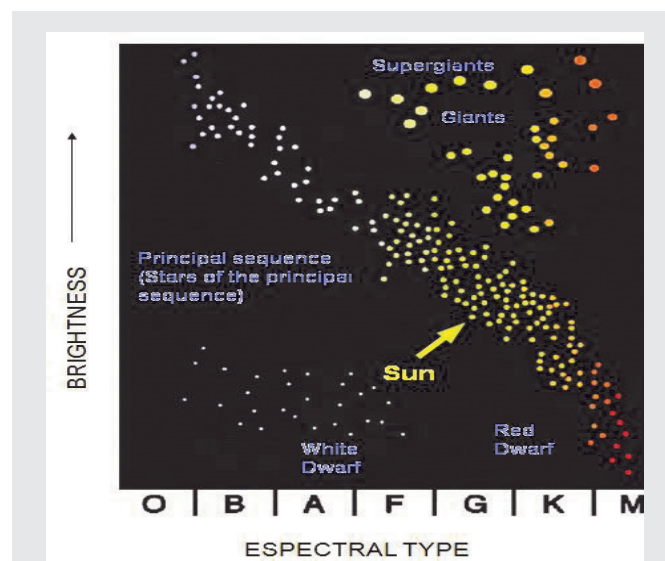


Рис. 7: Если температура повышается, пик интенсивности звезды перемещается из красного в синий.



, Рис. 8b: Проекция для объяснения цвета звезд



9a: Диаграмма H-R



Рис.9b: Солнце сбросит свою внешнюю атмосферу и превратится в карлик, подобный тому, который существует в центре этой планетарной туманности.

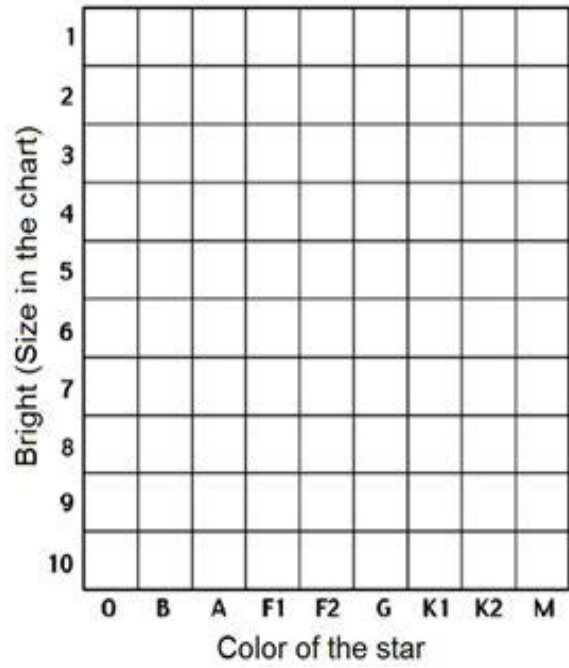


Рис.11: Рабочий лист



Рис.10: Изображение кластера шкатулок с драгоценностями

Это уравнение говорит нам, что чем больше поток, тем более отрицательной будет величина звезды. Абсолютная величина  $M$  определяется как видимая величина  $m$ , которую имел бы объект, если бы он был виден с расстояния 10 парсек. Чтобы преобразовать видимую величину в абсолютную величину, необходимо знать точное расстояние до звезды. Иногда это проблема, потому что расстояния в астрономии часто трудно определить точно. Однако если расстояние в парсеках  $d$  известно, абсолютная величина  $M$  звезды может быть рассчитана с помощью уравнения:

$$M = m - 5 \log d + 5$$

### Цвета звезд

Известно, что звезды имеют разные цвета. На первый взгляд невооруженным глазом можно различить вариации между цветами звезд, но различия между цветами звезд еще более очевидны, когда звезды наблюдаются в бинокль и фотографии. Звезды классифицируются по их цветам; эти классификации называются спектральными типами и обозначаются как: O, B, A, F, G, K, M. (рисунок 6).

Согласно закону Вина (рисунок 7), звезда с ее максимальной интенсивностью, достигшей пика в синем свете, соответствует более высокой температуре, тогда как если максимальная интенсивность звезды достигает пика в красном, то она холоднее. Другими словами, цвет звезды указывает

на температуру поверхности звезды.

### Упражнение 3: Звездные цвета

Во-первых, вы будете использовать простую лампу накаливания с переменным резистором для иллюстрации излучения черного тела. Размещая цветные фильтры между лампой и спектроскопом, студенты могут исследовать длину волны света, проходящего через фильтры. Сравнивая это со спектром лампы, студенты могут продемонстрировать, что фильтры поглощают определенные длины волн. Затем студенты могут использовать устройство, аналогичное тому, что в фигуре 8a, которое имеет синий, красный и зеленый огни и оснащено потенциометрами, чтобы понять цвета звезд. Это устройство может быть построено с помощью ламп, где трубки ламп выполнены из черной строительной бумаги, а отверстие напротив лампы покрыто листами цветного целлофана. С помощью этого устройства мы можем проанализировать фигуру 8b и попытаться воспроизвести эффект повышения звездной температуры. При низких температурах звезда излучает красный свет.

Если температура повысится, также будет излучение длин волн, которые проходят через зеленый фильтр. По мере того, как температура звезды становится все более высокой, цвет звезды будет проходить через оранжевый и желтый. По мере повышения температуры длины волн, которые проходят синий фильтр, становятся насыщенней, и, следовательно, цвета звезды становятся

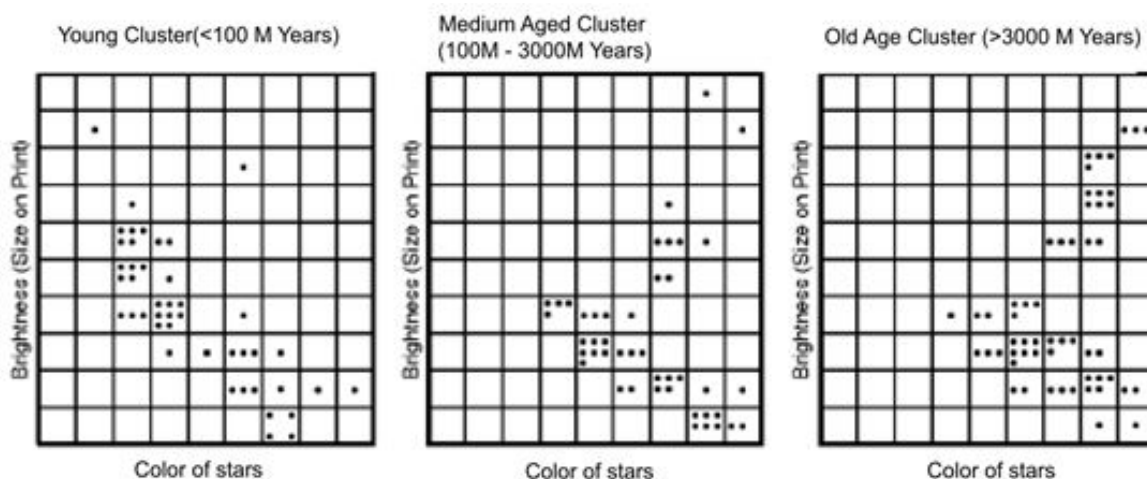


Рис.12а, 12b и 12с: Диаграммы HR эталонного кластера

белыми. Если интенсивность синих длин волн продолжает расти и становится значительно больше, чем интенсивности длин волн, которые проходят через красный и зеленый фильтры, звезда становится синей. Чтобы показать этот последний шаг, необходимо уменьшить интенсивность красной и зеленой лампы, если вы использовали максимальную мощность ламп для получения белого.

### Откуда мы знаем, что звезды эволюционируют?

Звезды могут быть помещены на диаграмму Герцшпрунга-Рассела (фигура 9а), которая строит звездную интенсивность (светимость или абсолютную величину) по сравнению со звездной температурой или цветом. Холодные звезды имеют меньшую светимость (внизу справа от графика); горячие звезды ярче и имеют более высокую интенсивность (вверху слева от графика). Этот трек звезд, который образует последовательность звезд от холодной температуры / низкой светимости до высокой температуры / высокой светимости, известен как Главная последовательность. Некоторые звезды, которые более развиты, «отошли» от главной последовательности. Звезды, которые очень горячие, но имеют низкую светимость, являются белыми карликами. Звезды, которые имеют низкие температуры,

но очень яркие, известны как сверхгиганты.

Со временем звезда может эволюционировать и «двигаться» на диаграмме HR. Например, Солнце (в центре) в конце своей жизни разбухнет и станет красным гигантом. Затем Солнце выбросит свои внешние слои и в конечном итоге станет белым карликом, как в фигуре 9b.

### Деятельность 4: Эпоха рассеянных скоплений

Проанализируйте изображение (рисунок 10) скопления Jewel Box или Карра Crucis, в созвездии Южного Креста.

Очевидно, что звезды не все одного цвета. Также трудно решить, где заканчивается скопление звезд. На рисунке 10 отметьте, где, по вашему мнению, находится край кластера.

На том же рисунке 10 отметьте буквой «X», где, по вашему мнению, находится центр кластера. Затем используйте линейку, чтобы измерить и нарисовать квадрат со стороной 4 см вокруг центра. Измерьте яркость звезды, ближайшей к верхнему левому углу вашего квадрата, основываясь на ее размере по сравнению с размерами сравнения, которые представлены в руководстве на полях рисунка 4. Оцените цвет звезды с помощью руководства по сравнению цветов, расположенного в

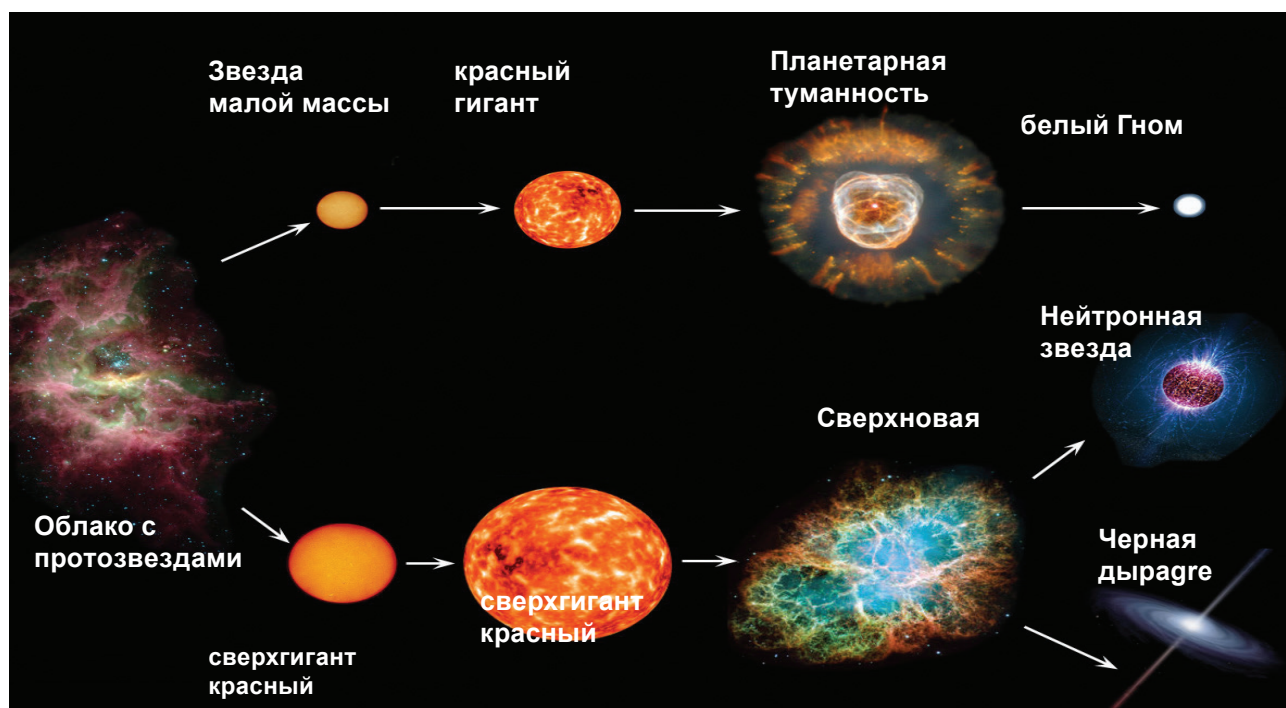
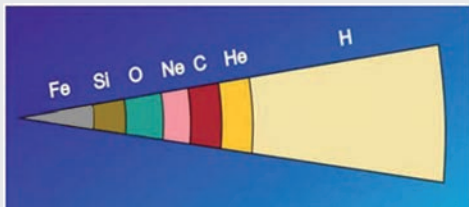


Рис. 13: Эволюция звезд в соответствии с их массами.





Рис.14а: Остатки сверхновой



14b: Слоистая структура внутренней части звезды перед взрывом в сверхновую

левой части рисунка 10. Отметьте точкой цвет и размер вашей первой звездочки на листе яркости цвета (рисунок 11).

Обратите внимание, что цвет — это ось X, а яркость (размер) — это ось Y. Отметив первую звезду, приступайте к измерению и отметке цвета и яркости (размера) всех звезд в пределах квадрата 4 см.

Звезды скопления Jewel Box должны следовать определенному шаблону на графике, который вы создали на рисунке 11. На рисунке 10 также есть звезды, которые расположены спереди и позади скопления, но на самом деле не являются его частью. Астрономы называют их «полевыми звездами». Если у вас есть время, попробуйте оценить, сколько полевых звезд вы включили в квадрат 4 см, который вы использовали для своего анализа, и оцените их цвет и яркость. Для этого найдите полевые звезды на диаграмме цвет-величина и пометьте их крошечным «х» вместо точки. Обратите внимание, что полевые звезды имеют случайное распределение на графике и, похоже, не образуют какой-либо конкретной закономерности.

Большинство звезд расположены на полосе графика, которая идет от левого верхнего края к правому нижнему краю. Менее массивные звезды являются самыми холодными и кажутся красными. Самые массивные звезды являются самыми горячими и яркими и кажутся голубыми. Эта полоса звезд на диаграмме цвет-величина называется

«главной последовательностью». Звезды на главной последовательности помещаются в классы, которые идут от класса O (самый яркий, массивный и самый горячий: около 40 000 K) до класса M (низкая яркость, низкая масса и малая температура поверхности звезд: около 3500 K).

В течение большей части жизни звезды те же внутренние силы, которые производят энергию звезды, также стабилизируют звезду против коллапса. Когда у звезды заканчивается топливо, это равновесие нарушается, и огромная гравитация звезды заставляет ее коллапсировать и умирать.

Переход звезды между жизнью на главной последовательности и коллапсом является частью звездного цикла, называемого стадией «красного гиганта». Красные гигантские звезды яркие, потому что они имеют звездные диаметры, которые могут быть от 10 до более чем в 300 раз больше, чем Солнце. Красные гиганты



Рисунок 15: Мы уронили одновременно и теннисный мяч, и баскетбольный мяч.

также красные, потому что их температура поверхности низкая. На рабочем листе они классифицируются как звезды K или M, но они очень яркие. Самые массивные звезды исчерпывают свое топливо быстрее, чем звезды с меньшей массой, и поэтому первыми покидают главную последовательность и становятся красными гигантами. Из-за их больших размеров, которые могут составлять более 1000 диаметров Солнца, красные гиганты с массами от 10 до 50 солнечных масс называются «красными сверхгигантами» (или красными гипергигантами, если они произошли от звезды класса O). Красные гиганты расширяются и охлаждаются,

становясь красными и яркими, и поэтому расположены в правом верхнем углу диаграммы цвета-величины. По мере того, как скопление становится старше, количество звезд, которые покидают главную последовательность, чтобы стать красными гигантами, растет. Поэтому возраст звездного скопления можно определить по цвету самой большой и яркой звезды, которая до сих пор остается на главной последовательности.

Многие звезды в старых скоплениях эволюционировали из стадии красных гигантов в другую стадию: они становятся белыми карликами. Белые карлики очень маленькие звезды размером с Землю. Они также очень тусклые, и поэтому их нельзя увидеть на этом изображении "Шкатулка с драгоценностями" (NGC 4755). Можете ли вы оценить возраст? звездное скопление из вашего графика на рисунке 11 по сравнению с графиками звездных скоплений разного возраста, представленными на рисунках 12а, 12б и 12в?

Если вы понимаете диаграмму HR и взаимосвязь между цветом (температурой поверхности), яркостью и возрастом звезд, можно объяснить, как развиваются звезды и звездные скопления. Вы можете сравнить жизнь звезд класса O / B с жизнью звезд A / F / G и K / M. Вы можете видеть, что звезды одинаковой массы эволюционируют одинаково даже в разных звездных скоплениях. Из-за этого вы можете увидеть различия в возрасте между различными звездными скоплениями, используя диаграмму HR. Вот почему вы можете сказать, что фигура 12а показывает молодое скопление (у него есть звезды O и B в главной последовательности, и мы знаем, что эти звезды быстро эволюционируют в красных сверхгигантов), и что на рисунке 12с показано старое скопление (почти только звезды K / M в главной последовательности и много звезд в фазе красного гиганта).

Мы можем спросить себя: «Каково было бы положение Солнца на диаграмме Герцшпрунга-Рассела?» Солнце является звездой с температурой поверхности 5870 K, и поэтому оно кажется желтым. Это будет соответствовать классу

G2 (ось X). Он находится на стадии главной последовательности своей эволюции, где водород сплавляется в гелий в звездном ядре. Это ставит его в класс 5 светимости, наряду со многими другими звездами, расположенными на главной последовательности.

## Звездная смерть

Конец жизни звезды зависит от массы звезды-прародителя, как показано в фигуре 13. В определенный момент эволюции звездных скоплений более массивные звезды исчезают с диаграммы Герцшпрунга-Рассела. В то время как звезды с низкой массой будут эволюционировать в белые карлики, эти массивные звезды закончат свою жизнь как одно из самых жестоких явлений во Вселенной: сверхновые. Остатками такого рода явлений будут объекты, которые не имеют теплового излучения (пульсары и черные дыры) и, следовательно, не видны на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

## Что такое сверхновая?

Звездная главная последовательность характеризуется синтезом водорода с образованием гелия, впоследствии прогрессирующего до производства углерода и все более тяжелых элементов. Конечным продуктом является железо.

Синтез железа невозможен, потому что эта реакция потребует энергии, чтобы продолжаться, а не высвободить энергию. на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Слияние различных элементов продолжается до тех пор, пока запас этого элемента не будет исчерпан. Это слияние происходит наружу от ядра, поэтому со Звезда с массой 20 солнечных масс имеет следующие стадии: 10 миллионов лет горения водорода в ядре (главная последовательность) 1 миллион лет горения гелия 300 лет сжигания углерода 200 дней сжигания кислорода 2 дня, чтобы потреблять кремний: взрыв сверхновой неизбежен.

Когда звезда, наконец, имеет железное ядро, дальнейшие ядерные реакции невозможны. Без радиационного давления от синтеза, чтобы сбалансировать гравитацию, коллапс

звезды неизбежен, без возможности какого-либо дальнейшего ядерного воспламенения. Во время коллапса атомные ядра и электроны выталкиваются вместе, образуя нейтроны, и центральная часть ядра становится нейтронной звездой.

Нейтронные звезды настолько плотные, что чайная ложка будет весить столько же, сколько все здания в большом городе. Поскольку нейтроны сжимаются вместе, дальнейшее сжатие не может произойти. Частицы, падающие из внешних слоев звезды со скоростью около четверти скорости света, попадают в ядро нейтронов и внезапно останавливаются. Это заставляет их отскакивать назад в виде ударной волны, в результате чего происходит один из самых энергетических процессов, известных во Вселенной (рис. 14а): одна взрывающаяся звезда может затмить целую галактику, состоящую из миллиардов звезд.

Во время этого отскока энергии настолько велики, что создаются некоторые элементы тяжелее железа (такие как свинец, золото, уран и т. Д.). Эти элементы появляются бурно во время взрыва и выбрасываются вместе со всей внешней материей звезды. В центре выброшенного материала остается нейтронная звезда, вращающаяся с высокой скоростью, или, если исходная звезда была достаточно массивной, черная дыра.

## Упражнение 5: Моделирование взрыва сверхновой

Когда звезда взрывается как сверхновая, легкие атомы во внешних слоях падают к более тяжелым элементам внутри, наконец, отскакивают от твердого центрального ядра.

Упрощенную модель этого процесса можно легко и довольно эффектно представить баскетбольным и теннисным мячом, уронив их вместе на твердую поверхность, такую ​​как пол (рисунки 15). В этой модели пол представляет собой плотное звездное ядро, баскетбольный мяч представляет собой тяжелый атом, который отскакивает от ядра и толкает легкий атом прямо за ним, представленный теннисным мячом.

Чтобы представить модель, держите

баскетбольный мяч на уровне глаз с теннисным мячом чуть выше него, как можно вертикальнее. Бросьте два шара вместе. Вы можете догадаться, что шары будут отскакивать на ту же высоту, с которой они начинали, или, может быть, даже ниже из-за трения и рассеивания энергии на пол. Однако результат довольно удивительный.

Когда вы роняете два шара, они прибывают почти одновременно на пол. Большой мяч отскакивает эластично назад почти с той же скоростью, что и при достижении пола. В этот момент он сталкивается с маленьким теннисным мячом, который падал с той же скоростью, что и баскетбольный мяч. Теннисный мяч отскакивает от баскетбольного мяча на высокой скорости

и достигает гораздо выше высоты, с которой были сброшены мячи. Если бы этот эксперимент повторили, используя большое количество еще более легких шаров, их скорость отскока была бы фантастической.

В презентации модели теннисный мяч отскакивает в два раза от первоначальной высоты, с которой были сброшены два мяча. На самом деле, будьте осторожны, чтобы не сломать что-то, если вы проводите этот эксперимент в помещении.

Этот эксперимент может быть проведен в классе или в другой закрытой зоне, но предпочтительно его следует проводить на открытом воздухе. Это можно сделать из высокого окна, но это затруднит уверенность в том, что шары падают вертикально, и шары могут отскакивать с большой силой в непредсказуемых направлениях.

Некоторые магазины игрушек или магазины научных музеев продают игрушку под названием «Astro Blaster», которая основана на том же принципе. Он состоит из четырех небольших резиновых шариков разных размеров, соединенных осью. Меньшие шары взлетают в воздух, отскакивая после того, как система ударяется о землю.

## Что такое нейтронная звезда?

Нейтронная звезда является остатком очень

массивной звезды, которая коллапсировала и сбросила свои внешние слои во время взрыва сверхновой. Нейтронные звезды обычно не больше нескольких десятков километров. Как следует из названия, они состоят из нейтронов, сложенных вместе до невероятной плотности: один наперсток этого вещества весил бы миллионы тонн.

Нейтронная звезда образуется, если остаток сверхновой составляет от 1,44 до около 8 солнечных масс.

## Что такое пульсар?

Пульсар—нейтронная звезда, вращающаяся с чрезвычайно высокой скоростью (рисунок 16). Когда массивная звезда коллапсирует, внешние слои падают к ядру и начинают вращаться быстрее из-за сохранения углового момента. Это похоже на то, как фигуристка вращается быстрее, притягивая руки к телу.

Магнитное поле звезды генерирует сильное электромагнитное синхротронное излучение в направлении своей оси. Однако, поскольку ось магнитного поля обычно не совпадает с осью вращения (как это также имеет место на Земле), вращающаяся нейтронная звезда действует как гигантский космический маяк. Если это излучение оказывается направленным в сторону Земли, мы обнаруживаем импульс через равные промежутки времени.

В 1967 году Белл и Хьюиш обнаружили первый пульсар. Импульсный сигнал поступал из точки пространства, где ничего не наблюдалось пульсирующим в видимом свете. Быстрое повторение пульса было поразительным - несколько раз в секунду с удивительной точностью.

Сначала считалось, что пульсары могут быть разумными внеземными сигналами. Затем были обнаружены более пульсирующие радиоисточники, в том числе центр Крабовидной туманности. Ученые знали, что эта туманность была произведена сверхновой и могли, наконец, объяснить происхождение пульсаров.

Пульсар PSR B1937+21 является одним из самых быстрых известных пульсаров и вращается более 600 раз в секунду. Он составляет около 5 км в диаметре, и если бы он вращался примерно на 10% быстрее, он был бы разбит центробежной силой. Хьюиш получил Нобелевскую премию в 1974 году.

Другим очень интересным пульсаром является двойная система под названием PSR 1913 + 16 в созвездии Орла. Взаимное орбитальное движение звезд в очень интенсивном гравитационном поле вызывает некоторые небольшие задержки в выбросах, которые мы получаем. Рассел Халс и Джозеф Тейлор изучили эту систему и подтвердили многие предсказания теории относительности, включая излучение гравитационных волн. Эти два американца были удостоены Нобелевской премии в 1993 году за свои исследования.



16: Пульсар – это вращающаяся нейтронная звезда

## Деятельность 6. Моделирование пульсаров

Пульсар — это нейтронная звезда, которая очень массивна и быстро вращается. Он излучает излучение, но источник не полностью выровнен с осью вращения, поэтому испускаемый пучок излучения вращается, как маяк. Если этот луч ориентирован на Землю, мы наблюдаем импульс излучения несколько раз в секунду.

Мы можем смоделировать пульсар с фонариком (рисунок 17а), привязанным веревкой к потолку. Если мы включим его и вращаем (рисунок 17б), мы будем

периодически видеть свет, когда фонарик указывает в нашу сторону (рисунок 17с).

Если вы наклоните фонарик так, чтобы он не был горизонтальным, вы больше не сможете видеть луч света из того же положения. Поэтому мы можем наблюдать излучение пульсара только в том случае, если мы хорошо выровнены с его вращением

## Что такое черная дыра?

Если мы бросаем камень вверх, гравитация замедляет его, пока он не вернется обратно на землю. Если мы бросаем камень с большей начальной скоростью, камень поднимается выше, прежде чем он упадет обратно вниз. Если начальная скорость составляет 11 км/с, скорость вращения Земли, камень не упадет обратно вниз (при условии, что нет трения воздуха).

Если бы Земля уменьшилась, сохраняя свою массу, скорость вращения на ее поверхности увеличилась бы, потому что мы были бы ближе к центру Земли. Если бы она разрушилась до радиуса 0,8 см, скорость вращения стала бы больше скорости света. Поскольку ничто не может превышать скорость света, ничто не сможет вырваться из поверхности, даже свет. Земля стала бы черной дырой размером с крошечный мрамор. Теоретически, черные дыры могут иметь очень маленькие массы. В действительности, однако, существует только один известный механизм, который может сконцентрировать массу до необходимых плотностей: гравитационный коллапс. Для того, чтобы гравитационный коллапс произошел, необходимо очень большое количество массы. Мы узнали, что нейтронные звезды являются остатками звезд

массой от 1,44 до примерно 8 солнечных масс. Однако, если исходная звезда еще более массивна, гравитация настолько сильна, что ее внутренняя часть может продолжать коллапсировать, пока не станет черной дырой. Поэтому этот тип черной дыры будет иметь массу в несколько раз больше нашего Солнца. Плотность черных дыр очень впечатляет. Крошечный мрамор, сделанный из такой плотной материи, будет весить столько же, сколько вся Земля.

Хотя мы не можем наблюдать их напрямую, мы знаем о нескольких кандидатах в черные дыры во Вселенной через излучение материала, вращающегося вокруг черной дыры на высоких скоростях. Например, прямо в центре нашей галактики мы ничего не видим, но мы можем обнаружить кольцо газа, кружащееся вокруг центра с невероятной скоростью. Единственное возможное объяснение заключается в том, что в центре этого кольца находится огромная невидимая масса, весящая целых три-четыре миллиона солнц. Это может быть только черная дыра с радиусом Шварцшильда, немного большим, чем наше Солнце. Эти типы черных дыр, которые расположены в центрах многих галактик, называются сверхмассивными черными дырами.

## Упражнение 7. Моделирование искривления пространства и черной дыры

Легко смоделировать двумерную кривизну пространства, созданную черной дырой, используя кусок листа эластичного волокна под названием лайкра (рисунок 18) или большой кусок марли. Сначала растяните волокнистый лист или сетку. Теперь прокатите небольшой шарик



17b: Вращение фонарика

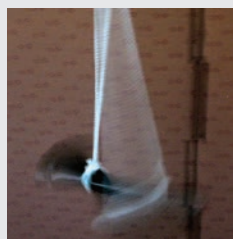


Рис.17b: Когда он вращается,

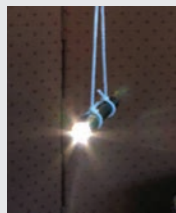


Рис.17с: Когда он вращается, мы периодически наблюдаем за лучом света.



Рис. 18: Траектория теннисного мяча – это не прямая линия, а кривая.

(или мрамор) по листу. Это фотон света, и его траектория имитирует прямой путь светового луча при отсутствии кривизны. Однако, если вы поместите тяжелый шар в центр листа, а затем бросите меньший шар (или мрамор), его путь будет следовать кривой. Это имитирует путь светового луча в искривленном пространстве, вызванном присутствием гравитирующей массы. Насколько проходит путь кривых световых лучей, зависит от того, насколько близко световой луч проходит к гравитационному телу и насколько массивно это тело. Угол отклонения прямо пропорционален массе и обратно пропорционален расстоянию. Если мы ослабим натяжение в листе, он имитирует более глубокий гравитационный колодец, что затрудняет уход меньшего шара. Она становится моделью черной дыры.

.....

## Библиография

- Broman, L., Estalella, R. Ros. R.M, Experimentos en Astronomía. Editorial Alhambra Longman, Madrid, 1993.
- Dale, A.O., Carroll, B.W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
- Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid, 2008.
- Pasachoff, J.M, Astronomy: From the Earth to the Universe, 6th Edition, Cengage, USA, 2002.
- Rybicki, G.B., Lightman, A.P, Radiative Processes in Astrophysics, John Wiley & Sons, EUA, 1979.
- Zeilik, M, Astronomy-The Evolving Universe, 8th Ed., John Wiley & Sons, USA, 1997



# Астрономия за пределами ВИДИМОГО

**Беатрис Гарсия, Рикардо Морено**

Международный Астрономический Союз, Национальный Технологический Университет (Мендоса, Аргентина), Школа Ретамар (Мадрид, Испания)

## Аннотация

Небесные объекты излучают во многих длинах волн электромагнитного спектра, но человеческий глаз различает только очень малую часть: видимую область.

Существуют способы продемонстрировать существование этих форм электромагнитного излучения, которые мы невидим с помощью простых экспериментов. В этой презентации вы познакомитесь с наблюдениями за пределами того, что можно наблюдать с помощью телескопа, который можно использовать в начальной или средней школе.

## Цели

Это занятие направлено на то, чтобы показать некоторые явления, выходящие за рамки того, что можно наблюдать с помощью любительских телескопов, такие как существование:

- Небесные тела, излучающие электромагнитную энергию, которую наш глаз не может обнаружить. Астрономы интересуются этими другими длинами волн, потому что только видимое излучение не дает полной картины Вселенной.
- Видимые излучения в областях радиоволн, инфракрасного, ультрафиолетового, микроволнового и рентгеновского излучений.

## Электромагнитный спектр

Электромагнитные волны охватывают

широкий диапазон частот или длин волн и могут быть классифицированы по их основному источнику излучения. Классификация не имеет четких границ. Совокупность всех длин волн называется электромагнитным спектром.

Рисунок 1 показывает различные области спектра. Он указывает размер между гребнями волн (длина волны  $\lambda$ ) и некоторыми объектами этих размеров: атомами, мухами, горами ... чтобы получить представление о размерах волн. На этом же рисунке мы можем оценить, как мы "видим" Солнце и Сатурн, если наблюдаем их на длинах волн, которые наши глаза не могут обнаружить. Эти фотографии были сделаны с помощью специальных детекторов, чувствительных к этим длинам волн.

Во вселенной есть материал, температура которого намного ниже, чем у звезд, например,

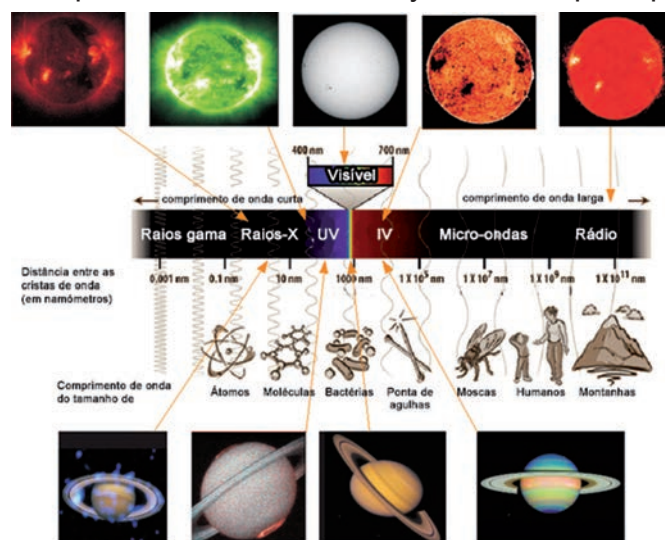


Рис. 1: Электромагнитный спектр, с объектами размером с этими волнами. Солнце (вверху) и Сатурн (внизу) наблюдаемые на разных длинах волн (цвета являются имитацией).



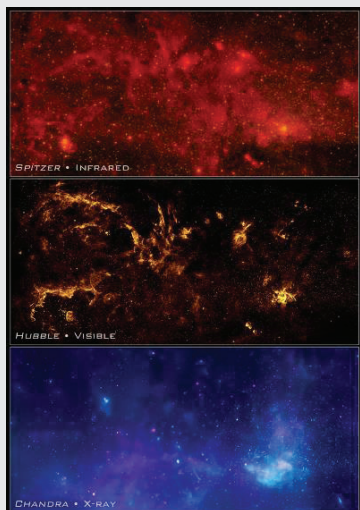


Рис. 2: Центр нашей Галактики Млечный Путь изображенный на разных длинах волн.

облака межзвездного материала. Эти облака не испускают видимого излучения, но могут быть обнаружены на больших длинах волн, таких как инфракрасные, микроволновые и радиоволны. Наблюдение вселенной во всех областях электромагнитного спектра, которое астрономы называют "многоканальным наблюдением", дает нам гораздо более четкое представление о ее структуре, температуре и энергии и делает более реалистичными модели, связанные с её эволюцией.

На рисунке 2 показан центр нашей галактики Млечный путь, изображенный космическими телескопами Спитцер

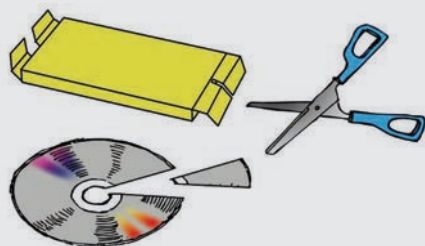


Рис. 3а: Материал который вам понадобится: DVD, ножницы и бумажная коробка.



Рис. 3б: Удаление металлического слоя компакт-диска с помощью скотча.

(инфракрасный), Хаббл (видимый) и Чандра (рентгеновский). В каждом из них мы наблюдали объекты и детали, которые не видны в других длинах волн.

## Занятие 1: Строим спектрометр

Белый свет от лампы с нитью накала состоит из всех цветов, в то время как свет от ламп с газом (люминесцентные лампы, энергосберегающие лампы или уличные фонари) состоит только из определенных цветов. Если мы разделим цвета света, то получим его спектр, который в случае газов состоит из набора цветных линий. Каждый тип газа имеет свой собственный спектр, который является "штрихкодом" соединений в газе. Если мы посмотрим с помощью спектроскопа на свет далекой галактики, линии, характерные для водорода и других газов, смещаются в сторону красного (известного как "красное смещение"), причем чем больше смещение, тем дальше галактика. Крепкими ножницами отрежьте кусочки



Рис. 4: Смотрим на люминесцентную лампу.

от CD или DVD (рисунок 3а), на которых нет этикетки. Если вы используете DVD, отделите верхний слой от нижнего в разрезанном куске пластика (вам могут понадобиться ножницы или отвертка), и вы подготовите дифракционную решетку. Если вы используете компакт-диск, существует только один слой пластика, и вы должны осторожно отсоединить металлический слой. Ремесленный нож или лезвие бритвы будут полезны.

Сделайте фотокопию шаблона на рисунке 4. Если вы сделаете это в формате А3, это будет более точно. Вырежьте шаблон, включая белую часть, изогнутый участок, и сделайте тонкую щель в клапане со шкалой. Вам не нужно вырезать шкалу.

Соберите коробку, положив черный цвет вовнутрь, и приклейте клапаны. В отверстие, оставленное изогнутой секцией, вставьте кусочек CD или DVD.

Посмотрите через кусок DVD и направьте щель коробки (не шкалу)

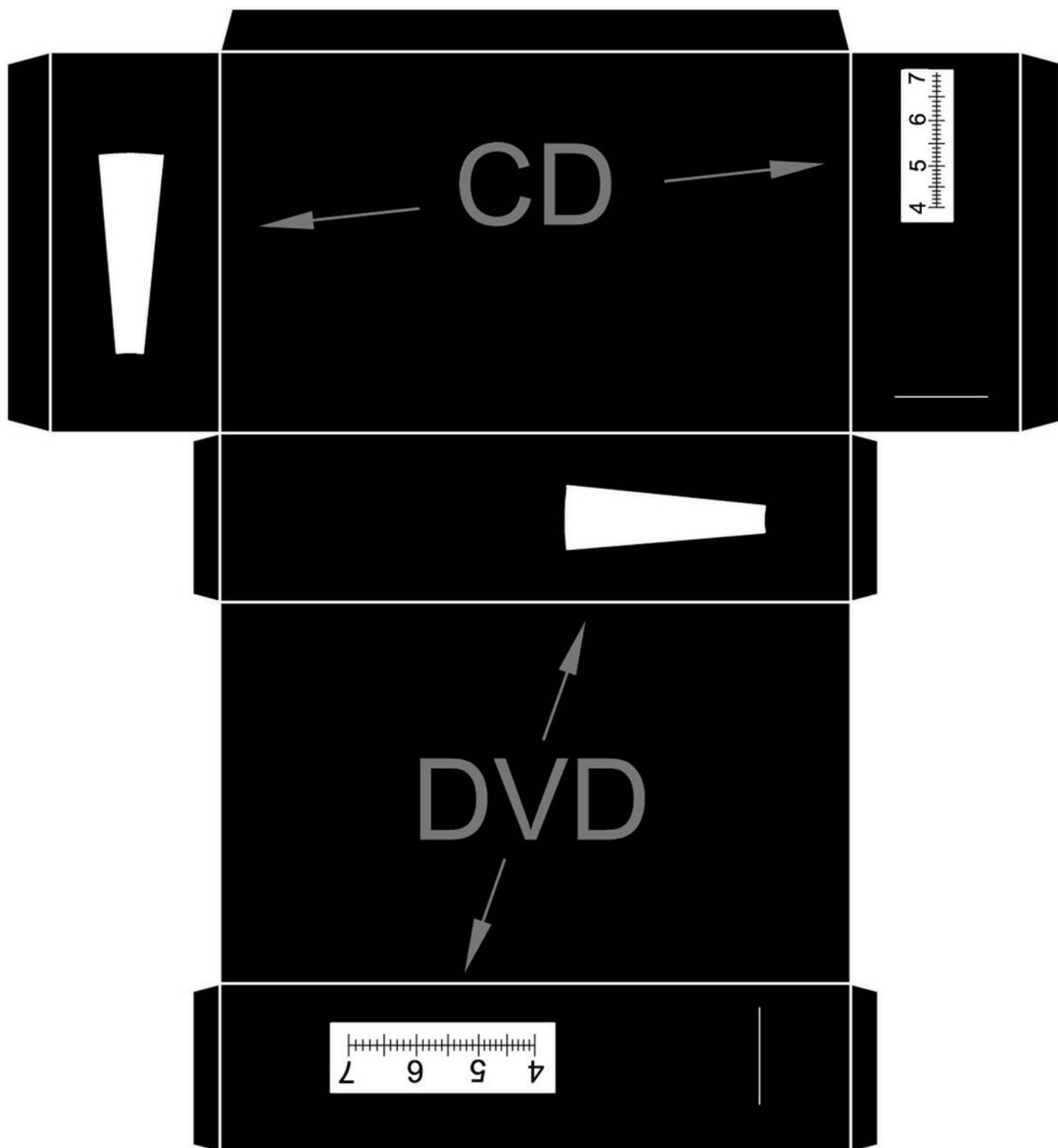


Рис. 5. Шаблон для спектрометра.



Рис. 6: Младшие ученики могут разложить свет в раду.гу.

на низкоэнергетическую лампу или люминесцентную лампу (рисунок 11). Вы должны увидеть линии излучения от газов в лампах на шкале. Если вы не видите, двигайте щель вперед и назад, пока не появятся линии. Шкала помечена сотнями нанометров, т.е. отметка 5 показывает 500 нм ( $500 \times 10^{-9}$  м). Чем уже щель, тем точнее можно измерить длину волны линий.

Вы также можете сделать коробку из картона, но если вы это сделаете, вам нужно будет вырезать пространство для шкалы и наклеить на него бумажную копию, чтобы вы могли видеть через шкалу.

Вы можете наблюдать уличные фонари; и оранжевые (натрий) и белые (пары ртути) подойдут. Традиционные лампы накаливания производят непрерывный спектр.

Младшие ученики могут разложить свет и сделать раду.гу. Используйте водяной шланг с диффузором и поместите солнце позади (рисунок 6).

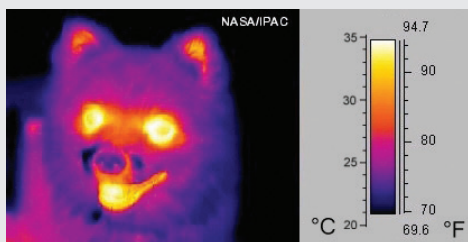


Рис. 7: Инфракрасная фотография. Мы различаем от более горячих до более прохладных областей.

## Инфракрасное излучение

Инфракрасная область электромагнитного спектра была открыта Уильямом Гершелем (первооткрывателем планеты Уран) в 1800 году с помощью призмы и термометра. Он получил спектр, пропустив белый солнечный свет через призму, и поместил несколько термометров, один в синей области, другой в красной (оба цвета обнаруживаемые глазом) и третий термометр поместил за красным, сразу за вторым. С помощью четвертого термометра измерил температуру окружающей среды и обнаружил, что температура, которую зарегистрировал термометр в области "ниже" красного (отсюда и название "инфра" красный), была больше, чем температура окружающей среды.

Гершель проводил и другие эксперименты с "тепловыми лучами" (как он их называл), которые существовали за пределами красной области спектра, показывая, что они отражаются, преломляются, поглощаются и передаются точно так же, как видимый свет. Эти "тепловые лучи" были позже названы инфракрасными лучами или инфракрасным излучением. За этими открытиями последовали другие, которые привели к ряду технологических применений.

Тела, обнаруженные при низкой температуре, излучают не в видимой области спектра, а на более длинных

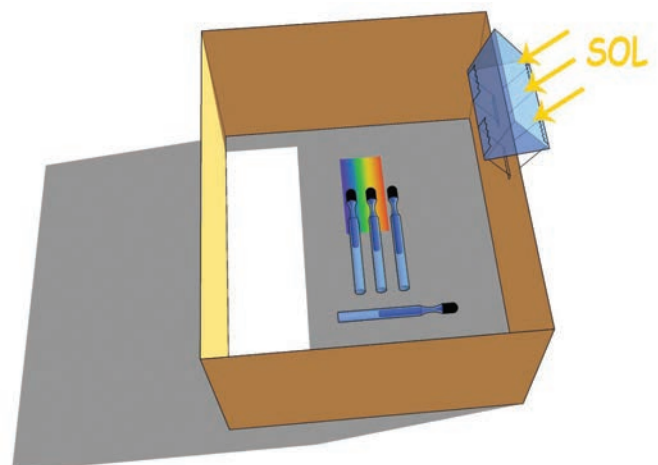


Рис. 8: Устройство Гершеля. Три термометра в спектре отмечают более высокую температуру, чем у окружающей среды.

волнах, так что выделяемая энергия ниже. Например, наше тело и животные излучают инфракрасное излучение, которое мы не можем обнаружить невооруженным глазом, но которое воспринимается как тепло, испускаемое телом. Все объекты, находящиеся при определенной температуре, излучают инфракрасные волны (рисунки 6 и 7). Приборы ночного видения позволяют обнаружить такое излучение, которое глаз не может обнаружить.

## Занятие 2: Эксперимент Гершеля в ИК диапазоне

Цель состоит в том, чтобы повторить эксперимент 1800 года, с помощью которого знаменитый астроном сэ

Уильям Гершель открыл форму излучения, отличную от видимого света. Нам понадобится стеклянная призма, четыре термометра, черные перманентные маркеры, ножницы, скотч, картонная коробка и белый лист. Мы кладем скотч на колбочки термометров и красим черным маркером, чтобы лучше поглощать тепло.

Эксперимент следует проводить на открытом воздухе, в ОЧЕНЬ солнечном месте. Если ветрено, можно внутри помещения, при условии, что у вас есть окно, куда солнечный свет прямо входит. Положите белый лист на дно картонной коробки. Призму осторожно помещают на верхний край коробки, так что она находится боком к Солнцу. Внутри коробки должно быть все или почти все в тени (рисунки 8-9с). Осторожно вращайте призму до тех пор, пока на листе в нижней части коробки не появится максимально широкий спектр.

Закрепив призму лентой в этом положении, расположите три термометра в спектре света так, чтобы каждая колба была в одном цвете: одна в синей области, другая в желтой и третья немного дальше видимой красной области. Это должно помочь увидеть градуированную шкалу, не двигая термометр, когда мы начнем действовать (рисунки 15-16с).

Температура достигает своих конечных значений за пять минут. Мы каждую минуту записываем температуру в таблицу (см. Таблица 1) для каждой из трех областей спектра и окружающей среды. Мы не должны сдвигать термометры с их позиций в спектре или блокировать их свет.

Термометр в желтом (рисунок 16с) должен



Рис.9а: Размещаем три термометра с черной частью и спектром в теньевую часть. Рис.9б: Термометры в синем, желтом и красном сразу после. Рис.9с: Пример измерений за 3 минуты.

	Термометр № 1 в синем	Термометр № 2 в желтом	Термометр № 3 за красным	Термометр № 4 в тени
Спустя 1 минуту				
Спустя 2 минуты				
Спустя 3 минуты				
Спустя 4 минуты				
Спустя 5 минут				

Таблица 1: Таблица с данными.



Рис. 10а: Активированный пульт, видимый глазами. Рис. 10b Активированный пульт через мобильный телефон

показывать температуру несколько выше, чем в синем, а тот, который находится рядом с красным, должен показывать температуру еще немного выше, поэтому логично, что в термометр рядом с красным поступает какое-то излучение от Солнца, невидимое для наших глаз.

### Занятие 3: Обнаружение ИК с помощью современного технологичного инструмента

Если мы хотим обнаружить ИК с помощью современных технологичных инструментов, вероятно, первое, что приходит на ум, - это ночные наблюдения, подготовленные чтобы увидеть



Рис. 11а: Облако пыли в видимой области. Рис. 11b: Наложение инфракрасного зрения

инфракрасное излучение, испускаемое нашими телами. Но это мера, доступная не каждому. Рассмотрим более экономичное и простое в приобретении устройство.

Пульты дистанционного управления, которые мы используем для включения телевизора, стереосистемы или микроволновой печи, используют инфракрасное излучение (не используйте те, которые также имеют красную лампочку). Есть ли простой способ увидеть это невидимое излучение, чтобы

оно внезапно стало обнаружимым? Для этого мы должны искать детектор, чувствительный к ИК. Есть основной технологичный продукт, который обусловлен развитием изучения света в астрономии, называемый ПЗС (как и инициалы его

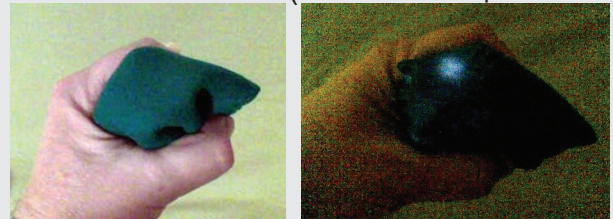


Рис. 12a and 12b: Войлок полностью блокирует видимый свет, но не инфракрасный

названия: Прибор с Зарядовой Связью). Это устройство может захватывать и собирать фотоны в течение определенного периода времени, так что мы можем обнаружить объекты, которые излучают или отражают свет. ПЗС более чувствительны в красной области, и в некоторых случаях их диапазон эффективности охватывает ближний ИК. Любая современная камера или видеокамера имеет ПЗС-матрицу для получения изображения. Это позволяет делать снимки в условиях очень низкого

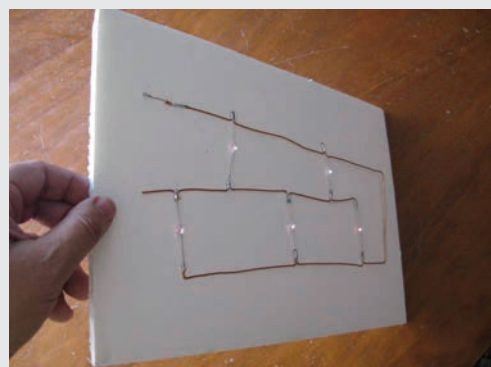


Рис. 13а и 13b: Кассиопея сделанная из инфракрасных светодиодов. Они соединены параллельно.

уровня освещенности. Самым простым устройством повседневного использования, которое имеет современную камеру и, следовательно, ПЗС-детектор, является мобильный телефон.

Смотря глазами прямо на пульт, мы не замечаем никакой разницы между включением и выключением, как показано на рисунке 10а. Но если мы сделаем снимок тем же мобильным телефоном и включим пульт (рисунку 10б) ... Сюрприз! Устройство, которое использует управление для передачи сигнала, который включает телевизор или другое электронное оборудование, - это инфракрасный свет, который наш глаз не видит, но камера телефона видит. Цвет этого света фиктивен.

## Занятие 4. Обнаружение



Рис. 14a and 14b: Создание созвездия Южного креста из пультов ДУ

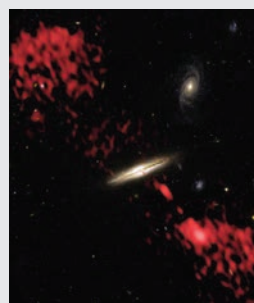


Рис. 15а: Эта галактика испускает джеты, обнаруживаемые только в радио (искусственно окрашенные в красный цвет),

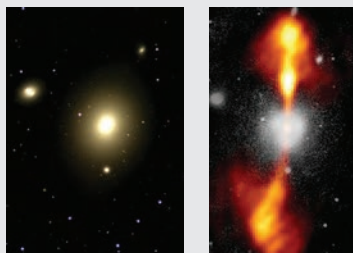


Рис. 15b: Фотография галактики NGC 4261 в видимом диапазоне, Рис. 15 с: Та же галактика с наложенным радиоизображением. Несколько джетов материи, искусственно окрашенных в красный цвет.

## инфракрасного света от лампы

Большинство небесных тел излучают много длин волн. Если между ними и нами есть пыль или газ, некоторые длины волн могут быть заблокированы, но не все остальные. Например, пыль в центре нашей галактики мешает нам видеть интенсивный видимый свет, производимый там концентрацией миллионов звезд. Однако пыль прозрачна для инфракрасного света, который проходит через нее и достигает нас. То же самое относится и к другим темным пылевым облакам в нашей галактике (рисунки 11а и 11б).

В излучении от лампы накаливания большая часть энергии излучается в видимой области, но также излучается и в инфракрасной. Инфракрасное излучение может проходить сквозь предметы, которые непрозрачны в видимом.

Возьмем фонарик и кусок войлока (рисунок 12а и 12б). Этот материал не особенно хорошо ткется и блокирует видимый свет. Войдем в темную комнату и включим фонарик. Затем накроем его войлоком и докажем что не видим его света. Если видно, положите еще один слой войлока (можно двойной) или даже третий. Не

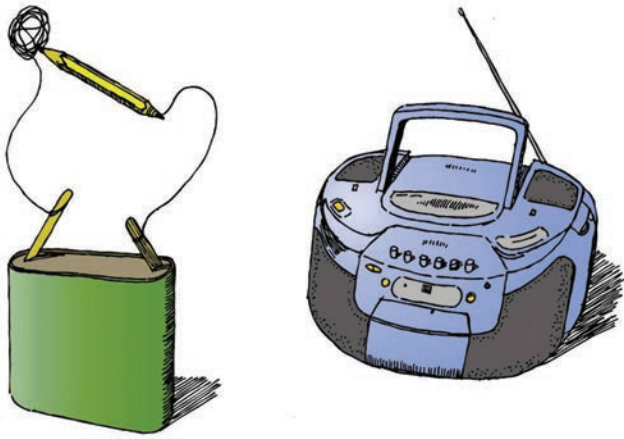


Рис. 16: Производство радиоволн.

кладите больше, чем необходимо, потому что инфракрасное излучение также может быть заблокировано, если слишком много материала. В этой комнате темной настолько насколько это возможно, если мы наблюдаем с помощью камеры на нашем мобильном телефоне, которая захватывает инфракрасное излучение, мы видим, что он различает лампочку (рисунок 12а и 12b).

## Занятие 5: Созвездие с ИК излучением

В магазинах электроники или онлайн вы можете приобрести инфракрасные светодиоды, аналогичные тем, которые используются пультами от телевизора, музыкальных устройств и т. д.. Они дешевые (около 20 рублей). Они работают со штабелем 3 или 9В батарей или с источником питания постоянного тока. Они параллельно соединены с сопротивлением между 100 и 500Ω.

Вы можете сделать небольшую цепь с несколькими светодиодами, образующими хорошо известное созвездие, например Кассиопею (рисунки 13а и 13b), Орион, Южный Крест или Большую медведицу (в зависимости от созвездий, которые вы видите из полушария, в котором живете). Наблюдая с помощью камеры телефона, вы можете увидеть ее в инфракрасном диапазоне.

## Занятие 6. Созвездие с пультами ДУ

Более простой демонстрацией, чем предыдущая, является формирование

“созвездия” с помощью нескольких инфракрасных пультов ДУ. Если пульты запечатлены в темноте с помощью цифровой камеры, вы сможете увидеть созвездие (рисунки 14а и 14b).

## Электромагнитная энергия в области радио

Электромагнитное излучение с длинами волны от метров до километров называют радиоволновым. Они используются на коммерческих станциях, но также достигают нас из космоса. Эти излучения демонстрируют морфологию, которой нет у других длин волн (рисунки 15а, 15b и 15с).

Во Вселенной есть много сильных радиоисточников, таких как центр нашей галактики, быстро вращающиеся нейтронные звезды или даже некоторые планеты, такие как Юпитер.

## Занятие 7: Производство радиоволн

Вы можете захватить их в радио в диапазоне АМ, и преобразовать их в звук, который является другим типом волн. Мощность этих радиоизлучений уменьшается, когда рецептор удаляется. Радиоволны могут проходить через препятствия и даже стены.

Для проведения эксперимента возьмем два куска провода примерно по 20 см каждый. Мы сняли пластик с двух концов одного из кусков. С другого кабеля также снимите пластик с одного конца и оставьте около 10 см с пластиком; снимите пластик с остального. В конце, где есть много оголенного провода, сделайте из него шар. Подключите другой конец к клемме батарейки на 9В. Мы используем карандаш с острием на каждом конце. Мы будем использовать графит, чтобы сделать источник радиоизлучения. На одном конце соедините острие с первым куском провода, закрепив его скотчем. Другой конец соединен со второй клеммой батарейки (рисунок 16).

Включите радио и включите его в диапазоне АМ (не FM). Мы ударяем свободным концом карандаша по клубку



Рис. 17: Банкнота в 50 €, освещенная УФ светом, показывает маленькие флуоресцентные полосы, отмеченные здесь стрелками,



Рис. 18: Детектор подделок, использующий ультрафиолетовый свет.

провода. Мы перемещаем линию радио, пока вы не услышите по радио, что мы постукиваем по шару. Мы можем попытаться отодвинуть радио, чтобы поставить преграды из картона, дерева и т.д. Мы также можем перенести радио в другую комнату и проверить, услышите ли вы или нет. Учтите, что электромагнитная энергия сначала преобразуется в электрическую, а затем в звук.



Рис. 19а: Рентгеновские лучи, используемые в медицине



Рис. 19b: Галактика M81 с ядром сфотографирована в рентгене, что позволяет предположить наличие очень массивной черной дыры.

## Ультрафиолетовый Свет

Ультрафиолетовые фотоны обладают большей энергией, чем обычный видимый свет. Это лучению в

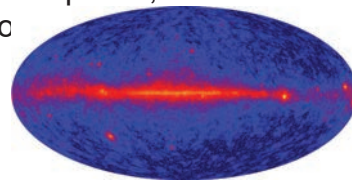


Рис. 20а: Карта Вселенной, видимая с помощью "Космического Гамма Телескопа Ферми". Центральная линия - это наша галактика

больших дозах разрушать химические связи органических молекул, так что оно смертельно опасно для жизни. На самом деле оно используется для стерилизации хирургического оборудования.

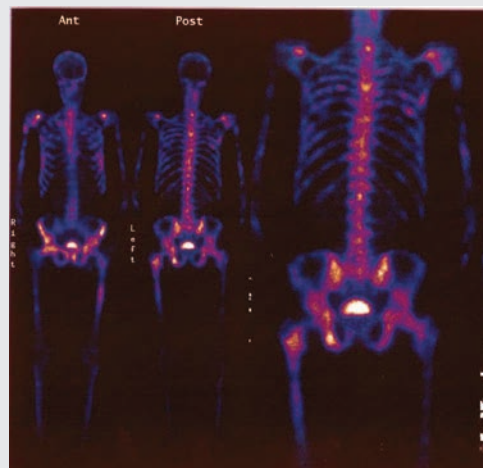


Рис. 20b: Сканирование костей гамма-излучением человеческого тела.



Солнце испускает это излучение, но, к счастью, наша атмосфера (особенно озон) фильтрует большую его часть, и некоторая часть его полезна для жизни. Это излучение делает нашу кожу загорелой (хотя избыток может вызвать рак кожи), поглощается растениями для фотосинтеза и так далее. Но если озоновый слой уменьшит свою толщину, Земля получит слишком большую дозу, и количество раковых заболеваний увеличится..

## Занятие 8: Черный свет (УФ)

Существуют лампы, называемые черным светом, которые излучают в основном в УФ и часто используются для поддержки роста растений в теплицах или в местах с небольшим количеством солнечного света. Стекло этих ламп часто почти черное, и излучает только немного темно-синего видимого света. Некоторые синтетические ткани белых рубашек (особенно рубашки, стираемые с помощью "отбеливающих средств") флуоресцируют этим светом и отражают его в ярко-фиолетовом. Вот почему этот тип освещения используется на некоторых дискотеках, где белые ткани начинают отсвечивать.

Это свойство также используется для изготовления бумаги многих банкнот: исследуйте небольшие полоски флуоресцентного материала, которые видны при освещении УФ светом (рисунок 17). Таким образом доказывается, что это не простая ксерокопия банкноты. Этот свет встроен в устройства обнаружения подделок (рисунок 18). Многие официальные карточки имеют метки или знаки, которые видны только под УФ светом.

## Рентген

Более энергичным, чем УФ, является рентгеновское излучение. Он используется в медицине в рентгенограммах и других формах диагностической рентгенологии (рисунок 19а). В космосе рентгеновские лучи характерны для очень энергичных событий и объектов: черных дыр, квазаров, сверхновых и т.д. Миссия космического телескопа "Чандра" заключается в обнаружении и мониторинге этих объектов (рисунок 19b).

## Гамма Лучи

В конце спектра, с длинами волн даже более короткими, чем рентгеновские лучи, находится гамма излучение. Это наиболее энергичное излучение, и оно производится, когда материя (электрон) находит антиматерию (позитрон). В космосе существуют различные источники (рисунок 20а), и нет ничего необычного в том, чтобы обнаружить случайные сильные извержения, которые испускают мощный взрыв гамма-лучей в течение нескольких минут или часов.

Поскольку они такие короткие, проблема состоит в том, чтобы обнаружить их и определить их точное местоположение, чтобы знать, какой объект производит излучение. Такие объекты, как Активные Ядра Галактик, пульсары и сверхновые, были идентифицированы как источники гамма-излучения.

На Земле это излучение испускается большинством радиоактивных элементов. Как и рентгеновские лучи, они используются как в медицинской визуализации (рисунок 20b), так и в терапии для лечения таких заболеваний, как рак.

## Список Литературы

- Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014
- Moreno, R, *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp. Madrid 2008.

## Интернет источники

- Телескоп Спитцер, Образование, Калифорнийский технологический институт. <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>
- [http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM\\_Astronomy](http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM_Astronomy)
- <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light>
- Рентгеновская Обсерватория Чандра <http://chandra.harvard.edu/about/>
- Космический Гамма-Телескоп Ферми <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

# Расширение Вселенной

Рикардо Морено, Сусана Деустуа, Роза М. Рос

Международный астрономический союз, Школа Ретамар (Мадрид, Испания),  
Научный институт космических телескопов (Балтимор, США), Технический университет Шарселона (Барселона, Испания).

## Сводка

Этот семинар содержит несколько простых действий, в которых мы будем работать с ключевыми концепциями расширяющейся Вселенной. В первом упражнении мы строим спектроскоп для наблюдения спектров газов. Во втором, третьем и четвертом мы качественно экспериментируем с расширением резинки, воздушного шара и поверхности точек соответственно. В пятом упражнении мы работаем количественно с расширением поверхности и даже вычисляем постоянную Хаббла для этого случая. В шестом упражнении мы обнаруживаем микроволновое фоновое излучение.

## Цели

- Понять расширение Вселенной.
- Понять, что нет центра Вселенной.
- Понять закон Хаббла.
- Понять что значит темная материя и смоделировать гравитационную линзу

## Происхождение Вселенной

Теория происхождения Вселенной, принятая сегодня, известна как Большой взрыв, огромный взрыв, который начал расширение самого пространства. Здесь нет галактик, проносящихся в пространстве, но именно пространство между ними расширяется, увлекая галактики. По этой причине мы не можем говорить о центре Вселенной, как никто не может говорить о стране, которая находится в центре земной поверхности.

Скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию, на котором она находится от нас. Константа, которая используется, называется постоянной

Хаббла. Закон Хаббла линейно связывает расстояние до галактики со скоростью, с которой она удаляется.

Первое подтверждение Большого взрыва пришло с наблюдением красных смещений в спектрах галактик, и окончательным доказательством теории Большого взрыва было обнаружение космического микроволнового фона.

## Красное смещение

Если в лаборатории мы посмотрим спектроiscopом на свет, исходящий от горячего газа, например, водорода, мы увидим некоторые цветные линии, которые типичны для этого газа на определенной длине волны. Если мы сделаем то же самое со светом, исходящим от далекой галактики, мы увидим, что линии слегка смещены (рисунок 1). Это называется красным смещением, потому что в большинстве галактик линии движутся к этому цвету.

Красное смещение света происходит из-за полета галактики от нас, подобно локомотиву, чей свистящий тон изменяется,

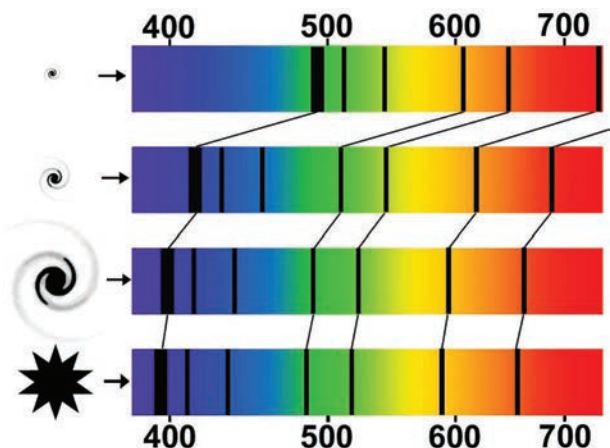


Рис.1: Чем дальше галактика, тем больше спектр смещается в сторону красного, что говорит нам о том, что галактика удаляется от нас быстрее.

когда он движется к нам или от нас, и чем больше сдвиг, тем больше скорость. Изучая спектр галактик нашей локальной группы, мы обнаруживаем, что Большое Магелланово Облако удаляется от нас со скоростью 13 км/с, а Малое отстает со скоростью около 30 км/с. Андромеда движется к нам со скоростью около 60 км/с, в то время как М 32 (один из ее спутников) удаляется со скоростью 21 км/с. Другими словами, близлежащие галактики имеют небольшие и нерегулярные относительные движения.

Но если мы посмотрим на скопление Девы, находящееся на среднем расстоянии 50 миллионов световых лет (ly), мы увидим, что все они удаляются от нас со скоростью от 1000 до 2000 км / с. А в сверхскоплении Кома Беренис в 300 миллионах километров скорость составляет от 7000 до 8500 км/с. Но, глядя в обратную сторону, мы обнаруживаем, что М 74 удаляется от нас со скоростью 800 км/с, а М 77 со скоростью 1130 км/с. А если мы посмотрим на галактики все более отдаленные, скорость спада еще больше: NGC 375 движется со скоростью 6200 км/с, NGC 562 со скоростью 10 500 км/с и NGC 326 со скоростью 14 500 км/с. Но



2а: Будильник, сумка и веревка.



2b: Мы вращаемся над головой. Зрители в стороне замечают различия в тональности звонка.

## Деятельность 1: Эффект Доплера

В эффекте Доплера длина волны звука изменяется при движении источника. Мы

ощушаем это в звуке мотоциклов или автомобилей в гонке: звук отличается при приближении и удалении от нас. Другими знакомыми примерами являются проезжающая мимо нас пожарная машина, свист движущегося поезда и т.д.

Можно воспроизвести его вращающийся на горизонтальной плоскости зуммер, например, будильник. Помещаем его в моторный мешок (мешок 2а) и

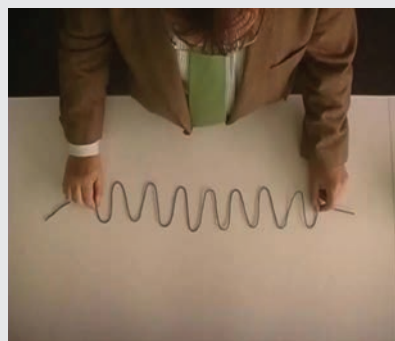


Рис.3а: Изготовленные волны с жестким кабелем.

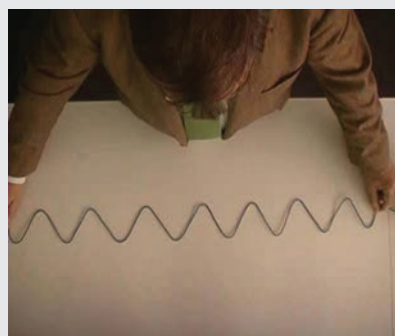


Рис. 3b: Те же волны, показывающие большую длину волны.

завязываем веревкой. Когда мы вращаем его над головой (рисунок 2b), мы можем услышать его, когда он приближается к зрителю: ближе, а звук выше. Когда он смещается от нас, звук растягивается, и звук становится более басовым или более низким. Тот, кто находится в центре вращения, не испытывает его.

Это эффект Доплера из-за смещения. Но это не то же, что происходит с галактиками при расширении. Галактики не движутся в пространстве, расширяется пространство между ними.

## Упражнение 2: «Растяжение» фотонов

Вселенная, когда она расширяется, «растягивает» фотоны в ней. Чем больше



Рис. .4: Эдвин Хаббл. Рис. .5: Джордж Леметр и Альберт Эйнштейн.

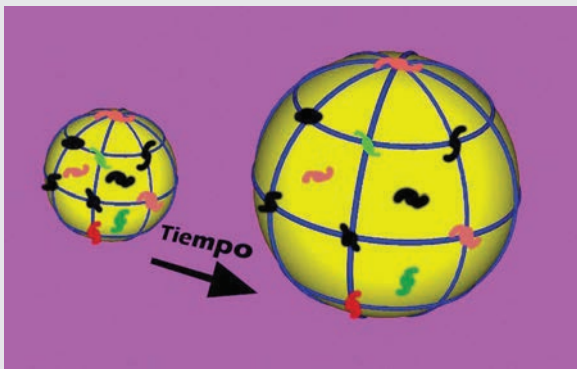
продолжительность фотонного следа, тем большему растяжению он подвергается.

Можно изготовить модель такого натяжения с помощью полужесткого кабеля, который используется в электроустановках домов. Отрежьте около одного метра кабеля и согните его вручную, сделав несколько циклов синусоиды, имитируя различные волны (рисунок 3а).

Возьмите кабель обеими руками и потяните (рисунок 3б) и наблюдайте, что длина волны увеличивается, как это происходит в излучении, которое исходит от галактики. Части, находящиеся дальше от нас, имели больше времени, чтобы растянуться и переместиться дальше в красный (больше длина).

## Закон Хаббла

Именно Эдвин Хаббл (рисунок 4), опираясь на эти данные, установил в 1930 году закон,



6: С течением времени пространство расширяется, и материя, содержащийся в нем, отделяется друг от друга.

носящий его имя: чем дальше галактика, тем быстрее она удаляется от нас. Это указывает на то, что Вселенная расширяется во всех направлениях, так что все тела, находящиеся в ней, удаляются друг от друга. Движение от

нас, которое мы видим во всех галактиках, не означает, что мы находимся посреди них: инопланетянин будет выглядеть так же из любой точки Вселенной, как это происходит при взрыве фейерверка: все легкие частицы будут раздвинуты взрывом пороха.

Однако реальная модель — это не галактика, движущаяся в пространстве, а пространство между ними, которое расширяется, увлекая галактики.

Если пространство расширяется во все стороны, значит, если время повернулось вспять, то все должно было быть сосредоточено на каком-то начальном моменте, где все началось.

Именно так бельгийский священник и астроном Жорж Леметр (рисунок 5) установил наиболее широко принятую сегодня модель Вселенной: произошел изначальный большой взрыв, и в него мы вовлечены. В этом расширении расширяется само пространство. Чтобы понять это, представьте себе резиновый воздушный шар с серией точек, нарисованных на его поверхности, представляющих галактики (рисунок 6). По мере выпячивания упругое пространство между крапинками увеличивается. Точно так же с течением времени пространство будет расширяться, а само содержащееся вещество отдалятся.

Поэтому скорость спада удаления



Рис.7а: Резинка без растяжения.



Рис.7б: Растянутая резинка.

и ее расстояние от нас кажутся пропорциональными. Константа, которая связывается, называется постоянной Хаббла. Закон Хаббла связывает расстояние до галактики со скоростью, с которой она удаляется:

$$v = H \cdot d$$

Можно приблизительно определить его значение, зная скорость и расстояние до некоторых галактик. Скорость, с которой галактика удаляется, легко точно измерить по красному смещению, но измерить расстояние, особенно в случае более отдаленных галактик, сложнее. Ученые не согласны со значением постоянной Хаббла. При использовании того или иного метода новые значения обычно колеблются от 50 до 100 км/с на мегапарсек. Принятое в настоящее время значение составляет примерно 70, что указывает на возраст Вселенной в 13 700 миллионов лет.

### Упражнение 3: Вселенная в резинке

Эдвин Хаббл обнаружил, что все галактики удаляются от нас. Чем дальше они находятся, тем быстрее они это делают. Так называемый закон Хаббла гласит, что скорость спада удаления относительно нас пропорциональна ее

расстоянию. Это логическое следствие расширяющейся Вселенной. И хотя все галактики удаляются от нас, это не значит, что мы являемся центром Вселенной.

Маркером сделайте отметку на каждый сантиметр на резинке. Каждая отметка представляет галактику (А, В, С, ...) . Наша галактика будет первой. Поместите резину рядом с линейкой (рисунок 7а), и дайте нашей галактике совпасть с отметкой 0 см. Другая галактика А, В, С, ... совпадают с отметками 1, 2, 3, 4... см..

Растяните резинку (рисунок 7b) так, чтобы наша галактика оставалась на отметке 0 см и чтобы следующая галактика (А) была помещена на отметку 2 см. Расстояние от этой галактики до нашей удвоилось. Что случилось с расстоянием между другими галактиками В, С, D и нашей собственной? Удвоились ли они?

Предположим, что время, затраченное на растяжение резины, составило 1 сек. Являются ли удаляющиеся скорости других галактик одинаковыми, или некоторые удаляются быстрее других? Как житель следующей «галактики» видит нашу галактику и другие галактики? У них тоже все они уезжают?

### Упражнение 4: Вселенная в воздушном шаре

Внутри расширяющейся Вселенной есть пространство между галактиками, которое расширяется. Сами галактики



Рис.8а: Кусочки хлопка, приклеенные к слегка надутому воздушному шару



8b: Кусочки хлопка удаляются, когда воздушный шар более увеличивается

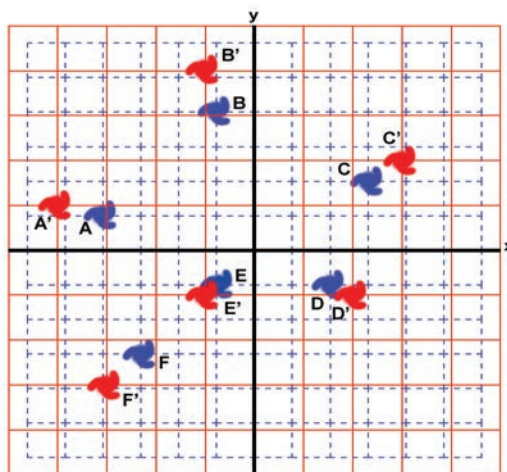


Рис 9: Сетка сплошных линий (красная) такая же, как пунктирная (синяя), но расширенная. Галактики прикреплены к сеткам.

Galaxia	Coordenadas <i>x,y</i>	<i>d=distancia al origen</i>	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

Таблица 1: с координатами, записанными в качестве примера

Galaxy	Coordinates <i>x,y</i>	<i>d=distance from origin</i>	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

Таблица 2: Будет дополнена данными с рисунка 9.

не расширяются, как и наши дома. То, что тесно связано гравитацией, не увеличивается в размерах.

Есть простой эксперимент, который может продемонстрировать это. Просто используйте воздушный шар и сначала немного надуйте его. Затем наклейте несколько кусочков хлопка на поверхность с помощью маскировочной ленты (монеты также работают). Затем надуйте воздушный шар до тех пор, пока он не заполнится. Кусочки хлопка будут отделены друг от друга (рисунки 8a и 8b). Некоторые, кажется, идут дальше, чем другие, но ни один из них не становится ближе. Это очень простая модель расширяющейся Вселенной.

### Упражнение 5: расчет постоянной Хаббла

Закон Хаббла гласит, что скорость  $v$  галактики пропорциональна расстоянию от нас:  $v = H \cdot d$ . Константа  $H$  называется постоянной Хаббла, и вы можете вычислить ее, используя расстояния и скорости некоторых галактик. Из приведенной выше формулы:

$$H = v/d$$

На диаграмме фигуры 12 показано пространство, представленное синей сеткой пунктирных линий, с нами в центре и несколькими голубыми галактиками на расстоянии от нас. Через некоторое время, скажем, через 10 секунд, пространство расширилось, и как сетка (в сплошных линиях), так и галактики представлены красным цветом.

Заполните таблицу 1 под чертежом. В каждую строку вносятся данные по каждой галактике. Например, координаты вычисляются синими квадратами (пунктирными линиями) или красными (сплошные линии) как галактики A или A' соответственно, а расстояние  $d$  получается путем измерения длины в сантиметрах линейкой, начинающейся в центре нашей галактики. Данные столбца  $d$  должны быть получены путем вычитания расстояния из A' и A. В последнем столбце мы должны использовать расстояние перед расширением (например, A, а не A') в знаменателе.

Проверьте, что:

a) Координаты каждой галактики не

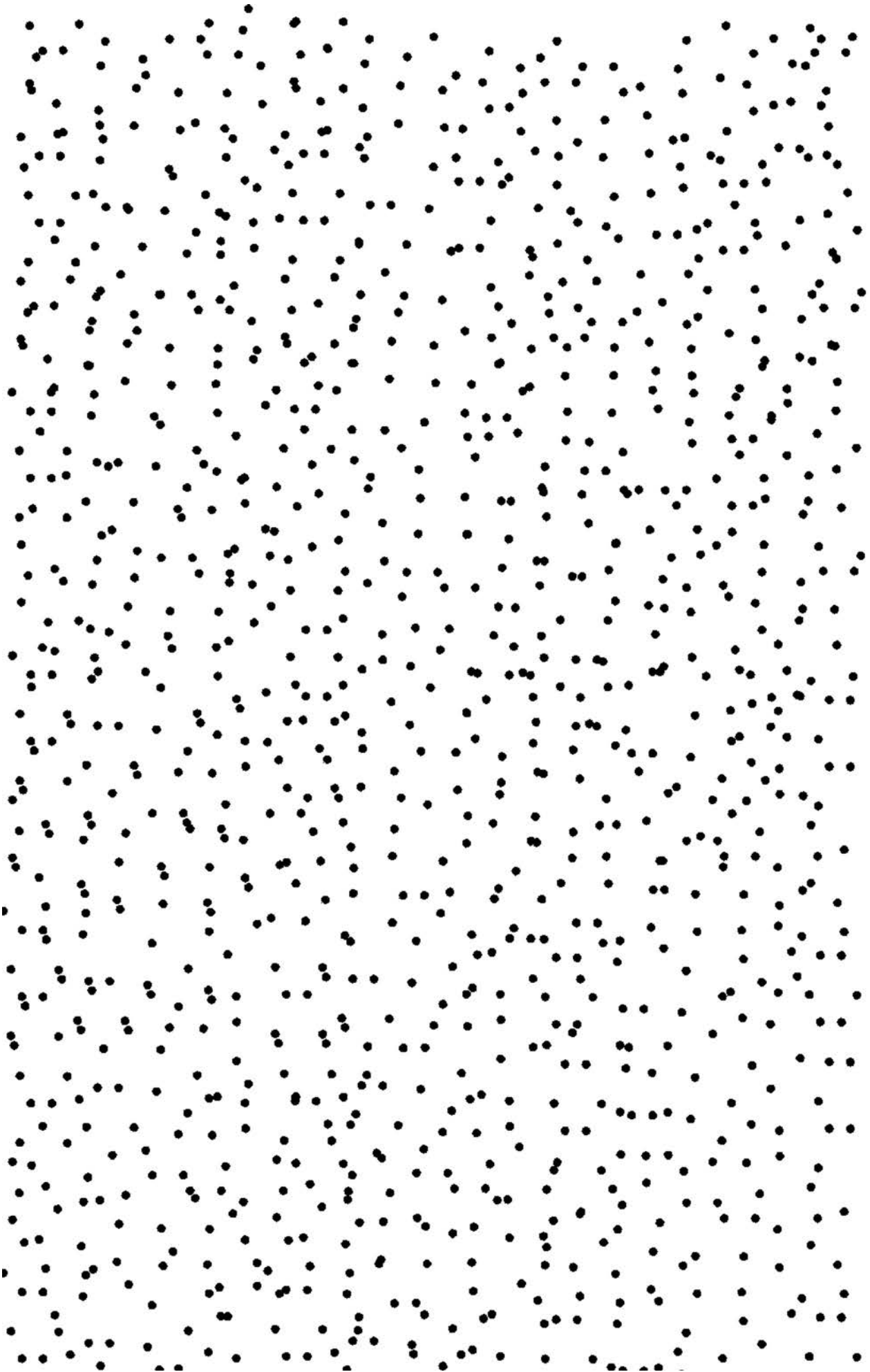


Рис.10: Ксерокопируйте эту страницу н, а затем еще раз с увеличением до 105% размера.

меняются с расширением (галактики не движутся в пространстве).

б) Значение  $H$  довольно постоянно независимо от галактик.

## Большой взрыв

В настоящее время теория происхождения Вселенной как огромного взрыва широко принята в научном сообществе, хотя есть и те, кто сомневается и чувствует, что есть еще детали, оставшиеся необъясненными. В 1994 году американский журнал *Sky & Telescope* провел конкурс на его переименование снова. Было получено 12000 заявок, но ни одно из них не смогло изменить или лучше сформулировать: теорию Большого взрыва. Название было выбрано как пренебрежительное астрономом Фредом Хойлом, который с определенным антирелигиозным уклоном считал, что оно слишком соответствует идее Творца. Наблюдение за расширяющейся Вселенной показывает, что при повороте времени

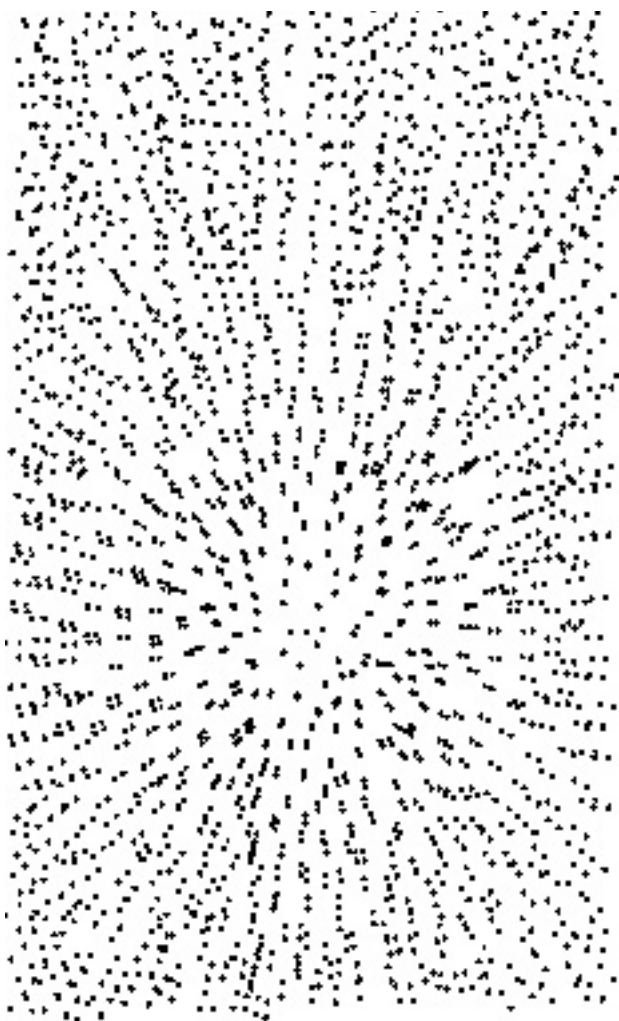


Рис. 11а: Суперпозиция двух слайдов, один из которых увеличен на 105%.



Рис. 11б: Наблюдателю в другой точке также кажется, что все удаляется от него: нет центра Вселенной.

назад существовал момент, в котором произошел взрыв, дающий начало пространству и времени, какими мы его знаем сейчас. Мы можем спросить, как это произошло и почему это произошло. У науки нет ответа, потому что она работает только с функционированием того, что уже существует. Наука может попытаться объяснить, как все работало после Большого взрыва, но не почему материя существует. Такой вопрос для философов, изучающих метафизическое (за пределами физики).

Некоторые попытки объяснить причину, прибегая к некоторым физическим понятиям, таким как квантовые флуктуации вакуума, путают вакуум ни с чем: квантовый вакуум существует, у него есть пространство и некоторая энергия. Понятие ничто, означающее отсутствие всего сущего, в том числе и пространства, не научно, оно метафизическое. В ничто ничто не может существовать и колебаться. Другие теории говорят о мультивселенных, но по определению их невозможно проверить (если бы мы могли каким-то образом наблюдать другие вселенные, то они были бы частью нашей, потому что наша



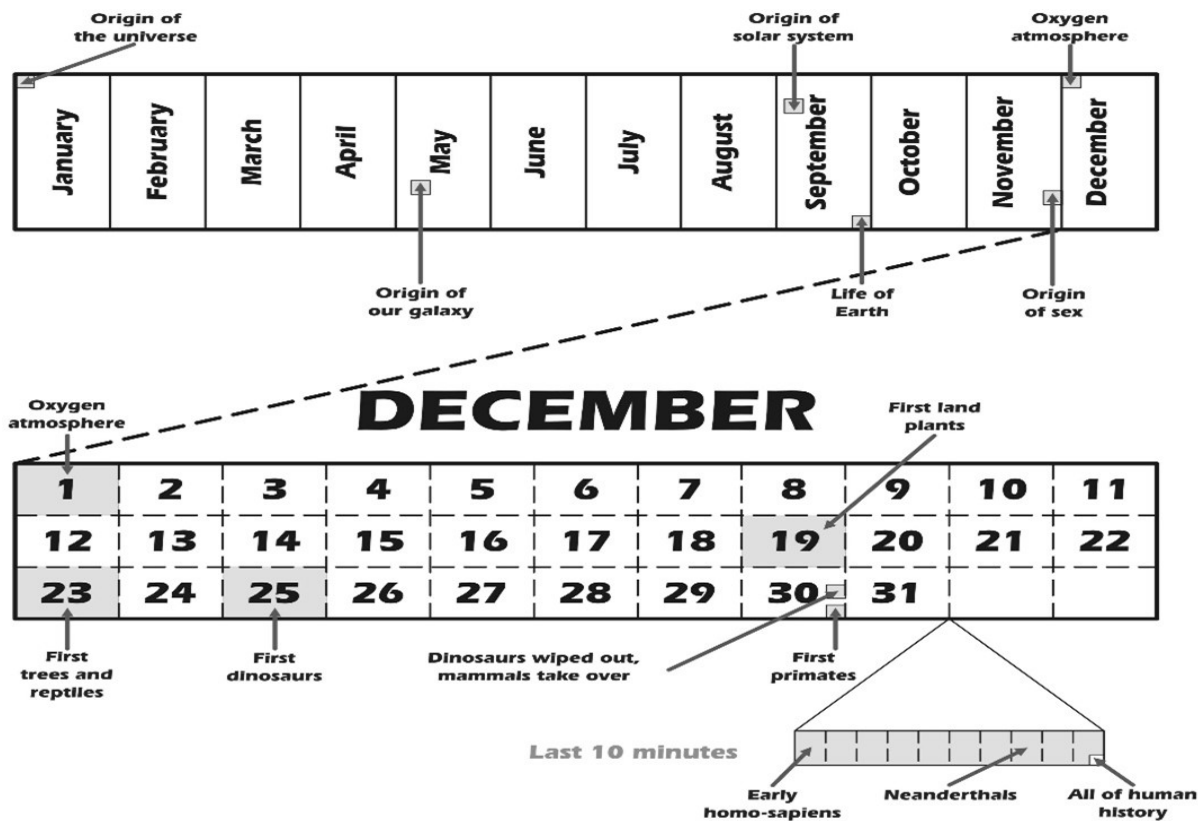


Рис.12: Космический календарь. История Вселенной сжимается до одного года. Вся записанная история (человеческая цивилизация) происходит за последние 21 секунду

Вселенная — это вся материя, которая и вы сможете очень хорошо наблюдать каким-то образом находится в пределах досягаемости). По этой причине эти теории на самом деле не являются научными.

Вернемся к науке. В начальный момент вся материя и энергия были бесконечно малы и плотны. Большой взрыв был взрывом пространства в начале времени, и с этого момента материя стала работоспособной, с законами, которые были записаны в ней, и которые привели Вселенную к текущему состоянию.



13: Со временем по мере расширения пространства фотоны расширяются по длине волны. Это микроволновое фоновое излучение.

## Упражнение 6: Нет центра расширения

На следующей странице находится рисунок (рисунок 10) со многими точками, которые имитируют галактики в данный момент времени. Сначала сделайте копию на прозрачной бумаге, а затем еще одну на другой прозрачной бумаге, слегка расширенной (например, 105%).

Если наложить на проектор (рисунок 11a), мы получим изображение, представляющее расширение пространства во времени: сопоставьте изображения в одной точке,

смещение всех радиальных точек, что тем больше, чем дальше вы находитесь от совпадающей точки. Кажется, что точки удаляются тем быстрее, чем дальше они находятся от совпадающей точки.

Но если совпадение находится в другой точке (рисунок 11b), то это то же самое. Так и в космосе: из нашей галактики мы видим, что все удаляются от нас, и они движутся

тем быстрее, чем дальше они находятся от

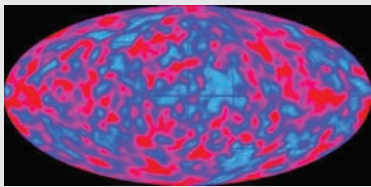


Рис.14а: Изображение COBE.

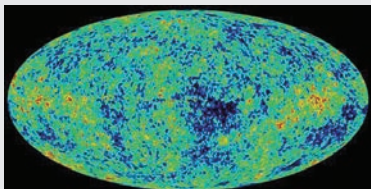


Рисунок 14b: WMAP-изображение.

наблюдателя. Мы думаем, что находимся в центре Вселенной, но это не так, поскольку наблюдатель в другой галактике увидел бы то же самое, и это, казалось бы, находится в центре. Центра действительно нет.

## Развитие Вселенной

В апреле сформировался наш Млечный Путь. В августе образовалось Солнце, и к концу месяца Земля стала сферической. Но только в октябре кислород присутствует в нашей атмосфере. Хотя очень простые живые клетки появляются на Земле сразу, ядра появляются 2 декабря, а 12 декабря присутствуют первые многоклеточные организмы. 19-го числа появляются первые рыбы, а также растения, насекомые и амфибии с 21-го по 22-е. 25-го числа появляются динозавры, продолжающиеся до 28-го числа. 30-го числа млекопитающие живут на Земле, но только 31 декабря, в 11 часов вечера, появляется человек. В 23:57 жил неандерталец, а роспись пещер Альтамира произошла в последнюю минуту. За пять секунд до двенадцати часов ночи родился Иисус Христос. Прошлый век находится в последних двух десятых секунды.

## Микроволновое фоновое излучение

Вначале, при очень высоких температурах, четыре силы, которые мы теперь знаем, были едины. Гравитация, электромагнитное взаимодействие, сильные и слабые ядерные силы (последние два действуют только



Рис 15: Некоторые точки аналогового ненастроенного телевизионного экрана приходят с микроволнового фона.

внутри атомов) были объединены. Затем они отделяли и образовывали фотоны, электроны, протоны и другие элементарные частицы. В то время как Вселенная расширяется, она становится прохладнее. Через 300 000 лет температура упала достаточно, чтобы позволить образование атомов, в основном водорода и гелия. Плотность уменьшалась, и фотоны могли свободно двигаться во всех направлениях: появился свет. Ученые утверждают, что Вселенная стала прозрачной. Эти фотоны сейчас путешествуют в пространстве, хотя оно и остыло, поэтому длина волны has резко возросла (рисунок 13), и они становятся намного холоднее фотонов, которые передают энергию всего 2,7 градуса Кельвина. Это называется космическим микроволновым фоном или СМВ.

Это фоновое излучение было впервые обнаружено в 1964 году Пензиасом и Уилсоном в Соединенных Штатах. Они



16а Иоганн Кеплер, рис.



16б Эдмунд Галлей, рис



16с Генрих Ольберс и рис.

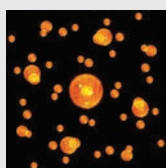


16-й Эдгар Аллан По

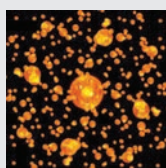
пытались удалить весь шум в своем радиотелескопе, когда они поймали излучение длины волны 7,35 см, которое всегда присутствовало, независимо от того, куда указывала огромная антенна. Они пересмотрели всю установку и даже подумали, что некоторые птицы, которые гнездились в антенне, могли быть причиной, но они не смогли устранить этот фоновый шум. Они пришли к выводу, что он исходил от передатчика тела, который имел температуру 2,7 Кельвина — текущую температуру Вселенной — и не находился в каком-либо конкретном месте. Это была сама Вселенная, которая испускало это фоновое излучение, пережиток Большого взрыва. Любой может обнаружить его с помощью аналогового телевизора, настроенного на незанятый канал: примерно одна из каждых десяти точек, которые вы видите на экране, исходит от этого фонового излучения. Эти выбросы находятся в области микроволновых печей, похожих на домашние печи, но с очень небольшим количеством энергии: они могут нагревать пищу только на 2,7 К.

### Хотя это

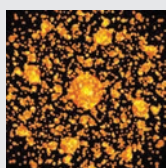
излучение казалось удивительно однородным, Г. Смут, Р. Матер и его коллеги смогли увидеть очень незначительные изменения в измерениях спутника COBE (рисунок 14а), порядка миллионных долей градуса. Одновременно эти флуктуации были обнаружены в земле в эксперименте



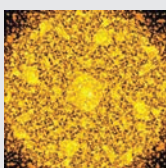
Свет, исходящий от близлежащих звезд.



Но есть и другие звезды, которые посылают нам свой свет.



Чем дальше, тем больше звезд



Из любой точки неба мы должны видеть свет звезд

Рисунок 17: [wikimedia commons](#)

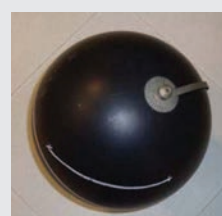
Тенерифе в Институте астрофизики Канарских островов. А в 2001 году НАСА запустило телескоп WMAP для изучения фонового излучения со значительно большим разрешением (рисунок 14b).

Несмотря на небольшие размеры, эти вариации являются отпечатками кусков материи, из которых начали формироваться галактики. Мы не знаем, что вызвало эти колебания плотности. Что мы можем сказать, так это то, что «морщины» в этой области произошли, и конденсация начала происходить в протогалактиках только через несколько сотен миллионов лет после Большого взрыва. Почти одновременно первые звезды сформировались в этих ранних галактиках.

## Деятельность 7: Обнаружение микроволнового фонового излучения

Примерно через 300 000 лет после Большого взрыва фотоны отделились от материи и начали свободно путешествовать по Вселенной. Когда пространство расширилось, эти фотоны увеличили свою длину волны. Теперь мы оцениваем, что они имеют длину волны около 2 мм, которая соответствует микроволновой области и эквивалентна той, которая испускается черным телом, которое было при 2,7 градусах Кельвина.

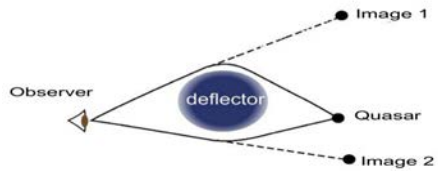
Пензиас и Уилсон в 1964 году впервые обнаружили микроволновое фоновое



18а и 18b: Если пространство искривлено, то кратчайшим путем между двумя точками является кривая.



18с: Кратчайший путь над поверхностью земли не является прямой линией.



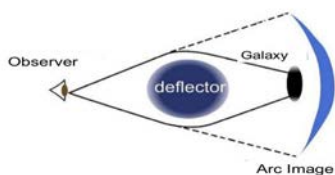
19a: Наблюдатель видит два изображения, потому что кажется, что свет исходит из двух разных мест.



Рис.19b: Изображение двойного квазара Q0957+561. Дефлектор — это галактика, близкая к компоненту В.

излучение, реликтовое излучение, которое поступает очень равномерно ото всех сторон. Спутник COBE (рисунок 14a), а затем WMAP (рисунок 14b) произвели очень точное измерение этого излучения во всех направлениях, обнаружив крошечные вариации от одной области к другой, соответствующие тому, что тогда было скоплениями галактик.

Также мы можем обнаружить это фоновое излучение с помощью простого телевизора (рисунок 15). Для этого настройте телевизор на аналоговый пустой канал. Изображение состоит из множества постоянно меняющихся



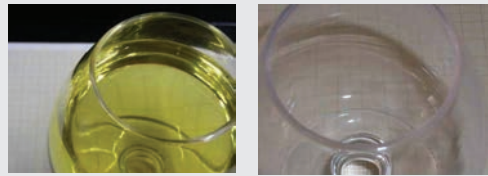
20a: Если отвлеченное тело является расширенным объектом, то полученные изображения представляют собой набор



20b: Гигантские светящиеся дуги, образованные скоплением галактик Abell



20c: Полное кольцо галактики за

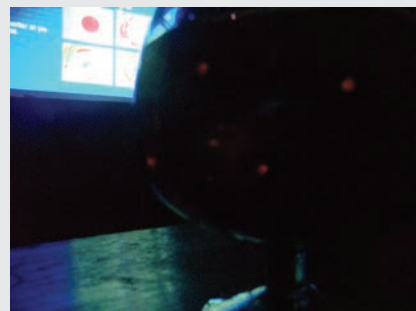
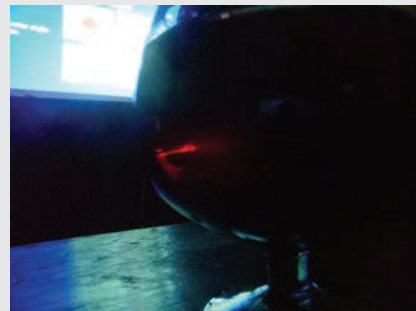


21a и 21b: Мы можем увидеть искажение графической бумаги только в том случае, если стакан полон.

точек. Примерно 10%, т.е. каждый десятый исходит от фонового излучения Вселенной.

## Почему ночью темно?

Так называлась интересная статья, которую немец Генрих Ольберс выпустил в 1823 году. Ранее, в 1610 году, Кеплер рассматривал это как доказательство того, что Вселенная не может быть бесконечной. Эдмунд Галлей столетие спустя заметил некоторые особенно яркие области на



22a: Луч фонарика искажается как дуга между двумя ярко-красными пятнами, Рис. 22b: как аморфный прямоугольник, и Рис. 22c: крест Эйнштейна.



23: Деформация сетки.

яркое ночью, потому что, хотя Вселенная бесконечна, звезды распределены неравномерно. Даже писатель Эдгар Аллан По (1809-49) писал на эту тему. Однако этот вопрос вошел в историю как парадокс Ольберса.

Ответ кажется тривиальным, но не так после прочтения статьи от Ольберса. Рассуждения Ольберса привели к парадоксу, что ночное небо должно быть таким же ярким, как и самый славный день. Давайте посмотрим на рассуждения. Рассуждения Ольберса основывались на следующих принципах:



Рис.24а, Рис.24б и Рис. 24с: Стекло может имитировать различные формы, сделанные гравитационными линзами: дуги, изображения точек и кольца Эйнштейна.

- 1.- Вселенная бесконечна по протяженности.
- 2.- Звезды распределены более или менее равномерно по всей Вселенной.
- 3.- Все звезды имеют одинаковую среднюю яркость по всей Вселенной. Посмотрите на Вселенную с Земли.

Предположим, что первая сферическая оболочка звезд на небе на расстоянии  $R_1$ . Количество звезд, которые он содержит, будет  $N_1$ . Предположим вторую сферическую оболочку на большем расстоянии  $R_2$ . Каждая из его звезд будет освещена гораздо меньше, но слой больше и содержит больше звезд, согласно принципу No 2, и противодействует меньшему свету (интенсивность света уменьшается пропорционально  $1/R^2$ , а площадь слоя, и, следовательно, число звезд увеличивается как  $R^2$ ). Вывод заключается в том, что второй слой освещает Землю так же, как и первый.

А по принципу No1 существуют бесконечные слои, поэтому вывод заключается в том, что ночью небо должно казаться ярким.

Другой способ выразить это: если мы наблюдаем ночное небо, где есть бесчисленные звезды, наш глаз всегда должен видеть поверхность звезды, и поэтому мы должны видеть там яркое пятно. И если это произойдет по всему небу, это должно показаться совершенно освещенным.

Очевидно, что это неправда. Этот парадокс Ольберса вызвал много споров и не мог быть разрешен должным образом до начала двадцатого века с теорией Большого взрыва. Сам аргумент правильный, но он терпит неудачу в своих принципах. Действительно, с расширением Вселенной свет от далеких звезд находится на большем красном смещении, чем дальше они находятся. Что подразумевает ослабление интенсивности излучения, поэтому принцип No3 не корректен. Мы также знаем, что чем дальше звезда, тем дольше свет покидал ее, поэтому мы видим ее такой, какой она была давным-давно. Более далекие звезды образовались вскоре после Большого взрыва, но мы не можем наблюдать больше, потому что нет бесконечных слоев звезд — принцип No 1 также ложен.

В двадцатом веке решение парадокса Ольберса было объяснено с пониманием расширения и особенно с возрастом Вселенной, который не бесконечен. К счастью, ночь все еще может быть темной!

## Гравитационные линзы

Свет всегда следует по кратчайшему возможному пути между двумя точками. Но если масса присутствует, то пространство искривляется, и кратчайшим возможным путем является кривая, как показано на рисунке 18а. Эта идея не сложна для студентов. Мы можем легко показать его на земном шаре (рисунок 18с). Очевидно, они могут понять, что на поверхности Земли расстояние между двумя точками всегда следует кривой.





# Планеты и экзопланеты

Роза М. Рос, Ханс Диг

Международный Астрономический Союз, Технический университет Каталонии (Испания), Институт астрофизики Канарских островов и Университет Ла-Лагуны (Испания)

## Аннотация

Этот семинар представляет собой серию занятий для сравнения многих наблюдаемых свойств (таких как размер, расстояния, орбитальные скорости и скорости удаления) планет в нашей Солнечной Системе. Каждый раздел предоставляет контекст для различных таблиц планетарных данных, предоставляя демонстрации или расчеты для сравнения свойств планет, давая студентам конкретное представление о том, что означают эти данные.

В настоящее время для поиска экзопланет используется несколько методов, более или менее косвенных. Удалось обнаружить почти 4000 планет и около 500 систем с несколькими планетами.

## Цели

-Понять, что означают числовые значения в сводной таблице данных Солнечной системы.

-Понять основные характеристики внесолнечных планетных систем путем сравнения их свойств с орбитальной системой Юпитера и его галилеевых спутников.

## Солнечная Система

Создавая масштабные модели Солнечной Системы, ученики будут сравнивать различные параметры планет. Для

Планеты	Диаметр (км)	Расстояние до Солнца (км)
Солнце	1 392 000	-----
Меркурий	4 878	$57,9 \times 10^6$
Венера	12 180	$108,3 \times 10^6$
Земля	12 756	$149,7 \times 10^6$
Марс	6 760	$228,1 \times 10^6$
Юпитер	142 800	$778,7 \times 10^6$
Сатурн	120 000	$1.430,1 \times 10^6$
Уран	50 000	$2.876,5 \times 10^6$
Нептун	45 000	$4.506,6 \times 10^6$

Таблица 1: Данные о телах Солнечной

выполнения этих активностей мы будем использовать данные Таблицы 1. Во всех случаях главная цель модели - сделать данные понятными. Миллионы километров - это не те расстояния, которые легко охватить. Однако, если перевести их на масштабированные расстояния и размеры, учащиеся обычно находят их более легкими для понимания.

## Модели Солнечной Системы

### Занятие 1: Модели диаметров

Используя большой кусок (или несколько кусков, если необходимо) желтой бумаги, вырежьте круг, представляющий Солнце. Солнце масштабируется на 139 см в диаметре, так что 1 см составляет 10 000 км. Вырежьте разные планеты из простого картона или цветного картона и нарисуйте их морфологические характеристики. Располагая планеты вблизи солнечного диска, учащиеся могут охватить различные планетарные масштабы.

При масштабе 1 см на 10 000 км используйте

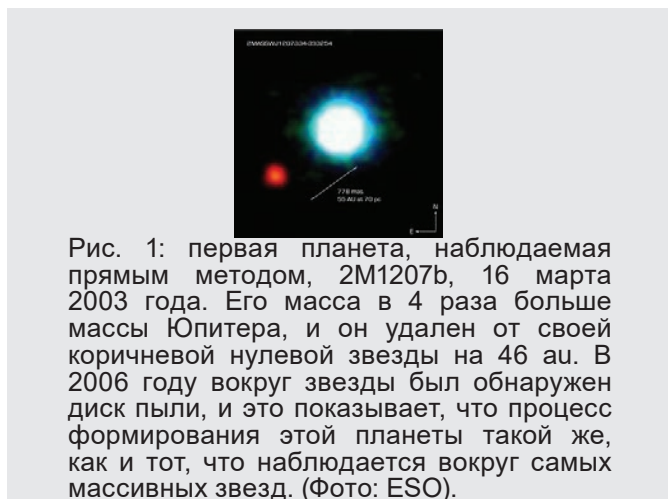


Рис. 1: первая планета, наблюдаемая прямым методом, 2M1207b, 16 марта 2003 года. Его масса в 4 раза больше массы Юпитера, и он удален от своей коричневой нулевой звезды на 46 au. В 2006 году вокруг звезды был обнаружен диск пыли, и это показывает, что процесс формирования этой планеты такой же, как и тот, что наблюдается вокруг самых массивных звезд. (Фото: ESO).





Рис.2: Примеры футболок, с сравнением масштаба солнечного и планетарного диаметров.

следующие диаметры планет: Солнце 139 см, Меркурий 0,5 см, Венера 1,2 см, Земля 1,3 см, Марс 0,7 см, Юпитер 14,3 см, Сатурн 12,0 см, Уран 5,0 см и Нептун 4,9 см. km: Sol 139 cm, Mercuri 0.5 cm, Venus 1.2 cm, la Terra 1.3 cm, Mart 0.7 cm, Предложение: Также можно завершить предыдущую модель, нарисовав планеты на футболке, сохраняя масштаб планет, но рисуя только часть солнца.



Рис. 3: Модель расстояний.

## Занятие 2: Модель расстояний

Сравнивая расстояния между планетами и Солнцем, мы можем создать другую модель, которую легко установить в любом школьном коридоре. Сначала просто отрежьте полоски картона шириной 10 см, соединив их так, чтобы получилась длинная полоса в несколько метров (рисунок 3). Затем поместите вырезки планет на нем на их правильных расстояниях. Напомните ученикам, что расстояние между планетами не в одном масштабе с диаметрами. В предложенном масштабе планеты были бы в тысячу раз меньше, так как здесь мы используем 1 см на 10 000 000 км, в то время как в первой активности выше

мы использовали 1 см на 10 000 км. Если использовать шкалу 1 см на 10 миллионов км, то масштабируемые расстояния будут следующими: Меркурий 6 см, Венера 11 см, Земля 15 см, Марс 23 см, Юпитер 78 см, Сатурн 143 см, Уран 288 см и Нептун 450 см.

Предложение: Забавная вариация этой модели заключается в использовании каждого листа рулона туалетной бумаги для масштабирования. Например, вы можете взять в качестве масштаба кусок бумаги на каждые 20 миллионов километров.

## Занятие 3: Модель диаметров и расстояний

Следующая задача состоит в том, чтобы объединить две вышеупомянутых активности и создать модель, представляющую тела, а также соответствующие расстояния между ними



Рис. 4: Солнце и планеты модели диаметров и расстояний.

в общем масштабе. На самом деле не так легко определить масштаб, который позволит нам представить планеты с объектами, которые не будут слишком малы и все еще будут иметь не слишком большие расстояния, ибо в этом случае размеры и расстояния не так легко усваиваются, и модель не будет полезна для учеников. В качестве предложения, возможно, будет хорошей идеей использовать школьный двор для создания модели и использовать мячи для планет, поскольку мячи различного диаметра доступны сколько нужно.

В качестве примера приведем возможное решение: на одном конце школьного двора мы ставим баскетбольный мяч диаметром

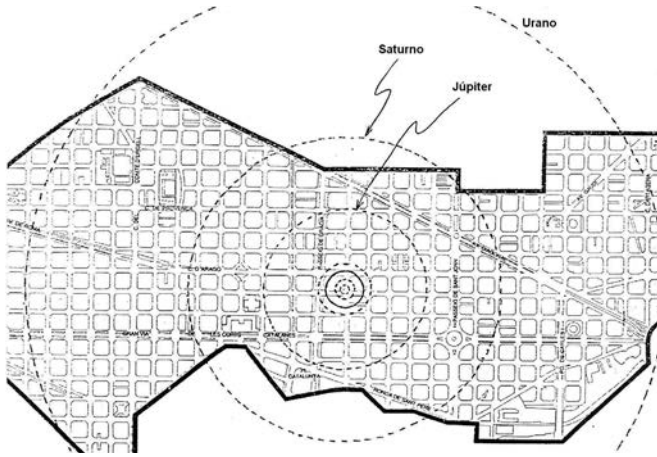


Рис. 5: Карта “ Энсанче-де-Барселона” с некоторыми планетами.

около 25 см, который представляет собой

Солнце. Меркурий будет представлять собой головку иглы (диаметром 1 мм), расположенную в 10 м от Солнца. Головка чуть большей иглы (2 мм в диаметре) будет представлять Венеру на расстоянии 19 м от Солнца, в то время как Земля будет головкой другой иглы, подобной предыдущей (2 мм) на расстоянии 27 м от Солнца. Марс представляет собой немного меньшую

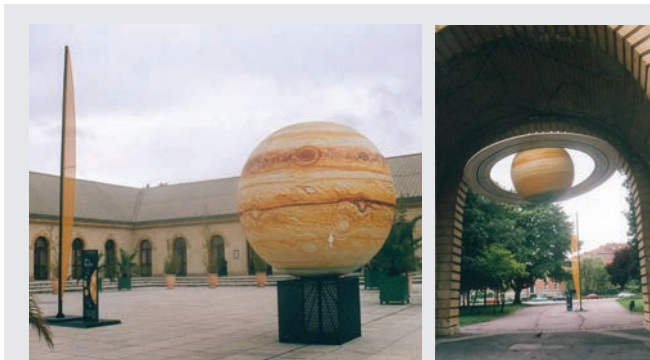


Рис. 6а и 6б: Снимки города Мец.

игольчатую головку (1 мм), расположенную в 41 м от Солнца. Обычно школьный двор на этом заканчивается, если не раньше. Мы должны будем поместить следующие планеты в других местах за пределами школьного двора, но на ориентирах рядом со школой, чтобы ученики были знакомы с расстояниями. Шарик для пинг-понга (диаметр 2,5 см) соответствует Юпитеру на расстоянии 140 м от Солнца. Еще один шарик для пинг-понга (2 см в диаметре) будет Сатурном на расстоянии 250 м от Солнца, стеклянный шарик (1 см в диаметре) будет представлять Уран на расстоянии 500 м от Солнца, а последний шарик (1 см), расположенный на расстоянии

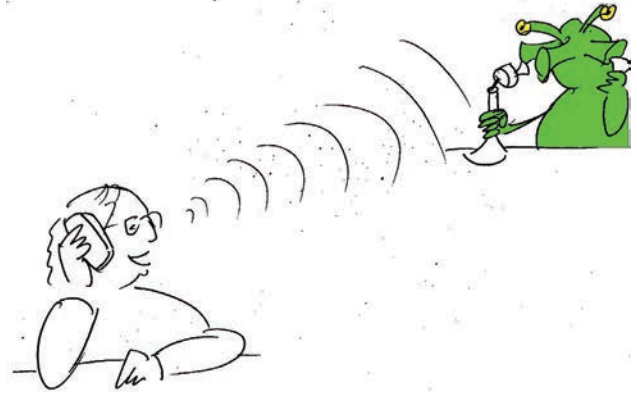


Рис. 7: Другой пример.

800 м, будет представлять Нептун.

Следует подчеркнуть, что эта планетная система не вписывается ни в одну школу. Однако, если бы мы сократили расстояния, планеты были бы меньше, чем головка иглы, и их было бы почти невозможно визуализировать. В качестве последнего задания вы можете рассчитать, какой масштаб был использован для разработки этой модели.

#### Занятие 4: Модель на карте города

Идея проста - с помощью карты города определить положение различных планет, предполагая, что Солнце расположено у входа в школу. В качестве примера приведем карту Барселоны с различными объектами (в частности, фруктами и овощами), которые будут располагаться на разных улицах, чтобы вы могли лучше представить себе их размеры. В качестве упражнения мы предлагаем вам проделать то же самое с вашим собственным городом. Используя карту, показанную здесь, Меркурий был бы икринкой, Венера и Земля

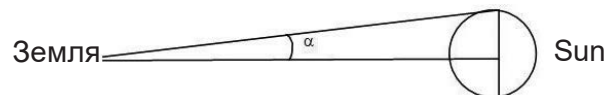


Рис. 8: С Земли, Солнце видно под углом  $\alpha$

- парой горошин, Марс - горошком перца, Юпитер - апельсином, Сатурн - мандарином, а Уран и Нептун - парой грецких орехов. Для Солнца, поскольку нет достаточно большого овоща, учащиеся должны представить себе сферу размером примерно с посудомоечную машину. Инструктор может сделать то же самое действие,

используя свой собственный город.

Используя карту, показанную здесь, Меркурий был бы икринкой, Венера и Земля - парой горошин, Марс - горошком перца,

Планеты	$2\tan \alpha$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$ пригл.
Меркурий	0,024	1,383	1,4
Венера	0,0129	0,743	0,7
Марс	0,006	0,352	0,4
Юпитер	0,0018	0,1031	0,1
Сатурн	0,000979	0,057	0,06
Уран	0,00048	0,02786	0,03
Нептун	0,0003	0,0178	0,02

Таблица 2: Размеры Солнца с разных планет.

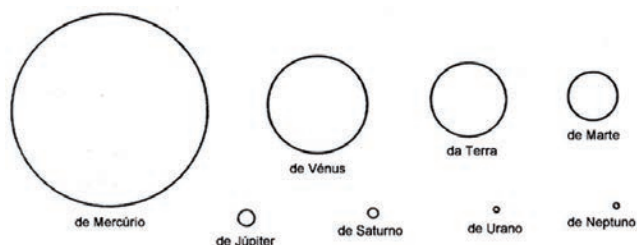


Рис. 9: Солнце видимое с каждой планеты: Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна.

Юпитер - апельсином, Сатурн - мандарином, а Уран и Нептун - парой грецких орехов. Для Солнца, поскольку нет достаточно большого овоща, учащиеся должны представить себе сферу размером примерно с посудомоечную машину. Инструктор может сделать то же самое действие, используя свой собственный город.

В городе Мец (Франция) есть Солнечная система, раскинувшаяся на его улицах и площадях, с соответствующими планетами,

	Плотность (г/см <sup>3</sup> )
Солнце	1.41
Меркурий	5.41
Венера	5.25
Земля	5.52
Луна	3.33
Марс	3.9
Юпитер	1.33
Сатурн	0.71
Уран	1.3
Нептун	1.7

Таблица 3: Плотности тел в Солнечной Системе



Рис. 10: Модель плотностей

Минералы	Плотность	Другие материалы	Плотность
Гипс	2.3	Глицерин	1.3
Ортоклаз	2.6	Пробка	0.24
Сера	1.1-2.2	Алюминий	2.7
Алит	2	Железо	7.86
Кварц	2.65	Цемент	2.7 – 3.1
Тетраборат натрия	1.7	Стекло	2.4 – 2.8
Сфалерит	4	Олово	7.3
Пирит	5.2	Глина	1.8 – 2.5
Эритроциты	5.4	Бакелит	1.25
Кальцит	2.7	Дуб	0.90
Галенит	7.5	Сосна	0.55

Таблица 4: Примеры плотностей некоторых материалов.

сопровождаемыми информационными панелями для тех, кто проходит мимо.

## Занятие 5: Модели световых расстояний

В астрономии принято использовать световой год как единицу измерения, которую часто путают с измерением времени. Эту концепцию можно проиллюстрировать с помощью модели Солнечной Системы. Поскольку скорость света  $c = 300\,000$  км/с, то расстояние, соответствующее 1 секунде, равно  $300\,000$  км. Например, для путешествия от Луны до Земли, которые разделены расстоянием  $384\,000$  км, свету требуется  $384\,000/300\,000 = 1,3$  секунды.

Используя эти единицы измерения, мы научим учеников вычислять время, необходимое для того, чтобы солнечный свет достиг каждой из планет Солнечной

Системы. (Для инструктора, необходимые времена: время, необходимое солнечному свету для достижения Меркурия - 3,3 минуты, для Венеры - 6,0 минуты, для Земли - 8,3 минуты, для Марса - 12,7 минуты, для Юпитера - 43,2 минуты, для Сатурна - 1,32 часа, для Урана - 2,66 часа и для Нептуна - 4,16 часа. Вы можете попросить студентов представить себе, что будет представлять собой видеоконференция между Солнцем и любой из планет.

Мы вводим здесь также расстояние до ближайшей звезды, потому что очень



Рис. 11: Модель для имитации сплющивания из-за вращения.

полезно визуализировать огромные расстояния до других звезд, что является причиной того, что так трудно обнаружить экзопланеты. Ближайшая к нам звезда Альфа Центавра находится на расстоянии 4,37 световых лет или  $4,13 \times 10^{13}$  км. Вы можете попросить учеников рассчитать расстояние до этой звезды в любой из моделей планетных систем, которые были упомянуты ранее. В “модели школьного двора”, с масштабом 1 см на 56000 км, звезда будет находиться на расстоянии 7 375 км!

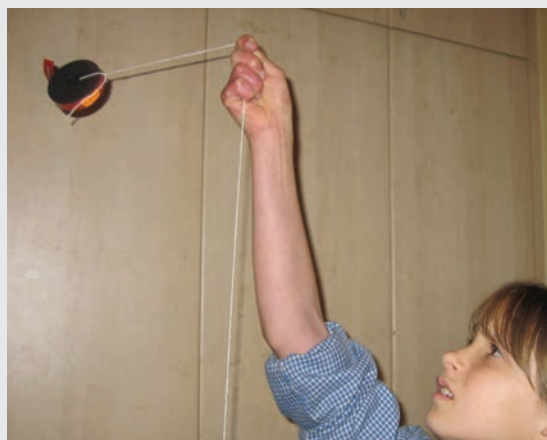
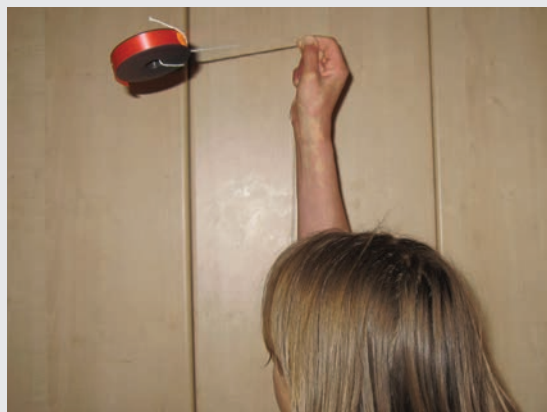


Рис. 12а, 12б и 12с: Симулирование кругового движения планет.

Планета	Орбитальный период (дни)	Расстояние от Солнца (км)	Средняя орбитальная скорость (км/с)	Средняя орбитальная скорость (км/ч)
Меркурий	87.97	$57.9 \cdot 10^6$	47.90	172440
Венера	224.70	$108.3 \cdot 10^6$	35.02	126072
Земля	365.26	$149.7 \cdot 10^6$	29.78	107208
Марс	686.97	$228.1 \cdot 10^6$	24.08	86688
Юпитер	4331.57	$778.7 \cdot 10^6$	13.07	47052
Сатурн	10759.22	$1\,430.1 \cdot 10^6$	9.69	34884
Уран	30.799.10	$2\,876.5 \cdot 10^6$	6.81	24876
Нептун	60190.00	$4\,506.6 \cdot 10^6$	5.43	19558

Таблица 5: Орбитальные данные тел Солнечной системы.

## Занятие 6: Модель солнечного диска от каждой планеты

С планеты, например Земли, Солнце видно под углом  $\alpha$  (figure 8). Для очень небольших значений  $\alpha$ , мы берем  $\tan \alpha \sim \alpha$  (в радианах).

Зная солнечный диаметр -  $1.4 \times 10^6$  км, т.е. радиус -  $0.7 \times 10^6$  км, и расстояние между Землей и Солнцем -  $150 \times 10^6$  км, мы выв

$$\alpha = \tan \alpha = 0,7 \cdot 10^6 / 150 \cdot 10^6 = 0,0045 \text{ радианы}$$

И в градусах:

$$(0,0045 \cdot 180) / \pi = 0,255^\circ$$

То есть с Земли Солнце имеет размер  $2 \times 0,255 \approx 0,51^\circ$ , то есть около половины градуса. Повторяя тот же процесс для каждой планеты, мы получаем размеры Солнца в Таблице 2, и мы можем представить относительные размеры Солнца (рисунок 9).

## Занятие 7: Модель плотностей

Цель этой модели состоит в том, чтобы отыскать образцы материалов, с которыми легко обращаться, которые имеют плотность, подобную каждому из тел Солнечной системы, чтобы иметь возможность "почувствовать это в наших руках."

Из Таблицы 3 планетарных плотностей просто сравните с плотностями различных минералов (в каждой школе обычно есть коллекция минералов) или с образцами других материалов, которые легко найти, таких как стекло, керамика, дерево, пластик и т. д. В следующей

Планета	R equatorial (km)	g gravetat sup.	$\rho$ Densitat
Луна	1738	3.3	1.62
Меркурий	2439	5.4	3.70
Венера	6052	5.3	8.87
Земля	6378	5.5	9.81
Марс	3397	3.9	3.71
Юпитер	71492	1.3	24.8
Сатурн	60268	0.7	8.96
Уран	25559	1.2	8.69
Нептун	25269	1.7	11.00

Таблица 6: Размер, плотность и поверхностная тяжесть тел Солнечной Системы. temqui cusaric

Таблице 4 представлены некоторые примеры материалов и их плотности. При использовании материалов, не включенных в таблицу 4, очень легко рассчитать его плотность. Просто возьмите часть этого материала, взвесьте его, чтобы найти его массу,  $m$ , и поместите его в емкость с водой, чтобы измерить его объем,  $V$ . Плотность  $d$  материала будет равна,

$$d = m / V$$

Ученики должны заметить, что Сатурн будет "плавать" в воде, потому что его плотность меньше 1.

## Занятие 8: Модель уплощения планет

Для визуализации деформации (сплющивания) газовых планет под действием центробежной силы, создаваемой их вращением, построим простую модель.

1. Во-первых, мы открываем весы. В большинстве весов есть две пружины, которые закрепляют основание. Помните, что мы должны снова собрать их вместе (рисунки 13a и 13b).
2. После открытия диск весов должен быть удален, либо заменен, либо перетянут соответствующими планетарными грузами.
3. В следующей таблице есть поверхностные силы тяжести Луны и различных планет Солнечной Системы. В одной колонке они перечислены в абсолютных значениях ( $m \cdot s^{-2}$ ), а в другой - в относительных значениях по отношению к земной гравитации. Эти значения мы будем использовать для преобразования единиц "земного" веса в пропорциональные единицы веса на других планетах.
4. Наконец, мы снова закрываем

Планета	g поверхностная тяжесть ( $m \cdot s^{-2}$ )	g поверхностная тяжесть (относительно Земли)
Луна	1,62	0,16
Меркурий	3,70	0,37
Венера	8,87	0,86
Земля	9,80	1,00
Марс	3,71	0,38
Юпитер	23,12	2,36
Сатурн	8,96	0,91
Уран	8,69	0,88

Таблица 7: Абсолютная и относительная поверхностная гравитация тел Солнечной системы.



Рис. 13а и 13b: Весы для ванной комнаты с замененным диском.



Рис. 14: Модель Солнечной системы с весами для ванной комнаты.

весы и теперь можем увидеть, сколько мы бы весили на одной из планет.

## Занятие 9: Модель о планетарных орбитальных периодах

Планеты обращаются вокруг Солнца с различными скоростями и орбитальными периодами (таблица 5). Зная период и среднее расстояние от Солнца, можно вывести среднюю орбитальную скорость планеты для исследования ее орбиты. Рассмотрим, к примеру, Землю, но вы можете повторить тот же самый вывод для любой другой планеты.

Длина орбитального оборота  $L = 2\pi R$ , так что средняя орбитальная скорость  $v = L/T = 2\pi R/T$ . Для Земли, период - 365 дней, тогда  $v = 2,582,750 \text{ км/день} = 107,740 \text{ км/ч} = 29.9 \text{ км/с}$ , где расстояние от Земли до Солнца  $R = 150 \times 10^6 \text{ км}$ . Подчеркнем, что Солнце также вращается вокруг галактического центра со скоростью 220 км/с, или что то же самое около 800,000 км/ч.

Самый быстрый - Меркурий, самый близкий к солнцу, и самый медленный - Нептун, самый далекий. Римляне уже заметили, что Меркурий был самым быстрым из всех, и поэтому он был идентифицирован как посланник богов и представлен с

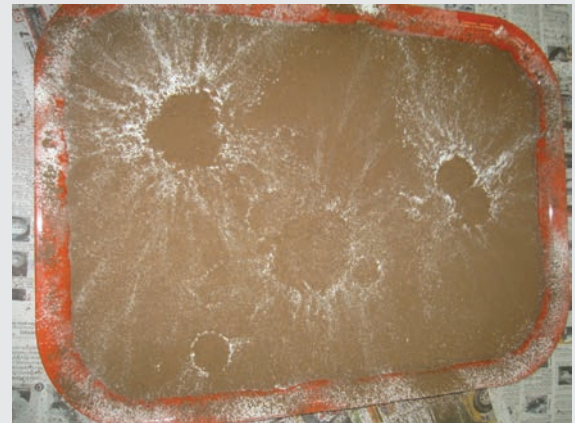


Рис. 15а: Симулирование кратеров.  
Рис. 15b: Образовавшиеся кратеры.

крылатыми ногами. Орбитальный период или "год" на Меркурии длится всего 88 дней. Даже если наблюдать невооруженным глазом, в течение нескольких недель можно сказать, что Юпитер и Сатурн движутся гораздо медленнее по зодиакальным созвездиям, чем, например, Венера и Марс.

Существует также простой способ ощутить связь между расстоянием и орбитальным периодом.

Мы начинаем с того, что привязываем тяжелый предмет, например орех, к нитке. Держа нитку с конца, противоположного тяжелому предмету, мы вращаем предмет круговыми движениями над нашими головами. Затем мы можем заметить, что если мы отпускаем струну, когда мы вращаем ее (делая струну длиннее), объекту требуется больше времени, чтобы завершить орбитальный период. И наоборот, если мы втянем нить (сделав ее короче), потребуется меньше времени.

Затем мы можем разработать модель Солнечной системы с орехами и кусочками струн, пропорциональными по длине

радиусам планетных орбит (опять же, предполагая, что все они движутся по круговым орбитам). Однако вместо того, чтобы вырезать отдельный кусок для каждой планеты, отрежьте все куски длиной около 20 см. Затем, используя соответствующую шкалу, измерьте правильное расстояние от тяжелого объекта и сделайте узел в этой точке. Затем нитку можно удерживать в месте расположения узла, вращая тяжелый предмет.

Для использования модели, мы должны держать одну из ниток в месте расположения узла и поворачивать ее над нашими головами в плоскости, параллельной земле, с минимально возможной скоростью, которая удержит ее на орбите. Мы увидим, что объект нуждается в меньшем времени для полного вращения, когда радиус меньше.

### Модель поверхностных тяжестей

Формула для силы тяготения,

$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

позволяет нам рассчитать поверхностную тяжесть  $g$  которая действует на поверхности планеты массой  $M$ . Рассматривая единицу массы ( $m = 1$ ) на поверхности планеты ( $d = R$ , радиус планеты), мы получаем поверхностную тяжесть,

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

где  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$  – универсальная

гравитационная постоянная. Если мы затем подставим массу планеты как  $M = 4/3\pi R^3 \rho$ , где  $\rho$  плотность планеты и  $R$  - радиус, мы находим:

$$g = 4/3\pi G \rho R$$

Подставляя эти последние две переменные в значения, приведенные в таблице 6 (после преобразования радиуса в метры и плотности в  $\text{кг}/\text{м}^3$ , при  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3 = 1 \text{ г}/\text{см}^3$ ), мы можем вычислить значение поверхностной тяжести  $g$  для всех планет.

Рассмотрим пару примеров:

$$g_{\text{меркурий}} = 4/3\pi G \cdot 2439 \times 10^3 \text{ м} \cdot 5400 \text{ кг}/\text{м}^3 = 3.7 \text{ м}/\text{с}^2,$$

$$g_{\text{венера}} = 4/3\pi G \cdot 6052 \times 10^3 \text{ м} \cdot 5300 \text{ кг}/\text{м}^3 = 8.9 \text{ м}/\text{с}^2.$$

Аналогично мы можем вычислить  $g$  для остальных планет. Как и в таблице 7, поверхностные силы тяжести часто задаются относительно Земной и обозначаются буквой  $g$ .



Рис. 17 : Некоторые ракеты.

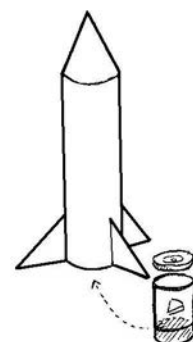


Рис. 18: Упрощенная схема

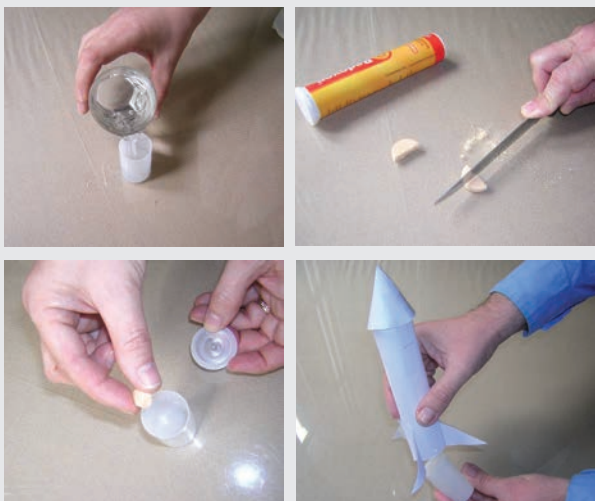


Рис. 16а, 16b, 16с и 16d: Процесс в четырех картинках.

## Занятие 10: Модель весов для ванной комнаты

В этом случае целью модели является разработка набора из 9 весов для ванной комнаты (8 планет и Луна), чтобы учащиеся могли имитировать взвешивание себя на каждой из планет и луны.

Поскольку этот процесс одинаков для каждой планеты, мы опишем только одну

из них. Идея, по сути, состоит в том, чтобы открыть весы для ванной комнаты и заменить диск, помеченный весами, другим с весами, откалиброванными для конкретной планеты.

1. Во-первых, мы открываем весы. В большинстве весов есть две пружины, которые закрепляют основание. Помните, что мы должны снова собрать их вместе (рисунки 13а и 13b).

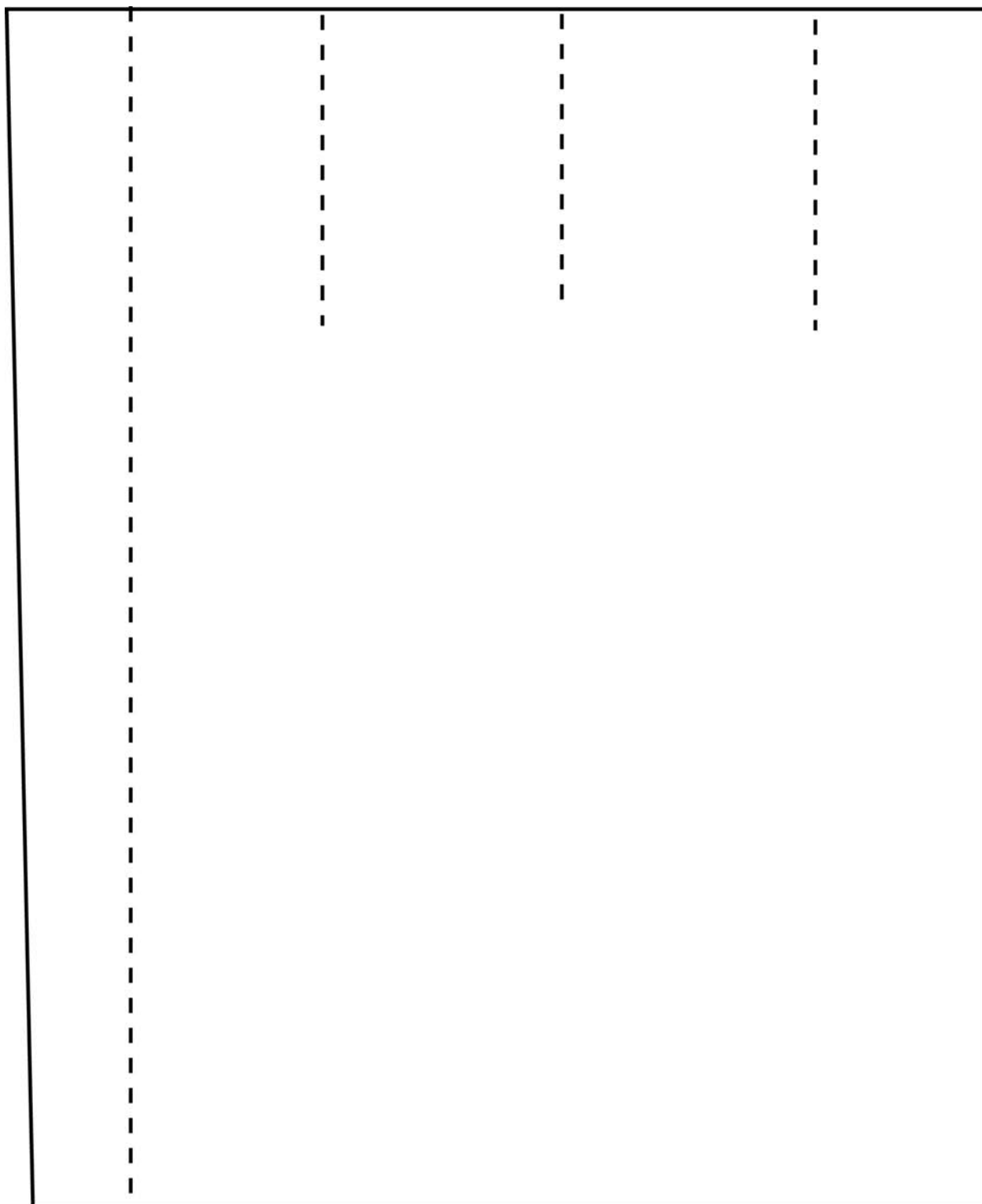


Рис. 19а: Тело ракеты. Вставьте плавники в пунктирную зону



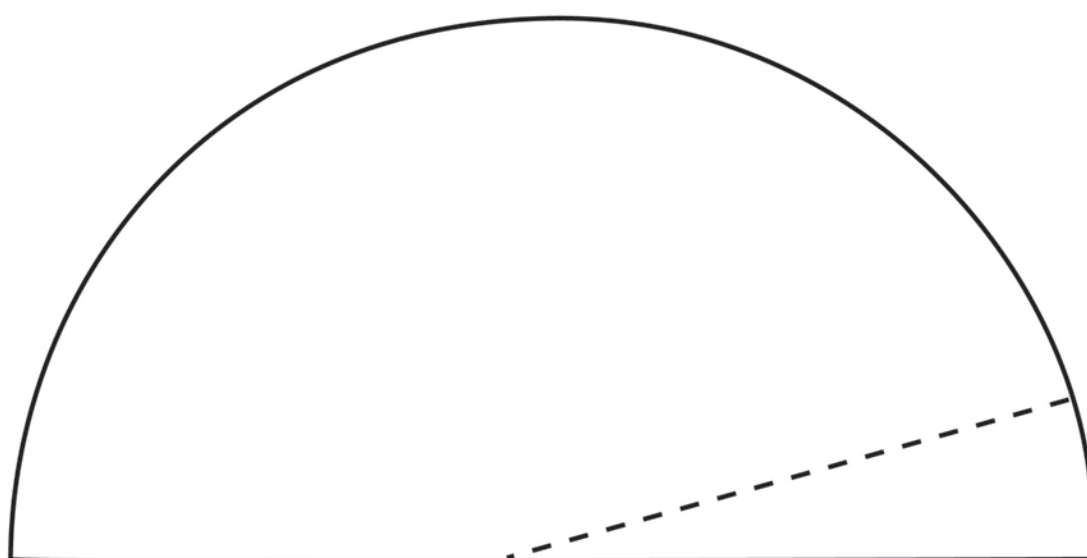
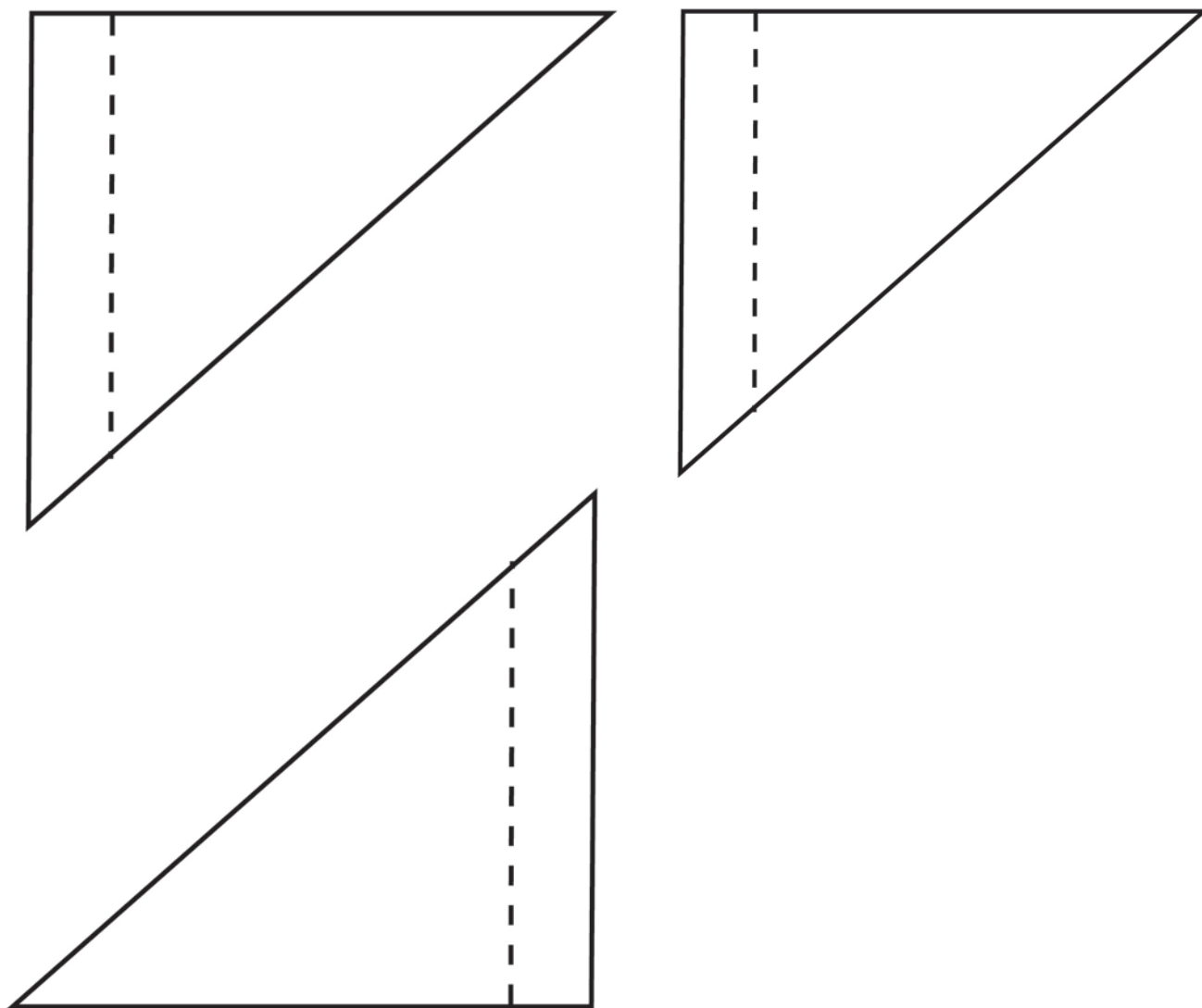


Рис. 19b: Верхний конус ракеты. Рис. 19c: Модель для трех плавников.

2. После открытия диск весов должен быть удален, либо заменен, либо перетянут соответствующими планетарными грузами.

3. В следующей таблице есть поверхностные силы тяжести Луны и различных планет Солнечной Системы. В одной колонке они перечислены в абсолютных значениях (м·с<sup>-2</sup>), а в другой - в относительных значениях по отношению к земной гравитации. Эти значения мы будем использовать для преобразования единиц “земного” веса в пропорциональные единицы веса на других планетах.

4. Наконец, мы снова закрываем весы и теперь можем увидеть, сколько мы бы весили на одной из планет.

## Занятие 11: Модели кратеров

Большинство кратеров в Солнечной системе не вулканические, а являются результатом падения метеороидов на поверхности планет и спутников.

1. Сначала, накройте пол старыми газетами, чтобы его не запачкать.
2. Положите 2-3 см слой муки в поднос, распределяя его с помощью ситечка/просеивателя так, чтобы поверхность была очень гладкой.
3. Положите слой какао-порошка в несколько миллиметров на муку с помощью ситечка/просеивателя (рисунок 15а).
4. С высоты 2 метров, сбросьте снаряд: столовую ложку какао-порошка. Падение оставит следы похожие на те которые имеют ударные кратеры (рисунок 15б).
5. Вы можете захотеть поэкспериментировать с изменением высоты, типа, формы, массы и т. д. снарядов. В некоторых случаях можно получить даже кратер с центральным пиком.

## Скорости убегания

Скорость убегания зависит от формы гравитационного потенциала, в котором находится снаряд. Поэтому на поверхности небесного тела скорость убегания зависит только от высоты точки старта, и силы трения в атмосфере, если бы она присутствовала (так как в случае Земли). Скорость

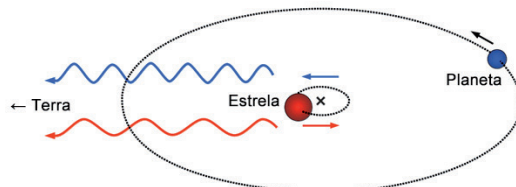


Рис. 20а: Метод радиальной скорости для обнаружения экзопланет

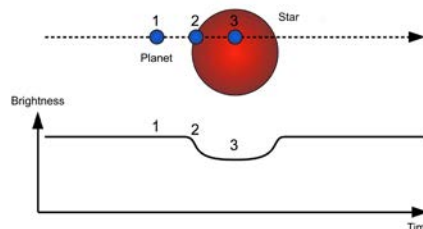


Рис 20b: Транзитный метод обнаружения планет.

убегания не зависит от массы снаряда или направления его запуска, и ее вывод можно сделать в чисто энергетических терминах.

Чтобы рассчитать скорость убегания, следующие формулы используются связанные с потенциальной энергией и кинетической энергией:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_p = -G\frac{Mm}{R}$$

Рассматривая принцип сохранения энергии, если мы установим условие, что объект удаляется на бесконечное расстояние и остается в состоянии покоя, то получим:

$$\frac{1}{2}mv_e^2 - G\frac{Mm}{R} = 0$$

и соответственно скорость:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}$$

где:  $v_e$  – скорость убегания,  $G$  – универсальная гравитационная постоянная ( $6.672 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ),  $M$  – масса звезды,  $m$  – масса снаряда,  $R$  – радиус звезды (в предположении сферической формы),  $g$  – гравитационное ускорение свободного падения на поверхности звезды. На Земле,  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ .

Планета	Среднее расстояние UA	Орбитальный период	Minimum mass * Jupiter or Terrestrial Mass	Открытие Год	Радиус km
U <sub>ps</sub> And b	0,059	4,617	0,69	1996	0,9 R <sub>Jup</sub> , 62 000 km*
U <sub>ps</sub> And c	0,83	241,52	1,98	1999	1,2 R <sub>Jup</sub> , 88 000 km*
U <sub>ps</sub> And d	2,51	1274,6	3,95	1999	1,5 R <sub>Jup</sub> , 110 000 km*
Gl 581 e	0,03	3,149	0,006	2009	1,2 R <sub>T</sub> , 8 000 km*
Gl 581 b	0,04	5,368	0,049	2005	2,5 R <sub>T</sub> , 16 000 km*
Gl 581 c	0,07	12,929	0,016	2007	1,7 R <sub>T</sub> , 11 000 km*
Kepler-62 b	0,0553	5,714932	<0,03	2013	1,3 R <sub>T</sub> , 8 400 km*
Kepler-62 c	0,0929	12,4417	<0,013	2013	0,5 R <sub>T</sub> , 3 400 km*
Kepler-62 d	0,12	18,16406	<0,044	2013	1,9 R <sub>T</sub> , 12 000 km*

Таблица 8: Планеты трех внесолнечных систем. Данные внесолнечных планет в Каталоге 2 (кроме последнего столбца). \* Предполагается, что эти планеты находятся в газообразном состоянии и не находятся в пути, а их диаметр был рассчитан в предположении, что плотность планеты равна плотности Юпитера (1330 кг/м<sup>3</sup>). Для планет, считающихся земными, диаметр рассчитан с использованием плотности Земли (5520 кг/м<sup>3</sup>).



Рис 21 Первая планета (2M1207b) наблюдалась непосредственно, 16 марта 2003 года с помощью одного из 8-метровых телескопов ESO VLT. Он имеет массу 3-10 раз Юпитера и вращается на 41 а.е. от своей центральной звезды, которая является коричневым карликом. В 2006 году вокруг центральной звезды был обнаружен пылевой диск, что свидетельствует о продолжающемся формировании планет в этой молодой системе (Источник: ESO).

В качестве примера, мы рассчитаем скорости убегания некоторых планет. Для Земли,

$$v_{\text{Земли}} = (2 \cdot 9.81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 6378 \times 10^3 \text{ м})^{1/2} = 11186 \text{ м/с} \approx 11.2 \text{ км/с.}$$

Сходно, для наименьшей планеты, Меркурия,

$$v_{\text{Меркурия}} = (2 \cdot 3.78 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 2439 \times 10^3 \text{ м})^{1/2} = 4294 \text{ м/с} \approx 4.3 \text{ км/с.}$$

И для наибольшей планеты, Юпитера,

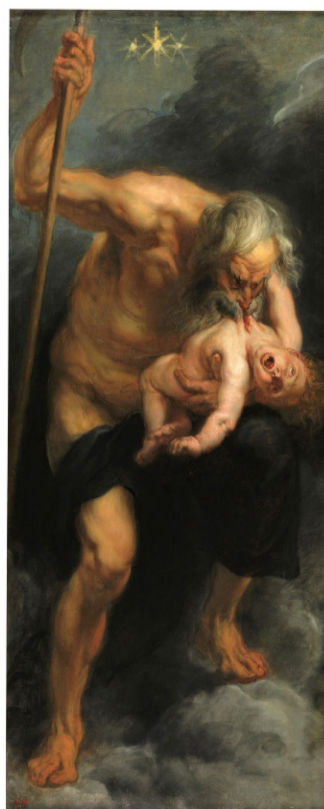
$$v_{\text{Юпитера}} = (2 \cdot 23.1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 71492 \times 10^3 \text{ м})^{1/2} = 57471 \text{ м/с} \approx 57 \text{ км/с.}$$


Рис. 22а і 22б: Сатурн по Рубенсу (1636-1638) и рисунок Галилея в 1610 году

Ясно, что ракету легче запустить с Меркурия, чем с Земли, но труднее всего запустить ракету на Юпитере, где скорость убегания составляет около 60 км/с.

(Чтобы иметь возможность сравнить результаты, принятые скорости убегания для каждого тела в Солнечной Системе следующие: Меркурий 4,3 км/с, Венера 10,3 км/с, Земля 11,2 км/с, Марс 5,0 км/с, Юпитер 59,5 км/с Сатуре 35,6 км/с, Уран 21,2 км/с,

Планета	Среднее Расстояние AU	Орбитальный период Лет	Масса, Масса Юпитера	Радиус Км
Mercur	0,3871	0,2409	0,0002	2 439
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	6 052
Terre	1,0000	1,0000	0,0032	6 378
Mars	1,5237	1,8809	0,0003	3 397
Jupiter	5,2026	11,8631	1	71 492
Saturne	9,5549	29,4714	0,2994	60 268
Uranus	19,2185	84,04	0,0456	25 559
Neptune	30,1104	164,80	0,0541	25 269

Таблица 9: Планеты Солнечной системы

Нептун 23,6 км/с. Как видим, наши несложные расчеты дают вполне приемлемые результаты.)

## Занятие 12: Модель ракеты с шипучей таблеткой

В качестве примера ракеты, которую можно безопасно запустить в классе, мы предлагаем следующую ракету, которая использует аспирин или шипучую таблетку в качестве топлива. Мы начинаем с вырезания модели ракеты на сплошных линиях и размещения на пунктирные линии, как на фотографии.

Мы будем использовать пластиковую капсулу, например, используемую для хранения таблеток или корма для рыб, убедившись, что капсула может поместиться внутри цилиндра ракеты. Затем мы помещаем три треугольника в качестве опор на корпус ракеты и, наконец, добавляем конус на верхнюю часть цилиндра (рисунки 16a, 16b, 16c, 16d, 17, 18, 19a, 19b, 19c).

Построив ракету, мы должны осуществить ее запуск. Для этого мы поместим воду в пластиковую капсулу, примерно до 1/3 ее высоты (около 1 см). Добавим 1/4 таблетки шипучего аспирина (или другой шипучей таблетки). Положите скотч и ракету над капсулой. Примерно через 1 минуту ракета взлетит. Очевидно, что мы можем повторять столько раз, сколько захотим (по крайней мере, 3/4 таблетки аспирина остается, так что наслаждайтесь запуском ракет!).

Также можно запускать ракеты с

использованием бикарбоната и уксуса.

## Экзопланеты

К настоящему времени астрономы обнаружили около 4000 планет и 500 различных планетных систем. Пример одной из первых планет, сфотографированных непосредственно, показан на рис. 20.

Темы этого семинара посвящены методам, которые позволили обнаружить экзопланеты. Некоторые из этих методов вполне доступны для понимания школьников. Исследование внесолнечных планет - быстроразвивающаяся область, и часть того, что написано далее, возможно, потребует обновить спустя время.

Рассмотрим пример из истории астрономии. В 1610 году Галилей впервые наблюдал за Сатурном. Он не понимал, что это планета,

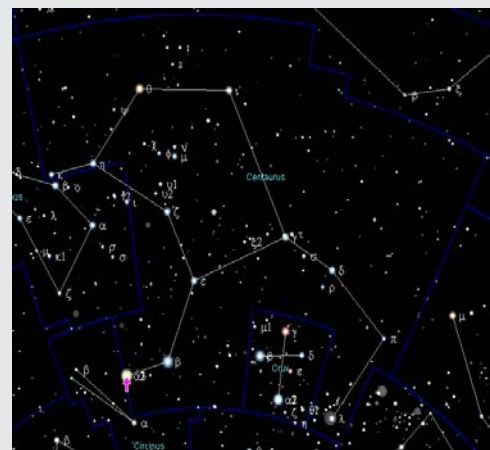


Рис. 23: Альфа Центавра возле южного креста.

окруженная прекрасным кольцом. Вместо этого он интерпретирует его как звездное скопление с тремя компонентами. Лишь наблюдения Гюйгенса с помощью лучшего телескопа позволили убедиться, что Сатурн – это планета с кольцевой системой. В течение нескольких лет научное сообщество неверно истолковывало структуру Сатурна. Примером этого является картина Рубенса 1636-1638 годов, которая представляет Сатурн как три звезды, созданная после его недавнего открытия Галилеем.

Интересно также, что Церера считалась планетой в начале XIX века (с 1801 по 1850 год), но позже она была классифицирована как астероид. Таким же образом, в момент открытия Плутона в 1930 году, он был

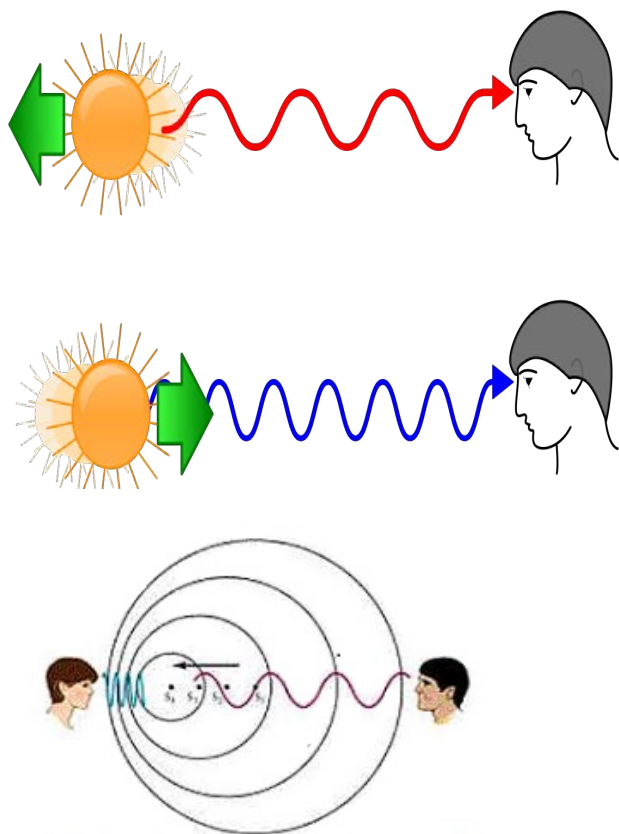


Рис. 24а: когда источник приближается, длина волны уменьшается, а когда отходит – длина волны увеличивается. Рис. 25: когда источник приближается, он выглядит голубее, а когда отходит – выглядит краснее.

классифицирован как планета. Однако в 2006 году он вместе с Церерой был реклассифицирована как карликовая планета. Поэтому, безусловно, некоторые из нынешнего понимания экзопланет,

возможно, потребуется пересмотреть в будущем, но это не должно помешать нам ввести эту тему в школы.

### Номенклатура экзопланет

Экзопланета считается планетой, вращающейся вокруг звезды, не являющейся Солнцем, и поэтому не принадлежит к нашей Солнечной системе. НАСА ведет каталог (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>) с более чем 4000 подтвержденных экзопланет в 2019 году. Номенклатура экзопланет проста и происходит от ее использования в кратных звездных системах. Нижняя буква помещается после имени звезды от буквы "b" для первой планеты, найденной в системе (например: 51 Pegasi b). Следующая планета, обнаруженная в системе, помечена следующей буквой алфавита с, d, e, f и т.д. (например: 51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e или 51 Pegasi f). Таким образом, порядок букв не имеет ничего общего ни с орбитальным периодом планет, ни с другими параметрами. Кроме того, в 2015 году Международный астрономический союз (IAU) присвоил названия первым 19 обнаруженным экзопланетным системам. Таким образом, в звездной системе Ипсилон Андромеды (см. таблицу 8) главная звезда (Ups And) имеет альтернативное название Титавин, а планеты b, c и d будут называться Саффар, Самх и Макрити. Но в настоящее время эти имена не используются ни в сообществе профессиональных, ни любительских астрономов.

### Обнаружение экзопланетных систем

Расстояние до Альфа Центавра или Проксимы Центавра, ближайших к нам звезд, которые находятся всего в 4,5 световых годах от нас, огромно по сравнению с расстоянием планет в нашей Солнечной системе. На самом деле, Альфа Центавра примерно в 10 000 раз дальше Нептуна, нашей самой далекой планеты. Эти огромные расстояния сделали невозможным обнаружение планет вокруг других звезд до тех пор, пока в конце прошлого века не были разработаны сложные методы наблюдения.

Третья по яркости звезда ночного неба – Альфа Центавра. Альфа Центавра, на самом деле, тройная звездная система, состоящая из двоичной пары Альфа Центавра А и В и ближайшей к нам карликовой звезды под названием Проксима Центавра. Именно вокруг этой третьей звезды, типа «красного карлика»,

которая может иметь некоторое сходство с Землей: Проксима b, как была названа новая экзопланета, ближайшая к Земле, которая известна, но непосредственно не наблюдалась. Её удалось обнаружить благодаря наблюдениям небольшой аномалии на орбите звезды, вызванной гравитационным влиянием планеты. Эта аномалия послужила основанием для гипотезы о присутствии планеты и некоторых ее характеристиках. Планета вращается вокруг своего Солнца всего за 11 дней, она немного больше Земли и, вероятно, имеет твердую поверхность.

Важной особенностью этой экзопланеты является ее близость к своей материнской звезде Проксима Центавра. Всего 5% расстояния, которое отделяет Землю от Солнца, то есть около 0,05 а.е. Эта близость сделала бы его горящим адом, если бы его звезда была похожа на наше Солнце. Однако её звезда является красным карликом, и поэтому планета находится в обитаемой зоне. Это потому, что красные карлики, такие как Проксима Центавра, с 12% солнечной массы, имеет яркость только 0,1% от Солнца. В таких условиях новая планета будет иметь температуру 40 градусов ниже нуля без парникового эффекта возможной атмосферы, которая может поднять температуру на несколько градусов выше точки замерзания воды.

Одной из сложностей для поддержания жизни на планетных системах вокруг красного карлика является то, что планеты должны быть очень близко к своей звезде, чтобы иметь температуру, при которой вода может существовать в жидком состоянии. Когда это происходит, во многих случаях есть явление, называемое синхронным вращением, которое мы видим на нашей собственной Луне. Время

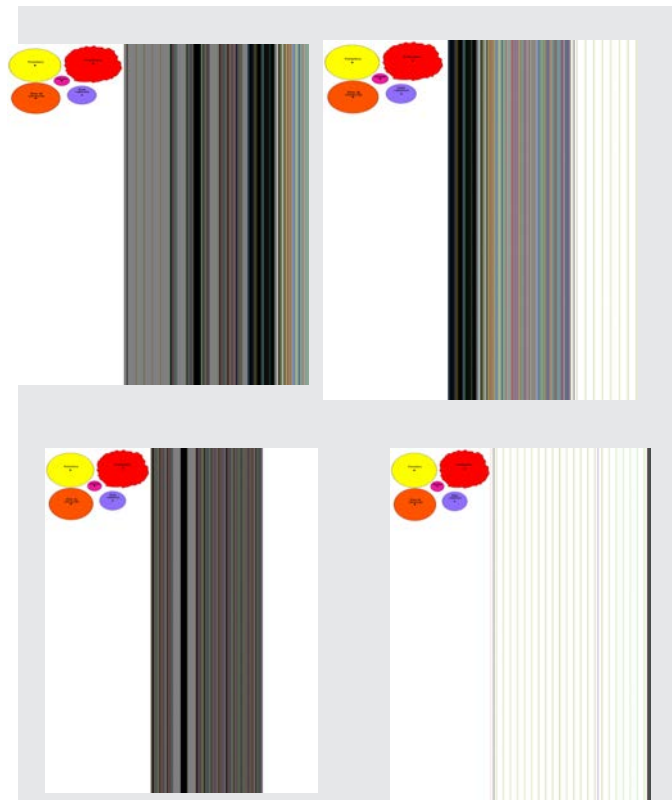


Рис. 24: сначала только с одним основанием. Рис. 25: при перемещении второго основания над первым появляется точка, а затем две. Оба раза без перемещения первого основания.

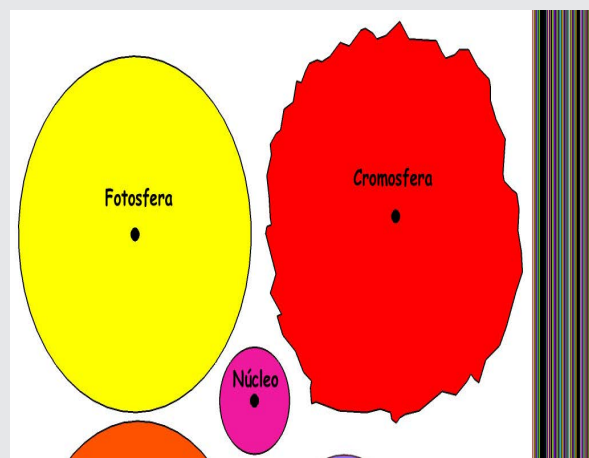


Рис. 26: Метод микролинза для обнаружения планет.

орбиты и время вращения выравниваются, и планета всегда показывает свое лицо звезде. Это предполагает выжженное полушарие, в котором атмосфера испаряется, а другая замерзает. Однако атмосфера, более плотная, чем земная, позволила бы умерить эти экстремальные температуры за счет циркуляции атмосферы и перераспределения тепла.

Планета	Среднее расстояние UA	Орбитальный период	Minimum mass * Jupiter or Terrestrial Mass	Открытие Год	Радиус km
Ups And b	0,059	4,617	1,70 Mj	1996	108000*
Ups And c	0,839	241,5	13,98 Mj	1999	200000*
Ups And d	2,510	1274,6	10,25 Mj	1999	188000*
Ups And e	5,240	3832,5	1,06 Mj	2010	140000*
Gl 581 e	0,030	3,149	1,9 Mt	2009	16000*
Gl 581 b	0,041	5,368	15,7 Mt	2005	32000*
Gl 581 c	0,073	12,932	5,7 Mt	2007	22000*
Kepler-62 b	0,056	5,714	9 Mt	2013	33600
Kepler-62 c	0,093	12,441	4 Mt	2013	13600
Kepler-62 d	0,120	18,164	14 Mt	2013	48000
Kepler-62 e	0,427	122,387	1,6 Mt	2013	40000
Kepler-62 f	0,718	267,291	2,8Mt	2013	36000
Trappist-1 b	0,012	1,5111	1,02 Mt	2016	28400
Trappist-1 c	0,016	2,422	1,16 Mt	2016	28000
Trappist-1 d	0,022	4,050	0,30 Mt	2016	20000
Trappist-1 e	0,030	6,099	0,77 Mt	2017	23200
Trappist-1 f	0,039	9,206	0,93 Mt	2017	26800
Trappist-1 g	0,047	12,354	1,15 Mt	2017	29200
Trappist-1 h	0,062	18,768	0,33 Mt	2017	19600

Таблица 10 : QЧетыре репрезентативных внесолнечных системы с множеством планет. Данные взяты из Каталога внесолнечных планет 2 (кроме последнего столбца). \* Эти планеты были открыты по лучевой скорости; поэтому нет уверенности в их размерах. Для планет-гигантов с массами 0,5-20 Мдж известно, что почти все они имеют радиус 0,7-1,4 раза больше, чем Юпитер (50-100 тысяч километров), с небольшой корреляцией с их массой. Для планет земной группы GJ861 его радиус был рассчитан в предположении, что плотность планеты равна плотности Земли (5520 кг / м<sup>3</sup>).

Планета	Среднее Расстояние AU	Орбитальный период Лет	Масса, Масса Юпитера	Радиус Км
Mercury	0,3871	0,2409	0,0002	4879
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	12104
Earth	1,0000	1,0000	0,0032	12756
Mars	1,5237	1,8809	0,0003	6794
Jupiter	5,2026	11,8631	1	142984
Saturn	9,5549	29,4714	0,2994	120536
Uranus	19,2185	84,04	0,0456	51118
Neptune	30,1104	164,80	0,0541	49528

Таблица 11 : Планеты Солнечной системы

## Метод радиальной скорости

В настоящее время существует два метода, которые в основном используют для открытия экзопланет. Они оба – косвенные, т. е. вывод о наличии планетарной системы делается из наблюдений за центральной звездой. Метод радиальной скорости обнаружил первую экзопланету, вращающуюся вокруг центральной звезды, с открытием 51 Пегаса b в 1995 году. В этом методе, колебания центральной звезды измеряется из-за движения планеты вокруг центральной звезды. Звезда и планета вращаются вокруг центра масс звездно-планетной системы. Это движение центральной звезды вызывает очень небольшие изменения в свете звезды от красного до синего (рис. 23), из-за доплеровского смещения. Таким образом, мы можем определить массу планеты по отношению к массе центральной звезды. На практике, однако, мы не знаем ориентации большинства планетных систем, обнаруженных с помощью этого метода, следовательно, массы планет, которые мы можем извлечь, являются минимальными массами (что означает, что реальные массы вполне могут быть больше).

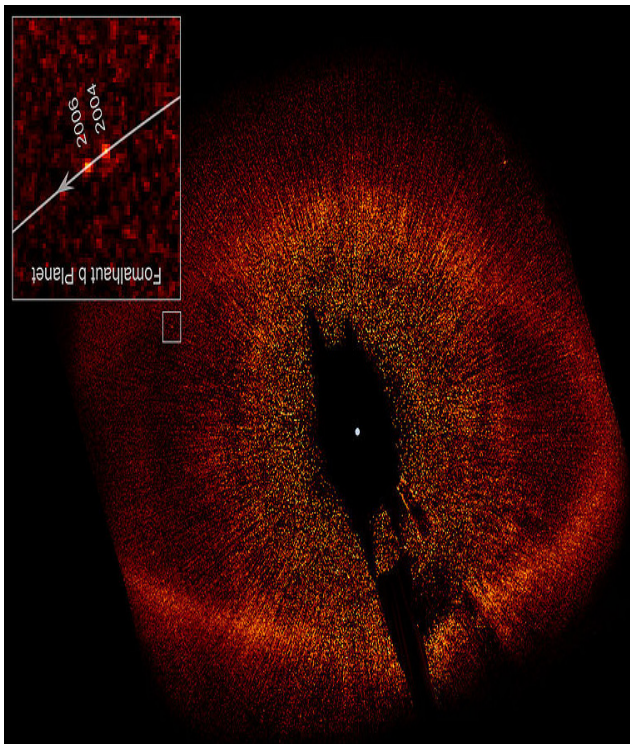


Рис. 27: Планета Фомальгаут b в межпланетном пылевом облаке Фомальгаут на снимке космического телескопа Хаббл с положениями в 2004 и 2006 годах (см. Небольшое изображение). (Фото: НАСА)

## Упражнение 13: Эффект Доплера

Как известно из семинара по расширению Вселенной, эффект Доплера – то, из-за чего меняется длина волны звука, когда источник находится в движении. Это можно продемонстрировать, вращая будильник, вставленный в мешок ткани, завязанный веревкой в горизонтальной плоскости. Когда он приближается к слушателю длина волны сокращается и звук имеет более высокий шаг. Когда он отходит, длина волны удлиняется и звук имеет более низкую высоту. Человек в центре вращения не обнаруживает никаких изменений.

В случае экзопланеты и звезды, световые волны от звезды меняются. Когда звезда приближается к нам, видимая длина волны ее излучения уменьшается, ее свет смещается в сторону синего конца видимого спектра. Когда звезда отходит, видимая длина волны увеличивается, и ее свет смещается в сторону красного конца видимого спектра.

В этом случае эффект Доплера возникает из-за движения экзопланет вокруг материнской звезды. Когда экзопланета отходит от нас, ее свет движется в сторону красного, а когда он приближается, его свет движется к синему. Транзитный метод

Другой важный метод, называемый транзитным методом, основан на наблюдении изменений яркости звезды, когда одна из ее планет проходит транзитом перед звездой, тем самым скрывая небольшую часть диска звезды (рис. 26). С помощью транзитного метода может быть обнаружено отношения радиуса планеты к радиусу материнской звезды  $R_{\text{зв}}$

$$\frac{R_{\text{пл}}}{R_{\text{зв}}} = \sqrt{\frac{\Delta L}{L}}$$

где – относительное изменение яркости звезды, наблюдаемое во время транзита экзопланеты (например, указывает на 1% снижение яркости звезды во время транзита).

## Деятельность 14: Моделирование транзита



Транзит можно смоделировать с помощью двух шаров: большого, который представляет звезду, и маленького, который представляет планету, вращая центральную звезду. Если наблюдатели находятся в той же плоскости, что и орбита планеты, и наблюдают в этот момент, они

будут знать, когда планета проходит перед звездой при уменьшении и увеличении яркости звезды (рис. 27). Однако, если наблюдатель находится не в одной плоскости вращения, никаких изменений в яркости не будет наблюдаться (рис. 28).

Солнечная система	Расстояние	Радиус Км	Расстояние в модели	Диаметр в модели
Mercury	0,39 UA	4879	40 cm	0,2 cm
Venus	0,72 UA	12104	70 cm	0,6 cm
Earth	1 UA	12756	1,0 m	0,6 cm
Mars	1,5 UA	6794	1,5 m	0,3 cm
Jupiter	5,2 UA	142984	5,0 m	7 cm
Saturn	9,55 UA	120536	10 m	6 cm
Uranus	19,22 UA	51118	19 m	2,5 cm
Neptune	30,11 UA	49528	30 m	2,5 cm

Таблица 12: Солнечная система. Родительская звезда, Солнце, имеет размер G2V с диаметром в модели 35 см. Зона обитаемости обозначена зеленым цветом.

Upsilon Andromedae Titawin	Расстояние AU	Диаметр Км	Расстояние в модели	Диаметр в модели
Ups And b / Saffar	0,059 UA	108000	6 cm	5.5 cm
Ups And c / Samh	0,830 UA	200000	83 cm	10,0 cm
Ups And d / Majriti	2,510 UA	188000	2,5 m	9,5 cm
Ups And e / Titawin e	5,240 UA	140000	5,2 m	7.0 cm

Таблица 13: Родительская звезда Иpsilon Андромеды - звезда F8V в 44 световых годах в созвездии Андромеды. Это двойная звезда, состоящая из Upsilon And A, звезды, очень похожей на Солнце, но несколько более горячей и яркой, с радиусом 1,28 R<sub>sun</sub> и Upsilon And B, который представляет собой небольшой красный карлик. В модели Upsilon And A он имеет диаметр 45 см.

Gliese 581	Расстояние AU	Диаметр / Км	Дистанция в модели	Диаметр в модели
Gliese 581 e	0,030 UA	15200	3 cm	0.8 cm
Gliese 581 b	0,041 UA	32000	4 cm	1.6 cm
Gliese 581 c	0,073 UA	22000	7 cm	1.1 cm

Таблица 14: Родительская звезда Gliese 581 - это красный карлик M2,5V, расположенный на высоте 20,5 св. Лет в созвездии Весов. Она имеет треть массы Солнца, менее яркая и холодная, чем она. Его радиус составляет 0,29 R<sub>sun</sub> и в модели он соответствует диаметру 10 см.

Kepler 62	Расстояние AU	Диаметр Км	Расстояние в модели	Диаметр в модели
Kepler 62 b	0,056 UA	33600	5,5 cm	1.7 cm
Kepler 62 c	0,093 UA	13600	9 cm	0.7 cm
Kepler 62 d	0,120 UA	48000	12 cm	2.4 cm
Kepler 62 e	0,427 UA	40000	43 cm	2.0 cm
Kepler 62 f	0,718 UA	36000	72 cm	1.8 cm

Таблица 15: Родительская звезда Кеплер 62 - звезда F2V в созвездии Лиры в 1200 св. Лет. Это звезда немного холоднее и меньше Солнца. Его радиус составляет 0,64 R<sub>sun</sub> и в модели он соответствует диаметру 22 см. diamètre de 22 cm

## Метод микролинзирования

Другие методы обнаружения экзопланет также применяются, хотя они используются реже. Метод микролинзирования заключается в наблюдении за увеличением яркости фоновой звезды, благодаря выравниванию фоновой звезды со звездой с экзопланетами. Экзопланетная система действует как гравитационная линза и будет генерировать очень характерное расширение яркости (красная линия на рис. 29). Для того, чтобы он работал, должно быть полное визуальное выравнивание между тремя частями (фоновая звезда, звезда с экзопланетой и Землей).

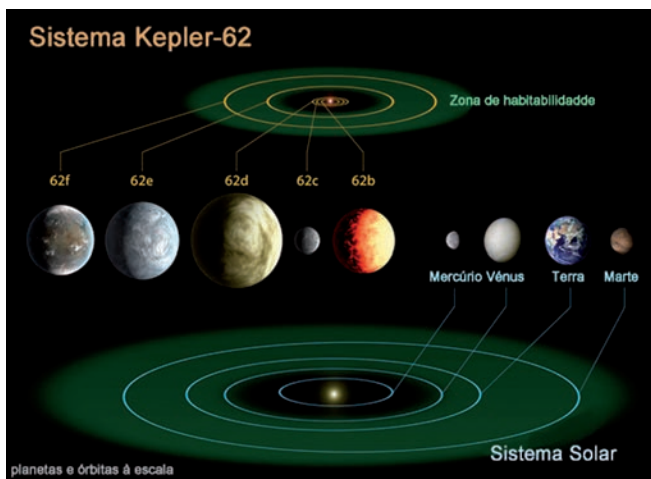


Рис. 28: Система Kepler-62 в сравнении с внутренней солнечной системой. Зеленая область указывает на обитаемую зону - область, где может существовать жизнь в том виде, в котором мы ее знаем. Источник

## Упражнение 15: Моделирование микролинсов

Вы можете смоделировать обнаружение экзопланеты вокруг материнской звезды с парой основ бокала вина, как это используется в мастер-классе «Расширяющаяся Вселенная». Сначала мы используем только одно основание, но ничего не видно. Затем мы проходим второй и точка возникает, а затем, возможно, даже две.

## Метод прямого обнаружения

И, наконец, метод прямого обнаружения соответствует получению и анализу существования звезды с парой основ бокала вина, как

изображений звезды с очень высоким разрешением, чтобы определить существование планет вокруг нее. Из-за количества света, излучаемого звездой, этот метод был успешным только для

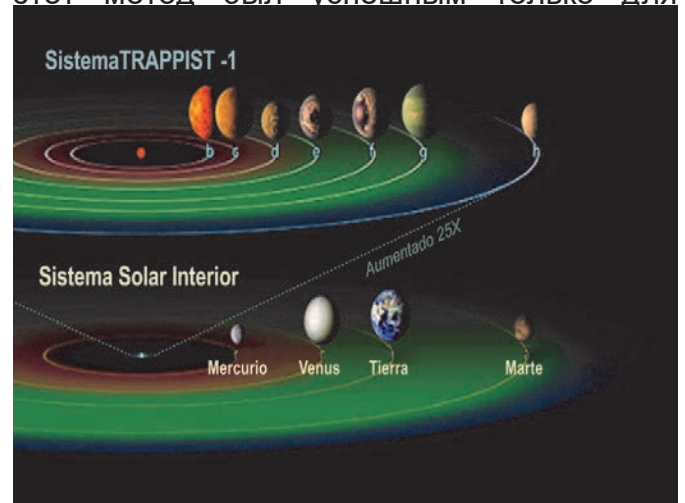


Рис. 29: Сравнение системы Trappist-1 с внутренней солнечной системой. Зеленая область указывает на обитаемую зону - область, где может существовать жизнь в том виде, в котором мы ее знаем.



Рис. 30: После того, как все модели будут построены, точки, выделенные в презентации зоны обитаемости, необходимо прокомментировать. В зависимости от массы и типа родительской звезды зона обитаемости более или менее близка.

планет, которые очень далеки от своей центральной звезды и в то же время очень молоды, поэтому они все еще излучают свет из-за тепла, выделяемого во время их образования (также рисунок 32).

## Примеры внесолнечных систем

Самые известные экзопланеты имеют массу, сопоставимую с массой Юпитера, который является самой большой планетой

Trappist - 1	Расстояние AU	Диаметр Км	Расстояние в модели	Диаметр в модели
Trappist-1 b	0,012	14284	1,2 cm	1.4 cm
Trappist-1 c	0,016	13952	1,6 cm	1.4 cm
Trappist-1 d	0,022	9990	2,2 cm	1.0 cm
Trappist-1 e	0,030	11595	3,0 cm	1.2 cm
Trappist-1 f	0,039	13328	3,9 cm	1.3 cm
Trappist-1 g	0,047	14628	4,7 cm	1.5 cm
Trappist-1 h	0,062	9850	6,2 cm	1.0 cm

Таблица 16: Родительская звезда Траппист-1 - красный карлик типа M8V, расположенный в созвездии Водолея на 40-м году рождения. Это звезда немного больше Юпитера, диаметром 168000 км и диаметром модели 7 см. Замечено, что расстояния до планет в модели меньше

в нашей солнечной системе. Поэтому часто указываются массы и размеры внесолнечных планет в единицах массы Юпитера MJ (1,90 x 10<sup>27</sup> кг) и радиуса Юпитера RJ (71492 км). Известно, что лишь очень немногие планеты (около 20) имеют массы, сопоставимые с массой Земли. Однако есть больше планет (около 700, или 20% от всех известных) с размерами, сопоставимыми с Землей, до 1,5 R<sub>T</sub> (земных радиусов). Было показано, что эти планеты являются наиболее распространенными, но современные методы обнаружения более успешны в обнаружении более массивных или более крупных объектов.

В этом разделе мы рассмотрим несколько примеров внесолнечных планетных систем, у которых есть три или более известных планеты. В таблице 3 показаны планеты вокруг звезд Ups Andromeda, Gliese 581, Kepler-62 и Trappist-1. Планетные системы АпсАндромеда и Глизе 581 были открыты с использованием метода лучевых скоростей, и об этих планетах мы знаем только их минимальные массы, но не их размеры. Считается, что их радиусы находятся в пределах 50000-100000 км (хотя в таблице 1 показано одно из возможных значений). Для Gliese 581 было объявлено о нескольких других планетах (d, f, g), но в других публикациях они противоречили; поэтому их открытие было отозвано. Вероятно, это было вызвано предельными сигналами или шумом от других источников данных.

Планеты системы Kepler-62 были открыты из транзитов. Следовательно, их размеры известны. Нам известны только верхние

и они слишком малы (и легки по весу), чтобы их можно было обнаружить методом лучевых скоростей. Однако есть также много планет, которые были обнаружены как с помощью метода транзита, так и с помощью метода лучевых скоростей, и мы знаем как их массы, так и их размеры.

Есть некоторые экзопланеты, которые находятся очень близко к центральной звезде (например, все планеты Gliese 876 имеют орбиты ближе к звезде, чем Меркурий к Солнцу). У других есть более далекие планеты, такие как система 2M1207b (см. Рис. 1), с формирующейся планетой на расстоянии 41 а.е., или в 1,4 раза больше Нептуна. Одна из возможностей визуализации этих данных - построение масштабных моделей выбранной планетной системы. Это позволит нам легко сравнивать друг друга и с нашей Солнечной.

системой. В настоящее время мы знаем, что вокруг звезд есть экзопланеты, которые сильно отличаются от Солнца. В 1992 году радиоастрономы объявили об открытии первой экзопланеты вокруг пульсара PSR 1257 + 12. Потребовалось еще три года, чтобы открыть первую экзопланету вокруг «нормальной» звезды солнечного типа 51 Пегаса. Впоследствии вокруг были обнаружены экзопланеты: красные карлики (например, Gliese 876 в 1998 году), гигантские звезды (Йота Драконис в 2001 году) коричневые карлики (2M1207 в 2004 году), звезды типа А (Фомальгаут в 2008 году, см. Рисунок 33), белые карлики. (WD1145-1017 в 2015 году, с распадающейся планетой), вокруг двойных

систем (Kepler-16b в 2011 году) и другие.

## Задание 16: Модели экзопланетных систем

Сначала выбираем масштаб модели. Использовать одну и ту же шкалу для диаметров и расстояний неудобно из-за проблем с размером. Для расстояний рассматривается масштаб:  $1 \text{ AU} = 1 \text{ м}$ . В этом случае все экзопланеты могут поместиться в типичном классе, а также первые пять планет нашей солнечной системы. Для шкалы размеров планеты радиус планеты в 10 000 км соответствует диаметру модели 0,5 см. В этом случае самая большая планета Юпитер с радиусом 71000 км имеет диаметр 7 см, а самая маленькая, Меркурий, будет иметь размер 0,2 см. Если деятельность осуществляется на улице (например, на школьном дворе), мы можем построить полную модель с аналогичными масштабами диаметров и расстояний. Для родительских звезд такой же масштаб, радиус родительской звезды 10 000 км соответствует диаметру модели 0,5 см.

При выраженных условиях масштаба Солнечная система построена (Таблица 10) или любая из систем в Таблице 1 с использованием радиусов и средних значений расстояний, включенных в таблицу. Для упрощения процесса ниже приведены таблицы с указанным выше масштабом.

Он начинается с первой планетной системы, которая была обнаружена в 1999 году путем обнаружения ее планет с помощью эффекта Доплера, примененного к лучевой скорости звезды. Этот метод, благодаря уровню технологий, позволяет обнаруживать очень большие экзопланеты, расположенные близко к родительской звезде. Несомненно, метод обнаружения также определяет характеристики расположенных планет. С помощью этого метода обнаружения были обнаружены газовые планеты, такие как Юпитер или даже большие. Чтобы найти планеты, которые могли бы поддерживать жизнь, необходимо было попытаться обнаружить меньшие планеты земной группы, такие как Земля.

Считается, что газообразные планеты не могут поддерживать жизнь в том смысле, в котором мы ее знаем, поэтому существует тенденция изучать скалистые планеты земного типа вместо планет Юпитера, которые были открыты первыми.

Gliese 581 - одна из первых систем, где удалось обнаружить экзопланеты земного типа. Хотя с 2014 года некоторые из его экзопланет обсуждаются. В данном случае рассматривался метод обнаружения лучевых скоростей, но из-за малой массы GL 581, равной 0,31  $M_{\odot}$ , было возможно обнаружить экзопланеты земного типа.

В 2009 году была запущена миссия Кеплера. Эта космическая обсерватория вращается вокруг Солнца и ищет внесолнечные планеты, особенно те, которые имеют размер, близкий к Земле, которые находятся в обитаемой зоне своей родительской звезды. За 9 лет работы миссии было обнаружено около 3000 экзопланет, и тысячи кандидатов все еще ожидают подтверждения. Кеплер охватил 0,25 процента неба, и его результаты показали, что планеты очень часто встречаются в Млечном Пути. В 2018 году был запущен спутник TESS. Он предназначен для идентификации близлежащих планет размером не более чем в два раза больше Земли и в гораздо более широкой области неба, которая будет покрывать 85 процентов небесного свода. И Кеплер, и TESS были разработаны для исследования неба в поисках планетарных транзитов.

Кеплер-62 - один из самых интересных примеров потенциально обитаемой планетной системы. Особый интерес представляют планеты e и f, поскольку они являются лучшими кандидатами на место твердых планет, попадающих в обитаемую зону своей звезды. Их радиусы, 1,61 и 1,41 земного радиуса соответственно, помещают их в диапазон радиусов того, что может быть твердой планетой земной группы, и попадают в обитаемую зону Кеплера-62: и на диапазоне расстояний, на котором эти две планеты могут иметь жидкую воду. на их поверхности, возможно, полностью

окрывая их. Для Kepler-62e, который расположен недалеко от внутреннего края обитаемой зоны, это потребует отражающего облачного покрова, который уменьшает излучение, которое нагревает поверхность. Кеплер-62f, с другой стороны, находится во внешней зоне обитаемой зоны, как и Марс в нашей Солнечной системе. Там требуется значительное количество углекислого газа, чтобы поддерживать поверхность планеты в тепле с достаточным количеством воды для поверхности жидкости.

Близлежащий красный карлик, обозначенный как 2MASS J23062928-0502285, был отслежен во время транзита в 2015 году с помощью траппистского телескопа, первоначально обнаружившего около трех планет земных размеров, получивших название Траппист-1b, c и d. Более поздние исследования, проведенные международными группами с использованием телескопов Хаббла, Кеплера, Спитцера и телескопа в Чили, позволили нам лучше понять в общей сложности семь планет. Пять из этих планет (b, c, e, f и g) похожи по размеру на Землю, а две (d и h) имеют средний размер между Марсом и Землей. Три планеты (e, f и g) вращаются внутри обитаемой зоны.

Все планеты TRAPPIST-1 вращаются очень близко к своей звезде и проходят так близко друг к другу, что гравитационные взаимодействия значительны, а их орбитальные периоды почти резонансны. Планеты будут казаться заметными в небе своих соседей, а в некоторых случаях в несколько раз больше, чем Луна появляется с Земли. Фактически, их массы были определены не по лучевым скоростям, а по отклонениям периодичности их орбит с использованием метода, называемого «временные вариации прохождения» (отклонения времени прохождения).

Масса всех из них можно было получить очень с очень небольшой погрешностью, что позволило с точностью определить плотность, поверхностную гравитацию и их состав. Экзопланеты имеют диапазон масс примерно от 0,3 до 1,16 мегатонн, а плотность - от 0,62 до 1,02 земных (3,4-5,6 г / см<sup>3</sup>).

Планеты с и e почти полностью каменные, в то время как b, d, f, g и h имеют слой летучих веществ в виде водной оболочки, ледяной оболочки или толстой атмосферы. Похоже, что Trappist-1d имеет океан жидкой воды, составляющий примерно 5% от его массы, для сравнения, содержание воды на Земле <0,1%, в то время как слои воды Trappist-1f и g, вероятно, заморожены. Trappist-1e имеет немного более высокую плотность, чем Земля, что указывает на состав земных горных пород и железа. Кроме того, было обнаружено, что атмосфера Trappist-1b была выше предела утечки парниковых газов от 101 до 104 бар водяного пара. На планетах c, d, e и f отсутствует водородно-гелиевая атмосфера. Планета g также наблюдалась, но данных, чтобы исключить наличие водородной атмосферы, было недостаточно.

Есть еще много безответных вопросов о свойствах и обитаемости экзопланет. Узнав больше о них и узнав больше об их свойствах и характеристиках, это послужило стимулом для нескольких текущих и будущих космических миссий, таких как миссии НАСА TESS и JWST, а также миссии ЕКА CHEOPS и PLATO, последняя из которых будет запущена в 2026 году и дает надежду на увеличение количества известных планет земной группы. . . . .

## Библиография

Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., *Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17th century*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.

•Gaitsch, R., *Searching for Extrasolar Planets*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

•Ros, R.M., *A simple rocket model*, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.

•Ros, R.M., *Measuring the Moon's Mountains*, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.

•Vilks I., *Models of extra-solar planetary systems*, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

# Элементы астробиологии

Роза М. Рос, Беатрис Гарсия, Алекс Коста, Флориан Зейтц, Ана Вильяэкуса, Мадлен Рохас

Международный астрономический союз; Технический университет Каталонии, Испания; ITeDA и Национальный технологический университет, Аргентина; Escola Secundária de Faro, Португалия; Гейдельбергский астрономический дом, Германия; Diverciencia, Algeciras, Испания; SENACYT, Панама

## Абстракт

Семинар разделен на две части. Вводятся понятия необходимых для жизни химических элементов, проводится изучение таблицы Менделеева, соответствующее целям данной работы, рассматриваются некоторые концепции астробиологии.

## Цели

- Понять, откуда и как возникают различные элементы таблицы Менделеева.
- Понять основные характеристики внесолнечных планетных систем.
- Понять условия обитаемости, необходимые для развития жизни.
- Изучить минимальные правила жизни за пределами Земли.

## Формирование планетных систем

Когда звезда образуется из облака газа и пыли, остатки облака вокруг звезды продолжают формировать планеты. Таким же образом, как мы можем узнать состав звезды, изучая ее спектр, спектроскопия используется для определения атмосферы экзопланет.

Каждый химический элемент и каждая молекула имеют определенный и уникальный спектр. В некоторых системах планета проходит перед своей звездой. Свет звезды пройдет через атмосферу планеты и произойдет поглощение. Наблюдая световые спектры звезд экзопланетных систем, можно определить химический состав атмосфер планет (рисунки 1 и 2).

Но давайте рассмотрим пример формирования планетной системы с вовлечением участников в активную модель.

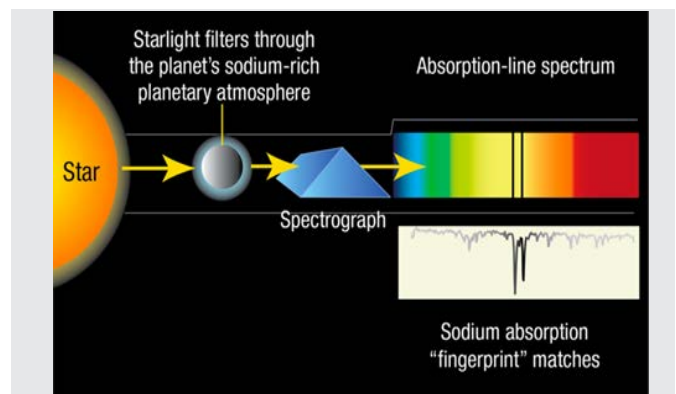


Рис. 1: Спектроскопия, примененная к исследованию атмосферы планеты HD 209458b, с обнаружением натрия в ее атмосфере. Источник: Википедия / А. Фейлд (STSci)

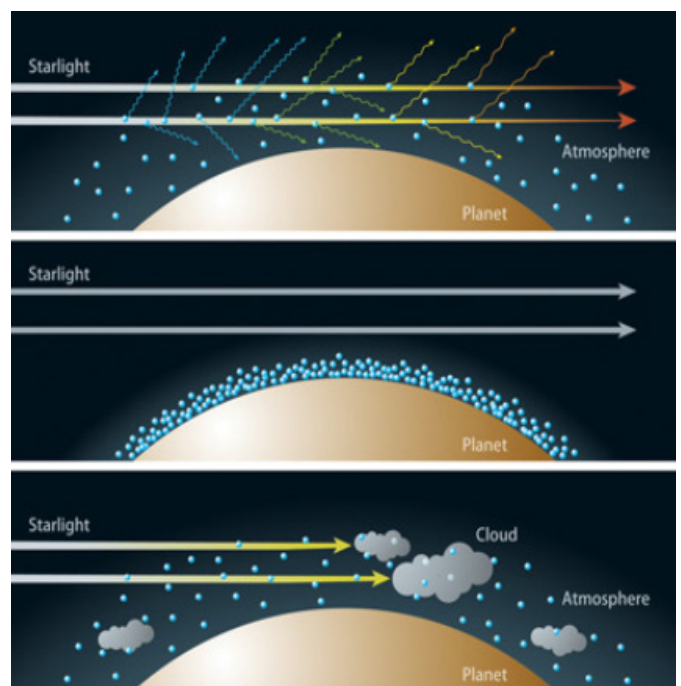


Рис. 2: Как мы узнаем, есть ли вода или другие органические молекулы в атмосфере планеты? Каждый химический элемент, каждая молекула имеет специфический и уникальный спектр. Сравнивая световые спектры звезд экзопланетных систем, мы можем обнаружить химический состав атмосферы экзопланеты, если свет в конечном итоге проходит через соответствующую атмосферу.

## Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Тема этого упражнения – объяснить формирование Солнечной системы или любой планетной системы в соответствии с небулярной гипотезой Иммануила Канта (1755 г.). Активность состоит в том, чтобы разделить класс на две группы, которые легко идентифицировать, например: группа девочек и группа мальчиков. (Можно использовать и другие критерии, но обычно это самый простой.) У каждой группы есть своя роль, девочки могут представлять газ, а мальчики – пыль (или наоборот). Если есть существенная разница в количестве участников в группах, рекомендуется, чтобы группа, представляющая газ, содержала наибольшее количество участников, поскольку в планетной системе во время формирования масса газа в 100 раз больше массы пыли.

Когда участники слушают рассказ, они динамично реагируют на то, что слышат, например:

Текст рассказа:	Действия участников:
Когда-то существовало облако из большого количества газа и немного меньшего количества пыли.	Все смешиваются в «облако». Большинство участников представляют газ. В «облаке» все участники случайным образом держатся за руки, образуя сеть.
Затем газ начал собираться в центре облака, а вокруг была пыль.	Участники начинают разделяться. Участники, представляющие газ, собираются (накапливаются) в центре, а участники, представляющие пыль, держатся за руки в кольце вокруг центра.
Всё интенсивно двигалось, частицы газа притягивали газ, а частицы пыли притягивали пыль.	Они начинают вращаться, двигаться, ударяться (сталкиваться), дрожать, прыгать. Некоторые вылетают в результате такого большого движения, а другие «спасают», ловят, обнимают эти частицы, разделяя их (газ к газу и пыль к пыли)

В центре образовалось плотное непрозрачное ядро, окруженное диском из пыли и газа.	Те, что в центре (газ), собираются, и вокруг них участники, представляющие пыль, образуют круг, взявшись за руки. Уточнение: не весь газ находится в центре, есть газ, вынесенный за пределы круга.
Это ядро – та часть, которая в конце концов даст начало образованию Солнца или родительской звезды внесолнечной системы.	Солнце или родительская звезда начинает светить, поэтому его лучи должны быть направлены во все стороны. Уточнение: в тот момент, когда Солнце или звезда начинает светить, свободный (неплотный) газ начинает удаляться.
Некоторые маленькие планеты образованы объединением всё более и более крупных пылинок, затем камней и так далее.	Участники, представляющие пыль, которая образует планеты земной группы, начинают собираться вместе. Уточнение: не вся пыль остается с планетами земной группы, должно быть некоторое количество пыли в самых отдалённых регионах.
Планеты-гиганты образовались вдали от тепла Солнца или родительской звезды, где газ мог беспрепятственно собираться.	Остальные участники начинают объединяться, чтобы образовать планеты-гиганты: много газа и немного пыли. Уточнение: снижение температуры из-за большего расстояния от Солнца или родительской звезды является причиной основных

Таблица 1: История, объясняющая формирование планетной системы.

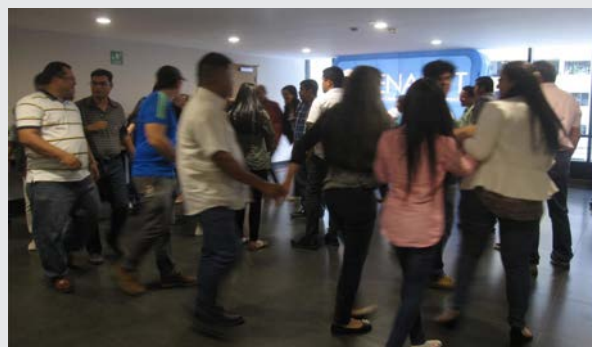


Рис. 3: Все смешиваются в облако. Большинство участников представляют газ. В облаке все участники берутся за руки случайным образом, как в сети, или образуют сеть.



Рис. 4: Участники расходятся. Представляющие газ собираются в центре, представляющие пыль держатся за руки вокруг остальных.



Рис. 5: Участники, представляющие пыль, образующую планеты земной группы, начинают группироваться.



Рис. 6: Остальные участники начинают собираться, чтобы сформировать планеты-гиганты: много газа и небольшое количество пыли.

## Химические аспекты звёздной эволюции

Периодическая таблица Менделеева позволяет нам понять, что элементы, из которых мы состоим, были созданы в процессе эволюции звезд.

В Периодической таблице (рис. 7) различные элементы классифицируются следующим образом:

- 1) Элементы, созданные в первые минуты после Большого взрыва. Первоначально Вселенная состояла из простейшего атома: атома водорода. Спустя некоторое время это привело к появлению более сложных элементов, таких как гелий, литий и бериллий.
- 2) Элементы, которые образуются в ядрах звезд путем нуклеосинтеза, несколько тяжелее. К ним относятся бор, углерод, азот, кислород, фтор, неон, натрий, магний, алюминий, кремний, фосфор, сера, хлор, аргон, калий, кальций, скандий, титан, ванадий, хром, марганец и железо.
- 3) Остальную часть таблицы составляют самые тяжелые элементы, образующиеся при взрывах больших сверхновых. Некоторые из них нестабильны, но могут быть воспроизведены в лабораториях.
- 4) Синтетические элементы, произведенные человеком в лаборатории и не встречающиеся в природе.

## Упражнение 2: Классификация элементов таблицы Менделеева

Ниже приведен список объектов, которые необходимо будет классифицировать по трем уровням в трех корзинах:

1. Элементы, образованные в первые минуты после Большого взрыва (Синяя корзина).
2. Элементы, образовавшиеся внутри звезд (Желтая корзина).
3. Элементы, появляющиеся при взрывах сверхновых (Красная корзина).

В одну из трех корзин (синюю, желтую или красную) необходимо поместить каждый объект из следующего списка в соответствии с его составом.

## Упражнение 3: Дети звёзд

Химические элементы, которые считаются необходимыми для жизни, обладают следующими характеристиками:

- Недостаток элемента вызывает функциональные нарушения (обратимые, когда его количество возвращается к соответствующей концентрации).



Elements which were produced in the first minutes after the Big Bang  
 Elements which were forged in the interior of stars  
 Elements appearing in supernova explosions  
 Man-made elements in the laboratory

Рис.7: Периодическая таблица с точки зрения звездной эволюции.

Кольцо: Gold Au	Сверло с покрытием: Titanium Ti	Газ внутри воздушного шарика: Helium He	Металлическая мочалка для посуды: Nickel Ni
Круглая батарейка: Lithium Li	Автомобильная свеча зажигания: Platinum Pt	Электрический медный провод: Copper Cu	Раствор йода: Iodine, I
Питьевая вода H <sub>2</sub> O: Hydrogen H	Старая кастрюля: Aluminium Al	Черный карандаш: Graphite C	Сера для сельского хозяйства: Sulfur, S
Банка напитка: Aluminium Al	Наручные часы: Titanium Ti	Медаль: Silver Ag	Старая водопроводная труба: Lead Pb
Точилка для карандашей: Zinc Zn	Старый ржавый гвоздь: Iron Fe	Термометр: Gallium Ga	Коробок спичек: Phosphorus P

Таблица 2: Объекты для классификации.

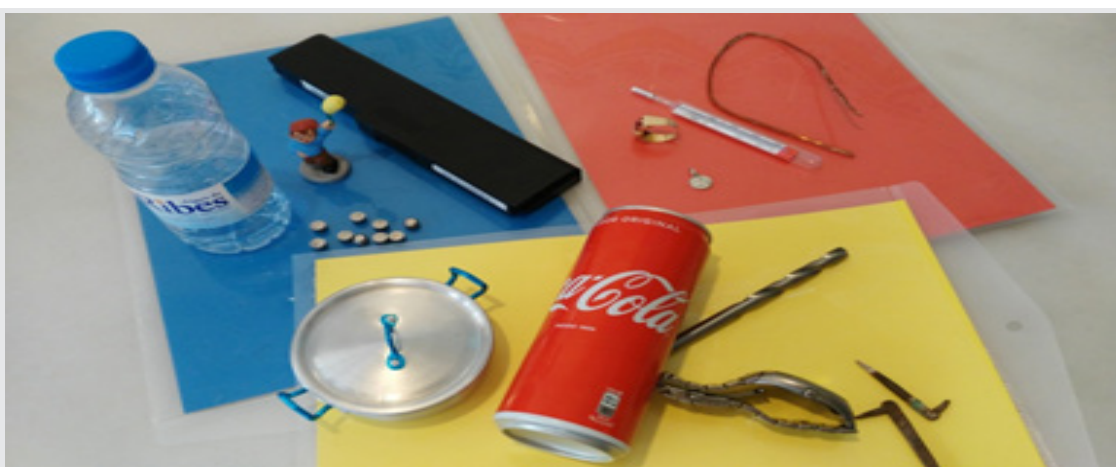


Рис. 8: Правильная классификация. В синей зоне: сотовый телефон или круглая батарейка: Литий Li; Бутылка с водой H<sub>2</sub>O: Водород; Газ внутри воздушного шарика: Гелий He. В желтой зоне: банка газированного напитка: алюминий Al; бутылка с водой H<sub>2</sub>O: кислород O. Сверло с покрытием: титан Ti; старая сковорода: алюминий Al; титановые наручные часы Ti; ржавый старый гвоздь: железо Fe; черный грифель карандаша: графит C; сера в сельском хозяйстве: сера S; спичечный коробок: фосфор P. В красной зоне: электрический медный провод: медь Cu; свечи зажигания: платина Pt; кольцо: золото Au; медаль: серебро Ag; термометр: Gallium Ga; Точилка для карандашей: цинк Zn; мочалка для кастрюль: никель Ni; раствор йода: йод I; старая водопроводная труба: свинец Pb.

- Элемент напрямую влияет на организм и участвует в метаболических процессах.
- Влияние этого элемента не может быть произведено каким-либо другим элементом.

Ниже приведен список биоэлементов, присутствующих в организме человека, в порядке их содержания.

- Самые распространённые элементы: кислород, углерод, водород, азот, кальций, фосфор, калий, сера, натрий, хлор, железо и магний.
- Микроэлементы: фтор, цинк, медь, кремний, ванадий, марганец, йод, никель, молибден, хром и кобальт.

Не все живые существа имеют в организме одинаковые пропорции основных элементов. На рисунке 9 показаны основные элементы, а также некоторые элементы, которые можно идентифицировать как: литий, кадмий, мышьяк.

Сравнивая периодическую таблицу на рисунке 7 с таблицей на рисунке 9, вы можете увидеть, что все основные элементы (кроме водорода) были произведены внутри звезд. Мы не могли бы существовать без более тяжелых элементов, созданных звездной эволюцией. Что касается тех элементов, которые появляются только как микроэлементы – некоторые из них образовались внутри звезды, а другие – в результате взрыва сверхновой. Однако большинство из них возникает в результате реакций синтеза ядер в ядрах звезд: Мы – дети звезд! Мы сделаны из звездной пыли!!

Хотя это не основная цель данного семинара, было бы неплохо составить периодическую таблицу, в которой каждый элемент соотносится с повседневным предметом, и/или экспериментом с участием этого элемента. Это должно привести к лучшему пониманию учениками таблицы Менделеева.

## Солнце – не первое поколение звезд

Звезды первого поколения – это, по сути, водород и гелий после Большого взрыва (и некоторое количество гелия, которое они создали сами). Звезды, состоящие из более тяжелых элементов, образовались из первоначального облака, содержащего остатки взрывов сверхновых. Взрывы сверхновых привели к образованию более тяжелых элементов за счет синтеза. Например, в солнечном спектре есть отчетливый набор спектральных линий натрия, что позволяет предположить, что из-за его малой массы и этапа эволюции он не может быть звездой первого поколения. Натрий не мог быть произведен Солнцем. Кроме того, на планетах Солнечной системы обнаруживается

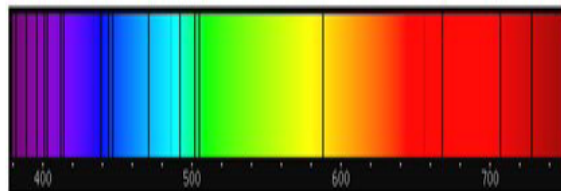


Рис. 9: Спектр звезд первого поколения (впечатление художника). Эти звезды преимущественно в десятки и сотни раз массивнее Солнца. Они жили быстро, умирали молодыми и не дожили до наших дней. Были бы видны только спектральные линии водорода, гелия и отчасти лития.

Abundant elements										Trace elements					Essential elements				
H																		He	
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn	
Fr	Ra	Ac																	

Таблица 2: Периодическая таблица элементов, необходимых для жизни.

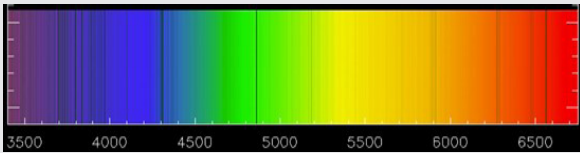


Рис. 10: Спектр SMSS J031300.36-670839.3, звезды второго поколения, на которой видны только линии водорода и углерода.

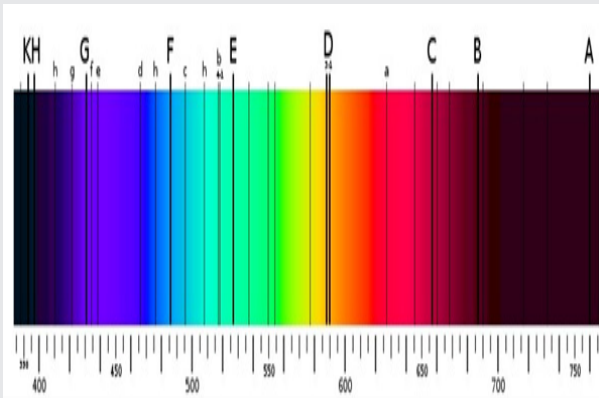


Рис. 11: Спектр Солнца. Множество спектральных линий различных элементов, в том числе натрия (выделены жирным шрифтом).

множество элементов, возникающих после взрыва сверхновой. Это разумная теория, согласно которой Солнце образовалось из первоначального облака остатков по крайней мере двух взрывов сверхновых. Следовательно, Солнце можно рассматривать как звезду третьего поколения.

Давайте посмотрим на пару примеров спектров, показанных ниже: спектр звезды

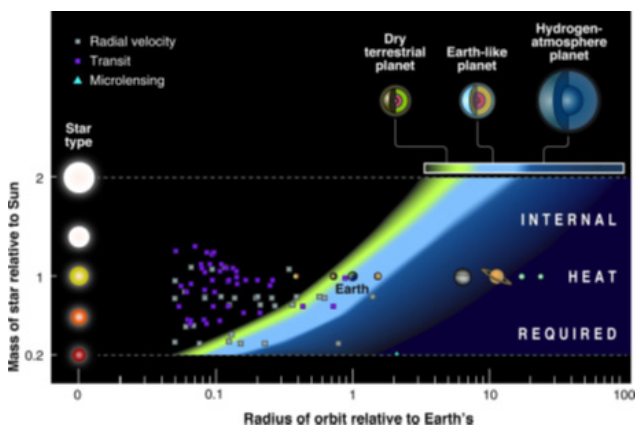


Рис. 12: Зона обитаемости, определяемая родительской звездой.

первого поколения, в котором видны только линии примитивных элементов (рисунок 10). Хорошо виден солнечный спектр с уже упомянутыми линиями натрия (рис. 12).

## Зона обитаемости

Когда мы говорим о жизни, обычно предполагается, что это формы жизни на основе углерода, и, таким образом, определяется главный критерий обитаемости – наличие жидкой воды. Область вокруг звезды, в которой поток излучения на поверхности любой скалистой планеты (или спутника) допускает присутствие воды в жидком состоянии, называется зоной обитаемости звезды. Обычно это происходит на телах (или на поверхности тел с массой) массой от 0,5 до 10 Мт и с атмосферным давлением выше 6,1 мбар, что соответствует тройной точке воды при температуре 273,16 К (когда вода сосуществует в виде льда, жидкости и пара).

Зона обитаемости зависит от массы звезды. Если масса звезды увеличивается, ее температура и яркость увеличиваются, и, следовательно, зона обитаемости становится все более удаленной.

То, что планета находится в зоне обитаемости, не означает, что там должна быть жизнь. Например, в нашей Солнечной системе зона обитаемости включает в себя планеты Землю и Марс, но из двух единственной планетой, на которой известна жизнь, является Земля. Зона обитаемости Солнечной системы простирается от 0,84 до 1,67 а.е. Венера находится на 0,7 а.е. с неконтролируемым парниковым эффектом, а Марс – на 1,5 а.е. без наличия поверхностных вод, но вполне может присутствовать внутренняя замороженная вода.

Помимо существования жидкой поверхностной воды, существуют и другие условия для обитаемости планеты. Разберем подробно самые главные:

- Орбитальное расстояние от планеты, которое обуславливает пребывание её в зоне обитания, является необходимым, но не достаточным условием для того, чтобы планета была гостеприимной для жизни. Пример: Венера и Марс.

•Одним из факторов, оказывающих решающее влияние на обитаемость, является масса планеты. Она должна быть достаточно большой, чтобы сила тяжести планеты могла удерживать атмосферу. Это основная причина, по которой Марс в настоящее время непригоден для жизни, поскольку он потерял большую часть своей атмосферы и все поверхностные воды, которые у него были в первый миллиард лет существования..

и некоторые фотосинтезирующие бактерии используют энергию солнечного света для синтеза органических соединений. Это фундаментальный процесс для жизни на Земле, который оказывает глубокое влияние на атмосферу и климат Земли: каждый год организмы, обладающие способностью к фотосинтезу, превращают более 10% атмосферного углекислого газа в углеводы. Это означает, что увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере, создаваемое деятельностью человека, оказывает большое влияние на фотосинтез. С эволюционной точки зрения появление кислородного фотосинтеза (производящего кислород) было настоящей революцией для жизни на Земле: он изменил атмосферу Земли, обогатив ее, и этот факт позволил появиться организмам, которые используют кислород для жизни.

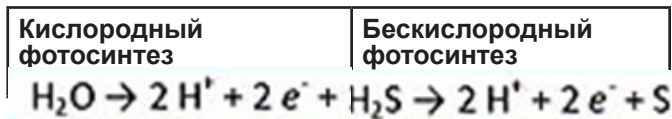


Рис. 13: Кислородный и бескислородный фотосинтез.

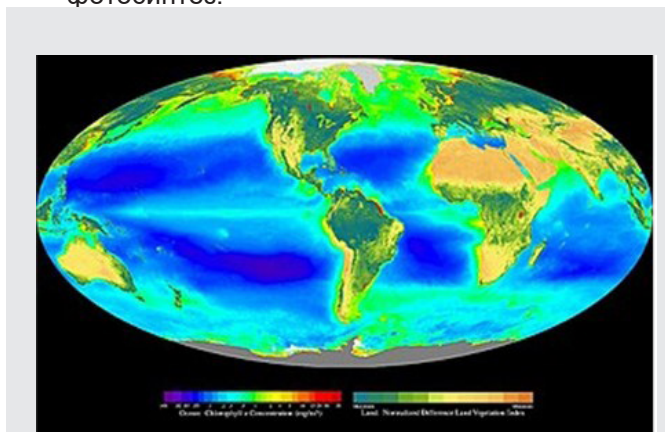


Рис. 14: Изображение показывает распределение фотосинтеза в земном шаре, осуществляемого как океаническим фитопланктоном, так и наземной растительностью.

В любом случае может случиться так, что, хотя планеты не находятся в зоне обитаемости, факторы, необходимые для существования какой-либо жизни, могут существовать либо на самих планетах, либо на некоторых из их лун. Это может относиться к некоторым лунам Юпитера или Сатурна.

## Введение в астробиологию: процесс формирования атмосферы Земли

Знания о фотосинтезе необходимы для понимания взаимоотношений живых существ атмосферы, а также для понимания баланса жизни на Земле, учитывая глубокое влияние, которое фотосинтез оказывает на атмосферу и климат Земли. Фотосинтез — это физико-химический процесс, с помощью которого растения, водоросли

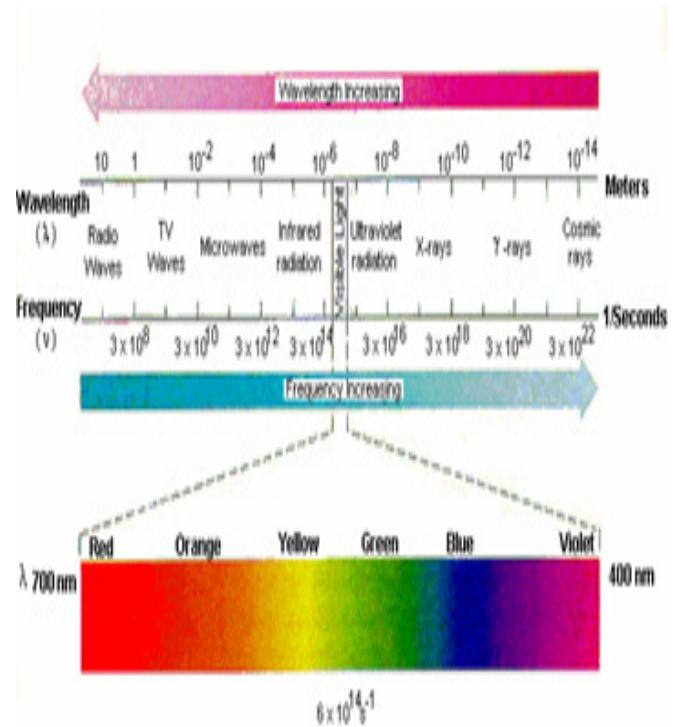


Рис. 15: Спектр видимого света.

Не всегда все было так, как мы знаем сегодня; эволюция Земли, эволюция примитивной атмосферы, эволюция примитивного метаболизма составляют структуру событий, которые приводят к появлению фототрофных бактерий, которые используют свет в качестве источника энергии, но выделяют серу (так называемый бескислородный (аноксигенный) фотосинтез, поскольку он не выделяет кислород). Позднее на Земле.

появляется кислородный фотосинтез. Он выделяет кислород в атмосферу, увеличивая его концентрацию и способствуя огромному взрыву жизни, который мы знаем сейчас. Можно сказать, что примитивная атмосфера нашей планеты почти не содержала следов кислорода. Но жизнь была раньше. И все согласны с тем, что воздух, которым мы дышим сегодня, с 21% кислорода, является продуктом биологической активности Земли и сильно отличается от атмосферы примитивной Земли.

## Процесс образования органического вещества. Почему растения зеленые?

Жизнь на нашей планете поддерживается в основном благодаря фотосинтезу, который водоросли и некоторые бактерии осуществляют в водной среде, а растения – в сухой среде (на поверхности Земли). Все они обладают способностью синтезировать органические вещества (необходимые для строения живых существ), начиная с легкой и неорганической материи. Фактически, каждый год фотосинтезирующие организмы фиксируют около 100 миллиардов тонн углерода в форме органического вещества.

Начальные этапы преобразования энергии света в химическую энергию зависят от молекул, называемых фотосинтетическими пигментами. Термин «пигмент» используется для описания молекулы, способной улавливать энергию фотонов (возбуждать электроны на их энергетических уровнях в атомах; молекула, которая «возбуждается светом»). Все биологические пигменты избирательно поглощают одни длины волн света, отражая другие.

Солнечный свет состоит из разных цветов; каждый имеет разную длину волны, которая находится в диапазоне от 400 до 700 нм. Хлорофилл поглощает энергию красного и синего света, но не поглощает энергию зеленого света. Зеленый цвет отражается на листе, и наши глаза видят его зеленым.

Traiem l'èmbol d'una xeringa d'un sol ús de 10 ml i situem els discos en el cos d'aquesta, després col·loquem suaument l'èmbol i succionem

## Упражнение 4: Производство кислорода из CO<sub>2</sub> с использованием фотосинтеза или функции хлорофилла

В этом экспериментальном предложении



Рис. 16 и 17: Раствор и лампы с красным фильтром и синим фильтром.

мы будем использовать листья растения для производства кислорода за счет бикарбоната натрия, углерода и света лампы. Мы будем использовать две прозрачные стеклянные банки и на них разместим синий и красный фильтры.

Зеленые листья овощей должны быть свежими, плотными и полностью зелеными, поэтому рекомендуется использовать шпинат или листовую свеклу. С помощью дырокола мы нарежем диски из однородных листов (из расчета 10 дисков на бутылку, избегая участков с центральными ребрами).

Подготовим 25% раствор гидрокарбоната натрия, то есть 25 г гидрокарбоната на 1 литр воды, с целью пропитать им диски, вырезанные из листьев. Мы надеемся увеличить количество углерода, доступного в форме бикарбоната натрия, тем самым сделав более заметным и ускорив явление, которое мы хотим наблюдать. В каждую стеклянную банку наливаем по 20 мл раствора бикарбоната натрия.

Вынимаем поршень из одноразового шприца на 10 мл и помещаем диски в его корпус, затем осторожно помещаем поршень и отсасываем 10 мл раствора бикарбоната до тех пор, пока диски не будут взвешены в растворе.

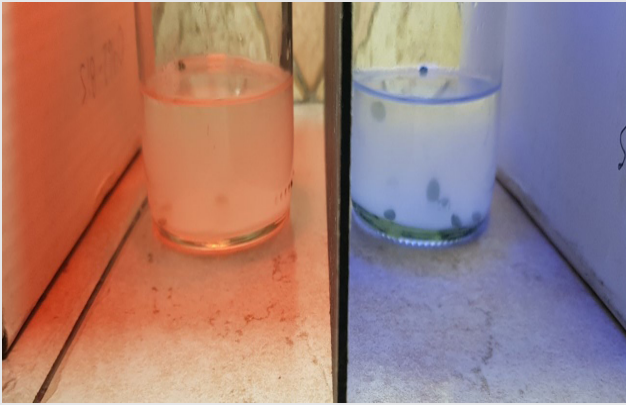


Рис. 18 и 19: Раствор под лампами разного цвета, показывающими, что диски поднимаются по-разному в каждом случае.

Надо заменить воздух в дисках раствором бикарбоната. Для этого закрываем конец шприца пальцем и плотно отсасываем, пытаюсь создать вакуум, а затем отпускаем. Во внутренних пространствах растительной ткани воздух будет заменен раствором бикарбоната: таким образом, диски не будут плавать в растворе бикарбоната, и раствор будет доступным источником углерода и близок к фотосинтетическим структурам листа.

Обработанные таким образом листовые диски помещаем в каждую стеклянную банку (которая, в свою очередь, содержит 25% раствор бикарбоната). Накройте одну из банок алюминиевой фольгой, а вторую накройте цветной целлофановой бумагой. На каждую бутылку следует установить лампу (с закрывающей ее бумагой), чтобы световой луч воздействовал на исследуемый образец: обе лампы на одинаковом расстоянии (необходимо иметь отдельные источники света для каждой бутылки, одинаковой мощности, не менее 70 Вт: они могут быть люминесцентными источниками, но рекомендуется использование светодиодов; избегайте ламп накаливания, например галогенных ламп, так как они теряют много энергии в виде тепла).

Когда включаем свет, начинаем отсчитывать время секундомером. Записываем время, необходимое для того, чтобы диски начали подниматься в растворе.

Процесс не является мгновенным, диски могут начать подниматься примерно через

5 минут (это зависит от интенсивности света и расстояния, на котором находится лампа). Диски начинают подниматься, выделяя кислород в виде пузырьков, которые помогают при подъёме. Следует отметить, что движение в каждой бутылке происходит в разное время, в зависимости от цвета света: быстрее для синего света. Таким образом мы демонстрируем, что компонент электромагнитного излучения с более высокой энергией является наиболее эффективным в процессе. Скорость фотосинтеза напрямую связана со временем, которое требуется диском, чтобы начать подниматься, это явление связано с производством кислорода. Скорость фотосинтеза у синего света выше, чем у красного. Таким образом, в этом эксперименте мы демонстрируем, как растения и другие фотосинтезирующие организмы ответственны за существование кислорода в нашей атмосфере. Замена воздуха раствором бикарбоната ускоряет процесс и позволяет визуализировать его за меньшее время. Кроме того, со временем при взаимодействии ультрафиолетового излучения Солнца с молекулами кислорода образуется озон (O<sub>3</sub>). Этот процесс защищает нас от наиболее интенсивного УФ-излучения, но пропускает лучи УФ-А и УФ-В, что способствует образованию витамина D в коже человека.

Альтернативные переменные для изучения: концентрация бикарбоната в используемом растворе, температура, источники света разного цвета и интенсивности (поддержание постоянных условий и контроль темноты во всех случаях), листья, предварительно



Рис.20: Контрольный эксперимент с пузырьками углекислого газа, которые свидетельствуют о существовании жизни.

подвергшиеся воздействию света или темноты и т.д.

## Упражнение 5: Возможность жизни в экстремальных условиях

Ферментация для производства спирта – это анаэробный процесс, выполняемый дрожжами (грибами). Вместе с бактериями процесс ферментации является основой для получения энергии у микроорганизмов. Дрожжи превращают сахар (глюкозу) в этиловый спирт или этанол и диоксид углерода низкой

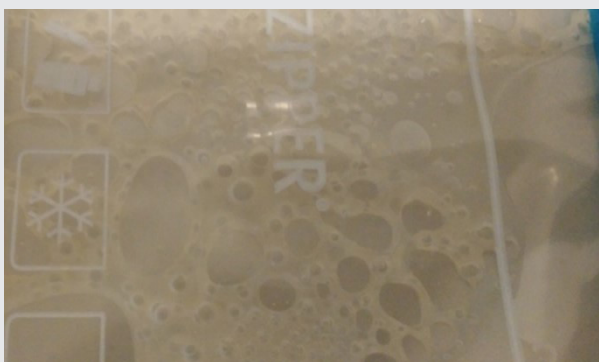


Рис. 21 и 22: Щелочной и солёный растворы с пузырьками.

Ферментация – это процесс с низкой энергоэффективностью, в то время как дыхание гораздо более выгодно и с эволюционной точки зрения является более поздним процессом.

Таким образом, поскольку сахар превращается в этиловый спирт и двуокись углерода, мы будем основывать наш эксперимент на присутствии этого газа. Если мы наблюдаем его присутствие, мы узнаем, что происходило брожение и, следовательно, проверим возможность существования жизни.



Рис.23: Замороженный раствор без пузырьков

Микробиологический опыт требует времени, чтобы прийти к надежным выводам. В нашем случае наличие или отсутствие углекислого газа позволит нам узнать, можем ли мы, учитывая изменение условий окружающей среды, сделать вывод, что жизнь возможна. Во всех случаях нашего эксперимента мы начинаем с посева, в котором присутствует вода. Чтобы иметь достаточно времени для наблюдения за развитием эксперимента, он готовится в начале семинара, и через час можно наблюдать за ситуацией с семью различными процедурами.

Для этого мы будем использовать 1 столовую ложку дрожжей (используйте дрожжи для приготовления хлеба, которые можно купить в супермаркете) – это живой микроорганизм, который легко достать; 1 стакан теплой воды (чуть больше половины стакана при температуре от 22 до 27°C) и 1 столовую ложку сахара, который могут потреблять микроорганизмы.

Мы будем использовать ту же процедуру в контрольном эксперименте и других экспериментах, разработанных в экстремальных условиях.

### Порядок проведения контрольного эксперимента

Сахар растворяют в горячей воде в стеклянной чашке. Затем добавляют дрожжи и перемешивают ложкой. Затем полученная смесь помещается в полиэтиленовый пакет на молнии (попадание воздуха внутрь не допускается). Весь воздух удаляется из пакета (разложив его по столу и надавив вытянутыми руками) перед

герметизацией. Важно следить за тем, чтобы внутри мешка не оставался воздух. Через 5 минут наблюдаем, как в пакете начал скапливаться углекислый газ. Через 20 минут внутри мешка появляются пузырьки из-за выделения этого газа, одного из конечных продуктов ферментации, происходящей внутри мешка. Наличие этого газа показывает, что микроорганизмы живы.

**Процедура на «щелочной планете» (например, на Нептуне или Титане присутствует аммиак):** повторите опыт с любым доступным «основным» материалом (бикарбонат натрия, аммиак ...) в воде и подождите, чтобы увидеть, появятся ли пузырьки, то есть, могут ли микроорганизмы жить или нет. Шкала pH: бикарбонат натрия: Ph 8,4 и бытовой аммиак: Ph 11.

**Процедура на «соленой планете» (например, считается, что Марс или Ганимед имеют воду с высокой концентрацией соли).** Повторите опыт, растворяя разное количество хлорида натрия (поваренной соли) в водопроводной воде.

**Процедура на «кислой планете» (например, на Венере, на которой идет дождь из серной кислоты):** повторите процесс растворения уксуса, лимона или любой другой кислоты, имеющейся в воде. Шкала pH: Кислота: Уксус: Ph 2,9 или лимон: Ph 2,3.

**Процедура на «ледяной планете» (например, Европа или Trappist-1h)** Поместите пакет в контейнер, полный льда, и посмотрите, есть ли активность, то есть не набухает ли пакет. Если есть холодильник или морозильная камера, им тоже можно пользоваться. Если пузырьки не появляются, жизни нет.

**Процедура на «планете с УФ-излучением» (например, Марс):** Проведите тот же эксперимент, но держите пакет с дрожжами и сахаром плотно под действием УФ-излучения, создаваемого специальной лампой. Если используется УФ-лампа высокой энергии (УФ-С) или (УФ-В), пузырьки не появятся, а это означает, что жизнь невозможна. Но коммерческие лампы, называемые «черным светом», являются

низкоэнергетическими ультрафиолетовыми (УФ-А), то есть они не опасны для жизни и часто используются в садоводстве для хороших результатов, которые они дают при облегчении роста растений. При использовании этого типа ламп наблюдается образование большего количества пузырей. Если появляются пузырьки – значит, жизнь присутствует.

**Процедура на «теплой планете» (например, Венера из-за парникового эффекта).** Проведите тот же эксперимент с очень горячей водой. В случае Венеры мы должны использовать кипящую воду. (Если имеется термометр, опыт можно повторить при различных температурах, и при этих температурах можно получить таблицу активности). Если появляются пузырьки, значит, это жизнь.

**Планеты и экзопланеты с экстремальными условиями, подобные тем, которые используются в этом упражнении**

**ВЕНЕРА.** Она имеет плотную атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа и небольшого количества азота. Давление на поверхности в 90 раз превышает атмосферное давление на поверхности Земли. Огромное количество углекислого газа в атмосфере вызывает сильный парниковый эффект, который повышает температуру поверхности планеты примерно до 464°C в менее возвышенных регионах вблизи экватора. Это делает Венеру более горячей, чем Меркурий, несмотря на то что она более чем в два раза дальше от Солнца, где она получает только 25% солнечного излучения. Облака в основном состоят из капель диоксида серы и серной кислоты и полностью покрывают планету, скрывая детали поверхности от внешнего визуального наблюдения.

**МАРС.** Под ледяной поверхностью этого пустынного мира может быть соленая вода. Эта вода может быть домом для форм жизни, способных выдержать эти экстремальные условия. В прошлом это было совсем другое место. Мы знаем, что Марс мог быть очень



похожа на Землю. У него были океаны, вулканы и такая же плотная, как наша, атмосфера, богатая углекислым газом, но это не было бы препятствием для микробной жизни. Единственное, чего не хватало на красной планете, и из-за чего она в конце концов не такая, как наша планета, это магнитное поле. Более низкая гравитация и отсутствие магнитного поля означало, что солнечный ветер мог медленно сдувать атмосферу Марса. Кроме того, Марс — это планета, которая получает на своей поверхности солнечное ультрафиолетовое (УФ) излучение с сильным и биологически очень вредным

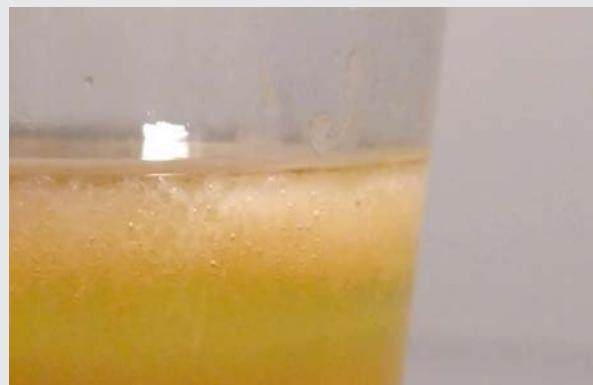


Рис. 24: Сделать ДНК видимой

Имя экзопланеты	Масса в массах Земли	Радиус в земных радиусах	Расстояние до звезды в а.е.	Масса звезды в массах Солнца	Спектральный класс звезды/температура поверхности
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	неизвестно	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	неизвестно	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	неизвестно	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d	4	неизвестно	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
KIC 5522786 b	неизвестно	1.21	1.98	1.79	A

Таблица 4. Кандидаты на вторую Землю

состояния поверхности, чтобы найти некоторые признаки жизни.

**НЕПТУН.** Внутренняя структура Нептуна напоминает структуру Урана: скалистое ядро, покрытое ледяной коркой, скрытое под толстой атмосферой. Внутренние две трети Нептуна состоят из смеси расплавленной породы, воды, жидкого аммиака и метана. Внешняя треть представляет собой смесь горячего газа, состоящего из водорода, гелия, воды и метана. Его атмосфера составляет примерно 7% от его массы. На больших глубинах давление в атмосфере примерно в 100 000 раз превышает давление в атмосфере Земли. Концентрации метана, аммиака и воды увеличиваются от внешних областей к внутренним областям атмосферы.

**Ганимед,** спутник Юпитера, состоит из силикатов и льда с ледяной коркой, которая плавает над мутной мантией, которая может содержать слой жидкой воды с высокой концентрацией соли. Первые пролеты над Ганимедом космического корабля «Галилео» обнаружили, что у спутника есть собственная магнитосфера. Вероятно, она генерируется аналогично магнитосфере Земли: то есть возникает в результате движения внутри проводящего вещества.

**Титан,** спутник Сатурна. Считается, что на Титане присутствует подземный водный океан с растворенным в нем аммиаком на глубине 100 километров от поверхности, и, возможно, другие углеводороды. Атмосфера на 94% состоит из азота и является единственной богатой азотом

Спектральный тип	Температура, К	Зона обитаемости, а.е.
06V	41000	450-900
B5V	15400	20-40
A5V	8200	2.6-5.2
F5V	6400	1.3-2.5
G5V	5800	0.7-1.4
K5V	4400	0.3-0.5
M5V	3200	0.07-0.15

Таблица 5: Зона обитаемости в зависимости от спектрального класса.

атмосферой в Солнечной системе, за исключением нашей планеты. Оставшуюся долю атмосферы составляют значительные следы различных углеводородов. Лед очень похож на дрейфующий лед на полюсах Земли.

**Европа,** спутник Юпитера. На Европе ледяная поверхность и подземный океан жидкой воды. Атмосфера у неё тонкая и с низкой плотностью, но состоит из кислорода. Лед очень похож на дрейфующий лед на полюсах Земли. У Европы есть железоникелевое ядро, окруженное горячей каменной мантией, над ним находится океан жидкой воды с глубиной (являющейся предметом геологических дискуссий) около 100 км и с ледяной поверхностью 10 км толщиной.

## Упражнение 6: Обнаружение второй Земли

Земля – единственная известная планета, на которой поддерживается жизнь. Поэтому, если мы ищем планету с внеземной жизнью, хорошим вариантом является поиск планет с похожими условиями. Но какие параметры при этом важны? В следующей таблице перечислены некоторые экзопланеты и их свойства. Исключите экзопланеты, непригодные для жизни, и, возможно, найдете вторую Землю. Некоторые критерии приведены после таблицы.

### Радиус и масса

В нашей Солнечной системе есть планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Планеты земной группы состоят из силикатных пород и металлов и имеют более высокую плотность, чем планеты-гиганты. Хорошими индикаторами подходящей плотности являются радиус и масса планеты.

Мы используем определение команды Kepler Mission: планеты размером с Землю и планеты размером с супер-Землю имеют радиус менее 2 радиусов Земли. 10 масс Земли считаются верхним пределом для планет размером с Землю.

## Зона обитаемости

Зона обитаемости – это диапазон орбит вокруг звезды, в пределах которого на поверхности планеты может существовать жидкая вода.

Звезды главной последовательности, на которых мы фокусируемся, имеют прямую корреляцию между яркостью и температурой поверхности звезды. Чем выше температура поверхности, тем ярче звезда и тем дальше от неё зона обитаемости. Спектральные типы обозначают температуру поверхности (см. Таблицу ниже).

Спектральные типы классифицируются буквой (O, B, A, F, G, K, M) и обозначаются цифрами от 0 до 9 (0 – самый горячий в данном спектральном типе). Буква V обозначает звезду главной последовательности.

Подсказка: если спектральный класс звезды немного отличается или подтип неизвестен, используйте данные значения для зоны обитания в качестве приближения.

## Масса родительской звезды

Чтобы изучить обитаемость планетной системы вокруг звезд главной последовательности, мы должны рассмотреть эволюцию родительской звезды.

Примерно через 1 миллиард лет после образования Земли возникли первые формы жизни. Может быть, жизнь была и раньше, но это сомнительно. Таким образом, родительская звезда должна быть стабильной не менее  $= 10^9$  лет для развития жизни.

Энергия, которую звезда может производить при синтезе водорода, пропорциональна ее массе. Вы получите время главной последовательности, разделив эту энергию на яркость звезды. Если вы используете эту пропорциональность и используете Солнце в качестве эталона, вы получите первую часть формулы, из этих соображений мы можем оценить время жизни звезды на главной последовательности:

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Для нормальных карликовых звезд или главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела светимость приблизительно пропорциональна массе, возведенной в степень примерно 3.5.  $L \propto M^{3.5}$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5},$$

что дает время жизни звезды как долю ожидаемого времени жизни Солнца (1010 лет). Упрощенная версия этой формулы:

$$t^* = 10^{10} \times (M_s/M)^{2.5} \text{ лет}$$

Рассчитаем верхний предел массы звезды, если временной интервал главной последовательности составляет не менее 3 миллиардов лет.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = 1.6 M_s$$

Мы видим, что для звезд с массой  $> 2M_s$  время жизни на главной последовательности падает ниже 1 галактического года (время обхода галактического центра, 250 миллионов лет), таким образом, даже если вокруг них существуют пригодные для жизни планеты, жизни, вероятно, не хватит времени для развития.

## Список литературы

- Álvarez, C., y otros, *Guía Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018,
- Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018
- Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018
- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción, Viladecans, 2018
- Summers M, Trefil, J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System*, Smithsonian Books; 2018

# Подготовка к наблюдениям

Francis Berthomieu, Ricardo Moreno, Beatriz

García, Rosa M. Ros

International Astronomical Union, CLEA (Niza, France), Retamar School (Madrid, Spain), National Technological University (Mendoza, Argentina), Technical University of Catalonia (Barcelona, Spain)

## Введение

Наблюдения в группе – отличный способ провести время с пользой и интересом, особенно если вы находитесь в кругу друзей. Вам точно понадобится предварительная подготовка, особенно если вы собираетесь использовать инструменты. С другой стороны, не стоит пренебрегать возможностью наблюдать за небом невооруженным взглядом, или с помощью бинокля.

## Задачи

- Научиться выбирать оптимальное место, время и дату наблюдений, ознакомиться с оборудованием, которое вам понадобится, и узнать, как спланировать наблюдения.
- Научиться использовать программу Stellarium.
- Ознакомиться с проблемой светового загрязнения.

## Выбор места и времени

Свечение атмосферы серьезно искажает наше восприятие неба. В черте города мы можем видеть Солнце, Луну, несколько планет и некоторые из самых ярких звезд и спутников. Намного лучше проводить наблюдения из более темных мест, хотя для этого, скорее всего, придется оставить привычные школьные дворы и жилые дома.

Если вы хотите увидеть больше звезд и туманностей, вам стоит отправиться в место, удаленное от дорог и городов, потому что города создают световое гало, которое препятствует хорошей видимости. Это явление называется «световое загрязнение». Вам следует избегать окрестностей фонарей и других источников света. Держитесь подальше от дорог, где машины могут ослеплять вас фарами, а так же ищите открытое место, где высокие деревья не мешают видеть небо.

Что касается выбора даты наблюдения, естественно, необходимо выбирать ясные дни. Намного лучше будет выбрать день с комфортной температурой (мы рекомендуем обратить внимание на прогноз погоды в Интернете). Фаза Луны так же очень важна. Худшие для наблюдений дни выпадают на полнолуния, поскольку полная Луна производит слишком много яркого света, так что мы видим только самые яркие звезды. При убывающей фазе, Луна восходит позже, мы не увидим ее, только если не останемся до рассвета, и темное небо ранним вечером гарантировано. Возможно, наиболее удачные дни выпадают на моменты, когда Луна находится в первой четверти, поскольку в ранние периоды ночи можно будет увидеть кратеры на ее поверхности, и в дополнение к этому, Луна рано садится за горизонт, оставляя нам темное небо для наблюдений.

Если для наблюдений было решено использовать телескоп, хорошей идеей будет прибыть на место наблюдений до заката, чтобы естественного освещения было достаточно для расстановки оборудования.

## Необходимое оборудование

**Подготовка к наблюдениям.** Необходимо помнить, что вид неба меняется с изменением широты наблюдателя. Вы можете использовать программу Stellarium ([www.stellarium.org](http://www.stellarium.org), см. приложение для быстрого ознакомления), просмотрите астрономические справочники или книги. В сети содержится множество сайтов, где можно получить карты звездного неба, например [www.heavens-above.com/skychart](http://www.heavens-above.com/skychart) или [www.skyandtelescope.com](http://www.skyandtelescope.com). Для получения карты необходимо ввести свои координаты, (обычно, широту и долготу), дату и время.

**Красный фонарик.** В темноте наши глаза

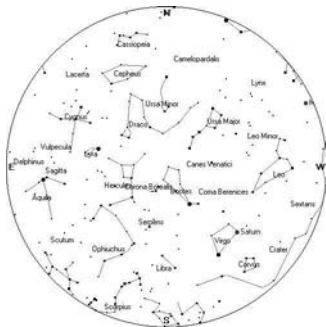


Рис. 1: Пример карты звездного неба. Для умеренных широт северного полушария, середина июля 22 часа.

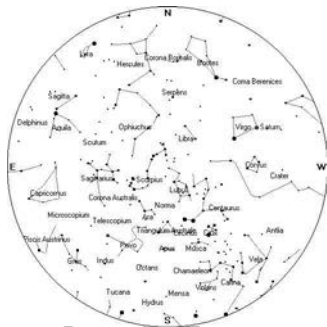


Рис. 2: Пример карты звездного неба. Для умеренных широт южного полушария, середина июля 22 часа.

работают таким образом, чтобы принять как можно больше света, что может восприниматься, как «ночное зрение». Ночное зрение связано с одним из двух типов фоточувствительных клеток на сетчатке: палочками. В сетчатке есть два типа клеток: колбочки, чувствительные к цвету и активируемые при ярком свете, и палочки, которые активны только при слабом освещении. Если область, на которую мы смотрим, становится освещенной, зрачок немедленно закрывается и палочки отключаются. При понижении уровня яркости, зрачку потребуется немного времени, чтобы снова полностью открыть его, но палочкам потребуется не менее 10 минут, чтобы вернуть ночное зрение. Палочки менее чувствительны к красному свету, поэтому использование красного света заставляет глаз вести себя так, как если бы вокруг было намного темнее. Глаз лучше сохранит ночное зрение. Чтобы создать красный фонарик, мы используем обычный фонарик и добавляем простой фильтр, используя кусок прозрачной упаковочной красной бумаги.

**Еда.** Мы должны учитывать, что реальное время наблюдений будет составлять до нескольких часов, включая дорогу, подготовку материалов, наблюдение, сбор и обратный путь. Наблюдения будут более приятными, если мы запасемся едой и напитками (горячими или холодными в зависимости температуры).

**Зеленая лазерная указка.** Полезное устройство для того, чтобы указывать на созвездия, звезды и т. д. Будьте очень

осторожны с лазерным указателем. Никогда не направляйте его в глаза участникам наблюдения, это может нанести им вред. Никогда не направляйте на самолеты. Этим инструментом могут управлять только взрослые.

**Одежда.** Даже летом, вечером, температура всегда понижается, часто дует ветер, и нужно помнить, что наблюдения длятся до нескольких часов, и погода может измениться. Планируйте с учетом того, что температура будет намного ниже дневной.

**Бинокли, телескопы, камеры.** (см. ниже) эти материалы могут меняться в зависимости от плана наблюдений.

**В случае облаков.** Облачное небо может разрушить весь план. Однако мы предложим альтернативный вариант: рассказывайте истории о мифологии созвездий или на любую другую астрономическую тему. Если у нас есть Интернет, мы можем пользоваться популярным Google-Earth, или использовать Google Sky, чтобы наблюдать за небом, или любой другой программой моделирования неба, или можем посмотреть видео о чем-то астрономическом на YouTube.

### Невооруженный взгляд

Очень важно знать небо невооруженным глазом. Поможет тем, что зная названия основных созвездий и ярких звезд, вам понадобится только карта неба и, если возможно, зеленая лазерная указка. Существуют также очень полезные приложения для iPhone / iPad или Android, которые могут указывать на созвездия и планеты, помогая вам ориентироваться в остальном небе с помощью GPS телефона. На телефон не влияют облака, поэтому он может служить альтернативой, если небо затянуто облаками.

Звезды, которые вы видите, зависят от того, где мы находимся: около Северного полюса можно увидеть только 50% звезд по небу, то есть тех, что находятся в северном полушарии небесной сферы. Около экватора может быть видно все небо, но какие именно объекты вы увидите в эту ночь, зависит от времени года. Около Южного

полюса мы снова видим только половину, в данном случае те, которые находятся в южном полушарии небесной сферы.

Мы рекомендуем знать следующие созвездия:

### СЕВЕРНОЕ ПОЛУШАРИЕ

**Созвездия:** Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея обычно приполярны, поэтому видны всегда. Летом также можно увидеть Лебедя, Лиру, Геракла, Волопаса, Северную корону, Льва, Стрельца и Скорпиона. Зимой вы видите: Орион, Большой Пес, Телец, Возничий, Андромеда, Пегас, Близнецы и скопление Плеяд.

**Звезды:** Полярная звезда (около Северного полюса мира), Сириус, Альдебаран, Бетельгейзе, Ригель, Арктур, Антарес и т. д.

### ЮЖНОЕ ПОЛУШАРИЕ

**Созвездия:** Южный Крест, Стрелец, Скорпион, Лев, Киль, Корма и Паруса (три созвездия образовали древнее созвездие Арго, корабля аргонатов). Также из этого полушария можно увидеть Ориона и Большого Пса.

**Звезды:** Антарес, Альдебаран, Сириус, Бетельгейзе. В южном полушарии нет звезды, которая отмечает местоположение Южного полюса мира.

Созвездия, которые находятся в области, называемой «Зодиак», можно увидеть из большинства точек северного и южного полушарий, хотя они меняют ориентацию на небесной сфере.

Любопытно следить за сменой фаз Луны каждый день, и ее изменяющимся положением на фоне звезд. Последнее можно проделать также с планетами, отметив их медленное движение на фоне других планет или звезд. Это особенно заметно при наиболее быстрых планетах, таких как Венера или Меркурий на закате. Эти планеты также могут быть видны на восходе солнца, а в дальнейшем вы можете видеть их на небе после ночи наблюдений.

В течение нескольких часов после захода солнца вы можете видеть «падающие

звезды» (метеоры) в любое время с частотой от 5 до 10 в час. В определенное время года наблюдаются «метеорные дожди», в которых намного больше метеоров. Например, примерно 3 января - Квадрантиды с частотой около 120 метеоров в час, 12 августа - Персеиды с частотой 100 метеоров в час, 18 ноября - пик Леонид с частотой около 20 метеоров в час, а между 12 и 14 декабря - Геминиды, с частотой 120 метеоров в час. Персеиды не видны из южного полушария.

На орбите Земли вращается множество спутников, и когда они освещены солнцем, их можно увидеть с Земли, медленно перемещающимися по небу. Поскольку их высота обычно невелика, вы видите их, если скрывается Солнце, например, МКС очень яркая, и ей требуется около 2-3 минут, чтобы пройти видимое небо. Время появления этих и многих других спутников можно предсказать для данного географического местоположения на неделю вперед. (see [www.heavens-above.com](http://www.heavens-above.com)).



Рис. 3: Путь МКС



Рис. 4: Увеличение и диаметр

### Наблюдения в бинокль

Полезный и доступный астрономический инструмент - бинокль. Хотя их способность к увеличению обычно невелика, они собирают гораздо больше света, чем наш зрачок, и помогают нам видеть объекты, которые, на первый взгляд, очень тусклые, такие как звездные скопления, туманности и двойные звезды. Кроме того, у бинокля есть преимущество в увеличении цветового контраста звезд разных цветов, особенно если они немного не в фокусе.

Обычно на них есть надписи типа 8x30 или 10x50. Первая цифра дает увеличение, а вторая - диаметр входной линзы в мм. Рекомендуемые параметры для этого наблюдения - 7x50. При большем увеличении изображение сильно перемещается, так что

его трудно удержать в поле зрения, а большие апертуры существенно увеличивают цену.

Интересными объектами для наблюдения в бинокль являются Галактика Андромеды (M31), скопление Геркулеса (M13), двойное скопление в Персее, Ясли (M44), туманность Ориона (M42), вся область Стрельца (туманности, например, Лагуна M8, Тройная туманность M20, M17, несколько шаровых скоплений M22, M55 и т. Д.) И в целом Млечный Путь, видимый с гораздо большим количеством звезд, чем возможно увидеть невооруженным глазом. В южном полушарии Омега Центавра и 47 Тукана - впечатляющие шаровые скопления.

### Телескоп для наблюдений

Большинство людей знают, что задача телескопа - увеличивать удаленные объекты, но меньшее число людей знает, что у него есть еще одна важная задача: улавливать больше света, чем человеческий глаз. Это позволит увидеть слабые объекты, которые останутся тусклыми даже при самом сильном увеличении.

Телескоп состоит из двух основных частей: объектива и окуляра. Объектив представляет собой линзу большого диаметра, которая преломляет свет (линзовые телескопы, рефракторы) или зеркало, отражающее свет (зеркальные телескопы, рефлекторы). Большинство зеркал объективов имеют параболическую форму. Окуляр - это маленькая линза, которая помещается перед глазом. Обычно он съемный, поэтому окуляры разных размеров позволяют по-разному увеличивать изображение.

Чем больше объектив, тем больше света собирается, и мы можем видеть более слабые объекты. Высококачественные линзы дороже зеркал того же диаметра, поэтому телескопы большего размера чаще используются в зеркальном исполнении. Самый распространенный тип - схема Ньютона, состоящая из вогнутого зеркала в нижней части трубы, которое возвращает лучи из верхней части трубы, где расположено небольшое вторичное зеркало под углом 45°, которое отклоняет лучи в точку за пределами трубы, где находится окуляр. Вторичное зеркало

блокирует часть падающего света, но это незначительная потеря. Другая конструкция - схема Кассегрена, которая направляет отраженный свет к отверстию в центре главного зеркала. Окуляр находится за центральным отверстием. Наконец, существуют катадиоптрические схемы, как правило, такие как в схеме Кассегрена, но с добавлением тонкой линзы на входе в трубу, что позволяет значительно сократить длину трубы и делает ее более легкой для транспортировки.

**Увеличение телескопа** задается отношением фокусного расстояния объектива (линзы или зеркала) и фокусного расстояния окуляра. Например, если у нас есть телескоп с фокусным расстоянием линзы 1000 мм, и мы помещаем окуляр с фокусным расстоянием 10 мм, мы получаем увеличение в 100 раз. Если мы хотим удвоить увеличение, нам потребуется либо большее фокусное расстояние объектива, либо окуляр с меньшим фокусным расстоянием. Вторая опция имеет практическое ограничение, поскольку окуляры с малым фокусным расстоянием трудно изготовить, и они дают размытые изображения.



Refractor      Reflector      Catadioptric  
Рис.5: Разные оптические схемы: рефрактор, рефлектор и катадиоптрическая схема слева направо соответственно

Производители часто помещают на телескопы величину, называемую относительное отверстие, например, f/6 или f/8. Относительное отверстие - это отношение диаметра объектива или главного зеркала, деленное на фокусное расстояние телескопа. Оно позволяет найти одну из интересующих величин, если известна другая. Например, если у нас есть рефрактор f/8 и диаметр линзы объектива 60 мм, фактическое фокусное расстояние телескопа будет равно  $8 \times 60 = 480$  мм. Чем больше относительное

отверстие при той же диафрагме объектива, тем меньше поле зрения и увеличение

Чем больше апертура телескопа, тем больше света улавливается, что позволяет видеть более слабые объекты. Кроме того, больший диаметр телескопа означает более высокое разрешение, то есть возможность видеть детали: при низком разрешении вы увидите размытое изображение, а при высоком - очень четкое, со множеством деталей. Это также влияет на затененность изображения: в дни полной луны или света вокруг вы не сможете увидеть тусклые звезды, поскольку инструмент соберет свет от более ярких источников.

Еще одно важное ограничение – стабильность атмосферы. Все мы видели в сценах из фильмов, снятых с помощью телеобъективов, как теплая атмосфера в пустыне заставляя изображение искажаться. Когда мы смотрим в телескоп, небольшие возмущения в воздухе заставляют изображение двигаться. В астрономии размытость изображения характеризуется величиной под названием «астрономическая видимость». Атмосфера заставляя звезды мерцать.

Изображение, которое вы видите в телескоп, перевернуто, но это не имеет большого значения: в космосе отличия положений верха и низа редко бывают существенны. Существуют дополнительные аксессуары, которые переворачивают изображение, но это происходит за счет потери яркости изображения.

Монтировка - важная часть телескопа. Плохое крепление заставит трубу телескопа качаться при каждом прикосновении. В результате получится дрожание изображения в поле зрения. Вы не сможете увидеть детали. Важно, чтобы крепления были жесткими и устойчивыми.

Есть два типа монтировок: азимутальные и экваториальные. Азимутальные монтировки являются самыми простыми, но наименее удобными. Их можно вращать влево и вправо вокруг своей вертикальной оси, а также вверх и вниз вокруг горизонтальной оси. Монтировка Добсона азимутального

типа, с другой стороны, удобна в транспортировке и использовании. В экваториальной монтировке две наклонные оси, расположенные под углом 90 градусов друг к другу. Одна из них, полярная, должна быть направлена на полюс мира. Тогда телескоп будет двигаться в соответствии с прямым восхождением. Другая ось, экваториальная, укажет на склонения. Этим пользуются профессиональные астрономы и многие астрономы-любители. Существуют телескопы с возможностью включить двигатель на экваториальной оси, который компенсирует вращение Земли. В противном случае, особенно при большом увеличении, изображение покидает поле зрения за удивительно короткое время.



Рис. 6: Разные типы монтировок

Если у вас экваториальная монтировка, вы должны ориентировать ее так, чтобы полярная ось была выровнена с северным полюсом (или южным) мира. Это требует некоторого времени, но необходимо, чтобы экваториальный двигатель слежения, который служит для слежения за объектом, не сдвигал изображение, что очень важно в фотографии. Если у нас нет двигателя, точное выравнивание менее важно, но оно будет служить для удержания объекта в поле зрения путем перемещения инструмента вдоль одной оси.

Наконец, существуют так же и телескопы со встроенным компьютером с собственной базой данных о положениях небесных объектов и двумя двигателями. После правильной настройки ими будет намного проще пользоваться. Однако вы должны выровнять его с помощью нескольких звезд с известными координатами, чтобы настроить его, и новичков часто



отталкивает эта необходимость.

## Движение неба

В основном наблюдаемые нами движения неба соотносятся с относительными движениями, связанными с вращением и движением Земли. Эта ситуация заставляет нас воспринимать движение неба как композицию двух типов движения: дневного и ежегодного.

Суточное движение очень важно, оно очень быстрое и не позволяет нам ощутить годовое движение, которое намного медленнее. Земля поворачивается на  $360^\circ$  за 24 часа; это  $15^\circ$  каждый час. Это движение очень заметно, хотя мы не ведем точных наблюдений. Поступательное движение (движение вокруг Солнца) составляет  $360^\circ$  каждые 365 дней, что означает около одного градуса каждый день (чуть менее одного градуса в день – 59.2 минуты). Если мы представим себе, что вращения бы не было, мы могли бы видеть на ночном небе от одного дня к другому, одну и ту же звезду в одно и то же время в одном и том же месте, с одним и тем же смещением положения по сравнению с предыдущим днем. Это наблюдение может быть выполнено только в том случае, если мы возьмем в качестве ориентира антенну или стержень, которые позволяют нам продолжить наблюдение в следующие дни. Это движение почти незаметно, если у нас нет ориентира и, следовательно, не видно невооруженным глазом, но мы замечаем, что небо в один день в году полностью изменится через три или шесть месяцев. Через три месяца смещение соответствует  $90^\circ$ , или примерно  $1/4$  оборота, а через полгода –  $1/2$  оборота, то есть диаметрально противоположной стороне неба. Это движение маскировалось ночь за ночью из-за вращения, но даже в этом случае мы все знаем, что, наблюдая невооруженным глазом через три месяца положения созвездий на ночном небе, мы увидим, что они будут сильно отличаться.

## Упражнение 1: Зонт в качестве небесной сферы

Простой зонт может позволить нам визуализировать движения неба, описанные ранее. Используемый

зонт обычно помещается над нашими головами и формирует купол, на котором мы могли нарисовать желаемые созвездия. Мы воспользуемся черным мужским зонтиком и будем рисовать на нем белой краской или корректором.

В этой модели мы не будем рисовать все созвездия, а только нарисуем некоторые из них, и наиболее важные звезды в них. Мы не ищем красивого результата; нам нужна рабочая модель, с помощью которой мы будем судить о движении неба.

Каждый зонт будет отображать одно из двух полушарий. Точка пересечения трости зонта и ткани зонта является полюсом рассматриваемого полушария. Площадь края тканевого зонта примерно соответствует небесному экватору. Затем лучше всего приготовить два зонта, по одному на каждое полушарие.

### В северном полушарии нарисуем:

- Вблизи Северного полюса (рядом с тростью зонтика) Большая Медведица, Кассиопея и полярная звезда - именно там, где трость зонтика проходит сквозь ткань.
- В области внешнего края зонта нарисуйте четыре созвездия, по одному на каждый сезон, самые распространенные и легко узнаваемые:

- Весна: Лев
- Лето: Лебедь
- Осень: Пегас
- Зима: Орион

Определенно можно выбрать любые другие, но они должны быть распределены на равном расстоянии, каждое из которых удалено примерно на  $90^\circ$  от предыдущего.

### В южном полушарии нарисуем:

- Вблизи Южного полюса (трость зонтика). Южный Крест и южный небесный полюс расположены близко, но в южном полушарии нет полярной звезды.
- В области внешнего края зонта мы нарисуем четыре созвездия, по одному на каждый сезон, самые известные:
- Весна: Водолей

- Лето: Орион
- Осень: Лев
- Зима: Скорпион

Идея состоит в том, чтобы выбрать большие созвездия, расположенные над горизонтом. Это немного зависит от места наблюдения, но это предложение может быть адаптировано для каждого случая.

Если город, в котором мы находимся, находится в экваториальной зоне между  $20^\circ$  северной широты и  $20^\circ$  южной широты, необходимо нарисовать два зонтика. Если мы находимся в северном полушарии, в диапазоне широт от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ , мы нарисуем только зонтик для этого полушария, и то же самое произойдет, если мы находимся в южном полушарии

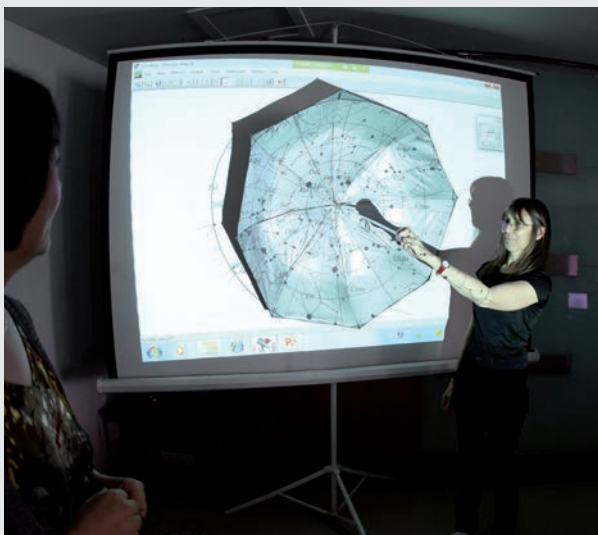


Рис.7: Проекция звезд северного полушария на экране для рисования нужных созвездий. Рекомендуем готовить эту модель вместо черного зонтика; хотя на фотографии изображен зонтик другого цвета, чтобы объяснить процесс.

Рисовать созвездия белой краской очень удобно с помощью Stellarium или аналогичного программного обеспечения, путем проецирования изображения с помощью мультимедийного проектора на ткань зонтика, помещая полюс точно в точку пересечения трости зонтика с тканью. Мы спроецируем соответствующее полушарие (Рис. 7). После завершения каждого зонтика ученики могут использовать его, чтобы поместить над головами (Рис. 8).



Рис. 8 Ученики демонстрируют северное полушарие небесной сферы с помощью зонтика.

Расположим трость зонтика наклоненной в направлении полюса соответствующей полусферы (ось вращения Земли). Представьте себе плоскость, параллельную полу, проходящую через нашу шею. Это будет горизонт, так что часть ткани зонтика будет ниже этого горизонта. Затем мы разделим воображаемый горизонт на две части. Та часть, которая находится около полюса, где небо наблюдается в течение всего года, всегда более или менее одинакова (если смотреть на область пересечения, придерживайтесь ткани зонтика). Область экватора, которая остается выше над горизонтом, представляет собой наиболее интересную часть, потому что созвездия в ней меняются в течение года (рисунок 9).

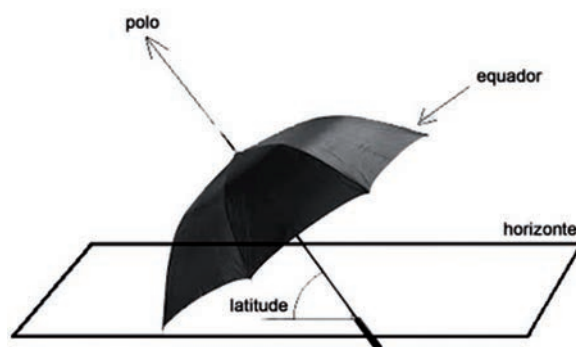


Рис.9: Трость зонтика наклонена к полюсу согласно широте. Плоскость горизонта, закрывающую часть зонтика воображаемая.

Мы должны настаивать на том, чтобы модель объясняла поступательное движение. Мы представляем себе, что вращения нет, что равносильно наблюдению каждый день более или менее в одно и то же время. Мы также заметили, что в этой упрощенной

модели мы визуализируем движение неба дискретно. Поскольку движение неба непрерывно и каждый день, когда упоминается, что определенное созвездие видно в течение сезона, мы должны понимать, что речь идет о созвездии, которое мы видим в средние месяцы каждого сезона.

## РУКОВОДСТВО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Мы используем зонт, чтобы понимать законы поступательного движения.

### Северное полушарие

Для начала, предположим, что мы находимся на  $40^\circ$  северной широты. Мы ставим над головой зонт северного полушария с тростью, наклоненной на  $40^\circ$  над горизонтом.

В северном полушарии полярная звезда находится практически на Северном полюсе. Узнать созвездие Большой Медведицы или Кассиопеи несложно. От Большой Медведицы или Большого Ковша отложим 4 расстояния между двумя крайними звездами ковша созвездия в направлении полюса, и найдем полярную звезду. Используя Кассиопею, полярную звезду можно найти на пересечении двух биссектрис каждой буквы V двойной буквы W, представляющей Кассиопею.

### Северный горизонт

Если мы введем небольшое вращение, мы увидим, что созвездия Большой Медведицы и Кассиопеи вращаются вокруг Северного полюса в течение года (рис. 10).

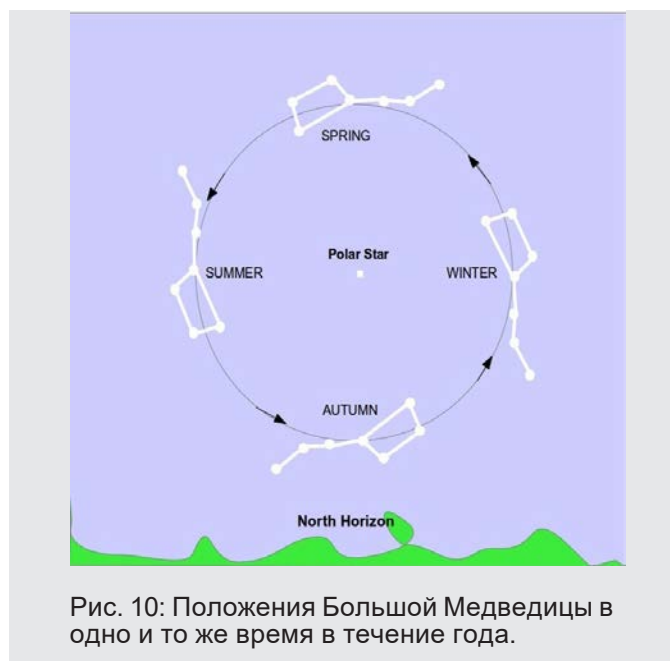


Рис. 10: Положения Большой Медведицы в одно и то же время в течение года.

Мы начинаем с того, что устанавливаем зонт таким образом, что Большая Медведица оказывается сверху, а Кассиопея снизу (весна), мы поворачиваем ручку зонта на  $90^\circ$ , чтобы Большая Медведица была слева, а Кассиопея - справа (лето). Мы снова поворачиваем ручку на  $90^\circ$  в том же направлении, затем Большая Медведица опускается, а Кассиопея поднимается (осень), и, наконец, мы поворачиваем на  $90^\circ$ , оставляя Большую Медведицу справа и Кассиопею слева (зима). Если мы снова повернемся на  $90^\circ$ , мы воспроизведем исходную ситуацию и начнем четыре сезона нового года (рисунок 10).

Во всем описании процесса, подразумевается, что эта область неба, которая называется северным горизонтом, это область горизонта, соответствующая северу. Созвездия, которые мы видим в течение года, всегда одинаковы.

a l'esquerra (tal com està en hivern). Si girem de nou es reproduïx la situació inicial i vam començar les 4 estacions d'un nou any (figura 10).

### Южный горизонт

Рассмотрим теперь экваториальную плоскость, края зонта. Созвездия в этой области южного горизонта меняются в зависимости от сезона. Центральное весеннее созвездие - Лев, так что помещаем зонт со Львом в самую высокую часть горизонта. Затем мы поворачиваем зонт на  $90^\circ$ , и мы видим над южным горизонтом центральное летнее созвездие: лебедь находится с летним треугольником Лир и Орла. Еще четверть оборота, и мы находимся осенью, и центральным созвездием будет большой четырехугольник Пегаса. И мы поворачиваем еще на  $90$  градусов, ситуация зимой, и над горизонтом неба доминирует созвездие Ориона со своими собаками (Малый и Большой псы), восходящее над горизонтом неба.

### Южное полушарие

Рассмотрим, например,  $40^\circ$  южной широты. Мы располагаем над головой зонтик южного полушария с тростью зонта, наклоненной под углом примерно  $40^\circ$  от пола.

В южном полушарии нет полярной звезды,

позволяющей визуализировать положение Южного полюса. Созвездие Южного Креста используется для обозначения положения южного полюса мира; длина большой оси креста должна быть продлена по направлению к полюсу в 4,5 раза. Это созвездие совершает один оборот вокруг полюса за 24 часа. Положение меняется в течение года в одно и то же время, как показано на рисунке 10. Мы предполагаем, что положение Южного Креста меняется только из-за движения Земли вокруг Солнца в течение года.

### Южный горизонт

Посмотрите на область пересечения трости и ткани зонта, где находится Южный полюс. Медленно вращаем ручку и замечаем, что созвездие Южного Креста вращается вокруг Южного полюса в течение всего года. Мы начинаем с размещения Южного Креста сверху (зима), мы поворачиваем ручку зонта на  $90^\circ$ , пока Южный Крест не окажется справа (весна). Мы снова поворачиваемся на  $90^\circ$  в том же направлении, затем Южный Крест опускается (лето) и, наконец, поворачиваем на  $90^\circ$ , оставляя Южный Крест слева от Южного полюса (осень). Если мы снова повернемся на  $90^\circ$ , мы воспроизведем исходную ситуацию и начнем четыре сезона в году (рисунок 11).



Рмс. 11: Положения Южного Креста в одно и то же время в течение года.

Во всем описании процесса, подразумевается, что эта область неба, которая называется северным горизонтом, это область горизонта, соответствующая северу. Созвездия, которые мы видим в течение года, всегда одинаковы.

### Северный горизонт

Рассмотрим ткань зонта в экваториальной зоне, т.е. в северной части горизонта. Здесь созвездия отличаются сильнее. Зевс, царь богов в греческой мифологии, поместил гиганта Ориона на небо после его смерти от укуса скорпиона. Зевс поместил и это созвездие на небосклоне, но диаметрально противоположно, чтобы он не смог снова атаковать Ориона.

Центральное созвездие весной - Водолей. Мы поворачиваем зонт на четверть полного оборота, и мы видим Ориона со своими собаками (Малый и Большой псы) на северном горизонте, который является центральным созвездием лета. С еще одним поворотом на  $90^\circ$  мы видим картину осенью, где центральное созвездие - Лев. Если повернуть зонт на  $90^\circ$ , наступит зима, и на небе появится прекрасное созвездие Скорпиона..

### Заключение для полушарий

Следуя схеме, представленной ранее в обоих полушариях для двух горизонтов, мы можем понять законы движения ночного неба из-за поступательного движения.

Если мы хотим включить в действие вращательное движение, мы должны учитывать, что в дополнение к описанному годовому движению совершается ежедневное движение, обусловленное вращением Земли. За день и Большая Медведица, и Южный Крест полностью меняют свои полюса.

Мы упростили это упражнение таким образом, чтобы исключить суточное вращение Земли, то есть мы предполагаем, что наблюдения проводятся в одно и то же время.

## Темное небо и световое загрязнение

Чтобы наблюдать за звездами, небо должно быть темным. Но это возможно только в том случае, если мы удалимся от городов. Эта проблема возникает из-за того, что большая часть уличного освещения тратит огромное количество энергии на освещение неба, в чем нет необходимости. Световое загрязнение - одна из форм загрязнения окружающей среды, менее известная, чем большинство других. Это влияет на видимость ночного неба, но также изменяет баланс экосистемы и влияет на здоровье человека, поскольку нарушает биологические часы, которые согласованы с периодами света и темноты. Чтобы быть бдительным в этом вопросе, научитесь распознавать проблему, предупреждать других о последствиях и находить решения.

Есть три типа светового загрязнения:

а) Свечение - это явление, которое обычно возникает из-за уличного освещения. Это очевидно, когда у нас есть возможность путешествовать ночью и приближаться к городу. Мы видим, что город окутывает свет. Свет, производимый световым свечением, тратится впустую, он тратится на освещение неба, это не нужно и, следовательно, не только влияет на видимость звезд, но и тратит энергию без необходимости. Этот вид загрязнения уменьшается за счет тщательного выбора светильников и лампочек.

б) Вторжение: внешний свет проецируется во всех направлениях, и некоторые из них проникают, даже невольно, в наши дома. Если свет проецируется в комнаты, нам придется на ночь закрыть окна шторами.

с) Ослепление: этот тип загрязнения связан с огнями автомобилей и уличным освещением в городах и домах. Это заметно в местах с уклонами, поскольку ослепление возникает, когда кто-то неожиданно включает свет. Светофоры на светодиодах тоже могут стать источником светового загрязнения.

Из различных программ в Интернете можно составить серию практических заданий для работы над этим вопросом, мы предлагаем только одно, интерактивное и простое для выполнения в любых условиях.

## Упражнение 2: Световое загрязнение

Цели этого семинара - показать загрязняющий эффект неэкранированного освещения, признать положительный эффект с астрономической точки зрения, выбрать перегородку, предназначенную для контроля светового загрязнения, и подчеркнуть возможность улучшения обзора звезд одновременно с освещением зон, в которых требуется больше света.

Чтобы выполнить этот опыт, возьмите одну картонную коробку, которая позволит ученику заглянуть внутрь. Чтобы нарисовать созвездие, которое вы выбрали (в данном примере это созвездие Ориона), и сначала отметьте звезды как точки; позже отверстия



Рис 12а и Рис 12б: Картонная коробка с изображенным на ней созвездием Ориона

будут сделаны с учетом диаметра каждой в зависимости от звездной величины (рисунки 12а и 12б). Созвездие, нарисованное на внешней стороне коробки, должно быть зеркальным отображением созвездия, чтобы оно было видно так, как оно появляется в небе, когда вы смотрите внутрь коробки. Коробка должна быть выкрашена изнутри в черный цвет, чтобы при взгляде внутрь созвездие имело вид, показанный на рисунках 12а и 12б. «Звезды» или точки, которые их представляют, будут освещаться входом внешнего света внутри коробки.

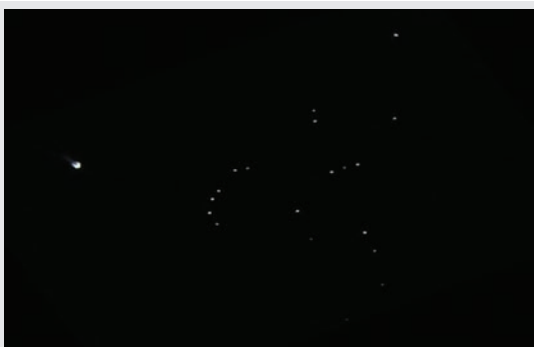


Рис. 13: Вид на созвездие Ориона изнутри коробки. Каждое отверстие соответствует звезде.



Рис. 14а: Неокрашенный теннисный мяч  
Рис. 14б: Окрашенный теннисный мяч.

Приготовьте два мяча для настольного тенниса, сделав отверстие, которое позволит ему плотно сесть на фонарик. Один из шаров оставлен как есть, а другой окрашен синтетической эмалью любого цвета в верхнем полушарии, представляя, таким образом, так называемый «щит», который не позволяет этому свету проецироваться вверх (рисунки 14а и 14б).



Рис. 15а: Фонарик с удаленным защитным колпачком  
Рис. 15б: Фонарик с теннисным шаром, моделирующий уличный фонарь

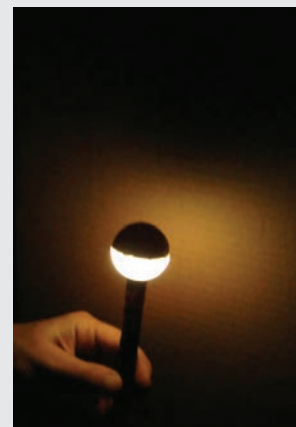


Рис. 16а: Неокрашенный фонарь  
Рис. 16б: Окрашенный фонарь

Для проведения эксперимента вам необходимо использовать фонарики, с которых вы можете снять защитный колпачок и оставить лампочку, как показано на рисунках 15a и 15b. В фонарик вставлен мяч для настольного тенниса.

Эксперимент проводился в два этапа. Первый – с внешней частью коробки. Выключите свет во время эксперимента. Обе модели тестируются с одним и тем же фонариком, чтобы избежать различий в интенсивности света. Используйте как незэранированный (рисунок 16a), так и экранированный (рисунок 16b) источники света, проецируя свет на гладкую близлежащую поверхность, например, стену или кусок картона.



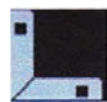
Рис. 17a: Вид ночного неба с незащищенными фонарями. Рис. 17b: Вид ночного неба с защищенными фонарями

Эксперимент проводился в два этапа. Первый – с внешней частью коробки. Выключите свет во время эксперимента. Обе модели

тестируются с одним и тем же фонариком, чтобы избежать различий в интенсивности света. Используйте как незэранированный (рисунок 16a), так и экранированный (рисунок 16b) источники света, проецируя свет на гладкую близлежащую поверхность, например, стену или кусок картона. Во-вторых, посмотрите, что происходит внутри коробки. Ситуация, показанная на рисунках 17a и 17b, отражает поведение света в коробке с использованием незащищенного фонаря и защищенного соответственно. Вы можете использовать цифровую камеру, чтобы сфотографировать то, что происходит внутри коробки, если участники не могут заглянуть внутрь. В комнате, где проводится эксперимент, должно быть включено внешнее освещение. Вы очень легко заметите, что происходит. В первом случае, в случае наружного освещения, мы видим изображение, освещенное источником света с перегородкой, контролирующей световое загрязнение: выброс света в небо значительно снижается. Во втором случае, когда внутри коробки используются оба типа фонарей, мы моделируем ситуацию ночи с незэранированной лампой, которая излучает дополнительный свет в направлении неба, называемый свечением, который закрывает вид на звезды. В случае с цифровой камерой, используя автоматическую экспозицию, вы не можете даже правильно сфокусироваться на звездах. С использованием фонарика, адаптированного для контроля светового загрязнения, ясно, что это устройство позволяет небу быть намного темнее, а камера способна четко фиксировать созвездие Ориона.

### Список литературы

- Berthier, D., *Descubrir el cielo*, Larousse, Barcelona, 2007.
- Bourte, P. y Lacroux, J., *Observar el cielo a simple vista o con prismáticos*, Larousse, Barcelona, 2010.
- García, B., *Ladrones de Estrellas*, Ed. Kaicron, Colección Astronomía, BsAs, 2010.
- Reynolds, M., *Observación astronómica con prismáticos*, Ed. Tutor, Madrid 2006.
- Roth, G.D. *Guía de las estrellas y de los Planetas*. Omega. Barcelona 1989.



Отображение панели быстрого доступа



Настройки положения наблюдателя



Настройки даты и времени



Настройки вида неба



Количество объектов, отображаемых на небе



Настройка систем координат и типов проекций



Ландшафт



Установка мифологии созвездий (Западная, Восточная, страны Азии и т.д.)



Поиск



Настройки Altair).



Помощь



Нормальное течение времени



Ускорить время



	Замедлить время		Экваториальная монтировка
	Вернуться к текущему времени		Центрировать объект
	Линии созвездий		Ночной режим
	Названия созвездий		Полноэкранный режим
	Рисунки созвездий		Замедлить спутники
	Экваториальная сетка	<- , ->	Перемещение по полю зрения
	Reixa azimutal + horitzó.	Page Up	Увеличение +
	Азимутальная сетка + горизонт	Page Down	Увеличение -
	Плоскость горизонта + ландшафт	Ctrl+G	Сделать выбранную планету телом отсчета. Повторное нажатие возвращает на Землю
	Отображать стороны света	Alt+T	Отображать траекторию планет
	Атмосфера	Ctrl+S ou Prt Scr	Снимок экрана
	Названия и положения туманностей		Выход
	Названия планет	ou Ctrl+Q	

# Археoaстрономия и её образовательный потенциал

Хуан Антонио Бельмонт Авилес

Канарский астрофизический институт (Испания)

---

## Введение

Археoaстрономия, астроархеология, культурная астрономия, этноастрономия, история астрономии... В последние годы научный мир и, как следствие, академическая аудитория в целом начали признавать ряд субдисциплин, которые так или иначе стремятся связать астрономию с традиционными гуманитарными науками (археология, история, этнография, антропология, история или философия искусства и т. д.) или, точнее, с социальными науками.

Приложение «Археoaстрономия» к *Журналу истории астрономии*, созданное Майклом Хоскином - к сожалению, больше не публиковавшееся - популяризировало термин «археoaстрономия» в середине 1980-х годов. (Однако, запутывая ситуацию, не менее валидный термин «астроархеология», относящийся к астрономической ориентации археологических останков, был применен к попыткам связать археологические памятники с посещениями предполагаемых внеземных существ. Путаница научной терминологии с псевдонаукой, к сожалению, является давней традицией. Вот почему астрономы называют себя прозаическим термином, означающим «называющие звёзды», а не более подходящими «астрологами», как это делают биологи, экологи, антропологи и многие другие «изучатели».)

Что же тогда такое археoaстрономия? В «Истории астрономии: энциклопедия» «археoaстроном» Эдвин Крупп, директор обсерватории Гриффита в Лос-Анджелесе, предлагает следующее определение этого термина: археoaстрономия - это междисциплинарное исследование доисторической астрономии, древней и традиционной во всем мире, в

рамках культурного контекста. В эту область включены письменные и археологические источники по следующим темам: календари; практическое наблюдение; культы и небесные мифы; символическое изображение событий, концепций и астрономических объектов; астрономическая ориентация могил, храмов, святилищ и городских центров; традиционная космология и церемониальное применение астрономических традиций.

Конечно, это определение достаточно обширное, чтобы сразу охватывать большой спектр тем. Тем не менее, «археoaстрономия», определенная таким образом, игнорирует две очень важные области, где астрономия полностью связана с общественными науками, а именно историю астрономии и этноастрономию. Первая область знаний, имеющая давние истоки, должным образом описывает развитие астрономии как научной дисциплины и эволюцию астрономической мысли и практики, начиная с времен Древней Греции. Этноастрономия дополняет это, прослеживая астрономию в устных традициях культур, которые существуют в настоящее время, и, по мнению некоторых исследователей, в письменных источниках (хрониках завоеваний, древних антропологических исследованиях) вымерших культур, охватывающих ряд тем, которые в значительной степени совпадают с темами собственно археoaстрономии. На самом деле границы между этими тремя дисциплинами крайне нечетко определены, и исследования, которые охватывают две или все три области - это скорее правило, чем исключение.

По этой причине общий термин «культурная астрономия» кажется наиболее подходящим для любого исследования, в котором астрономия связывается с социальными

науками. Вот почему специалисты в этой области сегодня называют себя «Европейским обществом астрономии в культуре (SEAC)» [www.archeoastronomy.org](http://www.archeoastronomy.org).

### **Где расположена археоастрономия?**

Одним из наиболее важных различий между археоастрономией и «строгими» физическими науками является замена языка «астрономического» языком, более совместимым с эпистемологической точкой зрения социальных наук. Следует помнить, что археоастрономия не является еще одной отраслью современной астрофизики, и ее основной целью не является продвижение физических знаний о Вселенной. Скорее, археоастрономия - это дисциплина, более тесно связанная с антропологическими исследованиями, служащая таким специальностям, как ландшафтная археология (во всеобъемлющем смысле термина ландшафт), истории религий или археологии власти. Поэтому астроном, обученный в первую очередь количественным наукам, может столкнуться с трудностями в том, чтобы знать, как отвечать на вопросы, интересующие археологов, - или даже задавать вопросы самому. Тем не менее, это важно для людей, интересующихся астрономией, для знакомства с их корнями и понимания, как разные культуры использовали наблюдения неба, чтобы превратить их видение Вселенной вокруг себя в связанное и осмысленное мировоззрение.

Утверждается, что тесное сотрудничество между археологами и астрономами необходимо для проведения значительных исследований в области археоастрономии. Этот междисциплинарный симбиоз является естественным следствием необходимости для археологов, антропологов и историков астрономии овладеть астрономическими и математическими методами, которые выходят далеко за рамки их обычного обучения, такими как позиционная астрономия, небесная механика или сферическая тригонометрия.

Тем не менее, мое текущее мнение, после более чем двух десятилетий опыта

работы в этой области, заключается в том, что и астроном, и антрополог должны превратиться в ученых совершенно другого типа, археоастрономов, забыв многие эпистемологические привычки долгих лет дисциплинарного обучения и установив совершенно новую модель мышления. Не все, что изучается в археоастрономии, обязательно можно считать междисциплинарным, хотя может потребоваться определенный междисциплинарный подход. Короче говоря, это полноценное поле для исследования само по себе.

У археоастрономии есть еще одна важная проблема: это своего рода отпугивающая область, в которой астрономы и астрофизики чувствуют себя неуместными (хотя ситуация, к счастью, начинает меняться), а археологи и историки часто не видят в ней ничего полезного для их понимания прошлого. Это контрастирует с другими пересечениями гуманитарных наук с экспериментальными науками, такими как, например, использование углерода-14 для датирования, которое широко признается учеными, историками и археологами. Проблема усугубляется, когда титул «археоастроном» применяется к ученым, заинтересованным в применении своих знаний к историческим предметам и использующим (и злоупотребляющим) мощные физические и математические инструменты в их распоряжении для свидетельств абсолютно нелепых исторических теорий, к ужасу археологов и антропологов. Усилия добросовестных ученых, направленные на признание астрономических подходов к археологии, могут быть подорваны несколькими видными представителями того, кого британские ученые называют фанатичными приверженцами.

Граница между тем, что является наукой, и тем, чем не является, должна основываться на применении основных правил, таких как бритва Оккама, простейшая формулировка принципа экономии (при наличии двух возможных ответов на научную проблему простейший часто оказывается

верным). Однако стоит признать, что эти правила не применимы повсеместно.

## Археoaстрономия и NASE

Потенциал археoaстрономии в преподавании астрономии заключается в том, что она может вдохновить сердца и умы молодых учеников увидеть, как их собственная культура отражается в способах понимания космоса предками. В этом смысле археoaстрономия может обеспечить прямую связь с непосредственным окружением, в отличие от кажущейся удаленности неба и Вселенной в целом. Если это правда, было бы интересно провести исследование педагогических эффектов либо археoaстрономии, либо этноастрономии, либо даже их комбинации.

Эти подходы открывают для учащихся возможности стимулировать диалог с провинциальными жителями, носителями традиционных знаний о небе, культурных особенностей, если такие люди находятся рядом, в сельскохозяйственных, охотничьих сообществах или сообществах собирателей. В современном городском обществе знания передаются более формально через школы и средства массовой информации. Для студентов, заинтересованных в этом подходе, прилагается типичный план интервью, который может служить руководством (см. Приложение 1).

С другой стороны, почти наверняка в непосредственном окружении молодого астронома, где бы он или она ни находился, будет ряд зданий, которые могут иметь ярко выраженный символический характер и которые уже выполняют религиозную или светскую функцию. Эти здания, или городское пространственное планирование, являются потенциальными объектами археoaстрономических экспериментов. Приведем несколько примеров:

- Церкви в христианской культуре.
- Мечети в мусульманской культуре.
- Храмы в индуистской, буддистской и синтоистской культурах (в том числе пагоды и гопурамы)
- Городские застройки, особенно с четко организованной ортогональной структурой (очень распространены во всем мире).

- Святилища коренных народов (Полинезия или Америка)
- Другие места поклонения в племенных обществах.
- Древние памятники, если таковые были.

Существующая астрономическая иконография в этих местах также может быть изучена, например, анализом мест с наскальными рисунками, которые часто показывают сложные изображения звездного неба. Таким образом, культурная астрономия может стать эффективным и ценным подходом, который может сделать астрономию доступной для широкой публики, особенно для молодежи.

## Приложение I (Адаптировано из “Небес волхвов”)

### ТИП ИНТЕРВЬЮ ДЛЯ ПОЛЕВОЙ ЭТНОАСТРОНОМИИ

Предлагаемый набор вопросов носит общий характер и применим в большинстве случаев. Однако опыт показывает, что в этом типе исследования, как только начинается разговор, возникает бесчисленное множество более конкретных вопросов, относящихся непосредственно к рассматриваемому предмету. Следовательно, хотя этот план может служить руководством, ожидается, что большинство интервью, естественно, будут носить более открытый характер.

#### 1. Сначала попросите собеседника объяснить, что мы знаем и почему, начиная с таких общих вопросов, как:

- Вы пытались ли вы недавно что-то увидеть на небе?
- Вы используете его как знак, символ или ориентир для чего-то?

#### 2. Затем спросите конкретно о каждом объекте, который можно использовать в целях прогнозирования:

##### а) Вопросы о звездах

- Вы ориентируетесь по звездам ночью?
  - Какие звезды вы знаете на небе?
  - Вы знаете "ту или иную" звезду (\*)?
- Задавайте вопросы о месте и времени года,

где вы наблюдаете за звездами, и о том, на какие звезды вы смотрите, чтобы уточнить, о какой звезде или звездах говорит собеседник.

- Вы помните названия каких-нибудь групп звезд?
- Это вам что-то говорит о звездах?
- Дождь связан со звездами?
- Наблюдения обычно производятся ночью или рано утром?
- Используете ли вы наблюдения за звездами, чтобы решить, когда и где проводить сельскохозяйственные работы?
- На каком основании вы принимаете эти решения? На том, видна ли звезда в данный момент или нет, находится ли звезда в определенном положении, и т. д.?
- Как интервьюируемый определяет время ночью?
- Есть ли какое-то значение в восхождении той или иной звезды?
- Связано ли как-то поведение рогатого скота со звездами?
- Бывает ли скот беспокойным или нервным из-за положения или поведения звезд?

(\*) **Примечание:** конкретная ссылка на любую звезду, известную из предыдущих интервью или собранную в предыдущей библиографии по этой теме.

б) Вопросы, связанные с Луной:

- Вы смотрели на Луну?
- Вы используете Луну как ориентир для чего-то?
- Вы смотрели или замечали, где заходит Луна?
- Вы в последнее время примечали положение, форму или фазу Луны?
- Говорит ли о чём-то положение Луны?
- Помогают ли наблюдения Луны в сельскохозяйственных работах?
- Есть ли что-нибудь особенное в Луне?
- Есть ли какая-либо фаза или сезон Луны, которые важнее других?
- Луна как-то влияет на дождь?
- Луна как-то влияет на животных?

в) Вопросы, связанные с Солнцем:

- Вы смотрели на Солнце?
- Вы используете Солнце как ориентир для чего-нибудь?
- Вы смотрели или замечали, где садится

Солнце?

- Вы используете Солнце, чтобы узнать время? Как?
- Помогают ли наблюдения Солнца в сельскохозяйственных работах?
- Вы что-нибудь слышали о наблюдениях за танцем Солнца?

г) Вопросы, связанные с метеорологическими явлениями:

- Как узнать, пойдет дождь или нет?
- Вы знаете какие-нибудь приметы того, что будет дождь?
- Какие еще известные приметы относятся к ветрам, облакам или небесным явлениям?
- Есть ли какая-нибудь примета для той или иной горы?
- Есть ли у вас возможность узнать, какая погода будет на море (на рыбалке)?
- Если пойдет дождь, можете ли вы сказать по небу, во сколько он будет (\*)?
- В какое время лучше смотреть на небо для этого (\*)?

(\*) **Примечание:** последние два вопроса предназначены для того, чтобы выяснить, знают ли они Кабануэлы, не упоминая их имя. В противном случае...

е) Вопросы, относящиеся к Кабануэлам и Аберрунтам (традиционные методы метеорологических прогнозов):

- Есть ли какое-то особое время, чтобы искать признаки погоды в остальное время года?
- Вы знаете Кабануэлы?
- Что вы знаете о Кабануэлах?
- В какой день?
- В чем заключается метод?
- Вы знаете какой-нибудь Аберрунто?
- Что это значит?
- Эти методы работают или нет?
- Есть ли какой-нибудь Кабануэла, который более точный, чем другие методы?
- Есть ли Кабануэла, связанная с Солнцем или Луной?

е) Вопросы, связанные с праздниками и днями святых:

- Какие у вас есть праздники?
- Когда они происходят?

- Какие самые важные?
- Кто ваш покровитель?
- Чем занимается ваш Святой?
- Что вы делаете в особенный день?
- В этот день вы делаете что-нибудь связанное с небом?

### 3. Вопросы общего характера, которые можно вставлять внутрь интервью:

- Вы помните какие-нибудь песни, танцы или поговорки, относящиеся к небесам?
- Есть ли у вас кто-нибудь, кто умеет предсказывать погоду?
- Как его или ее называют?
- Насколько прогнозы точны?
- Какие еще приметы вы знаете?
- Вы доверяете всем этим приметам?
- В настоящее время вы все еще следите за этими приметам?
- А другие люди?
- Считаете ли вы, что приметам можно доверять?
- Кто передал вам это знание?
- Где он или она родился? Где он вырос? Откуда был его отец, дед?

## Приложение II (Адаптировано из “Ориентация как признак культурной самобытности: исторические церкви Лансароте”)

### Аннотация

Ориентация христианских церквей - отличительный элемент их архитектуры, повторяющий заповеди христианских времен. Существует общая тенденция ориентировать свои апсиды по солнцу с предпочтением географического востока (близко к астрономической точке равноденствия), хотя в присутствии противоположной ориентации с апсидой на запад нет ничего необычного, хотя они и являются редкими и неканоническими.

Пример церквей, построенных на северо-западе Африки до прихода ислама, является парадигматическим в этом отношении и может отражать предыдущие традиции. Канарские острова представляют собой западную часть североафриканского культурного койне, поэтому было сочтено

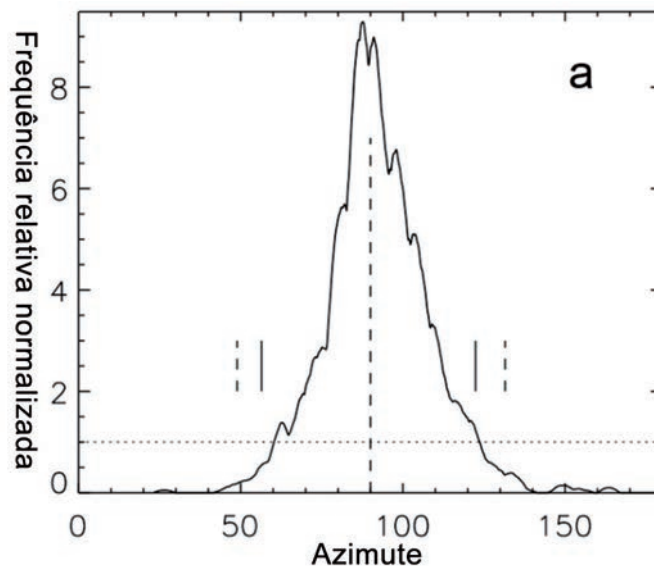


Рисунок 1: Гистограмма распределения азимутальных ориентаций 1274 европейских средневековых церквей.

целесообразным обратиться к изучению компактного набора древних церквей на одном из островов, а именно Лансароте. Измерялась ориентация в общей сложности 30 церквей, построенных до 1810 года, а также еще несколько примеров более поздних периодов. Выборка указывает на то, что заповедь определенной ориентации на острове соблюдалась, но в отличие от стандарта, который до сих пор существовал в остальном христианском мире, она была двойкой. С одной стороны, появляется стандартное восточное (или западное) направление, но выборка также включает ориентацию на северо-северо-восток, пока что за исключением Лансароте. В приложении обсуждается, почему это странное правило, с учетом нескольких возможностей, в основном отвергается. Мы обнаружили, что объяснение может быть очень прозаичным: иногда земные потребности стоят выше, чем потребности культа.

### Введение: Прологомены

Изучением устройства и ориентации христианских церквей интересовались с давних времен; недавно возник новый бум исследований в специализированной литературе. Это важный фактор их архитектуры. Согласно текстам писателей и апологетов раннего христианства, церкви должны иметь определенную ориентацию, то есть священник должен стоять лицом к Востоку во время культа. Признанный

Оригеном, Климентом Александрийским и Тертуллианом, Никейский собор (325 г.) определил это как приоритетный факт. Атанасий Александрийский, также в четвертом веке, сказал, что священник и участники должны быть направлены на Восток, где Христос, Солнце Справедливости, будет сиять в конце времен (*ecclesiarum situs plerumque talis erat, ut fideles altare facie versa orientem solem, symbolum Christi qui est Sun iustitia et lux mundi [...] interentur*; для более глубокого анализа ранних источников и методов ориентации смотрите работы Фогеля 1962 года)

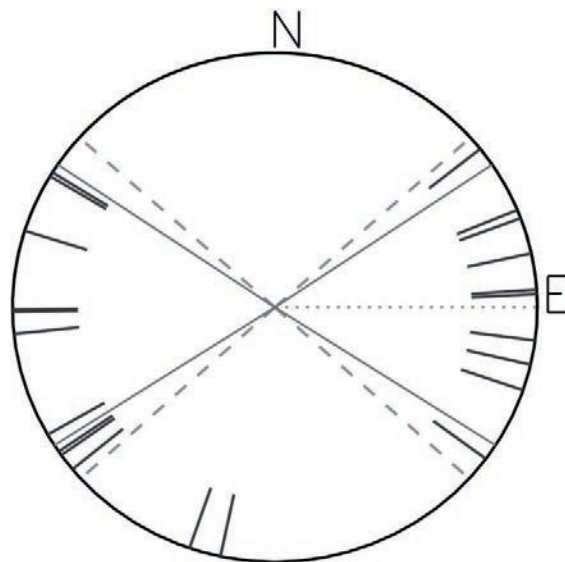


Рисунок 2: Диаграмма направлений 23 ранних христианских церквей на севере Африки.

Однако эти заповеди не совсем однозначны, что позволяет выбирать между разными толкованиями: ориентирован ли он на восходящее Солнце в день, когда начинается строительство церкви? Или в другой важный день, например, день святого покровителя церкви? Или ориентацию на Восток нужно рассматривать в строгом смысле слова? Церкви должны быть ориентированы на восход солнца в равноденствие? в таком случае, в какое равноденствие? Первоначально раннехристианские базилики не строились с апсидой или главой церкви, обращенной на восток. В этой связи Дельгадо-Гомес (2006) указывает, что из 20 первых христианских базилик, построенных во времена Константина и его преемников в Риме, Иерусалиме, Константинополе и на севере Африки, 18 расположены примерно на направлении восток-запад, но апсиды 11 из них обращены на запад. Однако интересно отметить, что в этих случаях кафедра и священники смотрят на восток, следовательно, алтарь находится между ним и плакальщиками.

Между 3-м и 7-м веками были навязаны рекомендации, и, таким образом, апостольские конституции указывают, что церкви следует строить лицом на восток (конст. Апост., II, 7). В V веке Сидоний Аполинар и Паулин из Нолы указали, что апсида должна быть обращена на восток, то есть на равноденствие, что позже подтвердили и Папа Виргилий, и Исидоро Севильский в его «Этимологии» (XV, 4) (McCluskey 1998). Это было подтверждено в средние века Honorius Augustodunensis

(11–12 вв. : [...] *ecclesiae ad orientem vertuntur ubi sol oritur [...]*) и другими авторами, такими как Уильям Дюрандо (12–13 вв. : [...] *versus orientem, hoc est, versus solis ortum aequinoctialem, nec vero versus aestivale solstitium [...]*), что ясно указывает направление, которому следует следовать: Равноденствие, предотвращающее искупление солнцестояний. Ориентация на Восток имеет четкую символику, как мы обсуждали ранее. Именно в том направлении, где восходит солнце, и, таким образом, Христос, как Солнце Справедливости, выйдет оттуда в Страшном суде (McCluskey 2004, 2010). С другой стороны, отказ от солнцестояний может быть связан с важностью этих дат в предыдущие периоды и многочисленными языческими храмами, нацеленными в этих направлениях (см., например, Belmonte, 2012).

Однако в этих указаниях все еще сохраняется двусмысленность. Какое равноденствие нужно учитывать? Как упоминает Маккласки (2004), существует несколько возможностей: римское весеннее равноденствие произошло 25 марта, а греческое - 21 марта - как это было отражено в Никейском соборе - но вы можете использовать другие определения, такие как вход Солнца в созвездие Овна или осеннее равноденствие. Каждое из этих определений предлагает разные даты и, следовательно, немного разную ориентацию (Ruggles 1999, González-García & Belmonte 2006).

Еще один важный момент, который следует учитывать, - это использование юлианского календаря в средние века и новое время. Это привело бы к тому, что, если мы посмотрим на конкретную дату равноденствия, она будет смещена во времени, что отразится на систематическом изменении ориентации, если она сделана с учетом восхода солнца в этот день.

Наряду с пирамидами Египта и европейскими мегалитами изучение ориентации европейских средневековых церквей является одним из старейших задач, с которой приходилось сталкиваться археоастрономии. Гонсалес-Гарсиа (2013) недавно сделал несколько работ в этой области. Он показывает, что указания ориентации на Восток были довольно систематическими по всей Европе в средние века, как видно на Рисунке 1. Все области, изученные Гонсалес-Гарсиа (2013), следуют этой модели ориентации с явным максимумом преимущественно на Востоке, подчеркнув, что во многих случаях, особенно в Западной Европе, такой максимум немного смещается к северу от астрономического востока, что, возможно, указывает на использование определенных дат равноденствия (25 марта), которые с течением времени движется как было описано выше, хотя в каждом регионе есть особенности.

Интересно отметить, что в литературе об ориентации церквей констатировано то, что они ориентированы на восход Солнца по эфемеридам святого покровителя (что, по-видимому, совсем не относится



Рисунок 3: Церковь Нтра. Сеньора де лас Мерседес в Мала.

к церквям на Лансароте, как мы увидим ниже). Однако в ранних произведениях вплоть до Средневековья не существовало эпиграфической поддержки такого утверждения. Работы, рассмотренные Гонсалес-Гарсиа (2013), указывают на то, что в некоторых районах Германии и, возможно, Англии и Франции может быть интерес некоторых Святых к некоторым памятникам, даже если эти здания, как правило, представляют собой романские монастырские церкви или готические соборы и, следовательно, довольно поздние. Интересный и хорошо задокументированный случай приведен в Словении, где Чаваль (2009) обнаружил свидетельство особой склонности к так называемому празднику Кафедрального собора Святого Петра, что отражается в ориентации значительного числа церквей в направлении восхода солнца в этот день. Маккласки (2004) указывает, что нечто подобное происходит в Англии в романских церквях, где, возможно, церкви с посвящением Марии и еще несколько святых могут следовать этому стандарту, дополняя ориентацию на Восток.

В этом контексте и с учетом объекта настоящего исследования интересно отметить, что, за исключением небольшого количества работ, посвященных конкретным церквям, особенно в Англии и Центральной Европе, нет систематических исследований ориентации храмов в периоды после средневековья, как нынешний. Как мы увидим, подавляющее большинство церквей и часовен на Лансароте начали возводиться спустя десятилетия после завоевания и колонизации острова норманнами на службе короны Кастилии в 15 веке.

Интересно, что исключением из правила ориентации является Северная Африка, где церкви строятся в противоположных направлениях. Данные, показанные на рисунке 2, были получены Esteban et al. (2001) и Belmonte et al. (2007), а также другие, не публиковавшиеся ранее (González-García 2013), и включают в общей сложности 23 церкви, в частности в Проконсульской Африке и Триполитании, возможных местах происхождения аборигенного населения Канарских островов (Belmonte et al.



2010). Интересно отметить, что большое количество этих церквей ориентировано на Запад, что было обычным в ранние времена христианства, как отмечалось выше. Это также подчеркивает, что большинство церквей расположены в пределах солнечного диапазона, с концентрацией в дни равноденствия и солнцестояния, что может дать подсказки о процессе христианизации в этом регионе.

В Испании, как на Пиренейском полуострове, так и на двух архипелагах, в то время как есть сообщения об определенных событиях света и тени в романских храмах в особые времена, такие как равноденствие (как в Санта-Марта-де-Тера или в Сан-Хуан-де-Ортега, в соответствующих провинциях Замора и Бургос), вопрос об ориентации церквей в целом мало исследовался со статистической точки зрения, что привело к претензиям паломников на объяснения возможной причины отклонений от некоторых церквей в отношении канонической ориентации (например, Godoy-Fernández, 2004). Перес-Валькарсель (1998) исследовал ориентацию 187 церквей в романском стиле на Камино-де-Сантьяго. Хотя его данные не включают измерение высоты горизонта, что, к сожалению, очень часто встречается в европейских исследованиях, очевидно то, что он не обнаруживает общей взаимосвязи между ориентацией этих церквей и восходом солнца в указанный день покровителя церкви.

Наша команда решила начать крупномасштабный проект как на Пиренейском полуострове, так и на Канарах. В последнем случае то, что показано здесь, является первым систематическим исследованием, разработанным на данный момент. Однако в рамках более широкой программы по систематическому измерению ориентации доманских церквей на территории полуострова Гонсалес-Гарсия и др. (2013) уделили особое внимание церквям астурийского периода и их взаимодействию с доминирующей мусульманской державой на юге полуострова. В частности, в Астурии сохранилось 13 церквей того периода, которые имеют каноническую ориентацию с апсидой на восток, хотя обычно отклонены на несколько градусов к северу от востока.

Кроме того, авторы обнаружили, что мечети Аль-Андалуса, хотя они могли быть ориентированы на Мекку, имели киблы, которые могли соответствовать каноническому расположению церквей. Однако может показаться, что мечети «избегают» возможных ориентаций, которые могут спутать их храмы с церквями, в то время как астурийские церкви и, возможно, сразу же последующие мозарабы также склонны избегать тех позиций, которые путают эти храмы с мечетями в примере взаимодействия религии, власти и астрономии. Таким образом, мы видим, что в исключительных обстоятельствах канонические заповеди могут быть изменены.

Наконец, Гарсия-Квинтела и др. (2013) исследовали распространение христианства на северо-западе полуострова и возможную замену индоевропейских (кельтских) элементов христианскими факторами посредством введения так называемого «мученического ландшафта»: через ориентацию церквей, христианизацию их среды обитания, а также создание мифов и историй, которые включили, изменили или вытеснили возможные языческие культы. Таким образом, было бы интересно проанализировать ту же феноменологию на Канарских островах и, в частности, на острове Лансароте, что является особенно ярким случаем, поскольку это первый остров, колонизированный Европой, и его размер и количество компактных групп населения позволили бы получить статистически значимую выборку в очень компактном и небольшом пространстве.

### **Пример: Церкви и часовни Лансароте. Заключение**

После завоевания и колонизации Канарского острова Лансароте европейским населением в начале 15 века, крупномасштабная колонизация началась в веках сразу же после создания небольших ферм и деревушек, а также некоторых более старых мест, таких как Фемес или Тегисе, где было построено значительное количество христианских

El nostre equip ha decidit iniciar un projecte a gran escala tant a la península com en

храмов, что свидетельствовало о новой социальной и религиозной ситуации. В некоторых местах, возможно, здания были ориентированы в подражание образцам культа аборигенов. В других традициях каноническое расположение храмов на Востоке (за некоторыми исключениями на Западе) соблюдалось, но с большей степенью свободы, чем обычно. В этой связи следует упомянуть, что только церковь Мала, похоже, представляет ориентацию, совместимую с восходом солнца в день (Мариан) строительства храма (рис. 3).

Наконец, на Лансароте существует статистически значимое количество церквей, ориентированных на северо-северо-восток, что является заметным исключением из правил. Были проанализированы различные возможные объяснения этой аномалии, и сделан вывод, что наиболее правдоподобный ответ, в свою очередь, является наиболее прозаическим. Эта ориентация, похоже, вызвано желанием избежать сильных ветров, преобладающих на острове именно с этого направления, и, в частности, избежать неудобств, вызванных перемещением песка ветром в зданиях вблизи или на границе Эль-Хабле, песчаного района на севере острова.

Это только первый эксперимент в рамках проекта, который, как мы надеемся, удастся завершить в ближайшие годы, путем измерения ориентации старейших христианских храмов на других островах Канарского архипелага. В этом отношении мы предполагаем, что исследование острова Фуэртевентура, подверженного тому же потоку ветра, дующему еще более интенсивно, будет очень интересным примером для сравнения с соседним островом Лансароте.

Будут ли в церквях Фуэртевентуры применяться двойные стандарты? Осмелились ли их строители нарушить канонические заповеди ради приземленных потребностей? Время покажет!

## Список литературы

- Belmonte J.A., Pirámides, templos y estrellas: astronomía y arqueología en el Egipto antiguo, Crítica, Barcelona, 2012
- Belmonte, J.A. y Sanz de Lara M., El Cielo de los Magos, La Marea, La Laguna, 2001.
- Belmonte J.A., Tejera A., Perera M.A. y Marrero R., "On the orientation of pre-Islamic temples of North-west Africa: a reappraisal. New data in Africa Proconsularis", Mediterranean Archaeology and Archaeometry6, 3: 77-85. 13, 2007
- Belmonte J.A., Perera Betancort M.A. y González García A.C., "Análisis estadístico y estudio genético de la escritura líbico-bereber de Canarias y el norte de África", en VII Congreso de patrimonio histórico: inscripciones rupestres y poblamiento del Archipiélago Canario, Cabil-do de Lanzarote, Arrecife, (2010)
- Čaval, S. (2009). "Astronomical orientations of Sacred Architecture during the Medieval period in Slovenia", en J.A. Rubiño-Martín, J.A. Belmonte, F. Prada and A. Alberdi (eds.), Cosmology Across Cultures, 209-19. San Francisco. Astronomical Society of the Pacific.
- Estéban, C., Belmonte, J.A., Perera Betancort, M.A., Marrero, R. y Jiménez González, J.J., "Orientations of pre-Islamic temples in North-West Africa", Archaeoastronomy26, S65-84, (2001).
- Gangui A.; González García A.C.; Perera Betancort M.A. y Belmonte, J.A., La orientación como una seña de identidad cultural: las iglesias históricas de Lanzarote, Tabona en prensa, 2015
- García Quintela, M.V., González-García, A.C. y Seoane-Veiga, Y. , "De los solsticios en los castros a los santos cristianos: la creación de un paisaje mártir en Galicia", Madrider Mitteilungen, 2013
- González-García, A.C., "A voyage of christian medieval astronomy: symbolic, ritual and political orientation of churches", en F. Pimenta, N. Ribeiro, F. Silva, N. Campion, A. Joaquineto, L. Tirapicos (eds.): Stars and stones. British Archaeology reports, 2013
- González-García, A.C. y Belmonte, J.A., "Which Equinox?" Archaeo-astronomy, The Journal of Astronomy in Culture20. 97-107, 2006.

- González-García, A.C., Belmonte J.A. y Costa-Ferrer, L., “The orientation of pre-Romanesque churches in Spain: Asturias, a case of power re-affirmation”, en M.A. Rappenglueck, B. Rappenglueck and N. Campion (eds.), *Astronomy and Power*. British Archaeology Reports, 2013.
- Godoy Fernández, C. , “A los pies del templo. Espacios litúrgicos en contraposición al altar: una revisión”, *Antigüedad Cristiana* 21, 473-89, 2004
- Krupp E.C., *Echoes of the Ancient Skies*, Harper & Row, Nueva York, 1983
- Krupp E.C., *En busca de las antiguas astronomías*, Pirámide, Barcelona, 1989.
- Krupp E.C., *Beyond the Blue Horizon*, Oxford University Press, Oxford, 1991
- McCluskey, S.C., *Astronomies and cultures in early Medieval Europe*. Cambridge University Press. Cambridge, 1998.
- McCluskey, S.C. , “Astronomy, Time, and Churches in the Early Middle Ages”, in M.-T. Zenner, *Villard’s legacy: Studies in Medieval Technology, Science and Art in Memory of Jean Gimpel*. Ashgate, Aldeshot: 197-210, 2004
- McCluskey, S.C. , “Calendric cycles, the eighth day of the World and the orientation of English Churches”, en C. Ruggles and G. Urton (eds.), *Skywatching in the Ancient World, New Perspectives in Cultural Astronomy*, 331-353. University Press of Colorado. Bolder, 2010.
- Pérez-Valcárcel, J., “La orientación de las iglesias románicas del Camino de Santiago”, en F. Bores, J. Fernández, S. Huerta, E.Rabasa, *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. La Coruña, Servicio de Publicaciones Universidad de La Coruña: 391-396, 1998.
- Ruggles, C.L.N., “Whose equinox?” *Archaeoastronomy* 22:S45-50, 1999.
- Vogel, C., “Sol aequinoctialis. Problemes et technique de l’orientation dans le 15 culture chretien”. *Revue Sciences Religieuses*36, 175-211, 1962.

