

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Витебский государственный  
университет имени П.М. Машерова»  
Кафедра инженерной физики

**И.В. Галузо**

# **АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

*Методические рекомендации*

*Витебск  
ВГУ имени П.М. Машерова  
2018*

УДК 52:001.891.5:371.315:378.14(075)

ББК 22.6я7+74.262.21я7

Г16

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 2 от 19.12.2018 г.

Автор: доцент кафедры инженерной физики ВГУ имени П.М. Машерова, кандидат педагогических наук **И.В. Галузо**

**Р е ц е н з е н т ы :**

директор ГУО «Новкинская средняя школа Витебского района»,  
учитель физики высшей категории *О.М. Трубловская*;  
доцент кафедры педагогики ВГУ имени П.М. Машерова,  
кандидат педагогических наук *М.В. Макрицкий*

**Галузо, И.В.**

**Г16**      **Астрономические эксперименты : методические рекомендации / И.В. Галузо. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2018. – 159 с.**

Данное издание включает более 50-ти простых экспериментов по школьному курсу астрономии. Эксперименты могут проводиться учениками и учителями на уроках, внеурочных занятиях и как домашние задания.

Все эксперименты сопровождаются ссылками на видеоролики, презентации, web-страницы и рисунки с помощью QR-кодов, позволяющими оперативно и более подробно познакомиться с астрономическими явлениями, представленными в описаниях.

Методические рекомендации адресуются учителям физики и астрономии, студентам, школьникам.

УДК 52:001.891.5:371.315:378.14(075)

ББК 22.6я7+74.262.21я7

© Галузо И.В., 2018

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2018

## Введение

Слово «эксперимент» происходит от латинского слова «*experimentum*», что переводится как «проба, опыт», то есть в узком смысле слова термины «опыт» и «эксперимент» являются синонимами.

В науке эксперимент используется для получения знаний, неизвестных человечеству. В процессе обучения (в школе) эксперимент применяется для получения знаний, еще неизвестных данному конкретному человеку (ученику). Поскольку закономерности проведения экспериментов взрослыми и школьниками во многом не совпадают, условимся в дальнейшем подразумевать в предстоящих астрономических экспериментах словосочетание «ученическое экспериментирование».

Как и большинство слов русского языка, «экспериментирование» является многозначным словом. Оно выступает как метод обучения, если применяется для передачи ученикам новых знаний, также оно может рассматриваться как форма организации педагогического процесса, наконец, экспериментирование является одним из видов познавательной деятельности учеников. Описанные нами эксперименты могут использоваться не только в повседневной деятельности учителя (на уроках и внеурочных занятиях), но и в качестве самостоятельных домашних заданий (с последующим обсуждением с учениками).

Рассмотренные эксперименты имеют схожую структуру. Для каждого из экспериментов указываются факты и наблюдения, являющиеся основанием для проведения эксперимента, цель эксперимента, приводится список необходимого простейшего оборудования и материалов, инструкции и иллюстрации по проведению экспериментов, ожидаемые результаты и их объяснение. Описание экспериментов сопровождаются дополнительными материалами, помеченным рубриками «Для сведения» или «Вопросы». В большинстве случаев описания и объяснения экспериментов снабжены ссылками с помощью QR-кодов на видеоролики, презентации, web-страницы и рисунки, позволяющими более подробно познакомиться с астрономическими явлениями, представленными в описаниях экспериментов.

Как выбрать и установить программу сканера QR-кодов на мобильное устройство рассматривается в *приложении* к данному изданию.

Дополнительный материал может служить стимулом для дальнейшего поиска сведений и расширения знаний ученика по теме.

Астрономические эксперименты позволяют обратить внимание школьников на следующие вопросы:

- методы астрономических исследований: астрономические наблюдения и измерения;
- классификация методов астрономических исследований в зависимости от их задач и используемых инструментов;

- условия проведения и особенности астрономических исследований;
- применение законов физики для определения основных физических характеристик космических объектов и взаимосвязь этих характеристик;
- рассмотреть астрономические формулы, позволяющие рассчитывать основные физические характеристики космических объектов на основе данных астрономических наблюдений;
- применение физических приборов в астрономических исследованиях, их назначение, устройство и принцип действия.

Примерные темы курса астрономии и связанные с ними эксперименты приведены в табл. 1.

*Таблица 1.*

Темы курса астрономии и проводимые по ним эксперименты

Темы	Эксперименты
Созвездия и яркие звезды	1. Мерцание звезд 2. Звезды ночью и днем 3. Пространственные модели созвездий 4. Домашний планетарий
Движение Земли вокруг оси и по орбите	5. Маятник Фуко 6. День и ночь 7. Земная ось 8. Прецессия земной оси
Небесная сфера	9. Вращение небесной сферы 10. Высота светила
Измерение времени и определение географической долготы	11. Гномон и полуденная линия 12. Экваториальные солнечные часы 13. Горизонтальные солнечные часы 14. Вертикальные солнечные часы 15. Где и когда начинаются сутки?
Летоисчисление и календарь	16. Календарь для Марса
Системы мира	17. Ретроградное движение Марса
Конфигурации и условия видимости планет	18. Наблюдения Меркурия
Видимое движение и фазы Луны	19. Сияние Луны 20. Почему мы видим только одну сторону Луны? 21. Либрация Луны 22. Фазы Луны
Солнечные и лунные затмения	23. Солнечное затмение 24. Лунное затмение
Законы небесной механики	25. Орбитальные кривые 26. Построение эллипса 27. Геостационарный спутник 28. Ракета
Определение размеров небесных тел и расстояний до них	29. Радиус Земли 30. Сжатая Земля 31. Диаметр Луны

	<b>32.</b> Горизонтальный параллакс. Расстояние до Луны <b>33.</b> Угловой отражатель
Особенности строения Солнечной системы	<b>34.</b> Наклон орбит планет
Планеты земной группы	<b>35.</b> Температура и тень <b>36.</b> Зима и лето <b>37.</b> Облака <b>38.</b> Парниковый эффект <b>39.</b> Земля — голубая планета <b>40.</b> Почему Марс красный? <b>41.</b> Грязный снег
Луна как небесное тело	<b>42.</b> Лунные кратеры
Планеты-гиганты	<b>43.</b> Кольца Сатурна <b>44.</b> Исчезновение колец Сатурна
Спутники планет-гигантов	<b>45.</b> Ариэль и Умбриэль
Кометы	<b>46.</b> Хвост кометы
Пропускание земной атмосферой различных видов излучения	<b>47.</b> Ионосфера
Телескопы	<b>48.</b> Главное свойство телескопов <b>49.</b> Телескоп-рефрактор <b>50.</b> Телескоп-рефлектор
Радиотелескопы	<b>51.</b> Радиотелескоп
Общие сведения о Солнце	<b>52.</b> Расстояние до Солнца <b>53.</b> Размер Солнца
Строение солнечной атмосферы	<b>54.</b> Солнце — абсолютно черное тело
Активные образования на Солнце	<b>55.</b> Искажение солнечных пятен
Строение и эволюция Вселенной	<b>56.</b> Расширение Вселенной

Сейчас профессии, связанные с компьютерами, – одни из популярных среди молодежи. Многие выпускники вузов разных специальностей становятся программистами, благодаря хорошей физико-математической подготовке, включающей отличное знание компьютеров. В астрономии их привлекает обилие интереснейших компьютерных приложений. Сейчас нужны специалисты по обработке результатов астрономических наблюдений и изображений, по автоматизации наблюдений, по математическому моделированию. Без усвоения основополагающих принципов астрономической науки, перейти на более высокий уровень астрономических экспериментов практически невозможно. Простейшие астрономические эксперименты позволяют школьнику наглядно дать ответы на такие вопросы, как например: Чем отличается геостационарная орбита спутника от геоцентрической? Как определили массу Земли или Солнца, их размеры? Как получается, что Луна всегда повернута к нам одной стороной? Почему кольца Сатурна прозрачные? Оказывается, можно дать ответы на эти и ряд других подобных вопросов без пространственных объяснений (которые не всегда ученикам доступны и понятны), а только на основе простейшего эксперимента.

## Эксперимент 1. Мерцание звезд

**Факты и наблюдения.** Если смотреть простым глазом на ночное небо, то заметно, как меняется яркость звезд, в этом случае говорят, что звезды мерцают.

**Цель.** Объяснить, почему мерцают звезды.

**Оборудование и материалы.** Карманный фонарик, стеклянная банка с широким горлышком, упаковочная алюминиевая фольга, карандаш или небольшая палочка.

**Инструкция.**

- Возьмите кусок алюминиевой фольги (например, от упаковки плитки шоколада). Сомните этот кусок руками, а затем расправьте и расстелите на столе.
- Наполните банку примерно на  $\frac{2}{3}$  водой и поставьте на смятую фольгу.
- В затемненной комнате через горловину банки освещайте фонарем ее дно (рис. 1.1).
- Понаблюдайте, как выглядит фольга через спокойный слой воды.
- Не выключая фонарь, продолжайте наблюдения, но слегка помешав при этом поверхность воды карандашом.



Рис. 1.1. Наблюдение «мерцания звезд»

**Результаты.** После возмущения поверхностного слоя воды, наблюдается мерцание света, отраженного от фольги.

**Объяснение.** Волны на поверхности воды заставляют лучи света изменять их направление. Это происходит из-за явления преломления. Лучи света претерпевают многочисленные отклонения от прямого пути, то сосредотачиваясь, то рассеиваясь. В случае со звездами причина мерцания — земная атмосфера, через которую лучи звезд должны пройти, прежде чем достигнуть глаза. Отсюда — частые изменения яркости звезд.

Свет звезды проходит из слоя атмосферы с меньшей плотностью в слой с более высокой плотностью, так как теплый воздух поднимается вверх, холодный — опускается вниз. Воздух преломляет свет по-разному, в зависимости от температуры. При прохождении света от слоя к слою воздуха и начинается мерцание света. При этом очертания звезд периодически становятся расплывчатыми, их яркость, меняется.

Сами по себе звезды не мерцают. Это впечатление создается у земного наблюдателя, когда он воспринимает свет звезды после того, как он прошел сквозь атмосферу. Если мы взглянем на звезды в открытом космосе, где нет атмосферы, мы не заметим мерцания звезд: они сияют там спокойным, постоянным светом.

Таким образом, мерцание звезд не есть свойство, присущее самим звездам; оно придается им земной атмосферой, через которую лучи звезд должны пройти, прежде чем достигнут глаз человека.

На рис. 1.2 показан более сложный эксперимент «Мерцание звезд» с газовой горелкой, когда раскаленный газ имитирует изменение плотности атмосферы.

### **Вопросы.**

1. Если бы вы находились на Луне, то наблюдали бы мерцание звезд?

Космонавты, наблюдавшие звезды с Луны, где нет атмосферы, видели небо, усеянное звездами, которые светили ровным немигающим светом. На Земле, в отличие от Луны, лучи света звезд, прежде чем достигнуть поверхности, многократно преломляются в различных направлениях.

2. Почему планеты (например, Венера и Марс), светятся отраженным солнечным светом и не мерцают, но выглядят на небе как большие яркие звезды?

Планеты расположены ближе к Земле, и мы воспринимаем их как небольшие диски, а не как крошечные точки. Солнечный свет отражается от разных участков дисков планет. Свет, проходя сквозь слой земной атмосферы, также преломляется, но преломляется неодинаково. От одних участков диска свет отражается и попадает в глаза наблюдателя, хотя от других участков планетного диска свет может не доходить до наблюдателя. К наблюдателю приходит свет, постоянно отраженный от каких-то точек планетного диска. Средняя же интенсивность излучения со всей поверхности диска остается постоянной. Поэтому диск планеты и светится ровным немигающим светом.

Просмотрев видео (рис. 1.3), можно увидеть, как мерцают звезды Сириус и Арктур, как выглядят звезды из космоса и почему планеты не мерцают.

3. Есть ли связь между мерцанием звезд и дрожанием отдаленных предметов в знойные дни?

Причина, которая вызывает мерцание звезд — та же, что заставляет дрожать отдаленные предметы, когда в знойные дни почва сильно нагревается солнечными лучами.



Рис. 1.2. Мерцание звезд: эксперимент с газовой горелкой (видео 1 мин 41 с)

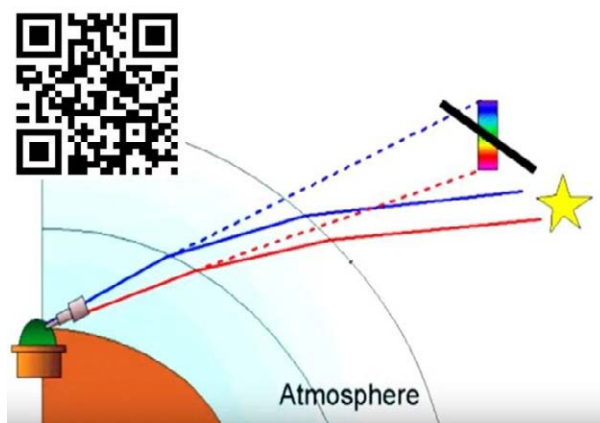


Рис. 1.3. Объяснение причины мерцания звезд (видео 1 мин 51 с)

## Эксперимент 2. Звезды ночью и днем

**Факты и наблюдения.** Звезды можно наблюдать ночью (если небо не застлано облаками), а днем они не видны.

**Цель.** Понять, почему звезды не видны днем.

**Оборудование и материалы.** Картонная коробка от обуви, шило, карманный фонарик, темная комната с возможностью включения общего освещения.

### Инструкция.

- На крышке коробки шилом прокалываем отверстия, повторяющие контур одного из созвездий (например, «ковш» Большой Медведицы) – рис. 2.1.
- Внутри коробки помещаем включенный фонарик и плотно закрываем крышкой.
- Коробку помещаем в темную комнату по проведению эксперимента.



Рис. 2.1. Подготовка картонной коробки к эксперименту

- На «продырявленной» стенке коробки явственно выступают освещенные изнутри отверстия («звезды»).
- Не открывая коробку, зажигаем в комнате свет.

**Результаты.** При достаточно ярком освещении комнаты «звезды» на стенке коробки исчезают.

**Объяснение.** Зажженный в комнате свет – это «дневной свет Солнца», который и гасит «звезды». В дневное время мы звезды не видим, потому что Солнце своими яркими лучами освещает всю нашу планету, а космос со звездами скрывается от нашего взора.

Ответ на вопрос «Почему днем не видно звезд?» можно также получить в краткой презентации (рис. 2.2).

### Вопросы.

1. Верно ли представление о том, что звезды можно наблюдать днем из глубокого колодца?

Днем можно наблюдать только одну звезду и в хорошую погоду: это – Солнце. Дневное небо довольно яркое от рассеянного атмосферой солнечного света. Поэтому небольшая добавка в виде света звезд к этой общей освещенности неба восприниматься нашими глазами не будет. Из всех звездообразных объектов лишь Венера иногда видна



Рис. 2.2. Почему днем не видно звезд? (видео 40 с)



на дневном небе. Увидеть ее непросто: небо должно быть идеально чистым, и нужно приблизительно знать, в каком месте на небе в данный момент она находится. Если же по какой-то причине общий фон освещенного Солнцем неба ослабнет, например, произойдет полное солнечное затмение, то яркие звезды и планеты будут хорошо видны днем.

2. Если нельзя наблюдать звезды из глубокого колодца, то можно ли их днем увидеть через высокую трубу?

Казалось бы, что труба создает воздушный канал, в котором практически нет рассеянного солнечного света. Конечно, если эта труба пройдет через всю толщу атмосферы, то сквозь нее можно увидеть звезды. Однако стоит учесть, что практически вся масса воздуха заключена в приземном слое атмосферы толщиной около 20 км. Такие трубы пока никто не возводил.

3. Видны ли звезды в иллюминатор космической станции?

Звезды хорошо видны в открытом космическом пространстве, где небо черное, и никакого светового фона там нет. Как выглядит звездное небо и Земля с борта международной космической станции показано в следующем видео (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Звездное небо с МКС  
(видео 3 мин 20 с)

### Эксперимент 3. Пространственные модели созвездий

**Факты.** Звездное небо видится нам в проекции на небесную сферу, подобно тому, как в кино на плоский экран проецируется весь сюжет фильма. Наблюдателю с Земли кажется, что все звезды находятся от него на одинаковом расстоянии. На киноэкране мы легко отличаем далекие предметы от близких благодаря знакомству с объемным оригиналом, но в двумерной россыпи звезд нет наглядной подсказки, позволяющей обратить ее в трехмерную карту.

Между тем, расстояния – это ключ к пониманию устройства Вселенной. Как без знания расстояния оценить истинную яркость звезды? Ведь тусклая звездочка может оказаться яркой звездой по той причине, что она далеко расположена в пространстве. Для сравнения посмотрите на свет двух одинаковых зажженных свеч, но расположенных на разных от наших глаз расстояниях. Ясно, что более удаленная свеча будет нам казаться весьма тусклым источником света. Такая же картина наблюдается и в мире звезд. Видимая с Земли яркость звезд (звездная величина – безразмерная числовая характеристика яркости) обозначается буквой  $m$ . Чем меньше значение звездной величины, тем ярче данный объект. В созвездиях самым ярким звездам дают собственные имена и обозначают греческой буквой  $\alpha$ . На звездных картах такие звезды показывают более крупными точками.

Другие звезды – по мере убывания яркости – обозначают соответственно следующими буквами алфавита и меньшими точками.

При описании вида звездного неба мы пользуемся контурами созвездий, которые помогают быстро запоминать расположение сравнительно ярких звезд и их названия.

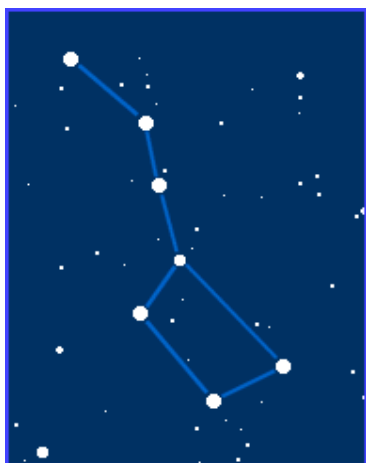


Рис. 3.1. Семь ярких звезд Большой Медведицы

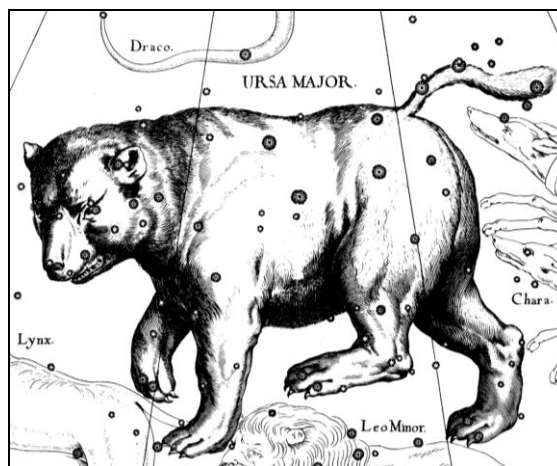


Рис. 3.2. Изображение созвездия Большой Медведицы в звездном атласе Яна Гевелия

Всем известную группу из семи ярких звезд, напоминающую очертание ковша (рис. 3.1), древние греки называли Большой Медведицей. Если к этой группе звезд присоединить слабо светящиеся звезды, расположенные вблизи ковша, то при достаточной фантазии можно провести границы этого созвездия так, что они будут напоминать очертания какого-то большого зверя. Ян Гевелий (1611–1687), польский астроном и конструктор телескопов, создал знаменитый звездный атлас «Уранография», содержащий великолепные изображения созвездий. Изображение созвездия Большой Медведицы (Ursa Major) в атласе Гевелия показано на рис. 3.2.

Звезды, составляющие созвездия на небе, как правило, расположены очень далеко друг от друга в пространстве и никакой связанной группы не образуют. Для того чтобы получить представление о пространственном расположении звезд в созвездиях, можно изготовить простейшие модели. «Рисунок» любого созвездия совершенно изменился бы, если бы мы могли взглянуть на слагающие его звезды «со стороны» – из любой другой, отдаленной на соответствующее расстояние от Земли, точки космического пространства.

**Цель.** Показать на моделях, как в пространстве распределяются звезды в известных созвездиях.

**Оборудование и материалы.** Катушка прочных ниток. Набор бусинок разных размеров и цвета. Картонки размером примерно 40×40 см. Шило. Скотч. Фломастер. Ножницы.

**Инструкция.** Покажем изготовление пространственной модели на примере созвездия Большой Медведицы.

- Вначале контуры созвездия наносим на планшет (картонку) подходящего размера. Размеры звезд на контуре созвездия условно показывают их блеск (более яркие звезды отмечаем пятнышками бóльшего размера) – как показано на рис 3.1. Греческие буквы названий звезд лучше отпечатать на принтере, вырезать и наклеить рядом с изображениями звезд. Кроме того, можно маленькими точками нанести изображения слабых звезд, украсить планшет картинками созвездий из старинных атласов (см. рис. 3.2), на обороте планшета привести сведения о звездах и т.д.

- Сами же звезды в модели имитируем бусинками или пластилиновыми шариками, нанизанными на нити. Способ закрепления бусинок показан на рис. 3.3. Такое крепление бусинок позволяет скорректировать их положение на нитях (передвинуть) после окончательной сборки модели. Уже при первом знакомстве со звездным небом обращает на себя внимание различие звезд по цвету. Поэтому для приближения модели созвездия к реальности лучше использовать бусинки разных цветов.

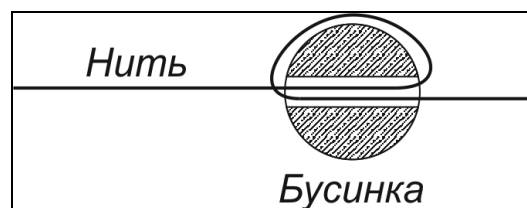


Рис. 3.3. Способ крепления бусинок на нитях

- По центру каждого пятнышка-звезды на планшете прокалываем отверстия и через них пропускаем концы каждой нити с бусинками. На обратной стороне планшета все нити закрепляем скотчем. Для того, чтобы нити модели не перепутывались, следует собирать модель из небольшого числа звезд.

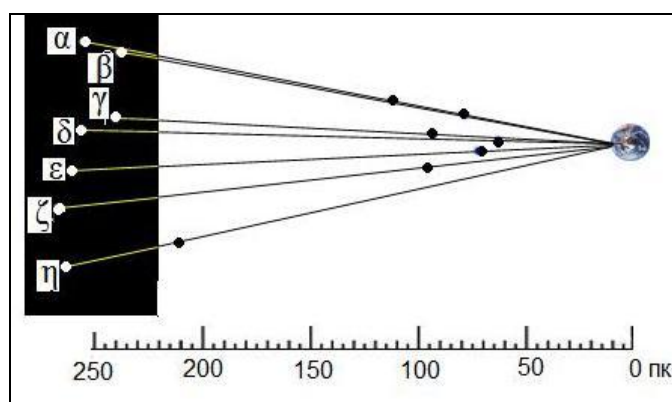


Рис. 3.4. Пространственное расположение основных звезд созвездия Большой Медведицы

- При расположении звезд-бусинок следует руководствоваться рис. 3.4, на котором на шкале под рисунком показано относительное расположение звезд в созвездии. Истинные расстояния звезд от Земли указаны в парсеках. На модели можно взять шкалу расстояний, например, до 25 см (то есть, самая далекая звезда (ε) в «ковше» будет на расстоянии 21 см). Таким образом, положения бусинок на нитях будет соответствовать масштабу удаленности звезд от наблюдателя, то есть от Земли.

- Все нити, отходящие от планшета, собираются в одной точке и завязываются в пучок общим узлом – это точка наблюдения (Земля). Необходимо проследить, чтобы нити были натянуты одинаково (без провисания).
- Используя, прилагаемые таблицы 3.1–3.4, на которых имеются основные данные, можно изготовить модели созвездий Льва, Волопаса, Близнецов и Ориона.
- Рассмотрим более подробно изготовление модели созвездия Льва. Так как, звезда  $\epsilon$  Льва, наиболее удалена от нас (77 пк) из представленных в таблице 3.1, поэтому ее можно закрепить на нити практически в плоскости планшета. Звезда Денебола – наиболее близкая к нам (11 пк) из всех звезд, представленных в таблице. Поэтому, она будет располагаться дальше всех других звезд от плоскости планшета – 49 см. Как видим, все нити с бусинками должны иметь длину не менее 50 см. Кроме этого, нужно оставить запас для крепления нитей на планшете (с обратной его стороны) и связывания других концов нитей в общий узел, который будет символизировать Землю.


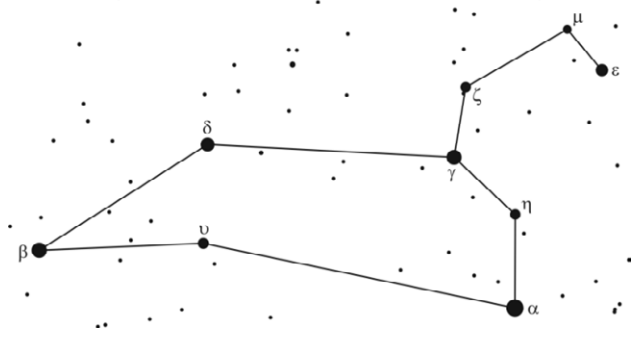
**Результаты.** Собранная модель главных звезд созвездия Льва показана на фотографии (рис. 3.5). Можно убедиться, несмотря на то, что звезды-бусинки разделяют разные расстояния, из точки схождения нитей они дают именно тот рисунок созвездия, который представлен на обычной карте звездного неба.

При изготовлении других моделей созвездий следует руководствоваться астрономическими атласами и справочниками, чтобы на их основе составить таблицы, подобные представленным таблицам 3.1–3.4.



Рис. 3.5. Демонстрация готовой модели созвездия Льва

Таблица 3.1. Созвездие Лев

Лев (Leo)						
						
Обозначение звезды	Название звезды	Блеск, <i>m</i>	Цвет	Параллакс	Расстояние до звезды, пк	Расстояние для модели*, см
$\alpha$	Регул	1,35	голубо- ватый	0,042"	24	<b>39</b>
$\beta$	Денебола	2,14	белый	0,090"	11	<b>49</b>
$\delta$	Зосма	2,56	белый	0,056"	18	<b>44</b>
$\gamma$	Альгиеба	2,30	оранже- вый	0,025"	40	<b>27</b>
$\epsilon$	$\epsilon$ Льва	2,98	желтый	0,013"	77	<b>0</b>

\* В этой и последующих таблицах параметр *расстояние для модели* (в см) указан при отсчете расстояния звезд-бусинок от плоскости планшета; в этом случае упрощается их расстановка на нитях.

Таблица 3.2. Созвездие Волопас


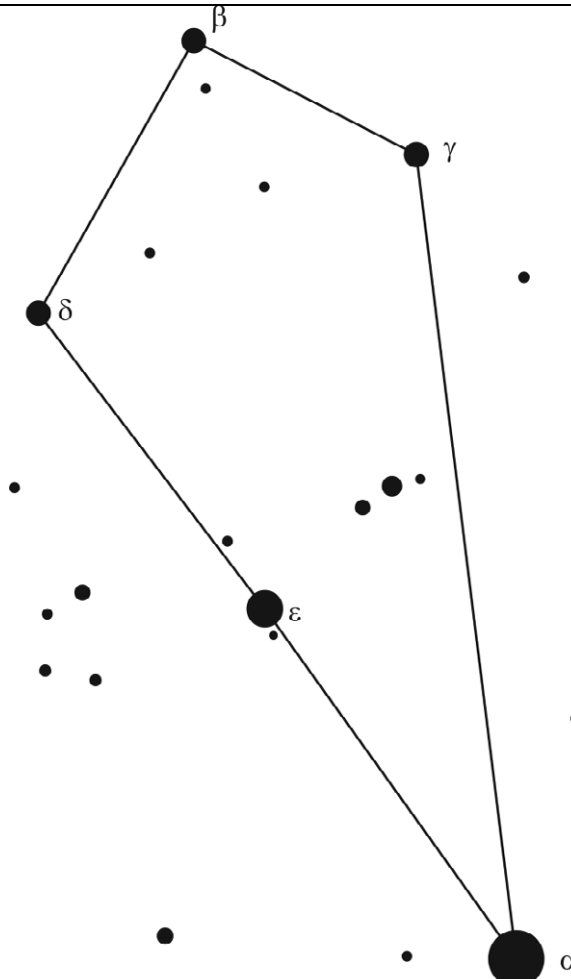
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 30%;"> <h2 style="text-align: center;">Волопас (Bootes)</h2>  </div> <div style="width: 65%;">  </div> </div>						
Обозначение звезды	Название звезды	Блеск, <i>m</i>	Цвет	Параллакс	Расстояние до звезды, пк	Расстояние для модели, см
$\alpha$	Арктур	– 0,05	оранже- вый	0,088"	11	<b>53</b>
$\beta$	Неккар	3,52	желтый	0,014"	71	<b>33</b>
$\delta$	$\delta$ Волопаса	3,46	желтый	0,027"	37	<b>45</b>
$\gamma$	Сегинус	3,04	белый	0,038"	26	<b>48</b>
$\epsilon$	Ицар	2,70	оранже- вый	0,006"	167	<b>1</b>

Таблица 3.3. Созвездие Близнецы

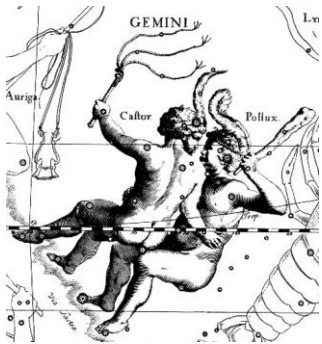
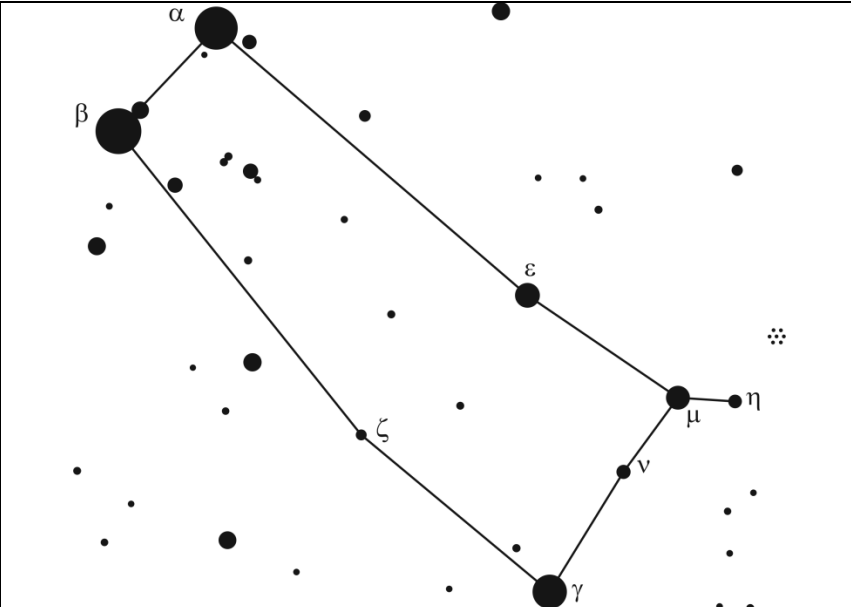

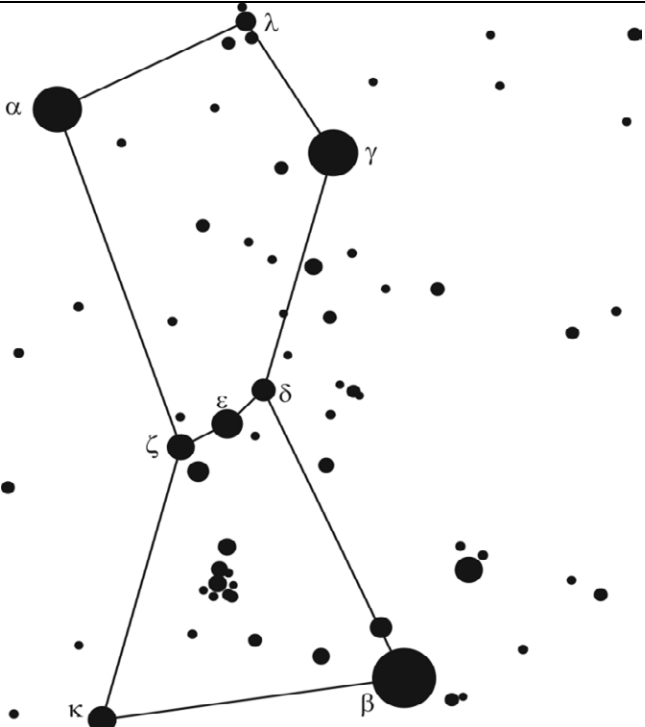
<p><b>Близнецы (Gemini)</b></p> 						
Обозначение звезды	Название звезды	Блеск, <i>m</i>	Цвет	Параллакс	Расстояние до звезды, пк	Расстояние для модели, см
α	Кастор	1,58	белый	0,063"	16	<b>49</b>
β	Поллукс	1,14	оранже- вый	0,096"	10	<b>52</b>
μ	μ Близне- цов	2,87	красный	0,014"	71	<b>23</b>
γ	Альхена	1,92	белый	0,031"	32	<b>42</b>
ε	Пропус	3,28	красный	0,009"	111	<b>4</b>



Таблица 3.4. Созвездие Орион

<p><b>Орион (Orion)</b></p> 						
Обозначение звезды	Название звезды	Блеск, <i>m</i>	Цвет	Параллакс	Расстояние до звезды, пк	Расстояние для модели, см
$\alpha$	Бетельгейзе	0,45	красный	0,007"	143	<b>41</b>
$\beta$	Ригель	0,18	голубо- ватый	0,004"	250	<b>28</b>
$\gamma$	Беллатрикс	1,64	голубо- ватый	0,013"	77	<b>48</b>
$\epsilon$	Альнилам	1,69	голубо- ватый	0,002"	500	<b>0</b>
$\delta$	Альнитак	1,74	голубой	0,003"	333	<b>19</b>
$\delta$	Минтака	2,25	голубо- ватый	0,003"	333	<b>19</b>
$\kappa$	Саиф	2,06	голубо- ватый	0,004"	250	<b>28</b>

**Для сведения.** Строго говоря, в современном понимании, созвездие – это определенный участок неба, имеющий свои границы, а не только звезды, образующие характерный контур. В далеком прошлом «созвездиями» называли различные группы звезд, помогающие запоминать определенный узор звездного неба, с помощью которого ориентировались во времени и на местности. Каждый народ имел свои традиции и признаки разделения звезд на созвездия. Небесная сфера в настоящее время разбита на 88 таких участков.

Наиболее яркие звезды в созвездиях имеют свои имена. Например,  $\alpha$  Льва получила название Регул, следующая по яркости звезда ( $\beta$  Льва) –



Денебола. Иногда от этого правила встречаются отклонения. В некоторых созвездиях «перепутаны» какие-то звезды по яркости (например, Бетельгейзе и Ригель в Орионе). Все эти несоответствия вызваны историческими причинами. У древних астрономов не было точных светоизмерительных приборов, позволяющих на современном уровне измерить звездную величину, к тому же, очертания созвездий неоднократно менялись, и долгое время вообще не существовало общепринятых названий, очертаний и самого количества созвездий. Отсюда и возникла некоторая путаница.

Считается, что в нашей Галактике более 100 млрд звезд. Около 1% из них занесено в каталоги, а остальные безымянные и даже не считаны. Звезда, попавшая в каталог, получает индивидуальное обозначение: обычно это либо порядковый номер, либо комбинация координат звезды. Но в разных каталогах эти номера могут различаться. В «Уранометрии» Иоганна Байера, где изображены созвездия и связанные с их названиями легендарные фигуры, звезды были обозначены строчными буквами греческого алфавита приблизительно в порядке убывания их блеска:  $\alpha$  – ярчайшая звезда созвездия,  $\beta$  – вторая по блеску, и т.д. Если созвездие было богато звездами и 24 букв греческого алфавита не хватало, то Байер использовал латинский алфавит: сначала все строчные буквы, а если и их не хватало, то и заглавные, но не далее буквы Q. Полное обозначение звезды в системе Байера состоит из буквы и латинского названия созвездия. Например, Сириус – ярчайшая звезда Большого Пса (Canis Major) – обозначается как  $\alpha$  Canis Major, или сокращенно  $\alpha$  CMa.

Познакомиться с атласом Яна Гевелия можно по ссылке на рис. 3.6.

### **Вопросы.**

1. Верно ли с точки зрения астрономии будет высказывание «Космический корабль отправился в созвездие Ориона»?

Не верно. Звезды, образующие узор созвездия Орион, находятся от нас на очень разных расстояниях. Правильнее было бы указать какую-либо конкретную звезду в созвездии Ориона.

2. Изменится ли привычная конфигурация созвездий, если наблюдать их, допустим с Марса?

Нет. По сравнению с расстояниями в Солнечной системе звезды находятся очень далеко от Солнца. Поэтому разницы в конфигурациях созвездий с Земли или Марса наблюдаться не будет.

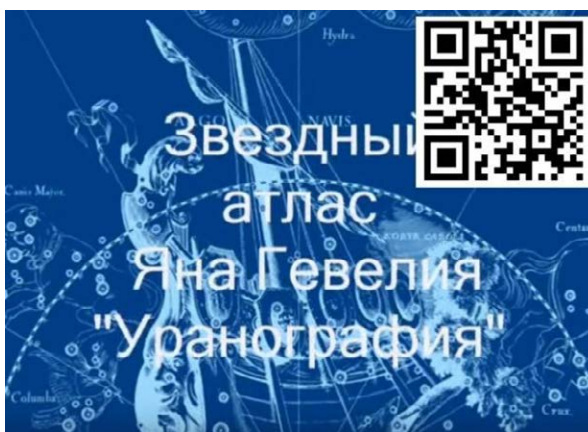


Рис. 3.6. Звездный атлас Яна Гевелия «Уранография» (видео 8 мин 21 с)

## Эксперимент 4. Домашний планетарий

**Факты.** Планетарий – научно-просветительное учреждение, в котором демонстрируется небесная сфера со звездами (рис. 4.1). Этим словом также называют аппарат для проецирования изображений звездного неба на полусферический купол-экран.

**Цель.** Показать, как в планетарии получают изображения созвездий и звезд ночного неба.

**Оборудование и материалы.** Фонарик. Небольшая картонная коробка (например, из под обуви). Целлофан или подобный прозрачный материал. Плотная черная бумага. Шило. Ножницы. Клей или скотч.

### Инструкция.

- На боковой стороне картонной коробки вырежьте отверстие для карманного фонарика. Размеры отверстия зависят от размеров осветительной части фонарика.
- На противоположной стороне — вырежьте второе квадратное или прямоугольное отверстие размерами примерно  $10 \times 10$  см.
- Снаружи коробки на полученное квадратное отверстие прикрепите (или приклейте) кармашек из целлофана, таким образом, чтобы он несколько выходил за пределы квадратного отверстия (примерно на 0,5 см).
- Из черной бумаги нарежьте карточки-«слайды», так, чтобы они свободно входили в целлофановый кармашек.
- На карточки, используя астрономический атлас, нанесите карандашом контуры созвездий и их главные звезды.
- Аккуратно шилом в местах расположения звезд проделайте отверстия. Обратите внимание: для более ярких звезд отверстия должны быть побольше.
- Вставьте одну из карточек в прозрачный кармашек вашего аппарата-планетария. Включите фонарик и в затемненной комнате наведите аппарат на белую стенку (рис. 4.2).



Рис. 4.1. В планетарии Санкт-Петербурга  
(видео 3 мин 58 с)

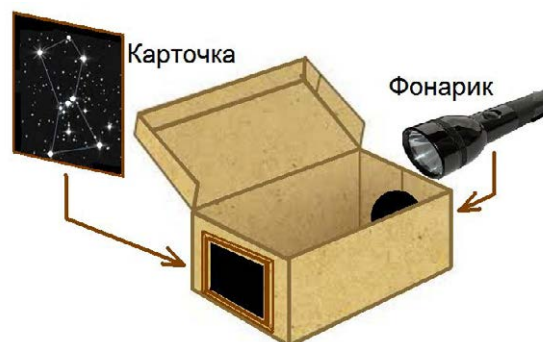


Рис. 4.2. Самодельный планетарий

**Результаты.** На стене, которая является в данном случае экраном, вы увидите увеличенное созвездие, контуры которого будут повторять изображение на карточке. Чем больше вы подготовите карточек с созвездиями, тем больше возможностей для их показа будет иметь ваш планетарий.

**Объяснение.** Свет от фонарика проходит сквозь отверстия («звезды») на карточке из плотной черной бумаги и идет дальше пока не попадет на стену-экран. На стене мы увидим увеличенный контур созвездия, который и создают отверстия на карточке. Для показа ночного неба в планетарии, используют сложный оптико-механический аппарат «Планетарий», который также имеет ряд других возможностей

– рис. 4.3, В разное время года на небе видны разные звезды. Аппарат «Планетарий» позволяет этот процесс сделать куда быстрее.

**Для сведения.** Разработан проект реконструкции нового Минского планетария. Главный фасад здания останется практически нетронутым, а позади него появится двухэтажная пристройка (рис. 4.4). С историей Минского планетария можно познакомиться по ссылке на рис. 4.5.

Современные планетарии для передачи изображения звездного неба или карты планеты с высокой точностью и достоверностью используют сложную аппаратуру на основе цифровых и лазерных технологий, что создает реалистичное и детальное изображение различных космических объектов.

### **Вопросы.**

1. Это созвездие можно увидеть летом и осенью, оно напоминает лебедя с широко раскинутыми крыльями, летящего к Земле. Как оно называется?

Созвездие называется Лебедь.



Рис. 4.3. Аппарат «Планетарий» (видео 12 мин 45 с)



Рис. 4.4. Проект реконструкции Минского планетария



Рис. 4.5. История Минского планетария (web-страница)

2. Конфигурация какого созвездия Северного полушария неба показана на рис. 4.6?

Созвездие называется Дракон.

3. Это созвездие окружают Близнецы, Единорог, Эридан и Телец. Как называется созвездие?

Созвездие называется Орион.



Рис. 4.6. Конфигурация созвездия

## Эксперимент 5. Маятник Фуко

**Факты.** Сейчас наверняка точно известно, что Земля вращается вокруг своей оси. Существует несколько доказательств этого факта, самым простым из них является смена дня и ночи.

Идея суточного вращения Земли нашла подтверждение еще в I веке н.э., о чем свидетельствуют работы древнегреческого астронома Клавдия Птолемея. Благодаря вращению Земли происходит смена дня и ночи. Один оборот вокруг своей оси Земля делает за сутки.

В середине XIX века французский физик Жан Фуко изобрел устройство, которое наглядно демонстрирует вращение Земли.

**Цель.** С помощью простейшего маятника смоделировать опыт Фуко и доказать, что существует суточное вращение Земли вокруг ее оси.

Одним из простейших маятников является грузик, подвешенный на нити. В условиях вращения Земли при достаточно большой нити подвеса плоскость, в которой маятник совершает колебания, будет медленно поворачиваться относительно земной поверхности.

**Оборудование и материалы.** Широкое блюдо или тарелка с невысокими краями. Мелкая соль. Заостренная спичка или зубочистка. Пластин. Нитки. Табурет. Деревянная планка длиной около 0,5 м.

### **Инструкция.**

- Из пластилина скатайте небольшой шарик.
- С одной стороны к шарiku прикрепите нитку, а с другой стороны воткните в него заостренную спичку.
- Переверните табурет вверх ножками и поставьте его на стол.
- На две противоположные ножки табурета положите деревянную планку или подходящую линейку. Прикрепите к середине планки нитку с пластилиновым шариком.
- В середину табуретки поставьте тарелку.
- На тарелку по краям в виде валика тонким слоем насыпьте соль (рис. 5.1).
- Отрегулируйте длину нитки таким образом, чтобы спичка немного не доходила до дна тарелки.
- Отведите маятник в сторону за соляной валик и отпустите.



- Постепенно начинайте плавно, без рывков поворачивать табуретку вокруг ее собственной оси. Проследите за колебаниями маятника.

**Результат.** Поворот табуретки вместе с тарелкой повторяет эффект вращения Земли. При повороте табуретки маятник на соляном валике проходит не по одному и тому же следу, а немного в стороне. Причем, направление колебаний маятника не изменяется, он продолжает раскачиваться в той же плоскости, оставляя все новые следы на соляных валиках по мере поворота табуретки.

**Объяснение.** Вращение Земли передается всем неподвижным предметам, которые на ней находятся. Вместе с Землей против часовой стрелки медленно поворачиваются дома, а также табуретка с тарелкой и соляными валиками. Только маятнику это вращение не передается, поскольку он подвешен на гибкой нити, а не жестко прикреплен к Земле.

Плоскость колебаний маятника поворачивается в сторону, противоположную направлению вращения Земли.

На самом деле даже когда в эксперименте не будет поворачиваться табуретка с тарелкой, а будет покоиться на столе, маятник будет проходить не по одному и тому же следу, а немного в стороне. Только это смещение настолько маленькое, что увидеть его невозможно. Если бы наш маятник мог долго колебаться без остановки, то он вычертил бы на соляном валике полный оборот вокруг оси тарелки.

**Для сведения.** Вращение Земли вокруг собственной оси с помощью маятника в 1851 году убедительно доказал Жан Фуко. В Париже – в Пантеоне под куполом подвесили маятник (длиной 67 м), а под ним круг с делениями (рис. 5.2). При каждом следующем движении маятник оказывался на новых делениях. Это может произойти только в том случае, если поверхность Земли под маятником поворачивается. При каждом колебании маятник отклонялся на 3 мм. За 32 часа маятник сделал полный круг.

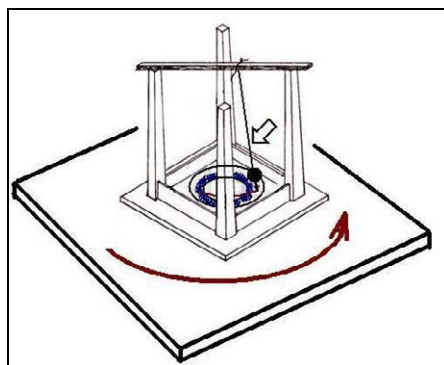


Рис. 5.1. Опыт Фуко в домашних условиях



Рис. 5.2. Маятник Фуко в парижском Пантеоне (видео 1 мин 44 с)

Находящийся на Земле и вращающийся вместе с ней наблюдатель заметит, что плоскость качаний маятника медленно поворачивается относительно Земли в сторону, противоположную вращению нашей планеты. На широте Минска за звездные сутки маятник описывает дугу в 290 градусов, то есть в час сдвигается на 12 градусов.

Для Северного полушария траектория движения груза маятника Фуко относительно Земли выглядит «звездочкой», показанной на рис. 5.3. Для наглядности на рисунке сильно преувеличен угол поворота плоскости качаний при каждом колебании маятника. Кривизна траектории направлена то в одну, то в другую сторону в зависимости от того, куда движется маятник, вперед или назад.

В северном полушарии плоскость колебаний маятника будет вращаться по часовой стрелке, а в южном полушарии — против часовой стрелки.

Можно и в домашних условиях проделать эксперимент не только с моделью, но и с настоящим маятником Фуко. Но где найти помещение с потолком не ниже хотя бы пять-шесть метров? Например, в вестибюле Минского государственного педагогического университета имени М. Танка установлен маятник Фуко (рис. 5.4). Сооружение представляет собой застекленную пирамиду общей высотой 7,5 м, внутри пирамиды подвешен шар. Наблюдая за работой маятника можно заметить, что во время колебаний маятника шар медленно поворачивается в сторону, противоположную от вращения нашей планеты.

Маятник Фуко получил распространение во многих странах. Существующие устройства в основном сконструированы по одному и тому же принципу и различаются между собой по техническим параметрам и дизайну площадок, на которых они установлены.

### **Вопросы.**

1. Чем знаменит Жан Фуко, кроме изобретения способа наглядного подтверждения вращения Земли вокруг собственной оси?

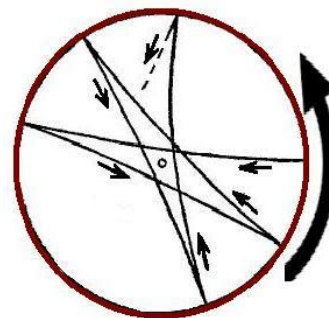


Рис. 5.3. Траектория маятника Фуко относительно Земли



Рис. 5.4. Маятник Фуко в Минске



Рис. 5.5. Жан Бернар Леон Фуко (видео 14 мин 38 с)

Кроме маятника, названного его именем, ученый спроектировал гироскоп, разработал метод измерения скорости света в воздухе и воде, а также создал один способ серебрения зеркал. За проведение опыта с маятником Фуко был удостоен Ордена Почетного легиона — высшей награды Франции. Биография и изобретения Фуко доступны по ссылке на рис. 5.5.

## 2. Как будет совершать колебания маятник Фуко на полюсах Земли?

На полюсах планеты плоскость качания маятника будет совершать полный оборот каждые сутки. Плоскость качания поворачивается точно на  $15^\circ$  каждый час.

## 3. Как бы повел себя маятник Фуко на земном экваторе?

На земном экваторе маятник Фуко качался бы по одной и той же линии. Скорость вращения плоскости качания была бы равна нулю.

4. Если бы в мировом пространстве, окружающем Землю, не было небесных светил — Солнца, звезд и Луны, мы бы не замечали вращения Земли. Как в этом случае можно было бы установить факт вращения Земли вокруг собственной оси?

Этот факт можно установить, воспользовавшись опытом Фуко.

## Эксперимент 6. День и ночь

**Факты.** Смена дня и ночи настолько привычна для людей, что многие не задумываются, почему так происходит и с чем это связано.

**Цель.** Показать причину смены дня и ночи.

**Оборудование и материалы.** Глобус. Лампа без абажура. Фигурка человека из пластилина.

**Инструкция.**

- В затемненной комнате установите на столе глобус (Земля) напротив включенной электрической лампочки без абажура («Солнце»).
- На освещенной части глобуса закрепите пластилиновую фигурку человека (рис. 6.1).
- Поверните глобус вокруг его оси на пол-оборота (рис. 6.2).

**Результаты.** Солнце освещает только повернутую к нему половину земного шара. На освещенной стороне — день. На теневой стороне — ночь. После поворота глобуса на  $180^\circ$  фигурка человека окажется в теневой зоне глобуса.

**Объяснение.** Когда Земля повернута к Солнцу одной из своих сторон, она в этой части получает большее количество света и тепла, следова-



Рис. 6.1. Демонстрация смены



Рис. 6.2. Вращение глобуса для демонстрации смены дня и ночи (видео 15 с)

тельно, на этой стороне нашей планеты наступает день. В это же время, сторона, противоположная Солнцу, находится в тени – там наступила ночь.

Причина смены дня и ночи заключается в суточном вращении Земли. Мы видим, как Солнце движется с востока на запад, но на самом деле это лишь отражение того факта, что Земля вращается вокруг собственной оси с запада на восток.

За сутки Земля совершает полный оборот вокруг своей оси, что и является причиной чередования смены дня и ночи в большинстве ее районов.

Наша планета наклонена к плоскости своей орбиты на  $23,4^\circ$ . Из-за этого районы вблизи Северного и Южного полюсов освещаются особым образом: на протяжении полугода на одном из полюсов царит полярная ночь, в то время как на другом – полярный день. Почему? На одном из полюсов Солнце просто не заходит за горизонт, а на другом оно вообще не появляется на горизонте (рис. 6.3).

Полярный день – период, когда Солнце многие сутки не опускается за горизонт. Чем дальше от полярного круга к полюсу, тем больше продолжительность полярного дня.

Полярная ночь – период, когда Солнце не появляется в течение суток над горизонтом. Наблюдается от полярного круга, где полярная ночь может продолжаться до 178 суток.

#### ***Для сведения.***

Количество часов в сутках обусловлено временем, за которое Земля совершает один оборот около своей оси – за 23 часа 56 минут и 4,1 секунды, что округляется до 24 часов.

Сутки условно делятся на периоды:

- утро – время, когда начинается рассвет на восточной части небосвода, и Солнце появляется из-за горизонта;
- день – промежуток времени, когда Солнце движется по небосклону с восточного края к западному;
- вечер – время, когда светило заходит на западе, и исчезают последние лучи заката;
- ночь – темное время суток, когда Солнце освещает обратную сторону земного шара.

#### ***Вопросы.***

1. Почему происходит смена дня и ночи?

Вследствие своего вращения вокруг оси Земля бывает обращена к Солнцу то одной, то другой своей стороной. Следовательно, и солнечные лучи падают то на одну, то на другую сторону земной поверхности. На стороне, обращенной к Солнцу, мы наблюдаем день, а на противоположной стороне – ночь.

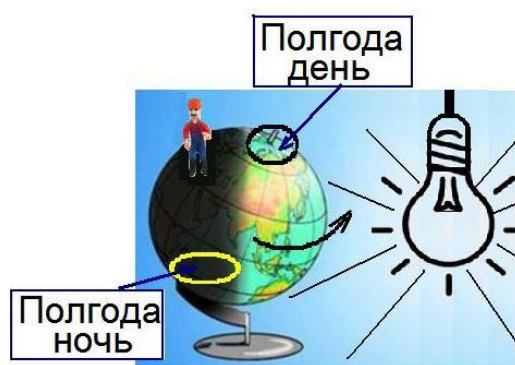


Рис. 6.3. Области на земном шаре с полярной ночью и полярным днем



2. Представьте, что земная ось установилась перпендикулярно плоскости орбиты Земли. Как изменилась бы продолжительность дня и ночи?

Именно благодаря наклону оси Земли день и ночь не делятся поровну. Если бы ось установилась перпендикулярно, то все земные участки получили бы по 12 часов темноты и света.

3. От чего зависит продолжительность дня на Земле?

Продолжительность дня зависит от географической широты места и от склонения Солнца.

## Эксперимент 7. Земная ось

**Факты.** Глобус – это модель Земли. Вы, конечно, заметили, что глобус может вращаться вокруг наклонной оси – рис. 7.1. Эта ось наклонена к основанию учебного пособия не случайным образом, а под определенным углом, чтобы показать наклон земной оси к плоскости орбиты Земли вокруг Солнца. Для Земли угол наклона оси составляет  $66^{\circ}33'$ .

**Цель.** Показать постоянство наклона земной оси при движении Земли по орбите.

**Оборудование и материалы.** Вам не раз приходилось ремонтировать свой велосипед: то заклеить камеру, то смазать подшипники. Оборудование, которое пригодится для эксперимента – это на время снятое переднее колесо велосипеда.

### Инструкция.

- Поверните велосипед вверх колесами, ключом освободите ось переднего колеса.
- Раскрутите свободное колесо рукой, чтобы оно быстро вращалось.
- Удерживая вращающееся колесо двумя руками за ось, извлеките его из передней вилки велосипеда.
- Не прилагая дополнительных усилий к колесу, а только поддерживая его, вместе с вращающимся колесом обойдите вокруг велосипеда – рис. 7.2. Обратите внимание, как будет направлена ось колеса.



Рис. 7.1. Глобус, вращающийся вокруг наклонной оси (анимация)

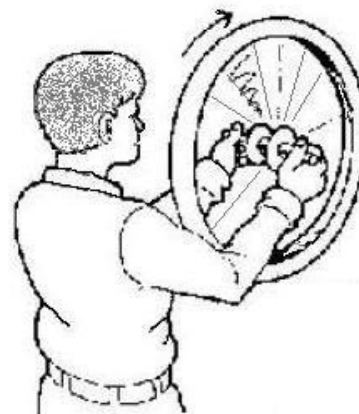


Рис. 7.2. Вращение колеса велосипеда

**Результаты.** Ось колеса во время перемещения остается параллельной самой себе и сохраняет свое положение в пространстве даже при условии движения по «орбите» вокруг велосипеда.

**Объяснение.** Наклон оси вращения – угол отклонения оси вращения небесного тела от перпендикуляра к плоскости его орбиты. Планеты вращаются вокруг Солнца по практически круговым орбитам, которые лежат почти в одной плоскости. В плоскости орбиты Земли лежит так называемая плоскость эклиптики, что очень близко к среднему показателю плоскостей орбит остальных планет. Из-за этого видимые пути планет, Луны и Солнца на небе пролегают поблизости линии эклиптики. Наклоны орбит начинают свой отсчет от плоскости эклиптики. Те углы, которые имеют наклон менее  $90^\circ$ , соответствуют движению против часовой стрелки (прямоугольному орбитальному движению), а углы, превышающие  $90^\circ$  – обратному движению.

В нашем эксперименте изначально угол наклона оси не составлял  $66^\circ 33'$ , так как мы раскрутили колесо, когда ось была практически параллельна уровню пола. Для того, чтобы выдержать такой угол нужен помощник: экспериментатор держит колесо за концы оси под нужным углом, а помощник раскручивает колесо.

Отметим, что эксперимент в описанном виде больше подходит к планете Уран, так как у него угол наклона оси вращения практически совпадает с плоскостью орбиты –  $97,86^\circ$ . Поэтому говорят, что эта планета – «лежебока», которая вращается на боку (рис 7.3). Планета как будто катится по своей околосолнечной орбите.

О наклоне земной оси и эллиптичности орбиты Земли в движении вокруг Солнца смотрите в видео «Вращение Земли вокруг Солнца» (рис. 7.4).

### Вопросы.

Проведем мысленный опыт, который состоит в том, что мы поместим ось Земли в плоскость ее орбиты.

1. Как в этом случае будет перемещаться Земля по орбите?

В этом случае Земля будет обходить Солнце «лежа», вращаясь вокруг оси примерно так, как вращается далекий член нашей планетной семьи – Уран.

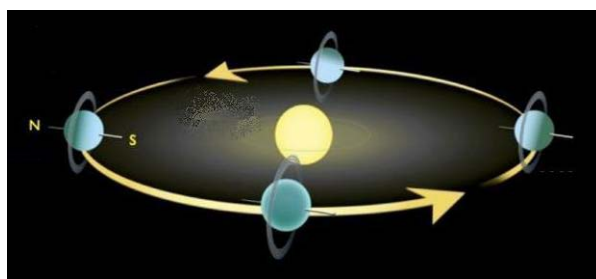


Рис. 7.3. Движение планеты Уран по орбите

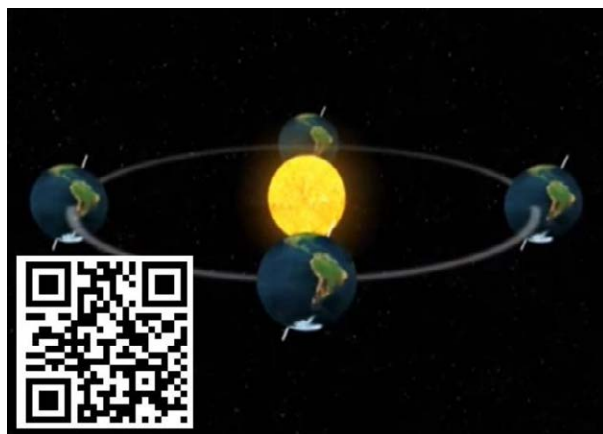


Рис. 7.4. Вращение Земли вокруг Солнца  
(видео 3 мин 41 с)

## 2. Что произойдет на Земле?

Если бы ось Земли располагалась в плоскости эклиптики, как это имеет место в случае Урана, то картина была бы примерно следующей. На полюсах Солнце спирально поднималось бы вверх к самому зениту, а затем таким же образом спускалось к горизонту, чтобы на полгода исчезнуть в небе полушария наблюдателя. Когда Солнце будет подниматься к зениту, то в приполярных районах будет устанавливаться тропическая жара. В средних широтах с началом весны станут увеличиваться дни; спустя некоторое время там установится непрерывный день, который будет длиться столько суток, сколько градусов содержит удвоенная широта местности. С наступлением зимы картина станет обратной. На экваторе день всегда равнялся бы ночи. Кроме того, на всей планете не было бы точки, где Солнце не побывало бы в течение года в зените.

## Эксперимент 8. Прецессия земной оси

**Факты.** Древние астрономы отмечали, что с течением времени положение звезд на небе в одно и то же время года медленно менялось. Кроме того, они отметили еще более заметное явление смещения северного полюса неба. Наша Полярная звезда только временно может служить звездой, указывающей на северный полюс, хотя движение полюса за время человеческой жизни ничтожно мало. В то время, когда строились египетские пирамиды, Полярной звездой была  $\alpha$  Дракона (Тубан), лежащая примерно на расстоянии  $25^\circ$  от нашей Полярной звезды.



Рис. 8.1. Волчок из пластмассовой пробки

**Цель.** Продемонстрировать движение земной оси. Выявить причину «миграции» Северного полюса мира.

**Оборудование и материалы.** Пластиковая крышка от бутылки для напитков. Тонкая заостренная палочка. Пластилин.

### **Инструкция.**

- Если не найдете детскую игрушку волчок, то изготовьте его самостоятельно. Прodelайте шилом или острым концом ножниц отверстие в центре крышки; вставьте в отверстие палочку, так чтобы заостренный конец палочки немного выступал из крышки (рис. 8.1). Заполните пластилином внутреннюю часть крышки. От тщательности изготовления волчка будут зависеть его динамические качества.
- Удерживая палочку пальцами за длинный конец, раскрутите ее и поставьте волчок на стол. Если волчок сразу же падает – значит, отверстие было сделано не по центру.

- Пронаблюдайте особенности вращения волчка – рис. 8.2. Подождите, пока его вращение начнет замедляться.

### **Результаты.**

Первоначально ось вращения волчка вертикальна. Затем верхняя точка его оси постепенно начинает описывать круги, а в конце вращения движется по расходящейся спирали – рис. 8.3. Когда скорость вращения становится недостаточно большой, ось волчка по крутой спирали удаляется от вертикали, и волчок падает.

**Объяснение.** Из-за трения угловая скорость собственного вращения уменьшается – это причина падения волчка.

Земля – это своеобразный волчок. Ее ось – воображаемая линия, проходящая через Южный ( $S$ ) и Северный ( $N$ ) полюс – при движении Земли вокруг Солнца в пространстве направлена на Полярную звезду. Ось Земли также как и наш волчок описывает круги, только очень медленно. Такое движение земной оси в пространстве называется прецессией (рис. 8.4). Земная ось описывает конус в пространстве примерно каждые 26 тыс. лет.

**Для сведения.** Но если волчок в нашем эксперименте успевает завершить немного круговых движений, то земная ось совершает один оборот по кругу почти за три десятка тысяч лет! То есть, земная ось за такой промежуток времени вернется в прежнее положение – к Полярной звезде.

На рис. 8.5 показан полный цикл прецессии земной оси за один оборот. От Полярной звезды (куда нацелена сейчас земная ось) она перейдет к звезде  $\gamma$  Цефея, потом к  $\beta$  Цефея, к Денебу и только через 14 тыс. лет земная ось максимально удалится от Полярной звезды и приблизится к звезде Вега. Далее ось подойдет к Тубану и проходя Кохаб вернется в исходное положение. Демонстрация прецессии с помощью специального прибора показана на рис. 8.6.

Как видим, колебание оси вращения Земли влечет изменение положения звезд относительно сетки координат в астрономических атласах.



Рис. 8.2. Наблюдение вращения волчка  
(видео 1 мин 44 с)

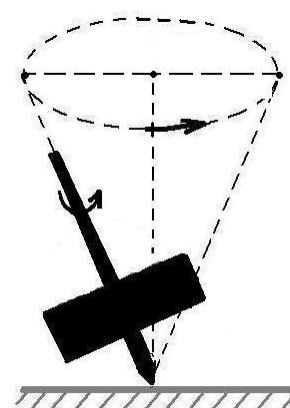


Рис. 8.3. Движение оси волчка



Рис. 8.4. Схема прецессии земной оси

Прецессия земной оси происходит из-за гравитационного воздействия на Землю Солнца и Луны.

С прецессией напрямую связан другой эффект, показанный на рис. 8.7, – это нутация, – когда во время прецессии ось вращающейся Земли совершает колебательные движения с определенным размахом (амплитудой). Нутации Земли имеют период 18,6 лет, их максимальная амплитуда (максимальный угол) составляет около 9 угловых секунд.

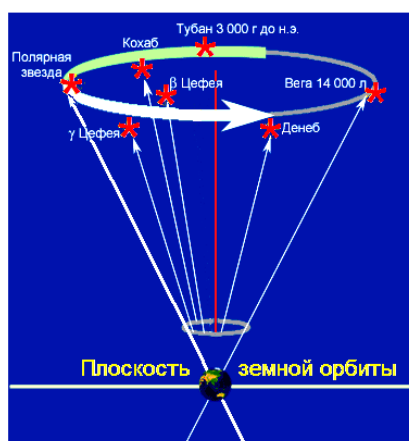


Рис. 8.5. Прецессия земной оси среди звезд



Рис. 8.6. Демонстрация прецессии земной оси с помощью специального прибора (видео 3 мин 2 с)

### Вопросы.

1. Наблюдая вращение волчка, вы обратили внимание на то, что его ось практически не бывает неподвижна. Почему?

Под действием силы земного тяготения, в соответствии с законами вращательного движения, ось волчка перемещается, описывая коническую поверхность.

2. Как прецессия влияет на смещение точки весеннего равноденствия?

Следствием прецессии является постепенное смещение точки весеннего равноденствия навстречу видимому движению Солнца на  $50,3''$  в год. По этой причине Солнце ежегодно вступает в точку весеннего равноденствия на 20 мин раньше, чем оно совершает полный оборот на небе.

3. Влияет ли прецессия и нутация на положение оси в теле Земли?

Прецессия и нутация изменяют лишь ориентировку оси вращения Земли в пространстве и не влияют на положение этой оси в теле Земли. Поэтому ни широты, ни долготы мест земной поверхности из-за прецессии и нутации не изменяются.



Рис. 8.7. Прецессия и нутация земной оси



## Эксперимент 9. Вращение небесной сферы

**Факты.** Известно, что Земля вращается вокруг своей оси. Это явление вызывает суточное видимое движение звезд и других небесных светил.

**Цель.** Проверить существование суточного видимого движения звезд.

**Инструкция.**

- Дождитесь, когда Солнце скроется за горизонтом и на небе появится множество звезд.
- Выберите в южной части неба какую-нибудь яркую звезду и заметьте ее положение относительно любого неподвижного объекта на Земле, например, верхушки дерева, трубы или столба (положение 1 на рис. 9.1).
- Устройте себе небольшой перерыв на 20–30 минут, и возвращайтесь на ваш пункт наблюдений. Сядьте в том же положении и на том же месте.
- Найдя «свою» звездочку, вам не трудно будет заметить, что она сместилась от дерева вправо и вверх – положение 2 на рис. 9.1. Все остальные звезды повели себя примерно также – они сместились относительно земного ландшафта.

**Результаты и вывод.** Из наблюдений следует, что звезды восходят на восточной стороне горизонта и заходят на западной стороне горизонта, то есть они движутся слева направо по ходу часовой стрелки как единое целое (если стать лицом к южной стороне). Если стоять лицом к северу, то вращение небесной сферы будет против часовой стрелки. При внимательном рассмотрении можно заметить, что Полярная звезда почти не меняет своего положения относительно горизонта. Вызвано кажущееся движение небесной сферы тем, что Земля вращается вокруг своей оси в противоположную сторону, то есть с запада на восток.

Суточное вращение звездного неба на средних широтах показано в видео, ссылка на файл приводится на рис. 9.2.



Рис. 9.1. Наблюдение вращения небесной сферы (северное полушарие Земли, южная сторона неба):  
1 – положение выбранной звезды в начале наблюдения;  
2 – положение звезды через некоторое время

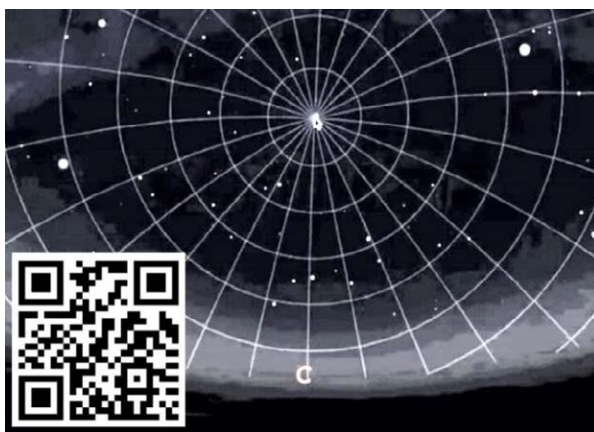


Рис. 9.2. Суточное вращение звездного неба на средних широтах (видео 2 мин 21 с)

### Вопросы.

1. В древности, наблюдая суточное вращение неба, люди сделали глубоко ошибочный вывод, что звезды, Солнце и планеты ежесуточно обращаются вокруг Земли. Кто из ученых первым установил истинную причину вращения звездного неба?

Это установил в XVI веке Николай Коперник. В видимое вращение звездного неба – только отражение суточного вращения Земли вокруг своей оси.

2. На рис. 9.3 представлены два изображения созвездий Большой и Малой Медведицы, показывающие их положение в разное время суток. Определите, через какой промежуток времени произошло изменение их положения относительно горизонта?



Рис. 9.3. Изменение положения созвездий

На кальку нанесите линии, соединяющие Полярную звезду и крайние звезды «ковша» Большой Медведицы. Транспортиром измерьте угол между направлениями. Время, в течение которого произошло это изменение, равно углу поворота, деленному на  $15^\circ$ .

3. В каком месте на Земле суточное движение звезд происходит параллельно плоскости горизонта?

На полюсах.

4. Где бы вы искали Полярную звезду, если бы вы находились на Северном полюсе Земли?

На горизонте.

## Эксперимент 10. Высота светила

**Факты.** В основе астрономии лежат наблюдения, производимые с Земли. При астрономических наблюдениях удобно определять положение светил по отношению к горизонту. Угловое расстояние звезды по отношению к плоскости горизонта называется высотой светила  $h$  – рис. 10.1.

Измерения высоты светила выполняют специальными угломерными инструментами. Одним из древних инструментов, применяемых для определения высоты светила является квадрант (рис. 10.2).

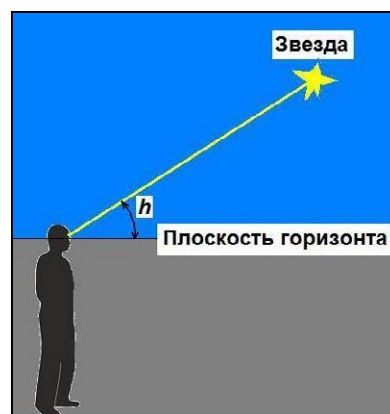


Рис. 10.1. Высота светила над горизонтом обозначается буквой  $h$

В простейшем варианте квадрант представляет собой плоскую доску в форме четверти градуированного круга. Около центра с этого круга вращается подвижная линейка с двумя диоптрами (иногда линейку заменяли трубкой). Если плоскость квадранта вертикальна, то по положению трубы или визирной линейки, направленной на светило, легко измерить его высоту над горизонтом. В тех случаях, когда вместо четверти круга использовали его шестую часть, инструмент назывался секстантом, а если восьмую часть — октантом.

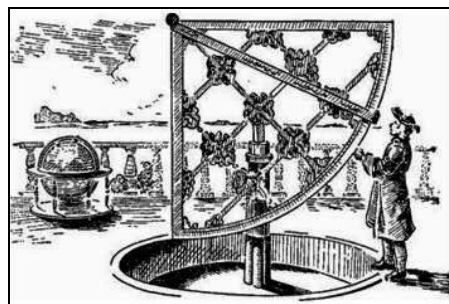


Рис. 10.2. Старинный астрономический инструмент — квадрант

**Цель.** Понять принцип измерения одной из основных координат в астрономии — высоты светила — с помощью самодельного простейшего квадранта.

**Оборудование и материалы.** Бумага. Плотный картон. Циркуль. Транспортир. Линейка. Карандаш. Отвес. Прямая трубка от коктейля. Клей.

#### **Инструкция.**

- Используя циркуль, транспортир и линейку на листе бумаги вычерчиваем шкалу квадранта (рис. 10.3) и наклеиваем ее на плотный картон.
- На шкалу приклеиваем трубку для коктейля (визир) и крепим отвес (небольшой грузик на нитке). При сборке модели квадранта руководствуемся рис. 10.4.
- Наблюдая через трубку-визир какой-либо небесный объект, фиксируем высоту светила по нити отвеса на шкале квадранта. Возможно, для этого на первых порах понадобится помощь другого человека.

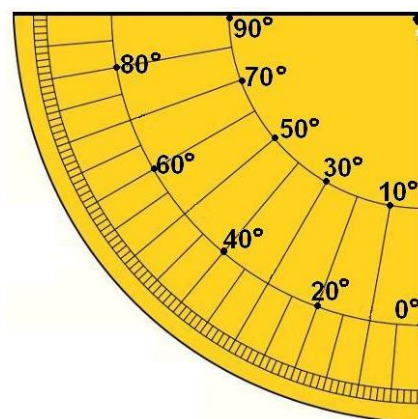


Рис. 10.3. Шкала самодельного квадранта



Рис. 10.4. Сборка модели квадранта

**Предостережение!** Нельзя смотреть на Солнце даже сквозь маленькие отверстия. Для определения высоты Солнца, нужно найти такое положение, чтобы солнечный луч проходил через трубку-визир, а на экране в момент измерения было яркое солнечное пятно.

**Результаты.** Высота светил отсчитывается от  $0^\circ$  (светило находится на горизонте) до  $90^\circ$  (светило над головой).



**Объяснение.** Из рис. 10.4 видно, что угол высоты светила ( $h$ ) равен углу между нитью отвеса и стороной квадранта (как углы с взаимно перпендикулярными сторонами).

Ранее в астрономических обсерваториях использовались большие квадранты. Дуга квадранта подразделялась на доли градусов и давала возможность отсчитывать направления на светила с точностью до десятых долей минуты дуги.

**Для сведения.** В восточных странах самыми крупными были квадрант Бируни с радиусом окружности шкалы 7,5 м, а также инструмент обсерватории Улугбека в Самарканде (радиус окружности 40,2 м). Эти инструменты обеспечивали высшую точность измерений для своего времени.

В 1667 году французский астроном Ж. Пикар впервые присоединил к квадранту подзорную трубу, что позволило увеличить точность измерений.

Иногда инструменты для измерения высоты светила над горизонтом дополняли устройствами для измерения азимута светила. Положение светила относительно сторон горизонта указывалось с помощью второго угла (азимута), который может меняться в пределах от 0 до 360° (отсчет ведется от точки юга по ходу часовой стрелки) – рис. 10.5. Попутно заметим, что в геодезии, наоборот, азимут наземного объекта отсчитывается от точки севера.

Строго говоря, в астрономии азимут – дуга математического горизонта от точки юга до вертикального круга светила или угол между полуденной линией и линией пересечения плоскости математического горизонта с плоскостью вертикального круга светила.

Инструменты обсерватории Улугбека были показаны в одной из телепередач канала НТВ (ссылка на видео – рис. 10.6).

На рис. 10.7 показана схема простого угломерного инструмента для измерения высоты и азимута светила, предложенного С. Данлопом. Высота отсчитывается с помощью отвеса, азимут определяется по шкале горизонтального круга, который вращается вместе с вертикальной стойкой.

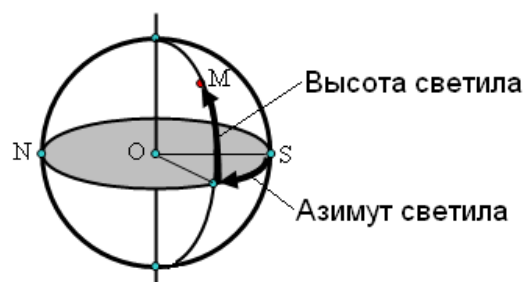


Рис. 10.5. Высота и азимут светила – основные координаты горизонтальной системы координат



Рис. 10.6. Обсерватория Улугбека (видео 2 мин 24 с)

### Вопросы.

1. В квадранте шкала инструмента рассчитана на  $90^\circ$ . На сколько градусов рассчитана шкала в секстанте и октанте?

В секстанте –  $60^\circ$ , в октанте –  $45^\circ$ .

2. В горизонтальную систему координат входят высота и азимут светила. Какие достоинства и недостатки этой системы координат?

Достоинство горизонтальной системы координат: легко ориентироваться. Недостаток ее: обе координаты светила изменяются в течение суток. Поэтому эти координаты не годятся для составления звездных карт, атласов и каталогов небесных светил.

3. Чему равна высота Полярной звезды над горизонтом?

Высота Полярной звезды над горизонтом равна географической широте местности. Если вы производили измерения в г. Минске, то  $h = \varphi \approx 54^\circ$ .



Рис. 10.7. Схема угломерного инструмента для измерения высоты и азимута светила

## Эксперимент 11. Гномон и полуденная линия

**Факты.** Удивительно, но самым древним астрономическим инструментом стала обыкновенная палка, воткнутая в землю. И что здесь особенного? Следует обратить внимание, что различные столбы и столбики, опоры электрических и телефонных линий, деревья и здания в солнечный день отбрасывают тени (рис. 11.1).

Замечено, что длина тени в течение дня меняется. Утром и вечером она длиннее, а в полдень – короче. Изменение длины тени гномона показано в мультипликации на рис. 11.2.

В нашем эксперименте рассмотрим, как решаются некоторые практические астрономические задачи с помощью простейшего инструмента, который издавна называют гномоном (происходит от греческого – указатель).

**Цель.** Показать, как можно с помощью гномона определить астрономический полдень и направление «север–юг».

Астрономический полдень – это момент, когда Солнце выше всего поднимается над горизонтом (а не в



Рис. 11.1. В солнечный день все предметы образуют тени

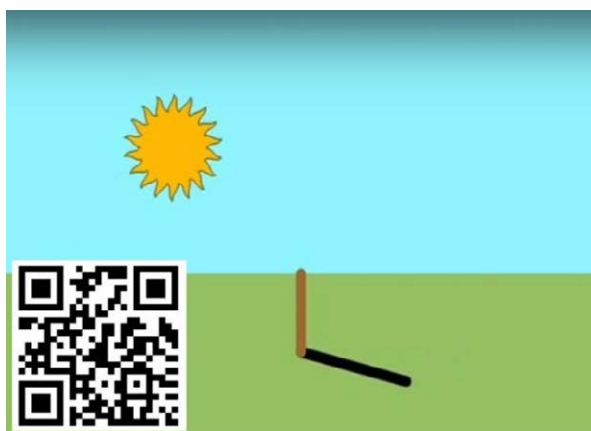


Рис. 11.2. Изменение длины тени гномона (видео 9 с)

12 часов по часам). Направление «север–юг» в астрономии называют полуденной линией.

**Оборудование и материалы.** Гномон – шест или рейка длиной 1–1,5 м. 10–12 колышков. Отвес.

**Инструкция.**

- На открытом горизонтальном участке установите вертикально по отношению к земле шест; для проверки вертикальности гномона воспользуйтесь отвесом.
- Запаситесь терпением и эксперимент начинайте с самого утра. Через равные промежутки времени (например, через каждый час), отмечайте колышками точки окончания тени (рис. 11.3).
- Проследите в течение дня за тенью, отбрасываемой гномоном.
- Обратите внимание на самую короткую тень, отбрасываемую гномоном.

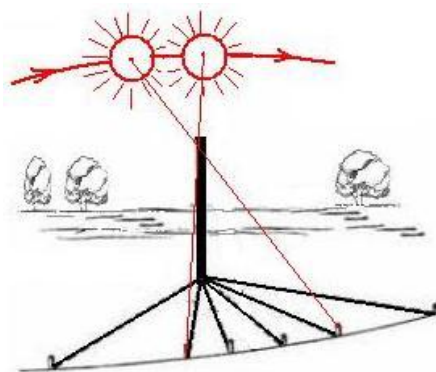


Рис. 11.3. Отметка длины тени гномона колышками в течение дня

**Результаты.** Тень от гномона меняется не только по длине, но и по направлению. Ближе к полудню тень от гномона становится все короче.

**Объяснение.** Известно, что магнитный меридиан не совпадает с географическим, и стрелка компаса не указывает точно на точку юга. Более надежный способ связан с наблюдением суточного движения Солнца. В истинный полдень Солнце находится строго над точкой юга и достигает наибольшего возвышения над горизонтом. В этот момент все тени вертикальных предметов становятся наиболее короткими и направлены строго на точку севера, то есть по наименьшей длине тени гномона определяется направление на север.

Таким образом, в момент истинного полдня тень гномона расположится вдоль линии «юг–север», которая в астрономии называется полуденной линией. Следовательно, зная момент истинного полдня и пронаблюдав за тенью гномона, мы отыщем положение полуденной линии (рис. 11.4). Найдя же положения точек юга (S) и севера (N), мы определим также положение на горизонте точки запада (W) и точки востока (E).

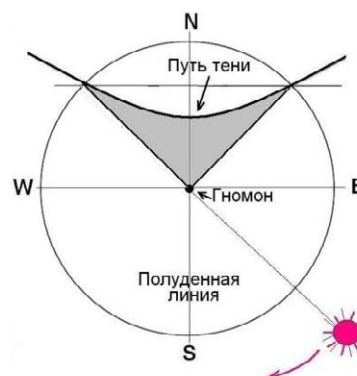


Рис. 11.4. Нахождение полуденной линии

*Для сведения.* Если наблюдать за длиной полуденной тени, отбрасываемой шестом гномона в течение года, то можно обратить внимание, что в сентябре тень от шеста одной длины, в октябре она стала длиннее, в ноябре еще длиннее и в двадцатых числах декабря самая длинная в году. С конца декабря тень от шеста опять, укорачивается.

Что можно определить с помощью гномона?

1) Можем определить, где находятся север, юг, запад и восток (когда тень имеет наименьшую длину, она всегда указывает на север).

2) Когда наступает местный полдень (в момент, когда тень гномона имеет наименьшую длину).

3) Сколько длятся солнечные сутки (временной интервал, разделяющий два последовательных полудня, равный 24 часам).

4) Положение Солнца во время восхода над горизонтом каждый день изменяется: оно постепенно смещается от точки востока (E) – весеннего равноденствия – до точки, расположенной ближе к северу (N) – летнего солнцестояния, откуда вновь движется на восток (до точки осеннего равноденствия) и продолжает двигаться на юг (S) до точки, где направление движения вновь меняется (точки зимнего солнцестояния), затем возвращается на восток, и весь цикл повторяется сначала – рис. 11.5.

5) Положение Солнца в момент заката меняется аналогичным образом, но на этот раз точка захода Солнца смещается вокруг точки запада (W). Так стало возможным определить год как временной интервал между двумя весенними равноденствиями.

6) Продолжительность светового дня также постоянно меняется. День зимнего солнцестояния – это самый короткий световой день в году, а тень гномона в полдень этого дня – самая длинная в году. День летнего солнцестояния – это самый длинный световой день в году, а тень гномона в полдень этого дня – самая короткая в году.

Таким образом, вместе со сменой времен года изменяется положение Солнца в момент восхода (и заката) на линии горизонта. Каждый день высота Солнца над горизонтом меняется в зависимости от времени года. Гномон (по др.-греч. указатель) – астрономический инструмент, вертикальный предмет (стела, колонна, шест), позволяющий по наименьшей длине его тени (в полдень) определить угловую высоту Солнца. Кратчайшая тень указывает и направление истинного меридиана. Гномоном также называют часть солнечных часов, по тени от которой определяется время в солнечных часах. Искусство конструирования и изготовления гномонов и солнечных часов называется гномоникой.

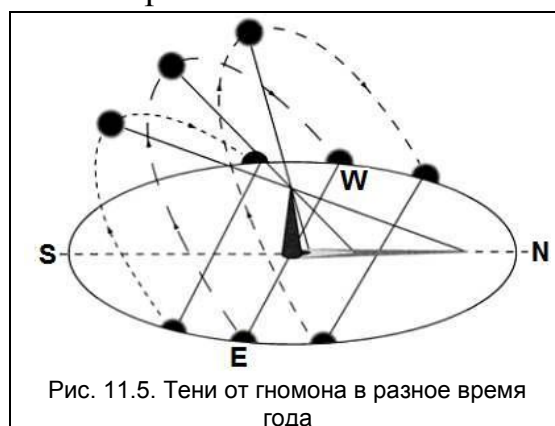


Рис. 11.5. Тени от гномона в разное время года



По ссылке (рис. 11.6) познакомьтесь с обелиском-гномоном, установленном на площади Святого Петра в Ватикане. На сайте работает web-камера, изображение с которой обновляется с периодичностью до нескольких минут.

### **Вопросы.**

1. Почему магнитный меридиан не совпадает с географическим?

Наша Земля имеет два географических полюса, обозначающих оба конца оси вращения планеты, — северный и южный. Именно к ним сходятся в одну точку географические меридианы, прочерчиваемые дугами глобус или прямыми линиями увеличенную карту местности. Наша планета окутана геомагнитным полем, силовые линии которого аналогично имеют полюса — северный и южный, но их точки постоянно смещаются относительно географических координат. Поэтому стрелка магнитного компаса не указывает на географический север. Северный магнитный полюс находится примерно в 560 км (для эпохи 2010 года) от географического, кроме того, магнитные полюса постоянно дрейфуют. Если же поблизости присутствуют сильные локальные магнитные аномалии, то стрелка компаса в этом случае не будет указывать и на магнитный полюс.

2. От чего зависит точность измерения гномоном?

Для точности измерения значение имеет высота гномона — чем он выше, тем длиннее отбрасываемая им тень, что повышает точность измерения. Тем не менее, точность гномона в принципе невелика, так как угловой диаметр Солнца приблизительно равен  $30'$ , а использовать гномон для измерения по звездам невозможно.



Рис. 11.6. Обелиск-гномон в Ватикане (web-страница с онлайн камерой)

## **Эксперимент 12. Экваториальные солнечные часы**

**Факты.** Появление солнечных часов связано с моментом, когда человек осознал взаимосвязь между длиной и положением солнечной тени от тех или иных предметов и положением Солнца на небе. В настоящее время солнечные часы по прямому назначению практически не используются, и уступили место различным видам других часов (механических, электронных).

Все разновидности солнечных часов имеют два основных элемента конструкции: циферблат (кадран) и гномон (указатель), то есть та часть часов, которая отбрасывает тень.

У экваториальных (отсюда следует название) солнечных часов плоскость циферблата параллельна земному экватору, а гномон параллелен земной оси и направлен на Полярную звезду.

**Цель.** Изучить устройство и принцип действия экваториальных солнечных часов.

**Инструменты и материалы.** Бумага. Картон. Клей. Скотч. Транспортир. Карандаш. Ножницы.

**Инструкция.**

- Изготовление циферблата. Так как Солнце движется по небесной сфере практически равномерно, тень от гномона за каждый час будет смещаться на угол, равный  $15^\circ$  ( $360^\circ : 24 = 15^\circ$ ). Поэтому часовые деления на циферблат наносятся также, как и в обычных часах, только отметок нужно не 12, а 24. Бумажный квадратный циферблат солнечных часов показан на рис. 12.1. Заметим, что от размеров циферблата зависит размер часов в целом.

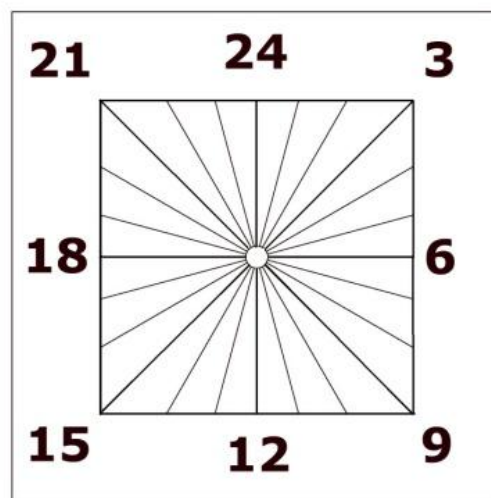


Рис. 12.1. Циферблат экваториальных часов

- Подставка (основание) для часов. На лист картона наклеиваем готовый циферблат. Форма выкройки основания часов представлена на рис. 12.2. Вычерчиваем боковые стенки подставки. Плоскость циферблата должна быть наклонена относительно уровня земли на угол равный  $90^\circ - \varphi$  ( $\varphi$  – широта местности). Поэтому нужно точно выдержать угол наклона основания часов по отношению к горизонту.

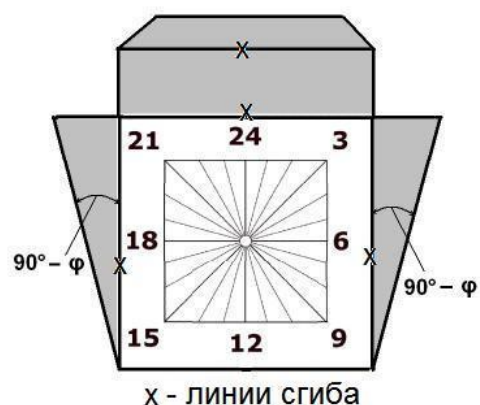


Рис. 12.2. Выкройка основания экваториальных солнечных часов

Географическая широта Минска и областных городов Беларуси (с точностью до 1 градуса) приводятся в табл. 12.1.

Таким образом, подставка придает часам необходимый угол наклона. Угол наклона циферблата определяется для каждой местности отдельно. Например, для Минска угол будет составлять  $90^\circ - 54^\circ = 36^\circ$ . Для часов, установленных в Ялте ( $\varphi = 45^\circ$ ) угол наклона также будет равным  $45^\circ$ .

*Таблица 12.1*

Географические координаты городов

Город	Широта, $\varphi$ (градусы с. ш.)	Наклон циферблата, $90^\circ - \varphi$ (градусы)
Минск	$54^\circ$	$36^\circ$
Брест	$52^\circ$	$38^\circ$

Витебск	55°	35°
Гомель	52°	38°
Гродно	54°	36°
Могилев	54°	36°

- **Сборка часов.** Подгибаем боковые стенки и клапан, чтобы сформировать подставку для часов, как показано на рис. 12.3. Изнутри скрепляем стенки скотчем. В центре циферблата (перпендикулярно к его плоскости) закрепляем гномон. Гномон можно изготовить из подходящей деревянной палочки, скатанной в трубочку бумаги или карандаша.
- **Установка часов.** Часы ставятся на любой высоте в месте как можно более открытом, не защищенном от солнечных лучей строениями, деревьями. Схема установки часов показана на рис. 12.4. Часы располагаются в направлении юг (проекция цифры «24» на горизонтальную плоскость) – север (цифра «12»). Время читается на циферблате по тени, отбрасываемой гномоном.
- В течение дня наблюдайте за тенью от гномона. Отметьте длину тени и время (по обычным наручным часам), когда тень от гномона будет попадать на цифру «12».

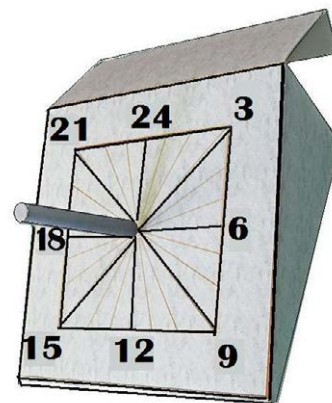


Рис. 12.3. Крепление гномона на основание солнечных часов

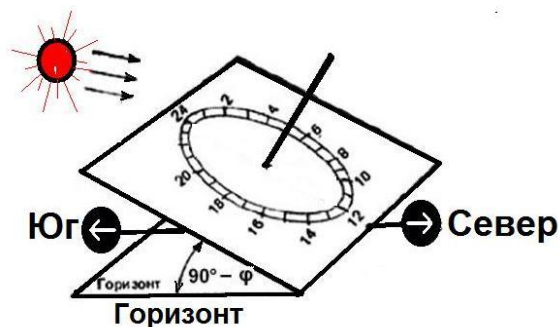


Рис. 12.4. Ориентирование солнечных часов по сторонам горизонта

Мастер-класс по изготовлению экваториальных солнечных часов представлен на web-странице проекта «КАРТОНКИНО» (рис. 12.5).

**Результаты.** Самой короткой тени указателя солнечных часов – гномона – соответствует цифра «12». В этот момент стрелки обычных часов полдень не показывают. Собранные солнечные часы показаны на рис. 12.6. Оформление циферблата может быть самым различным. Например, ученик свои экваториальные солнечные часы с круглым циферблатом украсил деталями старого будильника (рис. 12.7). Символично – механический будильник сломался, а в солнечных часах нет подвижных деталей и ломаться нечему.

**Объяснение.** Истинное солнечное время — это система счета времени, в котором сутки равны интервалу между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через южную часть небесного меридиана (нижними кульминациями, когда Солнце находится строго над точкой юга).

Истинное солнечное время, таким образом, определяется истинным положением Солнца на небесной сфере. Солнечные часы показывают местное истинное солнечное время, а мы пользуемся средним поясным временем. В ходе эксперимента выяснилось, что истинный полдень в данной местности и официальный (гражданский) полдень, фиксируемый по часам, не совпадают. Почему это происходит?



Рис. 12.5. Мастер-класс по изготовлению экваториальных солнечных часов (web-страница)

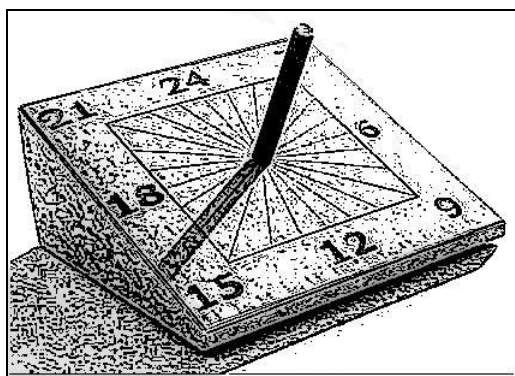


Рис. 12.6. Готовые экваториальные солнечные часы с квадратным циферблатом



Рис. 12.7. Экваториальные солнечные часы с круглым циферблатом

Рассмотрим *первую причину*. В соответствии со вторым законом Кеплера Земля вращается вокруг Солнца с переменной скоростью. Следовательно, в разные периоды движение Солнца, видимое с Земли, будет отличаться. И эта особенность движения Солнца стала огромной проблемой при изготовлении механических часов: сконструировать механизм, в котором длительность часов различалась бы в зависимости от времени года, непросто. Тогда было найдено более простое решение: ученые определили так называемое мнимое (среднее) Солнце, которое следовало вдоль той же траектории, что и настоящее, но с постоянной скоростью. Чтобы определить среднее солнечное время астрономами используются наблюдения не самого солнечного диска, а звезд. Также по звездам определяется сидерическое (от лат. *siderius* – звезда или созвездие) время. Используя специальные математические формулы можно рассчитать среднее солнечное время.



Различие между положением двух солнц обычно приводится в астрономических календарях в виде таблиц или графиков. Разность между средним солнечным временем и истинным солнечным временем в один и тот же момент определяется уравнением времени – рис. 12.8. Из уравнения времени видим, что разница во времени между реальным и мнимым Солнцем не превышает четверти часа. Но именно эта разница заставляет неопытного наблюдателя думать, что солнечные часы показывают неверное время. К примеру, по уравнению времени мы видим, что 12 февраля солнечные часы отстают от наручных на 14 мин, а 3 ноября спешат на 16,5 мин.

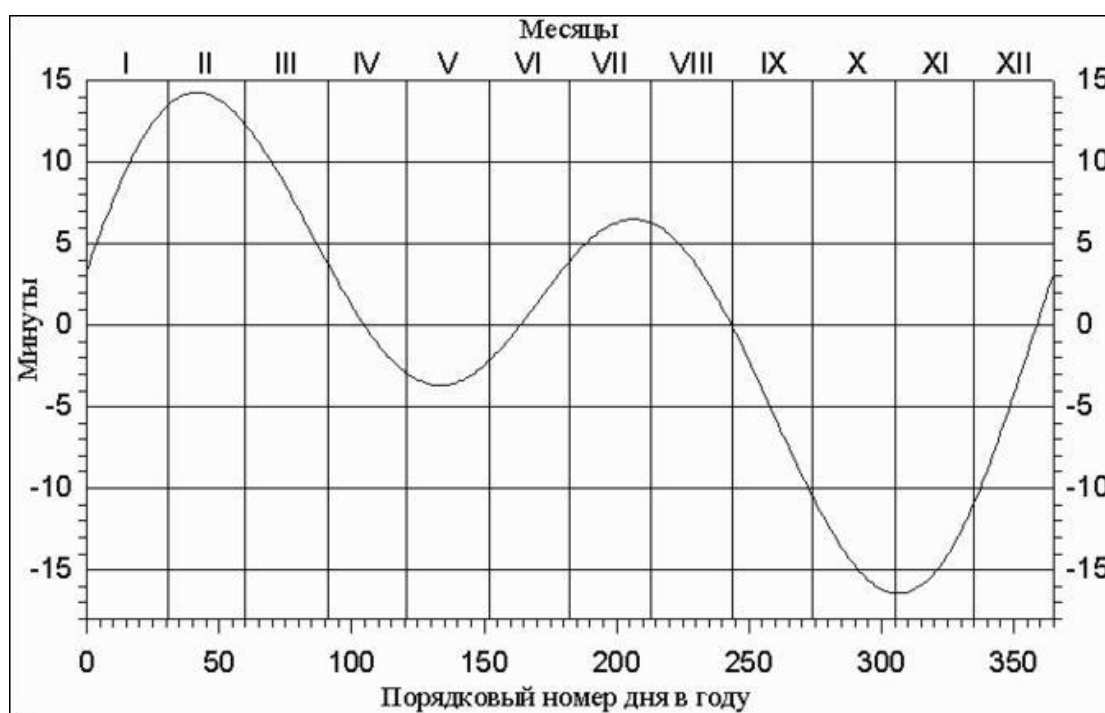


Рис. 12.8. Уравнение времени

Четыре раза в год уравнение времени равно нулю. Это происходит примерно 14 апреля, 14 июня, 2 сентября и 24 декабря.

Как видим, разница здесь небольшая и, согласно уравнению времени, будет заметна в феврале и ноябре.

*Вторая причина* несоответствия в ходе часов (основная). В действительности солнечные часы указывают реальное время в точке наблюдений, а наручные часы – общее время для всей страны или определенного региона. Этим регионом может быть часть страны или даже сразу несколько небольших стран, граничащих друг с другом. К примеру, практически во всей Западной Европе используется время Гринвичского меридиана.

Понятно, что верхняя часть циферблата вряд ли пригодится, разве только жителям Заполярья, когда наступит полярный день, и Солнце будет светить круглосуточно.

*Для сведения.* Экваториальные часы имеют характерную особенность. Они будут действовать с конца марта по 20–23 сентября, то есть от дня весеннего равноденствия до дня осеннего равноденствия (в Северном полушарии весеннее равноденствие – в марте, осеннее – в сентябре, в Южном полушарии весеннее равноденствие – в сентябре, осеннее – в марте). В остальную часть года они работать не будут, поскольку Солнце будет находиться по другую сторону от плоскости небесного экватора, и вся верхняя поверхность циферблата будет в тени.

Конечно, этот недостаток можно устранить, если сделать циферблат в виде пластины, нанести часовые деления и на верхнюю, и на нижнюю поверхность, а гномон продолжить под пластину, но и тогда в дни, близкие к дню весеннего или осеннего равноденствия солнечные часы опять-таки не будут работать – Солнце будет светить на пластину не сверху и не снизу, а в ребро (сбоку). Старинные экваториальные часы с двусторонним мраморным циферблатом, установленные в Пекине, показаны на рис. 12.9. На



Рис. 12.9. Старинные экваториальные солнечные часы (Пекин)

фото хорошо видно, что тень от гномона падает на нижнюю часть кадра.

К лету Солнце поднимается все выше и выше, и по длине тени можно судить о времени года или даже месяце. Поэтому экваториальные часы легко дополнить календарем, начертив на циферблате концентрические окружности, соответствующие месяцам (шесть на одной стороне и шесть на другой), и разместив на гномоне шар или отверстие, способное проецировать на циферблат точку. В отличие от гномона, отбрасывающего тень в виде линии, любое устройство, проецирующее на циферблат точку, называется *нодусом*.

Если хотите, чтобы ваши экваториальные часы работали и зимой, сделайте так, чтобы гномон прошел насквозь через циферблат, он будет служить опорой в его наклонном положении, а на нижней стороне основания начертите второй (зеркальный) циферблат – на нем цифра «6» будет слева, а «18» – справа. Боковые стенки придется убрать, а сами часы будут выглядеть подобно тем, что изображены на рис. 12.4 и 12.9.

Разумеется, что существует множество способов конструктивного оформления экваториальных часов и если вы разобрались с принципом их действия, то сможете построить собственные оригинальные часы у себя на школьном дворе, в лагере, парке или на даче.

Эстетическая и художественная сторона, воплощенная в солнечных часах, поистине феноменальна. На рис. 12.10 представлен современный дизайн экваториальных солнечных часов в Шанхае.

Если вам захочется, чтобы изготовленные в ходе эксперимента экваториальные солнечные часы показывали не только время «солнечное», но и обычное по которому мы живем, то вооружитесь часами и наряду с уже имеющимся циферблатом нанесите вторую шкалу времени.



Рис. 12.10. Экваториальные солнечные часы (Шанхай)

### **Вопросы.**

1. Почему мы в быту не пользуемся истинным солнечным временем, а повсеместно ведем отсчет по местному времени?

Человек в полной гармонии с природным временем жил только в доисторические времена. Как только вставало Солнце, первобытный человек просыпался и с соплеменниками направлялся на охоту (в то же время, просыпалась и возможная добыча). Когда Солнце заходило за горизонт, то и человек направлялся спать – а пределах обособленного племени все было очень просто.

В современном мире такое решение невозможно по причине, что нужно договариваться о едином времени на больших территориях и для очень большого числа людей. В противном случае мы будем в разное время приходить на назначенные встречи, в школу и на работу. Будем опаздывать к отправлению поездов и автобусов с вокзалов. Согласитесь, это будет полная неразбериха.

Поэтому общество всегда находится в поиске некоторого компромисса между солнечным (природным) временем и условным, по которому мы все живем.

2. Как по экваториальным солнечным часам можно днем указать направление на Полярную звезду?

Гномон часов правильно установленных часов будет указывать как раз направление на Полярную звезду.

3. Если решением правительства страны будет введено «летнее» или «зимнее» время, то могут ли солнечные часы показывать это время, привычное для жителей?

Солнечные часы могут быть построены так, чтобы показывать солнечное время с учетом поправок, например, «летнее». Циферблат в этом случае делают с двойной оцифровкой – летней и зимней.

4. Чем отличается устройство экваториальных солнечных часов для Южного полушария?

В горизонтальной плоскости экваториальные часы должны устанавливаться точно на истинный Север для Северного полушария, и наоборот, для Южного полушария – на истинный Юг. Причем циферблаты для Южного полушария будут иметь зеркальную копию Северного. Для Беларуси второй вариант не актуален.

## Эксперимент 13. Горизонтальные солнечные часы

**Факты.** Солнечные часы в наше время – устройство очень интересное, а для учеников – еще и познавательное, ведь модель солнечных часов, которую мы будем делать, – самая что ни на есть действующая, а ее изготовление требует определенных знаний в области астрономии и определенных навыков конструирования и работы с материалами и инструментами.

В горизонтальных солнечных часах плоскость циферблата (кадрана) параллельна плоскости горизонта, а гномон имеет форму треугольника, одна из сторон которого наклонена к плоскости кадра на угол, равный географической широте места установки часов.

Для постройки часов этого типа нужно знать два факта: на какой широте мы находимся и где находится север (как найти север мы уже рассмотрели – с помощью гномона).

Преимущество горизонтальных часов перед экваториальными состоит в том, что время они показывают круглый год, но при условии, что циферблат должен освещаться солнечными лучами непосредственно, чтобы не было тени или отраженного света.

**Цель.** Изучить устройство и принцип действия горизонтальных солнечных часов.

**Оборудование и материалы.** Упаковочный картон. Бумага. Фломастер. Клей. Ножницы. Компас.

### **Инструкция.**

- Из бумаги изготавливаем шкалу циферблата горизонтальных часов. В отличие от экваториальных моделей у часов горизонтального типа часовые деления наносятся неравномерно, и их расположение зависит от географической широты. Принцип построения шкалы горизонтальных часов показан на рис. 13.1. Линии циферблата горизонтальных солнечных часов строятся как проекции соответствующих часовых линий экваториальных часов. По желанию циферблату можно придать круглую или квадратную форму.

- Вырезаем ножницами шкалу горизонтальных солнечных часов и наклеиваем ее на картон. Картонку обрезаем по контуру шкалы.

- Гномон часто изготавливают в виде прямоугольного треугольника, гипотенуза которого, собственно, и есть гномон, наклоненный под нужным углом к горизонту. Вырезаем из такого же материала (как и циферблат) треугольный гномон. Один из его углов должен быть прямым, а второй – соответствовать географической широте местности ( $\varphi$ ), где будут ус-

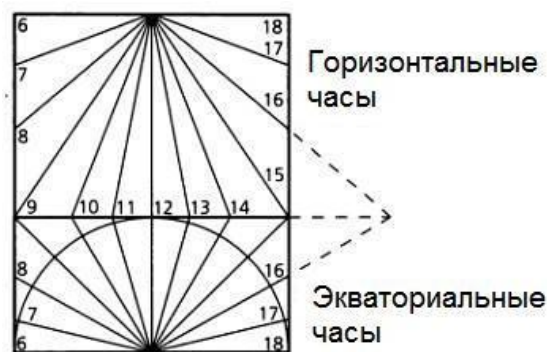


Рис. 13.1. Построение шкалы горизонтальных солнечных часов

тановлены часы. То есть для Минска, Могилева и Гродно – это треугольник с углами  $90^\circ$  и  $54^\circ$ , для Бреста и Гомеля –  $90^\circ$  и  $52^\circ$ , а для Витебска –  $90^\circ$  и  $55^\circ$ .

- Размер гномона соотносим с размером циферблата. Компоновочная схема часов показана на рис. 13.2. Приклеиваем гномон к циферблату, ориентируясь на линию «12», при этом вершину угла  $\varphi$  гномона помещаем в точку схождения часовых линий.

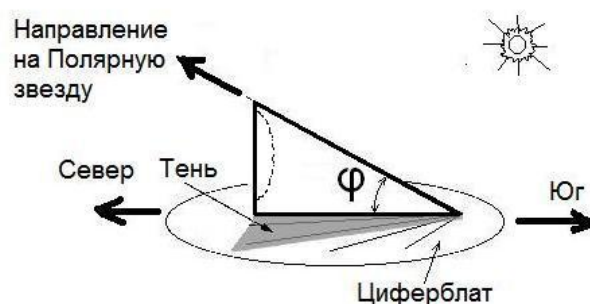


Рис. 13.2. Сборка и ориентирование горизонтальных солнечных часов

- На незатененной открытой площадке устанавливаем готовые часы. Полуденную линию (север-юг) лучше определять не по компасу, а найдя самую короткую тень. Цифра «6» должна быть направлена на восток, а цифра «18» ориентирована – на запад.

- Сверьте показания солнечных часов с обычными часами.

**Результаты.** В астрономический полдень Солнце находится выше всего над горизонтом. Поэтому самой короткой тени вершины треугольника соответствует цифра «12» – это астрономический полдень. Показания солнечных часов и обычных часов не совпадают.

**Объяснение.** Солнечное время отсчитывается отдельно для каждой точки на поверхности Земли. Когда Солнце находится в наивысшем положении относительно этой точки – это полдень по местному истинному солнечному времени. Солнце движется по небу неравномерно. Зато часы, придуманные человеком – это точный механизм, который считает секунды ровно и точно. Вот отсюда и происходит несоответствие показаний часов.

Путь, который описывает Земля вокруг Солнца, не имеет формы круга. Орбита Земли – эллипс. Приближаясь к Солнцу, Земля ускоряет свой бег, а удаляясь – замедляет. Обычные же часы ход не меняют, независимо от положения Солнца и Земли.

Часто одну из граней гномона делают криволинейной. Делается это не только из эстетических соображений, но также для того, чтобы не перепутать, какую именно грань следует использовать для регистрации времени. На рис. 13.2 именно эта «нерабочая» грань помечена пунктирным вырезом. Плоскость гномона не обязательно должна быть сплошной. Важно лишь, чтобы грань, предназначенная для регистрации времени, была строго прямолинейной и находилась в расчетных точках циферблата. Некоторые варианты гномонов показаны на рис. 13.3. Часто гномоны горизонтальных солнечных часов выглядят весьма оригинально: в виде рыболова с удочкой (удочка – гномон) или это обыкновенный плотницкий топор особым способом вбитый в колоду (рукоятка топора – гномон, а торец колоды – кадран с делениями).



**Для сведения.** Интересное решение горизонтальных солнечных часов представляет скульптурная композиция «Звездочет», которая была установлена в центре города Могилева на площади Звезд (2004 год, автор – архитектор Владимир Жбанов). Гномоном в этих часах является телескоп (рис. 13.4).

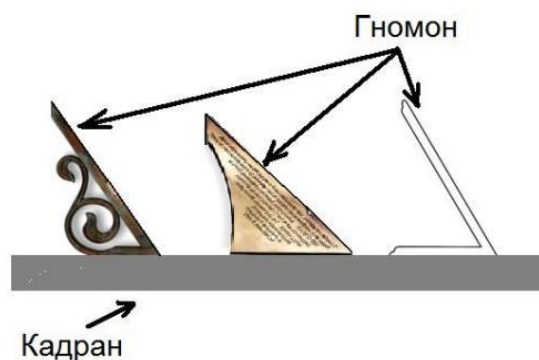


Рис. 13.3. Разные формы гномонов

На рис. 13.5 представлена схема кадрана могилевского «Звездочета». В числителе указано местное время, а в знаменателе — истинное солнечное время. Как видим, разница в один час. Разумеется, что уравнивание времени не учитывается.

### Вопросы.

1. Почему ориентировать любые солнечные часы на север предпочтительно по полуденной линии, а не по компасу.

Расположение северного магнитного полюса (определяется по компасу) не совпадает с географическим северным полюсом (определяется по Солнцу).

2. Почему точность солнечных часов определяется размерами кадрана и гномона?

Чем больше их размер, тем точнее может быть сделана шкала.



Рис. 13.4. Горизонтальные солнечные часы «Звездочет» в Могилеве (web-страница)

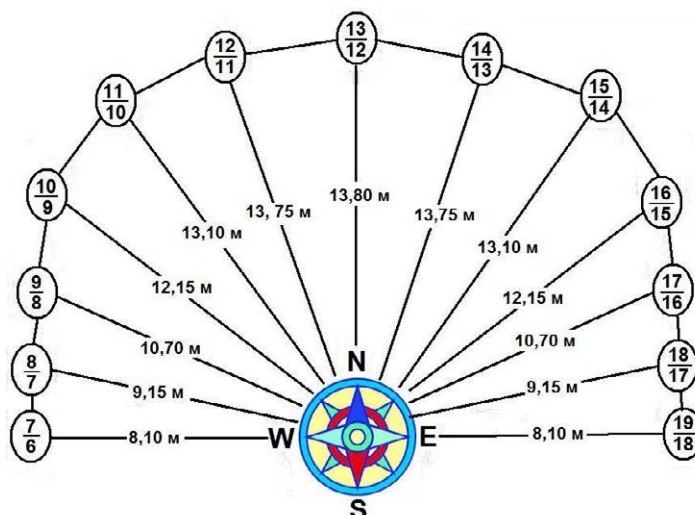


Рис. 13.5. Схема кадрана «Звездочета»



## Эксперимент 14. Вертикальные солнечные часы

**Факты.** Конструкции вертикальных солнечных часов отличаются в зависимости от того, на какую сторону света направлен циферблат. Он может быть обращен лицом к югу, северу, западу, востоку, а может и вовсе не быть привязан к какой-либо стороне света. Такие часы много веков украшают стены домов, церквей, общественных зданий. Во многих городах мира сохранились они, как прекрасные архитектурные украшения.

Пример вертикальных четырехгранных солнечных часов показан на рис. 14.1. Эти часы установлены в Киеве на 5-и метровой колонне около главного корпуса Киево-Могилянской академии. В течение дня освещается только одна из граней часов (все четыре поровну делят между собою «световой» день). С восходом Солнца – восточная, потом – полуденная, северная и, наконец, западная.

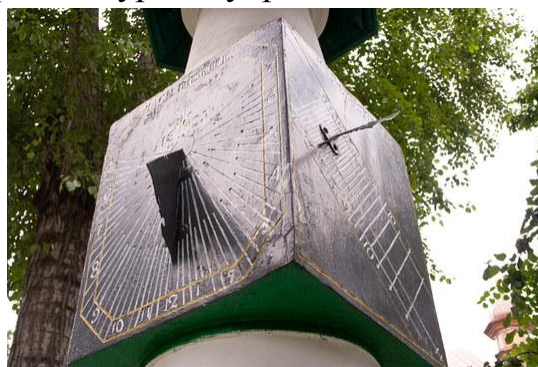


Рис. 14.1. Четырехгранные вертикальные солнечные часы (г. Киев)

Спроектированы и построены эти солнечные часы были учителем математики Киево-Могилянской академии – французом Пьером Брульоном в конце XVIII века.

Для всех конструкций сохраняется непреложное правило: гномон должен указывать на истинный север.

**Цель.** Изучить устройство и принцип действия вертикальных солнечных часов (на примере «южных»).

**Оборудование и материалы.** Лист фанеры или пластика (размером примерно  $40 \times 40$ ). Квадратная рейка (длиной около 1,5 м). Фломастер. Линейка. Спица (или отрезок проволоки длиной 25–30 см).

### Инструкция.

- Вряд ли удастся найти подходящую стену здания, которая перпендикулярно ориентирована к полуденной линии, то есть, перпендикулярна истинному меридиану и смотрит на юг (разумеется, что мы находимся в Северном полушарии). Поэтому поступаем следующим образом: лист фанеры или пластика жестко крепим к рейке, рейку втыкаем в землю и с помощью гномона (использование компаса даст небольшую погрешность) ориентируем соответствующим образом (рис. 14.2).
- На кадране, с той точки, где будет устанавливаться гномон, проводим вертикальную линию вниз. Это деление будет показывать 12 часов дня (истинный солнечный полдень). Зная то, что за один час

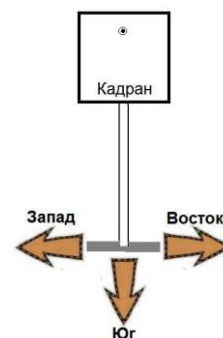


Рис. 14.2. Ориентирование кадрана вертикальных солнечных часов

земля прокручивается вокруг своей оси на  $15^\circ$ , нам необходимо сделать фломастером и другие деления от точки установки гномона, то есть, угловая разница между делениями должна составлять  $15^\circ$ . Готовый кадран и гномон показан на рис. 14.3.

- Осталось установить гномон. Гномон (указатель времени) вертикальных солнечных часов можно сделать из спицы (прямого деревянного прутика или куска проволоки). Чтобы правильно установить гномон, необходимо знать широту места расположения часов. Угол установки гномона по отношению к кадрану равен разнице  $90^\circ - \varphi$  ( $\varphi$  – угол широты местности).

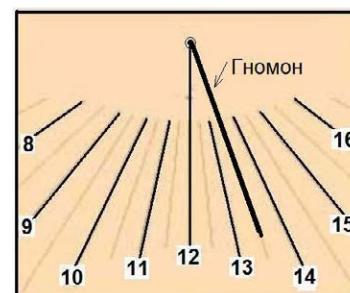


Рис. 14.3. Разметка кадрана вертикальных солнечных часов

- В течение дня наблюдайте за тенью гномона. Сверьте показания солнечных часов с обычными часами.

**Результаты.** Солнечные часы такого типа выдают информацию о времени, как только появляются первые солнечные лучи. Самой короткой тени гномона соответствует цифра «12». Как мы уже знаем, в этот момент стрелки обычных часов полдень не показывают.

**Объяснение.** Солнечные часы сконфигурированы для показа истинного солнечного времени. Это время не совпадает с гражданским временем, то есть тем временем, которое мы видим на экране телевизоре или на своих часах. Солнечные часы могут быть сконфигурированы так, чтобы показывать гражданское время (нанести вторую шкалу).

**Для сведения.** На рис. 14.4 в обобщенном виде показаны три разновидности солнечных часов: экваториальные, горизонтальные и вертикальные (ориентированные на юг). Все часы, схемы которых показаны на рисунке, предназначены для Северного полушария. Чтобы использовать эти часы в Южном полушарии, нужно при их установке поменять стороны света местами.

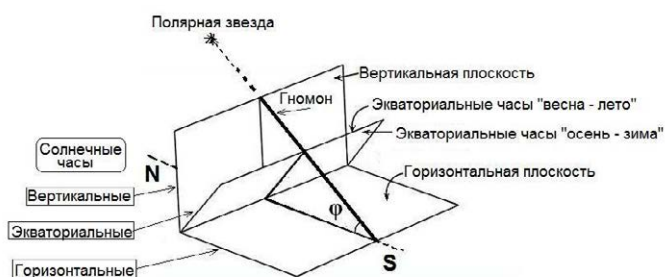


Рис. 14.4. Взаимное расположение кадранов солнечных часов

Обзор различных видов солнечных часов можно посмотреть по ссылке не рис. 14.5.

### Вопросы.

1. Почему в настоящее время солнечные часы используются как декоративный элемент зданий?

Популярность солнечных часов, как инструмента для определения времени, существенно снизилась после введения стандартной величины продолжительности часа в 60 минут. Строительство солнечных часов в настоящее время стало организацией своеобразной местной декоративной достопримечательности.

2. Если вылететь на самолете в истинный полдень и лететь по параллели строго на запад так же быстро, как вращается Земля, то что будут показывать солнечные часы, установленные на самолете?

Если самолет будет лететь со скоростью точек земной поверхности на этой параллели, то солнечные часы любого типа всегда будут показывать истинный полдень.

3. Чему равна скорость самолета, который должен лететь со скоростью вращения земной поверхности (см. вопрос 2)?

Скорость приближенно равна длине параллели, деленной на 24 часа (высоту самолета, если она несколько километров, как и несферичность Земли, в грубом приближении можно не учитывать). Например, для широты  $55^\circ$ : скорость самолета 
$$v_{\text{сам}} = \frac{2\pi \cdot 6370 \cdot \cos 55^\circ}{24} \approx 960 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$
 Радиус Земли принят равным 6370 км.

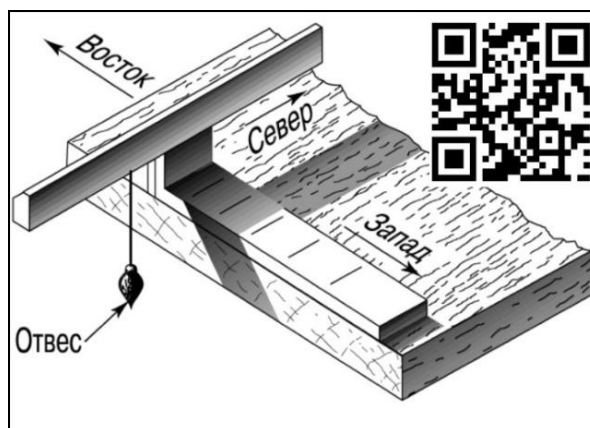


Рис. 14.5. Виды солнечных часов (web-страница)

## Эксперимент 15. Где и когда начинаются сутки

**Факты.** Исторически сложилось, что основной единицей для измерения коротких интервалов времени были сутки (округленно длящиеся 24 ч). Как известно, освещенность земной поверхности меняется периодически в течение суток, так как Земля периодически поворачивается к Солнцу. Естественно, что на земном шаре существует граница, открывающая новую дату и день недели.

**Цель.** Показать, как отсчитывается начало суток на Земле. Рассмотреть принцип поясного времени.

**Оборудование и материалы.** Мяч баскетбольный («Земля»). Кнопки канцелярские (24 шт.). Двусторонний скотч. Фломастер. Настольная лампа или фонарь («Солнце»).

**Инструкция.**

- По «экватору» мяча через равные промежутки с помощью двустороннего скотча прикрепите вверх острием ровно 24 канцелярские кнопки.
- Около каждой кнопки фломастером сде-



Рис. 15.1. Подготовка мяча к эксперименту

лайте надписи от «0» до «23» («0» и «24» совпадают) – рис. 15.1.

- В затемненной комнате поместите мяч («Земля») около включенной лампы (рис. 15.2).
- Начинайте поворачивать мяч вокруг его оси; наблюдайте за перемещением освещенной половины «Земли» во время ее вращения.



Рис. 15.2. Проведение эксперимента

**Результаты.** При обороте «Земли» вокруг собственной оси любая из цифр от «0» до «23» может оказаться как на солнечной, так и на теневой стороне. При повороте мяча против часовой стрелки выходят с теневой стороны, цифры с возрастанием, например, «3», «4», «5» и т.д. С освещенной стоны на теневую переходят цифры также с возрастанием, например, «21», «22», «23», «0», «1» и т.д.

**Объяснение.** Земля совершает полный оборот ( $360^\circ$ ) вокруг своей оси за одни сутки. За один час Земля поворачивается на  $15^\circ$  ( $360 : 24$ ), поэтому разница между пунктами, расположенными на меридианах, удаленных друг от друга на  $15^\circ$  составляет 1 час, на 30 градусов – 2 часа и т.д. В каждый момент суток одинаковое время бывает лишь в тех точках, расположенных на одном меридиане.

Поэтому для удобства астрономы разработали систему поясного времени. Вся поверхность Земли была разделена по меридианам на 24 пояса (от 0 до 23), разница между которыми составляла  $15^\circ$  долготы или 1 час времени – рис. 15.3.

В пределах часового пояса условились считать время по тому меридиану, который проходит по середине пояса.

Отсчет новых календарных суток в общепринятом исчислении времени начинается с 00:00:00 (часы-минуты-секунды). Это время считается началом календарных суток, оно же календарная полночь. По своему опыту мы знаем, полночь наступает после захода



Рис. 15.3. Система поясного времени (web-страница)

Солнца, когда становится уже совсем темно. Как же устанавливается момент полночи и начала следующих суток, то есть отсчет времени 00:00:00?

За нулевой пояс принят тот пояс, где проходит нулевой (Гринвичский) меридиан. Он же является 24 поясом. От него счет поясам ведут к



востоку, так как Земля вращается с запада на восток. К востоку от любого пояса время суток будет увеличиваться, к западу – уменьшаться.

Начало новых суток считают от 12 часового пояса (через его середину проходит меридиан  $180^\circ$ ), считающийся линией перемены дат. На всех моделях глобуса красная линия (иногда она синяя), проходящая от полюсов через Тихий океан по меридиану  $180^\circ$ , является линией перемены дат.

Со всеми странами мира было согласовано размещение линии перемены дат на 180-ый меридиан и не только потому, что этот меридиан противоположен Гринвичскому меридиану, а и потому, что этот меридиан проходит по Тихому океану, где наименьшее количество континентальной земли (ведь некоторые страны на своей территории устанавливают свое время в часовых поясах). Однако, линия иногда уходит в стороны к востоку и к западу от 180-го меридиана. Это сделано для того, чтобы избежать раскола дня через единые политические государства (или, части его), например, Алеутские острова, которые являются частью Аляски (США).

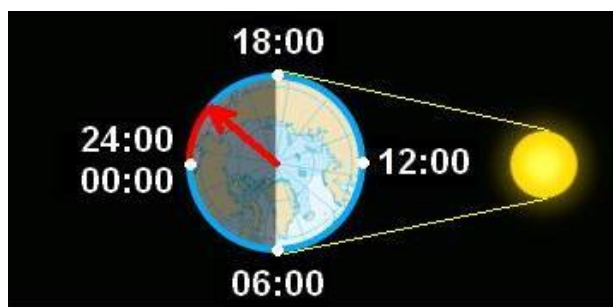


Рис. 15.4. Линия перемены дат

На рис. 15.4 линия перемены дат показана стрелкой. Когда эта линия достигает отметки 24:00/00:00, то предыдущие сутки заканчиваются и начинаются новые сутки.

На западной стороне линии дата сдвинута на один день вперед относительно восточной. Это можно выразить иначе следующим образом: если на линии перемены даты в данный момент полночь, то на противоположном ей Гринвичском меридиане в этот момент полдень, при этом на восток от линии перемены даты сутки начались, а на запад от нее те же сутки уже заканчиваются.

**Для сведения.** В результате деления суток на меньшие временные интервалы одинаковой длины возникли часы, минуты и секунды. Происхождение деления связано с двенадцатеричной системой счисления, которой придерживались в древнем Шумере. Сутки делили на два равных последовательных интервала (условно день и ночь). Каждый из них делили на 12 часов. Дальнейшее деление часа восходит к шестидесятеричной системе счисления.

### **Вопросы.**

1. Почему введено поясное время?

Пользоваться местным временем неудобно. Это мешает при осуществлении связей между разными странами и отдельными частями такой огромной по протяженности с запада на восток страны, как Россия. Поэтому была разработана система поясного времени.

2. Какие изменения во времени произойдут при пересечении линии перемены дат с запада на восток? С востока на запад?



При пересечении линии перемены дат с запада на восток сутки прибавляют, с востока на запад – сутки отнимают.

3. Как устанавливаются часовые пояса на Северном и Южном полюсах?

На Северном и Южном полюсах меридианы сходятся в одной точке, и поэтому там понятие часовых поясов, а заодно и местного времени, теряет смысл. Считается, что на полюсах должно использоваться всемирное время.

## Эксперимент 16. Календарь для Марса

**Факты.** Земля оборачивается вокруг Солнца за 365 дней и приходит Новый год. А на Меркурии Новый год наступает два раза в сутки. В календаре Меркурия отсутствуют не только месяцы, но и дни. Красная планета, Марс, пленит воображение человека на протяжении веков, тем более в настоящее время, когда космические агентства планируют миссии на нашу соседнюю планету. В силу относительно небольшого расстояния до этой планеты, Марс, наряду с Луной является самым вероятным кандидатом на создание колонии землян в обозримом будущем. Возможно, марсианский календарь пригодится будущим покорителям Марса.

**Цель.** Создание проекта марсианского календаря.

**Исходные данные.**

1. В практической жизни (для жителей Земли) за основную единицу измерения времени принимают средние солнечные сутки. Продолжительность средних солнечных суток одинакова в течение года и равна 24 средним солнечным часам.

2. Астрономические наблюдения уже второй половины XVII века позволили установить, что период обращения Марса вокруг собственной оси равен 24 часам 37 минутам и 22,663 секундам. Эта величина характеризует продолжительность звездных суток на Марсе. Марсианский год длится 686,98 средних солнечных суток, т.е. длиннее земного года в 1,88 раза. Поэтому средние марсианские солнечные сутки длиннее звездных марсианских суток почти на 2 минуты 13 секунд и составляют 24 часа 39 минут 35,244 секунды или 24,65975 средних солнечных часа. Этот промежуток времени астрономы называли сол. Один сол – это средние марсианские солнечные сутки. Сол – основная единица измерения времени для Марса, удобная для практической деятельности людей на поверхности планеты.

3. Если мы длительность марсианского года в средних солнечных часах разделим на длительность средних марсианских солнечных суток в средних солнечных часах, то получим длительность марсианского года в солах. Один марсианский год равен 668,60045 солам (марсианских суток). Так же как и в земном календаре в марсианском гражданском календаре необходимо вводить простые годы по 668 сол и длинные (високос-

ные) годы по 669 сол. Получается, что в каждой пятилетке должно быть три удлинённых года и два простых года. Для удобства счёта удлинённых годов марсианского календаря примем: в пятилетке нечётные года – по 669 солов, а чётные – по 668 солов. Ошибка календаря составит за один год 0,00045 сол или 39 секунд (средних солнечных марсианских секунд, так как по аналогии с земным счётом времени каждый сол делится на 24 часа, каждый час на 60 минут, каждая минута на 60 секунд). Ошибка в один сол накопится за 2200 марсианских лет.

Основные расчёты для марсианского календаря в сравнении с Землей приведены в табл. 16.1.

*Таблица 16.1.*

Сравнение данных для солнечных календарей Марса и Земли

Земля	Марс
Звездные сутки = 23 часа, 56 минут, 4 секунды	Звездные сутки = 24 часа, 37 минут, 22,663 секунды (по земному времени)
Средние солнечные сутки = 24 часа, 00 минут, 00 секунд	Марсианские средние солнечные сутки (сол) = 24 часа, 39 минут, 35,244 секунд = 24,65975 часа (по земному времени)
Солнечный год = 365,24219 средних солнечных суток, 365 суток, 5 часов, 48 мин, 45 секунд	Марсианский солнечный год = 686,98 средних солнечных суток (земных)
Гражданский год: 365 (простой год на Земле), 366 (високосный год на Земле)	Гражданский год: 668 (простой год на Марсе), 669 (високосный год на Марсе)

4. Так как у Марса нет такого спутника, как у Земли, Луны, смена фаз которой дала промежуточную единицу измерения времени – месяц, но эту единицу, привычную для землян, можно оставить.

5. Тогда в обычном марсианском году будет 668 солов (22 месяца, из них 14 месяцев по 30 солов и 8 месяцев по 31 солу). В удлинённом году (или по аналогии с земным – високосном) соответственно – 13 месяцев по 30 солов и 9 месяцев по 31 солу. Это позволит оставить и семидневную неделю. Марсианский 0001 год будет удлинённым (високосным). Дополнительный 31-й сол добавляется к последнему месяцу марсианского года.

6. Начало счёта годов или эру можно установить с года посадки первого человека на планету Марс. Первый день года или Марсианский Новый год можно отмечать в день посадки людей на Марс.

7. Вопрос о названиях месяцев может быть дискуссионный. У нас на Земле месяцы имеют числовой номер (сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь). Другие месяцы названы в честь римских богов или римских императоров. У славянских народов названия месяцев связаны с природными явлениями.

Названия марсианских месяцев можно также связать с названиями космических аппаратов, исследовавших планету. В предлагаемом варианте календаря названия месяцев даны в честь астрономов докосмической эры, проводивших телескопические исследования Марса: Скиапарелли, Антониади, Тихов и др., а также известных писателей-фантастов, написавших

романы о Марсе. Два последних месяца календаря повторяют названия спутников Марса – Фобос и Деймос (рис. 16.1).

Марс расположен на среднем расстоянии от Солнца 228 млн. км и обращается по сильно вытянутой орбите с перигелием 206 млн. км и афелием 249 млн. км. Это обуславливает различную продолжительность времен года на Марсе, продолжительность которых меняется от 146 до 199 земных суток или от 142 до 194 сола. В северном полушарии Марса зима является более короткой и относительно более теплой, а лето – продолжительнее и холоднее, чем в южном полушарии. Названия некоторых марсианских месяцев можно связать с этими погодными условиями, как в наших земных календарях. Просматривается вариант названия месяцев по космическим аппаратам, исследовавшим Марс.


<div>Календарь для Марса</div> <div>0001 год</div> <div></div>	1 Скиапарелли							2 Коперник							3 Антониади							4 Тихов							5 Гершель												
	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7						
	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14						
	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21						
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28							
29	30	31					26	27	28	29	30				24	25	26	27	28	29	30	29	30	31				26	27	28	29	30									
6 Фламарион							7 Фраунгофер							8 Струве							9 Адамс							10 Койпер													
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7							
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14							
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21							
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28							
29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31											
11 Кассини							12 Барнард							13 Слайфер							14 Ловелл							15 Гюйгенс							16 Риччоли						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7							
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14							
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21							
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28							
29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31											
17 Уэллс							18 Брэдбери							19 Азимов							20 Толстой							21 Фобос							22 Деймос						
Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7							
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14							
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21							
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28							
29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31					29	30	31											

Рис. 16.1. Календарь для Марса

С различными календарями народов мира можно познакомиться по ссылке на видео – рис. 16.2.

**Задание.** Предложите свои варианты марсианского календаря.

**Вопросы.**

1. Что такое лунный календарь и почему спутники Марса не подходят для счета марсианских месяцев?

В основе лунного календаря лежит продолжительность лунного месяца. Это время от новолуния до новолуния, которое составляет чуть больше 29,5 суток. Оба спутника Марса (Фобос и Деймос) вращаются вокруг своих осей с тем же периодом, что и вокруг Марса, поэтому всегда повернуты к планете одной и той же стороной. Периоды вращения спутников составляют 7 часов 39 мин и 30 часов 17 мин. Фобос восходит на западе и садится на востоке Марса, чтобы снова взойти через 11 часов, таким образом, дважды в сутки пересекает небо Марса. Движение этой быстрой луны по небу будет легко заметно в течение ночи, так же, как и смена фаз. Деймос восходит на востоке и заходит на западе, выглядит как яркая звезда без заметного ви-



Рис. 16.2. Календари народов мира (видео 13 мин 45 с)

димого диска, медленно пересекающая небо в течение 2,7 марсианских суток. Оба спутника могут наблюдаться на ночном небе одновременно, в этом случае Фобос будет двигаться навстречу Деймосу.

2. Наблюдаются ли на Марсе сезонные явления, как и на Земле?

Марс обладает четырьмя сезонами. Но эксцентricность орбитального пути делает их непохожими на земные (сравните орбиты Земли и Марса – рис. 16.3). Орбитальная скорость планеты не остается стабильной, а меняется в зависимости от расстояния до Солнца. Медлительность наступает при афелии, а ускорение – на перигелии. Во время перигелия планета получает на 40% больше энергии.

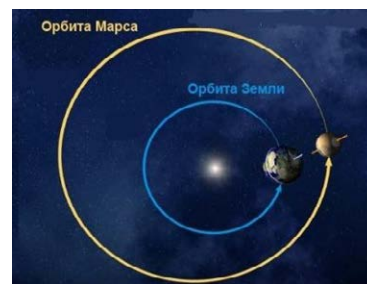


Рис. 16.3. Сравнение орбит Земли и Марса

## Эксперимент 17. Ретроградное движение Марса

**Факты.** Известно, что планеты в течение года перемещаются относительно других звезд и «вычерчивают» на небесной сфере петли или зигзагообразные линии. Долгое время их считали «блуждающими» звездами, которые перемещались по небосводу, двигаясь вперед и назад относительно других звезд.

В частности, при наблюдении за движением Марса можно заметить, что в течение года направление его движения по небосклону меняется: в определенный момент кажется, что Марс движется в обратном направлении. Такое движение астрономы называли ретроградным движением.

На рис. 17.1, полученным наложением друг на друга ряда фотографий, где изображен Марс на фоне звездного неба, четко видно его ретроградное (или возвратное) движение.

**Цель.** На модели показать, каким образом для земного наблюдателя создается иллюзия ретроградного движения Марса.

**Оборудование и материалы.** Модель для демонстрации ретроградного движения Марса. Линейка и карандаш. Лист бумаги.



Рис. 17.1. Петлеобразное движение Марса на небосводе

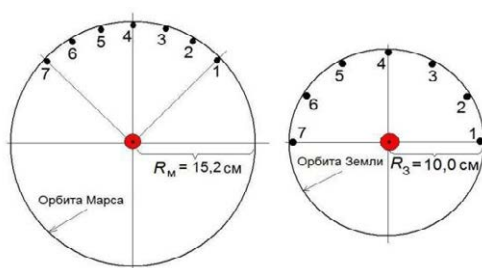


Рис. 17.2. Чертежи орбит Марса и Земли

### Инструкция.

- Основу модели для демонстрации ретроградного движения Марса составляют два бумажных круга, края которых будут символизировать орбиты Марса и Земли (рис. 17.2). Орбиты считаем круговыми.
- Радиусы «бумажных» орбит для Земли – 10 см, для Марса 15,2 см (учтено, что средний радиус орбиты Земли – 1,00 а.е., а средний радиус орбиты Марса – 1,52 а.е.).
- С учетом, что средние орбитальные скорости Земли (30 км/с) и Марса 24 км/с) разные и соответственно периоды их обращения вокруг Солнца также разные (Земля – 365 суток; Марс – 687 суток) на вырезанные из бумаги круги орбит наносим по 7 точек – положений планет на орбитах в одни и те же моменты времени.
- Накладываем оба круга друг на друга; круг для Марса должен быть под кругом для Земли, а их центры – совпадают; положения планет, обозначенные цифрой «4», должны находиться примерно друг напротив друга (рис. 17.3).
- Под круги подложите чистый лист бумаги с условно отмеченным двумя параллельными линиями «небосводом».
- С помощью линейки и карандаша соедините одноименные точки и продлите линии до пересечения с «небосводом».



Рис. 17.3. Собранная модель

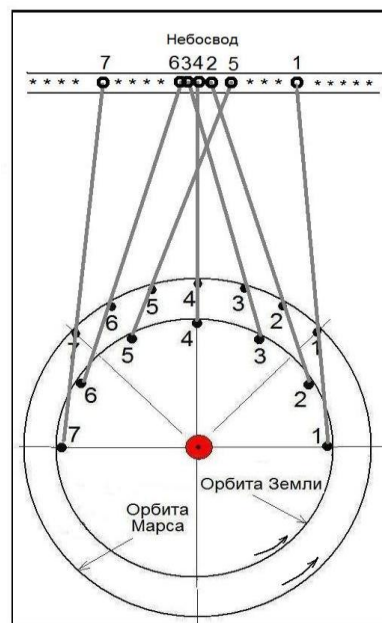


Рис. 17.4. Имитация движения Марса по небосводу

**Результаты.** При наблюдении Марса с Земли в одни и те же моменты времени на «небосводе» Марс от наблюдаемого положения «1» переходит к положению «2», затем к положению «3». На «небосводе» он будет двигаться справа налево, то есть в прямом направлении. От положения «3» к положению «4» и затем до положения «5» планета будет двигаться в обратном направлении, то есть слева направо. От положения «5» к положениям «6» и «7» Марс продолжит движение в прямом направлении (рис. 17.4).

**Объяснение.** Ретроградное движение планет – это движение лишь кажущееся с Земли. Никакого обратного движения по своей орбите Марс совершать не может. Видимость обратного движения создается потому, что орбита Марса по отношению к орбите Земли внешняя, а средняя ско-



рость движения по орбите вокруг Солнца у Земли выше (29,8 км/с), чем у Марса (24,1 км/с). В момент, когда Земля начинает обгонять Марс в своем движении вокруг Солнца, и создается впечатление, что Марс начал обратное движение. По нашим данным условно можно изобразить петлю движения Марса – рис. 17.5.

Таким образом, явление ретроградного движения планет объясняется вращением Земли (а значит и наблюдателя) и планет вокруг Солнца с различными скоростями. Земля движется быстрее верхних планет (Марса, Юпитера, Сатурна и т.д.), но медленнее нижних планет (Меркурия и Венеры).

Когда Земля и планета оказываются по одну сторону от Солнца, планета останавливается на небесной сфере и начинает совершать попятное движение, перемещаясь с востока на запад. Через некоторое время планета изменяет свое движение на прямое.

**Для сведения.** Меркурий начинает попятное движение каждые 116 дней, попятное движение Венеры начинается каждые 584 дня, Марс – каждые 780 дней, Юпитер – каждые 399 дней, Сатурн – каждые 378 дней.

Понятно, что перемещение планеты по небесной сфере зависит от:

- 1) размеров ее орбиты и орбиты Земли;
- 2) скоростей движения планеты и Земли;
- 3) угла между плоскостью орбиты планеты и плоскостью эклиптики.

Наша модель, в отличие от компьютерных моделей, безусловно, полностью не учитывает всех особенностей движения Марса по небосводу, однако благодаря доступности и наглядности она позволяет дать представление о ретроградном движении.

На «бумажной» модели не учитывается плоскость орбиты планеты, поэтому изобразить движение планеты по небосводу можно показать только условно, безотносительно от даты наблюдения. Для Марса Р.В. Майер выделяет 5 типов петлеобразного движения – рис. 17.6 – в зависимости от периода наблюдений

#### **Вопросы.**

1. Все ли планеты, кроме Марса, характеризуются ретроградностью?

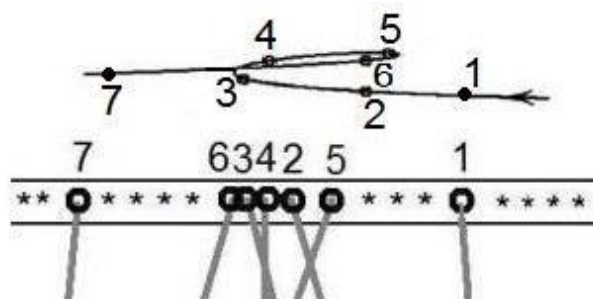


Рис. 17.5. Построение петли в движении Марса

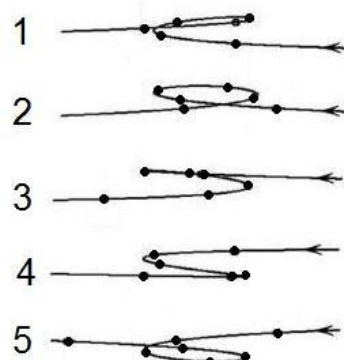


Рис. 17.6. Виды петлеобразного движения Марса

В силу астрономических закономерностей планеты Меркурий, Марс, Венера, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун периодически меняют с точки зрения земного наблюдателя направление своего движения и двигаются вспять. Визуализация компьютерного моделирования ретроградного движения планет на небосводе представлена в ссылке на видео – рис. 17.7.

2. Каковы временные рамки и периодичность ретроградности планет?

У каждой из планет свои периоды ретроградности. Например, Меркурий бывает в ретроградном движении в среднем трижды в год, и это продолжается примерно по три недели. Венера движется попятно один раз в два года, в среднем в течение 43 дней. Ретроградное движение Марса происходит в среднем один раз в два года и продолжается около 70 дней. Внешние планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун бывают ретроградными по 5 месяцев в году.

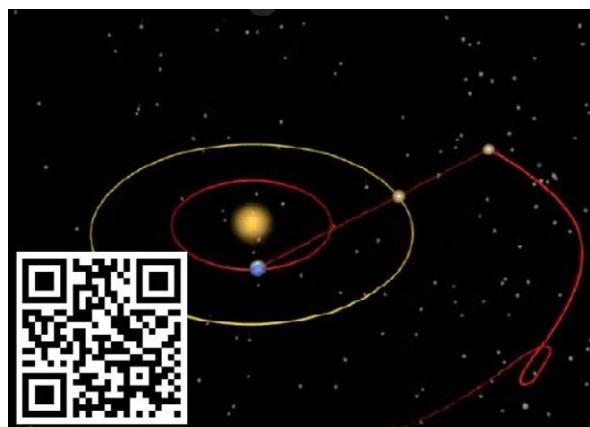


Рис. 17.7. Визуализация ретроградного движения планет (видео 1 мин 18 с)

## Эксперимент 18. Наблюдения Меркурия

**Факты.** Меркурий, который обычно наблюдается с трудом, несмотря на то, что он является одним из самых ярких объектов вечернего неба. Проблема с Меркурием состоит в том, что он расположен на небе очень близко к Солнцу. Он является ближайшей к нашей звезде планетой и очень редко отходит от нее на значительное расстояние. Поэтому большую часть времени небольшое светлое пятнышко Меркурия теряется на фоне ослепительного сверкания Солнца.

**Цель.** Продемонстрировать, как положение Меркурия относительно Солнца затрудняет наблюдение его поверхности.

**Оборудование и материалы.** Настольная лампа. Карандаш или шариковая ручка с нанесенными на гранях логотипами или надписями.

**Инструкция.**

- Включите настольную лампу с обращенной к себе лампочкой. *Прямо на лампочку смотреть не стоит!*
- Возьмите в руки карандаш с надписью, обращенной к себе.
- Держите карандаш на расстоянии вытянутой руки в 5–7 см напротив включенной лампочки (рис. 18.1).
- Продолжите наблюдения и переместите карандаш по отношению к лампочке на 5–7 см влево или вправо.



Рис. 18.1. Лампочка — «Солнце», карандаш — «Меркурий»

**Результаты.** Когда карандаш находится напротив лампочки, то его цвет и надписи трудно определить. Когда карандаш смещаем в сторону от лампочки, то надписи на нем и цвет становятся хорошо различимыми.

**Объяснение.** Меркурий – самая близкая к Солнцу планета. Оптимальным временем для наблюдений Меркурия являются утренние или вечерние сумерки в периоды его максимального удаления от Солнца на небе (астрономы говорят – элонгаций), наступающих несколько раз в год.

Взгляните на рис. 18.2. На нем цифрами обозначены положения планеты в разные моменты времени. Внешняя орбита – это орбита Земли. В положениях (2) и (4) Меркурий мы не увидим – он просто «потеряется» в лучах Солнца, в чем мы убедились, когда карандаш находился напротив лампочки. Заметим, что в нашей модели эксперимента не совсем корректно сравнивать относительные размеры «лампочка-карандаш» и «Солнце-Меркурий». Если проводить наблюдения с нашей планеты, то очевидно, что Меркурий никогда не будет очень далеко удаляться от Солнца на небе. Отсюда следует, что увидеть ее можно лишь тогда, когда планета отойдет на значительное угловое расстояние от центрального светила, до его восхода или после захода.

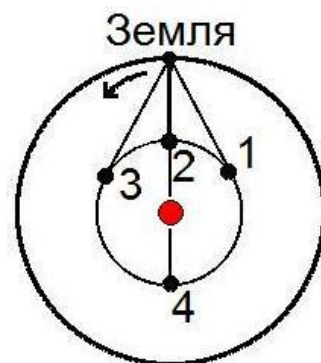


Рис. 18.2. Элонгации Меркурия

Элонгация бывает восточной (1) или западной (3). Это зависит от того, в какой стороне от Солнца находится планета. Если мы вспомним о том, что Солнце, планеты, звезды восходят на востоке, а заходят на западе, то без труда сами сможем выяснить, что во время западной элонгации Меркурий, орбита которого находится внутри орбиты Земли, можно наблюдать перед восходом Солнца. Во время восточной – после заката. В первом случае, наблюдения ограничены моментом появления Солнца над горизонтом, во втором – заходом самой планеты.

**Для сведения.** В элонгациях Меркурий отходит от Солнца в лучшем случае на  $18\text{--}28^\circ$  (рис. 18.3). Именно поэтому Меркурий очень трудно «выловить» в сумерках на небосклоне.

В сочетании со значительным наклоном его орбиты к плоскости орбиты Земли такое малое угловое расстояние иногда даже в дни элонгаций делает наблюдения Меркурия труднодоступными. Планету в средних широтах не удастся увидеть, порой, годами, если учитывать и возможные погодные неурядицы.

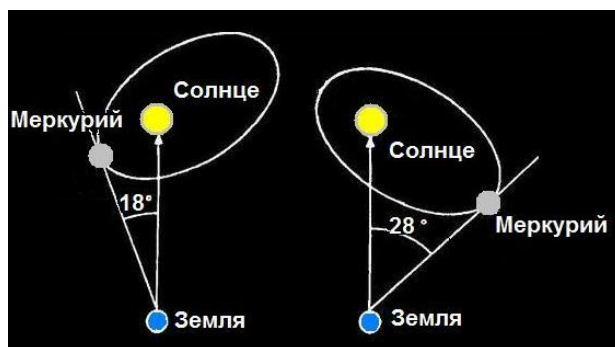


Рис. 18.3. Зависимость элонгаций Меркурия от наклона его орбиты

### Вопросы.

1. Венера, также как и Меркурий, находится ближе к Солнцу, чем Земля. Почему эта планета также является труднодоступной для наблюдений?

Для планеты, более близкой к Солнцу, чем Земля, угол между направлениями с Земли на нее и на Солнце меняется, не превосходя  $29^\circ$  для Меркурия и  $48^\circ$  для Венеры. При наибольшем угловом расстоянии между Солнцем и такой планетой ее удобнее всего наблюдать – она позднее заходит вечером после Солнца или раньше восходит утром перед восходом Солнца, смотря по тому, с какой стороны от Солнца мы ее видим. Как показывает рис. 18.4, вид Меркурия и Венеры меняется, как у Луны. Это зависит от того, как повернуто к нам освещенное Солнцем полушарие этих планет. Венера расположена дальше от Солнца и ближе к Земле, чем Меркурий, поэтому условия ее наблюдения более благоприятны, чем у Меркурия.

2. Какие меры безопасности нужно соблюдать при наблюдениях Меркурия и Венеры в телескоп?

Во время дневных наблюдений Венеры или Меркурия нельзя смотреть на Солнце через оптический искатель или окуляр телескопа! Избегайте даже случайного вхождения Солнца в область обзора телескопа. Даже одна секундная оплошность может стоить вам зрения!

О наблюдениях Меркурия и Венеры, а также о мерах безопасности при наблюдениях рассказывается на сайте realsky – рис. 18.5.



Рис.18.4. Изменения фазы и видимого диаметра Меркурия и Венеры в зависимости от их положения отно-



Рис. 18.5. Меркурий, Венера и как их наблюдать (web-страница)

## Эксперимент 19. Сияние Луны

**Факты и наблюдения.** Сергей Есенин – едва ли не самый «лунный» поэт в русской литературе. Распространенный образ стихотворной атрибутики Луны и месяца довольно часто упоминаются в его произведениях.

Отчего Луна так светит тускло  
На сады и стены Хороссана?  
Словно я хожу равниной русской  
Под шуршащим пологом тумана ...  
Август 1925 г.

**Цель.** Показать причину света Луны.



**Оборудование и материалы.** Карманный фонарик. Фликер или велосипедный отражатель.

**Инструкция.**

- Эксперимент следует проводить ночью.
- Включить фонарик и направить его свет на фликер или велосипедный отражатель. Фонарик следует держать на 1–2 см ниже уровня глаз, находясь на удалении от изделия не менее 3 м (рис. 19.1).

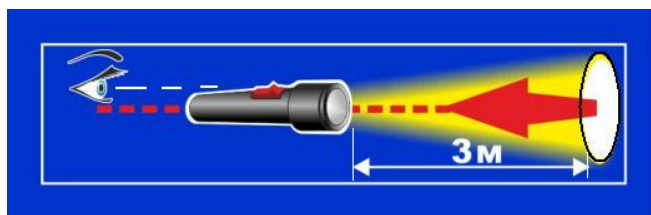


Рис. 19.1. Отражение света фонарика от фликера

**Результаты.** Фликер или велосипедный отражатель светятся только при включенном фонарике.

**Объяснение.** Световозвращающий элемент (светоотражатель, фликер, катафот и т.д.) является важным элементом пассивной безопасности пешехода или велосипедиста и снижает риск наезда на пешехода в темное время суток. Принцип действия его основан на том, что свет, попадая на ребристую поверхность из специального пластика, концентрируется и отражается в виде узкого пучка.

Когда фары автомобиля «выхватывают» пусть даже маленький световозвращатель, водитель издалека видит яркую световую точку (рис. 19.2). Поэтому шансы, что пешеход или велосипедист будут замечены, увеличиваются во много раз. Например, при движении с ближним светом фар расстояние обнаружения пешехода увеличивается с 25–40 метров до 130–140, а при движении с дальним светом – до 400 метров.

Фликер не испускает света. Он сконструирован таким образом, что отражает падающий на его свет в различных направлениях. Луна собственный свет не излучает, она только отражает падающий на нее солнечный свет. Без Солнца не было бы лунного света.

Подробнее причины свечения Луны и феномен ее пепельного света можно прочесть по ссылке на рис. 19.3.



Рис. 19.2. Фликер позволяет обнаруживать пешеходов в темное время



Рис. 19.3. «За чей счет» светит Луна?  
(web-страница)



### **Вопросы.**

1. Какое небесное тело второе после Солнце по яркости на нашем небе?

Этим небесным телом является Луна.

2. На примере следующей русской пословицы объясните причину свечения Луны: «Не все греет, что светит: Луна светла, да без тепла».

Луна светит благодаря отраженному солнечному свету.

3. При какой фазе Луны освещение ее отраженными от Земли солнечными лучами будет наибольшим?

В новолуние.

4. Если бы Луна была повернута к Земле своей обратной стороной, то лучше или хуже она освещала бы Землю в полнолуние?

На обратной стороне Луны почти нет морей, покрытых, как известно, более темным веществом, чем горные районы. Поэтому в предполагаемом гипотетическом случае Луна освещала бы Землю лучше (сравните фотографии видимой и обратной стороны Луны – рис. 19.4).

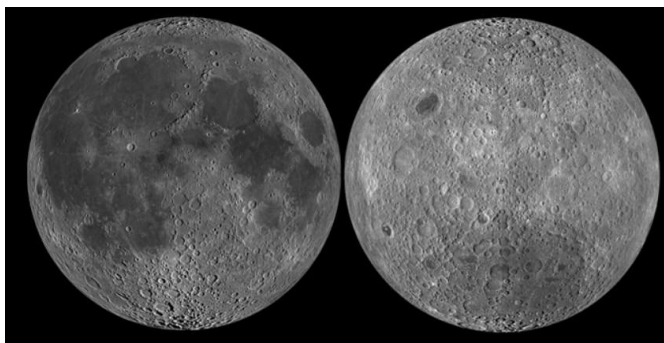


Рис. 19.4. Видимая и обратная сторона Луны

### **Эксперимент 20.**

**Почему мы видим только одну сторону Луны?**

**Факты и наблюдения.** Высоко в небе ярко сияет Луна с темными пятнами на блестящем диске. В полнолуние мы видим ее в виде яркого диска. Тысячи лет люди наблюдают изменения этого диска – от полного сияния до тоненького серпа новорожденного месяца (рис. 20.1).

Мы всегда видим ее такой. И до нас тысячи лет люди смотрели на такую же точно Луну и так же на ней распределялись темные пятна – лунные моря. В бинокль видны более мелкие детали – кратеры. А между тем Луна – шар, такой же, как и другие многие другие спутники и планеты, в том числе и наша Земля, на которой мы с вами живем. Но Луна никогда не показывает нам свою другую сторону, мы ее не видим.



Рис.20.1. Привычный для земного наблюдателя вид Луны в разное время

**Цель.** Показать, почему нам с Земли видна только одна сторона Луны.

**Оборудование и материалы.** Стул вращающийся. Изображение Луны. Изображение Земли (или глобус). Помощник.

**Инструкция.**

- Сядьте на вращающийся стул и возьмите в руки глобус.
- Ваш помощник находится на некотором расстоянии от вас и держит в руках (или закрепляет у себя на груди) изображение Луны.
- Необходимо, чтобы каждый из участников эксперимента не поворачивая головы, смотрел на своего собеседника.
- Вы («Земля») и ваш помощник («Луна») одновременно начинают движение. Вы поворачиваетесь вместе со стулом, а помощник — начинает обход вокруг стула. Направление поворота стула и передвижение помощника должны совпадать (рис. 20.2).



Рис. 20.2. Демонстрация движения Луны по орбите

**Результаты.** Постепенно воображаемая Луна начинает оборачиваться вокруг воображаемой Земли. В начале движения экспериментатор, допустим, видел перед собой окно или другой какой-то предмет, но потом, по мере того как он будет совершать поворот на стуле, окно это окажется за спиной, и только в конце пути он снова его увидит. Ваш помощник также заметит, что он обернулся не только вокруг стула с экспериментатором, но и вокруг себя самого, своей оси. Во время опыта экспериментатор и помощник должны смотреть друг на друга.

**Объяснение.** Подобно помощнику экспериментатора Луна делает оборот вокруг Земли и одновременно вокруг собственной оси.

Скорость вращения Луны вокруг Земли абсолютно идентична скорости с которой она делает оборот вокруг своей оси, то есть вращение Луны вокруг Земли и вокруг собственной оси синхронизировано. На полный оборот Луны вокруг Земли и вокруг своей оси уходит 27 дней 7 часов и 43,1 минуты. Поэтому-то мы всегда видим только одну ее сторону.

Данное обстоятельство рассматривается в видео на рис. 20.3.

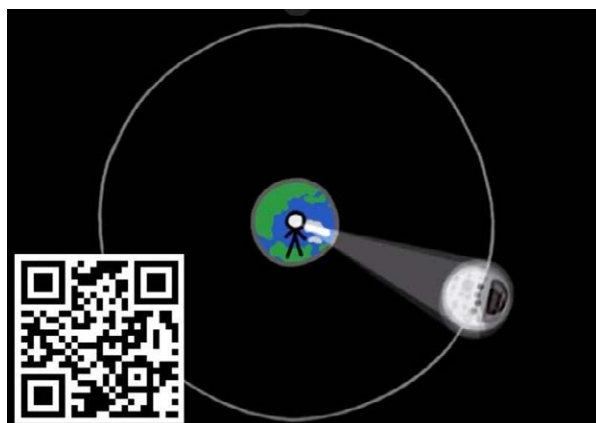


Рис. 20.3. Почему мы видим только одну сторону Луны? (видео 2 мин 29 с)

### **Вопросы.**

1. Если бы Луна не вращалась вокруг собственной оси, то к какому наблюдательному эффекту это могло бы привести?

С Земли можно было бы наблюдать всю поверхность Луны.

2. Какую часть земной поверхности можно видеть с Луны?

С видимой стороны Луны в течение суток можно увидеть всю поверхность Земли.

## **Эксперимент 21. Либрация Луны**

**Факты и наблюдения.** Интересно, что с Земли можно увидеть не много больше половины поверхности Луны. Это явление называется лунными либрациями.

**Цель.** Моделировать либрацию Луны, чтобы увидеть часть ее обратной стороны.

**Оборудование и материалы.** Тонкая рыболовная леска длиной около 1 метра. Круглая картофелина или комок пластилина. Две канцелярские кнопки. Акварельная краска любого цвета с кисточкой.

### **Инструкция.**

- Покрасьте одну половину картофелины, которая будет видимой стороной «Луны», акварельной краской.
- В один из «полюсов» картофелины воткните скрепку или кнопку; к кнопке прикрепите один конец лески.
- Вторым концом лески кнопкой прикрепите к какой-либо стойке с перекладиной, например, к косяку проема двери. Проследите, чтобы леска не проскальзывала по кнопкам, а могла поворачиваться вместе с картофелиной.
- Подвешенная картофелина окрашенной стороной должна быть повернута к экспериментатору (это видимая сторона «Луны») – рис. 21.1.
- Поверните картофелину на пол-оборота вокруг вертикальной оси, благодаря чему немного закрутится леска.
- Отпустите картофелину и наблюдайте за ее крутильными колебаниями.

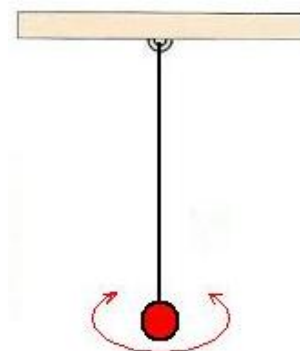


Рис. 21.1. Подготовка эксперимента

### **Результаты.**

В результате упругости лески картофелина попеременно поворачивается немного, то в одну, то в другую сторону. Становятся видны неокрашенные части картофелины (то есть «невидимая сторона Луны») – рис. 21.2.

**Объяснение.** В результате искусственно полученной либрации мы заглянули за обратную (неокрашенную сторону) картофелины. Слово «либрация» означает кажущееся колебательное движение Луны при наблюдении с Земли. Рычажные весы также некоторое время колеблются около положения равновесия. По-латыни весы – «либра» (libra), поэтому кажущиеся колебания Луны, обусловленные неравномерностью ее движения по орбите вокруг Земли при равномерности вращения вокруг своей оси, называют **либрацией** Луны.

Несмотря на то, что период обращения Луны вокруг Земли равен периоду ее обращения вокруг своей оси, либрация позволяет наблюдателю с Земли видеть в разные моменты времени лунный диск в нескольких различающихся положениях. Благодаря либрации всего с Земли может наблюдаться 59% лунной поверхности, «захватывая» таким образом, 9% поверхности невидимого полушария – рис. 21.3. На этом анимированном изображении собрано множество фотографий Луны в течение одного месяца.

**Для сведения.** Различают четыре вида либраций.

*Либрация по долготе* связана с тем, что орбита Луны вокруг Земли не является круговой. В результате видимое земному наблюдателю вращение Луны неравномерно, и наблюдатель может поочередно немного «заглядывать» в отвернутое от Земли полушарие поочередно с восточного и с западного края. На рис. 21.4 представлены две фотографии Луны: слева на фото видна часть обратной стороны, а на правой фотографии этой части уже не видно.

В нашем эксперименте была показана либрация по долготе.

*Либрация по широте* происходит вследствие наклона оси вращения Луны к плоскости ее орбиты вокруг Земли. Поэтому при движении Луны вокруг Земли мы наблюдаем то южный, то северный полюс Луны.

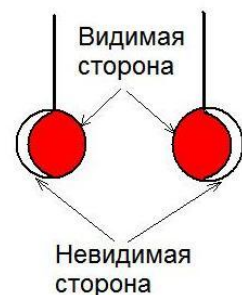


Рис. 21.2. Результаты эксперимента — попеременно видны части невидимой стороны «Луны»



Рис. 21.3. Либрация Луны (анимация)



*Суточная либрация* – это сравнительно малые ежедневные колебания, связанные с небольшой удаленностью Луны от Земли, в результате движения наблюдателя вместе с поверхностью Земли при суточном вращении Луны для наблюдения становятся доступными сначала западные области Луны, затем восточные.



Рис. 21.4. Либрация по долготе

*Физическая либрация* – очень небольшое «покачивание» Луны, которое вызывается приливными силами со стороны Земли и проявляется в небольшом изменении периода вращения Луны вокруг своей оси. Физическая либрация происходит по весьма сложному закону.

### Вопросы.

1. Какую часть лунной поверхности может увидеть в течение некоторого времени наблюдатель, находящийся на Марсе?

Все 100%.

2. Рассмотрите движение Луны по орбите и докажите появление либрации по долготе.

На рис. 21.5 преувеличенно показана эллиптическая орбита Луны относительно Земли. В некоторый момент *A* в центре диска Луны видна точка *f* ее поверхности. Через четверть месяца Луна окажется в положении *B*, причем за это время она сделает ровно четверть оборота вокруг оси. При наблюдении с Земли точка *f* уже не будет видна в центре лунного диска, а несколько сместится к востоку от центра. В положении *C* точка *f* возвратится в центр видимого диска Луны, а в положении *D* отступит к западу. Описанное явление называется либрацией по долготе и достигает  $\pm 7^\circ 45'$ .

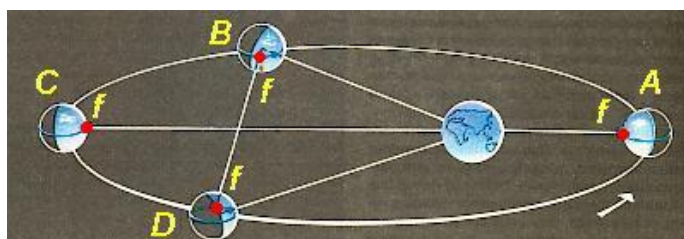


Рис. 21.5. Схема возникновения либрация по долготе

3. Рассмотрите движение Луны по орбите и докажите появление либрации по широте.

Либрация по широте возникает из-за наклона плоскости лунной орбиты к эклиптике. Поскольку в течение одного оборота около Земли ось вращения Луны практически не меняет своего положения в пространстве, то, как следует из рис. 21.6, в двух диаметрально противоположных точках орбиты мы наблюдаем то северный полюс Луны *P*, то южный — *P'*. Либрация по широте достигает  $\pm 6^\circ 41'$ .



Рис. 21.6. Схема возникновения либрация по широте



## Эксперимент 22. Фазы Луны

**Факты.** При разных положениях относительно друг друга Солнца, Земли и Луны мы по-разному видим освещенную половину Луны: то Луна полная и видна в небе всю ночь, то ее нет вообще, то на небе вместо Луны появляется тонкий серп. Часть видимого нами с Земли диска Луны, которая освещена, называется фазой Луны. Обычно выделяют основные фазы: новолуние, первая четверть, полнолуние, третья (или последняя) четверть.

Важно знать, что лунные фазы зависят от освещения поверхности Луны Солнцем, а вовсе не от попадания на Луну тени Земли, как часто себе многие представляют. Плоскость орбиты Луны не совпадает с плоскостью земной орбиты и может периодически изменяться как в одну (угол  $a$ ), так и в другую сторону (угол  $b$ ) от плоскости орбиты Земли (рис. 22.1).

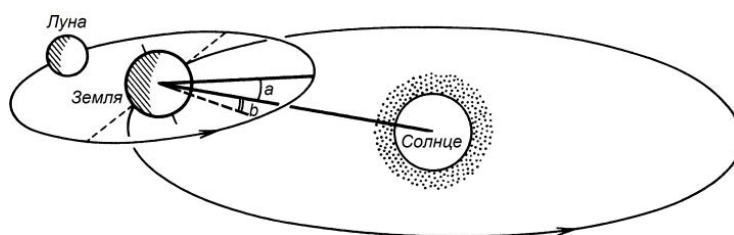


Рис. 22.1. Плоскость орбиты Луны и плоскость орбиты Земли

Прохождение тени Земли по Луне может произойти, когда плоскости их орбит совпадут, – это явление происходит примерно два-четыре раза в год, и называется оно лунным затмением. Во всех остальных случаях расположение Луны в пространстве будет занимать положения, показанные на рис. 22.2.

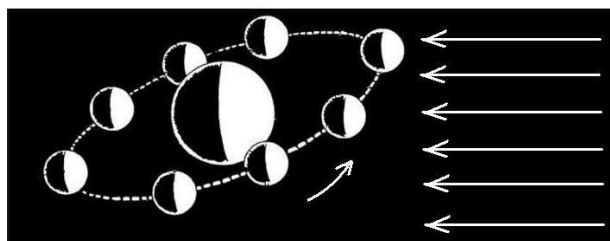


Рис. 22.2. Расположение Луны по отношению к Земле

**Цель.** Моделирование фаз Луны; посмотреть, как меняется освещенность Луны Солнцем, при наблюдении с Земли.

**Оборудование и материалы:** «Солнце» – фонарь (желательно с рефлектором большого диаметра); «Земля» – большой мячик; «Луна» – маленький мячик (его диаметр примерно в 5 раз меньше большого). Фольга.

### Инструкция.

- Плотно оберните маленький мячик блестящей алюминиевой фольгой; так будет лучше видна освещенная сторона «серебряной Луны».
- Расположите на столе мячики и фонарь, так как это показано на рис. 22.3. Фонарь постарайтесь установить так, чтобы тени от мячиков не падали друг на друга (или попросите об этом помощника,

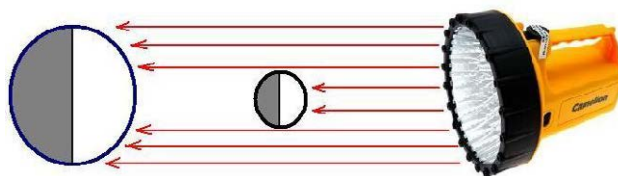


Рис. 22.3. Размещение оборудования в начале эксперимента

удерживающего фонарь). Посмотрите на маленький мячик («Луна») со стороны большого («Земля»).

- Передвиньте малый мячик с положения 1 правее большого мячика в положение 2, затем поочередно в положения 3, 4, 5, 6, 7 и 8 (рис. 22.4). Фонарь («Солнце») во время всего дальнейшего эксперимента не перемещать! Пронаблюдайте, как будет освещен маленький мячик во всех положениях в ракурсах с точек зрения наблюдателя, находящегося на поверхности Земли напротив соответствующих положений Луны. Для этого вам нужно находиться на одной линии: наблюдатель – «Земля» – «Луна».

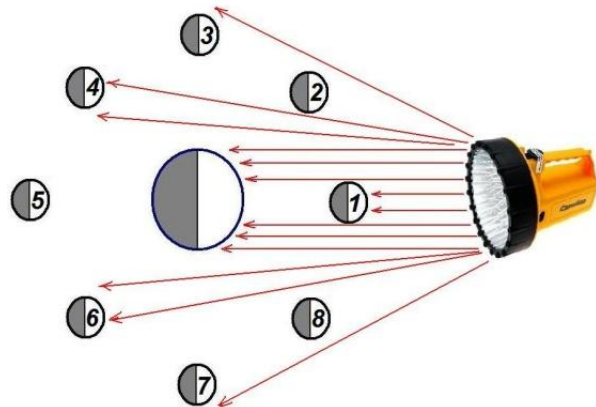


Рис. 22.4. Этапы проведения эксперимента

**Результаты.** Положение 1 соответствует новолунию – это очень хорошо понятно из нашей модели на столе – Солнце в этот период освещает Луну со стороны, противоположной Земле. Фигурка человечка (наблюдатель на Земле), условно изображенного на рис. 22.5, хоть и смотрит прямо на Луну, но не видит ее из-за того, что она совершенно темная.

В положении 2, показанном на рис. 22.4 и 22.5 будет виден узенький кусочек Луны, который наблюдается с Земли, как серп.

С дальнейшим перемещением по кругу этот освещенный кусочек будет увеличиваться.

Когда Луна встанет «сбоку» от Земли (положение 3), наблюдатель увидит освещенную Солнцем половинку круга.

Переходя из положения 3 в положение 4, к освещенной половинке Луны начинает прирастать «горб», ее яркость увеличивается, пока не станет сиять полный диск. В положении 5 весь диск Луны будет освещен – это будет фаза полнолуние.

Далее освещенная часть Луны начинает уменьшаться — положения 6, 7, 8. В положении 8 – опять узенький серпик, но с точки зрения наблюдателя, стоящего на Земле, его рожки направлены в сторону, противоположную растущему серпику в положении 2 и напоминают букву «С».

Затем серпик освещенной Луны исчезает, и она возвращается в положение 1, то есть в момент, когда она теряется на ярком дневном небе.

**Объяснение.** То, что мы называем лунным светом, на самом деле солнечный свет, отраженный серой скалистой лунной поверхностью (в нашем случае фольгой). Луна движется вместе с Землей вокруг Солнца и освещается Солнцем. По мере движения Луны мы видим то большую, то меньшую часть освещенной поверхности Луны, то есть положение Луны

по отношению к Земле все время меняется. Луна проходит свои фазы регулярно каждый месяц, при этом меняется величина видимой нами освещенной ее поверхности. Фазы Луны, – это ракурсы, под которыми мы видим с Земли освещенную часть Луны.

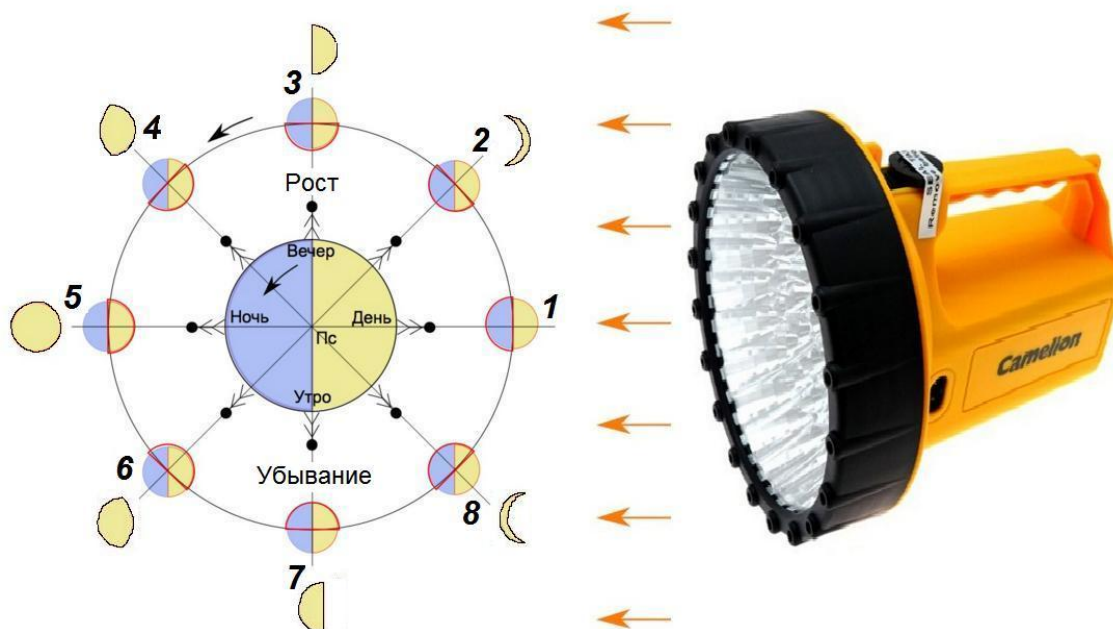


Рис. 22.5. Результаты эксперимента

Фазы Луны начинаются с новолуния (положение 1) – см. рис. 22.5. В это время она совсем не видна с Земли. Спустя два дня появляется и продолжает расти узкий яркий серп «молодой» Луны (положение 2). Спустя семь суток становится видна правая половина лунного диска (положение 3) – наступает фаза первой четверти. Когда мы видим Луну полностью, это положение 5, которое называется полнолунием. В это время солнечные лучи полностью освещают все лунное полушарие. Далее начинает убывание яркости Луны (положение 6) и в положении 7 наступает третья (или последняя) четверть. Освещенной остается левая часть лунного диска. Затем Луна еще больше уменьшается («стареет») и появляется красивый рогатый месяц (положение 8). Затем из поля зрения Луна пропадает полностью – переходит в фазу новолуния, весь цикл повторяется.

**Для сведения.** Следует заметить, что Луна видна на небе не только ночью, но и днем (вернее, в светлое время суток). И это не какое-то редкое астрономическое явление, а так происходит всего несколько дней каждый месяц. Днем Луну труднее заметить – во-первых, днем она не такая яркая,



Рис. 22.6. Правило распознавания фаз Луны

во-вторых, чаще всего видна узким серпиком, и, в-третьих, обычно видна близко к восходу или заходу Солнца, когда люди редко смотрят на небо.

В новолуние и в другие фазы (кроме полнолуния), если хорошенько всмотреться на яркие части Луны, то можно разглядеть и остальные ее едва заметные части, хотя они и выглядят очень темными.

Есть одно из правил, которое помогает разобраться, какую же Луну мы видим – уменьшающуюся (убывающую) или увеличивающуюся (растущую). Надо просто посмотреть на месяц. Если он похож на букву «С» – это Луна «старая» и скоро она совсем исчезнет с неба, будет новолуние. А если при соединении рожек месяца воображаемой линией мы получаем букву «Р», то это будет Луна «растущая», и дело идет к полнолунию – рис. 22.6.

От одного новолуния до следующего проходит около 29,5 (точнее 29,530588 средних солнечных суток). На рис. 22.7 показаны фотографии фаз Луны, в последовательности, начиная с новолуния (НЛ). Полный цикл лунных фаз занимает, как говорят астрономы, синодический месяц. На анимации (рис. 22.8) полный цикл фаз Луны занимает время около секунды.

У планет тоже есть фазы. Астрономы, рассматривая Меркурий и Венеру в телескоп, наблюдали их в виде рогатых месяцев. Когда Землю фотографировали из космоса, то часто космические аппараты передавали космические снимки, на которых наша планета тоже выглядит, подобно Луне.

Фазы Венеры меняются в результате ее вращения вокруг Солнца внутри земной орбиты, давая возможность наблюдателю с телескопом видеть последовательную смену освещения, похожую на смену фаз Луны. На рис. 22.9 для сравнения с фазами Луны показаны фазы планеты Венера в течение одного года.



Рис. 22.7. Все фазы Луны



Рис. 22.8. Полный цикл фаз Луны (анимация)



Полный цикл от «новой» Венеры через «полную» и опять до «новой» длится 584 дня. Это время, необходимое Венере, чтобы обогнать Землю на один оборот. При этом наблюдаемый угловой размер планеты изменяется вместе с фазой, и равен от 9,9" угловых секунд в полной фазе до 68" угловых секунд в нижнем соединении.



Рис. 22.9. Последовательность смены фаз Венеры в течение года

### Вопросы.

1. Прочтите детскую загадку:

Украшал ночную синь  
Серебристый апельсин.  
Две недели пролетели,  
Апельсина мы не ели,  
Но осталась в небе только  
Апельсиновая долька.

Загадка красивая и ответ сразу же напрашивается, что это загадка о Луне и ее фазе. Но в текст загадки закралась астрономическая ошибка. Какая же?

«Серебристый апельсин» – это Луна в фазе полнолуния. «Апельсиновая долька» – это фаза Луны в последней четверти. Через две недели от Луны (апельсина) не останется даже дольки – наступит новолуние. В загадке должна быть строчка «Семь денечков пролетели» – вот тогда фаза сменится на последнюю четверть.

2. Допустим, вы забыли правило распознавания фаз Луны. По каким признакам еще можно отличить молодой месяц от стареющего?

Растущий месяц обычно наблюдается вечером, а стареющий — утром.

## Эксперимент 23. Солнечное затмение

**Факты.** Планеты и их спутники находятся в движении и не стоят на месте: Луна вращается вокруг Земли, а Земля вращается вокруг Солнца. Поэтому время от времени возникают такие моменты, когда Луна в своем движении полностью или частично заслоняет Солнце. По сути – солнечное затмение – это тень Луны на поверхности Земли.

**Цель.** Показать, каким образом происходят солнечные затмения.

**Оборудование и материалы.** Фонарь. Планка длиной немногим больше 120 см. Пластин. Два гвоздя длиной 3–5 см.

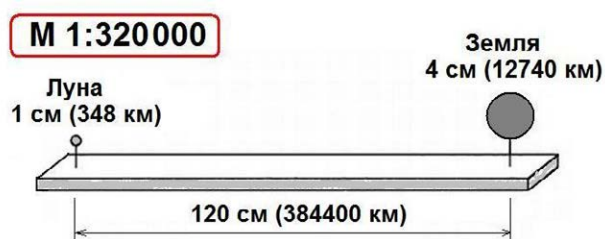


Рис. 23.1. Модель «Земля–Луна» в масштабе 1:320000



### **Инструкция.**

- Вначале изготовьте простую модель «Земля–Луна» в масштабе 1:320000. В заготовленную планку вбейте по концам два гвоздя, так, чтобы расстояние между ними было 120 см. Из пластилина скатайте два шарика, диаметрами 1 и 4 см (меньший шарик будет обозначать Луну, больший шарик – Землю). Прикрепите шарики на шляпки гвоздей (рис. 23.1). На рисунке в скобках указаны реальные диаметры небесных тел и среднее расстояние между ними.
- Расположите фонарь и модель, так, чтобы маленький шарик («Луна») находился между большим шариком («Земля») и фонарем («Солнце»).
- Включите фонарь и, передвигая его или модель «Земля–Луна», добейтесь того, чтобы тень от маленького шарика падала на большой шарик (рис. 23.2).

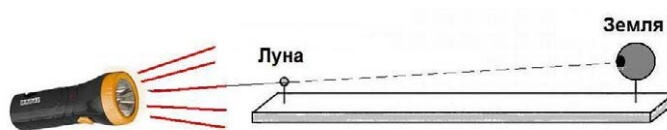


Рис. 23.2. Моделирование солнечного затмения

**Результаты.** На шарике, моделирующем Землю, видна расплывчатая тень (в центре более темная, чем по краям). В процессе настройки модели было видно, как тень маленького шарика перемещается по поверхности большого.

**Объяснение.** Солнечное затмение всегда случается в новолуние. В это время Луна на Земле не видна, потому что та сторона Луны, которая обращена к Земле, не освещена Солнцем (рис. 23.3). Из-за этого земному наблюдателю кажется, что во время затмения Солнце закрывает черное пятно, неизвестно откуда взявшееся.

На поверхности Земли тень от Луны составляет в диаметре около 200 км, что, естественно, во много раз меньше диаметра Земли. Поэтому солнечное затмение можно наблюдать одновременно только в узкой полосе на пути лунной тени.

Солнечное затмение возможно потому, что на небесной сфере для наблюдателя с Земли диаметры Луны и Солнца почти совпадают, несмотря на то, что диаметр Солнца почти в 400 раз превышает диаметр Луны. Это происходит потому, что Солнце примерно в 400 раз дальше от Земли, чем Луна.



Рис. 23.3. Объяснение причины солнечных затмений

**Для сведения.** Тень, которую Луна отбрасывает в сторону Земли, выглядит как сходящийся конус. Острие этого конуса находится чуть дальше нашей планеты, поэтому, когда тень попадает на поверхность Земли, она представляет собой не точку, а сравнительно небольшое (150–270 км в поперечнике) черное пятно. Вслед за Луной это пятно перемещается по поверхности нашей планеты со скоростью около одного километра в секунду.

На рис. 24.4 показан вид на солнечное затмение с орбиты космической станции. На фоне земных облаков хорошо видна тень Луны. В этой области земной наблюдатель может любоваться затмением.

Ближайшее полное солнечное затмение, во время которого светило будет на все 100% закрыто Луной, произойдет 12 августа 2026 года. Затмение начнется на северо-востоке полуострова Таймыр, затем полоса тени пройдет через Северный Ледовитый океан недалеко от Северного Полюса, остров Гренландия, затем пересечет Исландию и войдет на территорию Испании.

Вследствие эллиптической орбиты Луны в моменты, благоприятные для наступления затмений, видимый лунный диск может быть немного меньше солнечного. В этом случае происходит кольцеобразное затмение: вокруг темного диска Луны видно сияющее кольцо поверхности Солнца, что мы и видим на рис. 23.4 и 23.5.

Сведения о солнечных затмениях XXI века представлены по ссылке на рис. 23.5. В период с 2001 по 2100 год на Земле произойдет 224 солнечных затмения,

### **Вопросы.**

1. Замечено, что за мгновение до того, как Солнце полностью скроется во время полного солнечного затмения, яркие пятна солнечного света вспыхивают около края Луны. Что это за явление, как его объяснить – рис. 23.6?



Рис. 23.4. Вид на кольцеобразное солнечное затмение с орбиты космической станции

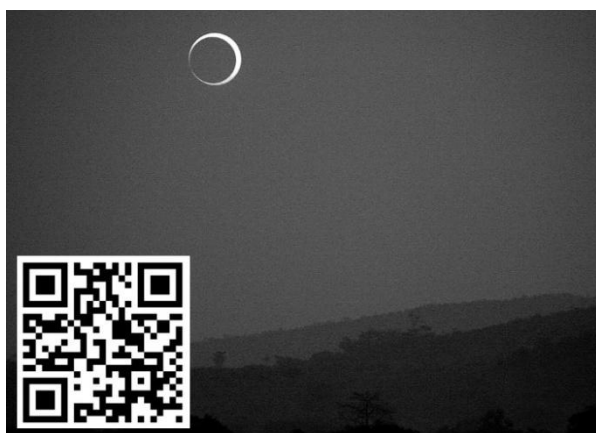


Рис. 23.5. Сведения о солнечных затмениях XXI века (web-страница)

Этот эффект, известный как четки Бейли, назван в честь Френсиса Бейли, который первым обратил внимание на это явление в 1836 году. Когда солнечный диск почти полностью скрыт лунным, но все же солнечный диск проглядывается между лунными горами или углублениями в центрах лунных кратеров, оказавшихся на тот момент на краю лунного диска. Когда доминирует одно яркое пятно, явление называется эффектом бриллиантового кольца.

На видео (рис. 23.7) приведена видеозапись полного солнечного затмения 1.08.2008 г. с телескопа Новосибирского государственного университета. Полная длительность затмения – около 2 часов, поэтому начальная и конечная фазы затмения для наглядности значительно ускорены (в 200 раз), полная фаза затмения ускорена в 5 раз, и только моменты входа в полную фазу и выхода из нее показаны с оригинальной скоростью. В эти моменты на записях можно разглядеть «четки Бейли» и «бриллиантовое кольцо».

2. Представьте гипотетическую ситуацию, что Луна будет постепенно отдаляться от Земли. Как это отразится на солнечных затмениях?

С удалением Луны от Земли, ее видимый угловой размер будет становиться меньше, а полные солнечные затмения будут происходить все реже и кольцеобразные все чаще. К сожалению, полные солнечные затмения будут неумолимо идти к своему исчезновению. Когда средний радиус лунной орбиты возрастет на 23410 км, видимый размер лунного диска будет уже слишком мал, чтобы полностью закрыть Солнце даже когда Луна находится в ближайших к Земле точках своей эллиптической орбиты. С этого момента полные солнечные затмения на Земле станут невозможны.



Рис. 23.6. Вид на солнечное затмение — по краям лунного диска проглядывают яркие пятна



Рис. 23.7. Полное солнечное затмение 1.08.2008 г. (видео 2 мин 16 с)

## Эксперимент 24. Лунное затмение

**Факты.** Солнечные и лунные затмения на Земле – поистине уникальные явления. Лунные затмения происходят значительно чаще солнечных.

**Цель.** Показать, каким образом происходят лунные затмения.

**Оборудование и материалы.** Используйте оборудование предыдущего эксперимента № 23 «Солнечное затмение».

**Инструкция.**

- Установите модель «Земля–Луна» на столе так, чтобы шарик, обозначающий Землю, был направлен в сторону Солнца (фонаря).

- Перемещайте Луну внутри тени (поворачиванием модели или фонаря), которую будет отбрасывать Земля (рис. 24.1).

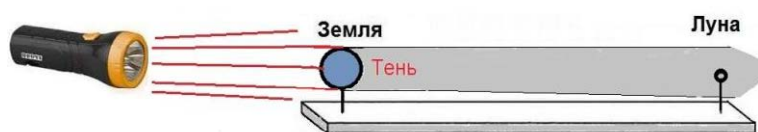


Рис. 24.1. Моделирование лунного затмения

**Результаты.** Так как Земля больше Луны, то воспроизвести лунное затмение будет несложно: оно будет наблюдаться всякий раз, когда тень Земли будет покрывать поверхность Луны.

**Объяснение.** Очевидно, что Земля находится между Солнцем и Луной на одной линии, таким образом, лунное затмение наблюдается в полнолуние. Однако, следует заметить, что такое событие происходит далеко не в каждое полнолуние.

Лунным затмением называют такое астрономическое явление, когда Луна входит в конус тени, отбрасываемой Землей. Существуют разные варианты лунного затмения: когда тень полностью накрывает Луну – это полное лунное затмение, а когда Луна затемнена лишь частично – частное лунное затмение. Когда Луна скрывается в полутени Земли, затмение будет полутеневым – такое затмение невидимо невооруженным глазом (рис. 24.2). При этом яркость лунного диска может незначительно уменьшиться, что, как правило, не заметно без использования специальных приборов. Луна в полутеневом затмении может пройти рядом с областью тени, тогда с одного края лунного диска может быть заметно некоторое затемнение.

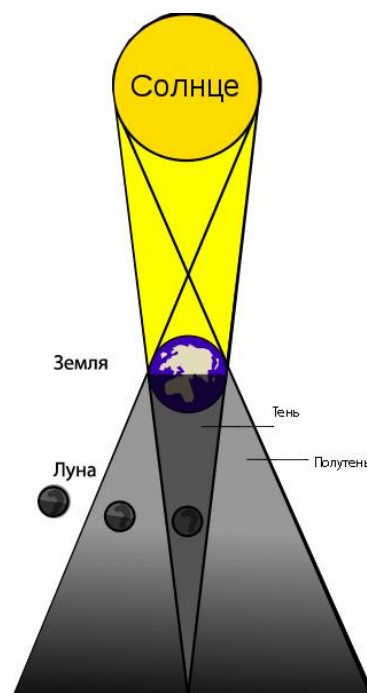


Рис. 24.2. Объяснение причины лунных затмений



Рис. 24.3. Компьютерная модель лунного затмения (анимация)

На рис. 24.3 представлена компьютерная модель лунного затмения в Северном полушарии при прохождении Луны через земную полутень 27 июля 2018 года.

**Для сведения.** Средняя периодичность затмений для одного населенного пункта: одно затмение в 2–4 года, а максимальное количество их в году может достигать трех.

**Вопросы.**

1. Можно ли наблюдать какие бы то ни было затмения с земных полюсов?

Можно наблюдать и солнечные, и лунные затмения, конечно, реже, чем в других местах на Земле.

2. Уже в древности астрономы знали, что солнечные и лунные затмения повторяются в определенном порядке, и, следовательно, могли составлять «расписания» затмений и предсказывать их, однако они никогда не осмеливались ручаться, что их предсказания сбудутся. Почему?

Потому что, зная, когда произойдет то или иное затмение, они не знали, где его можно будет наблюдать. В современных условиях время и место затмения Солнца ученые рассчитывают на много лет вперед. Научные экспедиции заблаговременно выезжают на место очередного затмения Солнца, чтобы углубить свои знания о его строении.

3. Почему лунное затмение гораздо продолжительнее солнечного?

Земля, как и Луна, также отбрасывает тень в сторону, противоположную Солнцу. Диаметр этой тени в три раза превосходит диаметр нашего спутника. В те моменты, когда Луна попадает в область этой тени, наступает лунное затмение.

4. Почему Луна в момент полного затмения окрашивается в темно-красный свет?

Это явление связано с тем, что Луна даже в момент затмения продолжает освещаться солнечными лучами, которые проходят по касательной через земную атмосферу. Известно, что атмосфера Земли наиболее прозрачна для лучей красно-оранжевого спектра.

## Эксперимент 25. Орбитальные кривые

**Факты.** Из законов Кеплера следует, что под действием сил тяготения одно небесное тело движется в поле тяготения другого небесного тела по одному из конических сечений – эллипсу, окружности, параболе или гиперболе.

**Цель.** Получить возможные орбиты движения небесных тел.

**Оборудование и материалы.** Электрический фонарик. Лазерная указка. Кусок мягкой медной или алюминиевой проволоки. Металлический наконечник от пустого стержня шариковой ручки. Скотч. Белый экран. Карандаш.

**Инструкция.**

- Посветите электрическим фонариком на экран (чистый лист бумаги) под разными углами и наблюдайте форму яркого пятна от рефлектора фонарика (рис. 25.1).



- Заготовленным куском проволоки соедините лазерную указку и наконечник стержня от шариковой ручки (рис. 25.2). Наконечник ручки расположите напротив лазера, острием конуса навстречу выходящему лучу. Расстояние между наконечником и линзой лазера должно быть около 10–15 мм. Наконечник нужно обязательно выбрать блестящий (хромированный) и заканчивающийся правильным конусом с гладкой зеркальной поверхностью без неровностей, царапин и борозд от обработки.
- Зафиксируйте кнопку лазерной указки скотчем и направьте отраженные лучи от блестящей конической поверхности на экран.
- Меняя угол падения лучей лазера на экран, получите разные типы кривых; каждую из них обведите карандашом.

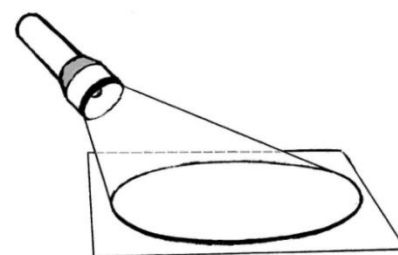


Рис. 25.1. Форма пятна от фонарика

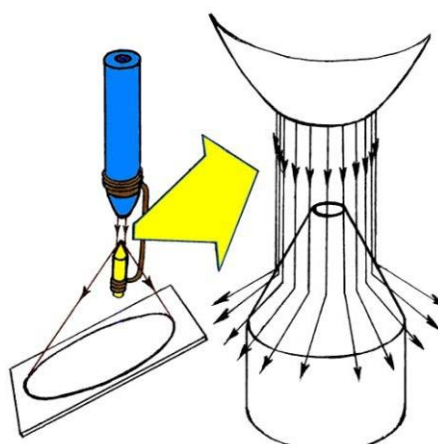


Рис. 25.2. Сборка экспериментальной установки

**Результаты.** При размещении фонарика напротив экрана получаем круг, при наклоне фонарика – эллипс. Освещая лист белой бумаги, включенным в темноте прибором, изготовленным на основе лазера, наблюдают яркие и четкие кривые.

**Объяснение.** Свет от точечного источника распространяется по конусу. Если свет фонарика направлен перпендикулярно экрану (ось конуса перпендикулярна секущей плоскости), пятно имеет форму круга. При небольшом отклонении фонаря от вертикали круг света вытягивается, приобретая овальные очертания (см. рис. 25.1). Такое коническое сечение (рис. 25.3; а) называется эллипсом.

Дальнейший наклон приводит к увеличению длины эллипса, который в определенный момент перестает быть замкнутым. Это коническое сечение (рис. 3; б) называется параболой.

Наконец, еще склонив ось осветителя, получаем световое пятно, ограниченное коническим сечением, называемым гиперболой (рис. 3; в), имеющей в отличие от параболы вторую ветвь, симметричную первой.

Разумеется, что сечение, перпендикулярное оси конуса даст окружность.

**Для сведения.** Плоские кривые, которые получаются пересечением прямого кругового конуса плоскостью, в математике называют кониче-

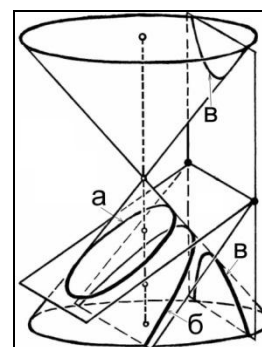


Рис. 25.3. Получение конических сечений

скими сечениями. Конические сечения представляет собой геометрическое место точек, удовлетворяющих уравнениям второго порядка. Трактаты о конических сечениях, написанные Аристеем и Евклидом в конце IV века до нашей эры, были утеряны, но материалы из них вошли в знаменитые «Конические сечения» Аполлония Пергского, которые сохранились до нашего времени.

Конические сечения часто встречаются в природе и технике. Например, орбиты планет и спутников, имеют форму эллипсов и окружностей. Параболическое зеркало обладает тем свойством, что все падающие лучи, параллельные его оси, сходятся в одной точке (фокусе). Это свойство используется в телескопах-рефлекторах. Антенны радаров, радиотелескопов, прожекторов и специальных микрофонов имеют параболическую форму.

### Вопросы.

1. Какая линия получится в сечении конуса, если секущая плоскость будет параллельна оси конуса и проходить через его вершину?

В случае прохождения плоскости через вершину конической поверхности гиперболы вырождается в две пересекающиеся прямые.

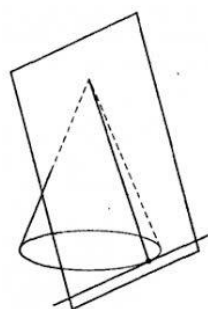


Рис. 25.4. Секущая плоскость касается поверхности конуса

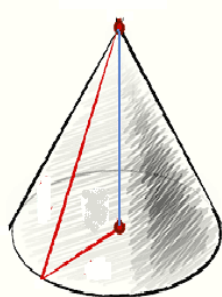


Рис. 25.5. Прямой и наклонный конус

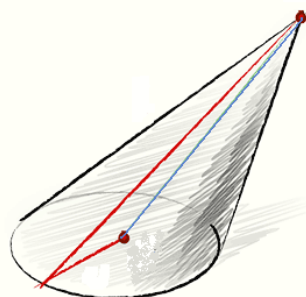


Рис. 25.6. Воронка

2. Какая линия получится, если секущая плоскость будет только касаться поверхности конуса и проходить через его вершину?

Получится прямая линия (рис. 25.4).

3. У наклонного конуса ось и высота не совпадают (рис. 25.5). Можно ли секущей плоскостью в таком конусе получить кривые линии второго порядка, как и в прямом конусе?

Можно.

4. Если в коническую воронку (рис. 25.6), у которой предварительно был закупорен слив, налить воду, то можно ли наклоняя ее получать кривые второго порядка?

При различных углах наклона и закрытой верхней части воронки, вполне можно получать кривые второго порядка, что демонстрируется в видео со специальным прибором (рис. 25.7).

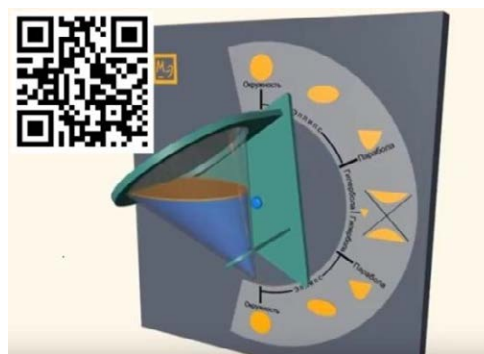


Рис. 25.7. Конус с водой (видео 50 с)

## Эксперимент 26. Построение эллипса

**Цель.** Научиться простейшим способом вычерчивать эллипс, вписанный в прямоугольник.

**Оборудование и материалы.** Карандаш. Три булавки. Кусок нитки. Прямоугольный лист бумаги.

### Инструкция.

- Нарисуйте на листе бумаги любой прямоугольник (как вариант контуром прямоугольника можно считать края листа).
- Прямоугольник разделите на четыре равные части, как показано на рис. 26.1, а.
- При помощи циркуля найдите, где круг (показанный на рисунке а) пересекает длинную среднюю линию. Эти пересечения обозначены точками 1 и 2.
- Воткните в эти точки булавки, а третью булавку (3) – в конце средней линии – рис. 26.1, б.
- Плотно охватите все три булавки прочной ниткой, как показано на рисунке б, так чтобы получилось кольцо; концы нитки свяжите узлом.
- Удалите булавку 3 и очертите карандашом эллипс, как показано на рис. 26.1, в.
- В процессе вычерчивания эллипса нитка должна быть постоянно равномерно натянута (рис. 26.2).

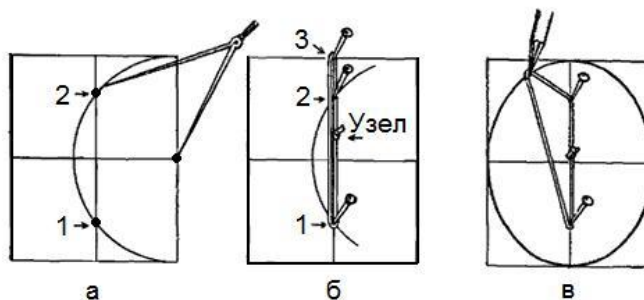


Рис. 26.1. Последовательность вычерчивания эллипса



Рис. 26.2. вычерчивание эллипса (анимация)

**Результаты.** Надеемся, что эллипс у вас получился, хотя есть и другие способы построения этой фигуры.

### Вопросы.

1. Где в астрономии используется понятие эллипса?

Немецкий астроном Иоганн Кеплер доказал, что орбиты всех планет представляют собой вытянутые окружности – эллипсы. По эллипсам движутся вокруг Земли ее искусственные спутники и естественный спутник – Луна. Кольца Урана и Сатурна также имеют эллиптическую форму. Исаак Ньютон показал, что любое тело в поле тяготы

ния будет двигаться по коническому сечению. С понятием эллипса в астрономии связаны и эллиптические галактики. Они составляют примерно 25 % от общего числа галактик высокой светимости. Орбиты большинства комет – сильно вытянутые эллипсы.

2. Считая построенный вами эллипс орбитой планеты, выполните следующие задания:

- На полученной орбите планеты на месте булавки 1 или 2 нарисуйте большую точку – пусть это будет Солнце.
- Обозначьте большую и малую полуоси эллипса.
- Точками отметьте перигелий и афелий.
- Обозначьте перигелийное и афелийное расстояния.
- Подсчитайте эксцентриситет орбиты.

## Эксперимент 27. Геостационарный спутник

**Факты.** Геостационарный искусственный спутник Земли представляет собой космический аппарат, который движется вокруг планеты в восточном направлении (в том же, в каком вращается сама Земля), по круговой экваториальной орбите с периодом обращения, равным периоду собственного вращения Земли (рис.27.1).

Из-за кажущейся неподвижности и большой высоты 35 786 км, с которой видна почти половина поверхности Земли, на геостационарную орбиту выводят спутники-ретрансляторы для телевидения, радио и коммуникаций – рис. 27.2.

**Цель.** Показать, как образуется геостационарная орбита искусственного спутника Земли.

**Оборудование и материалы.** Шпагат или веревка длиной (2–3 м). Офисный стул. Помощник.



Рис. 27.1. Геостационарная орбита спутника связи



Рис. 27.2. Спутники связи  
(видео 26 мин 23 с)



### **Инструкция.**

- Сядьте на поворачивающийся стул и возьмите в руки один конец веревки, второй конец веревки пусть возьмет помощник.
- Помощник отойдет от вас на длину веревки и начнет по кругу обходить поворачивающийся стул, так чтобы во время движения вы смотрели друг на друга (рис. 27.3).

**Результаты.** Помощник движется по кругу значительно быстрее, чем экспериментатор поворачивается на стуле. Период обращения стула («Земля») равен периоду обхода помощника по кругу.

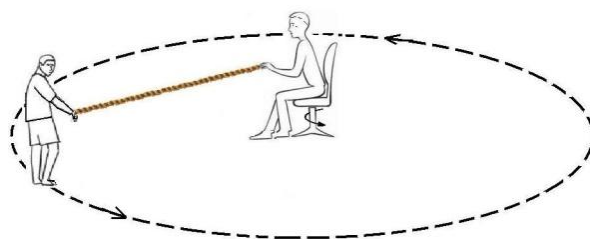


Рис. 27.3. Демонстрация орбиты геостационарного спутника

**Объяснение.** Геостационарная орбита – круговая орбита, расположенная над экватором Земли ( $0^\circ$  широты), находясь на которой, искусственный спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси, и постоянно находится над одной и той же точкой на земной поверхности. Таким образом, если смотреть с Земли на геостационарный спутник, мы будем видеть его неподвижно висящим над нами в одном и том же месте.

Геостационарные спутники располагаются над Землей на высоте 35786 км. Именно такая высота обеспечивает спутнику период обращения, равный периоду вращения Земли. С увеличением высоты орбиты, на которой находится спутник, увеличивается и период его обращения по данной орбите. Поэтому эти спутники все время находятся над одной точкой на экваторе.

**Для сведения.** В действительности положение геостационарного спутника на орбите все-таки не является неизменным: он испытывает незначительный «дрейф» под воздействием тяготения других небесных тел, вызывающих изменение орбиты. При этом изменение положения орбиты за год может достигать 0,92.

Зоны взаимной видимости земных станций через спутники на геостационарной орбите, расположенные под углом  $120^\circ$ , показаны на рис. 27.4. Система, состоящая из трех спутников этого типа, способна обеспечить охват почти всей земной поверхности. Вместе с тем, связь через геостационарные спутники характеризуется большими задержками в распространении сигнала. При высоте орбиты около 36 тыс. км и скорости света примерно 300 000 км/с ход луча «Земля-спутник» требует около 0,12 с.

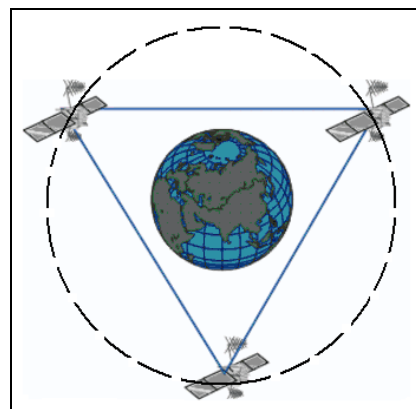


Рис. 27.4. Система из трех спутников обеспечивает охват почти всей земной поверхности



Геостационарная орбита является наиболее привлекательной, выгодной для решения многих научных, народнохозяйственных, военных, навигационных, коммерческих и иных задач. Около 80% активных, функционирующих искусственных спутников дислоцируются на таких орбитах.

Геостационарную орбиту следует отличать от геосинхронной орбиты (рис. 27.5).

Геосинхронная орбита – такая орбита, для которой период обращения спутника равен периоду осевого вращения центрального тела, но ее плоскость не совпадает с плоскостью экватора центрального тела.

Для искусственных спутников Земли, вышедших из строя, существуют орбиты захоронения – отдельный класс орбит, специально предназначенный для увода на них спутников, чтобы уменьшить вероятность их столкновения с работающими спутниками и для освобождения места новым спутникам. Орбитой захоронения считается орбита, на 200 км выше орбиты геостационарного спутника.

### Вопросы.

1. Спутники на относительно небольших высотах испытывают торможение со стороны атмосферы. Опишите механизм торможения спутника с эллиптической орбитой.

Если орбита эллиптическая, то результат действия сопротивления атмосферы будет следующим: максимальное сопротивление искусственный спутник Земли будет испытывать в перигее, а минимальное – в апогее. Сопротивление атмосферы слабо меняет высоту перигея, но уменьшает высоту апогея – в результате эллиптичность орбиты уменьшается, и спутник начинает спуск по спирали. На рис. 27.6 показано снижение спутника в случае эллиптической орбиты.

2. Возможен ли запуск искусственного спутника Земли с орбитой, проходящей через оба полюса?

Спутник MetOp-A стал первым полярным спутником Европейского космического агентства, предназначенным для метеорологических целей. Такая орбита позволяет получать более четкие снимки всей планеты в отличие от спутников Meteosat, помещенных на очень высокие геостационарные орбиты (напомним, «висящих» над определенной точкой земной поверхности) и снимающих лишь половину земного шара. Данные, полученные с таких спутников, позволяют проводить мониторинг климата и повысить точность прогнозирования погоды.

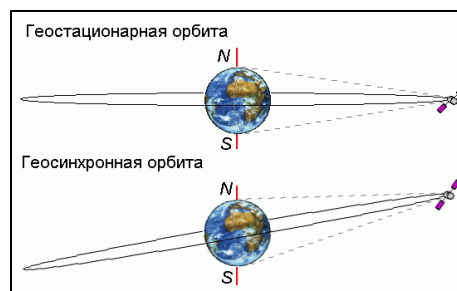


Рис. 27.5. Отличие спутников с геостационарной и геосинхронной орбитами

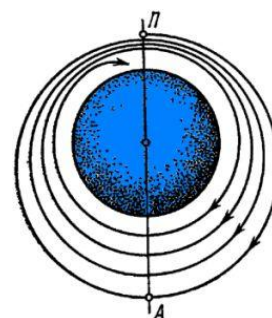


Рис. 27.6. Снижение спутника в атмосфере

## Эксперимент 28. Ракета

**Факты.** Почему летит птица? Крылья загребают воздух и толкают его назад, соответственно птица движется вперед. Почему летит самолет или движутся аэросани? Потому, что у них двигатель работает и вращает воздушный винт. Винт «врезается» в воздух, и тянет эти аппараты вперед. Если нет воздуха, то самолет не полетит. Ясно, что в безвоздушном пространстве самолеты летать не могут, для этого нужны ракеты. Почему же летит ракета?

**Цель.** Показать принцип действия ракеты.

**Оборудование и материалы.** Воздушный шарик. Прочная нить длиной 4–5 м. Два небольших колечка. Скотч.

**Инструкция.**

- Сделаем «ракету». Для этого надуйте шарик, затем в двух местах поперечнику сделайте две стяжки из скотча (липкой стороной к шарiku).

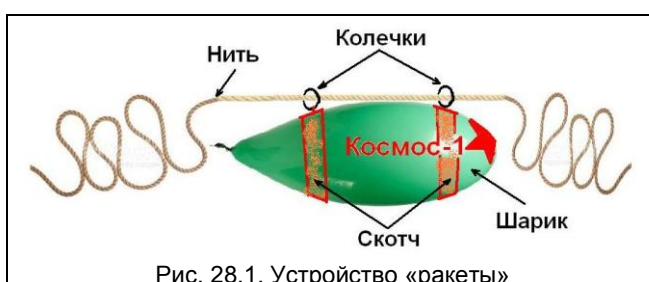


Рис. 28.1. Устройство «ракеты»

- К скотчу прикрепите колечки. Одновременно на шарике можно сделать надписи или рисунки. Вместо колечек можно взять трубочку для коктейля.
- Сквозь колечки ракеты (или прикрепленную трубочку для коктейля) пропустите заготовленную нить или тонкую проволоку (рис. 28.1).
- Между двумя стульями (или подходящими предметами) натяните нить.
- Надуйте шарик, придерживая пальцами надувное отверстие, передвиньте шарик к одному из концов нити, освободите выход воздуха.

**Результаты.** Струя воздуха вырывается из шарика назад, а сам шарик («ракета») вдоль нити летел вперед, пока не закончился запас воздуха (рис. 28.2).

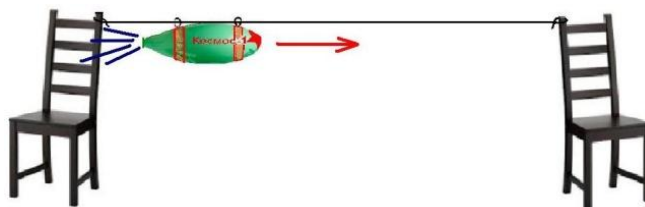


Рис. 28.2. Полет «ракеты»

**Объяснение.**

На Луну может долететь только ракета. При сгорании топлива получается много горячих газов. Из сопла ракеты газы вырываются сильной струей. За ракетой от газов остается огненный хвост. Ракета отталкивается от выбрасываемых газов: она сама себя толкает. Для того, чтобы двигаться вперед, нужно от чего-то отталкиваться. У ракеты все то, что заставляет ее

лететь вперед, само летит назад. В нашем эксперименте ракета отталкивалась от сжатого воздуха, который в течение некоторого времени выбрасывался наружу; от чего и приводилась модель ракеты в движение. Вместо воздуха могла быть, например, вода.

**Для сведения.** В основу действия ракетных двигателей положен третий закон Ньютона. Историческая формулировка этого закона говорит, что любому действию всегда есть равное и противоположное противодействие, проще говоря — реакция. Поэтому и двигатели такие называются реактивными.

Скорость ракеты тем больше, чем больше скорость выброшенного газа и чем больше его масса. Реальная скорость ракеты будет значительно меньше, поскольку вблизи Земли заметное сопротивление воздуха и топливо сгорает не сразу полностью, а постепенно. При этом масса ракеты также уменьшается постепенно. Законы движения тел переменной массы намного сложнее. Они были исследованы учеными И.В. Мещерским и К.Э. Циолковским.

Полезная нагрузка, выводимая в космос, составляет лишь незначительную долю массы ракеты. Ракеты-носители главным образом «транспортируют» себя, то есть собственную конструкцию: двигатели и топливные баки, а также топливо, необходимое для дальнейшей их работы. Топливные баки и ракетные двигатели находятся в разных ступенях ракеты и, как только они вырабатывают свое топливо, то становятся ненужными. Чтобы не нести лишний груз, отработавшие ступени и пустые баки отделяются от ракеты.

QR-код на рис. 28.3 позволяет посмотреть фильм телестудии Роскосмоса о новых импульсных реактивных двигателях.

### **Вопросы.**

1. С какой целью ракеты конструируют многоступенчатыми?

Казалось бы, что как только ракета вышла в космос, то цель достигнута (космос начинается уже на высоте примерно 100 км). Но целевая орбита космического аппарата или полезного груза может быть гораздо выше орбиты, от которой начинается космос. Например, геостационарная орбита, на которой размещаются телекоммуникационные спутники, расположена на высоте 35786 км над уровнем моря, а для этого и нужен еще один разгонный блок, который является дополнительной ступенью ракеты. Для перемещения космического аппарата на целевую орбиту или направления его на отлетную, разгонный блок должен иметь возможность выполнить один или несколько маневров, при совершении которых изменяется скорость полета. А для этого необходимо каждый раз включать двигатель.



Рис. 28.3. «Мотор» для космоса  
(видео 7 мин 6 с)

## 2. Как осуществляется защита экипажа в случае возникновения аварийных ситуаций при запуске космической ракеты?

Аварийные ситуации происходят в основном во время запуска ракет. При запуске ракеты экипаж находится в специальной капсуле в головной ее части. В случае возникновения экстренной ситуации эта часть ракеты «отстреливается» от основного источника опасности с баками топлива и двигателями и уводится в сторону от места аварии. После чего осуществляется парашютный спуск. Если полет проходит нормально, то после достижения безопасной высоты система аварийного спасения, как ненужная, отделяется от ракеты-носителя.

## Эксперимент 29. Радиус Земли

**Факты.** Широко известен метод определения размера Земли, проведенный греческим астрономом Эратосфеном, который жил в 278–196 годы до нашей эры. Эратосфен придерживался учения Пифагора и Аристотеля о шарообразности Земли. Ученый уже знал, что всякую окружность, в том числе и окружность земного шара, можно измерить. Для этого нужно было вычислить величину части окружности (дуги) земного шара и подсчитать, сколько раз эта часть укладывается в полной окружности.

Подробнее об измерении размеров Земли Эратосфеном – рис. 29.1.

В нашем эксперименте мы повторим на модели метод измерения радиуса Земли, предложенный выдающимся среднеазиатским ученым Абу Рейхан Бируни (973–1048). Этот метод измерения размера Земли, в отличие от метода Эратосфена, не требует астрономических наблюдений.

Для измерения по методу Бируни нужно найти высокую гору, поднимающуюся над берегом моря или плоской равниной, и определить с помощью геодезических методов ее высоту  $h$  по отвесу. Затем, поднявшись на вершину горы, следует определить угол  $\alpha$  между направлением на линию горизонта и перпендикуляром к отвесу. По этим двум параметрам ( $h$  и  $\alpha$ ) и рассчитывается диаметр Земли.

**Цель.** На модели провести измерение радиуса Земли по методу Бируни.

**Оборудование и материалы.** Стандартный лист бумаги. Циркуль. Миллиметровая линейка. Транспортёр. Карандаш.

### Инструкция.

- На листе бумаги циркулем вычертите круг (это будет «Земля»).
- Из центра круга проведите радиус  $R$  и немного продлите его за пределы «поверхности» Земли (на расстояние  $h$ ); это будет какая-то во-

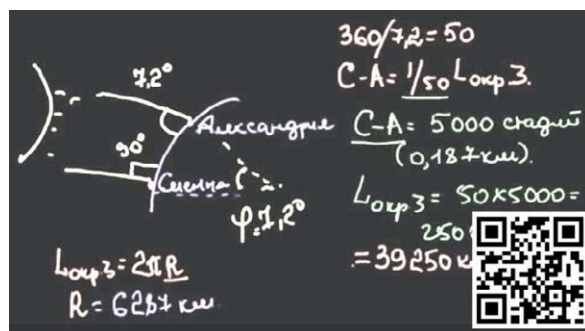


Рис. 29.1. Определение размеров Земли Эратосфеном (видео 4 мин 16 с)

ображаемая естественная возвышенность над поверхностью Земли (рис. 20.2).

- С «возвышенности» высотой  $h$  проведите касательную к кругу, то есть к «поверхности» Земли.
- Перпендикулярно к линии  $(R + h)$  с «вершины» возвышенности проведите еще одну прямую.
- Используя чертеж и произведя элементарные математические выкладки можно получить формулу для определения радиуса Земли:  $\frac{R}{R + h} = \cos \alpha$ .
- Рассчитайте радиус модели «Земли» по измерениям угла  $\alpha$  и высоты  $h$ .

**Результат.** Если вы тщательно провели измерения и правильно проделали вычисления, то в результате получите радиус окружности (модели «Земли»). При удвоении радиуса – получите диаметр.

**Объяснение.** Перепишем исходную формулу в виде:  $R = \frac{\cos \alpha}{1 - \cos \alpha} h$ . Тогда диаметр круга будет:  $D = 2R$ . Подставьте в формулу измеренные значения  $h$  и  $\alpha$ . Сравните полученный результат с диаметром круга на чертеже.

Бируни произвел соответствующие измерения, находясь в Индии в крепости Нандна. Недалеко от крепости возвышалась гора, высоту которой Бируни определил в 650 локтей. При наблюдении с ее вершины линия визирования опустилась от горизонтали на  $0^\circ 34'$ ; косинус этого угла равен 0,99995. Радиус Земли, рассчитанный по этим данным, примерно равен 13 000 000 локтей. Поскольку в одной миле, которой пользовался Бируни, содержится 4000 локтей; отсюда радиус Земли – 3250 миль.

**Для сведения.** Миля применялась в ряде стран в древности, а также во многих современных странах до введения метрической системы мер. Еще в XVIII веке в Европе было 46 различных единиц измерения, называвшихся милями. Величина мили различна в различных странах и колеблется от 0,58 км до 11,3 км. Британская и американская миля в наше время примерно равны 1,6 км. Таким образом, радиус Земли по измерениям Бируни равен  $3250 \times 1,6 = 5200$  км (по современным данным средний радиус Земли 6371 км).

Определение размеров Земли в современных условиях состоит в том, что по меридиану измеряют некоторую дугу – в линейных мерах и в градусах. Определяют также разность географических широт этих пунктов астрономическим способом (например, по разности высот Полярной звезды в этих пунктах).

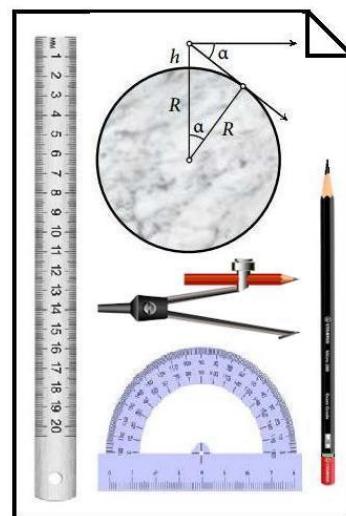


Рис. 29.2. Инструменты, необходимые для определения радиуса Земли



Масштабные градусные измерения были выполнены в прошлом столетии русскими учеными под руководством В.Я. Струве – рис. 29.3.

### **Вопросы.**

1. Почему, когда мы рассматриваем радиус Земли, то всегда говорим, что это средний радиус Земли и он равен 6371 км?

В действительности Земля не идеальный шар. Земля имеет форму сплюсщенного сфероида, и имеет выпуклости вокруг экватора. Это связано с ее вращением. Из-за выпуклости вокруг экватора диаметр Земли на экваторе на 43 км больше, чем у полюсов.

2. У Циолковского среди философских работ есть статья «Пифагор (Фантазия)», написанная в 1920 году, в которой Пифагору в споре о шарообразности Земли возражает оппонент следующим образом: *«Ты говоришь, что Земля похожа на шар. Как можно с этим согласиться! Шар гладок, а мы видим кругом себя бесчисленные неровности, пропасти и горы. Ты скажешь, что это только вблизи, а издали Земля также шарообразна, как мячик. Но вот взойдем отсюда на самую высокую гору и посмотрим кругом. Опять мы видим неровности и громадную площадь. Скорее Земля похожа на поверхность круглого стола с кучами камней»*. Какой ответ вы бы дали оппоненту?

Самая высокая точка на Земле, гора Эверест (8848 м над уровнем моря) расположена в Гималаях. Марианская впадина (10994 м ниже уровня моря) находится в Тихом океане и является самой глубокой точкой на Земле. Даже такие высоты и глубины являются маленькими морщинами на фоне всей поверхности земного шара.



Рис. 29.3. Геодезическая дуга Струве в Беларуси (видео 13 мин 8 с)

## **Эксперимент 30. Сжатая Земля**

**Факты.** Одним из первых высказал мысль о шарообразности Земли древнегреческий математик и философ Пифагор (ок. 570–500 до н. э.). Более поздние исследования показали, что Земля представляет собой сплюснутый сфероид, то есть не правильный шар, а немного сжатый с полюсов (эллипсоид). Расстояние от Южного до Северного полюса равно 12 713,505 км, диаметр Земли на экваторе – 12 756,274 км, что на 42,769 км больше.

**Цель.** Экспериментально показать, как вращение влияет на форму предмета и почему Земля сплюснута по направлению своей оси.

**Оборудование и материалы.** Плотная бумага. Ножницы. Спица. Трубочка для коктейля. Пуговица. Клей.

**Инструкция.**

- Из плотной бумаги вырежьте полоску шириной 1,0–1,5 см и длиной около 20 см. Склейте полоску бумаги в кольцо.
- На стыке кольца и в противоположной ему стороне сделайте небольшие отверстия, так, чтобы спица свободно проходила сквозь них.
- Примерно на середине спицы жестко закрепите небольшую пуговицу — это подпятник импровизированного подшипника, вокруг которого должно вращаться бумажное кольцо.
- Приклейте подпятник подшипника к кольцу. На выступающий конец спицы наденьте кусок трубочки для коктейля (рис. 30.1). Кольцо на спице проворачиваться не должно, оно может только вращаться вместе со спицей.
- Держа надетую на спицу трубочку левой рукой, пальцами правой руки с силой крутаните спицу. Она завертится вместе с бумажным кольцом. Не давая спице остановиться, быстро подкручивайте ее пальцами — рис. 30.2. Для более интенсивного вращения на выступающий кончик спицы намотайте небольшой кусочек изоляционной ленты или лейкопластыря.

**Результаты.** При быстром вращении изменяется форма вращающегося кольца. Вращающееся кольцо, как и наша Земля, не избежали изменения формы. Кольцо несколько расширилось по «экватору», и сжалось по «полюсам» (вдоль спицы).

**Объяснение.** Из-за вращения вокруг своей оси и возникающей при этом центробежной силы, Земля немного сплюснута у полюсов. Такой сплюснутый у полюсов шар называется сфероидом или эллипсоидом вращения. В действительности фигура Земли еще сложнее. Она отклоняется от правильной формы сфероида из-за неоднородного строения недр и не-



Рис. 30.1. Изготовление прибора для демонстрации сжатия Земли



Рис. 30.2. Вращение кольца, надетого на спицу

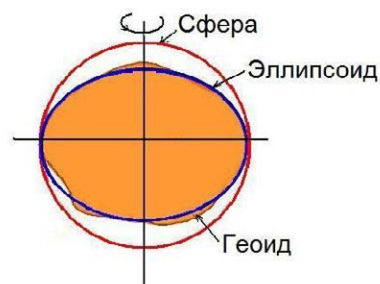


Рис. 30.3. Эллипсоид и геоид

равномерного распределения массы. Истинная геометрическая фигура Земли называется геоидом («землеподобным») – рис. 30.3.

Детальные измерения с помощью искусственных спутников показали, что Земля сжата не только на полюсах, но и по экватору – наибольший и наименьший радиусы по экватору отличаются на 210 м. Земной эллипсоид несимметричен и по отношению к экватору – южный полюс расположен к экватору немного ближе, чем северный

**Для сведения.** Физическая поверхность Земли, осложненная горами и впадинами, не совпадает и с поверхностью геоида, отступая от него на несколько километров. Сила тяжести постоянно стремится выровнять поверхность Земли, привести ее в соответствие с поверхностью геоида.

Разные минералы, спрятанные под поверхностью Земли, имеют разную плотность — и по-разному притягивают к себе тела. Поэтому сведения, где и как сила притяжения отклоняется от нормы, позволяет узнать довольно многое про внутреннее устройство планеты. На рис. 30.4 показана объемная карта гравитационного поля нашей планеты. Ее построили по наблюдениям спутника GOCE, принадлежащего Европейскому космическому обществу и запущенного в марте 2009 года с российского космодрома Плесецк.

Предполагается, что комплекс вращательных движений, совершаемых нашей планетой вокруг своей оси, вокруг Солнца и вокруг центра Галактики находит свое отражение в геологических процессах, в частности движении тектонических плит. На протяжении миллионов лет постоянно меняются очертания континентов – рис. 30.5.

### **Вопросы.**

1. Как можно получить геометрическое тело эллипсоид?

Эллипсоид – это фигура вращения в трехмерном пространстве, образованная при вращении эллипса вокруг одной из его главных осей (рис. 30.6).

2. Характерно ли сжатие по направлению полюсов, подобное как у Земли, для других небесных тел?

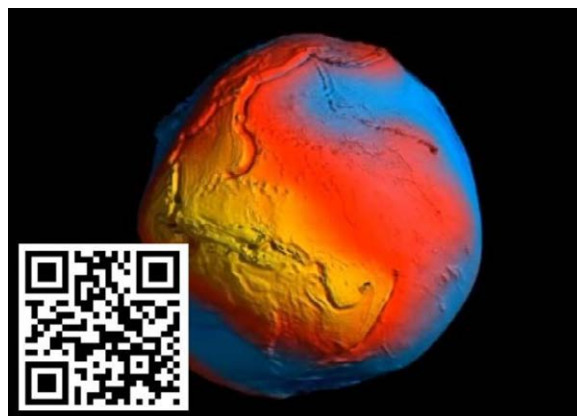


Рис. 30.4. Объемная карта гравитационного поля Земли



Рис. 30.5. Движение тектонических плит Земли (видео 3 мин 18 с)

В 1822–1827 годы русский астроном В.Я. Струве организовал и руководил измерением дуги меридиана рекордной для того времени длины – свыше  $25^\circ$  на огромном пространстве от Ледовитого океана до устья Дуная (см. эксперимент 29). До этого также проводились масштабные измерения дуги меридиана. Французской академии наук снарядила две экспедиции. В 1735 году одна из них отправилась проводить астрономические и геодезические работы в Перу (экспедиция работала в этом экваториальном районе Земли около 10 лет). Другая экспедиция, трудилась в 1736–1737 годах вблизи Северного полярного круга. В результате выяснилось, что длина дуги одного градуса меридиана неодинакова у полюсов Земли и у ее экватора. Градус меридиана оказался у экватора длиннее, чем в высоких широтах (111,9 км и 110,6 км). Так было доказано, что Земля сжата у полюсов и представляет собой не шар, а тело, близкое по форме к сфероиду. Великий Исаак Ньютон (1643–1727) предвосхитил результаты экспедиций: он сделал правильный вывод о том, что Земля сжата, так как наша планета вращается вокруг оси. Чем быстрее вращается планета, тем больше должно быть ее сжатие. Например, сжатие Юпитера больше, чем Земли (Юпитер успевает сделать оборот вокруг оси по отношению к звездам за 9 ч 50 мин, а Земля только за 23 ч 56 мин).

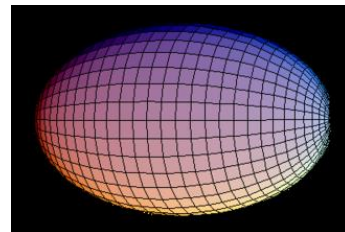


Рис. 30.6. Эллипсоид вращения

## Эксперимент 31. Диаметр Луны

**Факты.** Определение размеров небесных тел всегда занимало людей, интересующихся астрономией. С древних времен человек наблюдал за небом и пытался составить представление о видимых на нем объектах. Астрономам необходимо не только знать диаметр небесных тел в километрах, но также их угловые размеры.

После установления размера Земли следующим вполне логичным вопросом стало определение размера Луны.

Астрономам из Александрии были известны весьма точно размеры Земли, Луны и расстояния до Луны. Имелась очень грубая оценка расстояния до Солнца. Однако, совсем не были известны расстояния до планет и до звезд. Они знали только, что планеты находятся дальше, чем Луна, а звезды дальше Солнца и планет.

Угол, под которым мы наблюдаем космическое тело, называется его угловым диаметром. Угловой диаметр Луны и Солнца можно выразить в радианах или в градусах.

Определение видимых размеров Луны в небе можно провести путем сравнения с земными предметами. Мы можем приблизительно сравнить видимые размеры Луны с размерами, например, небольшого диска, помещенного на некотором расстоянии от наших глаз.

**Цель.** Методом сравнения определить угловой диаметр и линейный размер Луны.

**Оборудование.** Диск ( $d = 0,5$  см) из любого непрозрачного материала. Метровая линейка.



### Инструкция.

- Прикрепите подготовленный диск клеем или пластилином к какой-либо подставке (булавка, спичка, зубочистка и т.п.), так чтобы за подставку можно было держать диск.
- Выберите для эксперимента вечер, когда на небе видна полная Луна. Станьте так, чтобы Луна попала в поле зрения.
- За подставку держите диск перед глазами в вытянутой руке, придвигая, или отодвигая его от себя, добейтесь такого положения, чтобы диск полностью закрыл Луну.
- Пусть помощник измерит расстояние ( $l$ ) от глаза до диска (рис. 31.1).
- Считая известным расстояние от Земли до Луны ( $L$ ), подсчитайте линейный диаметр Луны ( $D$ ).
- Подсчитайте угловой диаметр ( $\varphi$ ) Луны.

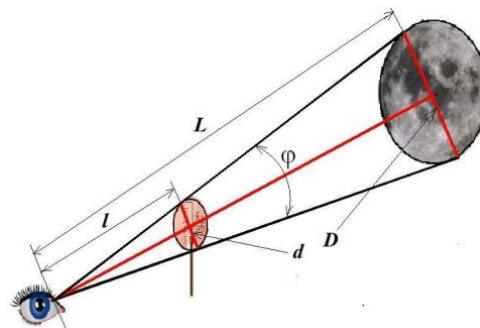


Рис. 31.1. Определение диаметра Луны методом сравнения

**Результат.** Если между глазом и Лунной поместить небольшой предмет (диск), то можно подобрать такое расстояние от глаза до диска, что видимые диаметры Луны и диска будут совпадать. При диаметре диска 0,5 см расстояние от глаза до диска оказалось равным  $l = 55$  см. Естественно, что при других размерах диска, расстояние  $l$  будет иным.

**Объяснение.** Зная диаметр диска и его расстояние до глаза, и вычисляя их отношение, можно определить отношение видимого диаметра Луны и ее расстояния до наблюдателя (исходя из подобия треугольников) – см. рис. 31.1:  $\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$ . Откуда  $D = \frac{L \cdot d}{l} = \frac{384400000 \cdot 0,005}{0,55} \approx 3500000$  (м) или 3500 км.

Если отрезок длиной  $D$  перпендикулярен линии наблюдения (является серединным его перпендикуляром и находится на расстоянии  $L$  от наблюдателя), то формула для углового диаметра этого отрезка будет выглядеть следующим образом:  $2 \arctg \frac{D}{2L}$ . Если размер тела  $D$  мал по сравнению с расстоянием от наблюдателя  $L$ , то угловой размер (в радианах) определяется отношением  $\frac{D}{L}$ , так как  $\arctg \varphi \approx \varphi$  для малых углов.

При удалении тела от наблюдателя (увеличении  $L$ ), угловой размер тела уменьшается.

Угловой размер Луны в радианах  $\frac{D}{L} = \frac{3500 \text{ км}}{384400 \text{ км}} \approx 0,009$  рад или  $0,52^\circ$ . Более точные расчеты дают средний видимый угловой диаметр Луны  $31'05''$  (вследствие эллиптичности лунной орбиты угловой размер изменяется от  $29'24''$  до  $33'40''$ ).



**Для сведения.** В градусной мере измерения углов за единицу принимается поворот луча на  $1/360$  часть одного полного оборота. Полный оборот составляет  $360^\circ$  (например, при движении часовой стрелки). Градус делится на 60 минут (обозначение «'»). Минута делится на 60 секунд (обозначение «''»).

В радианной мере измерения углов принимается за единицу измерения острый угол, под которым видна из центра окружности ее дуга, равная по длине радиусу окружности (рис. 31.2). Такой угол называется — радиан ( $1 \text{ рад} = 57^\circ 17' 45''$ ).

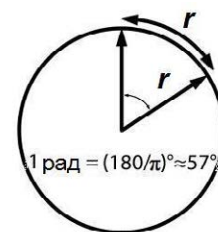


Рис. 31.2. Радиан

### Вопросы.

1. Угловой диаметр Луны меняется вследствие эллиптичности лунной орбиты. Будут ли отличаться результаты измерений диаметра Луны, когда она находится высоко над горизонтом и у линии горизонта?

Наверное, все обращали внимание на то, что, когда Солнце поднимается из-за горизонта или, наоборот, опускается к нему, оно кажется очень большим. Точно так же Луна и созвездия у горизонта кажутся в два-три раза больше, чем в верхней кульминации. Действительно, Солнце и Луна у горизонта всегда кажутся нам в несколько раз большими, чем вдали от него. Вместе с тем, точные измерения показывают, что реальные угловые размеры этих тел на небе меняются совсем незначительно. Следовательно, мы имеем дело с иллюзией. Степень кажущегося увеличения размеров Луны и Солнца у горизонта может зависеть от условий наблюдений (например, на форму светил у горизонта оказывает явление атмосферной рефракции).

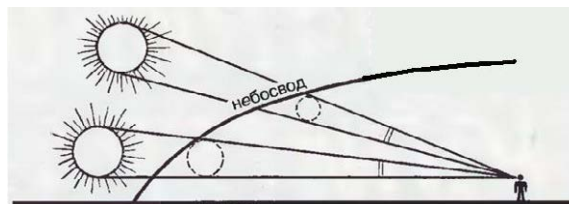


Рис. 31.3. Вид на Луну под разными углами

2. Как объяснить, почему при наблюдении Луны и Солнца у горизонта возникает иллюзия, будто они увеличиваются в размерах, но угловой их размер практически не меняется?

Небосвод у горизонта (в силу особенностей нашего зрения) кажется расположенным от нас дальше, чем над нами. Поэтому, когда светило находится у горизонта, то мы относим его к большему расстоянию от нас, чем тогда, когда оно наблюдается высоко над нами. Но так как угол, под которым видно светило, в обоих случаях почти одинаков, то его диаметр у горизонта кажется больше (рис. 31.3).

С подборкой задач и вопросов об атмосферной рефракции можно ознакомиться в презентации А.О. Новичонка – рис. 31.4.



Рис. 31.4. Подборка задач об атмосферной рефракции (web-страница)

## Эксперимент 32. Горизонтальный параллакс. Расстояние до Луны

**Факты.** Слово «параллакс» имеет греческое происхождение и означает «смена, чередование, уклонение». В современном толковании параллакс – это изменение видимого положения объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя. Явление параллакса широко используется в астрономии и геодезии. На явлении параллакса основано бинокулярное зрение (то есть стереоскопическое – объемное – восприятие изображения двумя глазами).

**Цель.** Понять сущность явления параллакса. Рассмотреть понятие горизонтального параллакса.

**Оборудование и материалы.** Карандаш и шариковая ручка. Пласталин.

### **Инструкция.**

- С помощью пластилина зафиксируйте карандаш на столе в вертикальном положении.
- Возьмите в руку шариковую ручку (держите ее вертикально, как будто у вас в руке флажок) и станьте на удалении от стола напротив вертикально закрепленного карандаша.
- Максимально вытяните руку с шариковой ручкой в сторону карандаша на столе.
- Закройте левый глаз и посмотрите правым глазом на кончик шариковой ручки в руке и совместите видимые изображения ручки и карандаша; затем закройте правый глаз и уже левым глазом посмотрите на кончик шариковой ручки в руке (рис. 32.1).
- Немного согните руку с шариковой ручкой, так чтобы он приблизился к вашим глазам примерно наполовину от прежнего состояния, и снова посмотрите на карандаш на столе попеременно, то левым, то правым глазом (как в предыдущем случае).
- Во время эксперимента не двигайте рукой с зажатой шариковой ручкой и не поворачивайте голову. Обратите внимание, как перемещался кончик шариковой ручки в руке относительно карандаша на столе.

**Результат.** В тот момент, когда закрывается один глаз и открывается другой, кончик шариковой ручки в руке смещался в сторону по отношению к карандашу на столе. Чем ближе находится шариковая ручка к глазам, тем больше видимое смещение кончика шариковой ручки по отношению к карандашу на столе.

**Объяснение.** Смещение происходит потому, что наши глаза расположены на некотором расстоянии друг от друга (в среднем около 6 см). Когда вы попеременно закрываете то один, то другой глаз, вы смотрите на карандаш из разных точек пространства.



Рис. 32.1. Смещения изображения предметов

Такое кажущееся смещение называется параллаксом. Если же карандаш отнести на большое расстояние от глаз, то параллакс не будет замечен. Получается, что близко расположенный предмет имеет большой параллакс, а удаленный предмет имеет очень маленький параллакс, практически незаметный. Если бы наши глаза были расставлены шире, то это увеличило бы параллакс.

Похожий принцип можно применить и к небесным телам. Например, при поочередном наблюдении Луны то одним глазом, то другим она несколько не сместится. Но предположим, что Луну будут одновременно наблюдать на фоне звездного неба астрономы из двух обсерваторий, расположенных на расстоянии в несколько сотен километров друг от друга. Первый наблюдатель будет видеть край Луны на определенном угловом расстоянии от какой-то заранее выбранной звезды; второй же наблюдатель будет видеть в ту же минуту тот же край Луны уже на ином угловом расстоянии от той же звезды (рис. 32.2).

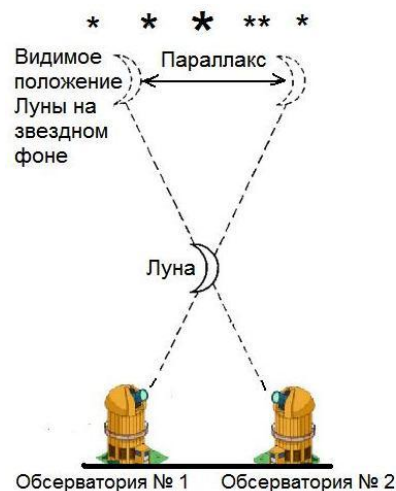


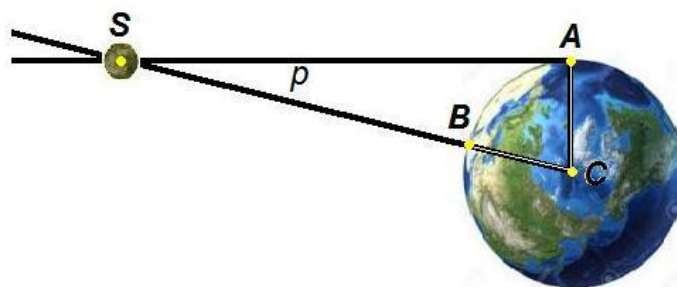
Рис. 32.2. Наблюдение параллакса Луны

Если известно смещение Луны по отношению к звездному фону (при этом расстояние до звезд предполагается столь большим, что они останутся неподвижными, несмотря на изменение позиции наблюдателя), а также расстояние между обсерваториями, то с помощью несложных тригонометрических формул можно рассчитать расстояние до Луны.

Для измерения расстояний до объектов внутри Солнечной системы точно отмечают на небе положение этого объекта относительно звезд, которые достаточно удалены. Наблюдения одновременно проводят из двух разнесенных на большое расстояние мест земной поверхности (сотни, тысячи километров). При этом, положение объекта относительно звезд для каждого места наблюдения будет своим. Зная расстояние между точками наблюдения, зная угловое расстояние между положениями объекта для каждой точки, можно узнать расстояние до объекта. Такой способ определения расстояний называют методом горизонтального параллакса. Угол  $p$ , под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения, называется горизонтальным параллаксом. База параллакса при этом равна радиусу Земли (около 6400 км).

Если горизонтальный параллакс  $p$  светила  $S$  измерен, то расстояние (от центра Земли) до светила  $SC = D$  находится простым вычислением. Расстояние до Луны  $SC = D = \frac{R}{\sin p}$ . Чем больше расстояние до светила,

Горизонтальный параллакс Луны составляет 57'. Среднее расстояние от Земли 384 400 км (округленно 400 000 км).



Таким образом, видимое смещение более близкого объекта на фоне значительно более далеких объектов при перемещении наблюдателя с одного конца некоторой базы на другой ее конец. Если длина базы известна, то параллактический угол позволяет вычислить расстояние до объекта. При фиксированной базе сам параллактический угол служит мерой расстояния до объекта.

Для измерения параллаксов светил, лежащих далеко за пределами Солнечной системы, то есть для звезд, радиус и диаметр Земли в качестве базиса слишком малы. Для звезд за базис берут радиус земной орбиты (астрономическую единицу), но для подавляющего большинства звезд и этот базис оказывается ничтожным, так как они очень далеки от нас. Как определяют расстояния до звезд показано в видео (рис. 32.4).



Рис. 32.4. Определение расстояний до звезд методом годичного параллакса (видео 40 с)

**Вопросы.**

1. Если в формуле  $D = \frac{R}{\sin p}$  принять  $R$  – радиус Земли – за единицу, то в чем получится расстояние  $D$  до светила?

Получим расстояние, выраженное в радиусах Земли.

2. Горизонтальный параллакс для Луны равен  $57'$ . Большой или меньший будет параллакс для планет и Солнца по сравнению с Луной?

Планеты и Солнце находятся дальше от Земли, поэтому параллакс будет значительно меньше. Например, параллакс для планет составляет около  $1'$ , а для Солнца и того меньше —  $8.8''$ .

## Эксперимент 33. Уголковый отражатель

**Факты.** Как только был изобретен лазер, так сразу же возникла идея применить его для точного измерения расстояния до Луны. Луч лазера, посланный, в сторону небесного тела, отражается и, возвращаясь на Землю, принимается фотозлементом (рис. 33.1).

Измерение происходит следующим образом: импульс излучения лазера направляется в сторону Луны, измеряется интервал времени от момента посылки лазерного луча до приема отраженного сигнала. Вычисление расстояния производят исходя из скорости света в вакууме и учета задержки распространения сигнала в земной атмосфере.

Применение лазера обусловлено малой расходимостью лазерного луча, высокой интенсивностью освещения цели, а также одноцветностью излучения, что позволяет выделить слабый отраженный сигнал.

**Цель.** Узнать, как измеряют расстояние до Луны, и как работает уголковый отражатель.

**Оборудование и материалы.** Лазерная указка. Два зеркальца. Скотч. Бумажный экран.

### Инструкция.

- Скрепите скотчем два зеркальца, так, чтобы они открывались и закрывались как книга.
- Из листа плотной бумаги изготовьте экран, так чтобы его можно было поставить на столе вертикально. Для этого достаточно листок бумаги согнуть под прямым углом.
- Расположите на столе лазерную указку, экран и зеркальную систему, как это показано на рисунке (рис. 33.2).
- Включите указку и настройте собранную установку; необходимо чтобы луч указки попадал на одно зеркальце, отражался от него, попадал на второе зеркальце и, наконец, возвращался на бумажный экран.

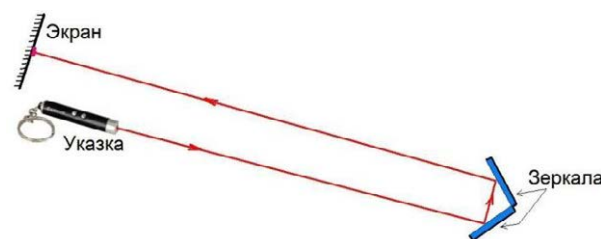


Рис. 33.2. Схема эксперимента

**Результаты.** На бумажном экране мы увидим пятнышко света от указки.

**Объяснение.** Луч лазерной указки, достигнув зеркальной системы, отразился от нее и, повернувшись на  $180^\circ$ , параллельно посланному лучу вернулся к экрану.

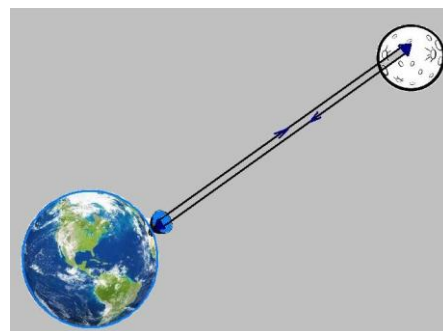


Рис. 33.1. Применение лазера для измерения расстояния до Луны



На ранних этапах лазерных исследований никаких отражателей луча тогда на Луне не было. Первые уголковые лазерные отражатели были установлены на «Луноходе-1» (1970 год) – рис. 33.3. Эта панель была собрана из 14 уголковых отражателей. Примечательно, что отражатели возвращают сигнал всегда строго в обратном направлении.

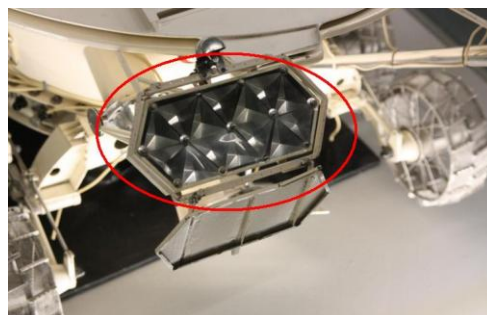


Рис.33.3. Уголковый лазерный отражатель, установленный на «Луноходе-1»

Отражатель представляет собой три плоских отражающих поверхности, пересекающиеся под прямым углом. Луч света, попавший в такую конструкцию, отразится по одному разу от каждой из трех сторон и уйдет в направлении, противоположном исходному (рис. 33.4). В нашем эксперименте использовался упрощенный уголковый отражатель – с двумя зеркалами.

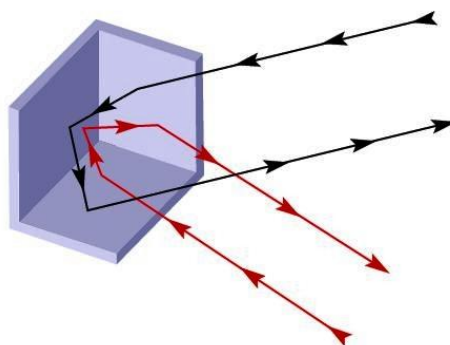


Рис. 33.4. Принцип действия уголкового отражателя

Отражатель не требует электроэнергии и обслуживания. Если на Луне установить отражатель, а на Земле – лазер, оптический телескоп и высокоточные часы, то можно будет регулярно измерять время хода луча до отражателя и обратно. Лазер испускает 10-20 импульсов в секунду, чтобы обеспечить достаточное количество данных для последующей обработки, то есть определять расстояние до Луны. В анимации (рис.33.5) показано действие уголкового отражателя «Лунохода-1».

**Для сведения.** В 1962 году советский физик Н.Г. Басов предложил группе сотрудников Крымской научной станции использовать рубиновый лазер для локации Луны. В следующем году на телескопе была смонтирована лазерно-локационная аппаратура, с помощью которой были зарегистрированы отраженные Луной лазерные сигналы. Первые же простые оценки показали, что лазерные измерения расстояния до Луны позволят существенно уточнить основные параметры Земля – Луна.



Рис. 33.5. Действие уголкового отражателя (видео 1 мин 12 с)

Среднее расстояние от Земли до Луны составляет 384 403 км. Так как орбита Луны представляет собой эллипс, то ближе всего она к Земле находится в 357 104 км, а дальше всего – на расстоянии 406 696 км.

Полеты к планетам требуют точного знания расстояния до них, поэтому наряду с лазерной локацией применяется радиолокация, уточнившие основные расстояния в Солнечной системе.

Оптические уголкового отражатели нашли применение не только в астрономических исследованиях, но и в навигации, для измерения скорости света в атмосфере, для точного измерения расстояний в строительстве и топографической съемке, военном деле.

### **Вопросы.**

1. На поверхность, состоящую из двух перпендикулярно расположенных зеркал, падает луч света. Докажите, что падающий и отраженный лучи параллельны.

Используя закон отражения света, строим рис. 33.6. Получаем, что луч  $MN$  и отраженный луч  $NT$  составляют с прямой  $OB$  равные углы. Тогда из равенства углов следует:  $\angle SMN = 180^\circ - 2\alpha$ ;  $\angle MNT = 180^\circ - 2(90^\circ - \alpha) = 2\alpha$ . Поэтому  $\angle SMN + \angle MNT = 180^\circ$ . Следовательно, падающий луч  $SM$  и отраженный луч  $NT$  параллельны, что и требовалось доказать.

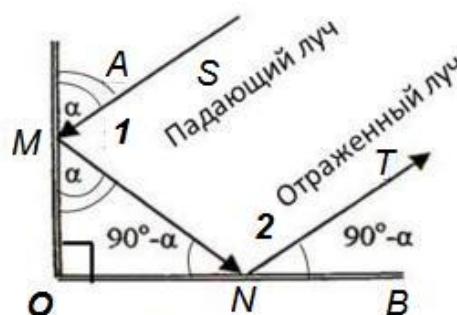


Рис. 33.6. Падающий и отраженный лучи на уголкового отражателе

2. Почему уголкового отражатель, установленный, например, на велосипеде, иногда может не сработать? Как же это может произойти — ведь он же не имеет электрических компонентов, которые могли бы выйти из строя.

Этому могут способствовать ряд причин:

- Отражатель может находиться за пределами луча фар автомобиля.
- Отражатель может быть сильно наклонен, или направлен в сторону, что весьма ухудшает его оптические характеристики.
- Глаза водителя могут находиться за пределами узкого конуса света, отсылаемого уголкового отражателем назад к источнику света.
- В тумане отражатель может полностью блокироваться.
- Автомобиль может двигаться с не включенными или неисправными фарами.
- Поверхность отражателя может быть покрыта влагой, пылью, что значительно ухудшит его оптические характеристики.

## **Эксперимент 34. Наклон орбит планет**

**Факты.** Практически каждый рисунок, изображающий нашу Солнечную систему, не дает нам представления о реальном масштабе размеров объектов, расстояния между ними, наклоне орбит.

На рис. 34.1 изображена обычная модель Солнечной системы, но без учета масштаба. Мы можем видеть все признанные современной наукой

планеты, а также наклоны их осей и направления вращения вокруг собственных осей, но расстояния планет от Солнца не соответствуют реальности.

Если наблюдать из центра Земли за видимым движением Солнца среди звезд, то в течение года оно опишет на небесной сфере некоторую замкнутую кривую, которую астрономы называют эклиптикой. Плоскость, наложенная на эту кривую, называется плоскостью эклиптики. Очевидно, что центры Земли и Солнца всегда скользят по плоскости эклиптики.

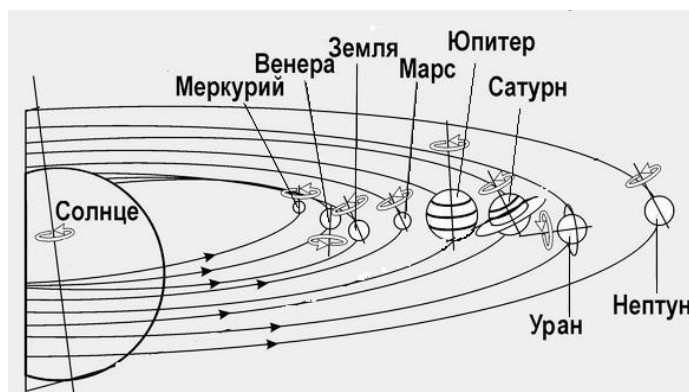


Рис. 34.1. Модель Солнечной системы

Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора (экватора Земли) под углом  $23^{\circ}26'$ .

**Цель.** На модели показать наклон орбит планет Солнечной системы по отношению к эклиптике.

**Оборудование и материалы.** Одинаковые карточки из плотной бумаги (8 штук). Скотч.

#### **Инструкция.**

- Подпишите карточки, указав на них названия планет и наклон их орбит к эклиптике; в некотором масштабе условно изобразите части орбит, пользуясь данными следующей табл. 34.1.

Таблица 34.1

#### Орбиты планет

Планета	Наклон орбиты к эклиптике	Большая полуось орбиты, а.е.
Меркурий	$-7^{\circ}00'$	0,39
Венера	$-3^{\circ}23'$	0,72
Земля	$0^{\circ}00'$	1,00
Уран	$0^{\circ}46'$	19,18
Юпитер	$1^{\circ}18'$	5,20
Нептун	$1^{\circ}46'$	30,06
Марс	$1^{\circ}51'$	1,52
Сатурн	$2^{\circ}29'$	9,55

- Скотчем скрепите карточки по краю в виде блокнота или тетради в порядке возрастания наклона орбит планет (рис. 34.2). Между нижней карточкой (Меркурий) и верхней карточкой (Сатурн) должен быть угол не более  $10^\circ$ .

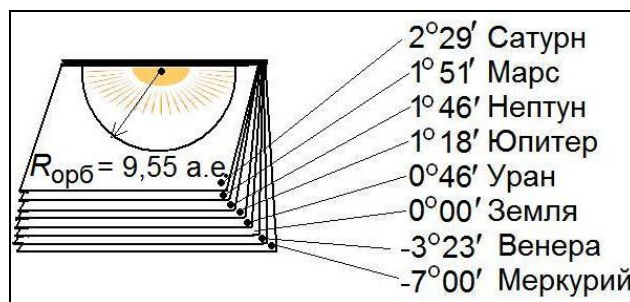


Рис. 34.2. Скрепленный набор карточек с наклонами орбит планет

- Соседние карточки отделите друг от друга небольшими вставками из небольших комочков бумаги, так, чтобы получился эффект слегка раскрытой тетради с топорщащимися листочками.

**Результат.** Полученная модель Солнечной системы дает представление о распределении орбит планет в пространстве. Как видим, с небольшими отклонениями все орбиты находятся практически в одной плоскости.

**Объяснение.** Угол между базовой плоскостью и плоскостью орбиты носит название наклонение орбиты. Базовой плоскостью в Солнечной системе считается плоскость земной орбиты. В Солнечной системе располагаются восемь планет и их орбиты очень близки к плоскости земной орбиты (эклиптики). Это объясняется тем, что «строительный материал» для Солнца и планет когда-то был один и, вероятно, вращался вокруг своей оси. Впоследствии под действием тех или иных причин «стройматериал» разделился на две неравные части, которые сохранили направление своего изначального вращения. Большая часть стала шаром Солнцем, меньшая – диском вокруг него. Планеты образовались из этого диска, и этим объясняется, почему у планет плоскости вращения вокруг Солнца примерно совпадают.

**Для сведения.** Все планеты Солнечной системы осуществляют движение по своим траекториям в направлении вращения Солнца. Орбиты абсолютно всех планет имеют форму вытянутого круга, и насколько велика эта вытянутость, определяется эксцентриситетом, если эксцентриситет очень маленький (почти ноль) форма наиболее приближена к кругу, однако, орбита Меркурия имеет несколько вытянутую траекторию по сравнению с другими планетами.

Планеты движутся в одну сторону относительно Солнца, а именно против движения стрелок часов. Венера и Уран, который движется практически на боку, а также некоторые спутники планет имеют другое направление вращения.

### Вопросы.

1. Какие существуют особенности планет подобных Юпитеру?  
«Юпитерианцы» вместе с многочисленными спутниками образуют собственные «солнечные системы».
2. Известная планета-гигант Сатурн окружена кольцами. У каких еще планет имеются кольца?

Кольца имеются и у других планет-гигантов (Юпитер, Уран, Нептун).

## Эксперимент 35. Температура и тень

**Факты.** Окружающий нас воздух не имеет постоянной температуры. Летом он прогрет лучше, чем зимой, а днем его температура выше, чем ночью. Температура воздуха меняется даже в течение дня, в тени или на открытой местности.

Поверхность Земли (почва) сможет быть охарактеризована как слой, принимающий деятельное участие в теплообмене между Землей и атмосферой. Почва воспринимает тепловое излучение Солнца, аккумулирует теплоту и испускает ее обратно в атмосферу посредством радиации и конвекции. Верхний слой почвы принимает температуру воздуха, но с некоторым отставанием по времени.

**Цель.** Показать, как влияет тень на температуру поверхности нашей планеты.

**Оборудование и материалы.** Два одинаковых термометра.

**Инструкция.**

- В солнечный день выберите место, частично затененное, например, деревьями или зданиями.
- Поместите один из термометров на землю в тени дерева или здания. Другой термометр – на открытом месте под прямыми солнечными лучами. Важно, чтобы оба термометра лежали на поверхности одного типа и структуры (трава, уплотненный песок, рыхлая почва и т.п.) – рис. 35.1.
- Через 15–20 минут зафиксируйте температуру обоих термометров.

**Результаты.** Температура на поверхности земли в тени оказалась ниже, чем под прямыми солнечными лучами.

**Объяснение.** Дерево или здание образуют тень, так как перекрывают часть световых лучей, падающих на землю. Поверхность земли одного и того же типа под прямыми солнечными лучами получает больше световой энергии, чем в тени. Поэтому в тени термометр будет показывать меньшую температуру.

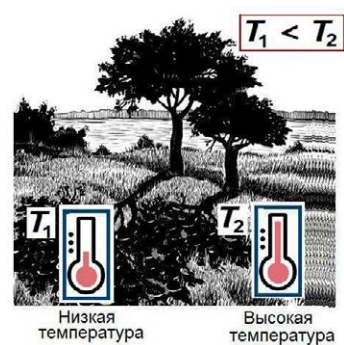


Рис. 35.1. Термометры помещены в тени и на открытом месте показывают разную температуру



**Для сведения.** Особенно резко меняется температура на Земле по сезонам года в пустынях и местах, находящихся вдали от океанов и морей. Зимой морозы в пустынях достигают иногда до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Летом же бывает так жарко, что даже в тени температура воздуха поднимается до  $+45^{\circ}\text{C}$  и более. Таким образом, колебание температур в пустыне может достигать  $70^{\circ}\text{C}$ . В окрестностях города Якутска минимальная январская температура воздуха достигает  $-63^{\circ}\text{C}$ , а максимальная июльская  $+35^{\circ}\text{C}$ . Годовая разница (амплитуда) температуры воздуха, таким образом, составляет около  $100^{\circ}\text{C}$ .

Средняя температура на поверхности Земли составляет  $15^{\circ}\text{C}$ . Для других планет Солнечной системы средние температуры представлены на рис. 35.2.

### Вопросы.

1. Венера, находится дальше от Солнца, чем Меркурий, однако средняя температура на этой планете выше, чем у Меркурия. Почему?

Атмосфера Венеры состоит из плотных облаков, содержащих углекислый газ и двуокись серы. Это создает атмосферную «ловушку» для солнечного тепла (возникает так называемый парниковый эффект). Об этом явлении рассказывается в видео телестудии Роскосмоса (рис 35.3).

2. Дневная температура на поверхности Меркурия поднимается до  $427^{\circ}\text{C}$ , а ночная опускается до минус  $180^{\circ}\text{C}$ . Как объяснить этот факт?

Не имеющий существенной атмосферы Меркурий — не способен удерживать тепло.

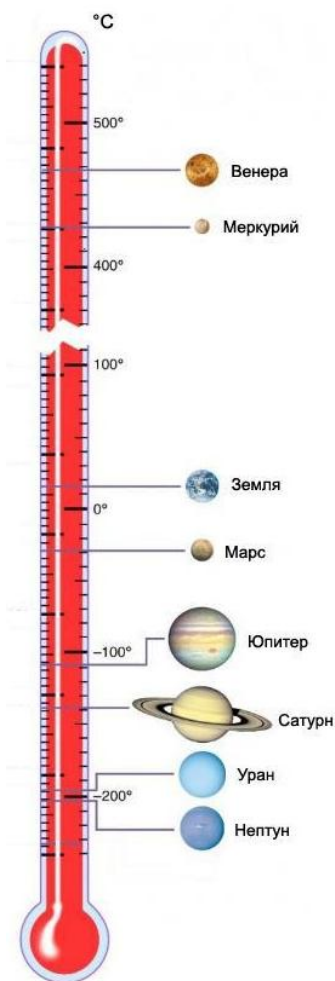


Рис. 35.2. Средняя температура на планетах

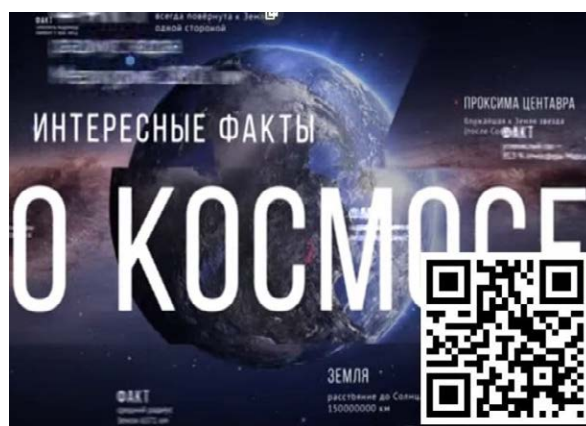


Рис. 35.3. Самая горячая планета (видео 1 мин 13 с)

## Эксперимент 36. Зима и лето

**Факты.** Почему зимой холодно, а летом тепло? Многие ответят на этот вопрос кратко: из-за движения Земли вокруг Солнца. Но ответ нужно конкретизировать — почему именно? Казалось бы, все просто — Земля движется вокруг Солнца не совсем по кругу — в течение года она может

быть ближе или дальше от Солнца. Оказывается, что когда у нас лето, Земля на самом деле дальше от Солнца, а когда зима – ближе (парадокс!). В январе Земля отстоит от Солнца на расстоянии 147 млн. км, а в июне дальше – 152 млн. км.

Чтобы разобраться в причинах смены пор года, проведем эксперимент. В этой ситуации важно учитывать не только то, что мы не только вращаемся вместе с Землей вокруг Солнца, но и то, что при этом Земля вращается вокруг воображаемой земной оси.

**Цель.** Показать, почему на Земле последовательно происходит смена пор года: весна–лето–осень–зима.

**Оборудование и материалы.**  
Глобус Земли. Лампа без абажура.  
«Орбита» Земли.

Напомним, что ось глобуса устанавливают не вертикально, а под некоторым углом к горизонтальной плоскости (примерно  $66^{\circ}33'$ ).

#### **Инструкция.**

- На широком столе прочертите мелом окружность – траекторию орбиты Земли. Эллипсообразность траектории нет необходимости учитывать.
- В затемненной комнате установите на прочерченную окружность глобус, а в центре расположите включенную электрическую лампочку, которая будет выполнять роль Солнца.
- Начинайте постепенно передвигать глобус по «орбите» таким образом, чтобы воображаемая ось Земли все время сохраняла одно и то же направление, например, какую-то точку на потолке. При движении Земли вокруг Солнца земная ось наклонена к плоскости своего пути всегда под одним углом (рис. 36.1). В естественных условиях такой точкой является Полярная звезда.
- Во время «путешествия» глобуса по «орбите», можете слегка поворачивать его вокруг оси, чтобы наблюдать смену дня и ночи (вспомните эксперимент № 6). Земля одновременно участвует в двух движениях: вращается вокруг Солнца (с периодом один год) и вокруг собственной оси (один оборот в течение суток, а за год 365 оборотов).

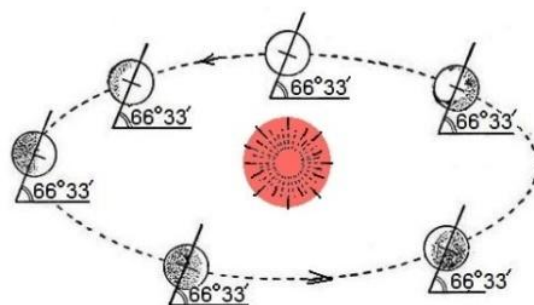


Рис. 36.1. Движение Земли по орбите

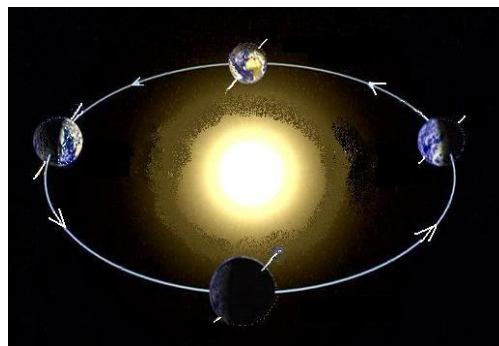


Рис. 36.2. Изменение освещенности земного шара в течение года

**Результаты.** При постоянном сохранении одного и то же направления оси вращения Земли по отношению к плоскости земной орбиты освещенность земного шара изменяется так, как показано на рис. 36.2.

**Объяснение.** Так как земная ось постоянно наклонена к плоскости орбиты, по которой происходит движение планеты, под углом  $66^{\circ}33'$ , поэтому в течение года разные участки земной поверхности получают неодинаковое количество света и тепла. В зависимости от места нахождения Земли на орбите то одно, то другое ее полушарие получают то больше, то меньше солнечного тепла и света.

Когда северное полушарие Земли наклонено в сторону от Солнца, то его лучи падают на северное полушарие как бы «вскользь» – рис. 36.3. А в южном полушарии лучи падают почти «в лоб». Тогда в северном полушарии наступает зима, а в южном полушарии в это время – наоборот, лето.

Когда северное полушарие Земли наклонено в сторону к Солнцу, то наоборот лучи Солнца падают на северное полушарие «в лоб», а на южное – «вскользь». Тогда в северном полушарии наступает лето, а в южном – наоборот, зима (рис 36.4). Кроме того, летом Солнце находится дольше над горизонтом и поэтому имеет больше времени, чтобы разогреть все вокруг до более высокой температуры, чем зимой.

Результаты наблюдений с учетом падения солнечных лучей обобщает рис. 36.5, на котором указаны характерные календарные даты смены климатических сезонов на Земле.

Итак, ось не меняет своего положения при движении Земли. Наклон земной оси и обращение Земли вокруг Солнца являются причиной смены времен года.

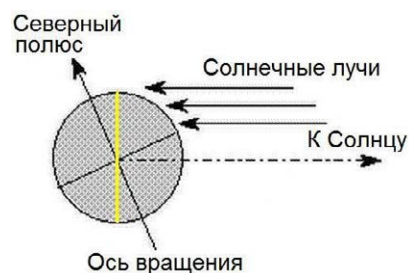


Рис.36.3. Положение северного полушария зимой

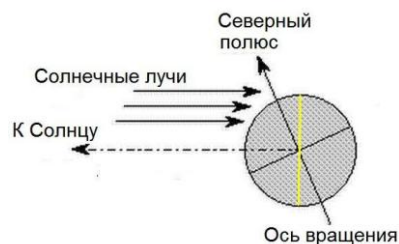


Рис. 36.4. Положение северного полушария летом

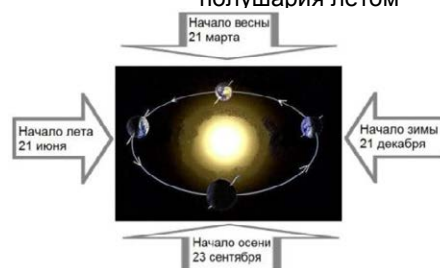


Рис. 36.5. Характерные даты смены климатических сезонов



Рис. 36.6. Движение Земли вокруг Солнца (видео 3 мин 26 с)

С движением Земли по орбите вокруг Солнца и явлениями, сопровождающими это движение можно ознакомиться в видео (рис. 36.6).

### **Вопросы.**

1. Если бы ось Земли располагалась под прямым углом к орбите Земли вокруг Солнца, то как бы это сказалось на временах года?

Не было бы времен года, а все дни были бы одинаковыми. Но эта ось наклонена, в результате Земля вращается вокруг Солнца в наклонном положении. Это положение сохраняется круглый год, а ось Земли всегда направлена в одну точку — на Полярную звезду.

2. Почему на экваторе жители тех мест не знают холодов?

На экваторе солнечные лучи падают отвесно, прямо. Солнце в этих местах приносит больше тепла, поэтому жители этих мест не знают холодов. Там не так резко, как у нас, сменяются времена года, и никогда не бывает снега.

## **Эксперимент 37. Облака**

**Факты.** На Земле мы привыкли к облакам, которые сначала формируются из водяного пара, а потом распадаются, обрушивая на нас дожди, снег и град. На рис. 37.1 показано как выглядит Земля из космоса: облака закрывают часть ее поверхности. Оказывается, что на некоторых других планетах Солнечной системы также образуются облака и бывают осадки.

**Цель.** Показать, как образуются облака из водяного пара.

**Оборудование и материалы.** Стекланная банка (2–3 литра). Тонкая жестяная крышка на банку. Горячая вода. Лед.

### **Инструкция.**

- Налейте в банку около стакана-двух горячей воды (50–60 °С).
- На тонкую перевернутую крышку, как на блюдечко положите кубики льда.
- Перенесите крышку со льдом на горлышко банки с горячей водой — рис. 37.2.

**Результаты.** Под крышкой в банке образовалось «облако». На внутренних стенках банки образовались потеки воды.



Рис. 37.1. Облака на Земле (вид из космоса).  
Анимация



**Объяснение.** Проведенный эксперимент моделирует процесс формирования облаков при охлаждении теплого воздуха. Воздух внутри банки, поднимаясь вверх, стал охлаждаться. Содержащийся в нем водяной пар начал конденсироваться, образуя «облако». Часть воды из «облака» осела на стенках банки.

Водяной пар сам по себе не виден, но в земной атмосфере он всегда присутствует. Пар собирается в капельки, если есть частицы – центры конденсации, к которым молекулам водяного пара можно «прилипнуть». Над океанами, например, водяной пар может смачивать частицы соли, над сушей – частички пыли и в результате образовывать капельки тумана, которые становятся видимыми. Или, если температура снизилась до  $0^{\circ}\text{C}$  (или еще ниже), вода может замерзнуть на пылевые частицы, то в этом случае возникают ледяные кристаллы (снег, град).

Чем выше температура воздуха, тем больше водяного пара он может удержать в себе; вот поэтому мы в банку наливали горячую воду. С продвижением вверх, температура воздуха падает. Поэтому влага начинает конденсироваться в облака. Когда температура падает еще ниже, а облако уже не может удерживать содержащееся в нем количество влаги, излишки проливаются в виде дождя.

На каждой планете своя уникальная атмосфера, которая обуславливает не менее уникальную погоду, чем на Земле. Но эти облака, как правило, состоят отнюдь не из воды.

**Для сведения.** Меркурий — самая ближайшая к Солнцу планета. Атмосфера Меркурия настолько разрежена, что ее практически невозможно обнаружить. На Меркурии не бывает ни облаков, ни дождей.

В настоящее время Марс, как и Меркурий, также имеет весьма разреженную атмосферу. Когда на Марсе наступает зима, над красными равнинами появляются тонкие облака из замерзшей двуокиси углерода и иней покрывает скалы. По утрам



Рис. 37.2. «Облако» в банке с горячей водой

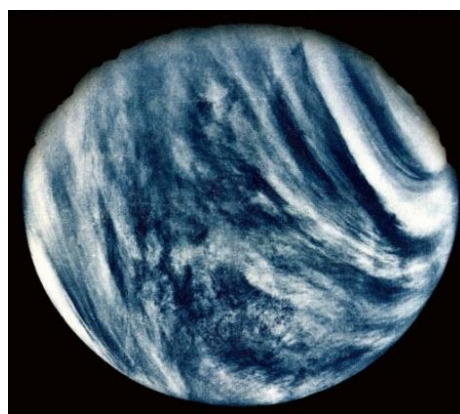


Рис. 37.3. Облака в атмосфере Венеры



Рис. 37.4. Облака на Юпитере. Пролёт КА "Юнона" над вершинами облаков Юпитера. Май 2017 (видео 4 мин 44 с)



в долинах бывает туман, иногда довольно густой. Миллиарды лет назад, по мнению ученых, атмосфера на Марсе была плотнее, может быть выпадали обильные дожди. То, что сегодня осталось от этого водного изобилия, тонким слоем покрывает полярную область и скудно скапливается в расщелинах скал и в трещинах грунта.

Венера, наша ближайшая соседка по космосу, имеет мощный облачный покров. Масса атмосферы Венеры примерно в 100 раз превышает массу атмосферы Земли. Атмосфера на Венере была открыта еще М.В. Ломоносовым (1761 г.). Позже выяснилось, облака Венеры состоят в основном из капелек 75÷80-процентной серной кислоты. Серная кислота, возникла под действием солнечного света из присутствующих в атмосфере углекислоты, водяного пара и соединений серы. В атмосфере планеты зафиксированы грозы и кислотные дожди. На рис. 37.3 показаны венерианские облака, сфотографированные для наглядности в ультрафиолетовых лучах.

Юпитер – это гигантский вращающийся газовый шар, состоящий в основном из водорода и гелия. Планета окружена цветными полосами облаков (рис. 37.4), однако большинство облаков Юпитера состоит из кристалликов застывшего аммиака, хотя есть и облака, состоящие из воды. Оранжевый цвет атмосфере придают соединения фосфора и серы. На Юпитере бывают бури, даже сильные ураганы, а также, по мнению ученых, дожди и снегопады из аммиака.

Сатурн – еще одна гигантская планета, весьма похожая на Юпитер и имеющая схожую с ним погоду. На рис. 37.5 атмосфера Сатурна изображена в условных цветах. Разными тонами изображены облака с большим содержанием метана, находящиеся на разных высотах. Конвекция, вызываемая внутренним теплом Сатурна, а также быстрое вращение планеты приводят к образованию сильных ветров (их скорость достигает 1800 км/ч). Бури и циклоны на Сатурне бушуют годами без перерыва.

Уран также газовая планета, покрытая мощными облаками, состоящими из водорода, гелия и метана – рис. 37.6. Некоторые из этих облаков, состоящие из метана, напоминают гигантские копии земных грозных туч. В атмосфере едва различимы быстро перемещающиеся полосы облаков. Из этих облаков падают капли жидкого метана, которые испаряются, не долетев до поверхности планеты. Именно благодаря этому газообразному веществу атмосфера Урана приобретает сине-зеленые оттенки.



Рис. 37.5. Атмосфера Сатурна

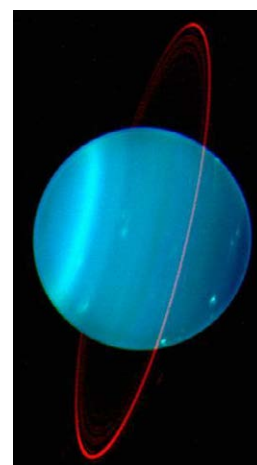


Рис. 37.6. Атмосфера Урана в инфракрасном спектре

Атмосфера Нептуна состоит в основном из водорода, гелия, метана и аммиака. Метан поглощает красную часть спектра и пропускает синий и зеленый цвета. Поэтому цвет поверхности Нептуна кажется зеленоватого-голубым.

Начиная с высоты около 50 км, от поверхностных слоев атмосферы и далее до высоты в несколько тысяч километров, планету покрывают серебристые перистые облака, состоящие преимущественно из замерзшего метана (рис. 37.7). Среди облаков наблюдаются образования, напоминающие циклонные завихрения атмосферы, подобно тому, как это имеет место на Юпитере. Такие завихрения выглядят в виде пятен и периодически возникают и исчезают.

Планеты нашей Солнечной системы не единственные места в ней, где могут быть облака и осадки. На Титане, большом спутнике Сатурна, из красноватых облаков выпадают метановые «снежинки», которые погружаются в океан из жидкого метана и азота – рис. 37.8.

### Вопросы.

#### 1. Как образуется дождь?

Дождь образуется тогда, когда мельчайшие капельки влаги, содержащиеся в облаке, сливаются в более крупные капли. Крупные капли, преодолевая силу восходящих потоков воздуха, под действием силы тяжести выпадают на Землю. Если в облаке оказываются мельчайшие частицы твердых тел, например пыль, то процесс конденсации ускоряется, поскольку пылинки играют роль ядер конденсации.

#### 2. Что такое «сухой» дождь?

В пустынных районах при низкой относительной влажности конденсация водяного пара возможна только на большой высоте, где температура ниже, однако капельки дождя, не долетая до земли, испаряются в воздухе. Это явление получило название «сухих» дождей.

#### 3. Почему идет снег?

Если конденсация водяного пара в облаке происходит при отрицательных температурах, образуются осадки в виде снега.



Рис. 37.7. Атмосфера Нептуна



Рис. 37.8. Атмосфера Титана (спутник Сатурна)



Рис. 37.9. Образование града (видео 2 мин 37 с)

#### 4. Как образуется град?

Необходимое условие образования града – наличие облака, нижний край которого находится в зоне положительных, а верхний – в зоне отрицательных температур (рис. 37.9). При этих условиях образовавшиеся снежинки и потерявшие свою форму при слиянии с водой в виде снежных крупинок восходящими потоками поднимается в зону отрицательных температур, где превращается в льдинку шарообразной формы – градину. Процесс поднятия и опускания градины может происходить многократно и сопровождаться увеличением массы и размера градины. Наконец градина, преодолевая сопротивление восходящих потоков воздуха, выпадает на землю.

### Эксперимент 38. Парниковый эффект

**Факты.** В теплицах или парниках температура всегда выше, чем снаружи. Вы можете почувствовать это, когда находитесь в солнечный день в автомобиле с закрытыми окнами. Такой же эффект наблюдается и в масштабах планет с устойчивой атмосферой. Атмосфера Земли и Венеры служит как бы стеклом в парнике – отсюда и название «парниковый эффект».

**Цель.** Убедиться в существовании явления парникового эффекта.

**Оборудование и материалы.** Две стеклянные банки. Два термометра. Два одинаковых куска картона (черного и белого цвета).

**Инструкция.**

- В первую банку поместите термометр и кусок черного матового картона, который бы занял примерно половину банки внутри. Термометр в банке должен находиться в затемненной стороне от картонки. Банку накройте крышкой (рис. 38.1).
- В другую банку поместите термометр и белый картон точно в такое же положение, как и в предыдущей банке. Термометр также должен находиться в затемненной стороне от картонки. Банку не накрывать.
- Поставьте обе банки друг возле друга на открытом солнце.
- Убедитесь, что термометры стоят на затемненных сторонах банок.
- Понаблюдайте за показаниями термометров.



Рис. 38.1. Эксперимент по наблюдению парникового эффекта

**Результат:** Вскоре температура в банке с черной картонкой стала выше, чем в соседней банке.

**Объяснение.** Солнечное излучение включает видимые и тепловые (их еще называют инфракрасные) лучи. Инфракрасное излучение исходит от нагретых тел. Стекло банок, почти непрозрачно для тепловых лучей, то есть не пропускает их. Видимые солнечные лучи проходят сквозь стекло и попадают на дно банок и поверхности картонок, помещенных внутри них.

Это излучение поглощается (особенно интенсивно темными предметами) и нагревают их.

Затем горячие поверхности тел переизлучают энергию в виде тепла, но это тепло задерживается стеклом банок (атмосферой планет). В нашем случае черный картон поглощал видимые и излучал тепловые солнечные лучи, что привело к увеличению температуры внутри банки. Такие же процессы происходят в атмосферах планет и на их поверхностях.

Солнечная энергия, проходя через атмосферу, нагревает поверхность планеты, но излучаемая планетой тепловая энергия не может вся возвратиться обратно в космос, так как атмосфера задерживает ее, действуя наподобие стекла в парнике: она пропускает световое излучение (видимое) от Солнца к Земле и задерживает тепловые (инфракрасные) лучи. Возникает эффект парника из-за наличия в атмосфере газов, которые обладают способностью задерживать тепловое излучение. Такие газы получили название «парниковых» или «тепличных» газов. На рис. 38.2 (слева) схематично показан естественный процесс нагревания планеты, а справа – при парниковом эффекте.

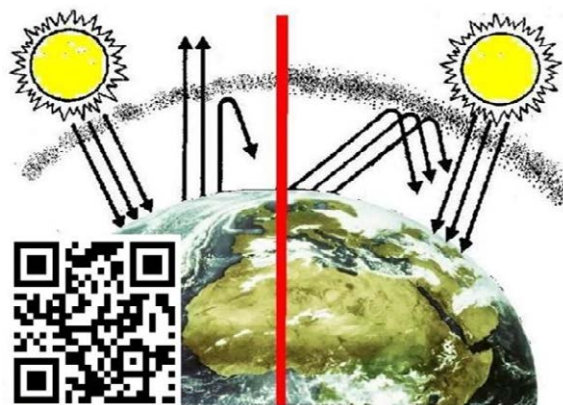


Рис. 38.2. Объяснение парникового эффекта (видео 1 мин 52 с)

**Для сведения.** Парниковые газы присутствовали в атмосфере Земли в небольших количествах (около 0,1%) с момента ее образования. Этого количества было достаточно, чтобы поддерживать за счет парникового эффекта тепловой баланс планеты на уровне, пригодном для жизни. Это так называемый естественный парниковый эффект, не будь его, средняя температура поверхности Земли была бы на 30°C меньше, т.е. не +14°C, как сейчас, а минус 17°C.

Естественный парниковый эффект ничем не грозит ни Земле, ни человечеству, поскольку общее количество парниковых газов поддерживалось на одном уровне за счет круговорота природы, более того, ему мы обязаны жизнью. Но увеличение в атмосфере концентрации парниковых газов приводит к усилению парникового эффекта и нарушению теплового баланса Земли. Именно это и произошло в последние два столетия развития цивилизации. Угольные электростанции, автомобильные выхлопы, заводские и котельные трубы, а также другие созданные человечеством источники загрязнения пополняют атмосферу парниковыми газами.

Парниковые газы составляют около 3% атмосферы Земли по объему. Наибольший вклад в парниковый эффект вносят углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и метан ( $\text{CH}_4$ ). Это парниковые газы прямого действия. Большая часть их образуется в процессе сжигания органического топлива.

Кроме того, есть еще выбросы газов в атмосферу, связанные с современными технологиями и промышленными процессами (электроника и холодильное оборудование). Их количество в атмосфере совсем ничтожно, но их влияние на парниковый эффект в тысячи раз сильнее, чем  $\text{CO}_2$ .

### **Вопросы.**

#### **1. Чем опасно усиление парникового эффекта для Земли?**

Усиление парникового эффекта способствует изменениям климата, которые заключаются в повышении температуры и изменении частоты и интенсивности осадков. Из-за глобального потепления тают ледники, повышается уровень моря, возникает угроза биологическому разнообразию, гибнут посевы, пересыхают источники пресной воды, все это в целом негативно влияет не только на качество жизни, но и на здоровье человека.

#### **2. Какие существуют современные способы решения проблемы парникового эффекта?**

Выход из сложившейся ситуации один: изыскать новые виды топлива, либо в корне поменять технологию использования существующих разновидностей топливных ресурсов. Уголь и нефть при сгорании выделяют на 60% больше диоксида углерода, активного парникового газа, чем любое другое топливо для производства единицы энергии.

## **Эксперимент 39. Земля – голубая планета**

**Факты.** Землю называют голубой планетой из-за цвета неба – земному наблюдателю небо кажется голубым. Земля из космоса также выглядит голубой планетой.

**Цель.** Смоделировать цвет неба.

**Оборудование и материалы.** Прозрачный высокий стакан или банка. Фонарик. Молоко. Ложка.

### **Инструкция.**

- Наполните стакан или банку на  $\frac{2}{3}$  водой.
- В воду добавьте 0,5 ложки молока и размешайте.
- Опыт нужно проводить в темное время (вечером или в темной комнате). Выключите свет и зажгите фонарик. Направьте луч света от фонарика на стакан поочередно с трех сторон: сверху (рис. 39.1, а), сбоку (рис. 39.1, б) и снизу (рис. 39.1, в). Пронаблюдайте цвет луча в зонах, показанных на рисунках.



**Результаты.** Если луч фонарика падает сверху, то вода будет иметь синеватый оттенок. Если направить фонарик на стакан сбоку, и посмотреть на луч света с другой стороны стакана, то у воды появится красноватый оттенок. При направлении луча света вверх (при этом смотрим на воду сверху) красноватый оттенок воды выглядит более насыщенным.

**Объяснение.** Воздух состоит из молекул, которые содержат водяной пар и частицы пыли. А солнечный свет на самом деле состоит из нескольких цветов (их полный спектр можно увидеть во время радуги). Сталкиваясь с молекулами газов воздуха, белый свет рассеивается, а сильнее всего это делает синяя часть спектра. В каком бы направлении не посмотреть, часть из этого рассеянного синего света достигает наблюдателя. Синий свет виден повсюду над головой, поэтому и небо выглядит голубым – рис. 39.2.

Подобное оптическое явление происходит и в нашем эксперименте, только «рассеивателем» служат капли молока в жидкости, они и рассеивают больше голубого света, когда мы освещаем банку сверху и поэтому жидкость кажется голубой.

Если смотреть не вверх, а в сторону горизонта, то небо будет иметь более бледный оттенок. В нашем эксперименте в этом убедиться нельзя, однако этот факт является результатом того, что свет проходит большее расстояние в атмосфере до наблюдателя. Рассеянный свет снова рассеивается атмосферой, и меньше голубого цвета достигает глаз наблюдателя. Поэтому цвет неба у горизонта кажется бледнее или даже кажется совсем белым.

Когда же мы освещаем банку сбоку или снизу — красный свет рассеивается меньше других и проходит насквозь. Прямо как небо на закате. Этим объясняется, почему небо днем и вечером окрашено по-разному. Небо вокруг заходящего Солнца может быть окрашено в разные цвета. Наиболее красивым небо бывает тогда, когда воздух содержит множество маленьких частиц пыли или воды. Эти частицы отражают свет во всех направлениях. В этом случае происходит рассеяние более коротких световых волн. Наблюдатель видит световые лучи более длинных волн, и поэтому небо кажется красным, розовым или оранжевым.

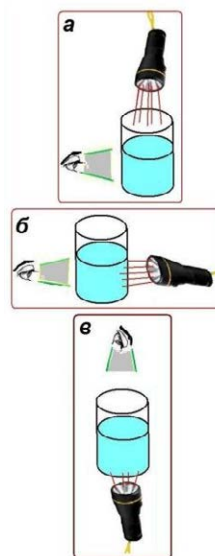


Рис. 39.1.  
Наблюдение свечения  
жидкости

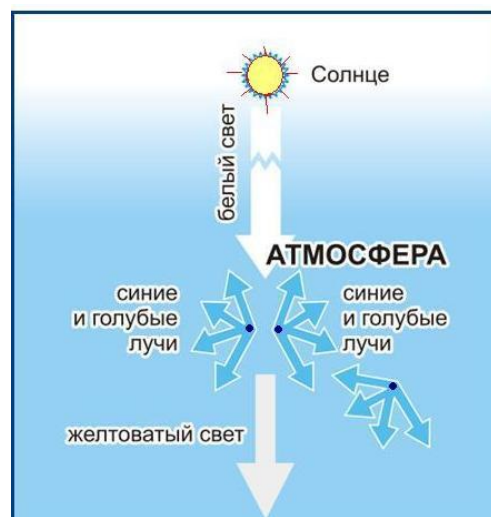


Рис. 39.2. Объяснение голубого цвета неба

Ночью небо темное, потому что Земля затмевает Солнце, и на ночной стороне земного шара мы видим только звезды. В этот момент в атмосфере ничего не рассеивается. По мере захода Солнца атмосфера Земли на ночной стороне получает все меньше рассеянного света.

**Для сведения.** В космосе нет атмосферы, которая рассеивает солнечный свет. Если бы мы находились в космосе или на Луне, то Солнце казалось бы нам белым. С Земли Солнце кажется желтым, так как на Земле часть коротких волн солнечного света (голубой и фиолетовый цвета) поглощаются при рассеянии. Оставшаяся часть спектра выглядит желтым цветом.

В космосе небо выглядит темным или абсолютно черным вместо голубого. Это результат отсутствия атмосферы, следовательно, свет там ни на чем не рассеивается.

### **Вопросы.**

1. Каким представлялось бы небо на Меркурии, если бы космонавт находился на поверхности этой планеты?

На Меркурии, как и на Луне атмосферы нет, поэтому небо там будет казаться черным и на нем будут ярко мерцать звезды.

2. Небо, наблюдаемое с поверхности Земли, имеет голубой цвет, поскольку земная атмосфера эффективнее рассеивает голубой (с короткой длиной волны), чем красный свет (с более длинной волной). Часто говорят, что океан синий, потому что небо голубое, а вода отражает небо. Так ли это?

Еще раз внимательно посмотрим видео Земли из космоса (рис. 39.3). Очевидно, что не вся планета голубая. Облака – белые, они отражают солнечный свет, падающий сверху. Лед, на полярных полюсах – белый по той же причине, что и облака. Континенты – коричневые (без растительности) или зеленые (с растительностью). Оттенок синего, которым обладает вода, не зависит от синевы неба. В этом случае вся водная гладь, не находящаяся под облаками, светилась бы ровным голубым цветом.

Океан состоит из молекул воды, а вода – как и все молекулы – избирательно поглощает свет определенных длин волн. Вода более активно поглощает инфракрасный, ультрафиолетовый и красный свет. Это значит, что если вы окунете голову в воду даже на небольшую глубину, то вы будете защищены от указанных выше излучений, и все будет казаться голубым: красный свет будет исключен. Оттенок синего, которым обладает вода, зависит от глубины. Если присмотреться к кромке континентов, то вода имеет более блеклый оттенок синего, чем вода на больших глубинах. Поскольку 70% земной поверхности покрыта океаном, то из космоса наша планета имеет преимущественно голубой цвет.



Рис. 39.3. Вид Земли из космоса  
(видео 2 мин 27 с)

## Эксперимент 40. Почему Марс красный?

**Факты.** Марс — планета, которая светится красноватым немигающим светом, поэтому она резко отличается от соседних белых мерцающих звезд. Поэтому Марс часто называют «красной планетой». Особый цвет Марса связан с минеральной пылью в его разреженной атмосфере.

**Цель.** Показать, что Марс имеет красный цвет, так как в его почве много оксидов железа, которые имеют красный цвет.

**Оборудование и материалы.** Любой ржавый предмет. Слабый раствор белого уксуса. Белая салфетка.



Рис. 40.1. Протирание уксусным раствором поверхности ржавого предмета

### **Инструкция.**

- Найдите любой ржавый предмет, например, чугунную сковородку которой долго не пользовались, обрезаек жести или старый гвоздь.
- Слегка смочите белую салфетку раствором уксуса.
- Протрите ржавый предмет салфеткой (рис. 40.1).

**Результаты.** На салфетке остались красно-бурые следы ржавчины.

**Объяснение.** Процент железа на поверхности Марса (12–16%), больше чем на других планетах. Молекулы воды, которые находятся в атмосфере Марса, взаимодействуют с железом и вызывают его окисление. Этот процесс занимает миллиарды лет.

Красная пыль, по сути, является тончайшей оболочкой Марса и не распространяется на более глубокие слои марсианского грунта. На рис. 40.2 показан типичный марсианский пейзаж: обломочные породы покрыты слоем пыли и песка цвета ржавчины.

**Для сведения.** Советские и американские космические станции, совершавшие мягкую посадку в марсианских пустынях, передали на Землю цветные изображения каменистых равнин, засыпанных красным железистым песком. Хотя марсианская атмосфера очень разрежена (по плотности она соответствует атмосфере Земли на высоте 30 километров), пылевые бури здесь необычайно сильные. Иногда случается, что из-за пыли астрономы месяцами не могут увидеть поверхность этой планеты. Этот минерал отражает красные лучи, поэтому и окрашен в такие цвета.



Рис. 40.2. Марсианский пейзаж: пыль и песок цвета ржавчины (видео 5 мин 31 с)

Вследствие резких перепадов температур возникают сильные ветры. Поскольку сила тяжести на планете невелика, в воздух поднимаются миллионы тонн песка. Обширнейшие области оказываются в плену пылевых бурь. Наиболее часто эти бури возникают вблизи полярных шапок. Ярость марсианских бурь зачастую превосходит все мыслимые пределы, окутывая всю планету непроницаемым красным облаком. Даже в спокойную погоду некоторое количество пыли взвешено в атмосфере Марса, небо окрашено в красноватый цвет.

### **Вопросы.**

1. Почему Марс получил такое название?

Именно кровавый окрас привел к имени «Марс», который для римлян служил богом войны.

2. На рис. 40.3 показаны следы марсохода Curiosity, оставленные на красной планете в 2008 году. Какой вывод о поверхности Марса можно сделать из этой фотографии?

Фотография свидетельствует о том, что под небольшим слоем ржавчины находятся темные скальные породы. Коричневые следы марсохода заметно выделяются на красном фоне равнины.



Рис. 40.3. Следы, оставленные марсоходом на красной планете

## **Эксперимент 41. Грязный снег**

**Факты.** В результате конденсации внутри атмосферы возникают облака из капелек воды и кристалликов льда. Свежевыпавший снег из облаков обладает безукоризненной белизной. Но ближе к весне, когда часть снега начнет подтаивать, белый снег превращается в грязный сугроб – рис. 41.1. Откуда взялась эта грязь? Простейший эксперимент даст ответ на этот вопрос.



Рис. 41.1. Снег весной

**Цель.** Показать, что мелкие пылевые частицы изначально содержатся в свежевыпавшем снеге и дождевой воде.

**Оборудование и материалы.** Чистая тарелка для сбора снега или дождевой воды. Воронка. Ножницы. Лист фильтровальной бумаги или бумажная салфетка.

### **Инструкция.**

- Если эксперимент проводится зимой, то после спокойного снегопада на открытом затишном месте наберите в тарелку снега. Если летом – то выставьте тарелку во время дождя на открытое место (не под водосток с крыши).



- Внесите тарелку в дом. Поставьте в теплом месте, накройте салфеткой и дайте растаять снегу.
- Изготовьте фильтр (рис. 41.2) и профильтруйте получившуюся воду из снега (или дождевую воду) через белый бумажный фильтр.

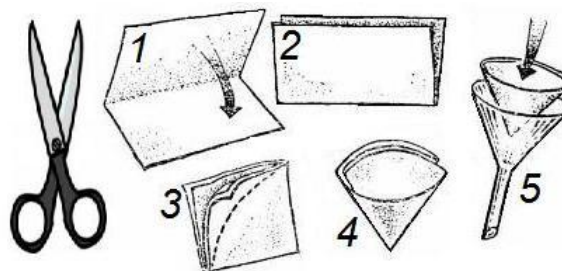


Рис. 41.2. Изготовление бумажного фильтра

**Результаты.** На поверхности фильтра видны темные частички.

**Объяснение.** При образовании снега и дождя водяной пар конденсируется в маленькие кристаллики и капельки, которые начинают собираться возле микроскопических частиц и пылинок. В видео «Почему идет дождь?» рассматриваются причины образования дождя и снега (рис. 41.3). Во многом состав талой и дождевой воды зависит от того, где образовались облака, каков уровень загрязнения атмосферы на данной территории, каково направление ветра и другие обстоятельства. Вследствие регулярного перемещения атмосферной влаги происходит перераспределение не только самой влаги, но также и многих твердых веществ – солей, пыли и ряда химических элементов.

**Для сведения.** Обновление водяного пара в атмосфере, в среднем происходит раз в 10 дней. По мере продвижения насыщенного влагой воздуха в верхние слои атмосферы он охлаждается и расширяется за счет понижения давления. Далее происходит конденсация, образуются мельчайшие капельки, из которых состоят облака.

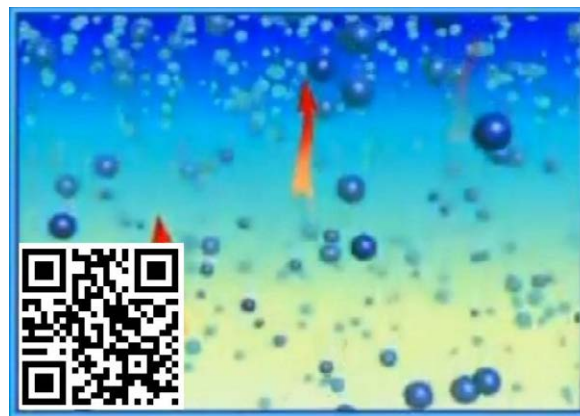


Рис. 41.3. Почему идет дождь?  
(видео 3 мин 4 с)

Наличие большого количества пыли и возросшая кислотность дождей сделали дождевую воду в настоящее время небезопасной для использования ее в пищу, особенно это касается промышленных регионов. Дождевые капли в процессе падения вбирают в себя большое количество вредных веществ, находящихся в атмосфере. Подсчитано, что 100 мг дождевой воды при падении очищает более 30 л воздуха, поэтому ее состав во многом зависит от того, насколько загрязнена атмосфера в области выпадения осадков. В воздухе содержатся вредные вещества, источниками которых становятся автотранспорт, промышленные предприятия, даже само сельское хозяйство вносит ощутимую лепту, применяя современные ядохимикаты и пестициды. Вместе с дождем эти элементы из атмосферы вновь проникают в почву.



Космос также вносит свой вклад в запыленность земной атмосферы. По последним оценкам каждый день на поверхность и в атмосферу Земли попадает около 60 т мелкой космической пыли. Межпланетная пыль образуется главным образом в процессе распада периодических комет, а также при дроблении астероидов. Образование пыли происходит непрерывно, и также непрерывно идет процесс выпадения пылинок.

Чтобы искусственно вызвать дождь, ученые сами добавляют в облако ядра кристаллизации. В результате капли замерзают, становятся тяжелыми и падают вниз. В теплое время года, долетая до земли, они тают и превращаются в дождь. Зимой кристаллизовавшаяся влага выпадает снегом.

### **Вопросы.**

1. Замечено, что размер капель зависит от времени года. Летом капли крупнее, а осенью мельче. Как это объяснить?

Жарким летним днем земля прогревается сильно, влаги испаряется больше и она поднимается выше – до 11,5 км. Поэтому капли крупные, тяжелые, и если уж дождь начинается, то быстро проходит. Осенью все чаще мы видим моросящий дождь. Это значит, что облака не поднялись выше пятисот метров, да и центров конденсации (пылинок в воздухе) меньше. Размер и формы снежинок также зависят от температуры.

2. Почему в настоящее время серьезное внимание предьявляется к качеству питьевой воды?

Вода – универсальный растворитель. Большое влияние на качество воды оказывает человеческий фактор. Ведь вода растворяет и остатки промышленных отходов, мусор, пестициды, гербициды, нитраты, удобрения и вредные вещества, которые попадают на землю из-за нашей жизнедеятельности. Существенными проблемами воды, связанными с гидрологическим циклом, являются повышенная жесткость, кислотность, посторонний запах, мутность и повышенное содержание железа.

## **Эксперимент 42. Лунные кратеры**

**Факты.** Кратеры — углубления на поверхности космического тела, имеющие округлые очертания. Размеры кратеров могут быть от микроскопических до 250 км в поперечнике. Крупные и средних размеров кратеры на Луне известны со времен первых телескопических наблюдений за этим небесным телом. Они носят имена знаменитых ученых: Гиппарх, Коперник, Кеплер и др.

Многие крупные кратеры окружены пологими валами и имеют ровное дно, посередине которого возвышается центральная горка. Другие имеют форму воронок, какие образуются при взрывах. Многочисленные мелкие кратеры покрывают всю лунную поверхность и даже дно и валы крупных кратеров.

**Цель.** Показать, как образуются ударные кратеры.

**Оборудование и материалы.** Плоский поднос. Мука или цемент. Набор округлых камушков и стальных шариков разного размера.

### **Инструкция.**

- В поднос насыпьте ровным слоем (толщиной 1,5–2 см) муку или цемент. Это будет «лунный» грунт.
- С высоты своего роста сбрасывайте камни и шарики («метеориты») на «лунный» грунт. Попробуйте менять высоту, с которой сбрасываете «метеориты» (станьте, например, на табурет или стул).
- Аккуратно из образовавшихся лунок извлеките камни и шарики.

**Результаты.** Поверхность муки (или цемента) после бомбардировки камнями несколько напоминает лунную поверхность – рис. 42.1.



Рис. 42.1. Следы, оставленные на сыпучем материале после падения камней

**Объяснение.** Этапы образования ударных лунных кратеров показаны на рис. 42.2.

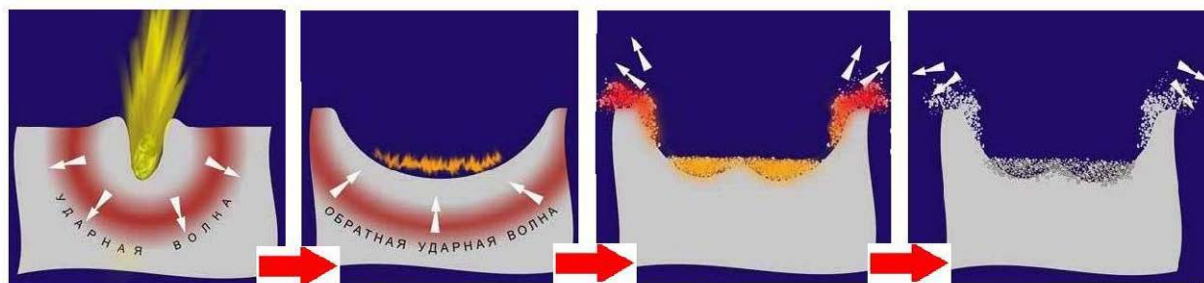


Рис. 42.2. Этапы образования ударных лунных кратеров

При встрече метеорита с твердой поверхностью его движение резко замедляется, а вот породы мишени (места, куда он упал), наоборот, начинают ускоренное движение под воздействием ударной волны. Она расходится во все стороны от точки соприкосновения: охватывает полусферическую область под поверхностью Луны, а также движется в обратную сторону по самому метеориту. Достигнув его тыльной поверхности, волна отражается и бежит обратно. Растяжения и сжатия при таком двойном пробеге обычно полностью разрушают метеорит. Породы в месте удара разлетаются во все стороны, а дно вдавливается. Каменный град из вещества, выброшенного вертикально вверх, возвращается на место, но уже в раздробленном виде. На дне кратера возникает круглая впадина с довольно крутыми бортами, но существует она недолго – затем борта немедленно начинают обрушиваться и оползать. Через несколько минут ударный расплав остывает и начинает быстро затвердевать. На этом формирование кратера заканчивается.

Описанный процесс образования ударного кратера можно посмотреть на анимированном рисунке (рис. 42.3).

Разумеется, что в нашем эксперименте разрушения и частичного испарения метеоритов не происходило. Скорость падения метеоритов из космоса на поверхность Луны достигает 90 тыс. км/с!

**Для сведения.** 1 сентября 2013 года астрономы наблюдали падение на Луну крупного метеорита. Вызванная падением яркая вспышка длилась около 8 с. Предыдущее такое явление произошло

17 марта 2013 г., когда на поверхность нашего естественного спутника упал довольно большой фрагмент метеорита массой около 40 кг. Падение крупных метеоритов было зафиксировано благодаря специальной космической программе NASA по обнаружению метеоритов на Луне, которая стартовала в 2005 году. С тех пор отмечено около 300 взрывов от падения космических тел на поверхность Луны.

Интерес представляют наглядные пособия для оформления кабинета астрономии макеты лунных кратеров, изготовленные по технологии папье-маше. На рис. 42.4–42.7 показаны для сравнения лунные кратеры и их макеты.

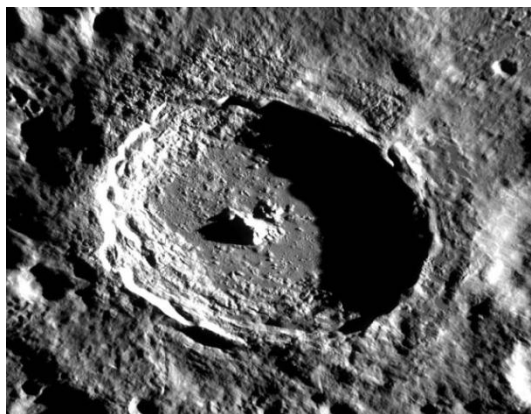


Рис. 42.3. Образование ударного кратера (анимация)



Рис. 42.4. Кратер Тихо (диаметр 85 км)

Макеты кратеров монтируют на листах из фанеры или ДВП, а затем обрамляют рамкой. На Луне есть и другие формы рельефа: горы, хребты, обрывы, моря, озера, болота, цепочки кратеров (рис. 42.7), макеты которых могут служить коллекцией наглядных пособий.



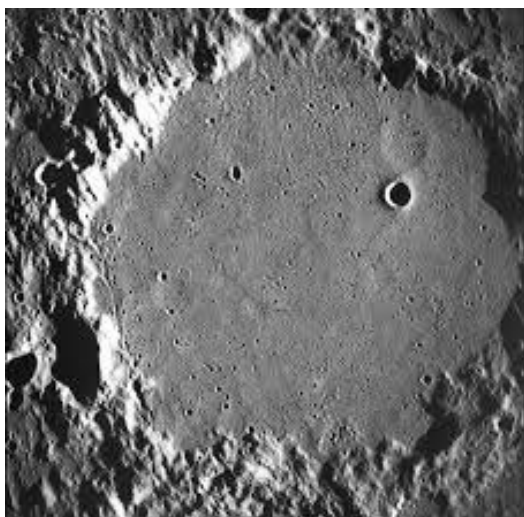


Рис. 42.5. Кратер Птолемей (диаметр 154 км)

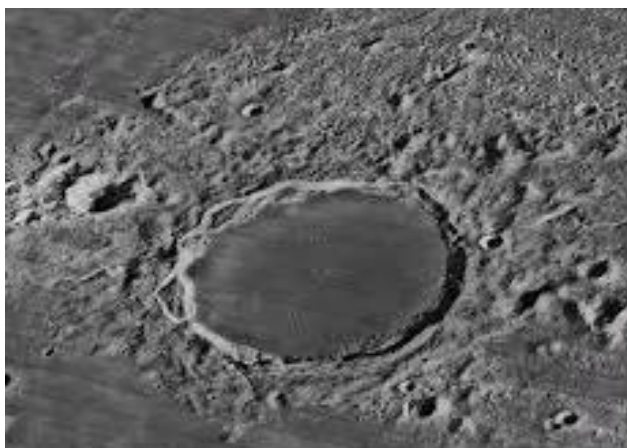


Рис. 42.6. Кратер Платон (диаметр 101 км)



Рис. 42.7. Цепочка кратеров на юге Моря Ясности (длина около 20 км)

## Эксперимент 43. Кольца Сатурна

**Факты.** Кольца Сатурна первым в 1610 году наблюдал в телескоп Галилео Галилей, хотя он их не идентифицировал как кольца, а посчитал придатками неизвестной природы к планете. Кольца этой планеты оставались уникальными вплоть до 1977 года, когда были обнаружены слабовыраженные кольца также вокруг Урана, Юпитера и Нептуна.



Рис. 43.1. Кольца Сатурна (web-страница)

При рассматривании Сатурна в телескоп с большим увеличением часть колец кажутся прозрачными (рис. 43.1) и через них просматривается планета.

**Цель.** Понять, почему Сатурн может быть виден сквозь свои кольца.

**Оборудование и материалы.** Лист плотной белой бумаги. Черный маркер. Ножницы. Клей. Канцелярская кнопка. Карандаш с ластиком.

**Инструкция.**

- Отрежьте от листа три одинаковых полоски (примерно  $2 \times 20$  см).
- По краям полосок симметрично от центра маркером нанесите по три полоски одинаковой толщины.
- Звездообразно сложите, а затем склейте полоски (наподобие винта вертолета), как это показано на рис. 43.2.
- Воткните кнопку в центр полосок, а затем закрепите всю конструкцию на ластике карандаша.
- Начнете вращать карандаш, а вместе с ним начнут вращаться и «лопасти» из бумажных полосок. Пронаблюдайте вращение.

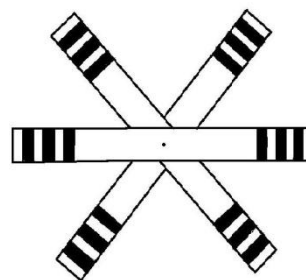


Рис. 43.2. Бумажные полоски, подготовленные к эксперименту

**Результаты.** При вращении карандаша черные полоски образуют три черных кольца. Сквозь эти кольца можно видеть находящиеся за «лопастями» предметы.

**Объяснение.** Подобный эффект можно наблюдать и на радиоуправляемой модели вертолета (рис. 43.3) – следует обратить внимание на вращающиеся основные винты и неподвижный малый задний винт.



Рис. 43.3. Модель вертолета с запущенным двигателем



Зрительный аппарат человека – глаза и проводящие пути (нервные волокна) – тесно интегрированы с мозгом. Глаз представляет собой сложный инструмент, который производит независимую обработку изображения еще до того, как сигнал достигнет мозга. Мозг совершает автоматическую визуальную обработку с некоторой задержкой.

Поэтому наш глаз объединяет отдельные черные черточки «винта» при вращении в иллюзорную видимость темных колец. Благодаря этому создается стабильное изображение, несмотря на то, что точность картинки немного страдает.

Сами кольца состоят в основном из миллиардов крошечных частиц льда, а также пыли и другого комического мусора. Такой состав объясняет, почему кольца видны с Земли в телескопы — лед обладает очень высоким показателем отражения солнечного света. Так как кольца Сатурна в основном состоят из обломков льда разных размеров (рис. 43.4), то поэтому поверхность планеты видна сквозь просветы между отдельными составляющими колец.



Рис. 43.4. Строение колец Сатурна (рисунок художника)

**Для сведения.** Плоскость обращения системы колец совпадает с плоскостью экватора Сатурна. Размер частиц материала в кольцах – от микрометров до сантиметров и (реже) десятков метров. Состав главных колец: водяной лед (около 99%) с примесями силикатной пыли. Толщина колец чрезвычайно мала по сравнению с их шириной (от 7 до 80 тысяч километров над экватором Сатурна) и составляет от одного километра до десяти метров. Если все вещество колец собрать в один монолитный шар, то диаметр такого шара не превысил бы 100 км.

Наиболее распространенной теорией для объяснения образования колец является теория о том, что на орбите Сатурна, под воздействием приливных сил, распался среднего размера спутник, а произошло это в тот момент, когда его орбита стала слишком близкой к Сатурну.

### **Вопросы.**

1. Долгое время после открытия колец Сатурна астрономы считали, что они тонкие и твердые. Каким образом было рассеяно это заблуждение?

В 1787 году П. Лаплас на основе расчетов предположил, что колец должно быть много – тысячи или даже миллионы, иначе гравитационное поле их разрушит. Впрочем, он тоже полагал, что кольца сплошные, похожие на гигантские гимнастические обручи. В 1848 году астроном Э. Рош рассчитал минимальное расстояние, на котором спутники могут существовать, не разрушаясь под воздействием гравитационного поля планеты. Это расстояние – названное по имени исследователя «пределом Роша» – составляет 2,44 радиуса планеты. Никакие спутники, будь они твердые или жидкие, не могут циркулировать над поверхностью небесного тела ближе этого расстояния. Но внешний радиус колец Сатурна равен 2,3 радиуса планеты, то есть кольца находятся

внутри критического предела. Отсюда Э. Рош сделал вывод, что кольца не могут быть ни сплошными и ни жидкими, то есть они должны состоять из достаточно мелких твердых частиц.

2. Почему и за счет каких сил каменные обломки астероидов, кусочки льда и космическая пыль превратились в стройную, геометрически правильную систему из нескольких широких и тысяч узких колец Сатурна?

Рассмотрим так называемый гравитационный резонанс. Это явление заключается в том, что движение небольших спутников Сатурна согласовано с движением его крупных спутников. Ряд спутников имеет взаимно кратные орбиты, например, период обращения вокруг планеты одних спутников составляет ровно половину периода обращения других. Поэтому некоторые спутники, их иногда называют «пастухами», двигаясь по границам колец Сатурна, обеспечивают удержание колец на их местах, при этом движение спутников «пастухов» согласовано с движением крупных спутников. Например, наличие спутника Мимаса диаметром более 390 км обеспечивает отсутствие вещества в «щели Кассини», а спутник Пан «контролирует» разделительную полосу Энке.

## Эксперимент 44. «Исчезновение» колец Сатурна

**Факты.** В 1921 году, благодаря некоторым газетам разнесся сенсационный слух: Сатурн лишился своих колец – кольца исчезли! Мало того, обломки разрушенных колец летят в мировом пространстве по направлению к Солнцу и по пути должны зацепить Землю. Называли даже день, когда должно произойти катастрофическое столкновение...

Конечно, для человека несведущего в тонкостях движения космических объектов, поводом к возникновению сенсации послужило попросту то, что в названном году кольца Сатурна на короткое время перестали быть видимы, «исчезли», по выражению астрономов. Молва поняла это выражение буквально как физическое исчезновение, то есть как разрушение колец. И, более того, украсила событие дальнейшими подробностями, приличествующими мировой катастрофе; отсюда падение обломков колец к Солнцу и неизбежное столкновение с Землей.

**Цель.** Выяснить, чем же обуславливается периодическое исчезновение колец Сатурна?

**Оборудование и материалы.** Пластилин. Лист плотной бумаги. Цветные фломастеры. Циркуль. Ножницы. Нож.

**Инструкция.**

- Используя весь перечень оборудования и материалов, изготовьте кольца планеты. Для этого на листе плотной бумаги (и симметрично с обратной стороны) вычертите несколько концентрических окружностей. Раскрасьте фломастерами кольца и промежутки между окружностями в разные цвета (цвета полос должны быть неодинаковыми).

- Из пластилина скатайте шарик. Разрежьте его пополам и половинки приклейте к центру по обе стороны листа. Обрежьте лист по наружному контуру внешнего кольца. «Планета» готова.
- Возьмите «Сатурн» рукой за «кольца», как будто вы собрались надевать шляпу.
- Расположите «Сатурн», так как показано на рис. 44.1 в положении 1. Постепенно начинайте поворачивать «планету» на себя, так, чтобы вы для себя отметили ее вид в положениях 1–5.

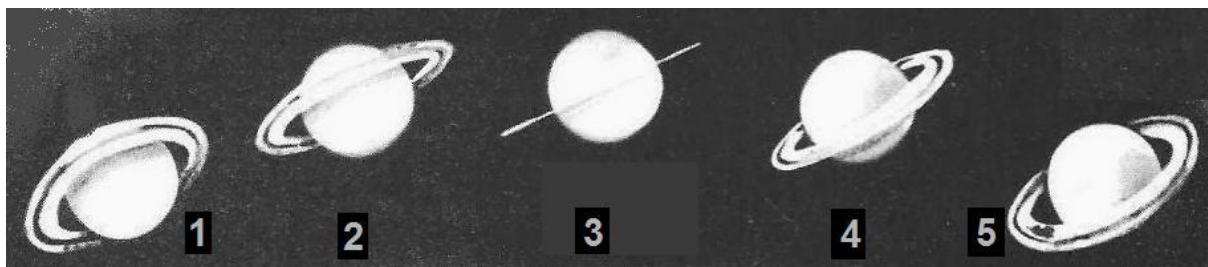


Рис. 44.1. Ход эксперимента по «исчезновению» колец Сатурна

### **Результаты.**

В некоторый момент кольца «исчезнут» (положение 3), а затем снова появятся, но будет виден уже их верх, который был предварительно раскрашен в другой цвет (для убедительности эксперимента). В начале мы наблюдали нижнюю сторону колец, затем ребро листа и в конце – верхнюю сторону колец.

Результаты эксперимента можно посмотреть с помощью анимированного рисунка (рис. 44.2).



Рис. 44.2. «Исчезновение» колец Сатурна (анимация)

### **Объяснение.**

Кольца Сатурна очень тонки; толщина их измеряется двумя-тремя десятками километров, поэтому, для земного наблюдателя они становятся невидимыми, когда будут наблюдаться с ребра.

Кольца Сатурна наклонены к плоскости земной орбиты под углом в  $27^\circ$ , но за время 29-летнего обхода по планетной орбите кольца в двух диаметрально противоположных ее точках становятся ребром к Солнцу и к земному наблюдателю (рис. 42.3). В двух других точках, расположенных на  $90^\circ$  от первых точек, кольца,

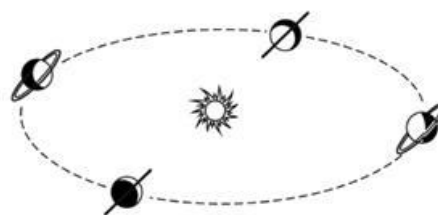


Рис. 44.3. Такие положения занимают кольца Сатурна по отношению к Солнцу в течение обращения планеты по орбите

напротив, показывают Солнцу и Земле свою наибольшую ширину, – «раскрываются», как говорят астрономы.

### **Вопросы.**

1. Как объяснить высокую яркость свечения колец Сатурна?

Сами по себе кольца не светятся. Все дело в солнечных лучах, отражающихся ото льда.

2. Какова периодичность «исчезновения» колец Сатурна?

Галилей заметил, что кольца меняются еще 400 лет назад. Он отслеживал их до полного исчезновения. И сейчас мы знаем, что это явление повторяется каждые 14-15 лет и называется «пересечением колец» (та как период обращения Сатурна вокруг Солнца равен 29,67 земного года).

## **Эксперимент 45. Ариэль и Умбриэль**

**Факты.** Ариэль и Умбриэль – два спутника Урана. Это спутники примерно одного размера (радиусы 579 и 585 км соответственно), но отличающиеся цветом поверхности: Ариэль более светлый, Умбриэль – чуть темнее (рис. 45.1).

**Цель.** Показать, как цвет небесных тел влияет на температуру их поверхности при одинаковом удалении от Солнца.

**Оборудование и материалы.** Два одинаковых термометра. Настольная лампа с мощной лампой накаливания. Два листа бумаги – черный и белый. Две пустые жестяные банки. Ножницы. Скотч.

### **Инструкция.**

- По размеру банок вырежьте куски белой и черной бумаги, чтобы они окружали банку вместо этикетки.
- Закрепите «этикетки» на банках скотчем.
- Поместите в каждую банку термометр.
- Расположите банки на расстоянии 30–50 см от лампы (рис. 45.2).
- Включите лампу на 5-7 минут, а затем запишите показания обоих термометров.

**Результаты.** Температура банки, с «этикеткой» из черной бумаги оказалась несколько выше, чем банки с белой «этикеткой».



Рис. 45.1. Спутники Урана — Ариэль и Умбриэль

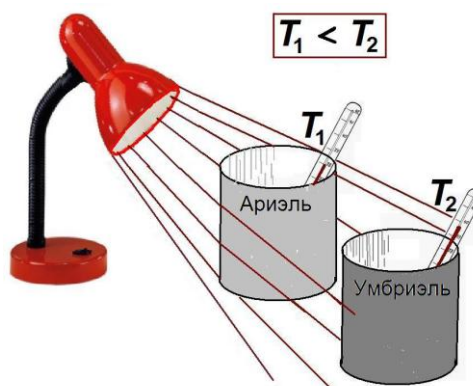


Рис. 45.2. Эксперимент с нагревом светлой и темной поверхностей

**Объяснение.** Эксперимент позволил убедиться, что тело с темной поверхностью (Умбриэль) лучше поглощает энергию, чем тело со светлой или зеркальной поверхностью (Ариэль). Поглощение и отражение энергии излучения лампы разными по цвету телами происходит неодинаково: тела со светлой поверхностью медленнее нагреваются, а с темной поверхностью – быстрее (см. видео с демонстрацией поглощения энергии света термоскопами, с различной окраской – рис. 45.3).

**Для сведения.** Попадая на поверхность других небесных тел, излучение Солнца частично поглощается, а частично отражается. Поглощенная энергия теплового излучения превращается во внутреннюю энергию тела, и тело нагревается. Отражающая способность небесных тел различна.

Альbedo – это величина, характеризующая отражательную или рассеивающую способность поверхности, освещаемой извне. Слово происходит от латинского слова *albus* – «белый, белизна». Исследования альbedo планет, спутников и астероидов используются, чтобы многое узнать об их свойствах. Изучая альbedo можно судить о вероятном составе и структуре поверхности небесного тела.

Альbedo Ариэля равно 0,39, а Умбриэля 0,26; средние температуры спутников соответственно равны 58 К (–215°C) и 75 К (–198°C).

**Примечание.** Температурная шкала Кельвина имеет начало 0 К, которое совпадает с абсолютным нулем. Пересчет в градусы по шкале Цельсия ведется по формуле:  $t^{\circ}\text{C} = T\text{ К} - 273,15$ .

### **Вопросы.**

1. Альbedo Земли — 0,367, Луны — 0,12. Какое из небесных тел обладает лучшей отражательной способностью?

Альbedo – характеристика диффузной отражательной способности поверхности. Например, альbedo чистого снега составляет ~0,9, а древесного угля ~0,04. Земля в целом имеет более высокое альbedo по сравнению с Луной. Более подробно об альbedo в астрономии рассказывается в видео – (рис. 45.4).

2. Солнечная радиация, поступающая к поверхности Земли, поглощается ею не полностью. Как и отчего зависит поглощаемая отражаемая Землей солнечная радиация?



Рис. 45.3. Демонстрация поглощения световой энергии (видео 39 с))

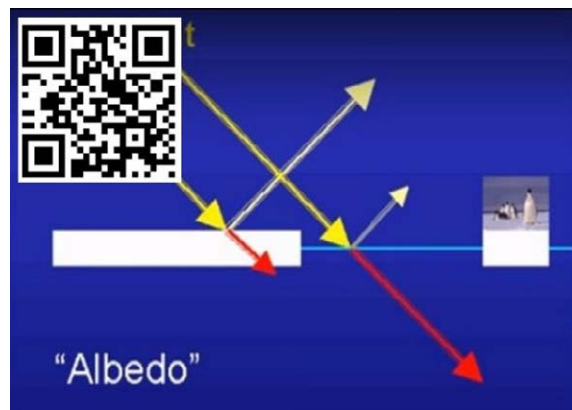


Рис. 45.4. Альbedo (видео 2 мин 42 с)



Часть солнечного излучения отражается поверхностью, причем в отражении участвует только верхний слой земной поверхности, в котором происходит поглощение радиации и ее преобразование. К такому слою относятся весь травостой и растительная масса леса, первые десятки метров прозрачной воды, несколько сантиметров песка и только доли миллиметров темных почв. Отражательная способность поверхности Земли зависит от рода тел, их физических свойств, цвета и состояния.

## Эксперимент 46. Хвост кометы

**Факты.** Малое тело Солнечной системы, движущееся по сильно вытянутой орбите и меняющее свой облик с приближением к Солнцу, называется кометой. По мере приближения к Солнцу у комет образуется хвост (рис. 46.1).

**Цель.** Понять, почему у комет образуются хвосты и как они расположены по отношению к Солнцу.

**Оборудование и материалы.**

Фен. Пустая жестяная банка (например, от кофе). Небольшой мячик. Елочная мишура. Клей. Ножницы. 2-3 любые книги.

**Инструкция.**

- На столе установите фен, направив сопло для выдуваемого воздуха вверх. Для устойчивости обставьте фен книгами (рис. 46.2).
- В стенках тонкостенной банки по кругу сделайте ножницами несколько отверстий. Банку плотно наденьте на сопло фена.
- Из елочной мишуры или другого подходящего материала (например, папиросной бумаги) ножницами нарежьте около десяти узких полосок и приклейте их одним концом к мячику; мячик («комету») желательнее установить на какую-либо подставку.
- Включите фен и начните перемещать по эллипсу мячик с приклеенными к нему полосками вокруг фена с банкой («Солнце»), из отверстий которой вырываются струи воздуха.

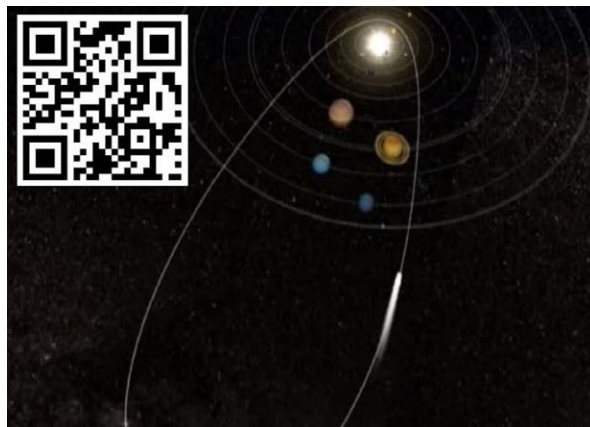


Рис. 46.1. Модель движения кометы (видео 48 с)

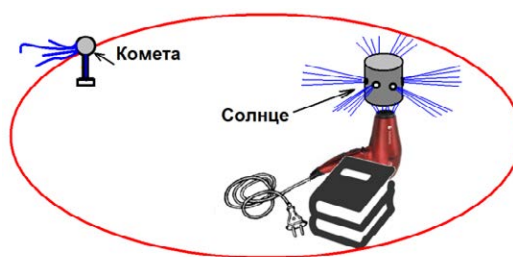


Рис. 46.2. Эксперимент с «кометой»

**Результаты.** Полоски мишуры («хвост кометы») начинают отклоняться в сторону, противоположную от «Солнца». Причем, при приближении к «Солнцу», полосы отклоняются более активно.

**Объяснение.** Комета не каменная глыба, а в основном состоит из льда. При приближении к Солнцу лед нагревается и испаряется. Вокруг ядра кометы образуется облако водяного пара. А от Солнца все время «дует» так называемый солнечный ветер, состоящий из заряженных частиц. Этот поток частиц и сдувает с кометы молекулы воды, а заодно и пылинки вещества, которые обычно имеются на поверхности ледяного ядра кометы. Поэтому понятно, что этот хвост почти всегда направлен в сторону от Солнца (рис. 46.3). Чем ближе к Солнцу приближается комета, тем более длинным и ярким становится ее хвост. Протяженность хвоста может быть до 100 миллионов километров.

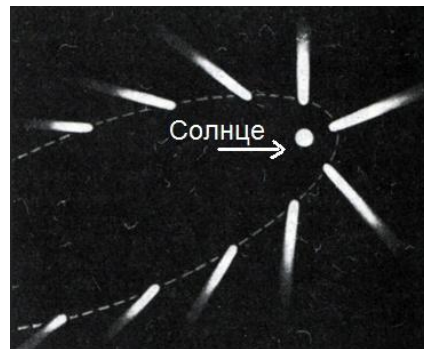


Рис. 46.3. Движение кометы вокруг Солнца

**Для сведения.** Для простого народа кометы представляли пугающее явление. А как объясняли это явление ученые?

В древности ученые, следуя авторитету Аристотеля, считали кометы атмосферными явлениями, подобными северному сиянию, тучам, молнии. Многие ученые думали, что кометы – облака каких-то вредных паров, горящие в воздухе – отсюда страхи и суеверия.

Первым стал исследовать кометы известный астроном, живший в конце XVI века, Тихо Браге. Он сумел измерить расстояние до кометы 1577 года и нашел, что эта комета была очень далека от Земли, гораздо дальше, чем Луна. Из этого факта следовал вывод: ведь Луна – небесное тело, значит, и кометы тоже небесные тела.

После Тихо Браге изучением комет стал заниматься знаменитый астроном Иоганн Кеплер (ассистент Браге, к которому перешли его научные архивы). Так как кометы проходят близ Земли довольно часто, а мировое пространство безгранично, то Кеплер сделал из этого вывод, что в мировом пространстве комет столько же, сколько рыб в море. Но насчет путей, по которым движутся кометы, Кеплер ошибался. Он считал, что кометы движутся по прямым линиям. Кеплер считал, что комета является из мирового пространства, проходит через Солнечную систему и удаляется навсегда. Однако это мнение первооткрывателя законов движения планет Солнечной системы было ошибочным. Кометы движутся не по прямым линиям, а по очень сильно вытянутым эллипсам и после появления на небосводе, скрываются, но затем через некоторое время снова приходят к Солнцу в несколько ином обличье.

Об этом свойстве комет первым догадался Эдмунд Галлей.

Эдмунд Галлей, изучая старинные сообщения о появлении на небе комет, Галлей обратил внимание, что периоды, то есть промежутки, между появлениями некоторых комет, были почти одинаковы. Анализируя сходство элементов орбит комет 1531, 1607 и 1682 годов, он пришел к выводу, что это последовательное возвращение одной и той же кометы, которая движется по вытянутой эллиптической орбите с периодом почти 76 лет, хотя другие ученые считали, что все эти кометы были разные.

Последнее прохождение кометы Галлея через перигелий было 9 февраля 1986 года в созвездии Водолея; следующее ожидается 28 июля 2061 года, а затем – 27 марта 2134 года.

### **Вопросы.**

1. Почему ядро «старой» кометы многократно подлетавшей к Солнцу имеет чрезвычайно темный цвет (например, комета Галлея), а ядро «свежей» кометы — довольно светлое (например, комета Вильда-2)?

В поверхностном слое «свежей» кометы много льда, который еще не успел улечься.

2. Прочтите стихотворение «Комета» и ответьте на вопросы.

Грозись, грозись над головою,  
Звезды ужасной красота!  
Смолкай сердито за спиною,  
Однообразный треск винта!  
Но гибель не страшна герою,  
Пока безумствует мечта!  
(А.А. Блок, сентябрь 1910)

Вопрос 2.1. Под впечатлением какой кометы А.А. Блок написал стихотворение?

Речь идет о периодической комете Галлея, которая была видима невооруженным глазом с середины апреля до начала июля 1910 года. Первый раз она наблюдалась в 446 до н. э. (по другим сведениям, замечена китайцами еще в 611 до н. э.). Считалось, что это были разные кометы, и лишь в XVIII в. английский астроном Эдмунд Галлей открыл периодичность этой кометы (комета появляется каждые 76 лет).

Вопрос 2.2. Почему комета представляется поэту грозной?

Люди всегда внимательно наблюдали за появлением комет, этих нарушительниц небесного порядка. В людском воображении возникал образ дьявола, закуривающего трубку и бросающего спичку. С появлением комет в разное время связывались войны, волны эпидемий, землетрясения, неустойчивая погода и политические катаклизмы.

## **Эксперимент 47. Ионосфера**

**Факты.** Ионосфера – слой ионизованного газа в верхних слоях атмосферы планеты, состоящий из положительных ионов и свободных электронов.

Ионы и электроны образуются под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца. Пока газовая оболочка Земли освещена Солнцем, в ней непрерывно образуются все новые и новые электроны, но

одновременно часть электронов, сталкиваясь с ионами, вновь образует нейтральные частицы – атомы и молекулы.

После захода Солнца образование новых электронов почти прекращается и число свободных электронов убывает. Поэтому электроны и ионы распределены в пространстве неравномерно. Число электронов, находящихся в кубическом метре газа, называется электронной плотностью. Ионосфера играет существенную роль при распространении радиоволн. На высотах от 50 до 400 км имеется несколько слоев (или областей), плавно переходящих один в другой и существенно влияющих на распространение радиоволн. Однако область ионизированного газа распространяется много выше, до 1000 км и далее, с постепенно убывающей концентрацией электронов и ионов.

**Цель.** С помощью мобильного телефона проверить, как ионосфера влияет на распространение радиоволн.

**Оборудование и материалы.** Мобильный телефон. Упаковочный пакет на основе алюминиевой фольги или металлизированного лавсана.

**Инструкция.**

- Включенный телефон поместите в пустой пакет от кофе или чая (можно завернуть в обычную пищевую фольгу).
- С другого телефона позвоните на телефон, который завернут в фольгу.

**Результаты.** Слышна фраза «Абонент находится вне зоны досягаемости», а телефон, завернутый в фольгу, не звонит.

**Объяснение.** Металлическая фольга блокирует электромагнитные волны. Так как телефон изолирован фольгой от воздействия электромагнитных волн, то естественно он на принимаемые сигналы реагировать не будет (рис. 47.1).

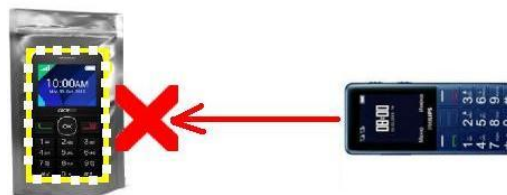


Рис. 47.1. Эксперимент с телефонами

Слой сильно ионизированного газа ионосферы хорошо проводит электрический ток и подобно металлической поверхности отражает радиоволны.

**Для сведения.** Не будь ионосферного «зеркала» вокруг Земли, радиосвязь не на всех диапазонах волн была бы возможна. На рис. 47.2 показано влияние ионосферы на распространение радиоволн. Длинные волны (ДВ) и средние волны (СВ) скользят вдоль поверхности Земли благодаря дифракции. Короткие волны (КВ) отражаются от ионосферы и поверхности Земли. Они многократно могут несколько раз обогнуть земной шар. Ультракороткие волны (УКВ) по своим свойствам в большей степени напоминают световые лучи. Они практически не отражаются от ионосферы, очень незначительно огибают земную поверхность и распространяются в пределах прямой видимости.



Рис. 47.2. Влияние ионосферы на распространение радиоволн

### **Вопросы.**

#### **1. Почему некоторые радиоволны отражаются от ионосферы?**

При распространении радиоволны в неоднородной среде ее траектория искривляется. Для отражения волны от слоя ионосферы требуется определенная концентрация свободных электронов. При достаточно большой электронной плотности искривление траектории волны может оказаться настолько сильным, что волна возвратится на поверхность Земли на некотором расстоянии от места излучения, то есть произойдет отражение радиоволны в ионосфере.

#### **2. Полезное или вредное свойство ионосферы по отражению радиоволн?**

Исключительная роль ионосферы в распространении радиоволн очень хорошо охарактеризована академиком А.С. Щукиным: «Можно сказать без преувеличения, что не будь отражения и преломления радиоволн в верхних слоях атмосферы, роль радио, как средства связи, сократилась бы на 90–95%». Зная критические частоты и высоты отражающих слоев, можно рассчитать рабочие частоты для связи на то или иное расстояние.

#### **3. Почему астрономы прогнозируют активность Солнца?**

Активность Солнца оказывает влияние на ионосферу Земли. Активные процессы на Солнце вызывают появление полярных сияний и магнитных бурь. В это время происходит нарушение радиосвязи, что наносит большой ущерб. Отсюда возникает потребность прогнозов нарушения радиосвязи во время возмущенных периодов. Наблюдая за движением и развитием активной области Солнца, можно в ряде случаев предсказать день, когда выбрасываемые Солнцем корпускулы достигнут Земли и вызовут нарушение радиосвязи. Такой прогноз позволяет заблаговременно принять необходимые меры.

#### **4. Наблюдаются ли полярные сияния на других планетах Солнечной системы?**

Полярные сияния наблюдаются на Сатурне, Юпитере, Уране и Нептуне. Это обуславливается тем, что магнитные поля планет-гигантов значительно сильнее магнитного поля Земли. Красоту земных полярных сияний можете оценить, просмотрев краткий видеоролик (рис. 47.3).



Рис. 47.3. Полярное сияние (видео 23 с)

## **Эксперимент 48. Главное свойство телескопов**

**Факты.** Телескоп любой конструкции должен собрать свет, излучаемый небесными объектами. Чем больше размер собирающего свет элемента телескопа – линзы или зеркала, тем больше света в него попадет. Важно, что именно общее количество собранного телескопом света, в конечном результате определяет уровень детализации наблюдаемого небесного тела – будь то удаленный лунный ландшафт или спутники планет и кольца Сатурна.



Собрать побольше света от небесного объекта и построить крошечное и четкое изображение наблюдаемого объекта – это задача объектива телескопа. Изображение, полученное с помощью объектива, затем рассматривают с помощью окуляра.

Телескопы постоянно изменяются и совершенствуются, но принцип работы остается одним и тем же.

**Цель.** Показать как линзы и зеркала собирают свет от небесных объектов.

**Оборудование и материалы.** Собирающая линза (лупа). Вогнутое зеркало (можно использовать косметическое зеркало или отполированное доньшко от алюминиевой банки для напитков).

#### **Инструкция.**

- Опыты проводите в солнечный день.
- С помощью собирающей линзы сфокусируйте солнечные лучи на листке бумаги или клочке ваты (рис. 48.1).
- С помощью вогнутого зеркала сфокусируйте солнечные лучи на листке бумаги или каком-либо легко воспламеняющемся материале (рис. 48.2).

**Результаты.** Лучи Солнца, сфокусированные на легко воспламеняющихся материалах, вызывают их обугливание или воспламенение.

**Объяснение.** Линза – это оптическая система, у которой толщина краев меньше, чем оптического центра; такая система обладает способностью собирать солнечные лучи в точку, называемую фокусом. Таким же свойством обладают и вогнутые зеркала. Зеркало — тело, обладающее полированной поверхностью и способное образовывать оптические изображения предметов (в том числе источников света), отражая световые лучи.

Чем больше диаметр линзы или вогнутого зеркала, тем больше света в них попадает. А чем больше света попадает в телескоп, тем более удаленные объекты он позволяет увидеть. Человеческий глаз обладает своей собственной выпуклой линзой (хрусталиком), но эта линза очень мала, поэтому света она собирает довольно мало. Телескопы, в состав которых входит объектив на основе линзы или зеркала, позволяет увидеть больше, чем человеческий глаз, именно потому, что его оптика способна собрать больше света.

Мелкие части предмета, невидимые простым глазом, могут быть различаемы в телескопе, как будто бы рассматриваемый предмет приблизился к наблюдателю. Поэтому телескопы иногда называются «увеличивающими» или «приближающими» устройствами.



Рис. 48.1. Действие собирающей линзы

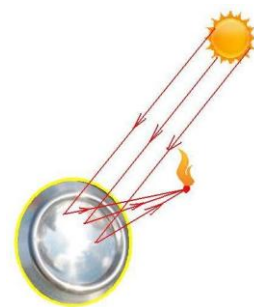


Рис. 48.2. Действие вогнутого зеркала аналогично собирающей линзе

Условно действие собирающей линзы (то же и для вогнутого зеркала) иллюстрирует рис. 48.3. Чем больше размер воронки (линзы или зеркала), тем больше капелек дождя (световой энергии) будет собрано этими устройствами.

**Для сведения.** Телескоп имеет следующие основные назначения: 1) собирать излучение от небесных светил на приемное устройство (глаз, фотографическая пластинка, ПЗС-матрица, спектрограф и др.); 2) получать изображение небесного объекта или определенного участка неба; 3) помогать различать объекты, расположенные на близком угловом расстоянии друг от друга и поэтому неразличимые в обычных условиях невооруженным глазом.

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

### Вопросы.

1. Линзы бывают собирающие и рассеивающие. С чем связаны эти названия?

Собирающая линза называется так потому, что световой пучок, параллельный главной оптической оси, после прохождения линзы собирается в ее главном фокусе (рис. 48.4). Рассеивающая линза преобразует пучок света, параллельный главной оптической оси, в расходящийся пучок, как бы выходящий из главного фокуса.

2. На рис. 48.5 представлены линзы: двояковыпуклая (а), плосковыпуклая (б) и вогнуто-выпуклая (в). Все ли эти линзы являются собирающими?

Все представленные на рис. 48.5 линзы являются собирающими. Следует обратить внимание, что у вогнуто-выпуклой линзы выпуклая поверхность в большей степени искривлена (радиус ее кривизны меньше); поэтому собирающее действие выпуклой преломляющей поверхности перевешивает рассеивающее действие вогнутой поверхности, и линза в целом оказывается собирающей.



Рис. 48.3. Сравнение воронки с собирающей линзой

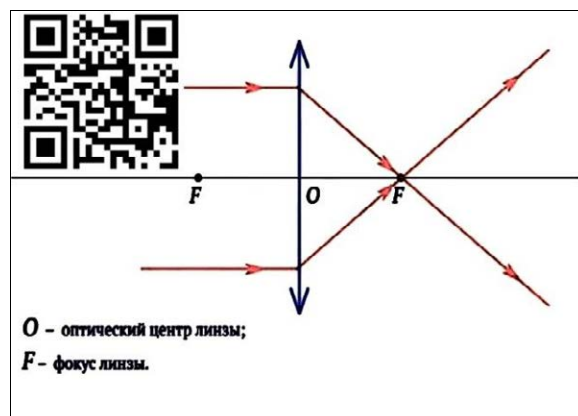


Рис. 48.4. Собирающая линза (видео 18 с)

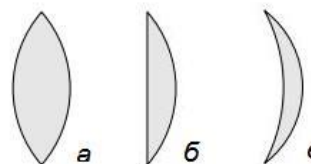


Рис. 48.5. Виды линз:  
а — двояковыпуклая;  
б — плосковыпуклая;  
в — вогнуто-выпуклая

## Эксперимент 49. Телескоп-рефрактор

**Факты.** Рефракторы – преломляющие телескопы. Свет в таком телескопе собирается с помощью двояковыпуклой линзы (собственно, она и является объективом телескопа).

В рефракторе Галилея (созданном в 1609 году) использовались две линзы для того, чтобы собрать максимум звездного света и позволить человеческому глазу его увидеть. Выпуклая сферическая линза собирает свет от небесных объектов, а следующая за ней вогнутая линза превращает собранные световые лучи обратно в параллельные, что позволяет вернуть четкость и ясность наблюдаемому изображению (рис. 49.1).

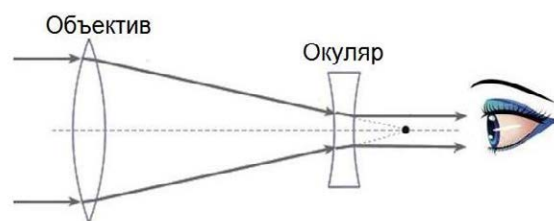


Рис. 49.1. Схема телескопа-рефрактора Галилея

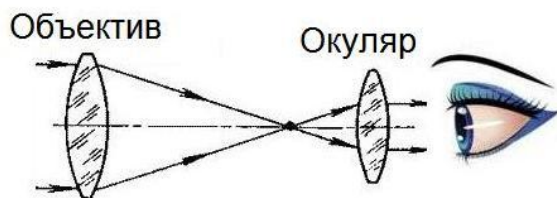


Рис. 49.2. Схема телескопа-рефрактора Кеплера

Телескопы с рассеивающей линзой в качестве окуляра имели существенные недостатки: низкую яркость изображения и узкое поле зрения. Поэтому первооткрыватель законов движения планет Иоганн Кеплер предложил использовать в качестве окуляра выпуклую линзу, отодвинутую от фокуса объектива на длину собственного фокусного расстояния, причем не по направлению к объективу, а дальше от него (рис. 49.2). Длина такого телескопа равна сумме (а не разности, как у предыдущего предшественника) фокусных расстояний объектива и окуляра. Полная длина такой трубы становится больше, расширяется поле зрения, возрастает яркость изображения.

**Цель.** Показать принцип действия телескопа-рефрактора Кеплера.

**Оборудование и материалы.** Линза собирающая (объектив). Лупа (окуляр). Матовое стекло.

**Инструкция.**

- Спроецируйте с помощью собирающей линзы изображение предмета, например, окна в комнате, на кусочек матового стекла или кальки и добейтесь резкого изображения.
- С помощью лупы рассмотрите изображение на матовом стекле (рис. 49.3).
- Уберите матовое стекло, и, не меняя расстояния между линзой и лупой, рассмотрите с помощью лупы изображение, создаваемое объективом.

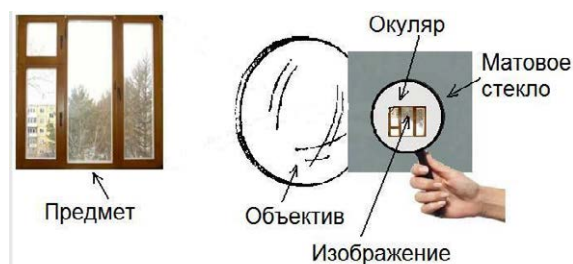


Рис. 49.3. Демонстрация принципа действия телескопа-рефрактора

- Определите увеличение «телескопа», собранного из линзы и лупы, применявшихся в вашем эксперименте.

**Результаты.** В лупу на матовом стекле видим изображение, наблюдаемого предмета. Когда убираем матовое стекло, то видим «воздушное» изображение предмета.

**Объяснение.** В объектив телескопа попадает световой поток, преломляется и собирается в точке, называемой фокусом объектива. Расстояние от центра линзы до ее фокуса называют фокусным расстоянием. Изображение, созданное объективом, рассматривают с помощью окуляра (рис. 49.4).

Преимущество телескопа по сравнению с глазом заключается в том, что телескоп собирает гораздо больше света, чем зрачок человеческого глаза, имеющий даже в полной темноте диаметр не более 8 мм. Очевидно, что количество света, собираемого телескопом, во столько раз больше, во сколько площадь объектива больше площади зрачка. Это отношение равно отношению квадратов диаметров объектива и зрачка.

Существует простая формула, по которой легко определить увеличение телескопа:  $\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$ , где  $F_{ок}$  – фокусное расстояние окуляра;  $F_{об}$  – фокусное расстояние объектива. Чем больше фокусное расстояние объектива и меньше фокусное расстояние окуляра, тем больше увеличение телескопа.

Устройство телескопа рефрактора показано в видео (рис. 49.5).

**Для сведения.** На первый взгляд может показаться, что подбирая различные фокусные расстояния объектива и окуляра, можно получить какие угодно большие увеличения телескопа. На самом же деле это совсем не так, потому, что минимальное разумное увеличение не нужно выбирать меньше, чем  $\Gamma_{min} = \frac{D}{6}$ , где  $D$  – диаметр объектива, а максимальное не может быть больше  $\Gamma_{max} = \frac{D}{0,7}$ .

### Вопросы.

1. Какое увеличение можно получить при помощи телескопа-рефрактора Кеплера, если он снабжен объективом с фокусным расстоянием равным 1 м и окуляром с фокусным расстоянием 2 см?

Увеличение телескопа равно:  $\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}} = 100/2 = 50$ .

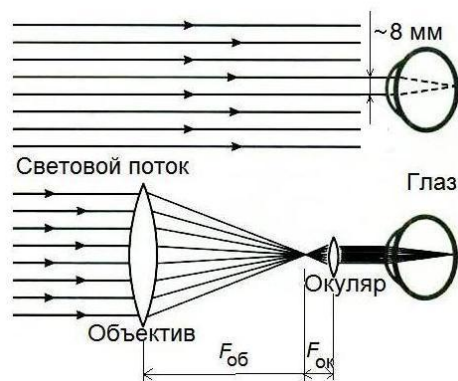


Рис. 49.4. Ход лучей в оптической системе телескопа-рефрактора

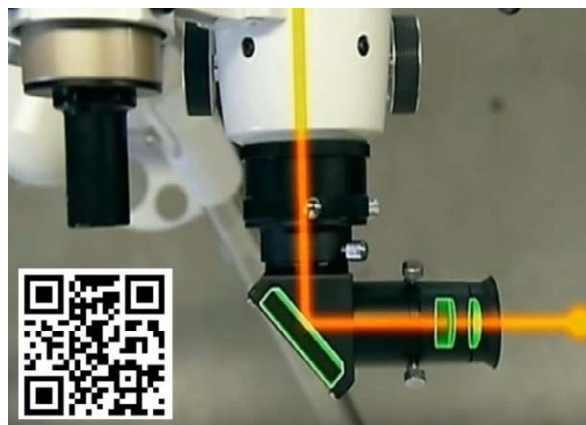


Рис. 49.5. Устройство телескопа-рефрактора (видео 4 мин 30 с)



2. Как можно объяснить, что телескоп имеет ограничения по минимальному и максимальному увеличениям?

Ограничения накладывают некоторые физические свойства света. Распространение света – это движение электромагнитных волн. Трудности возникают из-за явления дифракции света. Изображение звезды, создаваемое объективом телескопа, есть точка. Но на самом деле из-за дифракции изображение звезды, – не точка, а светлый кружок, окруженный кольцами, попеременно темными и светлыми. Освещенность колец значительно меньше освещенности центрального кружка и убывает с увеличением поперечника колец. Две звезды расположенные рядом дадут изображение, состоящее из двух кружков и двух систем темных и светлых колец – рис. 49.6. Поэтому расстояние между центрами первого и второго кружков будет невелико по сравнению с поперечником кружков и может случиться так, что светлые кружки наложатся один на другой, что нельзя будет сказать, видит ли глаз только один кружок или два, наложенные один на другой. В этом случае видеть с помощью телескопа звезды отдельно не удастся. Но если угол зрения между звездами будет больше, так что между центрами дифракционных кружков окажется достаточно большой промежуток, то глаз сможет увидеть звезды отдельно. Чем больше поперечник объектива, тем, при данном его фокусном расстоянии, меньше поперечник каждого дифракционного кружка. Наоборот, уменьшение поперечника объектива приводит к увеличению поперечника дифракционных кружков. Как видим, единственный способ, позволяющий сделать звезды отдельно видимыми, состоит в увеличении поперечника объектива телескопа.



Рис. 49.6. Дифракционная картина двух рядом расположенных звезд

## Эксперимент 50. Телескоп-рефлектор

**Факты.** Наряду с телескопами-рефракторами существуют другой распространенный вид телескопа – рефлектор. В этом случае изображение небесного тела строит вогнутое зеркало. Обычно в схему телескопа-рефлектора входят еще несколько плоских или выпуклых зеркал. Назначение плоских зеркал – менять направление лучей, а сферических – увеличивать фокусное расстояние. На выходе телескопа может использоваться окуляр или экран.

Оптическая схема телескопа-рефлектора с несколькими зеркалами, приведенная на рис. 50.1, часто используется на солнечных обсерваториях. Для простоты на схеме изображен только один луч света, строящий одну точку изображения Солнца.

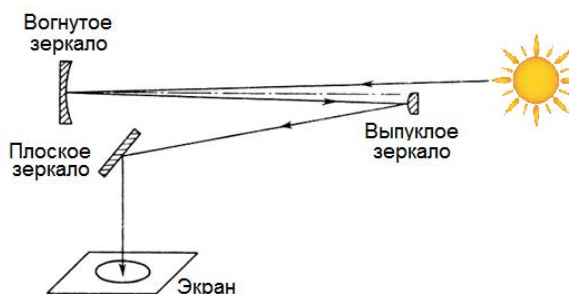


Рис. 50.1. Оптическая схема специального телескопа-рефлектора, используемого на солнечных обсерваториях



Изображение строится вогнутым и выпуклым зеркалами. Плоское зеркало поворачивает пучок лучей, не меняя фокусное расстояние.

**Цель.** Показать принцип действия телескопа-рефлектора Ньютона.

**Оборудование и материалы.** Вогнутое зеркало (объектив). Лупа (окуляр). Экран.

**Инструкция.**

- Направьте вогнутое зеркало на окно с видимой Луной.
- Получите изображение на экране, например, белой картонке или листке бумаги.
- Перемещайте экран (или зеркало), пока на нем не образуется четкое изображение Луны.
- Рассмотрите изображение Луны с помощью лупы (рис. 50.2).

**Результаты.** Изображение получается на экране, когда оно окажется в фокальной плоскости зеркала.

**Объяснение.** Английский ученый Исаак Ньютон вместо линзового объектива применил вогнутое зеркало (1668 г.), в котором лучи от удаленного объекта собирались в фокусе вогнутого зеркала. Полученное изображение рассматривают через линзу-окуляр. Телескопы такого типа было легче изготавливать, поэтому они получили весьма широкое распространение.

Схема телескопа-рефлектора Ньютона показана на рис. 50.3. Плоское диагональное зеркало, расположенное вблизи фокуса, отклоняет пучок света за пределы трубы, где изображение рассматривается через окуляр или фотографируется. Телескоп Ньютона предопределил на несколько веков одну из главных линий развития инструментальной астрономии.

Устройство телескопа рефлектора показано в видео (рис. 50.4).

**Для сведения.** Главным элементом любого телескопа является объектив. Он отвечает за качество изображения, так как непосредственно участвует в его формировании. Линзовые телескопы (рефракторы) имеют серьезные недостатки – хроматические аберрации, суть которой заключается в следующем.



Рис. 50.2. Демонстрация принципа действия телескопа-рефлектора

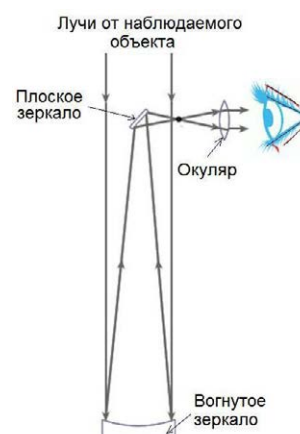


Рис. 50.3. Ход лучей в оптической системе телескопа-рефлектора системы Ньютона



Рис. 50.4. Устройство телескопа-рефлектора (видео 4 мин 20 с)

Изображения одной точки предмета располагаются на разном расстоянии от оптической системы для разных длин волн (рис. 50.5). Поэтому, где бы мы не размещали окуляр – изображение будет «не в фокусе», то есть расплывчатое, растянутое вдоль оптической оси линзы.

Причиной появления хроматических aberrаций в объективе является то, что световые волны разной длины по-разному преломляются в линзе, из-за чего появляются цветные ореолы или окантовки изображения.

Для того, чтобы не использовать различные устройства для устранения хроматических aberrаций в линзах, начали строить зеркальные телескопы. Лучший результат показывают параболические зеркала по сравнению со сферическими.

Применение зеркал позволило избавиться от основного недостатка телескопов-рефракторов – значительной хроматической aberrации. Но в рефлекторах сильно проявляется искажение под названием «кома», – чем дальше от центра зеркала, тем сильнее изображение «смазывается», а у звезд появляются «хвосты». На рис. 50.6 показано изображение небольшого участка неба, «испорченного» комой: изображение звезды в центре поля зрения телескопа отчетливое, а звезда, которая ближе к краю – вытянутая и похожая на небольшую комету.

У линз и у зеркал есть свои недостатки и преимущества. Поэтому оптическая комбинация линз и зеркал совмещает в себе преимущества обоих типов объективов. Зеркально-линзовый телескоп имеет объектив из сферического зеркала и специальной линзы – мениска. Такая система была предложена советским ученым Д.Д. Максutowым (1941 год).

### **Вопросы.**

1. Покажите, почему для зеркальных телескопов чаще применяется параболическое зеркало, а не сферическое?

Из рис. 50.7 видно, что кривизна поверхности параболического зеркала (*б*) уменьшается от центра к краям, вследствие чего все параллельные лучи после отражения собираются в одной точке *F* – в главном фокусе параболического зеркала. В сферическом зеркале наблюдаются aberrации (*а*) – параллельные лучи собираются не в одной точке.

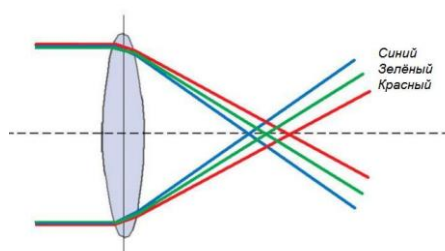


Рис. 50.5. Хроматические aberrации



Рис. 50.6. Изображение звезды на краю поля зрения телескопа «испорчено» комой

2. Помимо фокусного расстояния объектива и окуляра телескопы характеризуются апертурой. Что это за параметр?

Апертура (в переводе с латинского – «отверстие») – это ничем не заслоненное отверстие оптической системы, сквозь которое внутрь нее проникают лучи света. Размер апертуры телескопа определяется размерами линз, зеркал и оправ оптических деталей. Как правило, среди деталей оптического прибора специально выделяют так называемую апертурную диафрагму, которая сильнее всего ограничивает диаметры световых пучков, проходящих через оптический инструмент. Часто роль такой апертурной диафрагмы выполняет оправа или края одного из оптических элементов. Поэтому диаметр линзы или зеркала не всегда равен апертуре астрономического инструмента. Апертура – одна из характеристик объектива – части телескопа, строящей изображение наблюдаемого объекта. Чем больше апертура, тем больше света телескоп способен собрать, и, следовательно, тем ярче будет изображение объекта и тем более слабые объекты можно будет в него рассмотреть.

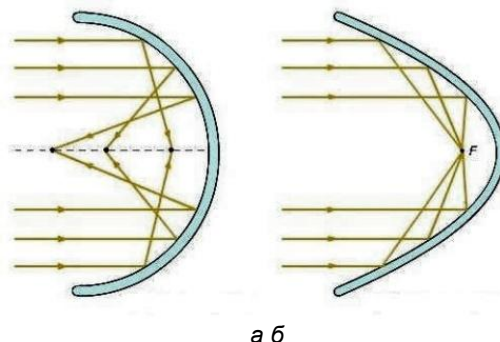


Рис. 50.7. Падающие параллельные лучи: а — в сферическом зеркале; б — в параболическом зеркале

## Эксперимент 51. Радиотелескоп

**Факты.** Радиотелескоп – устройство для приема радиоизлучения небесных тел и исследования их характеристик: координат источников, пространственной структуры, интенсивности излучения, спектра и поляризации.

Доходящее до Земли радиоизлучение большинства небесных объектов очень слабое. Поэтому радиотелескоп состоит из антенного устройства и чувствительной приемной системы. Приемная система, или радиометр, усиливает принятое антенной радиоизлучение и преобразует его в удобную для дальнейшей регистрации и обработки форму (рис. 51.1).

**Цель.** Продемонстрировать принцип действия радиотелескопа.

**Оборудование и материалы.** Телевизор с пультом управления. Фольга алюминиевая. Глубокая тарелка близкая к сферической форме.

**Инструкция.**

- Фольгой покройте внутреннюю сторону тарелки (рис. 51.2), так чтобы фольга повторила форму тарелки. У вас получится «антенна» радиотелескопа.



Рис. 51.1. Радиотелескоп



Рис. 51.2. Изготовление «антенны» радиотелескопа

- Расположите телевизор, «антенну» радиотелескопа и пульт управления телевизором, так, чтобы отраженный сигнал от пульта управления попадал на приемное окошко телевизора (рис. 51.3).
- Попробуйте пультом переключать каналы телевизора.
- Пульт и телевизор оставьте в прежнем положении, а «антенну» уберите и попробуйте переключать каналы телевизора в этом случае.



Рис. 51.3. Отражение сигнала пульта управления телевизором от импровизированной «антенны»

**Результаты.** При переключении каналов пультом управления, телевизор четко реагирует на его сигналы только в случае перенаправления сигнала с помощью «антенны».

**Объяснение.** На пульте управления есть инфракрасный передатчик, а на телевизоре инфракрасный приемник. Передача сигнала осуществляется мерцанием светодиода с соответствующей частотой. Дистанционный пульт от телевизора – это универсальное устройство. Для управления устройством пульт и телевизор должны находиться в зоне прямой видимости.

Форма зеркала антенны радиотелескопа, как и зеркала в телескоп-рефлекторе, параболическая. Только параболическая поверхность способна собрать в фокусе падающее на нее электромагнитное излучение. Если бы наш глаз мог воспринимать радиоволны, то устройство радиотелескопа могло бы быть неотличимым от устройства телескопа-рефлектора. Приемником радиоволн в радиотелескопах служит не человеческий глаз или фотопластинка, а высокочувствительный радиоприемник с небольшой дипольной антенной.

**Для сведения.** Излучение электромагнитных волн, испускаемых небесными телами, затрудняется из-за того, что атмосфера Земли пропускает волны лишь в определенных диапазонах («окнах прозрачности»): от 300 до 1000 нм; от 1 см до 30 м. Современные радиотелескопы позволяют исследовать Вселенную в таких подробностях, которые еще недавно находились за пределами возможного не только в радиодиапазоне, но и в традиционной астрономии видимого света.

Чтобы получать более резкие радиоизображения, радиотелескопы начали объединять в системы. Антенны могут находиться как на расстоянии нескольких десятков метров, так и в нескольких тысячах километров друг от друга. Такие системы называются радиоинтерферометрами. Еще большими возможностями обладают космические радиотелескопы – в этом случае атмосфера Земли не препятствует прохождению радиоволн.

В видео (рис. 51.4) рассказывается об истории создания первых радиотелескопов.



### **Вопросы.**

1. Что можно «видеть» через «окна прозрачности» в атмосфере с поверхности Земли?

Центр «окна» от 300 до 1000 нм приходится на оптическую область, в которой лежит максимум излучения Солнца. Именно к нему в результате эволюции адаптировался по чувствительности человеческий глаз, который воспринимает световые волны с длиной от 350 до 700 нанометров. Это «окно» захватывает ближний ультрафиолетовый и инфракрасный диапазоны. В «окно» от 1 см до 30 м проходит излучение, которое регистрирует наземная радиоастрономия.

2. Почему параболические антенны больших радиотелескопов – аналогов оптических телескопов-рефлекторов – имеют сетчатую структуру?

Различают параболические антенны радиотелескопов с полной и с незаполненной апертурой. Антенны с полной апертурой используются для наблюдения на коротких волнах. Большие металлические части очень трудно изготовить с высокой точностью. Ведь для того, чтобы параболическое зеркало давало в своем фокусе четкое изображение небесного объекта, его поверхность не должна отклоняться от расчетной геометрической поверхности более, чем на одну десятую длины рабочей волны радиотелескопа. Например, если прием идет на волне 1 см, то отклонения допускаются не более 1 мм. Антенны с незаполненной апертурой предназначены для приема метровых радиоволн. Такой телескоп построить легче. Параболическая чаша к нему делается не сплошной, а сетчатой. Благодаря этому значительно уменьшается вес инструмента, и в то же время сетчатая чаша действует как сплошная, ибо для метровых радиоволн даже дециметровые отверстия неощутимы. Основная проблема использования радиотелескопов с параболическими зеркалами состоит в том, что при повороте зеркало деформируется под действием сил тяжести.

3. Почему радиотелескопы располагают далеко от населенных пунктов?

Радиотелескопы предпочтительно располагать далеко от главных населенных пунктов, чтобы максимально уменьшить электромагнитные помехи от вещательных радиостанций, телевидения, радаров и других излучающих устройств. Размещение радиообсерваторий, в отличие от оптических обсерваторий в долине или низине еще лучше защищает ее от влияния техногенных электромагнитных шумов.

4. Можно ли использовать радиотелескопы для наблюдений звезд днем?

У радиотелескопов есть важное преимущество перед оптическими телескопами – с их помощью можно наблюдать за звездами и днем. Для радиоволн солнечный свет не помеха.



Рис. 51.4. Радиотелескопы  
(видео 4 мин 46 с)



## Эксперимент 52. Расстояние до Солнца

**Факты.** Чтобы изучать строение Вселенной, в первую очередь астрономам нужно уметь определять расстояния до интересующих его космических объектов. Начинать нужно было с определения расстояния до Луны и планет, Солнца и ближайших звезд?

Все эти расстояния, в конечном счете, основываются на значении среднего расстояния Земли от Солнца – так называемой астрономической единице, а она непосредственно зависит от точности измерения размеров самой Земли.

Расстояние до Солнца можно определить по его горизонтальному параллаксу, подобно определению расстояния до Луны (рис. 52.1). Параллаксу Солнца соответствует среднее расстояние от Земли до Солнца, примерно равное

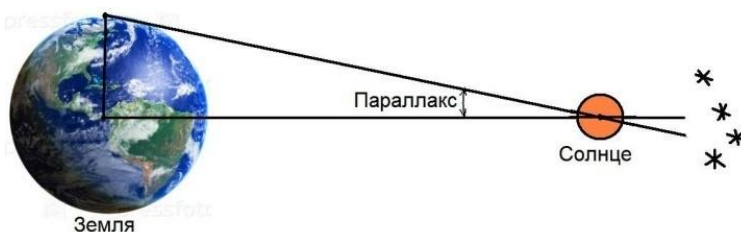


Рис. 52.1. Горизонтальный параллакс Солнца

150 000 000 км. Это расстояние и принимается за одну астрономическую единицу (1 а. е.). В этих единицах часто измеряют расстояния между телами Солнечной системы. Параллакс Солнца (при среднем расстоянии от Земли) составляет всего 8,8". Этот угол настолько мал, что относительная ошибка будет весьма велика; поэтому точное определение длины астрономической единицы не может быть достигнуто с помощью измерений положения Солнца.

Расстояние от Земли до Луны пытались измерить еще древние греки.

До нас дошло сочинение Аристарха Самосского «О величинах и расстояниях Солнца и Луны» (III в. до н. э.), где он впервые в истории науки попытался установить расстояния до этих небесных тел и их размеры.

**Цель.** Повторить расчеты по определению расстояния до Солнца, проведенные Аристархом.

### Инструкция.

- Аристарх исходил из предположения, что Луна имеет форму шара и светит отраженным от Солнца светом. В этом случае, в те моменты, когда Луна имеет вид полудиска, она образует прямоугольный треугольник с Землей и Солнцем (рис. 52.2).

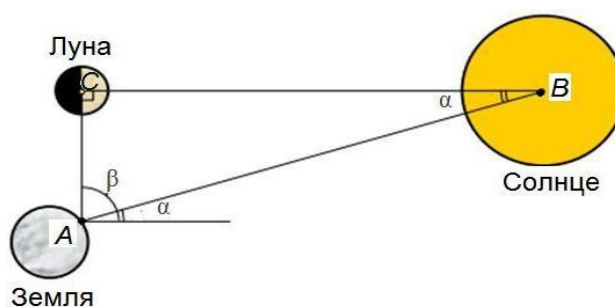


Рис. 52.2. Определение расстояния до Солнца по методу Аристарха

- Если в этот момент точно определить угол между направлениями с Земли на Луну и на Солнце ( $\angle CAB$ ), можно из простых геометрических соотношений найти, во сколько раз катет (расстояние от Земли до Луны  $AC$ ) меньше гипотенузы (расстояния от Земли до Солнца  $AB$ ).
- Если мы сумеем измерить угол  $\alpha$ , дополняющий угол  $\beta$  до прямого угла, то путем дальнейших расчетов мы сумеем узнать, во сколько раз искомая гипотенуза  $AB$  (расстояние от Земли до Солнца) больше уже известного нам катета  $AC$  (расстояние от Земли до Луны).
- По Аристарху,  $\angle CAB = 87^\circ$ .

**Результат.** По определению  $\cos \beta = \frac{AC}{AB}$ . Приняв  $AC$ , т.е. расстояние от Земли до Луны за единицу, получим, что  $AB = \frac{1}{\cos 87^\circ} = \frac{1}{0,052} \approx 19$ , т. е. соотношение расстояний «Земля-Луна» и «Земля-Солнце» по Аристарху равно 1:19.

**Объяснение.** Аристарх, проделав свои измерения, пришел к выводу о том, что  $\alpha = 3^\circ$ , и сделал на этой основе свои расчеты. В действительности же  $\alpha = 10'$ , и его исключительно трудно измерить. Таким образом, из отношения углов мы можем заключить, что Аристарх приуменьшил расстояние от Земли до Солнца примерно в 20 раз: в действительности расстояние до Луны меньше, чем до Солнца, почти в 400 раз.

Главным источником ошибки в этом методе является трудность определения момента, в который надо производить наблюдение. За один час угловое расстояние между Луной и Солнцем меняется примерно на  $\frac{1}{2}^\circ$ . Момент времени, когда Луна освещена ровно наполовину, должен быть определен с соответствующей точностью. Сделать это прямым наблюдением Луны невозможно; но расчетный путь тоже не дает ничего обнадеживающего ввиду неравномерности наблюдаемого движения Луны по орбите.

**Для сведения.** Английский астроном Эдмонд Галлей предложил метод определения расстояния от Земли до Солнца путем наблюдения прохождений Венеры по солнечному диску. Ближайшее такое прохождение должно было состояться в 1761 году, и во все концы света были снаряжены астрономические экспедиции.

Результаты наблюдений этих прохождений, полученные рядом наблюдателей, колебались между 8 и 10 секундами дуги. Зато прохождения 1874 и 1882 годов дали уже обнадеживающие результаты: параллакс был заключен между 8,79 и 8,86 секунды дуги. Вычисленные по этим параллаксам расстояния равны соответственно 149 млн 669 тыс. и 148 млн 486 тыс. км (больше параллакс – меньше расстояние).

О том, как измеряют расстояния в космосе, смотрите видео (рис. 52.3).

В январе 1931 года малая планета Эрос проходила от Земли на расстоянии всего лишь 0,17 а. е. Из наблюдений Эроса была найдена величина параллакса Солнца 8,790 секунды дуги. Вычисленное по этому параллаксу среднее расстояние Земли от центрального светила составляло 149 млн 669 тыс. км.

### Вопросы.

1. Какой из методов измерения расстояний в Солнечной системе является наиболее точным?

В 60-х годах XX века астрономы для измерения расстояний до небесных тел Солнечной системы стали применять более точный – радиолокационный метод. Так были уточнены расстояния до Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера. Из радиолокационных наблюдений Венеры, было определено значение астрономической единицы: 1 а. е. = 149 597 870 км, с возможной ошибкой около 1 км. Такой точности более чем достаточно для нужд астрономии и космонавтики. В практических целях пользуются округленным значением астрономической единицы – 149 млн 600 тыс. км, которому соответствует параллакс Солнца – 8,794 секунды дуги.

2. Можно ли использовать метод параллакса для определения расстояний до ближайших звезд?

Метод параллакса пригоден и для определения расстояний до ближайших звезд. Только в качестве базиса используется не радиус Земли, а средний радиус земной орбиты.

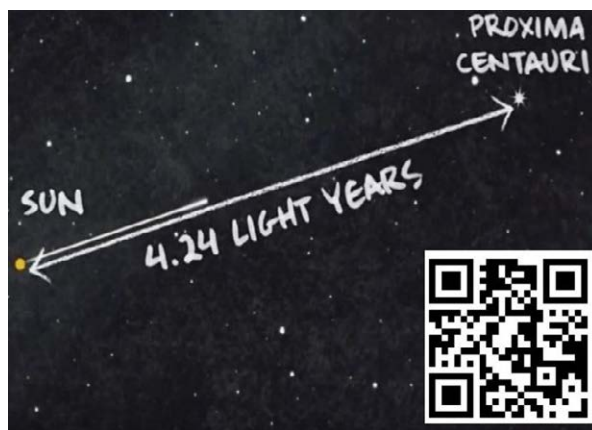


Рис. 52.3. Методы определения расстояний в космосе (видео 5 мин 35 с)

## Эксперимент 53. Размер Солнца

Из-за большой своей удаленности от Земли Солнце воспринимается нами как тело небольшого размера. Для наблюдателя на Земле Солнце имеет те же видимые размеры, что и Луна. В действительности Солнце имеет диаметр примерно в 400 раз больше диаметра Луны, зато Луна – в 400 раз ближе ( $r_{Л-З}$  – расстояние от Земли до Луны) – рис. 53.1. В солнечный день можно провести простые измерения, которые позволят определить угловой и линейный диаметр Солнца.

**Цель.** Простейшим способом определить угловой и линейный диаметр Солнца.

**Оборудование и материалы.** Маленькое круглое зеркальце. Белый экран. Миллиметровая линейка.

**Инструкция.**

- Выберите солнечный день.
- Наведите зеркальце на Солнце и отбросьте «зайчик» на белый экран, расположив его в удобном месте (рис. 53.2). Расстояние от зеркальца до экрана должно быть в 100 раз больше размера зеркальца (тогда форма зеркальца не будет сказываться на форме изображения Солнца).

Если помещение не позволяет использовать большое зеркальце, можно наклеить на зеркало листок плотной бумаги с маленьким отверстием. Например, при диаметре отверстия 1 см экран можно установить на расстоянии 3–5 м.

- По размеру изображения «зайчика» ( $d$ ) и расстоянию ( $L$ ) подсчитайте линейный и угловой диаметр Солнца.

**Результаты.** На экране получено уменьшенное изображение Солнца. Измерения показали, что  $d = 2,8$  см;  $L = 300$  см.

**Объяснение.** Из законов отражения света следует, что угловой диаметр Солнца и его изображения одинаков и равен  $\gamma$ . Поэтому два треугольника, связанные с Солнцем и с его изображением, подобны. Следовательно,  $D/r = d/L$ . Учитывая, что  $\text{tg } \gamma \approx \gamma$  (рад), для малых углов получим  $D/r = d/L = \gamma$  (рад). Так как  $r = 150\,000\,000$  км, то угловой диаметр Солнца будет равным  $0,0093$  рад =  $0,53^\circ$ , а линейный диаметр  $1\,400\,000$  км.

**Для сведения.** Более точные измерения среднего углового и реального диаметра Солнца –  $31'59''$  (изменяется от  $31'27''$  до  $32'31''$ );  $1\,392\,000$  км. Видимые угловые диаметры других звезд чрезвычайно малы и лишь у немногих из них достигают нескольких сотых долей секунды.

Видео (рис. 53.3) позволит сравнить размеры планет и некоторых звезд с Солнцем. По сравнению с некоторыми другими звездами наше Солнце имеет весьма скромные размеры. Объекты космоса настолько ги-

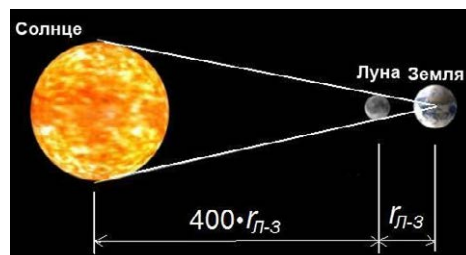


Рис. 53.1. Соотношение размеров и расстояний для Луны, Земли и Солнца

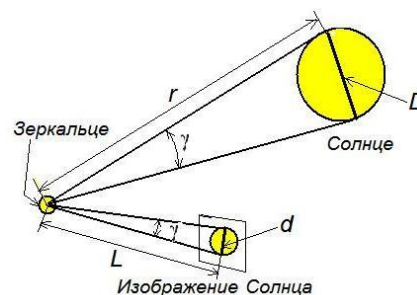


Рис. 53.2. Определение размера Солнца



Рис. 53.3. Сравнение размеров планет и звезд с Солнцем (видео 4 мин 27 с)

гантских размеров, что невольно приходится задумываться о гипермасштабах окружающего мира.

**Вопросы.**

1. Во сколько раз диаметр Солнца больше диаметра Земли?

В 109 раз.

2. Почему в течение года меняется видимый угловой диаметр Солнца?

Так как Земля имеет не строго круговую, а эллиптическую орбиту.

## Эксперимент 54. Солнце – абсолютно черное тело

**Факты.** Абсолютно черное тело – это физическое тело, которое обладает свойством поглощать всю падающую на его поверхность лучистую энергию любого спектрального состава, то есть это тело с альбедо равным нулю. Однако, несмотря на название, абсолютно черное тело само может испускать электромагнитное излучение любой частоты и визуально иметь цвет. Спектр излучения абсолютно черного тела определяется только его температурой.

Когда про черный карандаш говорят: «карандаш черного цвета» – с точки зрения физики это неправильное выражение. Черного цвета не существует. Слово «цвет» к черному неприменимо. Чернота – это отсутствие света, но в разговорном языке мы привыкли черное называть цветом. Тогда получается, что Солнце само излучает свет, а все падающие на него лучи поглощает. Однако абсолютно черное тело далеко не всегда черно – если его нагреть, то оно станет источником светового излучения и будет красным, желтым или белым. Наше Солнце – неплохой пример такого яркого объекта, похожего на абсолютно черное тело, с температурой поверхности около  $5800^{\circ}\text{C}$ . Среди тел Солнечной системы свойствами абсолютно черного тела в наибольшей степени обладает Солнце.

**Цель.** При помощи простой модели получить представление об «абсолютно черном теле».

**Оборудование и материалы.** Картонная небольшая коробочка любой формы. Черная краска и кисть. Ножницы.

**Инструкция.**

- Подберите коробочку без щелей и с плотной крышкой.
- Покрасьте коробочку снаружи и внутри черной (не блестящей) краской, такой, чтобы при высыхании она дала черную матовую поверхность.
- После высыхания коробочки аккуратно в крышке проделайте небольшое отверстие (достаточно с копеечную монетку) – рис. 54.1.

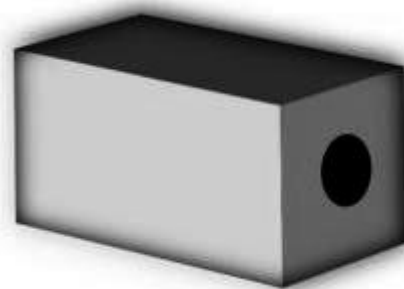


Рис. 54.1. Модель абсолютно черного тела



- Закройте коробочку крышкой и посмотрите при обыкновенном освещении на отверстие в крышке коробочки.

**Результаты.** Отверстие коробочки будет выглядеть чернее краски, которой мы выкрасили коробочку как внутри, так и снаружи.

**Объяснение.** Абсолютно черного цвета в природе не существует, но близкое к нему значение черного мы получили с помощью несложного эксперимента. В отверстии коробочки мы видим то, что физики называют «абсолютно черным телом». Отверстие дает представление об абсолютно черном теле – оно выглядит чернее самых черных наружных мест коробочки.

Почему это получается? Луч света, войдя в отверстие коробочки, падает на внутреннюю стенку и отражается от нее. При этом отразится очень незначительная часть луча, так как внутренняя стенка черная и большую часть луча она поглотит. Отраженная часть луча попадает на другую черную стенку внутри коробочки и опять отражается. Это продолжается много раз, причем луч с каждым разом все больше слабеет (рис. 54.2). А уж наружу и вовсе нечему выйти. Поэтому отверстие и выглядит совершенно черным.

**Для сведения.** Если бы полость внутри коробки была нагрета до определенной температуры, и внутри коробки установилось бы тепловое равновесие, то собственное излучение полости, выходящее через отверстие, было бы излучением «абсолютно черного тела». Именно таким образом моделируется «абсолютно черное тело» во всех экспериментах по исследованию теплового излучения, о чем рассказывается в небольшом видеофрагменте (рис. 54.3).

С увеличением температуры внутри полости будет возрастать энергия выходящего из отверстия излучения и изменяться его спектральный состав. Исследование спектра излучения Солнца показало, что оно является практически абсолютно черным. Тело звезды поглощает все остальные световые лучи и ничего не отражает.

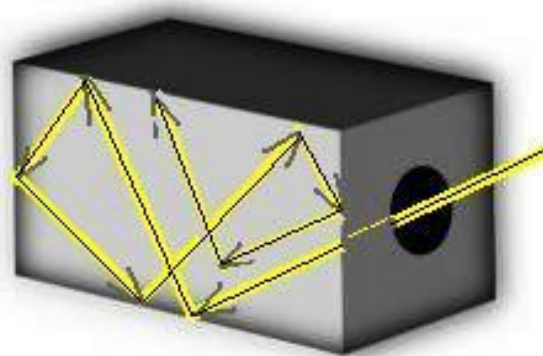


Рис. 54.2. Многократное отражение луча внутри модели приводит к его гашению

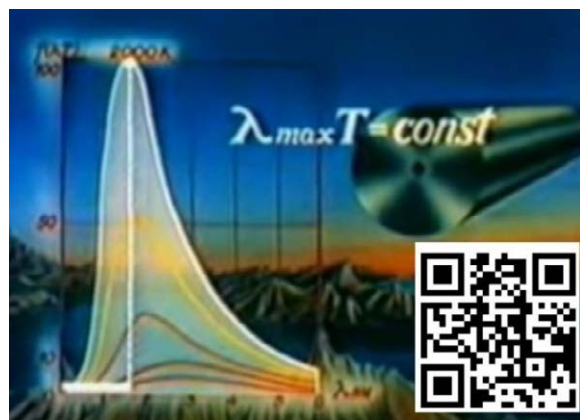


Рис. 54.3. Излучение абсолютно черного тела (видео 2 мин 49 с)

В середине XIX века немецкий физик Густав Кирхгоф ввел понятие «абсолютно черного тела», которое поглощает все падающее на него излучение и ничего не отражает. Однако в природе абсолютно черных тел не существует, но близкие к ним по характеристикам есть. Сажа, например, поглощает до 99% падающего на нее видимого света. Чтобы имитировать черное тело, ученые используют конструкцию в виде зачерненного внутри бочонка с небольшим отверстием. Луч света попадает внутрь бочонка, многократно отражается от стенок и постепенно полностью поглощается ими. Черный бархат и зрачок человеческого глаза кажутся нам черными как раз благодаря такому многократному отражению с поглощением. В 2004 году английские ученые разработали микропористое покрытие из сплава никеля с фосфором, которое отражает всего 0,16–0,18% падающего на него света. На тот момент это был самый черный в мире материал, и потому его занесли в Книгу рекордов Гиннеса. А в начале 2008 года этот рекорд был побит учеными из США. На специальной подложке они вырастили тонкую пленку из ориентированных вертикально углеродных трубочек (каждая диаметром около десяти нанометров и длиной от десятков до сотен микрометров). Похожая на бархат рыхлая наноструктура с шероховатой поверхностью замечательно поглощает свет, отражая только 0,045%. Такие очень черные покрытия нужны для оптических приборов, космических телескопов и инфракрасных датчиков.

### ***Вопросы.***

1. Объясните, почему окна домов со стороны улиц кажутся черными?

Здесь проявляется эффект модели «абсолютно черного тела». Наружный свет проникает в комнату через окно, но обратно выходит значительно ослабленным. Вечером в сумерках открытые окна уже не кажутся черными в них можно разглядеть предметы. Наш глаз подбирает диапазон чувствительности и контраста под освещенность.

2. Если существует модель «абсолютно черного тела», то можно ли говорить об «абсолютно белом теле»?

Считается, что «абсолютно черное тело» поглощает все падающее на него излучение, то «абсолютно белое тело» – тело, которое полностью отражает все падающее на него электромагнитное излучение. Зеркальная полированная поверхность, отражающая свыше 95% лучистой тепловой энергии, близка к абсолютно белому телу. Энцелад, спутник Сатурна, имеет самую высокую отражательную способность из небесных тел Солнечной системы (99%). В природе нет ни абсолютно черных, ни абсолютно белых тел. Все тела практически в той или иной степени и поглощают и отражают лучистую энергию.

## Эксперимент 55. Искажение солнечных пятен

**Факты.** Пятна – самые заметные детали на Солнце. Даже в небольшой телескоп на фоне грануляции солнечной поверхности можно увидеть причудливой формы темную тень, окруженную менее плотной полутенью. Полутень состоит из светлых радиальных волокон (рис. 55.1). Вся эта структура хорошо видна даже в небольшой телескоп.

В 1769 году шотландским астрономом А. Вильсоном, было обнаружено изменение видимой формы солнечного пятна в зависимости от его положения на диске Солнца. Ближайшая к лимбу сторона полутени пятна кажется толще, чем удаленная от нее (рис. 55.2). Наблюдаемое искажение формы крупных круглых пятен при прохождении по диску Солнца получило название эффекта Вильсона.

**Цель.** Моделировать эффект Вильсона и убедиться, что происходит искажение формы воображаемого солнечного пятна.

**Оборудование и материалы.** Блюдце или тарелка с широкой каемкой по краю. Спортивный обруч или большой мяч. Два помощника.

**Инструкция.**

- Один из помощников удерживает обруч параллельно полу.
- Второй помощник перемещает вдоль обруча тарелку из одного крайнего положения в другое, как показано на рис. 55.3.
- Экспериментатор наблюдает изменение видимой формы каемки тарелки в положениях 1, 2 и 3.

**Результаты.** Заметно, что вблизи точек 1 и 3 видимая экспериментатору каемка имеет разную ширину по сравнению с положением 2.

**Объяснение.** Поскольку все наблюдаемые в белом свете солнечные образования располагаются на сферической поверхности Солнца, их видимая форма на диске Солнца искажена, и чем ближе они расположены к краю диска, тем это искажение из-за проекции больше (рис. 55.4).

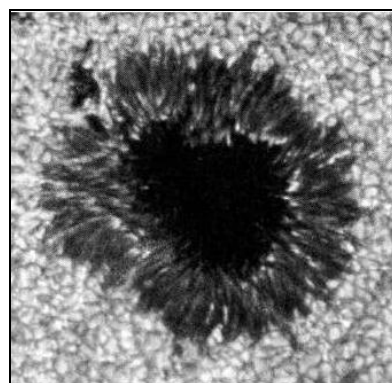


Рис. 55.1. Солнечное пятно

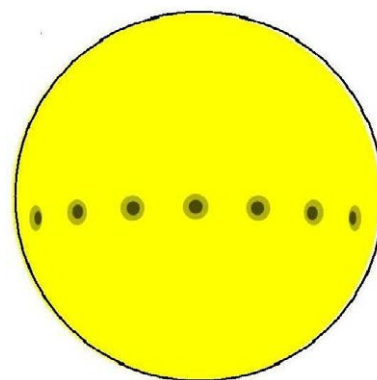


Рис. 56.2. Искажение формы солнечного пятна в зависимости от положения на диске



Рис. 55.3. Моделирование перемещения пятна по диску Солнца

При перемещении тарелки вдоль дуги обруча она постепенно поворачивается вокруг своей вертикальной оси. В крайних положениях наблюдатель видит искаженную картину ободка тарелки. Астроном Вильсон не только обнаружил искажение формы пятна, но и правильно понял геометрические причины такого явления и назвал солнечные пятна «огромными углублениями в светящемся веществе Солнца».

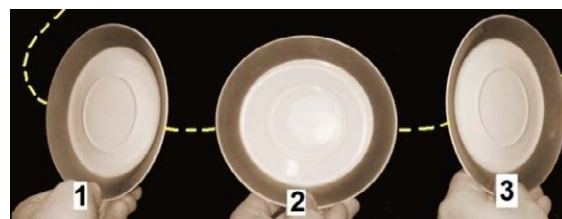


Рис. 55.4. Объяснение эффекта Вильсона

**Для сведения.** Эффект вызван тем, что солнечная плазма в солнечном пятне несколько холоднее и разреженнее, а следовательно — прозрачнее, чем в окружающей фотосфере. Следовательно, в пятне видимый свет исходит с большей глубины, поэтому можно считать, что солнечное пятно имеет форму блюдцеобразного понижения в солнечной атмосфере глубиной около 500–700 км ниже уровня фотосферы. Если плоскость такого пятна не перпендикулярна оси зрения наблюдателя, то его дальний край выглядит шире, чем передний.

Эффект Вильсона проявляется не у всех солнечных пятен. Так как полутень у пятен не всегда правильной формы, то эффект Вильсона не так просто наблюдать. В качестве меры этого эффекта обычно принимают отношение размеров полутени с двух сторон от тени по направлению радиуса.

### Вопросы.

1. Солнечные пятна — темные области на Солнце, наблюдаемые с помощью оптических приборов, а в случае крупных пятен — и невооруженным глазом. Наблюдаются ли подобные образования на других звездах?

На более холодных звездах (класса К и холоднее) наблюдаются пятна намного большей площади, чем на Солнце.

2. Пятна являются частью солнечной структуры. Это предположение позволило Галилею открыть вращение Солнца и вычислить его период. Какие при этом выявлены особенности вращения Солнца?

Наблюдения отдельных деталей на солнечном диске, говорят о движении солнечного вещества вокруг одного из солнечных диаметров, называемого осью вращения Солнца. Плоскость, проходящая через центр Солнца и перпендикулярная к

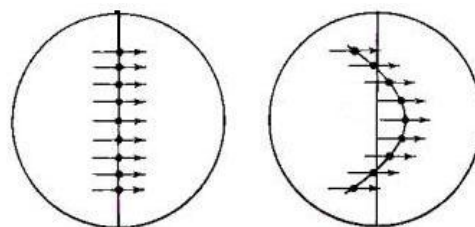


Рис. 55.5. Особенности вращения Солнца вокруг собственной оси: а — начало движения; б — распределение пятен после одного оборота Солнца

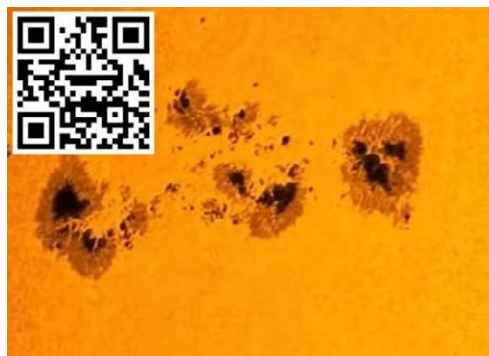


Рис. 55.6. Изменения в группе солнечных пятен (видео 1 мин 14 с)

оси вращения, называется плоскостью солнечного экватора. Вращение Солнца обладает важной особенностью: его угловая скорость убывает по мере удаления от экватора и приближения к полюсам (рис. 55.5).

В небольшом видео (рис. 55.6) показано, какие изменения происходят в группе солнечных пятен в течение 12 дней. Видно, как меняются размеры и форма пятен.

## Эксперимент 56. Расширение Вселенной

**Факты.** Совокупность наблюдаемых галактик всех типов и их скоплений, межгалактической среды образует Вселенную. Одно из важнейших свойств Вселенной – ее постоянное расширение, то есть «разлет» скоплений галактик.

**Цель.** Показать, как может расширяться Вселенная.

**Оборудование и материалы.** Воздушный шарик. Маркер. Измерительная линейка.

**Инструкция.**

- Надуйте шарик до размера 7–10 см в диаметре.
- Маркером нанесите на шарик в произвольном порядке два-три десятка крупных точек. Выделите три рядом расположенные точки и соедините их линиями.
- Линейкой измерьте расстояния между этими точками.
- Увеличьте размер шарика: надуйте его до размеров 20–25 см.
- Снова измерьте расстояния между тремя отмеченными точками.

**Результаты.** Отмеченные точки удалились друг от друга – измерения показали, что расстояния между ними возросло (рис. 56.1).

**Объяснение.** Эта модель лишь иллюстрирует процесс всеобщего расширения нашего трехмерного пространства.

Астроном Эдвин Хаббл показал, что скорость разбегания галактик оказалась пропорциональна расстоянию от Земли (закон расширения Хаббла). Обнаружить это удалось благодаря эффекту Доплера (зависимости длины волны света от скорости источника света). Поскольку более далекие галактики кажутся более «красными», значит, они и удаляются они с большей скоростью. Классическое определение, опубликованное в основополагающей статье Хаббла:

$$v = H_0 \cdot r,$$

где  $v$  – скорость галактики,  $r$  – расстояние до нее,  $H_0$  – коэффициент пропорциональности, сегодня называемый постоянной Хаббла. Коэффициент Хаббла показывает, на сколько километров в секунду возрастает скорость галактик с увеличением расстояния до них на 1 Мпк.

По уточненным данным (2014) постоянная Хаббла  $H_0 = (67,80 \pm 0,77)$  (км/с)/Мпк.

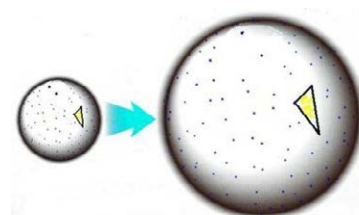


Рис. 56.1. Моделирование расширяющейся Вселенной



Кстати, разбегаются не звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик. Ближайшие от нас звезды и галактики связаны друг с другом гравитационными силами и образуют устойчивые структуры.

**Для сведения.** Разлет вещества (галактик) должен иметь начало. Отсюда следует, что все галактики должны были изначально находиться в одной точке. Расчеты показывают, что произошло это примерно 15 млрд. лет назад. Это был исходный момент (или момент Большого взрыва), при этом температура была очень большой. Конечно, со временем все остывает, но отзвуки Большого взрыва сохранились до наших дней. Первое подтверждение факта Большого взрыва обнаружили радиоастрономы Р. Вильсон и А. Пензиас, по так называемому реликтовому излучению.

Что же такое реликтовое излучение? После Большого взрыва новорожденная Вселенная прошла стадию чрезвычайно быстрого расширения, названного инфляцией. До возраста приблизительно 300 тыс. лет Вселенная была кипящим котлом из электронов, протонов, нейтрино и излучения, которые взаимодействовали между собой и составляли единую среду, равномерно заполняющую всю раннюю Вселенную. Общее расширение Вселенной постепенно охлаждало созданную среду, и, когда температура упала до значения нескольких тысяч градусов, наступило время для формирования стабильных атомов. Так же в результате расширения первоначальное излучение стало куда менее интенсивным, но не пропало совсем. Именно его и обнаружили ученые.

О том, как расширяется Вселенная, рассказал в одной из своих лекций цикла «История важнейших астрономических открытий» Сергей Попов, ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им. Штернберга – ссылка на запись фрагментов лекции показана на рис. 56.2.

### **Вопросы.**

1. Астрономические наблюдения показывают, что по всем направлениям в космосе расположено примерно равное число галактик и все они от нас удаляются. Значит ли это, что наша Галактика – центр всей Вселенной? Ответ обоснуйте.

Нет, наша Галактика – не центр Вселенной. У Вселенной нет центра. Пространство раздувается, но центра расширения нет. Из любого места наблюдения картина расширения будет одинакова. Где бы ни находился наблюдатель, он будет везде видеть все ту же картину – все галактики разбегаются от него.

2. Галактика удаляется со скоростью 15000 км/с. Каково расстояние до этой галактики?

Из закона Хаббла следует, что  $r = v / H_0 = 15000 / 67,8 = 221$  (Мпк).

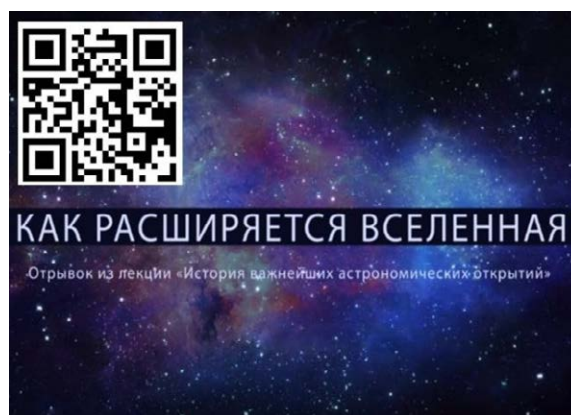


Рис. 56.2. Как расширяется Вселенная  
(видео 11 мин 13 с)

### Выбор и установка сканера QR-кодов

В чем заключается смысл кодирования информации в QR-коде? Не проще ли дать ссылку на необходимый сайт, а не кодировать? Оказывается, что не проще. Кодирование информации в определенных графических символах позволяет удобно и быстро считывать эту информацию с помощью специальных сканеров. Вспомните, ведь на кассах в торговых точках теперь не приходится смотреть на ценник и кассиру вручную набирать цену на кассовом аппарате. QR-код делается для похожих целей. Как правило, этот код считывается специальной программой, установленной на гаджет, после чего мобильное устройство действует в зависимости от вида информации, заложенной в QR-код. Если это адрес сайта – открывает сайт в браузере. Если это электронная визитка – добавляет нового абонента в контакт-лист. Если это обычный текст – просто выводит его на экран.

С распространением смартфонов и планшетов считывание QR-кодов стало возможным на программном уровне без специальных сканеров. На сегодняшний день QR-кодам уже более 20 лет, однако, только в последние годы они обрели настоящую популярность и распространились по всему миру. Огромную роль в этом сыграли мобильные платформы, распознавание на которых стало возможным посредством обычной камеры и специального программного обеспечения.

Какие программы используются для работы с QR-кодами? Их довольно много – самых разнообразных и под любые платформы, достаточно поискать по запросу «qr-code», воспользовавшись любой поисковой системой в Интернете.

Пользователь по своему усмотрению может выбрать и установить на мобильный телефон или планшет из PlayMarket даже несколько сканеров. Например, QR Reader или QR Scanner от Kaspersky Lab, тем более, что этим сканерам не сопутствует вездесущая реклама. В меню приложений есть опция истории сканирований и закладки. Поэтому после работы со сканером, не удаляя просмотренные QR-коды всегда можно возвратиться к материалам, которые были просмотрены ранее (например, на лабораторных занятиях). Каким из сканеров вы будете пользоваться, решать только вам.

В поисковике приложения к мобильному телефону PlayMarket набираем «QR сканер». Будут предложены десятки разных сканеров, которые после выбора можно будет установить на ваше устройство. Вам встретятся сканеры с рекламой или без нее, платные или бесплатные (об этом заранее предупреждают), даются некоторые описания и отзывы пользователей). По крайней мере, всегда можно как установить сканер на мобильное устройство, так и удалить его.

При сканировании кодов, которые перенаправляют пользователя к онлайн-контенту, таких как веб-сайты, то, разумеется, для этого нужно подключение к Интернету.

Рассмотрим несколько сканеров – см. табл. П-1.

Допустим, на свой гаджет вы установили какой-либо сканер. Кстати, вполне возможно, что в вашей прошивке уже есть сканер QR-кодов. Что же дальше? Находим нужный QR-код, который нужно считать. Запускаем скачанное (или уже ранее установленное) приложение. После запуска вы увидите изображение с камеры – не удивляйтесь, так и положено. При наведении камеры на QR-код приложение автоматически его считает, то есть вам не нужно нажимать на дополнительные кнопки. При этом вы сразу увидите скрытое в коде описание.

Таблица П-1. Краткое описание сканеров QR-кодов.

Название сканера	Вид иконки на экране монитора	Краткие особенности
Молния QR-сканер		Для смартфона и планшета Android. Бесплатно. Есть реклама. Имеется функция фонарика. Высокая скорость декодирования. Историю сканирований можно экспортировать по электронной почте или позже использовать ссылку.
Barcode reader & QR scanner		Автоматическое распознавание штрих-кодов и QR-кодов всех типов. Бесплатно. Есть реклама. Высокая скорость декодирования.
QR Code Reader		Приложение автоматически распознает любой код. Переключение передней или задней камеры для сканирования. Переключатель для включения света при сканировании в условиях низкой освещенности.
QRbot: сканер QR-кода и сканер штрих-кода		Поддерживает все распространенные форматы QR- и штрих-кодов. Защита от вредоносных ссылок. Фонарик и увеличение. Неограниченная история и экспорт ее (в виде CSV-файла). Есть реклама.
QR-сканер Trend Micro™		Безопасный, бесплатный, без рекламы. Выполняет проверку безопасности URL-адресов для всех кодов, которые вы сканируете. Пользователь не будет перенаправлен на веб-сайт, не содержащий мошеннического, вредоносного или опасного контента.
QR Scanner		Бесплатный сканер Kaspersky QR Scanner защищает от QR-кодов с опасными ссылками, ведущими на вредоносные и фишинговые ресурсы. Информация с отсканированных QR-кодов остается на устройстве, позволяя вернуться к старым ссылкам, изображениям и сайтам. Имеется история просмотров.

## Литература

1. *Абрамова, О.В.* Астрономия. Эксперименты со звездами и планетами / О.В. Абрамова. – М.: Аванта, 2017. – 47 с.
2. *Вайткене, Л.Д.* Астрономия. Энциклопедия занимательных наук для детей / Л.Д. Вайткене. – М.: АСТ, 2016. – 160 с.
3. *Ванклив, Дж.* Эксперименты по астрономии / Дж. Ванклив; пер. с англ. М.Я. Рутковская. – М.: АСТ: Астрель, 2009. – 236 с.
4. *Галузо, И.В.* Астрономические эксперименты — специфическая форма заданий для учащихся / И.В. Галузо // Педагогические инновации – 2017: материалы международной науч.-практ. интернет-конференции. Витебск, 17 мая 2017 г. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – С. 171–173.
5. *Галузо, И.В.* Астрономические эксперименты / И.В. Галузо // Юный техник и изобретатель. – 2017. – № 1–12.
6. *Галузо, И.В.* Астрономия: учебное пособие для общеобразовательных организаций и учреждений дополнительного образования детей / И.В. Галузо, Р.В. Опарин; науч. ред. М.А. Костенко. – Барнаул: АКИП-КРО, 2017. – 340 с.
7. *Галузо, И.В.* Десять астрономических экспериментов / И.В. Галузо // Фізика. – 2017. – № 4. – С. 54–59.
8. *Данлоп, С.* Азбука звездного неба / С. Данлоп. – М.: Мир, 1990. – 238 с.
9. Занимательные эксперименты и опыты. – М.: Айрис-пресс, 2012. – 125 с.
10. *Комаров, В.Н.* Новая занимательная астрономия / В.Н. Комаров. – М.: Наука, 1983. – 279 с.
11. *Майер, Р.В.* Использование компьютерных моделей при изучении астрономии: расчет движения Марса по небесной сфере / Р.В. Майер // Современная педагогика. – 2014. – № 12. – С. 42–52.
12. Опыты в домашней лаборатории. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 144 с.
13. *Перельман, Я.И.* Занимательная астрономия / Я.И. Перельман. – М.: Римис, 2015. – 256 с.
14. *Рабиза, Ф.В.* Космос у тебя дома / Ф.В. Рабиза. – М.: Детская литература, 1984. – 111 с.
15. *Романов, А.М.* Занимательные вопросы по астрономии и не только / А.М. Романов. – М.: МЦНМО, 2005. – 415 с.
16. *Сурдин, В.* Календари планет / В. Сурдин // Вселенная, пространство, время. – 2016. – № 1. – С. 4–8.

17. *Тит, Т.* Научные забавы: интересные опыты, самоделки, развлечения / Т. Тит; пер. с франц. – М.: Изд. Дом Мещерякова, 2007. – 224 с.
18. *Тятюшкина, Н.Н.* Тропинками Вселенной / Н.Н. Тятюшкина О.А. Ермак. – Мозырь: ООО ИД «Белый Ветер», 2006. – 62 с.
19. *Черный, В.* Загадка колец Сатурна / В. Черный // Наука и жизнь. – 2005. – № 6. – С. 68–72.
20. *Олешко, А.* Астрономические опыты [Электронный ресурс] / А. Олешко. – Режим доступа: <http://astroexperiment.ru/astro/index.shtml>.
21. *Пироженко, Т.* Опыты по астрономии с Чевостиком [Электронный ресурс] / Т. Пироженко. — Режим доступа: <http://www.tavika.ru/2015/07/astronomia.html>.
22. *Силина, А.Д.* Могилевское время. Презентация [Электронный ресурс] / А.Д. Силина [и др.]. — Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/1298623/>.



## Содержание

Введение .....	3
Эксперимент 1. Мерцание звезд .....	6
Эксперимент 2. Звезды ночью и днем .....	8
Эксперимент 3. Пространственные модели созвездий .....	9
Эксперимент 4. Домашний планетарий .....	18
Эксперимент 5. Маятник Фуко .....	20
Эксперимент 6. День и ночь .....	23
Эксперимент 7. Земная ось .....	25
Эксперимент 8. Прецессия земной оси .....	27
Эксперимент 9. Вращение небесной сферы .....	30
Эксперимент 10. Высота светила .....	31
Эксперимент 11. Гномон и полуденная линия .....	34
Эксперимент 12. Экваториальные солнечные часы .....	37
Эксперимент 13. Горизонтальные солнечные часы .....	44
Эксперимент 14. Вертикальные солнечные часы .....	47
Эксперимент 15. Где и когда начинаются сутки? .....	49
Эксперимент 16. Календарь для Марса .....	52
Эксперимент 17. Ретроградное движение Марса .....	55
Эксперимент 18. Наблюдения Меркурия .....	58
Эксперимент 19. Сияние Луны .....	60
Эксперимент 20. Почему мы видим только одну сторону Луны? .....	62
Эксперимент 21. Либрация Луны .....	64
Эксперимент 22. Фазы Луны .....	67
Эксперимент 23. Солнечное затмение .....	71
Эксперимент 24. Лунное затмение .....	74
Эксперимент 25. Орбитальные кривые .....	76
Эксперимент 26. Построение эллипса .....	79
Эксперимент 27. Геостационарный спутник .....	80
Эксперимент 28. Ракета .....	83
Эксперимент 29. Радиус Земли .....	85
Эксперимент 30. Сжатая Земля .....	87
Эксперимент 31. Диаметр Луны .....	90
Эксперимент 32. Горизонтальный параллакс. Расстояние до Луны .....	93
Эксперимент 33. Уголковый отражатель .....	96

Эксперимент 34. Наклон орбит планет .....	98
Эксперимент 35. Температура и тень .....	101
Эксперимент 36. Зима и лето .....	102
Эксперимент 37. Облака .....	105
Эксперимент 38. Парниковый эффект .....	109
Эксперимент 39. Земля – голубая планета .....	111
Эксперимент 40. Почему Марс красный? .....	114
Эксперимент 41. Грязный снег .....	115
Эксперимент 42. Лунные кратеры .....	117
Эксперимент 43. Кольца Сатурна .....	121
Эксперимент 44. «Исчезновение» колец Сатурна .....	123
Эксперимент 45. Ариэль и Умбриэль .....	125
Эксперимент 46. Хвост кометы .....	127
Эксперимент 47. Ионосфера .....	129
Эксперимент 48. Главное свойство телескопов .....	131
Эксперимент 49. Телескоп-рефрактор .....	134
Эксперимент 50. Телескоп-рефлектор .....	136
Эксперимент 51. Радиотелескоп .....	139
Эксперимент 52. Расстояние до Солнца .....	142
Эксперимент 53. Размер Солнца .....	144
Эксперимент 54. Солнце – абсолютно черное тело .....	146
Эксперимент 55. Искажение солнечных пятен .....	149
Эксперимент 56. Расширение Вселенной .....	151
Приложение .....	153
Литература .....	155

Учебное издание

**ГАЛУЗО** Илларион Викторович

## **АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

Методические рекомендации

Технический редактор

*Г.В. Разбоева*

Компьютерный дизайн

*Л.Р. Жигунова*

Подписано в печать 29.12.2018. Формат 60х84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 11,32. Тираж 100 экз. Заказ 184.

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014 г.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.