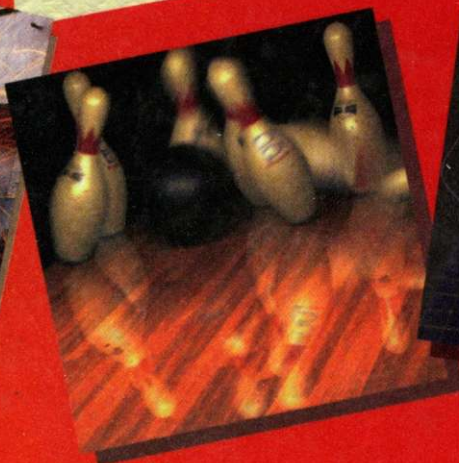


Ф. Я. Божинова, Н. М. Кирюхин,  
Е. А. Кирюхина

**Ф**

**ИЗИКА**

**7**



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**РАНОК**



УДК 371.388:53

ББК 22.3я721

Б76

Издано за счет государственных средств. Продажа запрещена

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины  
(Письмо Министерства образования и науки Украины от 28.04.07 №1/11-2195)

Рецензенты:

- В. В. Слёзов*, доктор физ.-мат. наук, проф., член-корреспондент Национальной академии наук Украины, руководитель отдела НМЦ ХФТИ;  
*Л. Н. Давыдов*, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник НМЦ ХФТИ;  
*С. В. Каплун*, канд. пед. наук, доцент, зав. кафедры методики естественно-математического образования ХОНМИНО;  
*В. А. Одарич*, канд. физ.-мат. наук, доцент КНУ им. Т. Г. Шевченко;  
*А. И. Песин*, канд. пед. наук, заведующий лабораторией методики преподавания физики ХНУ им. В. Н. Каразина

Издательство выражает благодарность лаборатории методики преподавания физики ХНУ им. В. Н. Каразина в лице А. Ю. Свистунова за помощь в создании иллюстративного ряда учебника и сотрудникам Академии технологических наук Украины за подборку материалов под рубрикой «Физика и техника в Украине»

**Божинова Ф. Я.**

Б76 Физика. 7 класс: Учебник / Ф. Я. Божинова, Н. М. Кирюхин, Е. А. Кирюхина. — Х.: Издательство «Ранок», 2007. — 192 с.: илл.

ISBN 978-966-672-193-1

Предложенный учебник является составляющей частью научно-методического комплекта «Физика—7», который включает также методические рекомендации для учителя, тетрадь для лабораторных работ и зачетную тетрадь для тематического оценивания.

Главная цель учебника — ввести учеников в мир физики, содействовать формированию базовых физических знаний и показать их необходимость для понимания окружающего мира.

УДК 371.388:53

ББК 22.3я721

Навчальне видання

**БОЖИНОВА Фаїна Яківна, КІРЮХІН Микола Михайлович,  
КІРЮХІНА Олена Олександрівна**

**ФІЗИКА. 7 клас**

**Підручник**

**(російською мовою)**

Редактор *І. Г. Шахова*. Технічний редактор *С. Я. Захарченко*. Коректор *О. Г. Неро*

Підписано до друку 25.06.2007. Формат 70×100/16. Папір офсетний.

Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 15,56.

Наклад 70 500 прим. Зам. № 7-560.

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 279 від 13.12.2000. 61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а. Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.kharkov.ua

ВАТ «Харківська книжкова фабрика «Глобус», 61012, м. Харків, вул. Енгельса, 11.

© Ф. Я. Божинова, Н. М. Кирюхин, Е. А. Кирюхина, 2007

© С. П. Солонский, фото, 2007

© Д. В. Грицай, илл., 2007

© ООО Издательство «Ранок», 2007

ISBN 978-966-672-193-1



## ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

В этом учебном году начинается ваше путешествие по миру новой для вас науки — физики. Ее название происходит от греческого слова *physis*, что значит «природа».

Вас ожидает много интересного, вы будете внимательно наблюдать явления природы, проводить настоящие научные эксперименты и на каждом уроке делать собственные маленькие открытия.

На этом пути встретятся не только хорошо известные из курса природоведения понятия: «физическое тело» и «вещество», «атомы» и «молекулы», «диффузия» и «агрегатное состояние», — но и много новых, еще не известных вам.

Ни одно настоящее путешествие не бывает легким, но сколько нового вы узнаете об окружающем нас мире! И главным помощником в этом станет учебник, который вы держите в руках.

Будьте внимательными и настойчивыми, изучая содержание каждого параграфа. И тогда вам удастся понять суть изложенного материала и применить полученные знания в повседневной жизни.

Обратите внимание на то, что каждый параграф заканчивается рубриками: «Подводим итоги», «Контрольные вопросы», «Упражнения», «Экспериментальные задания». Для чего они нужны и как ими пользоваться?

В рубрике «Подводим итоги» даны сведения об основных понятиях и явлениях, с которыми вы познакомились. Благодаря ей вы имеете возможность еще раз обратить внимание на главное в изученном материале.

«Контрольные вопросы» помогут выяснить, поняли ли вы материал или что-то упустили. Если вы сможете ответить на все вопросы, то все в порядке. Если же на некоторые вопросы вы не знаете ответа, придется снова вернуться к тексту параграфа, и ответ найдется.

Рубрика «Упражнения» сделает ваше путешествие в удивительный мир физики еще интереснее и пополнит ваши знания. Задания этой рубрики под силу каждому, однако нужно помозговать и проявить сообразительность.

Задания и параграфы, обозначенные звездочкой (\*), предназначены для тех, кто не привык останавливаться на достигнутом и хочет узнать больше.

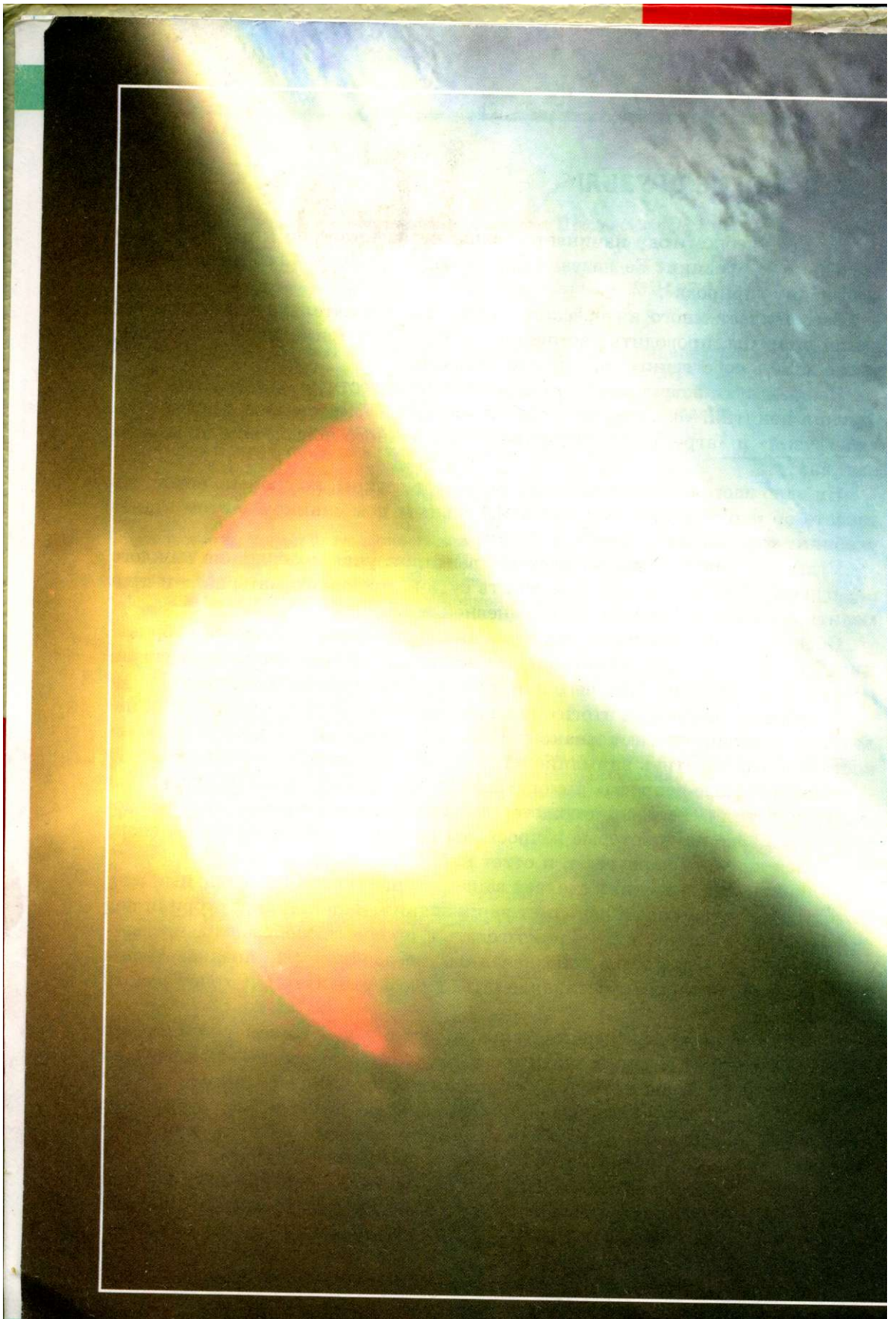
Физика — наука экспериментальная, потому и в нашем учебнике вас ждут «Экспериментальные задания» и лабораторные работы. Обязательно выполните их — и вы начнете лучше понимать и любить физику.

Материалы, предложенные в конце каждого раздела под рубриками «Подводим итоги раздела» и «Тест для самопроверки», будут полезны вам при повторении выученного и подготовке к контрольной работе.

Для тех, кто хочет больше узнать о развитии физической науки и техники в Украине и мире, о выдающихся ученых-физиках, найдется немало интересного и полезного в рубриках «Энциклопедическая страница» и «Физика и техника в Украине».

Счастливого пути, и пусть вам во всем сопутствует удача!







# НАЧИНАЕМ ИЗУЧАТЬ ФИЗИКУ

<b>§ 1.</b> Физика — наука о природе. Физические тела и физические явления	6
Лабораторная работа № 1	11
<b>§ 2.</b> Научные методы изучения природы	12
<b>§ 3.</b> Физические величины. Измерение физических величин	16
Лабораторная работа № 2	22
<b>§ 4*.</b> Несколько слов о точности измерений	23
<b>§ 5.</b> Мир, в котором мы живем. Пространство и время	25
Лабораторная работа № 3	30
Лабораторная работа № 4	32
Лабораторная работа № 5	34
<b>§ 6.</b> Взаимодействие тел	37
<b>§ 7.</b> Сила — мера взаимодействия. Энергия	42
<b>§ 8.</b> Творцы физической науки. Вклад украинских ученых в развитие физики	47

# 1



## § 1. ФИЗИКА — НАУКА О ПРИРОДЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

■ *Еще в глубокой древности люди начали собирать информацию об окружающем мире. Кроме обычного любопытства, это было вызвано практическими нуждами. Ведь, например, если знаешь, как поднять и переместить тяжелые камни, то сможешь возвести прочные стены и построить дом, жить в котором удобнее, чем в пещере или землянке. А если научишься выплавлять металлы из руд и изготавливать плуги, косы, топоры, оружие и т. п., сможешь лучше вспахать поле и получить более высокий урожай, а в случае опасности сумеешь защитить свою землю.*

*В древности существовала только одна наука — она объединяла все знания о природе, которые накопило к тому времени человечество. В наши дни эта наука называется естествознанием.*

### 1 Узнаём о физической науке

С течением времени объем научных знаний об окружающем мире неизмеримо увеличился, и естествознание разделилось на отдельные науки — биологию, химию, астрономию, географию и ряд других (рис. 1.1). Одной из частей естествознания является физика. Благодаря достижениям физической науки человечество обладает уникальными знаниями о структуре и поведении самых разнообразных объектов — от гигантских звезд до мельчайших час-

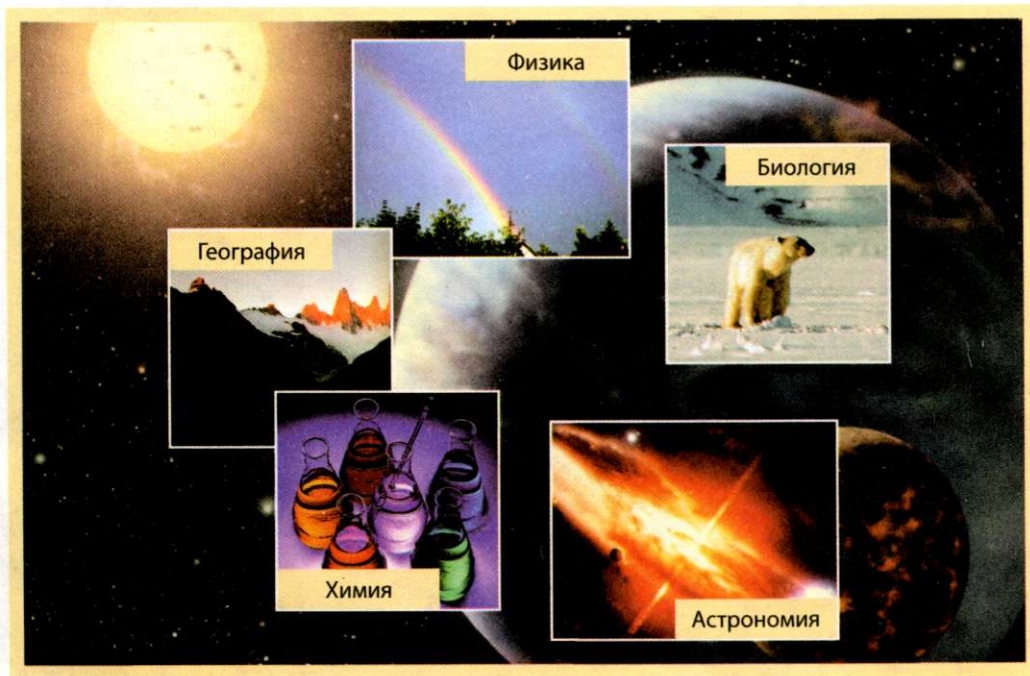


Рис. 1.1. Физика, химия, география, биология берут свое начало от естествознания



тиц вещества — атомов и молекул. Эти знания стали основой для *создания новых технологий и приборов*, которые помогают в работе врачам и строителям, путешественникам и земледельцам, облегчают нашу повседневную жизнь, открывают быстрый доступ к запасам информации, накопленным человечеством и т. п.

Чтобы понять, как далеко шагнуло вперед человечество, достаточно сравнить условия морских путешествий в глубокой древности и в наши дни (рис. 1.2).

В отличие от древнегреческих парусников, корабль XXI века имеет *двигатель* и не зависит от прихотей ветра. Современный капитан имеет подробную карту района плавания. Его судно оснащено *спутниковой системой GPS*, благодаря которой ему всегда известны местонахождение и курс. *Сонар* — устройство для зондирования морского дна — предупредит капитана о подводных скалах и рифах, а *радар* — о надводных опасностях (айсбергах и других судах) в условиях плохой видимости. В случае аварии капитан всегда может вызвать помощь по *радио*.

Очевидно, что с современным оснащением осуществлять морские путешествия стало намного безопаснее. А ведь *все эти приборы, механизмы и устройства созданы благодаря знанию законов физики* (рис. 1.3), к изучению которой вы сейчас приступаете.

## 2 Выясняем, из чего состоит окружающий мир

Все, что нас окружает, ученые называют **материей**. Услышав слово «материя», многие из вас представляют себе какую-то ткань — например джинсовую. Но для физиков это понятие намного шире. Ту материю, которую можно воспринять с помощью наших органов чувств (например, пощупать), называют **веществом**. Вещество — это и металлы, и пластики, и дерево, и воздух. О структуре и свойствах вещества вы узнаете, изучив раздел 2 этого учебника.

Определенная часть пространства, занятая веществом, называется **физическим телом**.

Так, физическими телами являются любые окружающие нас предметы: ручка, тетрадь,



**Рис. 1.2.** Древнегреческий герой Одиссей долгие годы не мог вернуться на родину. При каждой новой попытке буря забрасывала его корабль в неизвестное место. Капитан современной яхты доставил бы античного героя домой всего за несколько дней



**Рис. 1.3.** Благодаря знанию законов физики созданы технические средства, позволяющие за считанные секунды связаться с любой точкой мира





Рис. 1.4. Примеры физических тел

стол, дверь и т. д. Человек, дерево, облако, Солнце, Земля — это тоже примеры физических тел (рис. 1.4).

В XIX столетии ученые установили, что кроме вещества существует еще один вид материи, который невозможно «пощупать». Этот особый вид материи называется **полем**. С помощью поля — *невидимых электромагнитных волн* — мы имеем возможность связываться со своими собеседниками по мобильному телефону, капитан корабля — запросить спутник о координатах своего судна. С помощью подобных волн работают радио и телевидение. Еще одним примером электромагнитного поля является *свет*. С некоторыми свойствами света вы познакомитесь при изучении раздела 3.

### 3 Вспоминаем о физических явлениях

*Материя вокруг нас постоянно изменяется.* Некоторые тела перемещаются относительно друг друга, часть из них сталкиваются и, возможно, разрушаются, из одних тел образуются другие... Перечень таких изменений можно продолжать и продолжать — не даром еще в глубокой древности философ Гераклит заметил: «Все течет, все меняется». Изменения в окружающем нас мире, то есть в природе, ученые называют специальным термином — **явления**.



Рис. 1.5. Примеры природных явлений





**Рис. 1.6.** Сложное природное явление — грозу можно представить как совокупность целого ряда физических явлений

Восход и закат Солнца, сход снежной лавины, извержение вулкана, бег лошади, прыжок пантеры — все это примеры **природных явлений** (рис. 1.5).

Чтобы лучше понять сложные природные явления, ученые разделяют их на совокупность **физических явлений** — *явлений, которые можно описать с помощью физических законов.*

На рис. 1.6 показана совокупность физических явлений, образующих сложное природное явление — грозу. Так, молния — огромный электрический разряд — представляет собой *электромагнитное явление*. Если молния попадет в дерево, то оно вспыхнет и начнет выделять тепло — физики в таком случае говорят о *тепловом явлении*. Грохот грома и потрескивание пылающего дерева — *звуковые явления*.

Примеры некоторых физических явлений приведены в таблице. Взгляните, например, на первую строку таблицы. Что может быть общего между полетом ракеты, падением камня и вращением целой планеты? Ответ прост. Все приведенные в этой строке примеры явлений описываются одними и теми же законами — *законами механического движения*. С помощью этих законов можно вычислить координаты любого движущегося тела (будь то камень, ракета или планета) в любой интересующий нас момент времени.

Физические явления	Примеры
Механические	Полет ракеты, падение камня, вращение Земли вокруг Солнца
Оптические	Вспышка молнии, свечение электрической лампочки, свет от пламени костра
Тепловые	Таяние снега, нагревание пищи, сгорание топлива в цилиндре двигателя
Звуковые	Звук колокола, птичье пение, грохот грома
Электромагнитные	Разряд молнии, электризация волос, электрическая дуга



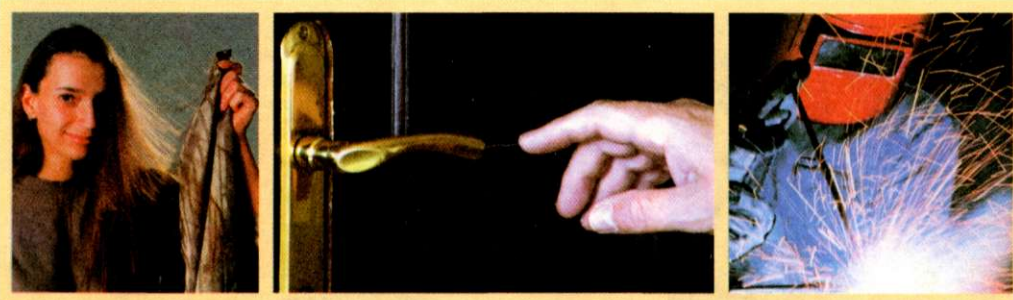


Рис. 1.7. Примеры электромагнитных явлений

Каждый из вас, снимая свитер или расчесывая волосы пластмассовым гребнем, наверняка обращал внимание на появляющиеся при этом крохотные искры. И эти искры, и могучий разряд молнии относятся к одним и тем же *электромагнитным явлениям* и, соответственно, подчиняются одним и тем же законам. Поэтому для изучения электромагнитных явлений не стоит дожидаться грозы. Достаточно изучить, как ведут себя безопасные искорки, чтобы понять, чего следует ждать от молнии и как избежать возможной опасности. Впервые такие исследования провел американский ученый *Б. Франклин* (1706—1790), который изобрел эффективное средство защиты от грозового разряда — *молниеотвод*.

Изучив физические явления по отдельности, ученые устанавливают их *взаимосвязь*. Так, разряд молнии (электромагнитное явление) обязательно сопровождается значительным повышением температуры в канале молнии (тепловое явление). Исследование этих явлений в их взаимосвязи позволило не только лучше понять природное явление — грозу, но и найти путь *практического применения* электромагнитных и тепловых явлений. Наверняка каждый из вас, проходя мимо строительной площадки, видел рабочих в защитных масках и ослепительные вспышки электросварки. *Электросварка* (способ соединения металлических деталей с помощью электрического разряда) — это и есть пример практического использования научных исследований.

#### 4 Определяем, что же изучает физика

Теперь, когда вы узнали, что собой представляют материя и физические явления, пришла пора определить, что же является предметом изучения физики. Эта наука изучает: **структуру и свойства материи; физические явления и их взаимосвязь.**

#### Подводим итоги

Окружающий нас мир состоит из материи. Существует два вида материи: вещество, из которого состоят все физические тела, и поле.

В мире, который нас окружает, постоянно происходят изменения. Эти изменения называются явлениями. Тепловые, световые, механические, звуковые, электромагнитные явления — все это примеры физических явлений. Предмет изучения физики — структура и свойства материи, физические явления и их взаимосвязь.



**Контрольные вопросы**

1. Что изучает физика? 2. Приведите примеры физических явлений. 3. Можно ли считать физическими явлениями события, которые происходят во сне или в воображении? 4. Из каких веществ состоят следующие тела: учебник, карандаш, футбольный мяч, стакан, автомобиль? 5. Какие физические тела могут состоять из стекла, металла, дерева, пластмассы?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**

**Тема.** Кабинет физики и его оборудование. Правила безопасности при работе в кабинете физики.

**Цель:** ознакомиться с оборудованием кабинета и изучить правила безопасности при проведении лабораторных работ.

**Оборудование:** приборы и устройства, имеющиеся в кабинете; инструкция по безопасности для кабинета физики.

**УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ**

1. Прочитайте инструкцию по безопасности для кабинета физики.
2. Дайте ответы на следующие вопросы.
  - а) Начнете ли вы проведение опыта, если не знаете порядка его проведения и требований безопасности?
  - б) Можно ли прикасаться к приборам, которые стоят на вашем рабочем столе, без разрешения учителя?
  - в) Можно ли, услышав звонок с урока, покидать рабочее место без разрешения учителя?
  - г) Как необходимо действовать, если ваш одноклассник получил травму во время выполнения опыта?
3. Под руководством учителя ознакомьтесь с оборудованием кабинета физики.
4. Сформулируйте правила поведения учеников в кабинете физики.

**Физика и техника в Украине**

Первый президент Академии наук Украины **Владимир Иванович Вернадский** (1863—1945) был одним из последних природоведов — ученым, который сделал весомый вклад сразу в несколько научных направлений. Более того, академик В. И. Вернадский не только развивал известные научные направления, но и стал родоначальником нескольких новых наук, например биогеохимии. Сегодня многие известные международные организации в своих прогнозах развития человечества опираются на концепцию постоянного развития, которая является продолжением идей В. И. Вернадского. Суть концепции постоянного развития заключается в таком развитии общества, чтоб от поколения к поколению не уменьшались качество и безопасность жизни людей, не ухудшалось состояние окружающей среды и происходил социальный прогресс.



## § 2. НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ

■ Вы все еще очень молоды, однако у вас имеется определенный объем знаний. Например, вы самостоятельно и уже довольно давно установили, что ложка, если ее случайно уронить, обязательно упадет вниз, а не устремится вверх. Но уверены ли вы, что все из того, что вы знаете, является правильным? В данном параграфе вы найдете ответ на вопрос: каким образом ученые получают новые знания.

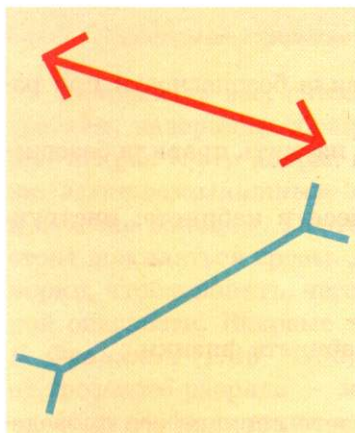


Рис. 1.8. Длина обоих отрезков одинакова. В этом легко убедиться с помощью линейки

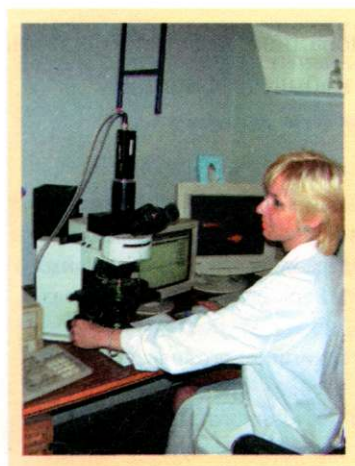


Рис. 1.9. Любое предсказание теории должно быть подтверждено опытом

### 1 Устанавливаем отличия между наблюдениями и экспериментами

Основной задачей ученых-физиков является проведение физических исследований.

**Физическое исследование** — это целенаправленное изучение того или иного явления средствами физики.

Первым этапом физического исследования является наблюдение.

**Наблюдение** — это восприятие природы с целью получения первичных данных для дальнейшего анализа.

Если результаты наблюдений повторяются, то исследователь делает *выводы*. Приведем пример такого вывода: вода (жидкость), помещенная в морозильную камеру, через некоторое время обязательно превратится в лед (станет твердой).

Однако далеко не всегда выводы, полученные при помощи наблюдений, являются истинными. Посмотрите, например, на рис. 1.8. Синий отрезок кажется длиннее, чем красный. Вы можете взглянуть на рисунок несколько раз, предложить это сделать друзьям — и тем не менее вывод останется прежним. Если же после этого вы измерите длину отрезков линейкой, то убедитесь в том, что их длина совершенно одинакова.

Чтобы не делать подобных ошибочных выводов, ученые пользуются более сложными видами исследований, которые называются *опытами*, или *экспериментами*.

**Эксперимент** — это исследование физического явления в условиях, находящихся под контролем ученого, с целью более глубокого изучения этого явления (рис. 1.9).



Опыты (эксперименты) обычно сопровождаются различными измерениями. Ученые употребляют выражение «*экспериментальные исследования*», когда говорят о серии последовательных опытов, направленных на изучение данного физического явления. Простейшие виды экспериментальных исследований — *лабораторные работы* — вы будете выполнять самостоятельно при изучении физики.

## 2 Определяем основные этапы физических исследований

Для того чтобы перейти к экспериментальным исследованиям — более сложным, чем простые наблюдения, у исследователя должно *возникнуть сомнение в истинности результатов* исследования («не верю своим глазам!»).

В случае с отрезками (см. рис. 1.8) мы подсказали вам готовый ответ. Но если бы вы показали этот рисунок родителям, кто-либо из них обязательно заподозрил бы подвох и сказал: «А не обман ли это зрения? Ведь отрезки могут быть и одинаковыми!» Иначе говоря, ваш собеседник высказал бы *гипотезу (предположение)* об ошибочности простых наблюдений. И только после проведенного вами экспериментального исследования (измерения отрезков с помощью линейки), то есть после экспериментальной проверки гипотезы, вы установили истину: оба отрезка имеют одинаковую длину.

Случай с отрезками не требует длительных исследований, но иногда поиски истины длятся столетиями. Так, наблюдая за падением различных тел, ученые Древней Греции сделали вывод о том, что более тяжелые предметы падают на землю быстрее, чем легкие. Спустя две тысячи лет, в XVI столетии, выдающийся итальянский ученый *Галилео Галилей* (1564—1642) усомнился в справедливости выводов древних греков и выдвинул гипотезу о том, что более медленное падение легкого тела объясняется сопротивлением воздуха (рис. 1.10). Иными словами, если тела падают с одинаковой высоты, не встречая сопротивления воздуха, то, независимо от массы этих тел, они одновременно достигнут поверхности земли.

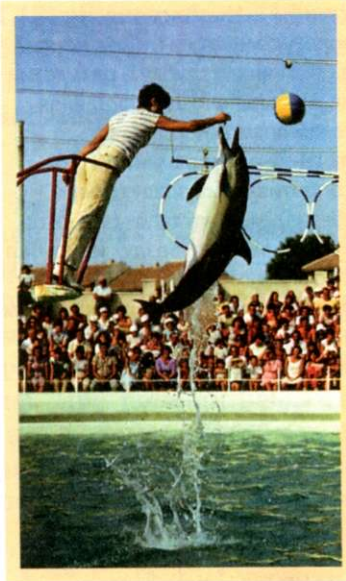


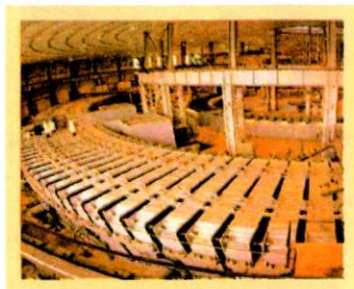
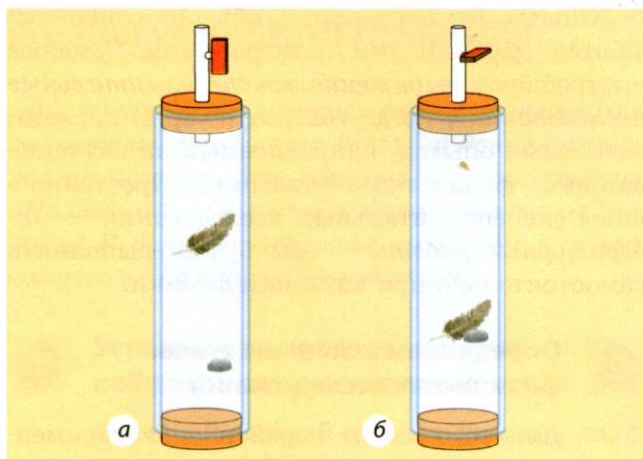
Рис. 1.10. Если бы не было сопротивления воздуха, то дельфин и мяч достигли бы поверхности воды одновременно



Рис. 1.11. Пизанская башня, на которой Галилей проводил свои эксперименты



**Рис. 1.12.** Ньютон поместил золотую монету и птичье перо в стеклянную трубку и разместил ее вертикально, предоставляя телам возможность начать падение одновременно. Из-за сопротивления воздуха перо «безнадежно отстало» (а). Потом ученый выкачал воздух из трубки с помощью изобретенных к тому времени насосов (б). В последнем эксперименте два тела достигли дна трубки одновременно



**Рис. 1.13.** Гигантские ускорители заряженных частиц используются для изучения структуры материи



**Рис. 1.14.** Этапы познания в физических исследованиях

Для подтверждения своей догадки Галилей провел исследования, используя для них знаменитую Пизанскую башню (рис. 1.11, с. 13). С вершины этого сооружения он бросал мушкетную пулю и пушечное ядро, на движение которых, как мы сегодня знаем, сопротивление воздуха влияет незначительно. Результаты экспериментов подтвердили гипотезу ученого — оба предмета достигали земли практически одновременно.

Более точные эксперименты (рис. 1.12) были проведены знаменитым английским ученым *Исааком Ньютоном* (1643—1727). Но Ньютон не ограничился подтверждением выводов Галилея. Проанализировав полученные данные и сделав необходимые вычисления (сейчас такую работу мы называем **теоретическими исследованиями**), ученый предположил, что падение предметов на поверхность Земли и вращение планет Солнечной системы вокруг Солнца подчиняются одному закону. Чтобы обосновать это утверждение, Ньютон снова обратился к математике. В результате ученый открыл закон всемирного тяготения — создал **новое знание**.

После Галилея и Ньютона *основными методами получения новых знаний стали теоретические и экспериментальные методы*. Современные экспериментальные исследования невозможно представить без специально сконструированных сложных приборов. Некоторые из них имеют массу в десятки тысяч



тонн и размеры в несколько километров (рис. 1.13). В разработке новых теорий принимают участие сотни ученых, для теоретических расчетов применяются сверхмощные компьютеры. Однако даже в наши дни основные этапы получения новых знаний остаются неизменными.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Основными методами физических исследований являются теоретический и экспериментальный. Последовательность этапов физических исследований можно представить в виде спирали, состоящей из повторяющихся элементов (рис. 1.14). Попробуем совершить восхождение по этой спирали.

Нижний элемент показывает, что на определенном этапе ученые уже имеют определенный уровень знаний (знание). При помощи наблюдений и рассуждений исследователи убеждаются в необходимости его усовершенствования, проводят теоретические исследования, выдвигают гипотезу и подтверждают (или опровергают) ее путем экспериментальной проверки. Результатом становится новое знание.



### Контрольные вопросы

1. Что такое наблюдение?
2. Приведите примеры физических явлений, сведения о которых вы получили из собственных наблюдений.
3. Чем опыт отличается от наблюдения?
4. Кем и как была подтверждена гипотеза Галилея о том, что более медленное падение легкого тела объясняется сопротивлением воздуха?
5. Назовите основные методы физических исследований.
6. Какие этапы проходят ученые, осуществляя физические исследования?



### Упражнения

1. Какую роль играют экспериментальные и теоретические исследования при установлении физических законов?
2. В науке важно различать следующие понятия:
  - а) повседневно наблюдаемое явление;
  - б) экспериментальный факт;
  - в) гипотезу;
  - г) закон природы.

Укажите, к какому из вышеуказанных понятий относятся данные ниже утверждения:

- а) все тела падают на землю;
- б) возможно, разница в скорости падения тел разной массы объясняется сопротивлением воздуха;
- в) в вакууме все тела падают с высоты за одно и то же время.



### Экспериментальное задание

Пронаблюдайте какое-либо явление, опишите его и проанализируйте.



### Физика и техника в Украине



Ученый с мировым именем — **Борис Евгеньевич Патон** — родился в 1918 году в Киеве. Славу ему принесли исследования в области электродуговой сварки и создание сварочных автоматов, которые используются в различных отраслях промышленности и строительства. Талант ученого достиг расцвета в период работы в Институте электросварки, директором которого он стал в 1953 году. Начиная с этого времени Б. Е. Патон возглавил исследования, в результате которых было создано совершенно новое направление в современной металлургии, получившее признание во всем мире. Электрошлаковый процесс, созданный под руководством ученого, повсеместно применяется для улучшения качества нержавеющей сталей.

В 1958 году ученый был избран действительным членом Академии наук Украины, а с 1962 года является ее бессменным президентом.

## § 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

■ *Что такое физическая величина? Что означает измерить физическую величину? Что называют единицей физической величины? Здесь вы найдете ответы на эти очень важные вопросы.*

### 1 Узнаем, что называется физической величиной

Издавна люди для более точного описания каких-нибудь событий, явлений, свойств тел и веществ используют их характеристики. Например, сравнивая тела, которые нас окружают, мы говорим, что книга меньше, чем книжный шкаф, а конь больше кошки. Это означает, что объем коня больше объема кошки, а объем книги меньше объема шкафа.

**Объем** — пример **физической величины**, которая характеризует общее свойство тел занимать ту или иную часть пространства (рис. 1.15, а). При этом числовое значение объема каждого из тел индивидуально.



**Рис. 1.15.** Для характеристики свойства тел занимать ту или иную часть пространства мы используем физическую величину объем (а, б), для характеристики движения — скорость (б, в)



Общая характеристика многих материальных объектов или явлений, которая может приобретать индивидуальное значение для каждого из них, называется **физической величиной**.

Еще одним примером физической величины может служить известное вам понятие «*скорость*». Все движущиеся тела изменяют свое положение в пространстве с течением времени, однако быстрота этого изменения для каждого тела различна (рис. 1.15, б, в). Так, самолет за 1 с полета успевает изменить свое положение в пространстве на 250 м, автомобиль — на 25 м, человек — на 1 м, а черепаха — всего на несколько сантиметров. Поэтому физики и говорят, что скорость — это физическая величина, которая характеризует быстроту движения.

Нетрудно догадаться, что объем и скорость, — это далеко не все физические величины, которыми оперирует физика. Масса, плотность, сила, температура, давление, напряжение, освещенность — это лишь малая часть тех физических величин, с которыми вы познакомитесь, изучая физику.

## 2 Выясняем, что означает измерить физическую величину

Для того чтобы количественно описать свойства какого-либо материального объекта или физического явления, необходимо установить **значение физической величины**, которая характеризует данный объект или явление.

*Значение физических величин получают путем измерений (рис. 1.16—1.19) или вычислений.*



**Рис. 1.16.** «До отправления поезда осталось 5 минут», — с волнением измеряете вы время



**Рис. 1.17.** «Я купила килограмм яблок», — рассказывает мама о своих измерениях массы



**Рис. 1.18.** «Одевайся теплее, сегодня на улице прохладнее», — заботится о вас бабушка после измерения температуры воздуха на улице



**Рис. 1.19.** «У меня снова поднялось давление», — жалуется женщина после измерения кровяного давления





**Рис. 1.20.** Если бабушка и внук будут измерять расстояние в шагах, то они всегда будут получать разные результаты

**Измерить физическую величину** — значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу.

Приведем пример из художественной литературы: «Пройдя шагов триста по берегу реки, маленький отряд вступил под своды дремучего леса, извилистыми тропами которого им надо было странствовать на протяжении десяти дней». (Ж. Верн «Пятнадцатилетний капитан»)

Герои романа Ж. Верна измеряли пройденный путь, сравнивая его с шагом, то есть единицей измерения служил шаг. Таких шагов оказалось триста. В результате измерения было получено *числовое значение* (триста) физической величины (пути) в избранных *единицах* (шагах).

Очевидно, что выбор такой единицы не позволяет сравнивать результаты измерений, полученные разными людьми, поскольку длина шага у всех разная (рис. 1.20). Поэтому ради удобства и точности люди давным-давно начали договариваться о том, чтобы измерять одну и ту же физическую величину одинаковыми единицами. Ныне в большинстве стран мира действует принятая в 1960 году *Международная система единиц измерения*, которая носит название «**Система Интернациональная**» (СИ) (рис. 1.21).

В этой системе единицей длины является метр (м), времени — секунда (с); объем измеряется в метрах кубических ( $\text{м}^3$ ), а скорость — в метрах в секунду (м/с). Об остальных единицах СИ вы узнаете позже.

### 3 Вспоминаем кратные и дольные единицы

Из курса математики вы знаете, что для сокращения записи больших и малых значений разных величин пользуются кратными и дольными единицами.

**Кратные единицы** — это единицы, которые больше основных единиц в 10, 100, 1000 и более раз.

**Дольные единицы** — это единицы, которые меньше основных в 10, 100, 1000 и более раз.

Для записи кратных и дольных единиц используют *приставки*. Например, единицы



**Рис. 1.21.** Основные единицы Международной системы (СИ)



длины, кратные одному метру,— это километр (1000 м), декаметр (10 м). Единицы длины, дольные одному метру,— это дециметр (0,1 м), сантиметр (0,01 м), микрометр (0,000001 м) и так далее.

В таблице приведены наиболее часто употребляемые приставки.

**Приставки, служащие для образования кратных и дольных единиц**

Приставка	Значение в переводе с греческого или латинского языка	Обозначение	Множитель	Кратность и дольность
тера	чудовище	Т	1 000 000 000 000	$10^{12}$
гига	гигантский	Г	1 000 000 000	$10^9$
мега	большой	М	1 000 000	$10^6$
кило	тысяча	к	1000	$10^3$
гекто	сто	г	100	$10^2$
дека	десять	да	10	$10^1$
санти	сто	с	0,01	$10^{-2}$
милли	тысяча	м	0,001	$10^{-3}$
микро	малый	мк	0,000001	$10^{-6}$
нано	карлик	н	0,000000001	$10^{-9}$

**4 Знакомимся с измерительными приборами**

Измерение физических величин ученые проводят с помощью измерительных приборов. Простейшие из них — линейка, рулетка — служат для измерения расстояния и линейных размеров тела. Вам также хорошо известны такие измерительные приборы, как часы — прибор для измерения времени, транспортир — прибор для измерения углов на плоскости, термометр — прибор для измерения температуры и некоторые другие (рис. 1.22, с. 20). Со многими измерительными приборами вам еще предстоит познакомиться.

Большинство измерительных приборов имеют шкалу, которая обеспечивает возможность измерения. Кроме шкалы, на приборе указывают единицы, в которых выражается измеренная данным прибором величина\*.

По шкале можно установить две наиболее важные характеристики прибора: пределы измерения и цену деления.

**Пределы измерения** — это наибольшее и наименьшее значения физической величины, которые можно измерить данным прибором.

\* В наши дни широко используются электронные измерительные приборы, в которых значение измеренных величин высвечивается на экране в виде цифр. Пределы измерения и единицы определяются по паспорту прибора или устанавливаются специальным переключателем на панели прибора.





Рис. 1.22. Измерительные приборы

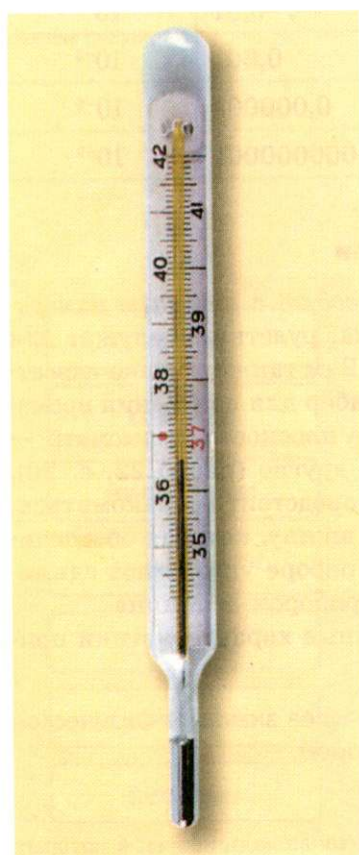


Рис. 1.23. Медицинский термометр

**Цена деления** — это значение наименьшего деления шкалы измерительного прибора.

Например, верхний предел измерений медицинского термометра (рис. 1.23) равен  $42^{\circ}\text{C}$ , нижний —  $34^{\circ}\text{C}$ , а цена деления шкалы этого термометра составляет  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

*Напоминаем:* чтобы определить цену деления шкалы любого прибора, необходимо разность двух любых значений величин, указанных на шкале, разделить на количество делений между ними.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Общая характеристика материальных объектов или явлений, которая может приобретать индивидуальное значение для каждого из них, называется физической величиной.

Измерить физическую величину — значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу.

В результате измерений мы получаем значение физических величин.

Говоря о значении физической величины, следует указать ее числовое значение и единицу.

Для измерения физических величин используются измерительными приборами.



Для сокращения записи числовых значений больших и малых физических величин используют кратные и дольные единицы. Они образуются с помощью приставок.



### Контрольные вопросы

1. Дайте определение физической величины. Как вы его понимаете?
2. Что означает измерить физическую величину?
3. Что понимают под значением физической величины?
4. Назовите все физические величины, упомянутые в отрывке из романа Ж. Верна, приведенном в тексте параграфа. Каково их числовое значение? единицы измерения?
5. С помощью каких приставок образуются дольные единицы? кратные единицы?
6. Какие характеристики прибора можно установить с помощью шкалы?
7. Что называют ценой деления?



### Упражнения

1. Назовите известные вам физические величины. Укажите единицы этих величин. Какими приборами их измеряют?
2. На рис. 1.22 изображены некоторые измерительные приборы. Можно ли, используя только рисунок, определить цену деления шкал этих приборов. Ответ обоснуйте.
3. Выразите в метрах следующие значения физической величины: 145 мм; 1,5 км; 2 км 32 м.
4. Запишите с помощью кратных или дольных единиц следующие значения физических величин: 0,0000075 м — диаметр красных кровяных телец; 5 900 000 000 000 мм — радиус орбиты планеты Плутон; 6 400 000 м — радиус планеты Земля.
5. Определите пределы измерения и цену деления шкал приборов, которые есть у вас дома.
6. Вспомните определение физической величины и докажите, что длина — это физическая величина.

### Физика и техника в Украине



Один из выдающихся физиков современности — **Лев Давидович Ландау** (1908—1968) — продемонстрировал свои способности, еще учась в средней школе. После окончания университета он стажировался у одного из творцов квантовой физики Нильса Бора. Уже в 25-летнем возрасте он возглавил теоретический отдел Украинского физико-технического института и кафедру теоретической физики Харьковского университета. Как и большинство выдающихся физиков-теоретиков, Ландау обладал чрезвычайной широтой научных интересов. Ядерная физика, физика плазмы, теория сверхтекучести жидкого гелия, теория сверхпроводимости — во все эти разделы физики Ландау внес значительный вклад. За работы по физике низких температур он был удостоен Нобелевской премии.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2



**Тема.** Определение цены деления шкалы измерительного прибора.

**Цель:** определить пределы измерения и цену деления шкал разных измерительных приборов.

**Оборудование:** линейка, термометр и другие измерительные приборы.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

- Убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.
  - Что называют измерительным прибором?
  - Как определить пределы измерения шкалы прибора?
  - Что такое цена деления шкалы?
  - Как определить цену деления шкалы?
  - Какие правила техники безопасности следует соблюдать при работе с термометром?
- Рассмотрите шкалы имеющихся у вас измерительных приборов.
- Заполните таблицу.

Название прибора	Физическая величина, измеряемая прибором	Единица измеряемой величины	Блок пометок шкалы		
			Значение ближайших оцифрованных пометок	Количество делений между ближайшими оцифрованными пометками	Цена деления шкалы

### Анализ результатов работы

Сделайте вывод, в котором укажите, что именно вы определяли и для чего могут понадобиться навыки, приобретенные вами во время выполнения работы.

### Дополнительное задание

Изготовьте мерную ленту с ценой деления 5 мм.

*из тех же листов на  
наша приклеили  
по 8 в 1 листе*



## § 4\*. НЕСКОЛЬКО СЛОВ О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

■ *Теперь вы знаете, что означает измерить физическую величину. И в повседневной жизни вам уже приходилось выполнять множество простейших измерений. Но насколько точными были ваши измерения? Можно ли получить абсолютно точное значение физической величины?*

*Попробуем разобраться в этих непростых вопросах.*

### 1 Оцениваем размеры и проверяем результат

Начнем с проверки вашего глазомера.

Оцените на глаз длину иглы, изображенной на рис. 1.24. А теперь давайте проверим, насколько результат вашей оценки соответствует действительности, то есть измерим длину той же иглы с помощью линейки. Для этого:

— приложим линейку к игле так, чтобы «ноль» на ее шкале совпал с одним концом иглы (рис. 1.25);

— определим значение деления шкалы, напротив которого расположен ее другой конец.

Мы видим, что он расположен возле отметки 5 см. Отсюда делаем вывод, что длина иглы около 5 см. Если результат вашей предварительной оценки совпадает с этим значением, то у вас хороший глазомер. Определить на глаз размер более точно нам не удастся.

### 2 Уточняем результат измерений

Если нам нужен *более точный результат*, придется обратить внимание на то, что кончик иглы немного более чем на два миллиметра выступает за отметку 5 см. Итак, более точная длина иглы — 5,2 см, или 52 мм.

Вы можете возразить, что это тоже неточно.

Да, неточно! Именно поэтому *принято всегда указывать точность, с которой выполнено измерение.*

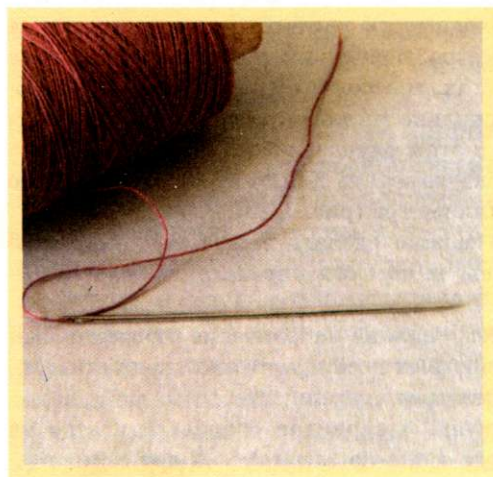


Рис. 1.24. Фотография иглы в натуральную величину

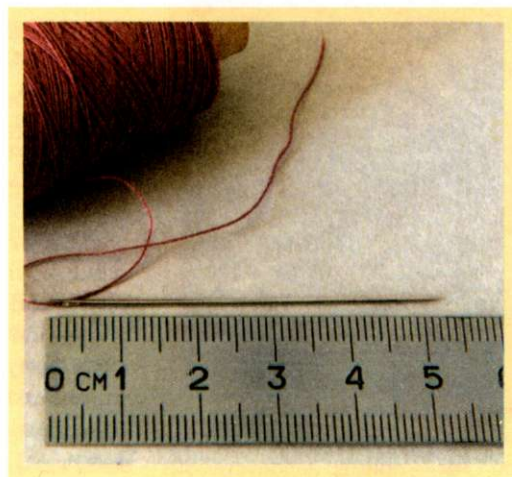


Рис. 1.25. Измерение длины иглы





**Рис. 1.26.** Измерение длины стены с точностью до 1 мм — пример излишней точности

В первом случае наше измерение выполнено с точностью до 1 см, а во втором — с точностью до 0,1 см.

Чтобы произвести еще более точное измерение, необходимо учесть длину той части иглы, которая выступает за отметку 52 мм, и тогда точность повысится до 0,01 см. Но для этого нам придется использовать измерительный прибор с еще меньшей ценой деления, то есть более точный, но даже тогда мы не можем утверждать, что измерили иглу совершенно точно.

Причин для этого достаточно: это и несовершенство конструкции прибора, и погрешности, которые возникают при проведении опыта (например, начало иглы невозможно абсолютно точно совместить с «нулем» линейки). Таким образом, даже если измерение проводится более тщательно и с помощью более совершенного прибора, точность возрастает, но погрешностей все равно не избежать.

*Чтобы уменьшить погрешность, измерение можно выполнить несколько раз, а затем вычислить среднее значение всех полученных результатов (найти их среднее арифметическое).*

### 3 Размышляем о точности измерений

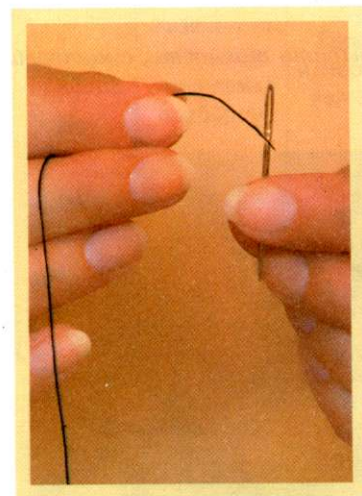
Однако не следует думать, что чем точнее измерение, тем лучше: излишняя точность не всегда целесообразна.

Предположим, что вместо длины иглы вам необходимо измерить длину крышки стола. В этом случае нет необходимости учитывать десятые и сотые доли миллиметра, поскольку, измеряя длину стола в разных местах, мы получим величины, отличающиеся на несколько миллиметров. Поэтому долями миллиметра в этом случае можно пренебречь. Также нет смысла измерять длину стены с точностью до одного миллиметра (рис. 1.26).

Из этого можно сделать вывод, что *необходимую точность измерения определяет цель эксперимента.*

Чаще всего важно не значение погрешности, а то, какую часть от всей измеренной величины составляет возможная погрешность.

Если портной, выкраивая брюки, ошибется на 1 мм, вы этого даже не заметите. А вот если, втягивая нить в ушко иглы, он всякий раз будет ошибаться на 1 мм (рис. 1.27), то едва ли брюки вообще когда-либо будут сшиты.



**Рис. 1.27.** Попытка вдеть нитку в ушко иглы с точностью до 1 мм — пример недопустимой погрешности



## § 5. МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

■ Изучая природу, исследователи разделили все объекты физического мира на микро-, макро- и мегамир. Вам уже знакомы эти приставки, и вы можете предположить, чем отличаются эти три понятия. Однако не стоит спешить с ответом! Он не так прост, как может показаться на первый взгляд.

### 1 Характеризуем структурные уровни физического мира

Вся доступная для наблюдения часть материального мира, который нас окружает, называется **Вселенной**.

Мельчайшими объектами Вселенной являются микрочастицы — молекулы, атомы и их составляющие. Мир молекул, атомов и их составляющих называют **микромиром** (рис. 1.29).

В микромире действуют законы, заметно отличающиеся от тех, с которыми сталкивается человек в повседневной жизни. Так, одна из составляющих атома микрочастица, нейтрон может свободно проникать сквозь толстые стены. Законы, по которым «живут» микрочастицы, изучает *квантовая физика*. Благодаря ее достижениям появились современные компьютеры, мобильные телефоны, цифровые видео- и аудиопроигрыватели и другая «умная» бытовая техника.

Атомы или молекулы могут объединяться в большие скопления — макроскопические тела. Примерами макроскопических тел прежде всего являются сам человек, а также все физические тела, которые его окружают (дерево, дом, шкаф, стол, книга и т. п.).

Земля и другие планеты являются макроскопическими телами астрономического масштаба. Мир планет и физических тел, которые окружают человека, а также сам человек составляют **макромир** (см. рис. 1.30). В макромире господствует *классическая физика*. На основе законов классической физики человечество создало гигантские сооружения, гидро- и тепловые



Рис. 1.28. Диапазон размеров во Вселенной

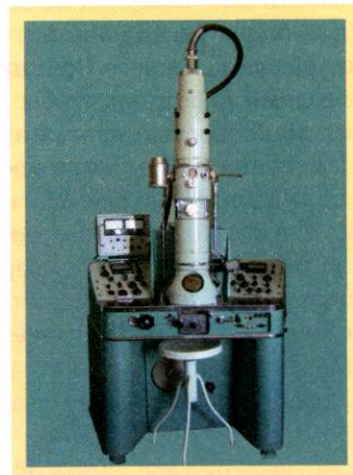


Рис. 1.29. Объекты микромира изучаются с помощью специальных приборов — электронных микроскопов



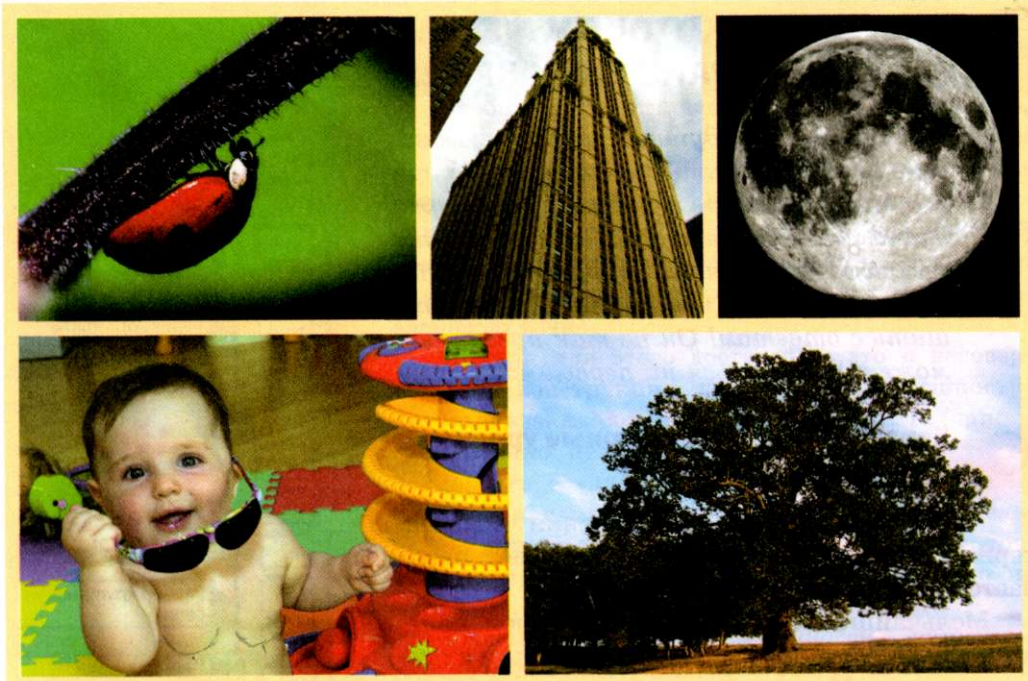


Рис. 1.30. Объекты макромира

электростанции, станки и технические устройства, современные средства передвижения — поезда, автомобили, самолеты, ракеты.

Однако макромир — всего лишь «песчинка» во Вселенной. Крохотные «светлячки» звезд на ночном небе на самом деле представляют собой гигантские шары раскаленного газа, размеры которых зачастую намного превышают размеры нашего Солнца. Расстояния между разбросанными во Вселенной звездами огромны: чтобы добраться до ближайшей к Солнцу звезды, двигаясь со скоростью пассажирского поезда, понадобилось бы около 30 млн лет. Изменения в этом мире происходят настолько медленно, что время человеческой жизни кажется коротким мгновением. Так, наше Солнце возникло около 5000 млн лет назад и будет светить еще примерно 8000 млн лет.

Расстояния здесь измеряются в миллионах километров, время — в миллионах лет... Помните, какая из кратных приставок означает «миллион»? Верно — «мега». Поэтому ученые и называют мир звезд, звездных скоплений — галактик и других гигантских космических объектов **мегамиром** (рис. 1.31). Строение и эволюцию мегамира изучает специальная наука — *космология*.

## 2 Различаем последовательность событий и продолжительность события

*Пространство* и *время* являются своеобразной ареной, на которой «разыгрываются» все явления и процессы, происходящие в окружающем нас мире. Чтобы дать полное описание какого-нибудь события, мы



обязательно должны указать не только *где*, но и *когда* это событие произошло. Например, наблюдая за соревнованиями легкоатлетов (рис. 1.32), мы всегда фиксируем (хотя часто и не задумываемся об этом) момент времени и положение спортсмена в пространстве. В ином случае определить победителя было бы невозможно.

При этом мы хорошо понимаем, что спортсмен, который первым пересек финишную черту, сделал это до того, как финишировали остальные участники забега. То есть речь идет о **последовательности событий**, когда одно из них происходит раньше, чем другие.

Однако даже выяснив, кто стал победителем в отдельном забеге, мы не будем знать победителя в соревнованиях, если не измерим отрезок времени с момента старта спортсмена до его финиша — чтобы сравнить с результатами остальных участников. То есть, как говорят физики, необходимо установить **продолжительность события**.

**Продолжительность события** — это промежуток времени, в течение которого это событие происходит.

Таким образом, для того чтобы определить и продолжительность одного события, и последовательность всех событий, мы измеряем промежуток времени. Различие заключается в выборе начальных моментов, от которых ведется отсчет времени. Определяя продолжительность данного события, за начальный момент мы принимаем момент начала самого события. При определении последовательности событий начальный момент связывают с началом одного общего для всех события.

Например, осенние каникулы (событие) начались 25 октября и продолжались 8 дней. В данном случае промежуток времени 8 дней означает продолжительность события. За начало отсчета времени принимаем начало самих каникул.

Дата 25 октября указывает на последовательность событий, а за начало отсчета времени принимаем начало календарного года.



Рис. 1.31. Наша Галактика — Млечный Путь — одна из миллиардов галактик во Вселенной

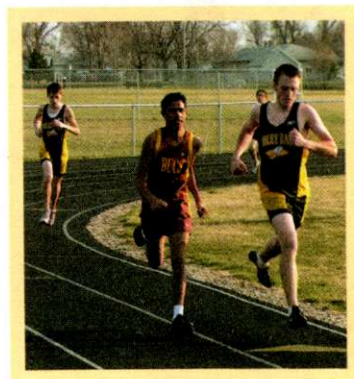


Рис. 1.32. Студенческие соревнования по легкой атлетике



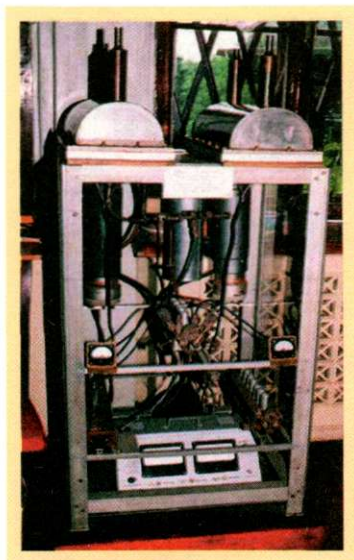


Рис. 1.33. Первые атомные часы — эталон времени

### 3 Знакомимся с единицами времени

Как измерить время? Ответ на этот вопрос подсказала людям сама природа. Дело в том, что многие процессы, происходящие в природе, являются периодическими.

**Периодическим** называют такой процесс, который последовательно повторяется через равные промежутки времени.

Продолжительность одного такого процесса может служить единицей времени. Например, вращение Земли вокруг своей оси — периодический процесс. Поэтому еще с древнейших времен за единицу времени принимались сутки — продолжительность одного полного оборота Земли вокруг своей оси. Затем сутки разделили на равные доли, получив такие единицы времени, как час (ч), минута (мин), секунда (с). Час — это  $1/24$  часть суток, минута —  $1/60$  часть часа, а секунда —  $1/60$  часть минуты.

Устанавливая эти единицы, люди считали, что продолжительность полного оборота Земли вокруг ее оси всегда одинакова. Однако измерения, проведенные учеными с помощью современных приборов, показали, что это не совсем так. Зато периодические процессы в микромире оказались более стабильными. Поэтому для большей точности измерения времени был создан эталон\*, основанный на периодических процессах, происходящих внутри атома (рис. 1.33). С помощью атомного эталона воспроизводят *единицу времени в СИ — секунду (с)*.

Самым распространенным прибором для измерения времени являются *часы*. Часы могут отличаться и конструкцией, и точностью измерений (рис. 1.34), однако их действие всегда основано на одном из периодических процессов.

### ! ПОДВОДИМ ИТОГИ

Вся доступная для наблюдения часть материального мира называется Вселенной. Все объекты во Вселенной разделяются на микро-



Рис. 1.34. Разные виды приборов для измерения времени

\* Эталон — это тело или устройство для хранения и воспроизведения единицы физической величины.

макро- и мегамир: микромиром называют мир атомов и мельчайших частиц, из которых они состоят; к макромиру относится мир планет и физических тел, которые окружают человека, а также сам человек; мегамиром называют мир звезд, звездных скоплений — галактик, а также других подобных объектов.

Мир, который нас окружает, существует в пространстве и во времени.

Измерение времени вызвано необходимостью получить ответ на два вопроса: «Как долго определенное событие происходило?» и «Когда это событие происходило?». Ответ на эти вопросы позволяет определить продолжительность и последовательность событий.

За единицу времени принимают продолжительность того или иного периодического процесса. В СИ в качестве единицы времени используется секунда.



### Контрольные вопросы

1. Какие объекты во Вселенной относятся к мегамиру, макромиру и микромиру?
2. Чем отличаются понятия «продолжительность событий» и «последовательность событий»?
3. Какой процесс называют периодическим?
4. Приведите примеры процессов, продолжительность которых могла бы служить единицей времени.
5. Какие единицы времени вы знаете?



### Упражнения

1. Промежуток времени между двумя полнолуниями составляет 29,5 суток. Выразите его значение в других единицах (часах, минутах, секундах).
2. На решение задачи по физике Диме понадобилось 0,15 часа, а его другу Денису — 540 с. Кто из мальчиков быстрее справился с задачей?

### Физика и техника в Украине



#### Национальный научный центр «Институт метрологии» (Харьков)

Метрология — это наука о разнообразных измерениях: как их производить, с помощью каких приборов, как достичь соответствующей точности. Без метрологии сегодня невозможно проведение научных исследований, вообще научный прогресс.

Материальной базой всех современных измерений являются соответствующие эталоны, которые есть в каждом развитом государстве. Большинство украинских государственных эталонов (около 40 единиц) создано и хранится в Национальном научном центре «Институт метрологии» в Харькове. В частности, это эталоны длины, массы, температуры, времени (см. рисунок), уровня радиации и другие. Вспомните, что радиостанции транслируют сигнал «Сверьте ваши часы». Точность этого сигнала проверяется именно в Институте метрологии.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3



**Тема.** Измерение времени.

**Цель:** ознакомиться с принципом работы метронома, секундомера; научиться измерять промежутки времени с помощью различных физических приборов.

**Оборудование:** метроном, секундомер, часы с секундной стрелкой, стеклянная трубка длиной 25—30 см и диаметром 7—8 мм, пластилин.

### Теоретические сведения

**Метроном** (рис. 1) (от греческих слов *metron* — «мера» и *nomos* — «закон») — прибор для отсчета отрезков времени на слух. Применяется для соблюдения точного темпа при исполнении музыкальных произведений, а также в лабораторных опытах. Метроном состоит из корпуса пирамидальной формы со шкалой (1), пружинного часового механизма и маятника (2) с подвижным грузом (3).

Колебания маятника метронома сопровождаются равномерным постукиванием. Число колебаний маятника в единицу времени зависит от местоположения груза. Чтобы добиться необходимого количества ударов в минуту, груз фиксируют напротив соответствующей цифры на шкале.

Механический **секундомер** (рис. 2) — прибор для измерения промежутков времени продолжительностью от долей секунды до долей часа. Секундомер состоит из часового механизма и механизма управления стрелками — секундной (1) и минутной (2), с помощью которого осуществляются пуск, остановка прибора и возвращение стрелок в нулевое положение.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

1. Настройте метроном на 120 ударов в минуту.
2. Определите цену деления шкал часов и секундомера. Результаты измерений занесите

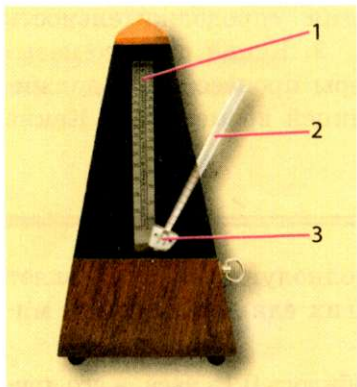


Рис. 1

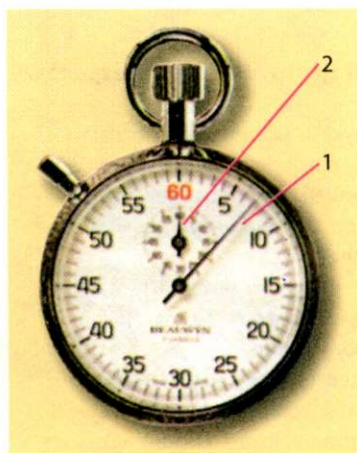


Рис. 2

в таблицу. (Цена деления метронома, настроенного на 120 ударов в минуту, составляет  $60 \text{ с} : 120 = 0,5 \text{ с}$ ).

- Закройте один конец стеклянной трубки пластилином. Наполните ее водой так, чтобы в трубке осталось немного воздуха. Закройте пластилином второй конец трубки и положите ее на стол. Слегка постучав по трубке, добейтесь, чтобы пузырек воздуха отделился от пластилина. Затем поднимите один конец трубки и положите его на тонкую тетрадь. Пузырек начнет медленно перемещаться вверх до тех пор, пока не достигнет противоположного конца трубки. Чтобы вернуть пузырек в исходное положение, поднимите конец трубки, лежащий на столе.

### Эксперимент

- Проверьте свое «чувство времени». Для этого, не пользуясь измерительными приборами, оцените время перемещения пузырька воздуха от конца трубки, который лежит на столе, до конца трубки, лежащего на тетради.
- Измерьте время движения пузырька с помощью:
  - часов;
  - метронома;
  - секундомера.
 Каждый опыт повторите трижды. Результаты всех измерений сразу же занесите в таблицу.
- Завершите заполнение таблицы.

Средство измерения	Цена деления	Время $t$ , с			
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{\text{ср}}$
Часы					
Метроном					
Секундомер					

### Анализ результатов эксперимента

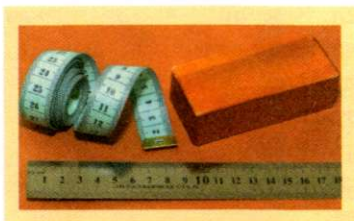
- Проанализировав условия проведения эксперимента, сравните полученные результаты и выясните:
  - каким из предложенных приборов целесообразнее пользоваться;
  - с какой целью каждый опыт повторялся трижды;
  - какие условия проведения эксперимента приводили к погрешностям;
  - как можно усовершенствовать технику проведения эксперимента.
- Сделайте вывод, в котором укажите, что вы измеряли, какой результат получили.

### Дополнительное задание

Определите один из показателей деятельности вашего сердца — количество ударов пульса в минуту. (Справка: для детей в возрасте 11—15 лет в спокойном состоянии нормой считается частота пульса 70—80 ударов в минуту.)



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



**Тема.** Измерение линейных размеров тела и площади их поверхности.

**Цель:** измерить линейные размеры бруска с помощью разных средств измерения, научиться определять площадь плоских фигур правильной и неправильной формы.

**Оборудование:** мерная лента, ученическая линейка, брусок деревянный, лист бумаги в клетку.

### Теоретические сведения

1. Каждое физическое тело обладает свойством занимать определенную часть пространства, то есть иметь некоторую **протяженность**.

К физическим величинам, которые являются мерой этого свойства тела, относят, прежде всего, **линейные размеры тела** — длину ( $l$ ), высоту ( $h$ ) и ширину ( $d$ ). Поскольку длина, высота, ширина — это физические величины, их можно измерять, то есть сравнивать с однородной величиной, принятой за единицу.

*За единицу длины (высоты или ширины) в Международной системе единиц (СИ) принят метр (м).*

Площадь поверхности тела также является физической величиной. *Единицей площади в СИ является квадратный метр ( $\text{м}^2$ ).*

*Напоминаем:* квадратный метр равен площади квадрата со стороной 1 метр.

2. Площади плоских фигур правильной геометрической формы, например прямоугольников, треугольников, кругов, обычно определяют с помощью *косвенных измерений*. Сначала измеряют линейные размеры фигур (длину, высоту, ширину, радиус), а потом вычисляют площадь, пользуясь соответствующими математическими формулами. Так, чтобы определить площадь прямоугольника, надо умножить длину прямоугольника  $l$  на его ширину  $d$  (рис. 1):  $S = l \cdot d$ .

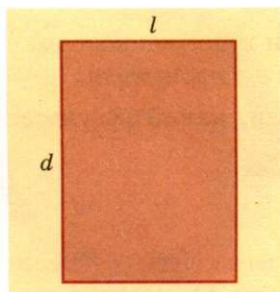


Рис. 1

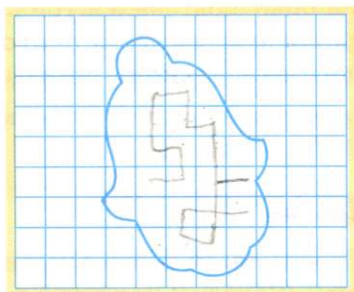


Рис. 2

$$\begin{aligned}
 1 \text{ м}^2 &= 100 \text{ дм}^2 = \\
 &= 10\,000 \text{ см}^2 = \\
 &= 1\,000\,000 \text{ мм}^2 = \\
 &= 0,000001 \text{ км}^2.
 \end{aligned}$$

3. Если фигура имеет неправильную геометрическую форму, то ее площадь можно определить, начертив контур этой фигуры на бумаге в клеточку или с помощью *палетки*\*. В этом случае площадь фигуры вычисляют по формуле

$$S = \left( n + \frac{1}{2}k \right) \cdot C,$$

где  $n$  — количество целых квадратиков;  $k$  — количество нецелых квадратиков,  $C$  — площадь одного квадратика. Например, площадь фигуры на рис. 2 равна

$$S = \left( 17 + \frac{1}{2}22 \right) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 700 \text{ мм}^2.$$

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

### Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к измерениям, вспомните:
  - как определить цену деления шкалы;
  - как правильно снимать показания прибора.
- Определите и запишите цену деления шкал мерной ленты и линейки.
- Вычислите площадь, которую занимает одна клеточка на странице вашей тетради.

### Эксперимент

- С помощью мерной ленты определите длину  $l$ , ширину  $d$  и высоту  $h$  бруска.
- Повторите все измерения, используя линейку.
- Пользуясь полученными данными, вычислите площадь поверхности большей грани бруска.
- Результаты всех измерений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Средство измерения	Цена деления шкалы	Длина бруска $l$ , см	Ширина бруска $d$ , см	Высота бруска $h$ , см	Площадь грани $S$	
					см <sup>2</sup>	мм <sup>2</sup>
Мерная лента						
Линейка						

- Положите брусок большей гранью на страницу тетради и аккуратно обведите его карандашом.
- Подсчитайте количество целых  $n$  и нецелых  $k$  квадратиков внутри контура.

\* Палетка (от фр. *palette* — «пластинка») — прозрачная пластинка с нанесенной на нее сеткой квадратов определенной площади.



7. Вычислите площадь грани бруска.
8. Результаты вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

Объект измерения	Площадь одного квадрата, см <sup>2</sup>	Количество квадратов		Площадь грани S	
		целых (n)	нецелых (k)	мм <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>
Большая грань бруска					

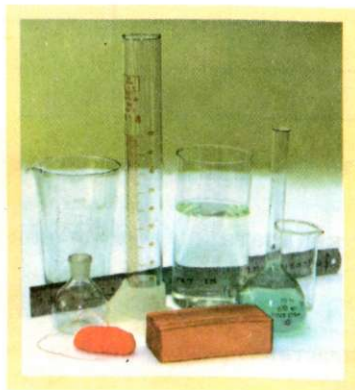
### Анализ результатов эксперимента

1. Сравните результаты измерений линейных размеров бруска (табл. 1) и выясните, каким из имеющихся у вас приборов целесообразнее проводить такие измерения и почему.
2. Проанализировав различные способы определения площади фигуры сравните результаты измерений (табл. 1 и 2) и укажите:
  - а) в каких случаях следует применять тот или иной способ;
  - б) какой из способов определения площади фигуры является наиболее точным;
  - в) как повысить точность измерений, которые проводятся с помощью плитки.
3. Сделайте вывод, в котором укажите, что именно вы измеряли, для чего вам могут пригодиться навыки, полученные при выполнении этой работы.

### Дополнительное задание

Определите площадь вашей ладони и сравните ее с площадью ладонь одного из членов вашей семьи.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5



**Тема.** Измерение объемов твердых тел, жидкостей и газов.

**Цель:** научиться определять объемы жидкостей, твердых тел (правильной и неправильной формы) и газов.

**Оборудование:** мерный цилиндр или мензурка, линейка, сосуд с водой, тело неправильной формы, тело, имеющее форму прямоугольного параллелепипеда, небольшая колба, стакан.

### Теоретические сведения

1. **Объем** — это физическая величина, которая характеризует свойство тел занимать ту или иную часть пространства. *Единицей объема в международной системе единиц (СИ) является кубический метр ( $\text{м}^3$ ).*

*Напоминаем:* кубический метр равен объему куба с ребром 1 м.

2. Объем жидкости и газа измеряют с помощью *мерного цилиндра* (рис. 1, а), или *мензурки*.

Для измерения объема жидкости с помощью мерного цилиндра (мензурки) необходимо:

а) перелить жидкость в мерный сосуд (она приобретет форму сосуда, а ее верхняя граница будет находиться на определенной высоте в зависимости от объема);

б) определить пометку шкалы, напротив которой расположена верхняя граница столба жидкости (рис. 1, б);

в) зная цену деления шкалы, вычислить объем жидкости.

*Измерение объема газа с помощью мерного цилиндра (мензурки) основано на свойстве газа занимать весь имеющийся объем. Поэтому, чтобы определить объем воздуха, который содержится в сосуде, необходимо выяснить, чему равен объем его внутренней части, то есть вместимость сосуда.*

Для измерения *вместимости сосуда* необходимо:

- а) заполнить сосуд водой и перелить ее в мерный цилиндр (мензурку);
- б) определить объем перелитой воды.

Измеренное значение объема воды будет равно объему воздуха, который содержится в сосуде.

Для определения *объема твердого тела* с помощью мерного сосуда необходимо:

- а) налить в мерный цилиндр (мензурку) воду объемом  $V_1$  так, чтобы в нее можно было погрузить тело и вода не переливалась через край;
- б) погрузить в воду тело и измерить общий объем воды вместе с телом  $V_2$ ;

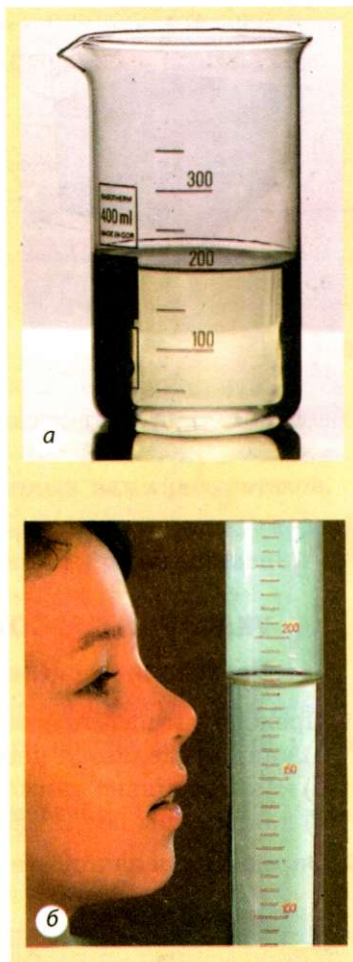


Рис. 1

$$\begin{aligned}
 1 \text{ м}^3 &= 1000 \text{ дм}^3 = \\
 &= 1\,000\,000 \text{ см}^3 = \\
 &= 1\,000\,000\,000 \text{ мм}^3 = \\
 &= 0,000000001 \text{ км}^3.
 \end{aligned}$$



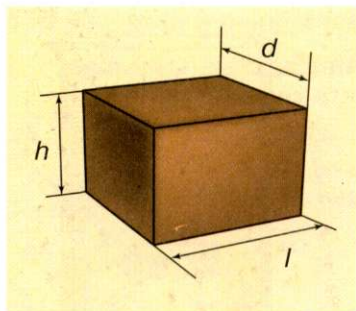


Рис. 2

в) вычислить объем вытесненной телом воды как разность измерений до и после погружения:  $V = V_2 - V_1$ .

Полученное значение будет равно объему твердого тела, так как тело вытесняет ровно столько жидкости, сколько оно занимает места в пространстве.

3. Если тело имеет правильную геометрическую форму, то, измерив линейные размеры, можно определить его объем с помощью соответствующих математических формул. Например, объем тела, которое имеет форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 2), вычисляется по формуле:

$$V = ldh,$$

где  $l$  — длина тела;  $d$  — ширина тела;  $h$  — высота тела.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

- Прежде чем начать измерения, вспомните:
  - как определяется цена деления шкалы средства измерения;
  - как правильно снимать показания мерного цилиндра;
  - какие меры безопасности надо соблюдать при работе с мензуркой.
- Определите и запишите цену деления шкал линейки и мерного цилиндра.

#### Эксперимент

Результаты всех измерений сразу же заносите в таблицу.

- Измерьте объем тела неправильной геометрической формы с помощью мерного цилиндра.
- Определите объем тела правильной геометрической формы.

Наименование тела	Начальный объем воды $V_1$ , см <sup>3</sup>	Объем воды и тела $V_2$ , см <sup>3</sup>	Объем тела $V$	
			см <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>
Тело правильной геометрической формы				
Тело неправильной геометрической формы				

- Определите объем тела правильной геометрической формы с помощью линейки.

Длина тела $l$ , см	Ширина тела $d$ , см	Высота тела $h$ , см	Объем тела $V$ , см <sup>3</sup>

4. Измерьте объем воздуха, который содержится в колбе и других сосудах, находящихся на вашем столе.

Номер опыта	Название сосуда	Объем жидкости, см <sup>3</sup>	Объем воздуха, см <sup>3</sup>
1			
2			
<del>3</del>			

### Анализ результатов эксперимента

- Проанализировав различные способы измерения объема, укажите:
  - какой из способов определения объема твердого тела является более универсальным и почему;
  - какие факторы повлияли на точность полученных вами результатов.
- Сделайте вывод, в котором укажите, что именно вы научились измерять и для чего могут пригодиться навыки, полученные при выполнении работы.

### Дополнительное задание

Предложите способы измерения объема тела неправильной формы, если:

- его объем меньше, чем цена деления мерного сосуда, который у вас имеется;
- тело не помещается в сосуд, который у вас имеется.

*надо сжать*

## § 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

■ Почему Луна движется вокруг Земли, а не улетает в космическое пространство? Какое тело называется заряженным? Как взаимодействуют друг с другом заряженные тела? Часто ли мы сталкиваемся с электромагнитным взаимодействием?

Это только часть вопросов, с которыми нам предстоит разобраться в этом параграфе. Приступим!

1

### Убеждаемся, что тела взаимодействуют

В повседневной жизни мы постоянно встречаемся с различными видами воздействий одних тел на другие. Чтобы открыть дверь, нужно «подействовать» на нее рукой, от воздействия ноги мяч летит в ворота, даже присаживаясь на стул, вы действуете на него (рис. 1.35, с. 38).

В то же время, открывая дверь, мы ощущаем ее воздействие на нашу руку, действие мяча на ногу особенно ощутимо, если вы играете в футбол босиком, а действие стула не позволяет нам упасть на пол. То есть действие





Рис. 1.35. Примеры взаимодействия тел

*всегда является взаимодействием: если одно тело действует на другое, то и другое тело действует на первое.*

Можно наглядно убедиться в том, что действие не бывает односторонним. Проведите не сложный эксперимент: стоя на коньках, слегка толкните своего товарища. В результате начнете двигаться не только ваш товарищ, но и вы сами.

Эти примеры подтверждают вывод ученых о том, что в природе мы всегда имеем дело с взаимодействием, а не с односторонним действием.

Рассмотрим более подробно некоторые виды взаимодействий.

## 2 Вспоминаем о гравитационном взаимодействии

Почему любой предмет, будь то карандаш, выпущенный из руки, лист дерева или капля дождя, падает, движется вниз (рис. 1.36)? Почему стрела, выпущенная из лука, не летит прямо, а в конце концов падает на землю? Почему Луна движется вокруг Земли? Причина всех этих явлений заключается в том, что Земля притягивает к себе другие тела, а эти тела также притягивают к себе Землю. Например, притяжение Луны вызывает на Земле приливы (рис. 1.37). Наша планета и все другие планеты Солнечной системы притягиваются к Солнцу и друг к другу.

В 1687 году выдающийся английский физик Исаак Ньютон (рис. 1.38) сформулировал закон, согласно которому между всеми телами во Вселенной существует взаимное



Рис. 1.36. Капли дождя падают вниз под действием притяжения Земли

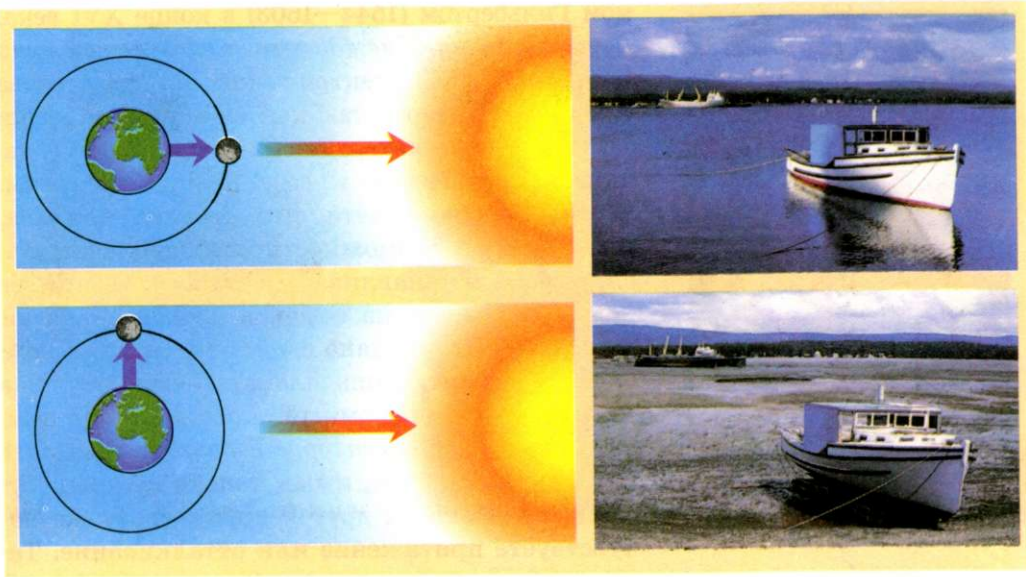


Рис. 1.37. Приливы являются следствием притяжения Луны

притяжение. Такое *взаимное притяжение материальных объектов называют гравитационным взаимодействием*. Опираясь на опыты и математические расчеты, Ньютон установил, что *интенсивность гравитационного взаимодействия увеличивается с увеличением масс взаимодействующих тел*. Именно поэтому легко убедиться в том, что нас с вами притягивает Земля, но мы совершенно не чувствуем притяжения нашего соседа по парте.

### 3 Знакомимся с электромагнитным взаимодействием

Существуют и другие виды взаимодействий. Например, если потереть воздушный шарик кусочком шелка, он начнет притягивать к себе различные легкие предметы: ворсинки, зернышки риса, листочки бумаги (рис. 1.39). Про такой шарик говорят, что он *наэлектризован*, или *заряжен*.

*Заряженные тела взаимодействуют между собой*, но характер их взаимодействия может быть разным: они либо *притягиваются*, либо *отталкиваются* друг от друга (рис. 1.40). Впервые серьезные исследования этого явления были проведены английским ученым Уилья-

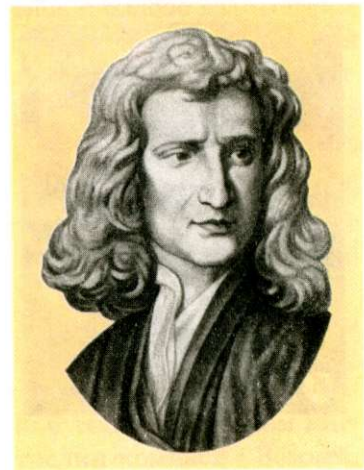
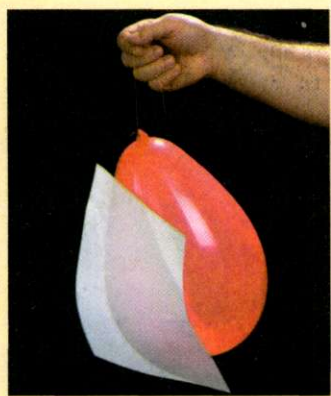
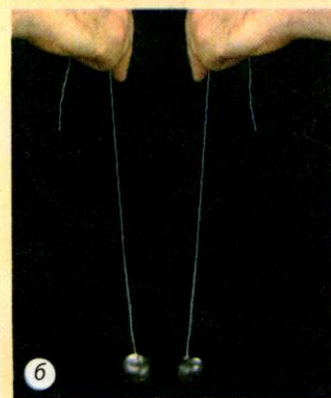


Рис. 1.38. Известный английский ученый Исаак Ньютон (1643—1727)





**Рис. 1.39.** Наэлектризованный шарик притягивает к себе лист бумаги



**Рис. 1.40.** Два заряженных шарика взаимодействуют между собой:  
а — притягиваются;  
б — отталкиваются

мом Гильбертом (1544—1603) в конце XVI века. *Взаимодействие между заряженными телами* Гильберт назвал **электрическим** (от греч. слова *elektron* — янтарь), так как еще древние греки заметили, что янтарь, если его потереть, начинает притягивать к себе иелкие предметы.

Вы хорошо знаете, что стрелка компаса, если дать ей возможность свободно вращаться, всегда останавливается так, что один ее конец указывает на север, а другой — на юг (рис. 1.41). Это связано с тем, что стрелка компаса — магнит, наша планета Земля — тоже магнит, причем огромный, а *два магнита всегда взаимодействуют друг с другом*. Возьмите два любых магнита, и как только вы попытаете приблизить их друг к другу, сразу же почувствуете притяжение или отталкивание. Такое взаимодействие называется **магнитным**.

Физики установили, что законы, описывающие электрические и магнитные взаимодействия, едины. Поэтому в науке принято говорить о **едином электромагнитном взаимодействии**.

С электромагнитными взаимодействиями мы встречаемся буквально на каждом шагу — ведь при ходьбе мы взаимодействуем с покрытием дороги (отталкиваемся), и природа этого взаимодействия электромагнитная. Благодаря электромагнитным взаимодействиям мы двигаемся, сидим, пишем. Видим, слышим, обоняем и осязаем мы также с помощью электромагнитного взаимодействия (рис. 1.42). Действие большинства современных приборов и бытовой техники основано на электромагнитном взаимодействии.

Скажем больше: существование физических тел, в том числе и нас с вами, было бы невозможно без электромагнитного взаимодействия. Но как со всем этим связано взаимодействие заряженных шариков и магнитов? — спросите вы. Не спешите: изучая физику, вы обязательно убедитесь, что эта связь существует.

**4**

**Сталкиваемся с нерешенными проблемами**

Наше описание окажется неполным, если мы не упомянем еще два вида взаимодействий, которые были открыты только в середи



Рис. 1.41. Стрелка компаса всегда ориентирована на север



Рис. 1.42. Видим, слышим, понимаем благодаря электромагнитному взаимодействию

не прошлого века. Они называются **сильное** и **слабое взаимодействия** и действуют только в пределах микромира. Таким образом, *существуют четыре различных вида взаимодействий*. Не много ли? Конечно, было бы гораздо удобнее иметь дело с единым универсальным видом взаимодействия. Тем более, что пример объединения различных взаимодействий — электрического и магнитного — в единое электромагнитное уже имеется.

На протяжении многих десятилетий ученые пытаются создать теорию такого объединения. Некоторые шаги уже сделаны. В 60-х годах XX века удалось создать теорию так называемого электрослабого взаимодействия, в рамках которой были объединены электромагнитное и слабое взаимодействия. Но до полного («великого») объединения всех видов взаимодействия еще далеко. Поэтому у каждого из вас есть шанс совершить научное открытие мирового значения!



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Взаимодействием в физике называется действие тел или частиц друг на друга. Мы коротко охарактеризовали два вида взаимодействия из четырех, известных науке: гравитационное и электромагнитное.

Притяжение тел к Земле, планет к Солнцу и наоборот — это примеры проявления гравитационного взаимодействия.

Примером электрического взаимодействия является взаимодействие наэлектризованного воздушного шарика с листочками бумаги. Примером магнитного взаимодействия служит взаимодействие стрелки компаса с Землей, которая также является магнитом, в результате чего один конец стрелки всегда указывает на север, а второй — на юг.

Электрическое и магнитное взаимодействия — это проявления единого электромагнитного взаимодействия.





### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры взаимодействия тел. 2. Какие виды взаимодействий существуют в природе? 3. Приведите примеры гравитационного взаимодействия. 4. Кто открыл закон, согласно которому между всеми телами во Вселенной существует взаимное притяжение? 5. Приведите примеры электромагнитного взаимодействия.



### Упражнение

Напишите короткое сочинение на тему «Мой опыт, подтверждающий взаимодействие тел» (это могут быть даже стихи!).

### Физика и техника в Украине



Значительную часть своей короткой жизни **Лев Васильевич Шубников** (1901—1945) прожил в Харькове, где возглавлял лабораторию низких температур. Уровень точности многих измерений в лаборатории не уступал современному. В лаборатории в 30-х годах были получены кислород, азот и другие газы в жидком состоянии. Шубников был родоначальником исследования металлов в так называемом сверхпроводимом состоянии, когда электрическое сопротивление материалу равно нулю. Наивысшая награда для ученого — это когда для названия открытого им явления используют вместо технического термина фамилию самого ученого. «Эффект Шубникова—де Гааза»; «фаза Шубникова»; «метод Обреимова—Шубникова» — это лишь несколько примеров вклада известного украинского ученого в строительство современной физики.

## § 7. СИЛА — МЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ЭНЕРГИЯ

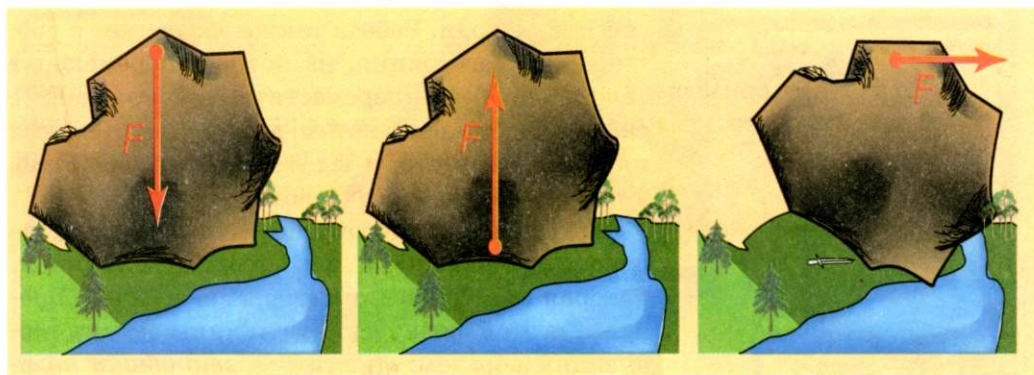
■ Первоначальный смысл слова «сила» и образованных от него понятий «силач», «сильный» был связан с возможностями человека, с его мускульными усилиями. Согласно древнегреческому мифу, герой Тесея для доказательства своей силы должен был сдвинуть громадную каменную глыбу и достать из-под нее отцовский меч. А какие содержания вкладывают физики в понятие «сила»?



### Вспоминаем понятие «сила»

Понятие «сила» неразрывно связано со взаимодействием физических тел. Чтобы сдвинуть каменную глыбу, Тесею пришлось взаимодействовать с ней. Наши руки взаимодействуют со стулом, который необходимо передвинуть. В момент прыжка наши ноги взаимодействуют с землей.





**Рис. 1.43.** Тесею пытались достать меч своего отца из-под скалы разными способами. Для каждого из них на схеме обозначены направление и точка приложения силы

Обратите внимание на то, что в каждом из приведенных примеров результат будет различным в зависимости от того, насколько сильным было то или иное взаимодействие. Так, семикласснику ничего не стоит передвинуть стул, а для малыша-дошкольника эта задача может оказаться непосильной. Подъемный кран играючи поднял бы глыбу, которую Тесею едва сдвинул с места. Чем выше вы стремитесь прыгнуть, тем сильнее надо оттолкнуться. Из этих примеров становится очевидным, что взаимодействие тел следует определить количественно.

Физическая величина, с помощью которой количественно определяют взаимодействие тел, называется **силой**.

Иными словами, сила — это количественная мера взаимодействия тел. Силу обозначают символом  $F$ . Единицей силы в СИ является **ньютон (1 Н)**.

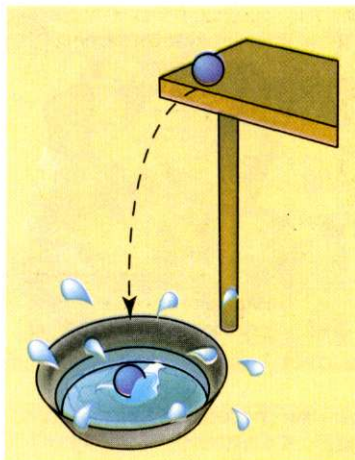
Чтобы охарактеризовать силу, необходимо указать не только численное значение этой силы, но также направление силы и точку ее приложения. Одна и та же по значению сила может привести к совершенно разным результатам в зависимости от направления ее действия (рис. 1.43). Каким бы ни был силачом легендарный Тесею, он не смог бы сдвинуть глыбу с места, если бы давил на нее сверху вниз. Вероятно, ему не хватило бы сил и для того, чтобы поднять камень (направление силы снизу вверх). Но той же силы, приложенной в горизонтальном направлении, оказалось достаточно, чтобы извлечь из тайника отцовский меч.

2

## Выясняем, что означают понятия «работа» и «энергия» для физиков

Тесно связана с силой еще одна физическая величина, которая называется **работой**. В широком значении понятие «работа» включает многие виды человеческой деятельности, например расчеты на компьютере, которые практически не требуют мышечных усилий. В естествознании же понятие «работа» употребляют в том случае, когда происходит перемещение тела под действием силы. Кран на стройке совершает работу, поднимая кирпичи, причем чем больший груз требуется поднять, тем большую работу





**Рис. 1. 44.** Шарик, упав в воду, разбрызгал ее. В таких случаях говорят, что шарик совершил работу

совершает кран. Работа также возрастает с увеличением расстояния, на которое перемещают тело. Попробуйте переместить стул по комнате сначала один раз, потом десять, а затем раз пятьдесят или сто, и вы немедленно убедитесь в правильности этого вывода.

Здесь вам предстоит познакомиться с еще одной очень важной физической величиной, которая носит название «энергия». Общее определение этой физической величины звучит следующим образом: **энергия** — это общая количественная мера движения и взаимодействия различных видов материи.

В отношении физических тел мы с вами будем пользоваться такой формулировкой:

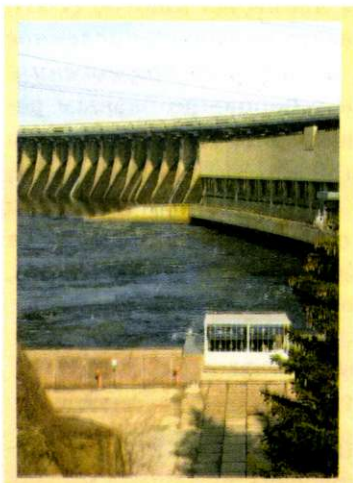
Физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу, называется **энергией тела**.

Обычно энергию обозначают символом  $W$  и измеряют в джоулях (1 Дж).

Способность тел совершать работу можно продемонстрировать на следующем примере. Поместим маленький шарик на край стола, а на полу под ним поставим небольшую емкость с водой (рис. 1.44). Если столкнуть шарик с края стола, то он полетит вниз, упадет в воду и разбрызгает часть жидкости. Появление брызг означает, что шарик совершил определенную работу. Если же шарик не трогать, он останется неподвижно лежать на столе. Таким образом, энергия шарика может быть реализована путем совершения работы при его падении или сохранится «до лучших времен».

### 3 Узнаем о превращении одних видов энергии в другие

Вы, безусловно, знакомы с понятиями «тепловая энергия»\* и «электрическая энергия». Но, оказывается, существуют еще и «механическая энергия», «химическая энергия», «энергия



**Рис. 1. 45.** На гидроэлектростанциях падающая вода (механическая энергия) вращает турбины, которые вырабатывают электрическую энергию

\* В этом разделе мы употребили понятие «тепловая энергия» вместо обычно используемого физиками «внутренняя энергия». Это сделано осознанно, чтобы подчеркнуть связь внутренней энергии с температурой.



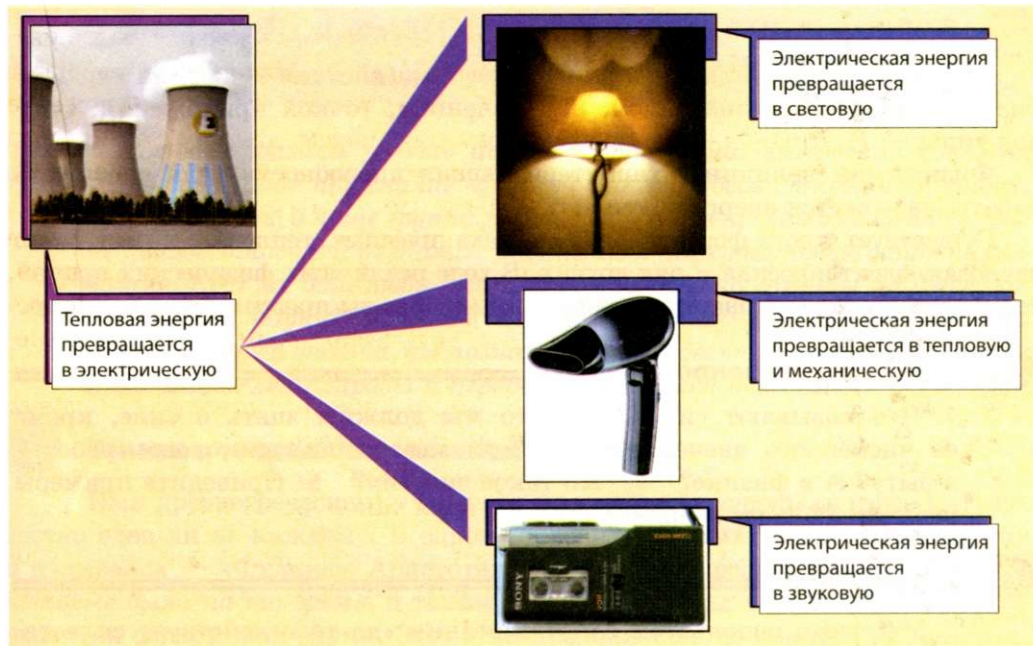


Рис. 1.46. Некоторые примеры преобразования энергии в промышленности и бытовых приборах

света» и другие формы энергии. Различные формы энергии могут превращаться одна в другую (рис. 1.44). Так, механическая энергия падающего шарика превратилась в механическую энергию разлетающихся брызг воды. Однако точные измерения температуры установят, что вода в емкости при падении в нее шарика немного нагрелась. Значит, механическая энергия шарика частично превратилась в механическую энергию брызг, а частично — в тепловую энергию воды.

*Преращения энергии вы осуществляете ежедневно, часто даже не подозревая об этом* (рис. 1.46). Так, при включении магнитофона часть электрической энергии преобразуется в звуковую энергию. Включая лампочку, мы даем возможность электрической энергии превратиться в световую и тепловую. В этом случае преобразование в световую энергию очевидно, а для проверки того, что электрическая энергия превратилась в тепловую, достаточно приблизить ладонь к лампочке — и вы сразу же почувствуете тепло.

Преобразование электрической энергии в тепловую в лампочке — «побочный» и даже вредный эффект. Однако нередко электрическую энергию преобразуют в тепловую целенаправленно, создавая для этого специальные устройства. Это всем известный электрический чайник, утюг, электрокамин, нагревательный элемент автоматической стиральной машины и другие бытовые устройства. Преобразование электрической энергии в тепловую используется и в промышленности — например, для плавки металлов.

Чтобы у вас не возникло ошибочное впечатление, что только электрическая энергия может превращаться в другие формы энергии, укажем и на противоположные процессы. Например, на гидроэлектростанциях механическая энергия падающей воды превращается в электрическую (рис. 1.45).



## ПОДВОДИМ ИТОГИ

Сила — это количественная мера взаимодействия тел. Сила характеризуется численным значением, направлением, точкой приложения. Символ силы —  $F$ .

Физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу, называется энергией тела ( $W$ ).

Существует много форм энергии — механическая, тепловая, химическая, звуковая, электрическая и ряд других. В ходе различных физических процессов и взаимодействий энергия может из одной формы превращаться в другие.

## Контрольные вопросы

1. Что называют силой?
2. Что мы должны знать о силе, кроме ее численного значения?
3. Когда мы используем слово «работа» в быту? А в физике?
4. Что такое энергия?
5. Приведите примеры различных форм энергии.

## Упражнения

1. Мы часто используем словосочетания «на тело действует сила тяжести» или «движению автомобиля мешает сила сопротивления воздуха», хотя, с точки зрения физики, правильнее было бы сказать: «на тело действует Земля, ее действие характеризуется силой тяжести» и «движению автомобиля мешает воздух, действие которого характеризуется силой сопротивления воздуха». Попробуйте привести аналогичные примеры.
2. Подберите пословицы и поговорки, в которых встречаются слова «сила», «энергия», «работа». Бытовой или физический смысл заложен в этих понятиях?
3. Какие превращения энергии происходят во время работы вентилятора?

### Физика и техника в Украине



#### Производственное объединение «Южмаш» и конструкторское бюро «Южное»

В начале 50-х годов прошлого столетия крупный автомобильный завод в Днепропетровске был переоборудован в завод по производству космических ракет и создано конструкторское бюро (КБ) для их разработки. С этого времени КБ «Южное» и завод «Южмаш» определяют мировую уровень многих направлений и достижений в ракетно-космической науке и технике. Конструкторами КБ «Южное» разработано 67 типов космических аппаратов и 12 космических комплексов. В последнее время КБ «Южное» и «Южмаш»

создали самый совершенный в мировой ракетно-космической технике по конструктивному исполнению и автоматизацией подготовки к пуску комплекс «Зенит». А всего в сотрудничестве с «Южмашем» было изготовлено и выведено на орбиту более 400 космических аппаратов.



## § 8. ТВОРЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ. ВКЛАД УКРАИНСКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ

■ *История физики — это история открытий, каждое из которых углубляет наше понимание природы. Но за любым открытием стоит живой человек, а чаще группа людей, чьи усилия пробивают брешь в стене неизвестности и незнания, поднимают науку на новую ступень развития. Кто же эти люди, чьи имена неразрывно связаны с прогрессом физической науки? Здесь мы назовем лишь немногих, но, продолжая изучение курса физики, вы познакомитесь с десятками прославленных исследователей природы и первооткрывателей неведомого.*

### 1 Узнаем о творцах классической физики

Имя древнегреческого ученого и философа *Аристотеля* (рис. 1.47) известно едва ли не каждому. В одном из своих главных трудов, который так и назывался — «Физика», Аристотель *систематизировал знания о природе, которые были на то время*, и таким образом положил начало первому этапу развития физической науки. Этот этап продолжался до конца XVI столетия.

Нельзя не назвать еще одного греческого мыслителя и инженера — *Архимеда* (рис. 1.48). Он вошел в историю науки как автор закона, названного его именем. Об этом ученом сохранилось немало легенд. Согласно одной из них, толчком к открытию «закона Архимеда» стала необходимость решить задачу, поставленную перед Архимедом царем города Сиракузы Гиероном. Речь шла о том, чтобы выяснить содержание золота и серебра в сплаве, из которого была изготовлена корона царя. Еще одна легенда приписывает



Рис. 1.47. Аристотель  
(384—322 гг. до н. э.)



Рис. 1.48. Архимед  
(ок. 287—212 гг. до н. э.)

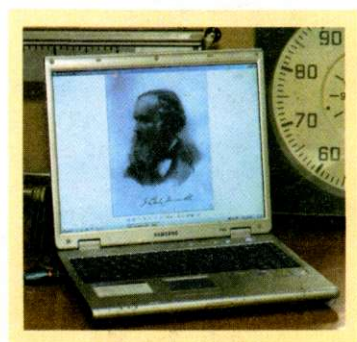




**Рис. 1.49.** Открытия Архимеда являются основой для многих современных механизмов. Например, рычаги и блоки широко применяются в подъемных кранах



**Рис. 1.50.** Галилео Галилей (1564—1642)



**Рис. 1.51.** Работа всех современных электротехнических устройств и приборов основана на уравнениях Дж. Максвелла (1831—1879)

древнегреческому ученому и создателю сложных механизмов изречение: «Дайте мне точку опоры, и я переверну мир» (рис. 1.49).

Второй этап развития физики открывают труды *Галилео Галилея* (рис. 1.50) — великого итальянского физика и астронома, впервые применившего *экспериментальный метод* в науке. Свое первое крупное открытие ученый совершил в возрасте 19 лет. Наблюдая в храме за колебаниями подвешенной на цепи лампы и сравнивая их с частотой биения собственного пульса, он установил, что период колебаний лампы не зависит от их амплитуды. Это открытие позднее легло в основу конструкции механических часов.

Существует мнение, что большие открытия, формулировки новых законов — это результат работы маститых ученых, людей почтенного возраста. В действительности, как свидетельствует история науки, дело обстоит иначе: открытия часто совершаются совсем молодыми людьми. Так, уже в 25 лет Галилей стал профессором Пизанского университета, а спустя короткое время вывел законы свободного падения тел. Еще одним подтверждением может служить жизнь последователя Галилея *Исаака Ньютона* — гениального английского физика и математика, сформулировавшего три основных закона движения. Одно из величайших открытий за всю историю физики — *закон всемирного тяготения* — Ньютон сделал в возрасте 24 лет.

Невозможно представить современную жизнь без электричества. Но знаете ли вы, что теоретической основой всей электротехники и радиосвязи служат четыре знаменитых уравнения *Джеймса Клерка Максвелла* (рис. 1.51)? Свои первые исследования юный физик опубликовал, когда ему едва исполнилось 15 лет. А в 33 года Максвелл завершил один из важнейших трудов, в котором изложил основные понятия теории электромагнетизма.

Вплоть до начала XIX века ответ официальной науки на вопрос, чем отличается холодный суп от горячего, звучал примерно так: горячий суп содержит больше теплорода, чем холодный.





**Рис. 1.52.** Л. Больцман (1844—1906)



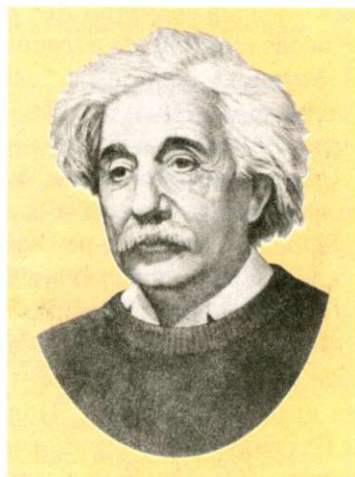
**Рис. 1.53.** Работа двигателей внутреннего сгорания, турбин самолетов основана на законах термодинамики, в открытии которых огромная роль принадлежит Л. Больцману

Звучит загадочно и ничего не объясняет. Но благодаря усилиям группы ученых того времени удалось пролить свет на природу тепловых явлений и объяснить процессы превращения тепла. Таким образом была создана теоретическая база для современных тепловых двигателей. Законченный вид этим теоретическим исследованиям придал в своих трудах *Людвиг Больцман* (рис. 1.52) — выдающийся австрийский физик-теоретик. Первая его работа увидела свет, когда Л. Больцману исполнилось 22 года, а последняя — спустя шесть лет (рис. 1.53).

К концу XIX века были открыты законы механики и электромагнетизма, заложен фундамент теории тепловых явлений. Именно тогда у многих ученых возникло убеждение, что развитие физики завершилось.

## 2 Узнаем о создателях современной физики

Однако в 1905 году в немецком физическом журнале появилась статья неизвестного автора, сотрудника патентного бюро в Берне (Швейцария). Звали этого молодого человека *Альберт Эйнштейн* (рис. 1.54), и после этой публикации он стал самым знаменитым физиком на нашей планете. В его работе были изложены *основы специальной теории относительности*, которая заставила ученых во всем мире пересмотреть устаревшие взгляды на пространство и время, массу и энергию.



**Рис. 1.54.** А. Эйнштейн (1879—1955)

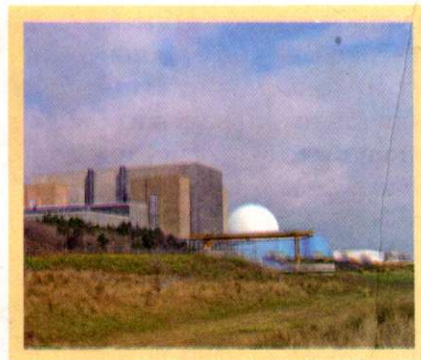




**Рис. 1.55.** Е. Резерфорд (1871—1937)



**Рис. 1.56.** Н. Бор (1885—1962)



**Рис. 1.69.** Научные труды Резерфорда и Бора заложили основы атомной энергетики

Так начался новый этап в развитии физической науки. На протяжении этого этапа полностью изменился характер физических исследований. Открытие радиоактивности и стремление проникнуть в тайны строения вещества привели к созданию квантовой теории. У истоков этого направления стояли такие выдающиеся ученые, как *Эрнест Резерфорд* (рис. 1.55) — действительный член всех академий наук мира (и этим все сказано!) и *Нильс Бор* (рис. 1.56) — датский физик, который в возрасте 28 лет совершил революцию в физике, создав *теорию строения атома* — основного «кирпичика» мироздания (рис. 1.57).

### 3 Узнаем об украинских ученых

Ученые, чье творчество развивалось в Украине, также внесли свой вклад в «возведение здания» современной физики. Среди них лауреат Нобелевской премии физик-теоретик *Лев Давидович Ландау* (1908—1968), физик-экспериментатор *Лев Васильевич Шубников* (1901—1945), электротехник и исследователь рентгеновских лучей *Иван Павлович Пулюй* (1845—1918). В Украине родился и работал исследователь радиоактивности и земного магнетизма *Николай Дмитриевич Пильчиков* (1857—1908), которого смело можно отнести к числу первых ядерщиков-экспериментаторов.

На смену одиночкам, которые развивали физику до начала XX века, пришли группы, а потом и огромные коллективы ученых. Так, например, в международном проекте по созданию основы энергетики будущего — термоядерного реактора — участвуют десятки тысяч исследователей из нескольких стран.

Достижения украинских ученых широко известны не только в нашей стране, но и далеко за ее пределами. Материалы и технологии, созданные в киевском Институте электросварки им. Е. О. Патона, применяются на всех континентах. Полупроводниковые кристаллы, которые производят в Институте монокристаллов (Харьков) и научно-производственном объединении «Карат» (Львов), не уступают лучшим мировым образцам. В области вычислительной техники и информационных технологий широко известны разработки Института кибернетики им. В. М. Глушкова (Киев). Одним из



крупнейших центров ядерной физики является Харьковский физико-технический институт НАН Украины. В Днепропетровске создан уникальный ракетный комплекс «Зенит». Надежность и экологически чистое топливо позволили использовать его в международном космическом проекте «Морской старт» (рис. 1.58).



Рис. 1.58. Старт ракеты, созданной украинскими учеными

## И подведем итоги

«Здание современной физики» создавалось на протяжении многих веков. Невозможно на нескольких страницах рассказать обо всех творцах физической науки и о том, как ученые шли к своим открытиям, как выбирали цель исследования, каких усилий и жертв стоило им новое знание. Но даже краткий экскурс в историю физики ясно показывает, что успех в науке — это плод напряженного труда, который начинается еще в ранней молодости.

## Контрольные вопросы

1. Назовите имена известных вам ученых-физиков. В каких областях физической науки они работали?
2. Почему физика является основой техники?

### Физика и техника в Украине



#### Институт проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины (Киев)

Без кибернетики — науки об общих законах получения, хранения, передачи и обработки информации — сегодня не может работать ни один крупный завод, банк, транспортная компания. Автоматизированные системы управления (АСУ) не только руководят производственными процессами, полетами в космос, но и помогают принимать решения на уровне государства. Именно разработками сложных АСУ занима-

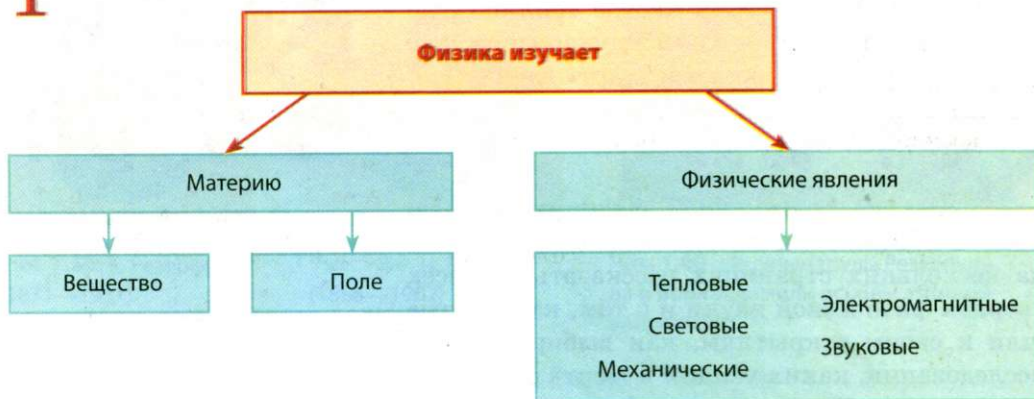
ются специалисты института проблем математических машин и систем.

История института началась в середине прошлого века, когда по инициативе академика Виктора Михайловича Глушкова (1923—1982) был основан Вычислительный центр Академии наук Украины. В 1992 году один из его отделов был преобразован в Институт проблем математических машин и систем. Сегодня институт занимает ведущее место среди научных организаций страны. Так, система голосования народных депутатов в Верховной Раде Украины (см. рисунок) была разработана специалистами именно этого института.

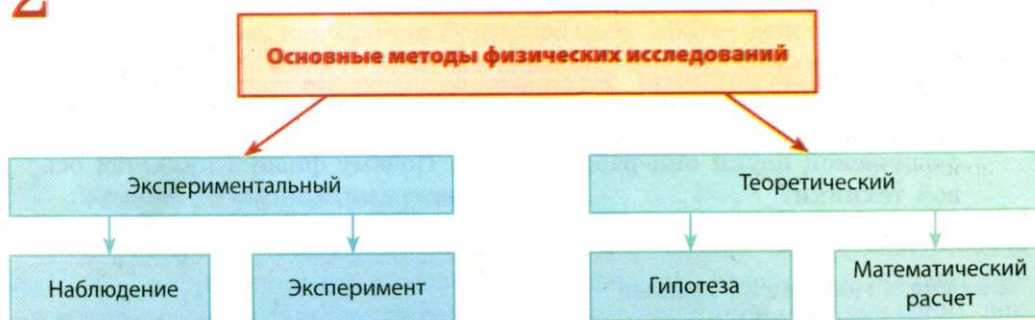


# ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 1 «НАЧИНАЕМ ИЗУЧАТЬ ФИЗИКУ»

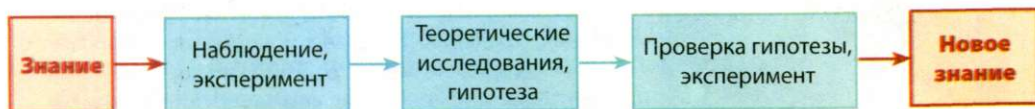
**1** В разделе 1 вы получили ответ на вопрос: что изучает физика?



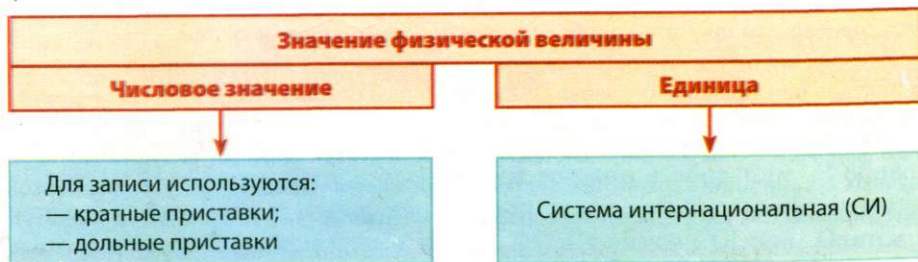
**2** Вы познакомились с основными методами физических исследований...



а также проследили этапы познавательной деятельности физиков.



**3** Вы расширили свои знания о физических величинах.



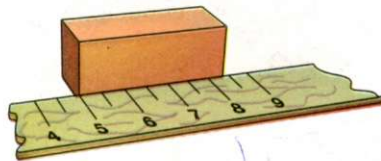






8 (3 балла) Оцените ширину бруска, изображенного на рисунке.

- а) Около 8,3 см;
- б) около 830 мм;
- в) около 3,3 см;
- г) около 330 мм.



9 (4 балла) Какое из неравенств является верным?

- а)  $520 \text{ см} > 52 \text{ дм}$ ;
- б)  $2000 \text{ мкм} > 20 \text{ мм}$ ;
- в)  $3300 \text{ г} < 33 \text{ кг}$ ;
- г)  $3 \text{ с} < 300 \text{ мс}$ .

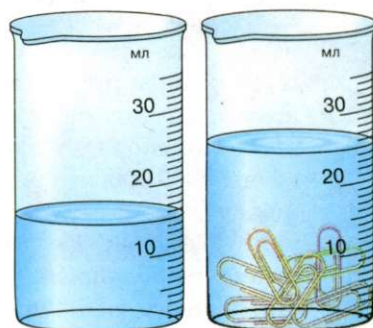
10 (4 балла) Какова вместимость аквариума, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, если его длина составляет 0,5 м, ширина на 30 см, а высота 42 см?

- а)  $0,063 \text{ м}^3$ ;
- б)  $630\,000 \text{ см}^3$ ;
- в)  $6300 \text{ см}^3$ ;
- г)  $6300 \text{ мм}^3$ .

30 см

11 (5 баллов) В мерный цилиндр налили воду (рисунок а), затем туда же опустили 50 скрепок (рисунок б). Вычислите приблизительный объем одной скрепки.

- а)  $0,5 \text{ см}^3$ ;
- б)  $50 \text{ мм}^3$ ;
- в)  $25 \text{ см}^3$ ;
- г)  $0,2 \text{ см}^3$ .



а б

12 (8 баллов) Составьте вопросы к заполненному кроссворду.

(стр. 191)



Сверьте ваши ответы на вопросы 1—11, с приведенными в конце учебника. Чтобы проверить последнее задание теста, обратитесь к соответствующим параграфам. Отметьте вопросы, на которые вы ответили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Затем эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших знаний.

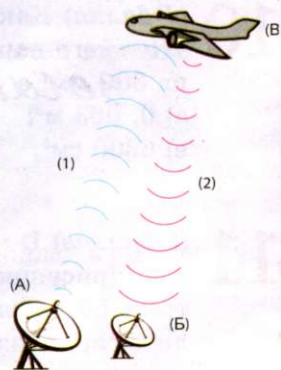


## ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКАЯ СТРАНИЦА

Всего несколько десятилетий тому назад слово «радиолокатор», или «радар», ассоциировалось с противовоздушной обороной, слово «гидролокатор» или «сонар», — с сейнерами и подводными лодками, а аббревиатуры GPS вовсе не существовало. Сегодня система GPS рекламируется как лучшее противоугонное устройство для автомобилей, простейшие модели сонаров может купить каждый рыбак, а радары оснащаются не только самолеты, но и небольшие катера.

### Радиолокатор / радар

В начале 20 века было обнаружено, что радиоволны отражаются от металлических предметов. Это открытие позволило предложить принцип радиолокации — *обнаружения, распознавания и определения координат* различных предметов с помощью радиоволн (рис. 1). Если прибор зафиксирует факт отражения, значит, он *обнаружит* объект (самолет). По скорости распространения радиоволны (300 000 км/с) и промежутку времени между моментами излучения и приема сигнала можно определить *расстояние* до объекта (*его координаты*). Наконец, по характеру отраженного сигнала можно *распознать*, от какого объекта (самолета, айсберга, скалы) отразилась радиоволна.



**Рис. 1** — Принцип действия радара. А — передатчик; Б — приемник; В — объект (самолет); (1) — излучаемая волна; (2) — отраженная волна. В современных радарах передатчик и приемник, как правило, совмещаются



Специальные покрытия на поверхности военных самолетов снижают уровень отраженного сигнала, и такие самолеты не могут быть обнаружены обычными радары

### Это интересно

**РАДАР** — от английского слова *radar*, сокращение от *ra(dio) d(etecting) a(nd) r(anging)* — радиообнаружение и определение дальности.

**СОНАР** — от английского слова «*sonar*», сокращение от *so(und) na(vigation) and r(anging)* — звуковая навигация и определение дальности.

**GPS** — аббревиатура от английских слов *global position system* — всеобщая система определения местоположения



## Это интересно

Система GPS, аналогично Интернету, первоначально была создана по заказу американского правительства. Сегодня получение услуг от этой системы — бесплатное.

В ближайшие годы Европейский Союз планирует запустить аналогичную систему на базе собственных спутников. Новая система носит название Galileo.



## Гидролокатор / сонар

Принцип работы гидролокатора подобен принципу работы радара (см. рис. 1), только он излучает (и, соответственно, фиксирует) не радио-, а звуковые волны. Как и в случае радиоволн, по скорости распространения звука в воде (1500 м/сек) и времени задержки прихода отраженной волны можно определить расстояние до объекта, а по направлению прихода отраженного сигнала — направление на объект. Впервые гидролокатор был применен для обнаружения подводных лодок во время первой мировой войны (1914—1918), позднее он стал использоваться для исследования рельефа морского и океанского дна, для обнаружения косяков рыб и т. д.



## GPS

GPS создана для того, чтобы любой пользователь смог определить свои координаты на земной поверхности с точностью до нескольких десятков метров. Сегодня эта система не только следит за правильным курсом судна, но и помогает обычным туристам не заблудиться в незнакомом городе.

Для обеспечения работы GPS на орбиту запущена серия специальных спутников (рис. 4).

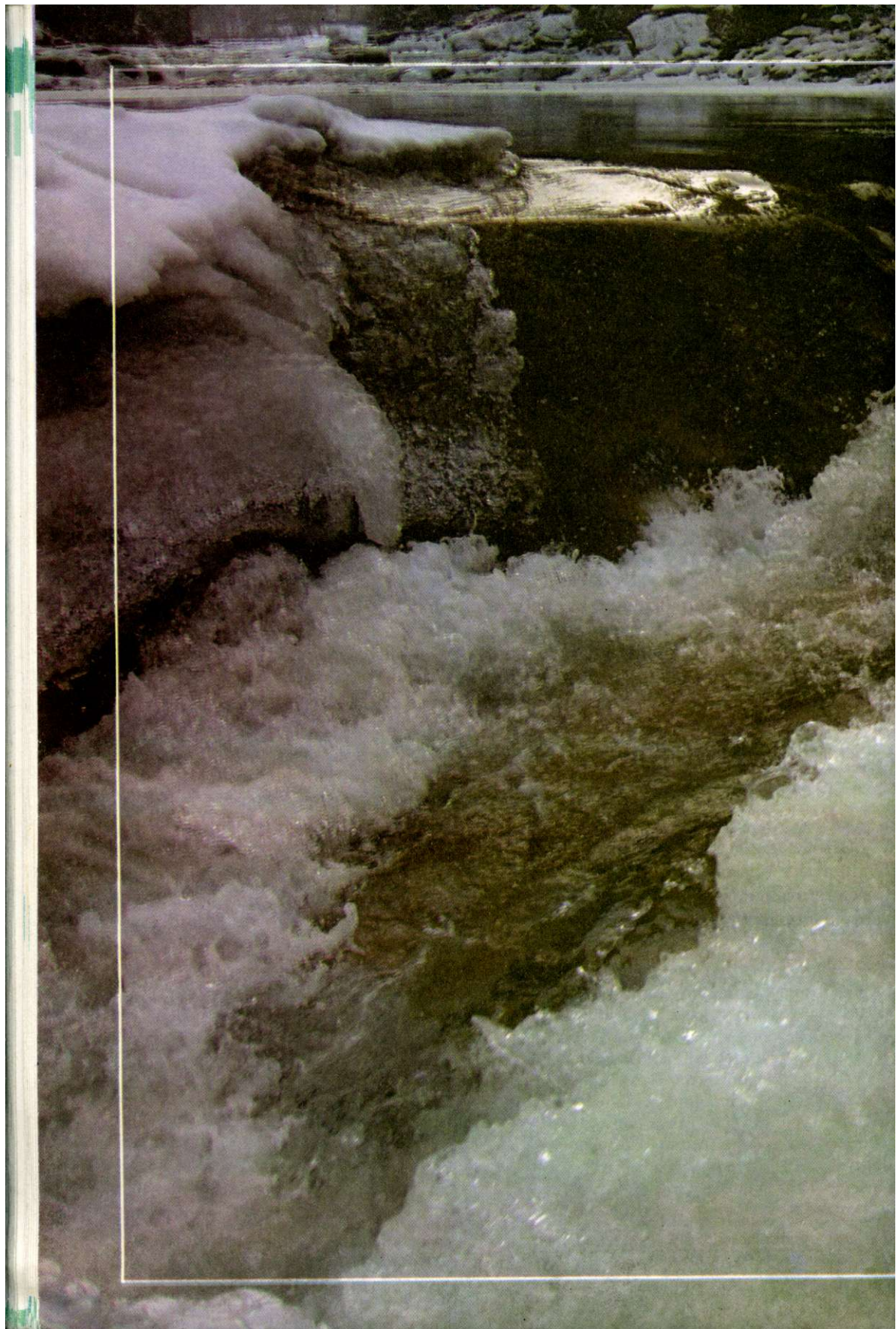
Связываясь с помощью радиоволны (1) со специальными реперами — точками, координаты которых на местности известны с большой точностью, — спутник имеет возможность

определить и свое положение над Землей. После этого любой пользователь с помощью радиоволны (2) получает данные о своем местоположении.



Рис. 4 — Схема работы системы GPS. С — спутник; P — репер; П — пользователь прибора GPS. (1) — радиосигнал для связи с репером; (2) — радиообмен с пользователем







# СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

<b>§ 9.</b> Физическое тело и вещество. Масса. Единицы массы	60
Лабораторная работа № 6	65
<b>§ 10.</b> Плотность. Единицы плотности	66
Лабораторная работа № 7	72
<b>§ 11.</b> Учимся решать задачи	74
<b>§ 12.</b> Строение вещества. Атомы и молекулы	80
<b>§ 13.</b> Движение молекул. Диффузия	85
Лабораторная работа № 8	90
<b>§ 14.</b> Взаимодействие молекул	90
<b>§ 15.</b> Агрегатное состояние вещества	94
<b>§ 16.</b> Зависимость размеров тел от температуры	100

## 2



## § 9. ФИЗИЧЕСКОЕ ТЕЛО И ВЕЩЕСТВО. МАССА. ЕДИНИЦЫ МАССЫ

■ *Вокруг нас существует множество физических тел — и все они отличаются друг от друга, в частности, веществом, из которого состоят, и массой. Что такое вещество? Что такое масса тела? Что она характеризует и в каких единицах измеряется?*

### 1 Различаем физическое тело и вещество

В разделе 1 мы уже встречались с такими физическими понятиями, как «физическое тело» и «вещество». Вспомним, что любые предметы вокруг нас называют **физическими телами**, а материал, из которого они состоят, — **веществом**. Физическое тело может состоять из одного или нескольких веществ (рис. 2.1). Например, столовые ложки, вилки — физические тела, изготовленные в большинстве случаев из стали. Столовые приборы могут быть также сделаны из фарфора или серебра. Нож, как правило, изготавливают не из одного вещества, а из двух: лезвие — из стали, рукоятку — из дерева. А вот для производства такого физического тела, как мобильный телефон, используют десятки разных веществ.

### 2 Знакомимся с искусственно созданными веществами

В древности человек для изготовления необходимых предметов искал пригодные вещества в природе (рис. 2.2): для наконечника стрелы — твердый камешек, для теплой одежды — эластичные меховые шкуры и т. п.

*Искусственно созданные вещества* появились позднее. Сегодня подавляющее большинство веществ, с которыми мы имеем дело каждый день, искусственного происхождения. Все они созданы человеком с конкретной целью — для изготовления физического тела того или иного назначения. В качестве примера искусственно созданных веществ прежде всего следует назвать пластики. Каждый



Рис. 2.1. Физические тела, изготовленные из одного вещества (ложка, вилка) и из разных (нож, мобильный телефон)





**Рис. 2.2.** Древний человек изготавливал орудия труда и охоты из веществ, которые он находил в окружающей природе

вид пластика создан для обеспечения наилучших свойств того или иного физического тела. Так, пластик для такого физического тела, как бампер автомобиля, прежде всего должен быть прочным. Пластик, предназначенный для судков, в которых сохраняют продукты в холодильнике, не должен выделять ядовитые вещества. Пластик, применяемый для изготовления очков и линз, должен быть прозрачным (рис. 2.3). Множество других примеров вы, вероятно, можете назвать и сами.

### 3 Знакомимся с массой тела

Все окружающие нас физические тела — будь то каменный топор или устройство, для изготовления которого были использованы высокие технологии, — имеют некоторые общие свойства. Одним из таких свойств является способность тел притягиваться к другим телам благодаря *гравитационному взаимодействию*. Мерой этого свойства тел служит физическая величина, которая называется *массой тел*. Физики говорят, что *масса тел — это мера гравитации*. Масса обозначается символом *m*.

Понятие массы — одно из самых сложных в физике. По мере изучения этой науки вы будете все более подробно знакомиться с этой



**Рис. 2.3.** Для изготовления очков человек использует различные виды пластика (искусственно созданных веществ)



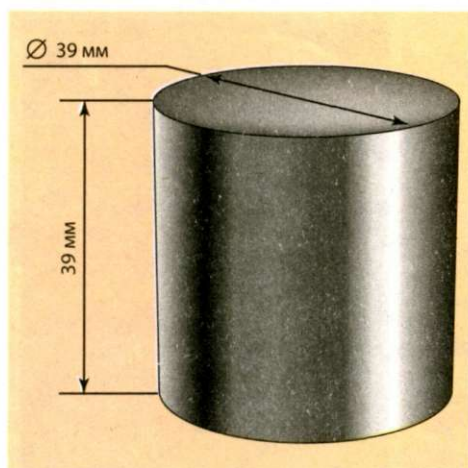


Рис. 2.4. Размеры международного эталона килограмма



Рис. 2.5. Международный эталон килограмма



Рис. 2.6. Один из способов определения массы тел — взвешивание

физической величиной. Пока же мы должны запомнить, что *каждое физическое тело* — Солнце, человек, капля росы, микрочастица любого вещества — имеет массу.

4

#### Вспоминаем единицу массы и один из способов ее измерения

Поскольку масса — физическая величина, ее можно измерять. Чтобы измерить массу какого-либо тела, его нужно сравнить с телом, масса которого принята за единицу.

За единицу массы в Международной системе единиц (СИ) принят килограмм (1 кг). Это одна из основных единиц СИ, поэтому для него существует эталон. Современный эталонный килограмм представляет собой цилиндр, изготовленный из сплава платины и иридия (рис. 2.4). Международный эталон килограмма (рис. 2.5) сохраняется во Франции, неподалеку от Парижа. С этого эталона сняты точные копии, которые есть во многих странах, в частности, в Украине.

Кроме килограмма, допускается использование, если это необходимо, других единиц массы, например тонна (т), грамм (г), миллиграмм (мг).

Одним из способов измерения массы тел является взвешивание (рис. 2.6), именно им и пользуются в повседневной жизни. С этим способом определения массы вы подробно ознакомитесь в ходе выполнения лабораторной работы.

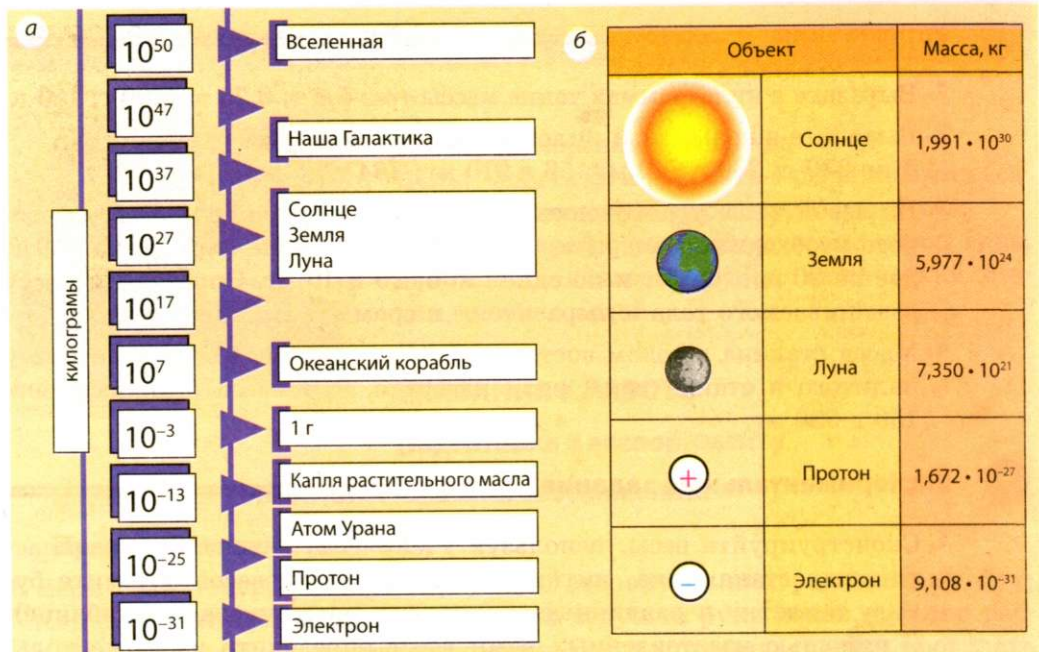


Рис. 2.7. Шкала распределения масс во Вселенной (а); массы некоторых объектов окружающего мира (б)

Однако современная физика владеет также и самыми современными способами измерений, которые позволяют с большой точностью определять и массы микрочастиц вещества, и массы гигантских объектов (рис. 2.7).



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Любые предметы вокруг нас называют физическими телами, а материал, из которого они состоят, — веществом. Физическое тело может состоять из одного или нескольких веществ.

Все искусственно созданные вещества разработаны человеком с конкретной целью — для изготовления физического тела того или иного назначения.

Масса тела ( $m$ ) — это физическая величина, характеризующая способность тел притягиваться к другим телам благодаря гравитационному взаимодействию.

Единицей измерения массы в СИ является килограмм (1 кг).

Массу тела можно определить с помощью весов.



### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры разных физических тел. Из каких веществ они изготовлены?
2. Приведите примеры искусственно созданных веществ. С какой целью созданы эти вещества?
3. Какое свойство тел характеризует масса тела?
4. В каких единицах измеряется масса тела?
5. Что принято за эталон массы в СИ?
6. Как можно измерить массу тела?





### Упражнения

1. Выразите в килограммах такие массы тел: 5,3 т; 0,25 т; 4700 г; 150 г.
2. Выразите в граммах и килограммах такие массы тел: 5 кг 230 г; 270 г 840 мг; 56 г 910 мг; 764 г 20 мг.
3. На левой чаше уравновешенных весов находится тело, массу которого необходимо измерить, а на правой — такие гири: одна 100 г, две по 20 г, одна 5 г и по одной 200, 20 и 10 мг. Определите массу взвешиваемого тела и выразите ее в граммах и килограммах.
4. Масса стакана с соком составляет 340 г 270 мг. Вычислите массу налитого в стакан сока, если известно, что масса стакана равна 150 г 530 мг.



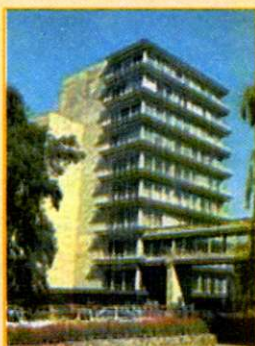
### Экспериментальные задания

1. Сконструируйте весы, используя ученическую линейку, два пластиковых стаканчика, нитки. В качестве разновесов возьмите бумагу в клетку и различные монеты (их масса указана в таблице). С помощью изготовленных вами весов определите массу нескольких небольших тел.

Достоинство монеты	1 к.	2 к. (алюм.)	2 к. (нерж.)	5 к.	10 к.	25 к.	50 к.
Масса монеты, г	1,5	0,64	1,8	4,3	1,7	2,9	4,2

2. Имея весы, набор гирь, пипетку, стакан с водой и пустой стакан, определите среднюю массу одной капли воды.

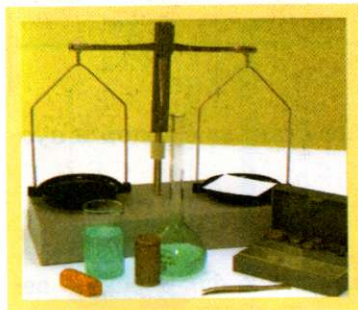
### Физика и техника в Украине



**Институт сверхтвердых материалов** им. В. Н. Бакуля Национальной академии наук Украины — один из известных научных центров мира, деятельность которого направлена на создание новых материалов в условиях действия экстремально высоких технологических параметров — сверхвысоких давлений и температур. Здесь исследуются физико-химические процессы синтеза углеродных материалов, сверхтвердых нитридов и оксидов бора, других соединений многокомпонентных систем. Научно-прикладные работы института получают применение в разных областях экономики Украины, таких как машиностроение, строительная индустрия, добыча и обработка природного камня, геолого-разведывательное бурение, электроника, оптика, медицина и т. п.

С 1995 г. институт является ведущей организацией Научно-технологического алмазного концерна АЛКОН, продукция которого экспортируется в разные страны мира.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6



**Тема.** Измерение массы тел.

**Цель:** научиться работать с рычажными весами и с их помощью определять массу тел.

**Оборудование:** рычажные весы, набор гирь, два тела для взвешивания, химический стакан, колба с водой.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

Внимательно прочитайте правила взвешивания.

#### Правила взвешивания

1. Весы ставят перед собой, по правую сторону от них располагают футляр с гирями. (Учащиеся, у которых ведущая рука левая, футляр располагают наоборот, по левую сторону. Соответственно следует поступать и дальше.)
2. До начала взвешивания необходимо проверить, уравновешены ли весы.  
*Напоминаем!* Для уравновешивания весов на более легкую чашу нужно положить полоски бумаги или картона.
3. Взвешиваемое тело аккуратно кладут на левую чашу весов.
4. Гири вынимают из футляра специальным пинцетом и кладут на правую чашу весов.
5. Начинают взвешивание с гири, масса которой близка к массе взвешиваемого тела. Если оказывается, что масса этой гири больше, чем масса тела, ее ставят назад в футляр, а на ее место кладут гирю меньшей массы. Если масса гири недостаточна для уравновешивания весов, прибавляют гири меньшей массы до тех пор, пока будет достигнуто равновесие.
6. Уравновесив весы, подсчитывают общую массу гирь, лежащих на чаше, и с помощью пинцета переносят их назад в футляр.
7. Закончив взвешивание, проверяют, все ли гири положены в футляр и каждая ли из них находится на предназначенном для нее месте.  
*Напоминаем!* На чаши весов нельзя класть мокрые, грязные, горячие тела, наливать жидкости и без использования подкладки насыпать порошки.

#### Эксперимент

1. Четко следуя правилам взвешивания, определите массу:
  - а) предложенных вам тел;
  - б) пустого стакана;
  - в) стакана с определенным количеством воды.



2. Результаты всех взвешиваний занесите в таблицу.

Взвешиваемое тело	Набор гирь на чашке	Масса тела, $m$	
		г	кг

3. Вычислите массу воды в стакане как разность масс стакана с водой и пустого стакана.

### Анализ результатов эксперимента

Сделайте вывод, в котором не забудьте указать, какую физическую величину и с помощью какого прибора вы измеряли.

### Дополнительное задание

Определите массу скрепки для степлера.

## § 10. ПЛОТНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ

■ Мы часто употребляем выражение «легкий, как воздух» или «тяжелый, как свинец». Но знаете ли вы, что воздух внутри, скажем, супермаркета, весит больше 400 кг, а груз такой массы не поднять и силачу. Свинцовое же грузило для удочки легко поднимет даже малыш. Выходит, приведенные выше выражения — неправильные? Подождите делать выводы — давайте разберемся.

### 1 Проводим некоторые измерения и делаем расчеты

На рис. 2.8 вы видите два бруска, оба бруска изготовлены из одного и того же вещества — свинца, но имеют разные размеры. Наша задача — найти отношение массы каждого бруска к его объему.

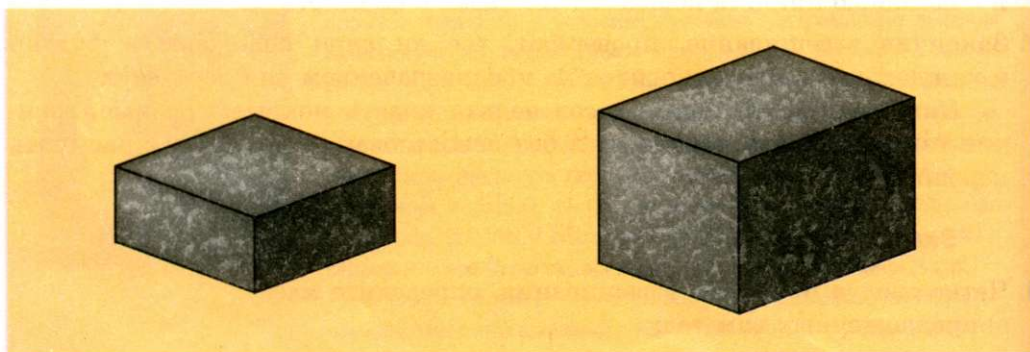


Рис. 2.8. Два свинцовых бруска, имеющих разный объем

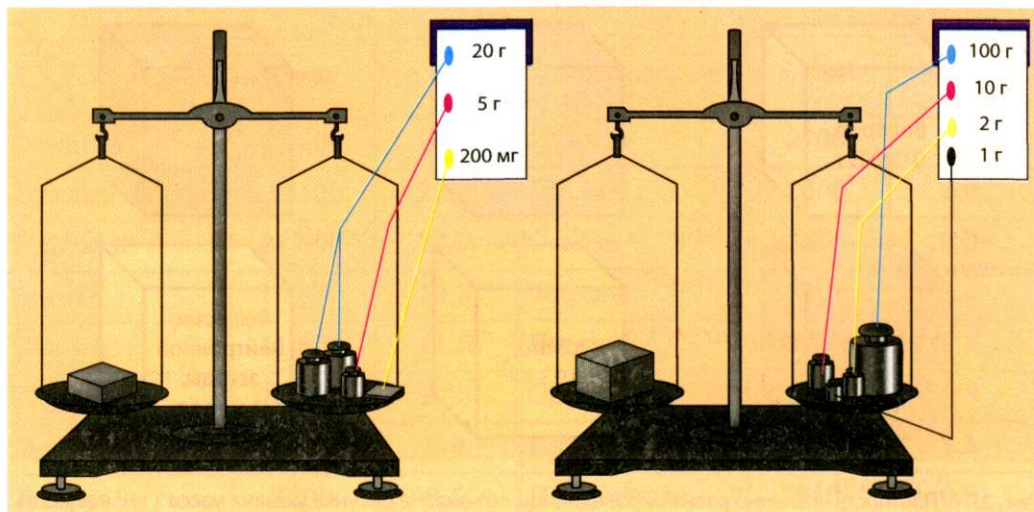


Рис. 2.9. Измерение масс свинцовых брусков, имеющих разный объем

Для начала измерьте длину, ширину и высоту брусков и вычислите их объемы. (Если вы правильно выполните измерения и не ошибетесь в расчетах, то вы получите такие результаты: объем меньшего бруска равен  $4 \text{ см}^3$ , большего бруска —  $10 \text{ см}^3$ .)

Определив объемы брусков, взвесим их. На левую чашу весов поместим один из брусков, на правую — разновесы (рис. 2.9). Весы находятся в равновесии, ваша задача — сосчитать массу разновесов.

Нам осталось найти отношение массы каждого бруска к его объему, т. е. вычислить, чему равняется масса свинца объемом  $1 \text{ см}^3$  для меньшего и для большего брусков. Очевидно, что если масса меньшего бруска  $45,2 \text{ г}$  и он занимает объем  $4 \text{ см}^3$ , то масса свинца объемом  $1 \text{ см}^3$  для этого бруска равняется  $45,2 : 4 = 11,3 \text{ (г)}$ . Выполнив аналогичные расчеты для большего бруска, получим  $113 : 10 = 11,3 \text{ (г)}$ . Таким образом, *отношение массы свинцового бруска к его объему (масса свинца единичного объема) одинаково как для большего, так и для меньшего брусков.*

Если теперь взять бруски, изготовленные из другого вещества (например алюминия), и повторить те же действия, то *отношение массы алюминиевого бруска к его объему также не будет зависеть от размеров бруска.* Мы снова получим постоянное число, но уже другое, чем в опыте со свинцом.

## 2 Даем определение плотности вещества

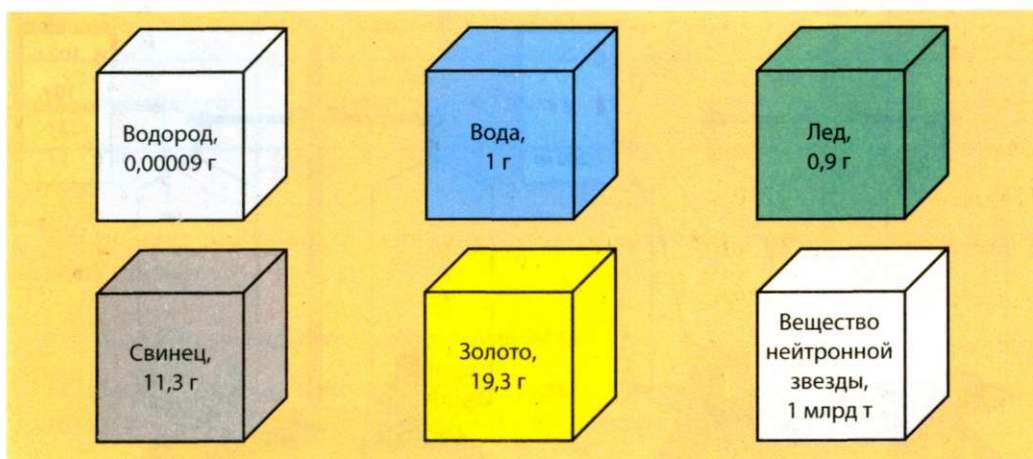
Физическая величина, характеризующая данное вещество и численно равная массе вещества единичного объема, называется **плотностью вещества**.

Плотность обозначается символом  $\rho$  и вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $V$  — объем, занятый веществом массой  $m$ .





**Рис. 2.10.** Плотность численно равна массе единицы объема. На рисунке указана масса 1 см<sup>3</sup> вещества

*Плотность — это характеристика вещества, не зависящая от массы вещества и его объема. Если увеличить массу вещества, например, в два раза, то объем, который оно займет, также возрастет в два раза\*.*

Из определения плотности вещества получим единицу плотности. Поскольку в СИ единицей массы является килограмм, а единицей объема — метр кубический, то *единицей плотности в СИ будет килограмм на метр кубический (кг/м<sup>3</sup>).*

*1 кг/м<sup>3</sup> — это плотность такого однородного вещества, масса которого в объеме один кубический метр равняется одному килограмму.*

На практике также очень часто применяется единица плотности грамм на сантиметр кубический (г/см<sup>3</sup>).

Единицы плотности килограмм на метр кубический (кг/м<sup>3</sup>) и грамм на сантиметр кубический (г/см<sup>3</sup>) связаны между собой соотношением:

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

### 3

#### Сравниваем плотности разных веществ

Плотности разных веществ и материалов могут существенно отличаться друг от друга (рис. 2.10). Рассмотрим несколько примеров. Плотность водорода при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст. составляет 0,090 кг/м<sup>3</sup> — это значит, что масса водорода объемом 1 м<sup>3</sup> равна 0,090 кг, или 90 г. Плотность свинца 11 300 кг/м<sup>3</sup>. Это означает, что свинец объемом 1 м<sup>3</sup> имеет массу 11 300 кг, или 11,3 т. Плотность вещества нейтронной звезды достигает 10<sup>18</sup> кг/м<sup>3</sup>. Масса такого вещества объемом 1 см<sup>3</sup> равняется 1 млрд тонн. Ниже в таблице приведены плотности некоторых веществ.

\* Плотность, однако, существенно изменяется в случае изменения температуры и агрегатного состояния вещества. С причинами изменения плотности вещества мы познакомимся далее.

Таблица плотностей некоторых веществ в твердом состоянии

Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Осмий	22 500	22,5	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Гранит	2600	2,6
Платина	21 500	21,5	Стекло	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Фарфор	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Бетон	2200	2,2
Серебро	10 500	10,5	Оргстекло	1200	1,2
Медь	8900	9,9	Капрон	1140	1,1
Латунь	8500	8,5	Полиэтилен	940	0,9
Сталь, железо	7800	7,8	Парафин	900	0,9
Олово	7300	7,3	Лед	900	0,9
Цинк	7100	7,1	Дуб сухой	800	0,8
Чугун	7000	7,0	Сосна сухая	440	0,4
Алюминий	2700	2,7	Пробка	240	0,2

Таблица плотностей некоторых веществ в жидком состоянии

Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Ртуть	13600	13,60	Бензол	880	0,88
Жидкое олово (при $t = 409\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	6830	6,83	Жидкий воздух (при $t = -194\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	860	0,86
Серная кислота	1800	1,80	Нефть	800	0,80
Мед	1420	1,42	Керосин	800	0,80
Вода морская	1030	1,03	Спирт	800	0,80
Вода чистая	1000	1,00	Ацетон	790	0,79
Масло растительное	900	0,90	Эфир	710	0,71
Машинное масло	900	0,90	Бензин	710	0,71



Таблица плотностей некоторых веществ в газообразном состоянии (при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст.)

Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Хлор	3,210	0,00321	Азот	1,250	0,00125
Углекислый газ	1,980	0,00198	Оксид углерода (угарный газ)	1,250	0,00125
Кислород	1,430	0,00143	Гелий	0,180	0,00018
Воздух	1,290	0,00129	Водород	0,090	0,00009

**4 Учимся вычислять плотность, массу и объем физического тела**

На практике часто бывает необходимо определить, из какого вещества состоит то или иное физическое тело. Для этого можно воспользоваться таким способом. Вначале вычислить *плотность* этого тела, т. е. найти *отношение массы тела к его объему*. Далее, воспользовавшись данными таблицы плотностей, выяснить, какому веществу соответствует найденное значение плотности.

Например, если глыба объемом 3 м<sup>3</sup> имеет массу 2700 кг, то очевидно, что плотность глыбы равна:

$$\frac{2700 \text{ кг}}{3 \text{ м}^3} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

По таблице находим, что глыба состоит из льда.

В приведенных выше примерах мы рассматривали так называемые *однородные тела*, т. е. *тела, не имеющие пустот и состоящие из одного вещества* (ледяная глыба, свинцовый и алюминиевый бруски). В таких случаях плотность тела равна плотности вещества, из которого оно состоит (плотность ледяной глыбы = плотности льда).

Если в теле есть пустоты или оно изготовлено из различных веществ (например, корабль, футбольный мяч, человек), то говорят о *средней плотности тела*, которая также исчисляется по формуле

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $V$  — объем тела массой  $m$ .

$\rho = m : V$

$V = \frac{m}{\rho}$

$\rho = \frac{m}{V}$   $\rightarrow$   $V = \frac{m}{\rho}$   $\rightarrow$   $m = \rho V$

Средняя плотность тела человека, например, составляет 1036 кг/м<sup>3</sup>.

Зная плотность вещества, из которого изготовлено тело (или среднюю плотность тела), и объем тела, можно определить массу данного тела без взвешивания. В самом деле, если  $\rho = \frac{m}{V}$ , то  $m = \rho V$ . Соответственно, зная плотность и массу тела, можно найти его объем:  $V = \frac{m}{\rho}$ .



## ПОДВОДИМ ИТОГИ

Физическая величина, характеризующая данное вещество и численно равная массе вещества единичного объема, называется плотностью вещества.

Плотность вещества и плотность тела можно рассчитать по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

В СИ плотность измеряется в килограммах на метр кубический ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Часто также используют единицу плотности грамм на сантиметр кубический ( $\text{г}/\text{см}^3$ ). Эти единицы связаны между собой соотношением:

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Зная массу тела и его плотность, можно найти объем тела:  $V = \frac{m}{\rho}$ . Соответственно, по известным объему тела и его плотности можно найти массу тела:  $m = \rho V$ .



## Контрольные вопросы

1. Зависит ли отношение массы вещества к объему, занимаемому этим веществом, от его массы? от объема? от рода вещества?
2. Что называют плотностью вещества?
3. Плотность платины равна  $21\,500 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Что это означает?
4. Как определить плотность вещества?
5. Какие единицы плотности вы знаете?
6. Как выразить плотность в граммах на сантиметр кубический ( $\text{г}/\text{см}^3$ ), если она дана в килограммах на метр кубический ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )?
7. Как вычислить массу тела по его плотности и объему?
8. Как определить объем тела, зная его плотность и массу?

## Физика и техника в Украине



### Донецкий физико-технический институт НАН Украины

В 60-е годы прошлого столетия в Донбассе — важнейшем промышленном регионе Украины — возникла насущная необходимость в организации научных исследований, максимально ориентированных на удовлетворение нужд региона. Для этого в 1965 году и был создан Донецкий научный центр Академии наук УССР, одним из ключевых институтов которого стал Донецкий физико-технический институт (ДонФТИ).

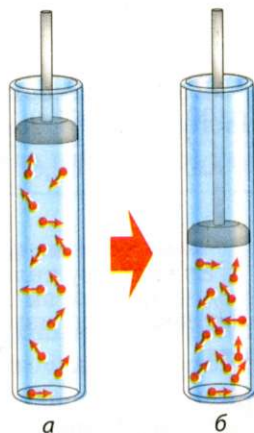
Результаты исследований сотрудников института получили признание научной общественности Украины и многих зарубежных ученых. ДонФТИ поддерживает широкие научно-производственные связи с десятками зарубежных институтов и промышленных предприятий Швейцарии, США, Германии, Испании.



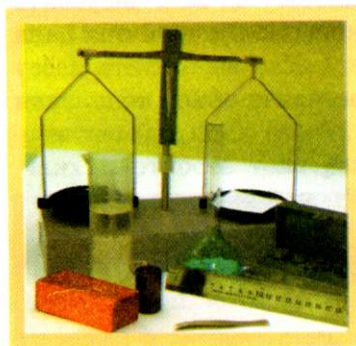


### Упражнения

1. Найдите по таблице значения плотности воздуха и плотности свинца. Что они означают? Какие величины мы на самом деле сравниваем, когда говорим: «легкий, как воздух», «тяжелый, как свинец»?
2. В каком случае массы тел одинакового объема будут равными?
3. Один из двух одинаковых сосудов наполнен медом, второй — растительным маслом. Масса какой жидкости больше и во сколько раз?
4. Два кубика — из оргстекла и из дуба — имеют одинаковую массу. Объем какого кубика меньше и во сколько раз?
5. В цилиндре под поршнем содержится кислород (рисунок а). Поршень начинают продвигать в цилиндр (рисунок б). Как при этом изменяются: а) масса газа; б) объем газа; в) плотность газа?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7



**Тема.** Определение плотности твердого тела и жидкости.

**Цель:** определить плотность твердых тел и жидкости.

**Оборудование:** весы с разновесами; мерный цилиндр; линейка; исследуемые твердые тела (деревянный брусок и металлический цилиндр с нитью); стакан с исследуемой жидкостью.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем начинать измерение, вспомните:
  - а) формулу, по которой вычисляют плотность;
  - б) с помощью каких приборов можно определить объем твердого тела;
  - в) как определяют цену деления шкалы измерительного прибора;
  - г) как правильно снимать показание мерного цилиндра;
  - д) правила работы с рычажными весами;
  - е) какие меры предосторожности необходимо принимать во время работы с мерным цилиндром.
2. Определите и запишите цену деления шкалы линейки и цену деления шкалы мерного цилиндра.

**Эксперимент**

Результаты измерений и вычислений следует сразу заносить в таблицу!

1. Определите объем бруска с помощью линейки.
2. Измерьте массу бруска с помощью весов.
3. Вычислите плотность вещества, из которого изготовлен брусок.
4. Определите объем металлического тела с помощью мерного цилиндра.
5. Измерьте массу металлического тела с помощью весов.
6. Вычислите плотность металла, из которого изготовлено тело.
7. Измерьте массу стакана с исследуемой жидкостью.
8. Перелейте жидкость в мерный цилиндр и определите ее объем.
9. Взвесьте пустой стакан и вычислите массу исследуемой жидкости.
10. Вычислите плотность исследуемой жидкости.

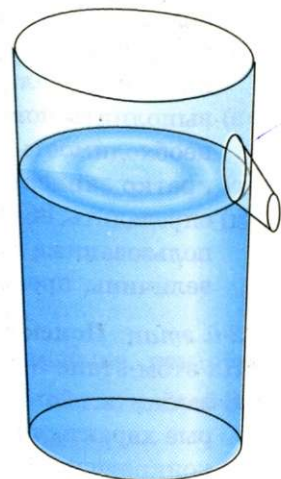
Исследуемое тело, жидкость	Масса $m$ , г	Объем $V$ , см <sup>3</sup>	Плотность $\rho$		Вещество
			г/см <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	

**Анализ результатов эксперимента**

1. Пользуясь таблицами плотностей, определите название исследуемой жидкости, а также вещества, из которых изготовлены исследуемые тела.
2. Сделайте вывод, в котором не забудьте указать факторы, которые могли повлиять на точность результатов.

**Дополнительное задание**

1. Определите объем собственного тела, зная его среднюю плотность (см. § 10).
2. Предложите способы — теоретический и экспериментальный, — воспользовавшись которыми, можно найти массу воды, которая выльется из сосуда с отливом (см. рисунок), если в него медленно погрузить пластилиновый кубик со стороной 3 см.





## § 11. УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ

■ Для чего нужно уметь решать задачи по физике? Что надо сделать для того, чтобы научиться их решать? Как именно решать задачи? Сегодня мы только начинаем отвечать на эти вопросы, учимся решать простейшие задачи, но пройдет время...

1

### Убеждаемся в необходимости решать задачи по физике

Для чего нужно решать задачи по физике? Попробуем ответить на этот вопрос вместе. С этой целью обратимся к простейшей конкретной задаче, с которой вы можете встретиться в реальной жизни.

Предположим, что вам нужно купить 3 кг растительного масла. У вас есть только пластиковый баллон вместимостью 3 литра. Поместится ли в него нужное количество масла?

Согласитесь, многие из нас сталкиваются с подобными задачами в жизни. Поэтому нам нужно уметь решать физические задачи прежде всего для того, чтобы, используя знание физики, отвечать на практические вопросы.

Очевидно, что, не зная необходимых физических величин, формул, физических законов, вы не сможете ответить на вопрос, поставленный в задаче. Таким образом, только хорошее знание физических законов, формул, условий хода физических процессов, описанных в задачах, дает возможность успешно решать задачи по физике. И наоборот: нам необходимо решать задачи по физике также для того, чтобы лучше знать и понимать физику в целом.

2

### Знакомимся с основными этапами решения физических задач

В ходе решения большей части физических задач можно выделить несколько этапов.

#### 1-й этап. Анализ физической проблемы

На этом этапе вам необходимо:

- а) внимательно прочитать условие задачи;
- б) выяснить, какие величины уже известны, какие нужно найти, значение каких величин можно отыскать в справочной литературе;
- в) выполнить пояснительный рисунок (схему, график), если в этом есть необходимость;
- г) кратко записать условие задачи;
- д) определить, в каких единицах она будет решаться (если величины, использованные в задаче, даны не в единицах СИ или с приставками, такие величины преимущественно переводят в единицы СИ и без приставок).

#### 2-й этап. Поиск математической модели

На этом этапе необходимо:

- а) записать общие уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассмотренное в данной задаче физическое явление;
- б) конкретизировать эти уравнения для данной задачи.

**3-й этап. Решение и анализ результатов**

На этом этапе следует:

- решить уравнение относительно искомой величины;
- проверить единицу искомой величины;
- выполнить необходимые вычисления;
- проанализировать результаты.

**3****Прослеживаем основные этапы решения**

Решим задачу, предложенную в начале параграфа, проследив основные этапы ее решения.

*Анализ физической проблемы.* Выяснить, поместятся ли 3 кг растительного масла в пластиковый баллон вместимостью 3 л, мы можем двумя способами:

- определить, сколько килограммов масла вмещается в баллон, и сравнить результат с массой необходимого нам масла;
- определить, какой объем занимает масло массой 3 кг, и сравнить результат с вместимостью баллона.

При этом в любом случае нам необходимо знать плотность растительного масла — это значение можно найти по таблице. Перед этим следует определиться, в каких единицах лучше решать задачу. Эту задачу лучше решать в единицах СИ.

Завершив анализ, мы можем записать краткое условие задачи.

(Понятно, что в дальнейшем, записывая решение задачи, часть рассуждений вы будете проводить устно.)

*Краткое условие задачи*

Дано:

$$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$$

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$V_6 = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$$

$V - ?$

*Поиск математической модели*

Воспользуемся определением плотности:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

*Решение и анализ результатов*

Решим полученное уравнение относительно неизвестной величины:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Проверим единицу искомой величины:

$$[V] = \text{кг} : \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}} = \text{м}^3.$$

Определим числовое значение:

$$\{V\} = \frac{3}{900} = 0,0033.$$

$$V = 0,0033 \text{ м}^3.$$

Проанализируем результат:

емкость баллона ( $V_6 = 0,003 \text{ м}^3$ ) меньше, чем объем ( $V = 0,0033 \text{ м}^3$ ), который занимает масло массой 3 кг.

*Ответ:* масло в баллон не поместится.



**4 Решаем задачи**

**Задача № 1.** Кубик с ребром, равным 2 см, имеет массу 20 г. Из какого материала изготовлен кубик?

*Анализ физической проблемы.* Чтобы ответить на поставленный вопрос, необходимо определить плотность вещества, из которого изготовлен кубик, а потом, воспользовавшись таблицей плотностей, выяснить, какому веществу соответствует найденное значение плотности. Эту задачу можно решать в заданных единицах.

Дано:  
 $a = 2$  см  
 $m = 20$  г

*Поиск математической модели*

По определению плотности:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

$\rho$  — ?

Из математики известно, что объем куба можно вычислить по формуле  $V = a^3$ . (2)

*Решение и анализ результатов*

Подставив выражение (2) в выражение (1), получим формулу для расчета плотности материала, из которого изготовлен кубик:

$$\rho = \frac{m}{a^3}.$$

Проверим единицу искомой величины:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{см} \cdot \text{см}} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Определим числовое значение:

$$\{\rho\} = \frac{20}{8} = 2,5,$$

$$\rho = 2,5 \text{ г/см}^3 = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Проанализируем результат: воспользовавшись таблицей плотностей, выясним, какому веществу соответствует полученное значение плотности; плотность  $2500 \text{ кг/м}^3$  имеет стекло.

*Ответ:* кубик может быть изготовлен из стекла.

**Задача № 2.** Свинцовый шар объемом  $60 \text{ см}^3$  имеет массу  $0,565 \text{ кг}$ . Определите, сплошной этот шар или полый. Если шар полый, то определите объем полости.

*Анализ физической проблемы.* Выполним пояснительный рисунок.

Если  $V_{\text{св}} < V_{\text{ш}}$ , то шар полый. Понятно, что объем полости  $V_{\text{пол}} = V_{\text{ш}} - V_{\text{св}}$ .

Чтобы найти объем полости, выясним, какой объем занимает в шаре свинец. Плотность свинца найдем по таблице. В этой



задаче следует массу выразить в граммах, объем — в сантиметрах кубических, плотность, соответственно, — в граммах на сантиметр кубический.

Дано:

$$V_{\text{ш}} = 60 \text{ см}^3$$

$$m_{\text{св}} = 0,565 \text{ кг} = 565 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{св}} = 11,3 \text{ г/см}^3$$

$$V_{\text{пол}} \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели*

По определению плотности:  $\rho_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{V_{\text{св}}}$ .

*Решение и анализ результатов*

Из формулы для определения плотности найдем формулу для определения объема:  $V_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}}$ .

Проверим единицу искомой величины:

$$[V_{\text{св}}] = \text{г} : \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} = \text{см}^3.$$

Определим числовое значение искомой величины:

$$\{V_{\text{св}}\} = \frac{570}{11,4} = 50, \quad V_{\text{св}} = 50 \text{ см}^3.$$

Проанализируем результат: поскольку объем свинца меньше, чем объем шара, то шар полый.

$$V_{\text{пол}} = 60 \text{ см}^3 - 50 \text{ см}^3 = 10 \text{ см}^3.$$

*Ответ:* шар имеет полость объемом 10 см<sup>3</sup>.

**Задача № 3.** Канистру, вмещающую 20 кг воды, наполнили бензином. Определите массу бензина в канистре.

*Анализ физической проблемы.* Для определения массы бензина в канистре нам необходимо найти плотность бензина и емкость канистры, которая равна объему воды. Объем воды определим по ее массе и плотности. Плотность воды и плотность бензина найдем по таблице. Задачу лучше решать в единицах СИ.

Дано:

$$m_{\text{в}} = 20 \text{ кг}$$

$$V_{\text{в}} = V_{\text{б}}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{б}} = 710 \text{ кг/м}^3$$

$$m_{\text{б}} \text{ — ?}$$

*Поиск математической модели*

По определению плотности:

$$\rho_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{V_{\text{в}}}, \text{ откуда } V_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (1)$$

$$\text{а } \rho_{\text{б}} = \frac{m_{\text{б}}}{V_{\text{б}}}, \text{ откуда } m_{\text{б}} = \rho_{\text{б}} \cdot V_{\text{б}}. \quad (2)$$

*Решение и анализ результатов*

Поскольку  $V_{\text{в}} = V_{\text{б}}$ , подставив формулу (1) в формулу (2), получим:

$$m_{\text{б}} = \rho_{\text{б}} \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{б}} \cdot m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}.$$

Проверим единицу искомой величины:

$$[m_{\text{б}}] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \left( \text{кг} : \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}} = \text{кг}.$$

Определим числовое значение:

$$\{m\} = \frac{710 \cdot 20}{1000} = 14,2, \quad m = 14,2 \text{ кг}.$$

Проанализируем результат: полученное значение массы бензина в канистре достаточно реально.

*Ответ:* канистра содержит бензин массой 14,2 кг.



**Задача № 4.** Сколько железнодорожных цистерн потребуется для перевозки 1080 т нефти, если объем каждой цистерны 25 м<sup>3</sup>?

*Анализ физической проблемы.* Чтобы найти количество цистерн, необходимо вычислить общий объем нефти, которую нужно перевезти. Общий объем нефти определим по ее массе и плотности. Разделив общий объем нефти на емкость каждой цистерны, мы легко найдем количество цистерн. Плотность нефти найдем по таблице. Задачу лучше решать в единицах СИ.

Дано:

$$m = 1080 \text{ т} = 1\,080\,000 \text{ кг}$$

$$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$V_0 = 25 \text{ м}^3$$

$N = ?$

*Поиск математической модели*

Количество цистерн  $N$  рассчитаем по формуле

$$N = \frac{V}{V_0}, \quad (1)$$

где  $V$  — общий объем нефти,  $V_0$  — емкость цистерны. По определению плотности:  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Отсюда  $V = \frac{m}{\rho}$ . (2)

*Решение и анализ результатов*

Подставив формулу (2) в формулу (1), найдем общее количество цистерн:

$$N = \frac{m}{\rho} : V_0 = \frac{m}{\rho \cdot V_0}.$$

Проверим единицу искомой величины:

$$[N] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^3} = 1.$$

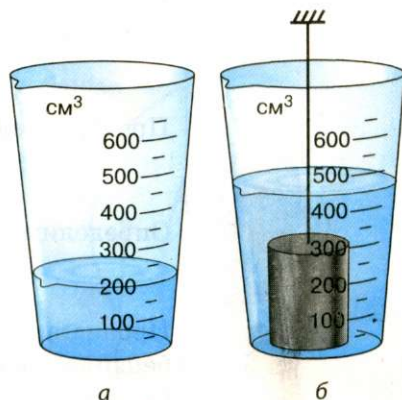
Найдем числовое значение:

$$\{N\} = \frac{1080\,000}{800 \cdot 25} = 54, \quad N = 54.$$

Проанализируем результат: количество цистерн, полученное нами в результате расчетов, достаточно реально.

*Ответ:* потребуется 54 цистерны.

**Задача № 5.** В мензурку с водой (рисунок а) опустили сплошной металлический цилиндр массой 675 г (рисунок б). Определите плотность вещества, из которого изготовлен цилиндр. Что это за вещество?



Дано:

$V_1 = 200 \text{ см}^3$

$V_2 = 450 \text{ см}^3$

$m = 675 \text{ г}$

 $\rho = ?$ 

*Анализ физической проблемы; поиск математической модели.* Плотность вещества, из которого изготовлен цилиндр, равна плотности цилиндра.

$$\text{По определению плотности } \rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Масса цилиндра известна из условия задачи.

$$\text{Объем цилиндра вычислим по формуле: } V = V_2 - V_1, \quad (2)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  — объемы воды в мензурке до и после погружения цилиндра соответственно.

Задачу лучше решать в данных единицах.

*Решение и анализ результатов*

Подставив выражение (2) в выражение (1), получим формулу для вычисления плотности цилиндра:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}.$$

Проверим единицу искомой величины:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3 - \text{см}^3} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Найдем числовое значение:

$$\{\rho\} = \frac{675}{250} = 2,7, \quad \rho = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Проанализируем результат: воспользовавшись таблицей плотностей, выясним, какому веществу соответствует полученное значение плотности; плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$  имеет алюминий.

*Ответ:* плотность вещества  $2700 \text{ кг/м}^3$ , это алюминий.

### Упражнения

- Из какого материала изготовлен детский кубик, объем которого равен  $250 \text{ см}^3$ , а масса —  $110 \text{ г}$ ?
- В автомобильный бак для горючего вмещается  $71 \text{ кг}$  бензина. Определите емкость бака. Выразите полученный ответ в литрах.
- Чтобы определить емкость сосуда, его взвесили, потом полностью заполнили водой и снова взвесили. Определите емкость сосуда, если масса пустого сосуда равна  $1,2 \text{ кг}$ , а масса сосуда с водой —  $11,2 \text{ кг}$ .
- Масса серебряной фигурки  $707 \text{ г}$ , а ее объем —  $0,7 \text{ дм}^3$ . Определите, сплошная это фигурка или полая. Ответ обоснуйте.
- Что больше — масса тела учителя физкультуры или масса воздуха в спортзале, если масса учителя  $80 \text{ кг}$ , а размеры спортзала  $20 \times 10 \times 5 \text{ м}$ ? Объемом, который занимает в спортзале спортивный инвентарь, пренебречь.
- Алюминиевый цилиндр массой  $1,35 \text{ кг}$  полностью погрузили в сосуд, до краев наполненный спиртом. Какова масса вылившегося спирта?
- Объем железнодорожной цистерны равен  $30 \text{ м}^3$ . Сколько тонн нефти привезет состав из 50 цистерн?



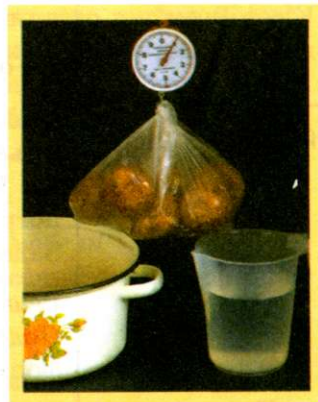


### Экспериментальные задания

1. Определите плотность сырого картофеля. Воспользуйтесь оборудованием, изображенным на рисунке. Можете найти также плотность других овощей, которые есть на вашей кухне. Помните: чтобы правильно определить объем тела, его следует погрузить в воду полностью.

2. Имея сосуд, до краев наполненный водой, весы и разновесы, определите плотность небольшого металлического тела. Из какого металла изготовлено это тело?

3. По легенде, древнегреческий ученый Архимед помог разоблачить мошенничество ювелира. По заказу царя Сиракуз Гиерона ювелир изготовил золотую корону, предназначенную стать даром бессмертным богам. Архимед взял слиток золота, который по массе был равен короне, наполнил водой до краев сосуд и... Как вы думаете, что сделал Архимед? Смоделируйте задачу Архимеда на опыте.



## § 12. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ

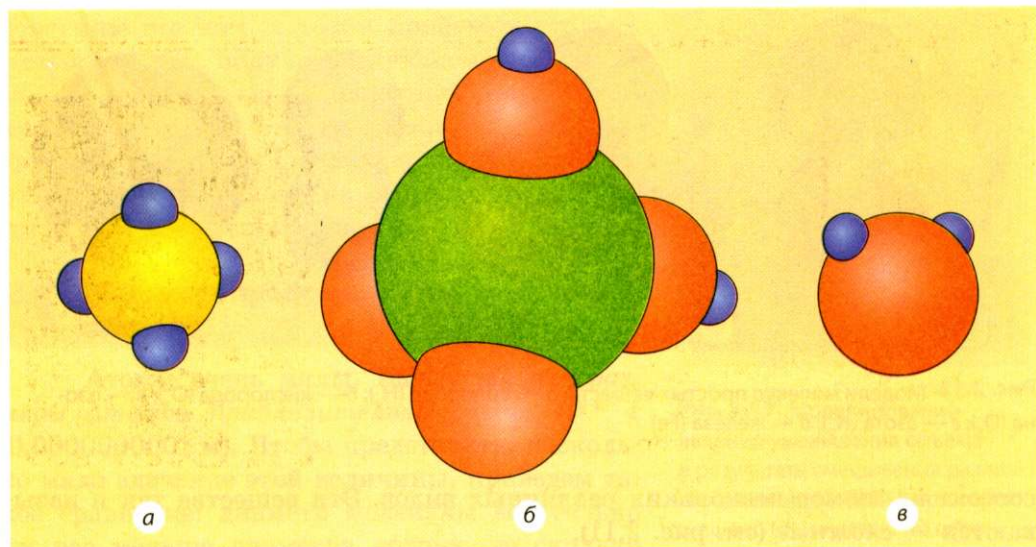
■ *Из чего состоят вещества? Насколько малымя являются наименьшие частички вещества? Существует ли отличие между молекулами одного и того же вещества? Можно ли сосчитать молекулы в булавочной головке? Эти и другие вопросы мы обсудим подробнее и вместе найдем ответы.*



### 1 Различаем атом и молекулу

Из предыдущего курса «Природоведение» вы уже знаете, что все вещества состоят из мелких частичек — **молекул** и **атомов**. Вы также знаете, что первичные составные части вещества — атомы — имеют специальные названия и символы для обозначения каждого из видов атомов. Например: водород (H), ртуть (Hg), кислород (O), углерод (C). Атомы разных видов отличаются друг от друга по своим *химическим свойствам и массе*. С физической величиной под названием «масса» вы уже познакомились в § 9. Что такое «химические свойства», вы узнаете из курса химии.

По положению на 2005 год науке известны только 116 различных видов атомов. «Не может быть, — возразите вы. — Как это, только 116? Каждый из нас с легкостью перечислит 200—300, а может быть, и больше различных веществ». Да, действительно, в мире существуют миллионы разных веществ. Как же соединить существование только 116 различных видов атомов с миллионами разных веществ? Дело в том, что вещества по большей части состоят из молекул.



**Рис. 2.11.** Модели молекул некоторых веществ: *а* — метана ( $\text{CH}_4$ ); *б* — серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); *в* — воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ). (Синие шарики — атомы водорода, красные — кислорода, зеленые — серы, желтые — углерода.)

**Молекулой** называется наименьшая частичка вещества, имеющая его основные химические свойства и состоящая из атомов.

Ситуация с разными веществами очень похожа на составление тысяч разных слов из «только» 32 различных букв алфавита. В этом сравнении каждая буква — это, так сказать, отдельный атом, а каждое слово соответствует молекуле, т.е. определенному веществу.

На рис. 2.11, *а* вы видите схематическое изображение молекулы метана, состоящей из пяти атомов: четырех атомов водорода и одного атома углерода. Пользуясь нашей аналогией, — это слово из пяти букв. На рис. 2.11, *б* приведена схема более сложной молекулы серной кислоты, состоящей из семи атомов. Аналог этой молекулы — слово из семи букв. Из приведенных примеров понятно, что каждая новая молекула (новая комбинация атомов) соответствует новому веществу.

2

### Знакомимся с простыми и сложными веществами

Продолжим нашу аналогию сравнения веществ со словами. Вы, наверное, знаете, что рядом с обычными словами, состоящими из нескольких разных букв, мы иногда произносим и слова с использованием только одной буквы (например, «я», «а-а...», «у-у-у...»)… Так же и с веществами. Некоторые из них состоят только из одного вида атомов (одного химического элемента) и потому называются *простыми* (см. рис. 2.12). Примерами таких веществ является углерод, железо и др.

Совершенно очевидно, что слов, состоящих из нескольких букв, намного больше, чем слов из одной буквы. Так же и с веществами. Чаще всего в повседневной жизни мы сталкиваемся с веществами, молекулы которых



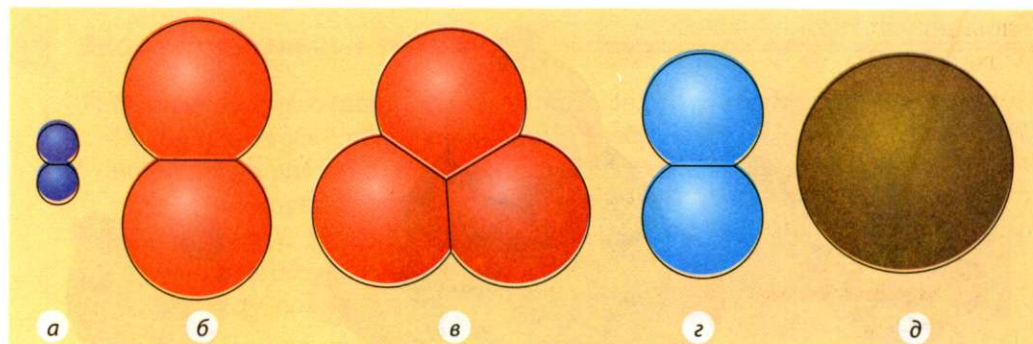


Рис. 2.12. Модели молекул простых веществ: а — водорода ( $H_2$ ); б — кислорода ( $O_2$ ); в — озона ( $O_3$ ); г — азота ( $N_2$ ); д — железа (Fe)

состоят из атомов нескольких различных видов. Эти вещества так и называются — *сложные* (см. рис. 2.11).

Напомним, что в научной литературе во избежание путаницы применяются разные названия для простых веществ и для химических элементов, из которых эти вещества состоят. Примеры названий простых веществ и соответствующих им химических элементов приведены в таблице.

Название химического элемента	Символ химического элемента	Название соответствующего простого вещества
Аурум	Au	Золото
Гидроген	H	Водород
Карбон	C	Углерод
Купрум	Cu	Медь
Нитроген	N	Азот
Оксиген	O	Кислород
Силициум	Si	Кремний
Феррум	Fe	Железо

### 3 Убеждаемся в наличии промежутков между молекулами

После того как мы познакомились с наименьшими частичками вещества, давайте вспомним некоторые сведения о строении вещества.

В результате проведенных исследований ученые выяснили, что *между молекулами (атомами) существуют промежутки*. Этот вывод ученых можно легко подтвердить довольно простым опытом. Если смешать 100 мл воды и 100 мл спирта, то объем смеси будет меньше, чем 200 мл. Дело в том, что при смешивании двух жидкостей молекулы воды попадают в промежутки между молекулами спирта. Приведенный опыт можно смоделировать, например, с помощью пшена и гороха (рис. 2.13). Наполните стакан до

половины пшеном, а потом прибавьте столько же гороха. Вы получите двухслойную композицию и полностью заполненный стакан. Аккуратно перемешайте эту композицию, и вы увидите, что объем смеси будет меньшим, чем исходный — часть пшена разместилась в пустотах между горошинами.

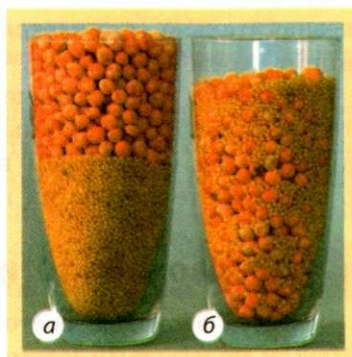
#### 4 Пытаемся представить себе размеры атомов

Атомы очень малы. Выяснено, что *размеры атомов приблизительно равны  $10^{-10}$  г (0,0000000001 м)*. Чтобы представить, насколько мало значение этой величины, приведем такое сравнение: диаметр молекулы во столько же раз меньше диаметра яблока, во сколько раз диаметр яблока меньше диаметра Земли.

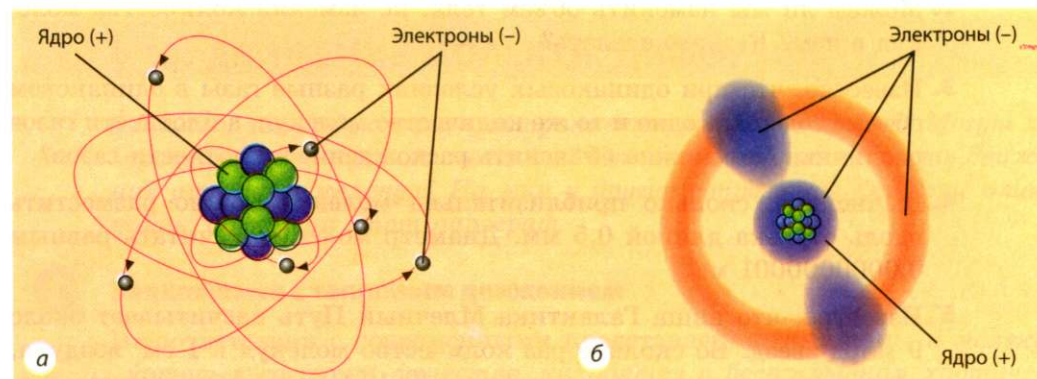
О размерах атомов также можно судить из такого примера. Если бы все люди нашей планеты проводили всю жизнь, занимаясь только счетом, то все вместе они смогли бы сосчитать атомы только в одной булавочной головке.

#### 5 Вспоминаем строение атома

Опыты показали, что атом *имеет сложную структуру*. Он представляет собой положительно заряженное ядро, окруженное облаком легких частичек — электронов, имеющих отрицательный заряд (рис. 2.14). Масса ядра



**Рис. 2.13.** Моделирование явления уменьшения объема в результате смешивания различных жидкостей. Если взять горох и пшено (а) и тщательно перемешать их, увидим, что объем смеси меньше суммы объемов ее компонентов (б). Это можно объяснить тем, что зерна пшена попали в промежутки между горошинами



**Рис. 2.14.** Модели атома: а — планетарная модель: в центре атома — ядро, вокруг ядра вращаются электроны; б — современная: электроны как бы «размазаны» по орбитали — некоторым частям пространства, окружающего ядро. Для наглядности расстояние от ядра до электронов показано в 2—3 раза больше, чем диаметр ядра. На самом деле это расстояние превышает размеры ядра в 100000 раз



незначительно отличается от массы атома. Масса же электронов в сравнении с ядром очень мала.

Конечно, приведенные в этом параграфе данные — это только незначительная часть современных сведений об атомах и молекулах. С некоторыми другими их свойствами вы познакомитесь в следующих параграфах, кое о чем узнаете в старших классах.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Все вещества состоят из мелких частичек — молекул или атомов. Между молекулами (атомами) существуют промежутки.

Молекулой называется наименьшая частичка вещества, имеющая его основные химические свойства и состоящая из атомов. Атом имеет сложную структуру и представляет собой положительно заряженное ядро, окруженное облаком легких частичек — электронов, имеющих отрицательный заряд.



### Контрольные вопросы

1. Сколько разных видов атомов известно науке? Чем они отличаются друг от друга?
2. Какие вещества называют простыми? Приведите примеры.
3. Приведите примеры некоторых сложных веществ. Из каких атомов они состоят?
4. Как можно доказать, что между частичками вещества существуют промежутки?
5. Как показать, что атомы и молекулы очень малы?
6. В переводе с греческого языка «атом» означает «неделимый». Так ли это?



### Упражнения

1. Можем ли мы утверждать, что объем вещества в сосуде равняется сумме объемов молекул, из которых это вещество состоит?
2. Можем ли мы изменить объем тела, не изменяя количества молекул в нем? Как это сделать?
3. Известно, что при одинаковых условиях разные газы в одинаковом объеме содержат одно и то же количество молекул, а плотности газов различны. Чем можно объяснить расхождение в плотности газов?
4. Вычислите, сколько приблизительно молекул можно разместить вдоль отрезка длиной 0,5 мм. Диаметр молекулы считать равным 0,0000000001 м.
5. Известно, что наша Галактика Млечный Путь насчитывает около 9 млрд звезд. Во сколько раз количество молекул в 1 см<sup>3</sup> воздуха, равное (при нормальных условиях)  $3 \cdot 10^{10}$ , больше указанного количества звезд?
6. Площадь пленки, которую образует на поверхности воды капля масла объемом 0,005 мм<sup>3</sup>, не может превышать 50 см<sup>2</sup>. Какой вывод относительно размера молекул масла следует из этого факта?

**Экспериментальные задания**

1. Растворите крупинку краски в воде, налитой в прозрачный сосуд. Отлейте немного окрашенной воды в другой сосуд и долейте чистой воды. Сравните окраску раствора в первом и втором сосудах. Аналогично разбавьте раствор еще несколько раз. Сравните окраску последнего раствора с чистой водой. Объясните результат.
2. Сделайте из цветного пластилина модели двух молекул воды. Составьте из этих моделей модели молекул водорода и кислорода.

**Физика и техника в Украине**

**Георгий Вячеславович Курдюмов** (1902–1996) — выдающийся металлофизик, профессор, академик российской и украинской академий наук. На протяжении длительного времени он работал в Днепропетровске и Киеве, где создал современные научные школы по исследованию физики металлов и сплавов.

Наиболее важными результатами его научной деятельности с практической точки зрения было создание научных основ термической обработки металлов — средств существенного упрочнения сталей — и создание новых материалов с уникальными свойствами.

Академик Курдюмов также известен своими фундаментальными исследованиями кристаллической структуры сталей и открытием так называемого «эффекта Курдюмова».

Президиум НАН Украины ввел премию им. Г. В. Курдюмова.

**§ 13. ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ. ДИФФУЗИЯ**

■ Почему запах духов распространяется по всей комнате? Могут ли «срастись» два кусочка металла? От чего зависит скорость движения атомов и молекул? На эти и другие вопросы вы сможете ответить, прочитав этот параграф.

**1****Знакомимся с тепловым движением**

В соответствии с современными представлениями, атомы и молекулы, из которых состоит вещество, находятся в непрерывном хаотическом движении. Такое движение называется **тепловым**.

Тепловое движение невозможно увидеть невооруженным глазом, ведь размеры молекул очень малы.

Однако существует много физических явлений, объяснить которые можно только опираясь на тот факт, что молекулы постоянно двигаются.





**Рис. 2.15.** Воспользовавшись воронкой с длинным носиком, можно аккуратно налить раствор медного купороса на дно стакана с водой



**Рис. 2.16.** Наблюдение явления диффузии в жидкостях: в результате диффузии резкая граница между раствором медного купороса и водой постепенно исчезает

## 2 Вспоминаем определение диффузии

Бесспорным доказательством движения молекул служит физическое явление, хорошо известное вам из курса природоведения, — *диффузия* (от лат. *diffusio* — распространение, растекание).

Напомним, что *диффузией* называют взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга, происходящее в результате теплового (хаотического) движения молекул (атомов).

## 3 Наблюдаем диффузию в газах и жидкостях

Вспомните, что происходит, если где-то в комнате разлить ароматное вещество, например духи, — его запах в скором времени будет ощущаться повсюду. Это значит, что молекулы ароматного вещества, двигаясь, попадают в промежутки между молекулами воздуха, которым заполнена комната, т. е. наблюдается диффузия. Именно в результате диффузии в газах мы ощущаем запах свежеспеченного хлеба из булочной или запах прогретой солнцем травы.

Диффузию можно наблюдать и в жидкостях. Проведем такой опыт. В прозрачный сосуд с чистой водой с помощью воронки нальем раствор медного купороса так, чтобы жидкости не смешались (рис. 2.15). Сначала мы наблюдаем резкую границу между водой и раствором медного купороса. Оставив сосуд в покое на несколько дней, мы увидим, что вся жидкость в сосуде приобрела бирюзовый цвет (рис. 2.16). Причем перемешивание жидкостей произошло без вмешательства извне. Схематически процесс диффузии изображен на рис. 2.17. Многочисленные опыты свидетельствуют, что диффузия в жидкостях протекает значительно медленнее, чем в газах. Еще медленнее происходит диффузия в твердых телах. Почему? Ответ на этот вопрос следует искать в особенностях расположения молекул газов, жидкостей и твердых тел.



4

### Выясняем, как связаны скорость движения молекул и температура

Приготовим два сосуда, как показано на рис. 2.15. Один из сосудов поставим в теплое место, второй — в холодное. Посмотрев через некоторое время на сосуды, мы убедимся, что в теплом растворе диффузия произошла намного быстрее.

В случае повышения температуры скорость диффузии в газах также увеличивается.

Зависимость скорости диффузии от температуры особенно заметна для твердых тел. Так, английский металлург Вильям Роберт Остин провел следующий опыт. Он наплавил тонкий диск золота на свинцовый цилиндр (рис. 2.18, а) и на несколько дней поместил этот цилиндр в печь, где поддерживалась температура около 400 °С. Оказалось, что золото продиффундировало через весь цилиндр (рис. 2.18, б); тем временем при комнатной температуре диффузия практически не наблюдалась.

Таким образом, мы выяснили, что чем выше температура вещества, тем быстрее происходит диффузия, т. е. молекулы быстрее двигаются.

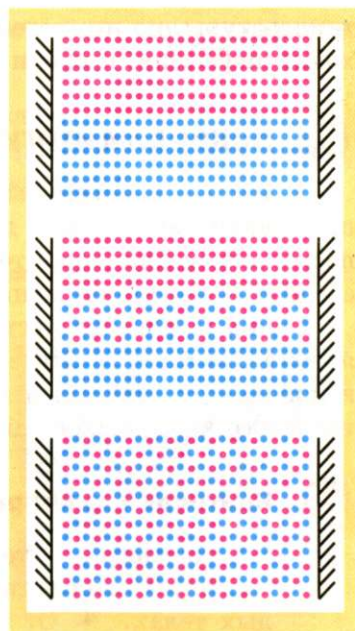
Довольно сложные эксперименты показывают, что при любой температуре в веществе есть молекулы,двигающиеся довольно медленно, и молекулы, скорость которых высока. Если количество молекул вещества, имеющих высокую скорость, увеличивается, т. е. увеличивается средняя скорость молекул, то это значит, что температура вещества также увеличивается.

5

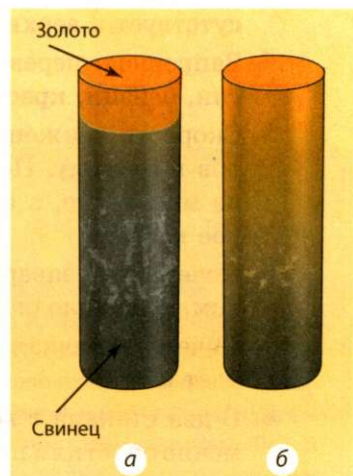
### Узнаем о диффузии в природе и ее применении в технике

Явление диффузии очень распространено в природе. Благодаря диффузии углекислый газ попадает в листву растений; кислород из воздуха — на дно водохранилищ; питательные вещества впитываются в кишечнике; кислород из легких попадает в кровь, а из крови — в ткани и т. д.

Диффузию широко применяют в технике. Одним из примеров является диффузное сваривание металлов. Куски металлов крепко прижимают друг к другу, нагревают до высокой



**Рис. 2.17.** Схематическое изображение процесса диффузии: молекулы одной жидкости проникают в промежутки между молекулами другой и в результате со временем жидкости полностью перемешиваются



**Рис. 2.18.** Опыт по наблюдению диффузии в твердых телах: а — свинцовый цилиндр с напаянной золотой пластинкой; б — тот же цилиндр в конце опыта



температуры, но ниже температуры плавления. В месте соединения происходит диффузия, и куски металлов как будто срastaются.

### 📌 **ПОДВОДИМ ИТОГИ**

Атомы и молекулы, из которых состоит вещество, находятся в непрерывном хаотическом движении. Такое движение называется тепловым, поскольку увеличение температуры вещества соответствует увеличению средней скорости движения его молекул (атомов).

Одним из доказательств движения частиц вещества является физическое явление, которое называется диффузией. Диффузия — взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга, происходящее в результате теплового хаотического движения молекул (атомов).

### ❓ **Контрольные вопросы**

1. Что называют тепловым движением?
2. Дайте определение диффузии.
3. Приведите примеры диффузии в газах, жидкостях и твердых телах.
4. От чего зависит скорость диффузии? Объясните причины этой зависимости.
5. Приведите примеры диффузии в природе.

### ✎ **Упражнения**

1. В чем отличие холодной воды от горячей на «молекулярный взгляд»?
2. В каком состоянии вещества (газообразном, твердом или жидком) диффузия происходит быстрее? Почему?
3. Углекислый газ более тяжелый, чем другие газы, однако он присутствует в верхних слоях атмосферы. Объясните это явление.
4. Запрещено перевозить вместе с пищей такие вещества, как керосин, бензин, краски. Почему?
5. Скорость движения молекул газа составляет несколько сотен метров в секунду. Почему же мы ощущаем запах разлитой жидкости не мгновенно, а спустя некоторое время?
6. Почему чай заваривают кипятком, а не холодной водой?
7. Почему сушеная слива разбухает в воде?
8. В два стакана с водой одновременно опустили по одинаковому кусочку сахара (см. рисунок). В каком стакане начальная температура воды была выше?
9. Ощувив опасность, кальмар выбрасывает темно-синюю за-



а

б

щитную жидкость. Почему через некоторое время вода, окрашенная этой жидкостью, даже в спокойном состоянии снова становится прозрачной?

10. Правильным ли, по вашему мнению, является утверждение, что запах свежего хлеба из пекарни распространяется лишь в том направлении, куда дует ветер? Обоснуйте свой ответ.



### Экспериментальные задания

1. Надуйте два воздушных шарика. Один шарик поместите в теплое место, второй — в холодное. Через сутки сравните, какой шарик оказался меньше сдутым. Почему?

2. Приготовьте крепкий раствор кухонной соли. Налейте в стакан чистую воду, потом с помощью воронки осторожно налейте раствор соли на дно стакана (см. рисунок). Попробуйте верхнюю жидкость на вкус, убедитесь, что она несоленая. Отставьте стакан на сутки, а потом снова попробуйте воду. Какой результат вы получили? Объясните его.



3. Возьмите два тонкостенных стакана. В один из них налейте холодную воду, в другой — горячую. С помощью пипетки опустите на дно каждого стакана несколько капель крепкого чая. Объясните результаты.

### Физика и техника в Украине



**Иван Павлович Пулюй** (1845—1918) родился на Тернопольщине.

Ученые особенно отмечают работы Ивана Пулюя в области молекулярной физики — данные о коэффициентах внутреннего трения и диффузии газов и пара. Эти данные являются исходными при вычислении таких микроскопических величин, как средняя длина свободного пробега молекул, их количество в одной грамм-молекуле и т. п. В области электротехники Иван Пулюй усовершенствовал технологию изготовления осветительных ламп, первым исследовал неоновый свет. При участии Пулюя запущен ряд электростанций на постоянном токе в Австро-Венгрии, а также первая в Европе на переменном токе. Значительный вклад был внесен Пулюем в исследование рентгеновских лучей.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8



**Тема.** Исследование явления диффузии в жидкостях и газах.

**Цель:** наблюдение явления диффузии, сравнение скорости диффузии в жидкостях и газах.

**Оборудование:** пробирка с маленьким (0,5—1 мм) кусочком акварельной краски; закупоренная пробирка с ватой, смоченной нашатырным спиртом; пробирка с водой; лист картона; стакан.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### 1) Исследование диффузии в газах

Расположите пробирку с ватой, смоченной спиртом, на расстоянии приблизительно 20 см от лица (ближе подносить пробирку не следует). Откройте пробирку. Измерьте время, которое пройдет от момента открывания пробирки до момента обнаружения вами запаха спирта. После обнаружения запаха быстро закройте пробирку пробкой.

#### 2) Исследование диффузии в жидкостях

На глянцевую сторону картонного листа капните воду и в середину капли поместите кусочек акварельной краски. Измерьте время, в течение которого капля воды окрасится.

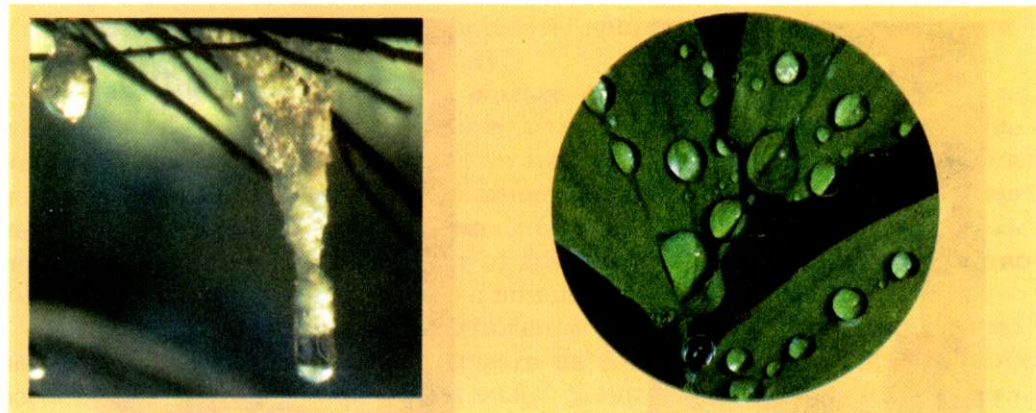
#### 3) Анализ результатов исследования

Объясните явления, которые вы наблюдали, и сделайте вывод, где укажите: а) какое явление вы исследовали; б) где скорость диффузии выше — в жидкости или в газе. *и почему*

## § 14. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛ

■ *Оглянитесь вокруг, и вы увидите множество физических тел. Это и ваш сосед, с которым вы сидите за партой, и сама парта. Это и стул, на котором вы сидите, и ручка, которой вы пишете, и т. п. Все эти тела, как вы уже знаете, состоят из разделенных промежутками частичек, которые постоянно двигаются. Тогда почему частички, из которых состоят физические тела, не разлетаются во все стороны? Более того, тела не только не рассыпаются на отдельные молекулы — наоборот, чтобы их растянуть, сломать, разорвать, нужно приложить усилие. Попробуем разобраться, почему так.*





**Рис. 2.19.** Висящая капля воды удерживается от падения силами притяжения между молекулами. Слишком тяжелая капля падает

### 1 Подтверждаем взаимодействие молекул

Причина того, что все тела вокруг нас не распадаются на отдельные молекулы, очевидна: молекулы притягиваются друг к другу. Каждая молекула притягивается к соседним молекулам, а те, в свою очередь, — к ней. Именно благодаря межмолекулярному притяжению твердые тела сохраняют свою форму, жидкость собирается в капли (рис. 2.19), скотч прилипает к бумаге, чернила оставляют след на листе, прижатые друг к другу срезами свинцовые цилиндры крепко схватываются (рис. 2.20).

В науке установлено, что *притяжение между молекулами действует всегда*. Почему же тогда разбитая чашка не становится целой после того, как ее обломки прижмут друг к другу? С какой бы силой мы ни прижимали друг к другу части сломанного карандаша, они также не соединятся в целый карандаш.

Дело в том, что *притяжение между молекулами становится заметным только на очень малых расстояниях (таких, которые можно сравнить с размерами самих частичек)*. Прижимая обломки чашки или части сломанного карандаша, мы приближаем на такие расстояния только очень малое количество молекул. Расстояние же между большинством из них остается таким, что молекулы практически не взаимодействуют. Теперь становится



**Рис. 2.20.** Прижатые друг к другу свежими срезами свинцовые бруски слипаются так крепко, что выдерживают вес большой гири



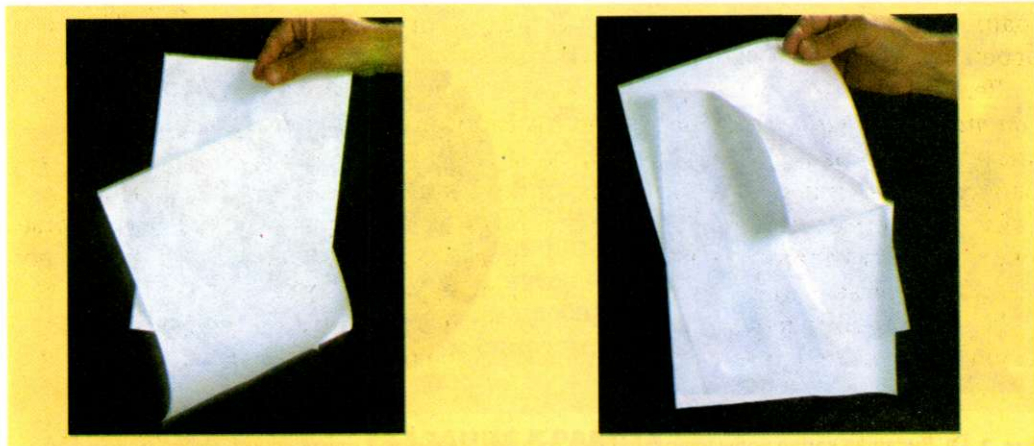


Рис. 2.21. Опыт по выяснению условий межмолекулярного притяжения

понятным, почему для того, чтобы свинцовые цилиндры слиплись, необходимо предварительно отшлифовать срезы, а кусочки мягкого воска или пластилина легко слипнутся и без всякого шлифования.

Два сухих листа невозможно сблизить настолько, чтобы они соединились. Однако если смочить листы водой, то они слипнутся, так как молекулы воды приблизятся к молекулам бумаги настолько, что межмолекулярное притяжение уже будет удерживать листы друг возле друга (рис. 2.21).

Межмолекулярное притяжение также является причиной *смачивания* или *несмачивания* тела определенными жидкостями (рис. 2.22).

## 2 Подтверждаем межмолекулярное отталкивание

Выше мы доказали, что между молекулами существует притяжение. Учитывая это, возникает целый ряд вопросов. Почему же молекулы газов, в беспорядке двигаясь и постоянно сталкиваясь между собой, не слипаются

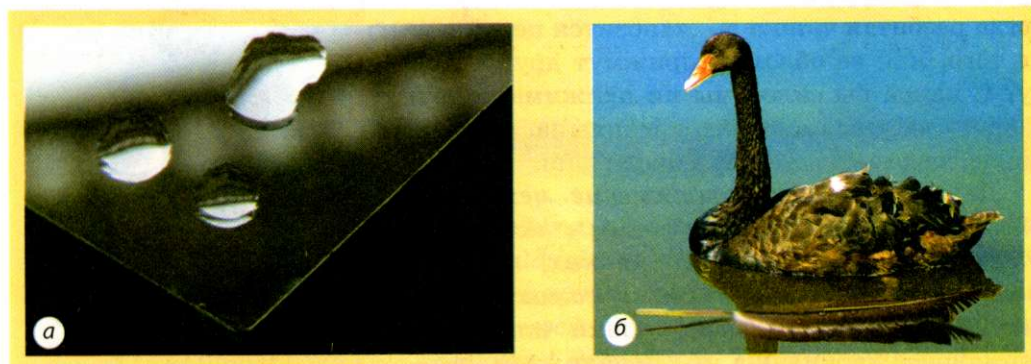


Рис. 2.22. Капелька воды растекается по поверхности чистого стекла (смачивает ее), поскольку притяжение между молекулами жидкости больше, чем между молекулами жидкости и стекла (а). Притяжение между молекулами воды больше, чем между молекулами воды и жира, которым покрыты перья водоплавающих птиц, поэтому вода не смачивает их (вспомните выражение «как с гуся вода») (б)

в один большой ком? Почему, если сжать, например, губку, она через некоторое время восстановит свою форму?

Дело в том, что *молекулы не только притягиваются друг к другу, но и отталкиваются*. Если расстояние между ними станет очень малым (немного меньше размера молекулы), то межмолекулярное отталкивание становится более сильным, чем притяжение. Попробуйте сжать, например, монетку. Вы не сможете заметно уменьшить ее размеры, так как молекулы монетки будут отталкиваться друг от друга. Так же вы не сможете заметно уменьшить объем жидкости даже с помощью мощного пресса.

Именно межмолекулярное притяжение и отталкивание удерживает молекулы жидкостей и твердых веществ на более или менее определенных расстояниях, которые приблизительно равны размерам самих молекул. В случае уменьшения расстояния молекулы начинают отталкиваться друг от друга, а в случае увеличения — притягиваться, поэтому как для сближения, так и для отдаления молекул необходимо приложить усилие.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Молекулы взаимодействуют между собой: они одновременно притягиваются и отталкиваются. Межмолекулярное взаимодействие проявляется на расстояниях, которые можно сравнить с размерами самих молекул.



### Контрольные вопросы

1. Почему твердые тела и жидкости не распадаются на отдельные молекулы?
2. При каких условиях притяжение между молекулами становится заметным?
3. При каком условии наблюдается отталкивание молекул?
4. Почему невозможно соединить два обломка чашки, даже сильно прижимая их друг к другу, а два куса пластилина легко слипаются?
5. Известно, что между молекулами существует притяжение. Почему же тогда молекулы, например, воздуха не собираются в одном месте?



### Упражнения

1. Как бы старательно вы ни соединяли два обломка линейки, они не соединятся. Почему в этом случае не сказывается притяжение молекул?
2. Почему для того чтобы разорвать шнур, нужно приложить усилие?
3. С какой целью при складировании листового стекла его прокладывают бумажными лентами?
4. Жидкий клей обеспечивает прочное соединение двух тел. Объясните, вследствие чего это происходит.
5. Что общего и в чем разница между процессами сваривания и пайки металлов?
6. Перья водоплавающих птиц покрыты тонким слоем жира. Какую пользу это приносит птицам?





### Экспериментальные задания

1. Используя мягкую пружинку (или тонкую резинку), чистую металлическую (или стеклянную) пластинку и блюдо с водой, продемонстрируйте, что между молекулами воды и металла (стекла) существуют силы притяжения.
2. Используя листы бумаги, сосуды с растительным маслом и водой, получите ответы на такие вопросы. Слипнутся ли два листа, если их смочить водой? маслом? если один смочить водой, а второй маслом? Обоснуйте результаты эксперимента.

## § 15. АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

■ Бывали ли вы зимой на берегу быстрой горной реки? Посмотрите на рисунок ниже (рис. 2.23). Вокруг лежит снег, замерли на берегу деревья, покрытые инеем, который сияет в солнечных лучах, а речка не замерзает. Чрезвычайно чистая, прозрачная вода разбивается об обмерзшие камни. Почему появился иней? В чем отличие воды и льда? Есть ли между ними сходство? В этом параграфе вы обязательно найдете ответы на эти вопросы.

1

### Наблюдаем разные агрегатные состояния вещества

Вы уже знаете, что вода и лед (снег, иней) — это два разных агрегатных состояния воды: жидкое и твердое. Появление инея на деревьях объясняется просто: вода с поверхности реки испаряется, превращаясь в водяной пар. Водяной пар, в свою очередь, конденсируется и оседает в виде инея. Водяной пар — это третье состояние воды — газообразное.

Приведем еще один пример. Вы, безусловно, знаете об опасности разбить медицинский термометр: в нем содержится ртуть — густая жидкость серебристого цвета, которая, испаряясь, образует очень ядовитый пар. А вот при температуре ниже  $-39^{\circ}\text{C}$  ртуть превращается в твердый металл. Таким образом, ртуть, как и вода, может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Практически любое вещество в зависимости от физических условий может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.



Рис. 2.23. Различные агрегатные состояния воды



В нашем примере с горной рекой (рис. 2.23) присутствуют все три агрегатных состояния воды.

Существует еще одно агрегатное состояние вещества — *плазма*. Например, ртуть в плазменном состоянии содержится во включенных ртутных лампах (так называемые лампы дневного света). В мегамире плазма является распространенным состоянием вещества, так как именно в этом состоянии находится вещество в недрах звезд.

Водяной пар, вода, лед — это три агрегатных состояния одного и того же вещества, образованного *одинаковыми* молекулами — молекулами воды. Почему же физические свойства веществ, образованных одинаковыми молекулами, но находящихся в разных агрегатных состояниях, отличаются друг от друга? Вероятно, причина такого отличия заключается в том, что молекулы по-разному двигаются и взаимодействуют.

Какие же свойства имеют вещества в разных агрегатных состояниях? Как при этом двигаются и взаимодействуют молекулы?

2

### Наблюдаем и объясняем физические свойства твердых тел

Посмотрите внимательно на рис. 2.24. Все изображенные на нем твердые тела отличаются друг от друга: цветом, видом и т. п., они изготовлены из разных веществ. Вместе с тем они имеют и общие свойства, присущие всем твердым телам.

*Твердые тела сохраняют объем и форму.* Это объясняется тем, что атомы и молекулы твердых тел расположены в позициях равновесия. Силы притяжения и отталкивания между молекулами (атомами) в этих позициях равны друг другу. В случае попытки увеличить или уменьшить расстояние между частицами (т. е. увеличить или уменьшить размер тела) возникает соответственно межмолекулярное притяжение или отталкивание (см. § 14).

Вы знаете, что в соответствии с атомно-молекулярной теорией атомы (молекулы) всегда находятся в движении. Частицы твердых тел практически не передвигаются с места на место — они постоянно двигаются возле определенной точки, т. е. колеблются. Поэтому *твердые тела сохраняют* не только объем, но и *форму*.

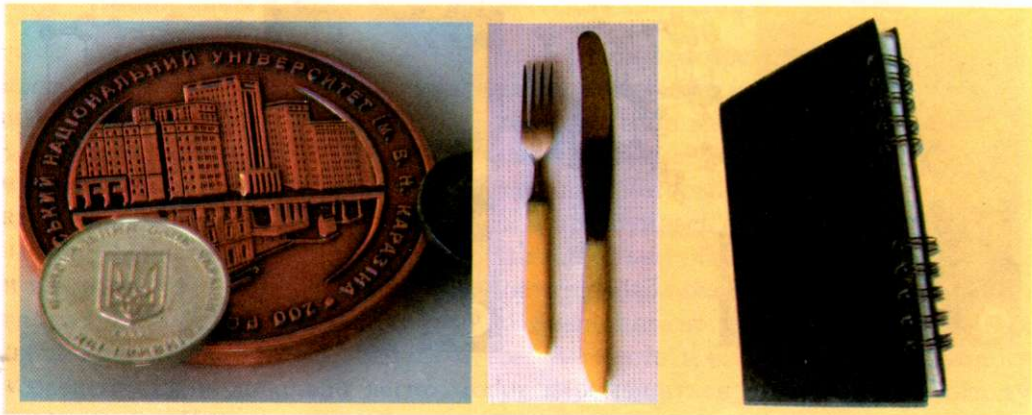
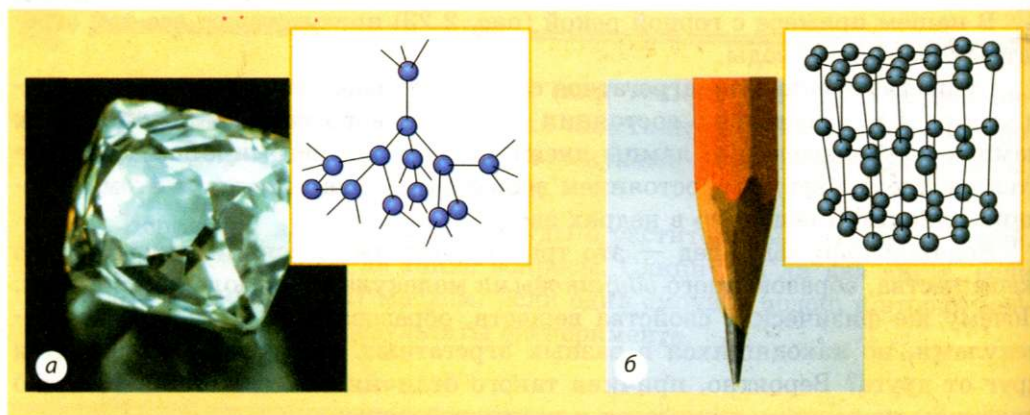


Рис. 2.24. Несмотря на внешние отличия, любые твердые тела сохраняют форму и объем



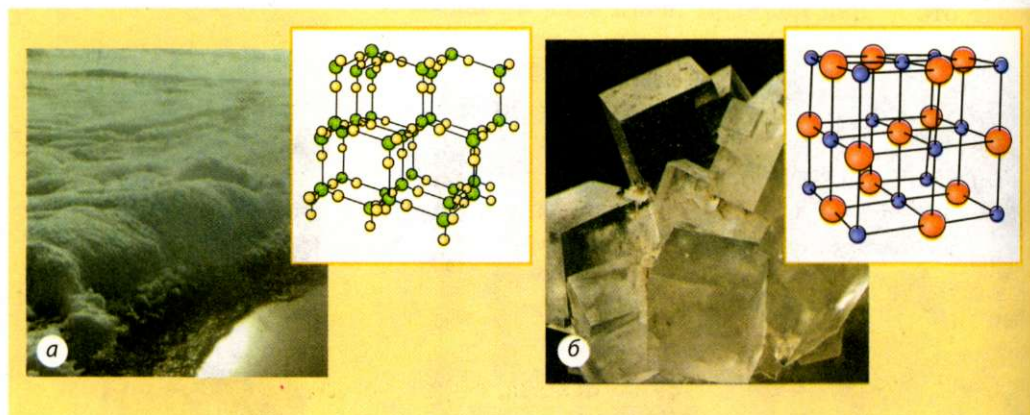


**Рис. 2.25.** Модели кристаллических решеток: *а* — алмаза, *б* — графита. Шариками изображены центры атомов; линий, соединяющих атомы, на самом деле не существует, они проведены только для того, чтобы пояснить характер пространственного расположения атомов

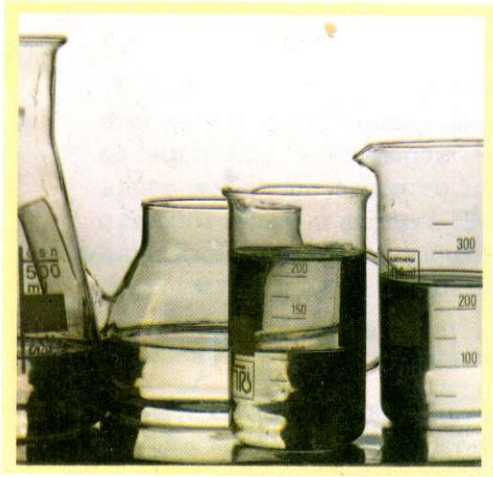
### 3 Различаем кристаллические и аморфные вещества

В ходе изучения строения твердых тел с помощью современных методов удалось выяснить, что молекулы и атомы большинства веществ в твердом состоянии расположены в *строго определенном порядке*, физики говорят: образуют **кристаллическую решетку**. Такие вещества называются кристаллическими. Примерами кристаллических веществ могут быть алмаз, графит (рис. 2.25), лед, соль (рис. 2.26), металлы и т. п.

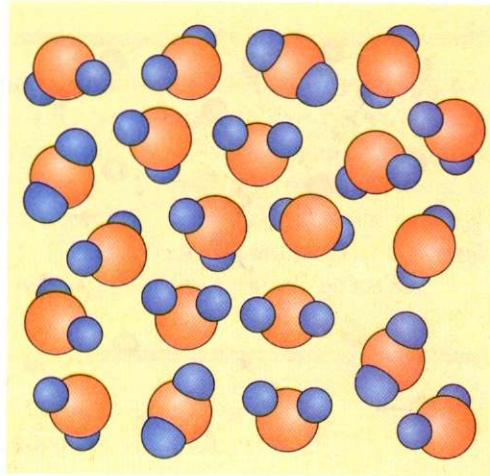
Порядок расположения атомов в кристаллической решетке вещества определяет его физические свойства. Так, например, алмаз и графит состоят из одних и тех же атомов — атомов углерода, однако эти вещества весьма отличаются друг от друга, так как атомы в них расположены по-разному (см. рис. 2.25).



**Рис. 2.26.** Модели кристаллических решеток: *а* — льда; *б* — поваренной соли (маленькие шарики — атомы Натрия, большие — атомы Хлора)



**Рис. 2.27.** В жидком состоянии вещество сохраняет объем, но приобретает форму сосуда, в котором находится



**Рис. 2.28.** Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу. В небольшом объеме жидкости наблюдается взаимная ориентация соседних молекул (существует ближний порядок). В целом же молекулы жидкости расположены хаотически

Существует группа твердых веществ (стекло, воск, смола, янтарь и т. п.), молекулы (атомы) которых не образуют кристаллической решетки и в целом расположенные беспорядочно. Такие вещества называют **аморфными**.

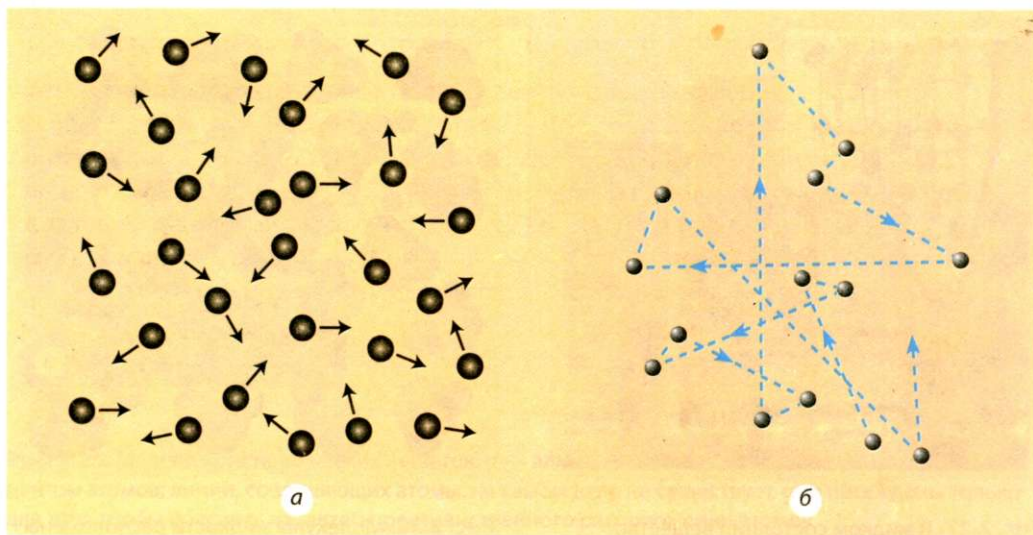
При определенных условиях твердые тела плавятся, т. е. переходят в жидкое состояние. *Кристаллические вещества плавятся при определенной температуре.* Например, лед обычно переходит в жидкое состояние, если температура равна  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нафталин — если достигает  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ртуть — если падает до  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В отличие от кристаллических, *аморфные вещества не имеют определенной температуры плавления.* В случае увеличения температуры они переходят в жидкое состояние постепенно (таяние восковой свечи).

#### 4 Наблюдаем и объясняем физические свойства жидкостей

*Жидкости легко изменяют свою форму и приобретают форму того сосуда, в котором они содержатся, тем не менее объем жидкости при этом является неизменным* (рис. 2.27). Более того, если мы попробуем сжать жидкость, нам это не удастся. Чтобы доказать несжимаемость жидкостей, ученые провели опыт: воду налили в свинцовый шар, который запаляли, а потом сжали мощным прессом. Вода не сжалась, а просочилась сквозь стенки шара.

Способность жидкостей сохранять свой объем объясняется тем, что, как и в твердых телах, молекулы в жидкостях расположены близко друг от друга (рис. 2.28). Молекулы жидкости довольно плотно упакованы, однако они не только колеблются на одном и том же месте в окружении ближайших «соседей», но и довольно легко могут перемещаться по объему, занятому жидкостью. Поэтому жидкости сохраняют объем, но не сохраняют формы — они являются *текучими*.





**Рис. 2.29.** Движение и расположение молекул в газах: *а* — направление движения молекул изменяется в результате их столкновения с другими молекулами; *б* — приблизительная траектория движения молекулы воздуха при нормальном давлении (увеличение в миллион раз)

### 5 Объясняем физические свойства газов

Слово «газ» происходит от греческого *chaos* («хаос», «беспорядок»). И в самом деле, для газообразного состояния вещества характерен полный беспорядок во взаимном расположении и движении молекул.

*Молекулы газа расположены на расстояниях, которые в десятки и сотни раз превышают размеры молекул.* На таких расстояниях молекулы практически не взаимодействуют друг с другом, поэтому молекулы газа разлетаются и *газ занимает весь предоставленный объем.* Большими расстояниями между молекулами объясняется и тот факт, что *газы легко сжать.*

Чтобы понять, как двигаются молекулы газа, представим себе движение одной молекулы. Вот она двигается в каком-то направлении, на своем пути сталкивается с другой молекулой, изменяет направление и скорость своего движения и летит дальше, к следующему удару (рис. 2.29). Чем больше количество молекул в сосуде, тем чаще они сталкиваются. Например, каждая молекула, входящая в состав воздуха в классной комнате, сталкивается с другими молекулами и изменяет скорость своего движения приблизительно пять миллиардов раз в секунду.

### И ПОДВОДИМ ИТОГИ

Практически любое вещество в зависимости от физических условий может существовать в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.

Когда вещество переходит из одного состояния в другое, изменяется взаимное расположение молекул и характер их движения, однако состав молекул остается неизменным.

**Контрольные вопросы**

1. Назовите вещество, которое часто можно наблюдать в трех разных агрегатных состояниях. 2. Можно ли утверждать, что ртуть — всегда жидкость, а кислород — всегда газ? 3. Отличаются ли друг от друга молекулы водяного пара и льда? 4. Почему твердые тела сохраняют объем и форму? 5. В чем сходство и в чем отличие кристаллических и аморфных веществ? 6. Как двигаются молекулы в жидкостях? 7. Почему газы занимают весь предоставленный объем?

**Упражнения**

- Выберите правильный ответ.  
Если перелить жидкость из одного сосуда в другой, она:  
а) изменяет и форму, и объем;  
б) сохраняет и форму, и объем;  
в) сохраняет объем, но изменяет форму;  
г) сохраняет форму, но изменяет объем.
- Вода испарилась и превратилась в пар. Изменились ли при этом молекулы воды? Как изменились расположение молекул и характер их движения?
- Может ли алюминий находиться в газообразном состоянии?
- Может ли газ заполнить банку наполовину?
- Легко ли сжать воду? Ответ обоснуйте.
- Можно ли утверждать, что в закрытом сосуде, частично заполненном водой, над поверхностью воды воды нет?
- В чайнике кипит вода. Действительно ли мы видим водяной пар, выходящий из носика?

**Физика и техника в Украине**

Отец выдающегося ученого **Николая Николаевича Боголюбова** (1909—1992) считал, что ребенок быстрее приобретает знания, чем взрослый человек, поэтому начал учить своих сыновей чтению и письму с 4-летнего возраста, а в скором времени познакомил их и с основами иностранных языков. Николай с детства был необычайно трудоспособным. Знания талантливого 13-летнего мальчика по математике и физике почти равны были университетскому курсу. Поэтому в 1925 году Президиум Укрглавнауки принял решение: «Учитывая феноменальные способности по математике, считать Н. Н. Боголюбова (в 16 лет!!!) на по-

ложении аспиранта научно-исследовательской кафедры в Киеве». Н. Н. Боголюбов (на фото в центре) на протяжении всей жизни был тесно связан с украинской наукой. Свыше 45 лет он работал в Академии наук Украины, был профессором Киевского университета.





### Экспериментальные задания

1. Используя стакан с водой, докажите, что в резиновой груше есть воздух.
2. Аморфные тела называют очень вязкими жидкостями. Используя свечку и, например, маркер, докажите, что воск, пусть очень медленно, но течет. Для этого положите маркер на подоконник, сверху — перпендикулярно к маркеру — положите свечку и оставьте так на несколько дней. Объясните результаты своего эксперимента.

## § 16. ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ ТЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

■ Если вы наблюдательны, то, наверное, обратили внимание на такие факты. Электрические провода летом провисают намного сильнее, чем зимой, т. е. летом они длиннее. Если набрать полную бутылку холодной воды и поставить в теплое место, то со временем часть воды из бутылки выльется, так как во время нагревания вода расширяется. Воздушный шарик, вынесенный из комнаты на мороз, уменьшается в объеме.



**Рис. 2.30.** При нагревании воздух в колбе расширяется и часть его выходит из колбы — это видно по пузырькам воздуха, выходящим из трубки

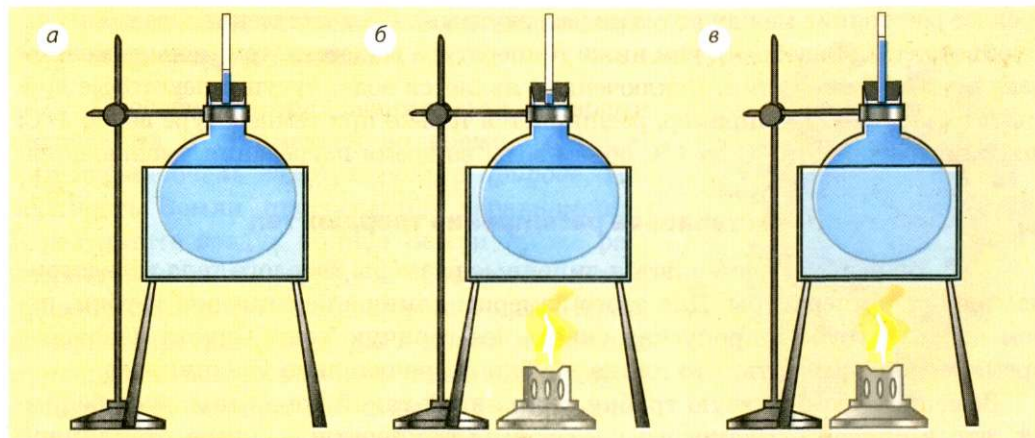
1

### Убеждаемся в тепловом расширении твердых тел, жидкостей и газов

Несложные опыты и многочисленные наблюдения убеждают нас в том, что, как правило, твердые тела, жидкости и газы во время нагревания расширяются, а во время охлаждения сжимаются.

Тепловое расширение жидкостей и газов легко наблюдать с помощью колбы, шейка которой плотно закупорена, а в пробку вставлена стеклянная трубка. Перевернем колбу, заполненную воздухом, в сосуд с водой. Теперь достаточно взяться за колбу рукой, и в скором времени воздух, расширяясь в колбе, будет выходить в виде пузырьков из трубки под водой (рис. 2.30).

Теперь наполним колбу какой-нибудь подкрашенной жидкостью и закупорим так, чтобы часть жидкости вошла в трубку (рис. 2.31, а). Обозначим уровень жидкости в трубке и опустим колбу в сосуд с горячей водой. В первый момент уровень жидкости немного снизится (рис. 2.31, б), и это можно объяснить тем, что сначала нагревается



**Рис. 2.31.** Опыт, демонстрирующий, что при нагревании жидкость (как твердые тела и газы) расширяется: *а* — закрытая пробкой колба с жидкостью в трубке; *б* — в первый момент нагревания уровень жидкости немного снижается; *в* — при дальнейшем нагревании уровень жидкости значительно повышается

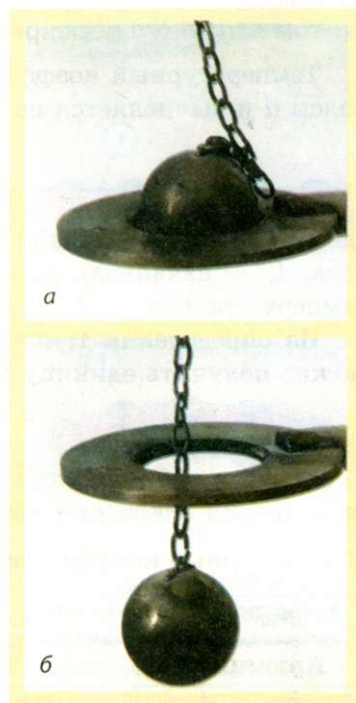
и расширяется колба, а уже потом, нагреваясь, расширяется вода. В скором времени мы убедимся, что по мере нагревания колбы и воды в ней уровень жидкости в трубке заметно повысится (рис. 2.31, *в*). Итак, твердые тела и жидкости, как и газы, во время нагревания расширяются. Исследовательским путем выяснено, что твердые тела и жидкости во время нагревания расширяются намного меньше, чем газы.

Тепловое расширение твердых тел можно продемонстрировать также на следующем опыте. Возьмем медный шарик, который в ненагретом состоянии легко проходит сквозь пригнанное к нему кольцо. Нагреем шарик в пламени спиртовки и убедимся в том, что шарик теперь не будет проходить сквозь кольцо (рис. 2.32, *а*). После охлаждения шарик снова легко пройдет сквозь кольцо (рис. 2.32, *б*).

## 2 Выясняем причину теплового расширения

В чем же причина увеличения объема тел во время нагревания, ведь количество молекул с увеличением температуры не изменяется?

Атомно-молекулярная теория объясняет тепловое расширение тел тем, что с увеличением температуры увеличивается скорость движения атомов и молекул. В результате увеличивается



**Рис. 2.32.** Опыт, иллюстрирующий тепловое расширение твердых тел: *а* — в нагретом состоянии шарик не проходит сквозь кольцо; *б* — после охлаждения шарик проходит сквозь кольцо



среднее расстояние между атомами (молекулами). Соответственно, увеличивает ся объем тела. И наоборот, чем ниже температура вещества, тем меньше межмолекулярные промежутки. Исключением является вода, чугун и некоторые другие вещества. Вода, например, расширяется только при температуре выше 4 °С; при температуре от 0 °С до 4 °С объем воды во время нагревания уменьшается.

### 3 Характеризуем тепловое расширение твердых тел

Выясним, как изменяются линейные размеры твердого тела вследствие изменения температуры. Для этого измерим длину алюминиевой трубки, потом нагреем трубку, пропуская сквозь нее горячую воду. Спустя некоторое время можно заметить, что длина трубки незначительно увеличилась.

Заменив алюминиевую трубку стеклянной такой же длины, мы убедимся, что в случае одинакового увеличения температуры длина стеклянной трубки увеличивается намного меньше, чем длина алюминиевой. Таким образом, делаем вывод: *тепловое расширение тела зависит от вещества, из которого оно изготовлено.*

Физическая величина, характеризующая тепловое расширение материала и численно равная отношению изменения длины тела вследствие его нагревания на 1 °С и его начальной длины, называется температурным коэффициентом линейного расширения.

Температурный коэффициент линейного расширения обозначается символом  $\alpha$  и вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t},$$

где  $\Delta l = l - l_0$  — изменение длины тела;  $\Delta t = t - t_0$  — изменение температуры тела;  $l_0$  — начальная длина тела при температуре  $t_0$ ;  $l$  — длина тела при температуре  $t$ .

Из определения температурного коэффициента линейного расширения можно получить единицу этой физической величины:

$$[\alpha] = \frac{\text{м}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}} = \frac{1}{^\circ\text{С}}.$$

Ниже в таблице приведены температурные коэффициенты линейного расширения некоторых веществ.

#### Температурные коэффициенты линейного расширения некоторых веществ

Вещество	$\alpha$ , 1/°С	Вещество	$\alpha$ , 1/°С
Алюминий	0,000024	Платина	0,000009
Железо	0,000012	Серебро	0,000019
Золото	0,000014	Сталь	0,000012
Латунь	0,000019	Стекло	0,000009
Медь	0,000017	Цемент	0,000014
Олово	0,000027	Цинк	0,000029

4

### Знакомимся с тепловым расширением в природе и технике

Способность тел расширяться во время нагревания и сжиматься во время охлаждения играет очень важную роль *в природе*. Поверхность Земли прогревается неравномерно. В результате воздух вблизи Земли также расширяется неравномерно, и образуется ветер, предопределяющий изменение погоды. Неравномерное прогревание воды в морях и океанах приводит к возникновению течений, которые существенно влияют на климат. Резкие колебания температуры в горных районах вызывают расширение и сжатие горных пород. А поскольку степень расширения зависит от вида породы, то расширения и сжатия происходят неравномерно, и в результате образуются трещины, которые приводят к разрушению этих пород.

Тепловое расширение приходится принимать во внимание *при строительстве* мостов и линий электропередач, прокладывании труб отопления, укладке железнодорожных рельсов, изготовлении железобетонных конструкций и во многих других случаях.

Явление теплового расширения широко используется *в технике и быту*. Так, для автоматического замыкания и размыкания электрических цепей используют биметаллические пластинки — они состоят из двух полос с разным коэффициентом линейного расширения (рис. 2.33). Тепловое расширение воздуха помогает равномерно прогреть квартиру, охладить продукты в холодильнике, проветрить комнату.

5

### Учимся решать задачи

**Задача.** Длина стального железнодорожного рельса при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  равна  $8\text{ м}$ . На сколько увеличится его длина в знойный летний день при температуре  $40^{\circ}\text{C}$ ?

**Анализ условия задачи.** Зная, как изменяется длина стальной детали вследствие нагревания на  $1^{\circ}\text{C}$ , т. е. зная температурный коэффициент линейного расширения стали, мы



**Рис. 2.33.** Для изготовления автоматических предохранителей (а), для автоматического включения и выключения нагревательных приборов (б) широко используются биметаллические пластинки (в). Один из металлов при увеличении температуры расширяется намного больше, чем другой, в результате этого пластинка изгибается (г) и электрическая цепь размыкается (или замыкается)



найдем, на сколько изменится длина рельса вследствие нагревания на  $40^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент линейного расширения стали найдем по таблице, приведенной выше.

Дано:

$$l_0 = 8 \text{ м}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$t = 40^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

$$l - l_0 = ?$$

*Поиск математической модели*

По определению температурного коэффициента линейного расширения:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}.$$

*Решение и анализ результатов*

Из формулы для определения температурного коэффициента линейного расширения найдем удлинение рельса:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t.$$

Поскольку  $\Delta t = t - t_0$ , получаем  $\Delta l = \alpha l_0 (t - t_0)$ .

Проверим единицу искомой величины:

$$[l - l_0] = \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot \text{м} \cdot ^\circ\text{C} = \text{м}.$$

Найдем числовое значение:

$$\{l - l_0\} = 0,000012 \cdot 8 \cdot (40 - 0) = 0,00393, \text{ таким образом, } l - l_0 = 0,00392 \text{ м} = 3,92 \text{ мм}.$$

Проанализируем результат: увеличение длины рельса вполне реально.

*Ответ:* длина рельса увеличилась на 3,92 мм.



## ПОДВОДИМ ИТОГИ

Твердые тела, жидкости и газы во время нагревания, как правило, расширяются. Причина теплового расширения в том, что с увеличением температуры увеличивается скорость движения атомов и молекул. В результате увеличивается среднее расстояние между атомами (молекулами). Тепловое расширение твердых веществ характеризуется коэффициентом линейного расширения. Коэффициент линейного расширения численно равен отношению изменения длины тела вследствие нагревания его на  $1^\circ\text{C}$  и его начальной длины  $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t}$ .



## Контрольные вопросы

1. Приведите примеры, подтверждающие, что твердые тела, жидкости и газы расширяются во время нагревания.
2. Опишите опыт, демонстрирующий тепловое расширение жидкостей.
3. В чем причина увеличения объема тел во время нагревания?
4. От чего, кроме температуры, зависит изменение размеров тел во время их нагревания (охлаждения)?
5. В каких единицах измеряется коэффициент линейного расширения?



### Упражнения

- Выберите все правильные ответы. Когда тело охлаждается, то:
  - скорость движения его молекул уменьшается;
  - скорость движения его молекул увеличивается;
  - расстояние между его молекулами уменьшается;
  - расстояние между его молекулами увеличивается.
- Как изменится объем воздушного шарика, если мы перенесем его из холодного помещения в теплое? Почему?
- Что происходит с расстояниями между частичками жидкости в термометре в случае похолодания?
- Правильным ли является утверждение, что во время нагревания тело увеличивает свои размеры, так как размеры его молекул увеличиваются? Если нет, предложите свой, исправленный, вариант.
- Зачем на точных измерительных приборах указывают температуру?
- Вспомните опыт с медным шариком, который вследствие нагревания застревал в кольце (см. рис. 2.32). Как изменились вследствие нагревания: объем шара; его масса; плотность; средняя скорость движения атомов?
- После того как пар кипящей воды пропустили через латунную трубку, длина трубки увеличилась на 1,62 мм. Чему равен коэффициент линейного расширения латуни, если при температуре 15 °С длина трубки равна 1 м? Напоминаем, что температура кипящей воды равна 100 °С.
- Платиновый провод длиной 1,5 м находился при температуре 0 °С. Вследствие пропускания электрического тока провод раскалился и удлинился на 15 мм. До какой температуры он был нагрет?
- Медный лист прямоугольной формы, размеры которого при температуре 20 °С составляют 60 см × 50 см, нагрели до 600 °С. Как изменилась площадь листа?



### Экспериментальные задания

- Как, имея дощечку, молоток, два гвоздика, спиртовку и пинцет, показать, что размер монеты в 5 копеек во время нагревания увеличивается? Выполните соответствующий опыт. Объясните наблюдаемое явление.
- Наполните бутылку водой так, чтобы внутри остался пузырек воздуха. Нагрейте бутылку в горячей воде. Проследите, как изменятся размеры пузырька. Объясните результат.



## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 2 «СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА»

**1** Изучая этот раздел, вы еще раз вспомнили, что все физические тела состоят из веществ, познакомились с некоторыми физическими величинами, характеризующими тело и вещество.

Примеры физических тел	Физическая величина, характеризующая физическое тело				
	Название	Символ	Единица	Способы измерения	Особенности
Ложка Тетрадь Стол Человек Земля	Масса	$m$	кг	Взвешивание	Тела, имеющие равные массы, одинаково притягиваются к Земле

Примеры веществ	Физическая величина, характеризующая вещество				
	Название	Символ	Единица	Формула для вычисления	Особенности
Сталь Целлюлоза Вода	Плотность	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho = \frac{m}{V}$	Зависит от температуры и агрегатного состояния вещества
Кислород Кремний	Температурный коэффициент линейного расширения	$\alpha$	1/°C	$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$	

**2** Вы вспомнили основные положения атомно-молекулярной теории строения вещества.



## 3

Вы выяснили, чем и почему отличаются физические свойства веществ в разных агрегатных состояниях.

Агрегатное состояние вещества	Газообразное	Жидкое	Твердое	
			аморфное	кристаллическое
Характеристика				
Физические свойства	Не сохраняют формы. Занимают весь предоставленный объем. Легко сжимаются	Сохраняют объем. Приобретают форму сосуда (текучие). Практически не сжимаются	Сохраняют объем, практически не сжимаются	
			Довольно долго сохраняют форму. В случае увеличения температуры постепенно переходят в жидкое состояние	Сохраняют форму. После достижения определенной температуры переходят в жидкое состояние
Порядок расположения молекул (атомов)	Молекулы расположены в беспорядке, на расстояниях, которые в десятки и сотни раз превышают размеры молекул	В целом молекулы расположены беспорядочно	Молекулы расположены в определенном порядке	
			Расстояние между молекулами порядка размеров самих молекул	
Характер взаимодействия молекул (атомов)	Молекулы практически не взаимодействуют	В случае незначительного уменьшения расстояний между молекулами они начинают отталкиваться друг от друга. В случае незначительного увеличения расстояний между молекулами они начинают притягиваться друг к другу		
Характер движения молекул (атомов)	Траектория движения — ломаная линия. Направление движения молекулы изменяют в моменты столкновений	Большую часть времени молекулы колеблются вокруг состояния равновесия		
		Время от времени перепрыгивают на свободное место	Очень редко перемещаются на свободное место	

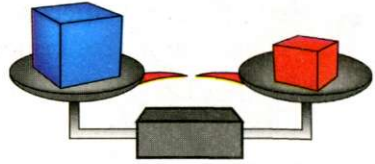


## ТЕСТ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ПО РАЗДЕЛУ 2 «СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА»

В задачах 1–14 выберите правильное утверждение.

- 1** (1 балл) Примером физического тела может быть:  
а) серебро; б) плотность; в) метеорит; г) асфальт.
- 2** (1 балл) Газ легко сжать, так как молекулы газа:  
а) легко изменяют свои размеры;  
б) притягиваются друг к другу;  
в) расположены довольно далеко друг от друга;  
г) находятся в непрерывном хаотическом движении.
- 3** (1 балл) Медная деталь вследствие нагревания расширяется, при этом увеличивается:  
а) расстояние между атомами меди; б) размер атомов меди;  
в) количество атомов в детали; г) плотность меди.
- 4** (1 балл) Во время охлаждения тела уменьшается:  
а) масса его молекул; б) размер его молекул;  
в) скорость движения его молекул; г) количество его молекул.
- 5** (1 балл) Когда вещество переходит из одного агрегатного состояния в другое, изменяется:  
а) масса молекул;  
б) состав молекул вещества;  
в) характер движения и взаимодействия молекул;  
г) размер молекул.
- 6** (1 балл) Вследствие явления диффузии:  
а) кислород из воздуха попадает даже на дно глубокого водоема;  
б) уменьшается длина рельса во время ее охлаждения;  
в) тает лед;  
г) жидкость собирается в каплю.
- 7** (1 балл) Какие из указанных ниже веществ при комнатной температуре сохраняют объем, но не сохраняют форму?  
а) Железо; б) кислород; в) гелий; г) ртуть.
- 8** (2 балла) Масса атома водорода:  
а) больше, чем масса молекулы водорода;  
б) равна массе молекулы водорода;  
в) меньше массы молекулы воды;  
г) больше массы молекулы воды.
- 9** (2 балла) Масса золота объемом  $1 \text{ м}^3$  больше, чем масса свинца такого же объема, на:  
а) 8000 кг; б) 11 300 кг; в) 8,0 г; г) 19,3 г.

**10** (2 балла) На чашках уравновешенных весов лежат два кубика (см. рисунок). Одинаковы ли плотности веществ, из которых сделаны кубики?

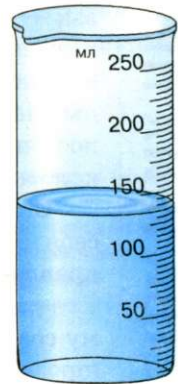


- а) Да, одинаковы;
- б) нет, плотность синего кубика меньше, чем плотность красного кубика;
- в) нет, плотность синего кубика больше, чем плотность красного кубика;
- г) определить невозможно.

**11** (2 балла) Газ в закрытом сосуде сжали, уменьшив его объем вдвое. В результате этого:

- а) количество молекул в сосуде уменьшилось вдвое;
- б) плотность газа увеличилась вдвое;
- в) масса газа уменьшилась вдвое;
- г) расстояние между молекулами увеличилось вдвое.

**12** (4 балла) В пустую мензурку массой 240 г налили жидкость (см. рисунок). Масса мензурки с жидкостью равна 375 г. Определите, какую жидкость налили в мензурку.



- а) Воду; б) растительное масло; в) керосин; г) спирт.

**13** (5 баллов) Для получения латуни сплавляли медь объемом  $0,2 \text{ м}^3$  и цинк объемом  $0,05 \text{ м}^3$ . Какова плотность полученной латуни? (Объем сплава равен сумме объемов его составных частей.)

- а)  $8900 \text{ кг/м}^3$ ; б)  $8540 \text{ кг/м}^3$ ; в)  $7100 \text{ кг/м}^3$ ; г)  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

**14** (4 балла) На сколько увеличилась длина медного провода вследствие нагревания его на  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ , если его начальная длина составляла  $50 \text{ м}$ ?

- а) На  $9,8 \text{ мкм}$ ; б) на  $11,9 \text{ мм}$ ; в) на  $11,9 \text{ м}$ ; г) длина провода не изменилась.

**15** (8 баллов) Составьте вопросы к заполненному кроссворду.

*Сверьте свои ответы с представленными в конце учебника. Чтобы проверить последнее задание теста, обратитесь к соответствующему параграфу. Обозначьте вопросы, на которые вы ответили правильно, и подсчитайте баллы. Полученную сумму разделите на 3 — результат будет соответствовать уровню приобретенных вами знаний по разделу.*





## ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКАЯ СТРАНИЦА

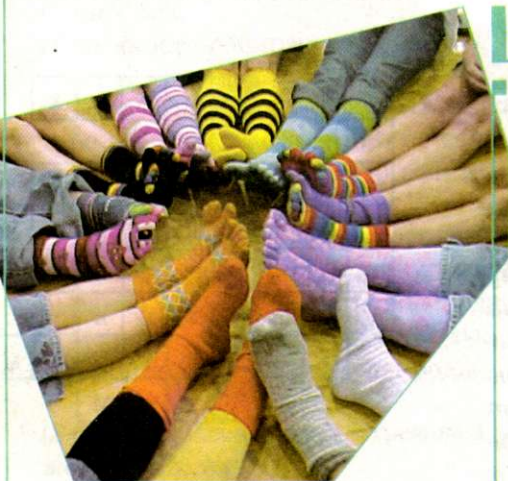
Аморфные вещества, с которыми вы познакомились в этой главе, хотя и представляют собой твердые тела, с точки зрения микроструктуры напоминают жидкости. Поэтому их можно еще назвать «твердыми жидкостями». Но, если есть твердые жидкости, то должны быть и «жидкие кристаллы»? И действительно, такие соединения были обнаружены. А сегодня практически каждый из нас сталкивается с этими веществами ежедневно. О жидких кристаллах и других удивительных веществах и пойдет речь в этом разделе.

### Жидкие кристаллы

Помимо сохранения формы — свойства, о котором вы узнали при изучении второй главы, — «нормальные» кристаллы обладают так называемым свойством анизотропии. Анизотропия означает, что свойства кристалла различны по разным направлениям. Об анизотропии свойств можно получить представление, например, при рубке дров: колоть дрова вдоль ствола гораздо легче, чем поперек.

Оказалось, что некоторые жидкости тоже ведут себя анизотропно, — их свойства зависят от направления. Конечно, речь не может идти о прочности — жидкость всегда будет течь и принимать форму сосуда. А вот, например, оптические свойства (прозрачность, цвет) таких веществ будут разными по разным направлениям. Такие анизотропные жидкости получили название жидких кристаллов (ЖК).

Жидкие кристаллы получили в последние годы очень широкое распространение: индикаторы часов, табло калькулятора, экран монитора — вот только краткий перечень применений ЖК.



### Это интересно

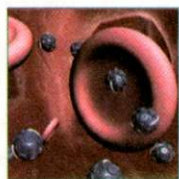
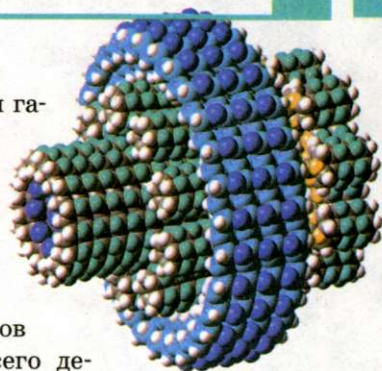
Обычно нога человека имеет до 250 000 потовых желез и может выделять до 0,5 литра пота в день. Естественно, что такая влажная среда — идеальное место для размножения грибка, который живет и размножается между пальцами ног и в складках кожи. Новые материалы для носков содержат серебряные наночастицы. С помощью этих наночастиц удается практически полностью подавить размножение грибов. Так благодаря нанотехнологиям люди не будут страдать от грибка.



## Нанотехнологии

Практически в любой телевизионной передаче или газетной статье, посвященной науке, вы можете найти загадочные слова — «нанотехнология», «наночастицы». Что же они означают?

Вы уже знаете, что приставка «нано» означает одна миллиардная часть. То есть наночастицы — это что-то очень маленькое. Действительно, привычные для нас физические тела состоят из миллиардов и миллиардов атомов. А вот наночастицы — это всего десяток или сотня атомов вместе. Оказалось, что физические и химические свойства таких маленьких частиц очень сильно отличаются от больших «кусков» вещества, даже если и те и другие состоят из атомов одинакового вида. Если же теперь собрать («склеить») много наночастиц вместе, то получится «нормальное» по размерам физическое тело. Вот только его свойства будут уникальными (теми, что присущи наночастицам). К сожалению, изготовить наночастицы и собрать их вместе совсем непросто. Именно поэтому для этой сложной работы ввели даже специальный термин — нанотехнология.



**Нанокapsулы** — это искусственно созданные микроконтейнеры для лекарств. Размер нанокapsул может изменяться от 100 до 600 нанометров (попробуйте выразить эту величину в метрах). Микроконтейнеры защищают лекарства от их разрушения на пути движения к цели — заболевшим частям организма. Естественно, что эффективность действия новых лекарств значительно выше обычных. Кроме целенаправленной доставки лекарств, нанокapsулы сегодня успешно используются в косметической промышленности.

Еще одним примером применения нанотехнологий могут служить дисплеи на основе нанопокровов. В отличие от подобных дисплеев на жидких кристаллах, изображение на ультратонких дисплеях хорошо видно под различными углами зрения.

*В большинстве случаев молекулы жидких кристаллов представляют собой вытянутые цепочки атомов — своеобразные «палочки». Причем большая часть из этих «палочек» выстраивается в определенном направлении.*



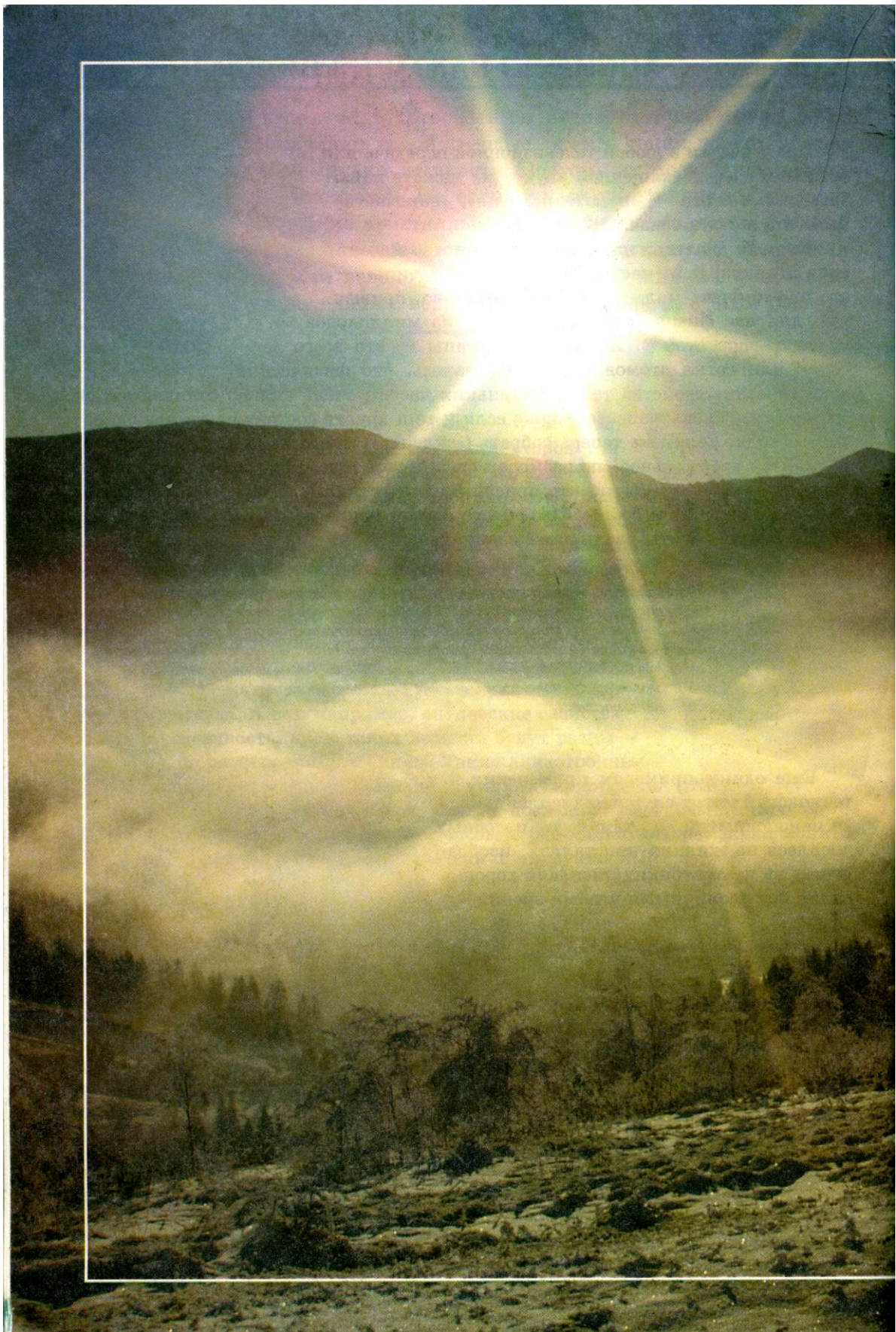
ЖК-монитор изнутри

## Нанокатализаторы для автотранспорта

Различные нанокатализаторы уже применяются при обработке сырой нефти. Нанокатализаторы могут повысить КПД двигателей внутреннего сгорания и при этом уменьшить выброс вредных веществ. Широко распространены наночастицы для очистки как воздуха в салоне, так и топлива.









# СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 17. Оптические явления в природе. Источники света	114
§ 18. Фотометрия. Световой поток. Сила света	119
§ 19. Освещенность	122
§ 20. Закон прямолинейного распространения света	127
Лабораторная работа № 9	133
§ 21. Отражение света. Законы отражения света	136
Лабораторная работа № 10	140
§ 22. Плоское зеркало. Зеркальное и рассеянное отражение света	141
§ 23. Преломление света	148
§ 24*. Полное отражение	156
§ 25. Дисперсия света. Спектральный состав света	160
Лабораторная работа № 11	164
§ 26. Линзы	165
§ 27. Построение изображений, которые дает тонкая линза. Формула тонкой линзы	170
Лабораторная работа № 12	177
§ 28. Глаз как оптическая система	178

# З



## § 17. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

■ Из пяти органов чувств больше всего информации об окружающем мире дает нам зрение. Однако видеть окружающий мир мы можем только потому, что существует свет. С этого параграфа мы начинаем изучение световых, или оптических (греч. *optikos* — зрительный) явлений, т. е. явлений, непосредственно связанных со светом.

### 1 Наблюдаем световые явления

Со световыми явлениями мы встречаемся каждый день на протяжении всей жизни, ведь они являются частью естественных условий, в которых мы живем. Некоторые из световых явлений кажутся нам настоящим чудом — например, миражи в пустыне, полярные сияния. Тем не менее, согласитесь, что и более привычные для нас световые явления: блеск капельки росы в солнечных лучах, лунная дорожка на плесе, семицветный мост радуги после летнего дождя, молния в грозовых тучах, мерцание звезд в ночном небе — тоже являются чудом, так как они делают мир вокруг нас замечательным, полным волшебной красоты и гармонии.

### 2 Выясняем, что такое источники света

Физические тела, атомы и молекулы которых излучают свет, называют **источниками света**.

Оглянитесь вокруг, обратитесь к своему опыту — и вы, без сомнения, назовете много *источников света*: Солнце, вспышка молнии, огонь костра, пламя свечи, лампа накаливания, экран телевизора, монитор компьютера и т. п. (рис. 3.1). Свет могут излучать также организмы (некоторые морские животные, светлячки и др.).

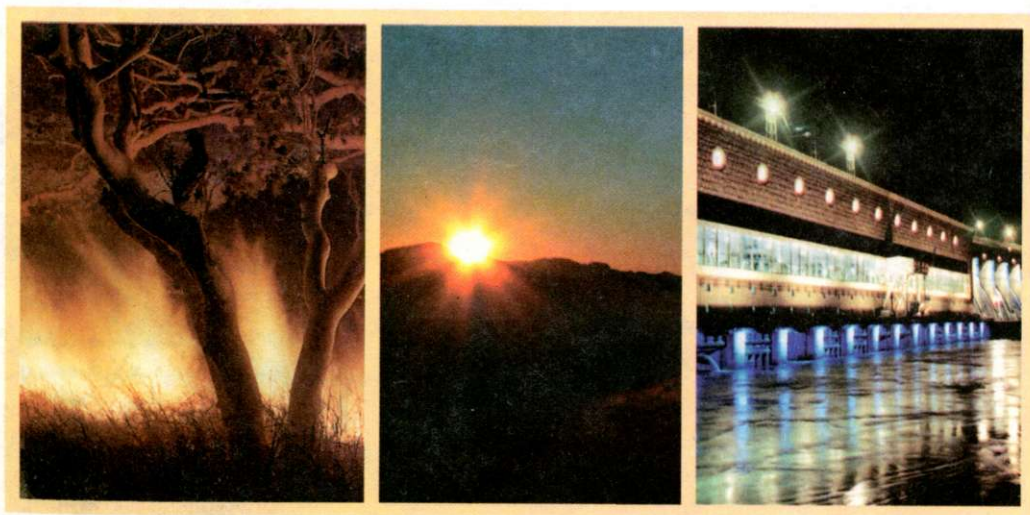


Рис. 3.1. Некоторые источники света



В ясную лунную ночь мы можем довольно хорошо видеть предметы, освещенные лунным сиянием. Однако Луну нельзя считать источником света: Луна свет не излучает, она только отражает свет, идущий от Солнца. Так же нельзя назвать источником света зеркало, с помощью которого вы посылаете «солнечный зайчик» в окно вашего друга.

### 3 Различаем естественные и искусственные источники света

В зависимости от происхождения различают естественные и искусственные (созданные человеком) источники света.

К естественным источникам света относятся, например, Солнце и звезды, раскаленная лава и полярные сияния, некоторые светящиеся объекты среди животных и растений: глубоководная каракатица, радиолярия, светящиеся бактерии и т. п. Так, в теплую летнюю ночь в лесной траве можно увидеть яркие пятнышки света — светлячков.

Естественные источники не могут полностью удовлетворить все возрастающую потребность человека в свете. И потому еще в древности люди начали создавать искусственные источники света. Сначала это были костер и лучина, позднее появились свечи, масляные и керосиновые лампы. В конце XIX века была изобретена электрическая лампа. Сегодня различные виды электрических ламп используют повсюду (рис. 3.2—3.4).

В помещениях мы обычно используем лампы накаливания. К сожалению, они недостаточно экономны: в таких лампах большая часть электрической энергии расходуется на нагревание самой лампы и окружающего воздуха и только 3—4 % энергии превращается в световую. В последние годы, однако, появились новые, в несколько раз более экономные конструкции электрических ламп.

Большие помещения (супермаркеты, цеха предприятий и т. п.) освещаются источниками света в виде длинных трубок — лампами дневного света. Для разноцветной иллюминации, которой ночью подсвечены некоторые дома, торговые центры и т. п., используют неоновые, криптоновые и другие лампы.



Рис. 3.2. Для освещения стадионов используют дуговые лампы

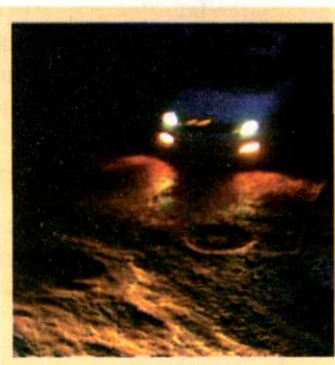


Рис. 3.3. Мощными источниками искусственного света являются галогенные лампы в фарах современного автомобиля



Рис. 3.4. Сигналы современных светофоров хорошо видны даже тогда, когда солнце светит ярко. В таких светофорах лампы накаливания заменены светодиодами



#### 4 Знакомимся с тепловыми и люминесцентными источниками света

В зависимости от температуры источников света их разделяют на **тепловые** и **люминесцентные**.

Солнце и звезды, раскаленная лава и лампа накаливания, пламя костра, свечи, газовые горелки и т. п. — все это примеры *тепловых* источников света: они излучают свет благодаря тому, что имеют высокую собственную температуру (рис. 3.5).

*Люминесцентные* источники света отличаются от тепловых тем, что для их свечения не нужна высокая температура: световое излучение может быть довольно интенсивным, а источник при этом остается относительно холодным.

Примерами люминесцентных источников является экран телевизора, монитор компьютера, лампы дневного света, указатели и дорожные знаки, покрытые люминесцентной краской, световые индикаторы, некоторые организмы, а также полярные сияния.

#### 5 Узнаем о точечных и протяженных источниках света

В зависимости от соотношения размера источника света и расстояния от него до приемника света различают **точечные** и **протяженные** источники света.

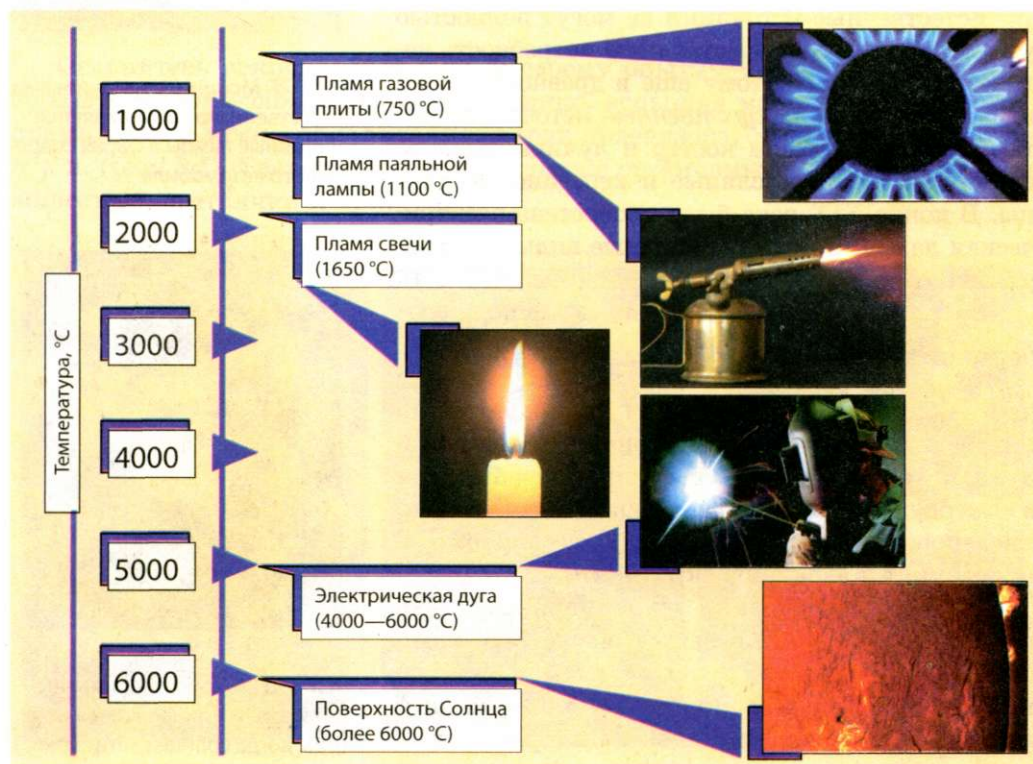


Рис. 3.5. Температура некоторых тепловых источников света



*Источник света считается точечным, если его размер относительно невелик по сравнению с расстоянием от него до приемника света.*

*В противоположном случае источник считается протяженным.*

Таким образом, один и тот же источник света в зависимости от условий может считаться как протяженным, так и точечным.

Так, когда мы находимся в кухне, то лампа дневного света (трубка длиной 0,5—1 м), которая ее освещает, является для нас протяженным источником света. Если же мы попробуем посмотреть на ту же лампу снаружи (например, из скверика напротив дома, с расстояния 100—150 м от источника света), то лампа будет представлять собой точечный источник.

Таким образом, к точечным источникам света можно отнести даже огромные звезды, которые по размеру намного больше, чем Солнце, — в том случае, если наблюдать их с Земли, с расстояния, которое в миллионы раз превышает размеры этих звезд.

### 6 Характеризуем приемники света

Вы, наверное, уже догадались, что устройства, с помощью которых можно обнаружить световое излучение, называют приемниками света (рис. 3.6).

Естественными приемниками света являются глаза живых существ.

Получая с помощью этих приемников информацию, организм определенным образом реагирует на изменения в окружающей среде. Так, войдя из темноты в ярко освещенную комнату, мы, конечно, зажмурим глаза, а увидев ночью свет фар автомобиля поблизости, обязательно остановимся возле дороги.

Аналогичную глазам функцию выполняют искусственные приемники света. Так, фотоэлектрическими приемниками света — фотодиодами — оборудованы, например, турникеты для прохождения пассажиров в метро, на вокзалах и т. п. Искусственные фотохимические приемники — это фото- и кинопленка, фотобумага.

Предлагаем вам самим ответить на вопрос о пользе таких фотохимических приемников.



Рис. 3.6. Приемники света





## ПОДВОДИМ ИТОГИ

Физические тела, атомы и молекулы которых излучают свет, называют источниками света.

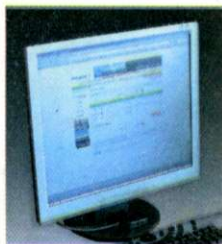
Источники света бывают: тепловые и люминесцентные; естественные и искусственные; точечные и протяженные. Например, полярное сияние — естественный, протяженный для наблюдателя на Земле, люминесцентный источник света.

Устройства, с помощью которых можно обнаружить световое излучение, называют приемниками света. Органы зрения живых существ — естественные приемники света.



## Контрольные вопросы

1. Какую роль играет свет в жизни человека?
2. Что называют источниками света? Приведите примеры источников света.
3. Является ли Луна источником света?
4. На рисунке изображены различные источники света. Какие из них вы отнесли бы к люминесцентным? тепловым?
5. Приведите примеры естественных и искусственных источников света.
6. Какие искусственные источники света встречаются чаще всего? Приведите примеры использования этих источников в повседневной жизни, в технике.
7. При каких условиях источник света считают точечным? протяженным?
8. Какие устройства называют приемниками света?

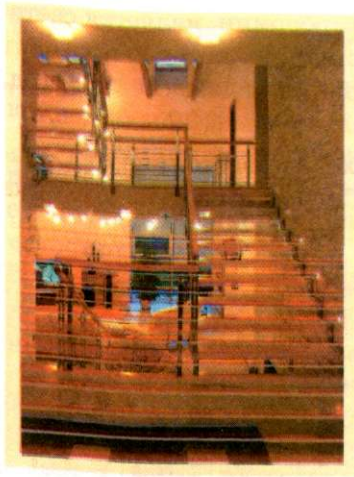


## Упражнения

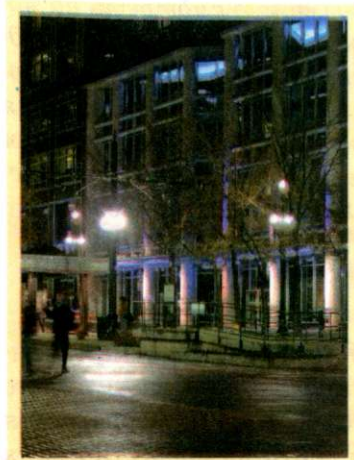
1. В каких из указанных случаев Солнце можно считать точечным источником света?
  - а) Наблюдение солнечного затмения;
  - б) измерение высоты солнца над землей;
  - в) наблюдение Солнца из космического корабля, летящего за пределами Солнечной системы;
  - г) определение времени с помощью солнечных часов.
2. В каждом из приведенных перечней определите лишнее слово или словосочетание. Объясните свой выбор.
  - а) Пламя свечи, Солнце, звезды, Земля, пламя костра;
  - б) экран включенного компьютера, молния, лампа накаливания, пламя свечи;
  - в) лампа дневного света, пламя газовой горелки, дорожные знаки, светлячки.







**Рис. 3.7.** В современных охранных системах применяются чувствительные фотоэлементы



**Рис. 3.8.** Внешнее освещение в больших городах включается автоматически только в темное время суток

Другие технические устройства способны реагировать не только на факт *наличия* световой энергии, но и на ее *количество*. Так, освещение улиц больших городов (рис. 3.8) включается автоматически в момент, когда количество получаемой световой энергии Солнца уменьшается до определенного значения. Работа подобных устройств ориентирована на восприятие света человеческим глазом. Поэтому очевидной является важность рассмотрения энергетических характеристик света, основанных на непосредственном восприятии света глазом — на *зрительном ощущении*.

## 2 Учимся различать световой поток и силу света

*Зрительные ощущения* являются очень субъективными. Как их оценить? Ваша мама зовет вас вечером: «Иди домой, уже темно!» А вам кажется, что для игр еще достаточно света. Кроме того, чувствительность глазу к свету разного цвета различна. Так, зрительные ощущения от зеленого цвета приблизительно в сто раз более сильные, чем от красного (например, зеленую лампу глаз воспринимает как более мощную, нежели красную, при одинаковой мощности обеих ламп).

Чтобы все это выяснить, ученые провели сотни опытов и установили средние характеристики зрительных ощущений человека. На этой базе созданы приборы, способные измерять физические величины, характеризующие зрительные ощущения. Одну из таких величин называют *световым потоком*.

**Световой поток** — это физическая величина, численно равная количеству оцениваемой по зрительным ощущениям световой энергии, падающей на поверхность за единицу времени.

Световой поток обозначается символом  $\Phi$  и вычисляется по формуле:

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

где  $W$  — оцениваемая по зрительным ощущениям световая энергия, падающая на определенную поверхность;  $t$  — время падения световой энергии на эту поверхность.

За единицу светового потока принят люмен (лм) (от латин. *lumen* — свет). Оказалось, например, что световой поток от звездного неба, падающий на сетчатку глаза, — около 0,000000001 лм, световой поток от полуденного солнца — 8 лм. Именно поэтому мы не можем смотреть на яркое солнце невооруженным глазом.

В повседневной жизни в качестве источников света очень часто применяют электрические лампы накаливания, которые отличаются друг от друга мощностью (обозначается  $P$  и измеряется в *ваттах*, Вт). Для определения полного светового потока некоторых ламп накаливания приводим соответствующую таблицу:

Мощность лампы $P$ , Вт	Полный световой поток $\Phi$ , лм	Мощность лампы $P$ , Вт	Полный световой поток $\Phi$ , лм
15	127	100	1275
40	377	500	8725
60	645	1000	19 000

Световой поток создается источником света. *Физическая величина, характеризующая свечение источника света в определенном направлении, называется силой света.*

Если источник излучает видимый свет равномерно во все стороны, то сила света вычисляется по формуле:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi},$$

где  $\Phi$  — полный световой поток, испускаемый источником;  $\pi$  — постоянная величина, приблизительно равная 3,14.

За единицу силы света в Международной системе единиц (СИ) принята кандела (кд) (от латин. *candela* — свеча). Кандела — одна из основных единиц СИ.

### 3 Учимся решать задачи

**Задача.** Вычислите полный световой поток, излучаемый лампой накаливания, сила света которой равна 30 кд. Определите мощность лампы.

<p>Дано: <math>I = 30</math> кд <math>\Phi</math> — ? <math>P</math> — ?</p>	<p><i>Анализ физической проблемы</i> Считаем, что лампа излучает свет равномерно во все стороны, поэтому полный световой поток мы можем найти из формулы для силы света. Мощность, потребляемую лампой, определим по таблице. <i>Поиск математической модели, решение и анализ результатов</i> Вспользуемся формулой <math>I = \frac{\Phi}{4\pi}</math>, откуда <math>\Phi = 4\pi I</math>. Определим значение искомой величины: <math>\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 30 = 376,8</math> (лм). Проанализируем результат: воспользовавшись таблицей, определим, что световой поток 376,8 лм <math>\approx</math> 377 лм излучает лампа мощностью 40 Вт. <i>Ответ:</i> <math>\Phi = 376,8</math> лм, <math>P = 40</math> Вт.</p>
--	--





### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Раздел оптики, в котором рассматриваются энергетические характеристики света в процессе его испускания, распространения и взаимодействия со средой, называется фотометрией.

Световое излучение источника характеризуется световым потоком и силой света.

Физическая величина, численно равная количеству оцениваемой по зрительным ощущениям световой энергии  $W$ , падающей на поверхность за единицу времени  $t$ , называется световым потоком ( $\Phi$ ). Световой поток измеряется в люменах (лм).

Физическая величина, характеризующая свечение источника света в определенном направлении, называется силой света ( $I$ ). Единица силы света — кандела (кд), одна из семи основных величин СИ.



### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры технических устройств, которые реагируют на поступление световой энергии.
2. Что называют световым потоком? В каких единицах он измеряется?
3. К свету какого цвета — зеленого или красного — чувствительность глаза выше?
4. По какой формуле определяют силу света? В каких единицах она измеряется?



### Упражнения

1. Сила света точечного источника составляет 100 кд. Определите полный световой поток, испускаемый этим источником.
2. Полный световой поток электрической лампы равен 1884 лм. Определите силу света этого источника.
3. Почему днем тяжело рассмотреть через окно внутреннее пространство неосвещенной комнаты, если не приближать лицо вплотную к стеклу?
4. Предположим, что от красного и зеленого сигналов светофора на сетчатку глаза падает приблизительно одинаковый световой поток. Одинаковой ли мощности лампы установлены в светофоре? Если нет, то мощность какой лампы больше — зеленой или красной?

## § 19. ОСВЕЩЕННОСТЬ

■ *Вспомните свои ощущения, когда вы входили в темное помещение. Становится как-то не по себе, ведь ничего не видно вокруг... Но стоит включить фонарик — и близко расположенные предметы становятся хорошо заметными. Те же, что находятся где-то дальше, можно едва различить по контурам. В таких случаях говорят, что предметы по-разному освещены. Выясним, что такое освещенность и от чего она зависит.*

## 1 Определяем освещенность

От любого источника света распространяется световой поток. Чем больший световой поток упадет на поверхность того или иного тела, тем лучше его видно.

Физическая величина, численно равная световому потоку, падающему на единицу освещенной поверхности, называется **освещенностью**.

Освещенность обозначается символом  $E$  и определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где  $\Phi$  — световой поток;  $S$  — площадь поверхности, на которую падает световой поток.

В СИ за единицу освещенности принят люкс (лк) (от латин. *lux* — свет).

**Один люкс** — это освещенность такой поверхности, на один квадратный метр которой падает световой поток, равный одному люмену:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2}.$$

Приводим некоторые значения освещенности поверхности (вблизи земли). Освещенность  $E$ :

- солнечными лучами в полдень (на средних широтах) — 100 000 лк;
- солнечными лучами на открытом месте в пасмурный день — 1000 лк;
- солнечными лучами в светлой комнате (вблизи окна) — 100 лк;
- на улице при искусственном освещении — до 4 лк;
- от полной луны — 0,2 лк;
- от звездного неба в безлунную ночь — 0,0003 лк.

## 2 Выясняем, от чего зависит освещенность

Наверное, все вы видели шпионские фильмы. Представьте: какой-нибудь герой при свете слабого карманного фонарика внимательно просматривает документы в поисках необходимых «секретных данных». Вообще, чтобы читать, не напрягая глаз, нужна освещенность не меньше 30 лк (рис. 3.9), а это немало. И как наш герой добывается такой освещенности?

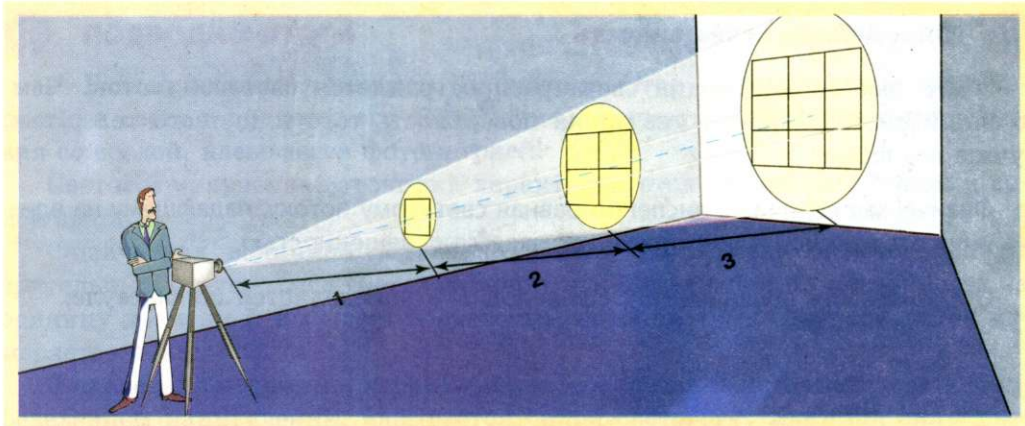
Во-первых, он подносит фонарик как можно ближе к документу, который просматривает. Значит, *освещенность зависит от расстояния от источника света до освещаемого предмета*.

Во-вторых, он располагает фонарик перпендикулярно к поверхности документа, а это



**Рис. 3.9.** Чтобы прочитывать достаточно мелкий шрифт, нужно увеличить освещенность страницы





**Рис. 3.10.** В случае увеличения расстояния до источника света площадь освещенной поверхности увеличивается

значит, что *освещенность зависит от угла, под которым свет падает на поверхность.*

И в конце концов, для лучшего освещения он просто может взять более мощный фонарик, так как очевидно, что *с увеличением силы света источника увеличивается освещенность.*

Выясним, как изменяется освещенность в случае увеличения расстояния от точечного источника света до освещаемой поверхности. Пусть, например, световой поток от точечного источника падает на экран, расположенный на определенном расстоянии от источника. Если увеличить расстояние вдвое, можно заметить, что один и тот же световой поток будет освещать в 4 раза большую площадь. Поскольку  $E = \frac{\Phi}{S}$ , то освещенность в этом случае уменьшится в 4 раза. Если увеличить расстояние в 3 раза, освещенность уменьшится в  $9 = 3^2$  раз. Т. е. *освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния от точечного источника света до поверхности* (рис. 3.10).

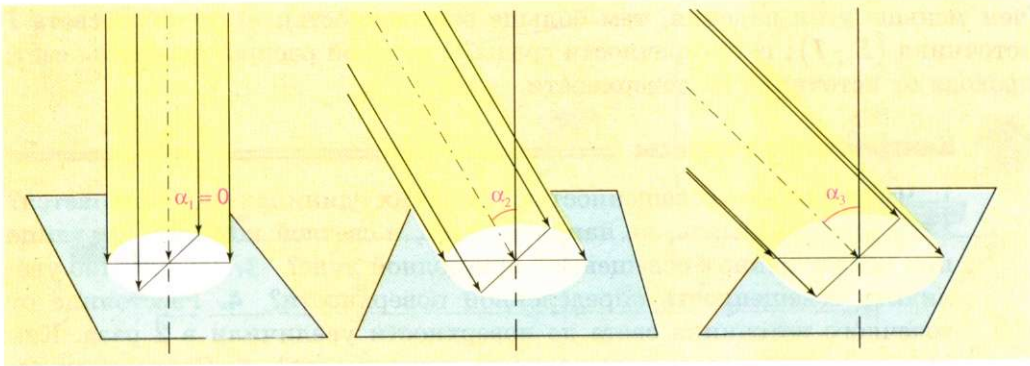
Если пучок света падает перпендикулярно к поверхности, то световой поток распределяется на минимальной площади. *В случае увеличения угла падения света увеличивается площадь, на которую падает световой поток, поэтому освещенность уменьшается* (рис. 3.11). Мы уже говорили, что в случае увеличения силы света источника освещенность увеличивается. Экспериментально установлено, что *освещенность прямо пропорциональна силе света источника.*

(Освещенность уменьшается, если в воздухе есть частички пыли, тумана, дыма, так как они отражают и рассеивают определенную часть световой энергии.)

Если поверхность расположена перпендикулярно к направлению распространения света от точечного источника и свет распространяется в чистом воздухе, то освещенность можно определить по формуле:

$$E = \frac{I}{R^2},$$

где  $I$  — сила света источника,  $R$  — расстояние от источника света до поверхности.



**Рис. 3.11.** В случае увеличения угла падения параллельных лучей на поверхность ( $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$ ) освещенность этой поверхности уменьшается, поскольку падающий световой поток распределяется по все большей площади поверхности

### 3 Учимся решать задачи

Стол освещен лампой, расположенной на высоте 1,2 м прямо над столом. Определите освещенность стола непосредственно под лампой, если полный световой поток лампы составляет 750 лм. Лампу считайте точечным источником света.

Дано:  
 $\Phi = 750$  лм  
 $R = 1,2$  м

$E$  — ?

*Анализ физической проблемы, поиск математической модели*  
 Поскольку источник света считаем точечным и стол расположен перпендикулярно к направлению распространения света, то можем воспользоваться формулой  $E = \frac{I}{R^2}$  (1). Лампа распространяет свет во все стороны равномерно, поэтому  $I = \frac{\Phi}{4\pi}$  (2).

*Решение и анализ результатов*

Подставив формулу (2) в формулу (1), получим:

$E = \frac{\Phi}{4\pi} : R^2 = \frac{\Phi}{4\pi R^2}$ . Определим значение искомой величины:

$$E = \frac{750}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,44} = 41,5 \text{ (лк)}.$$

Анализ результатов: полученное значение освещенности  $E = 41,5$  лк является вполне реальным.

Ответ:  $E = 41,5$  лк.

### 1 ПОДВОДИМ ИТОГИ

Физическая величина, численно равная световому потоку  $\Phi$ , падающему на единицу освещаемой поверхности  $S$ , называется освещенностью ( $E$ ):  $E = \frac{\Phi}{S}$ . В СИ за единицу освещенности принят люкс (лк).

Освещенность поверхности  $E$  зависит: а) от расстояния  $R$  до освещаемой поверхности ( $E \sim \frac{1}{R^2}$ ); б) от угла, под которым свет падает на поверхность



(чем меньше угол падения, тем больше освещенность); в) от силы света  $I$  источника ( $E \sim I$ ); г) прозрачности среды, в которой распространяется свет, проходя от источника до поверхности.



### Контрольные вопросы

1. Что называют освещенностью? В каких единицах она измеряется?
2. Можно ли читать, не напрягая глаз, в светлой комнате? на улице при искусственном освещении? при полной луне?
3. Как можно увеличить освещенность определенной поверхности?
4. Расстояние от точечного источника света до поверхности увеличили в 2 раза. Как при этом изменилась освещенность поверхности?
5. Зависит ли освещенность поверхности от силы света источника, который освещает эту поверхность? Если зависит, то как?



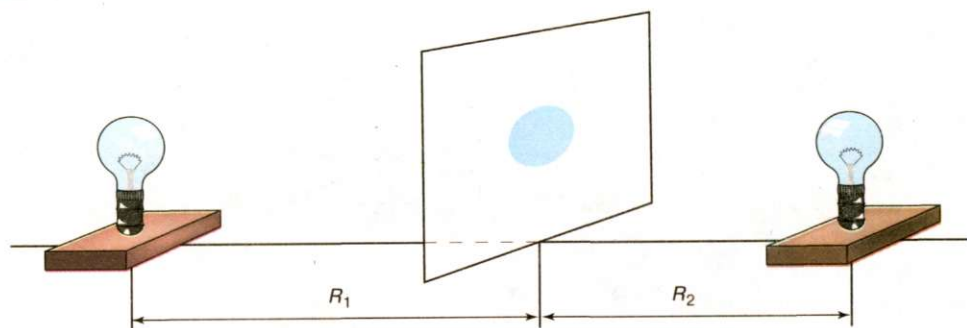
### Упражнения

1. Почему освещенность горизонтальных поверхностей в полдень больше, чем утром и вечером?
2. Известно, что освещенность от нескольких источников равняется сумме освещенностей от каждого из этих источников отдельно. Приведите примеры применения этого правила на практике.
3. После изучения темы «Освещенность» семиклассники решили увеличить освещенность своего рабочего места:
  - Петя заменил лампочку в своей настольной лампе на лампочку большей мощности;
  - Наташа поставила еще одну настольную лампу;
  - Антон поднял люстру, которая висела над его столом, выше;
  - Юрий расположил настольную лампу таким образом, что свет начал падать практически перпендикулярно к столу.
 Какие из учеников поступили правильно? Обоснуйте ответ.
4. В ясный полдень освещенность поверхности Земли прямыми солнечными лучами составляет 100 000 лк. Определите световой поток, падающий на участок площадью 100 см<sup>2</sup>.
5. Определите освещенность от электрической лампочки мощностью 60 Вт, расположенной на расстоянии 2 м. Довольно ли этой освещенности для чтения книги?
6. Две лампочки, поставленные рядом, освещают экран. Расстояние от лампочек до экрана 1 м. Одну лампочку выключили. На сколько нужно приблизить экран, чтобы его освещенность не изменилась?



### Экспериментальное задание

Для измерения силы света используют приборы, которые называются *фотометрами*. Изготовьте простейший аналог фотометра. Для этого возьмите белый лист (экран) и поставьте на нем жирное пятно (например, маслом). Закрепите лист вертикально и осветите его с двух сторон разными источниками света ( $S_1, S_2$ ) (см. рисунок). (Свет от источников должен падать перпендикулярно



к поверхности листа.) Медленно передвигая один из источников, сделайте так, чтобы пятно стало практически невидимым. Это произойдет, когда освещенность пятна с одной и другой стороны будет одинаковой. Т. е.  $E_1 = E_2$ .

Поскольку  $E = \frac{I}{R^2}$ , то  $\frac{I_1}{R_1^2} = \frac{I_2}{R_2^2}$ . Измерьте расстояние от первого источника до экрана ( $R_1$ ) и расстояние от второго источника до экрана ( $R_2$ ). Сравните, во сколько раз сила света первого источника отличается от силы света второго источника:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$ .

### Физика и техника в Украине



#### Научно-производственный комплекс «Фотоприбор» (г. Черкассы)

Сфера деятельности предприятия — разработка и производство приборов *точной механики, оптоэлектроники и оптомеханики* различного назначения, медицинской и криминалистической техники, бытовых товаров, офисных часов представительного класса. НВК «Фотоприбор» разрабатывает и выпускает перископические прицелы для разнообразных артиллерийских установок, гирокомпасы, гироскопы, оптико-электронную аппаратуру для вертолетов, бронетехники, а также широкий спектр оптического оборудования и приборов различного назначения.

же широкий спектр оптического оборудование и приборов различного назначения.

## § 20. ЗАКОН ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

■ Когда вы играете в прятки или пускаете «солнечных зайчиков», то, не подозревая того, пользуетесь законом прямолинейного распространения света. Выясним, в чем заключается этот закон и какие явления он объясняет.

1

### Учимся различать пучок света и световой луч

Для наблюдения *световых пучков* нам не нужно никакого специального оборудования (рис. 3.12).

Достаточно, например, неплотно сдвинуть в комнате шторы в ясный солнечный день, открыть дверь из освещенной комнаты в темный коридор,





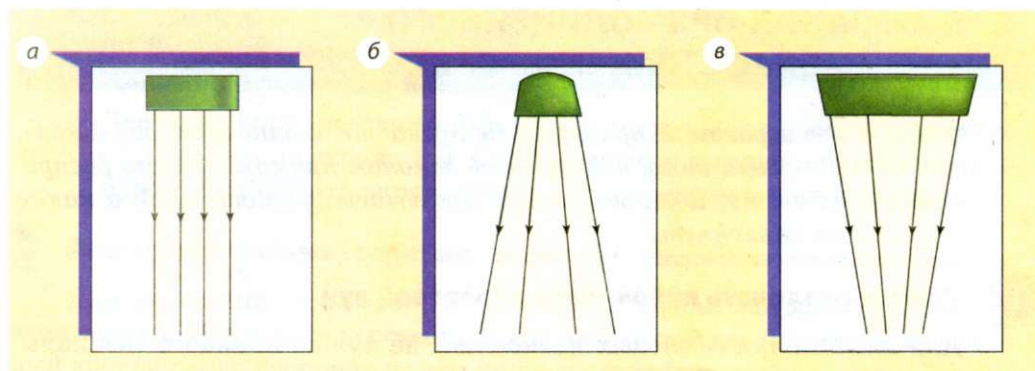
**Рис. 3.12.** В пасмурные дни сквозь разрывы туч пробиваются пучки солнечного света

или включить в темноте фонарик. Пучки света в первом случае проходят в комнату сквозь щель между шторами, во втором — падают на пол через дверной проем; в последнем случае свет от лампочки в определенном направлении направляется рефлектором фонарика. Пучки света в каждом из этих случаев образуют яркие световые пятна на освещаемых ими предметах.

В реальной жизни мы имеем дело только с пучками света, хотя, согласитесь, нам привычнее говорить: луч солнца, луч прожектора, зеленый луч и т. п.

На самом деле, с точки зрения физики, правильно было бы говорить: пучок солнечных лучей, пучок зеленых лучей и т. д. А вот для схематического изображения световых пучков используют световые лучи (рис. 3.13).

**Световой луч** — это линия, указывающая направление распространения светового пучка.



**Рис. 3.13.** Схематическое изображение световых пучков с помощью световых лучей: а — параллельный световой пучок; б — расходящийся световой пучок; в — сходящийся световой пучок

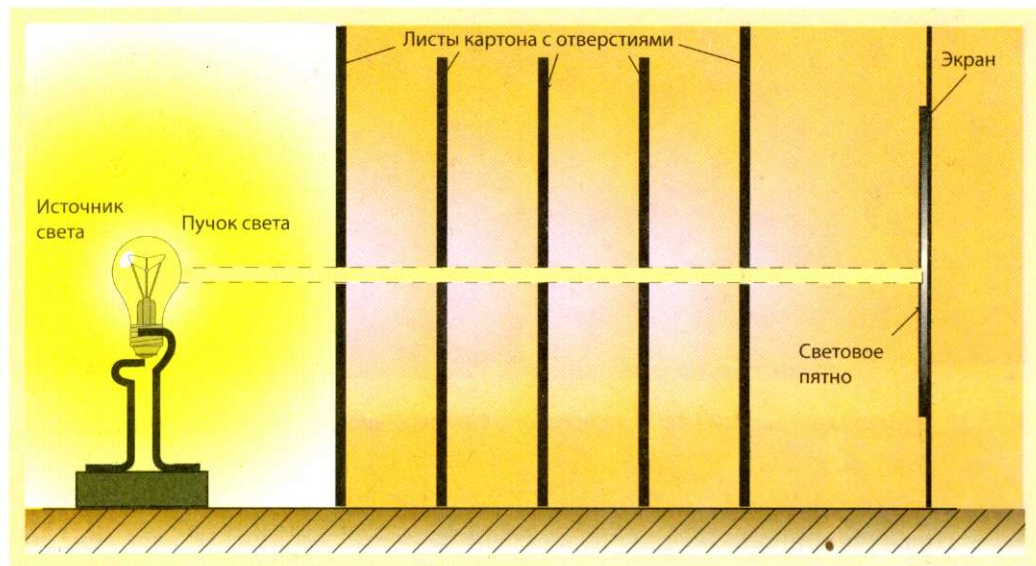


Рис. 3.14. Опыт, демонстрирующий прямолинейное распространение света

Итак, вы теперь знаете, что, когда дальше в тексте будут встречаться фразы наподобие «луч света падает», «преломление луча» и т. п., следует иметь в виду, что речь идет о *пучке света, направление которого задано этим лучом*.

## 2 Убеждаемся в прямолинейности распространения света

Проведем опыт. Расположим последовательно источник света, несколько листов картона с круглыми отверстиями (диаметром приблизительно 5 мм) и экран. Разместим листы картона таким образом, чтобы на экране появилось световое пятно (рис. 3.14). Если теперь взять, например, спицу и протянуть ее сквозь отверстия, то спица легко пройдет сквозь них, т. е. окажется, что отверстия расположены на одной прямой.

Этот опыт демонстрирует собой *закон прямолинейного распространения света*, установленный в глубокой древности. О нем свыше 2500 лет тому писал древнегреческий ученый Эвклид. Кстати, в геометрии понятия луча и прямой линии возникли на основе представления о световых лучах.

**Закон прямолинейного распространения света:** *в прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно.*



Рис. 3.15. Принцип действия солнечных часов базируется на том, что тень от вертикально расположенного объекта, освещенного солнцем, изменяет свою длину и расположение в течение дня



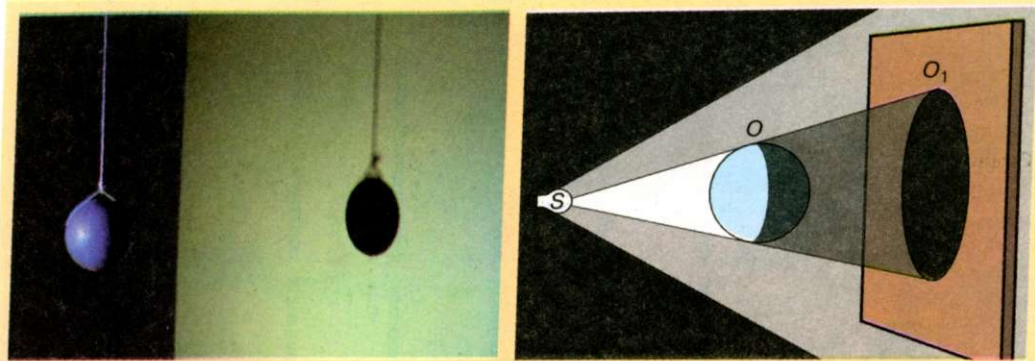


Рис. 3.16. Образование полной тени  $O_1$  от предмета  $O$ , освещенного точечным источником света  $S$

### 3 Выясняем, что такое полная тень и полутень

Прямолинейностью распространения света можно объяснить тот факт, что любое непрозрачное тело, освещенное источником света, отбрасывает тень (рис. 3.15).

Если источник света относительно предмета является точечным, то тень от предмета будет четкой. В этом случае говорят о *полной тени* (рис. 3.16).

**Полная тень** — это та область пространства, в которую не попадает свет от источника света.

Если тело освещено несколькими точечными источниками света или протяженным источником, то на экране образуется тень с нечеткими контурами. В таком случае создается не только полная тень, а еще и *полутень* (рис. 3.17).

**Полутень** — это область пространства, освещенная некоторыми из нескольких имеющихся точечных источников света или частью протяженного источника.

Образование полной тени и полутени в космических масштабах мы наблюдаем во время *лунного* (рис. 3.18) и *солнечного* (рис. 3.19) *затмений*. В тех местах Земли, на которые упала полная тень Луны, наблюдается *полное солнечное затмение*, в местах полутени — *частичное затмение Солнца*.

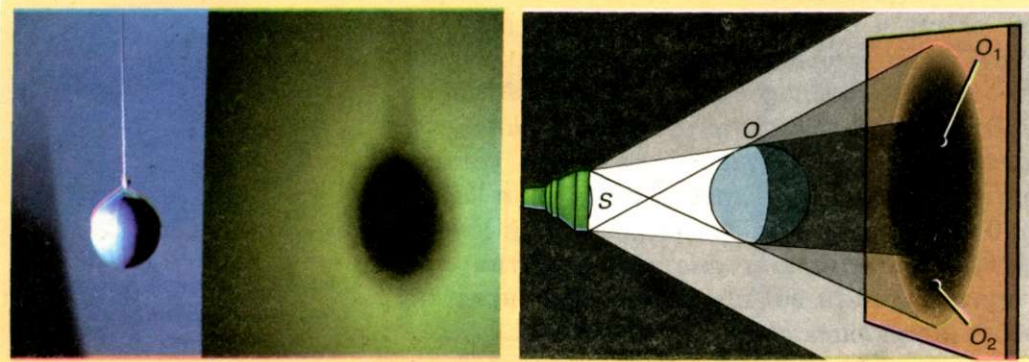


Рис. 3.17. Образование полной тени  $O_1$  и полутени  $O_2$  от предмета  $O$ , освещенного протяженным источником света  $S$

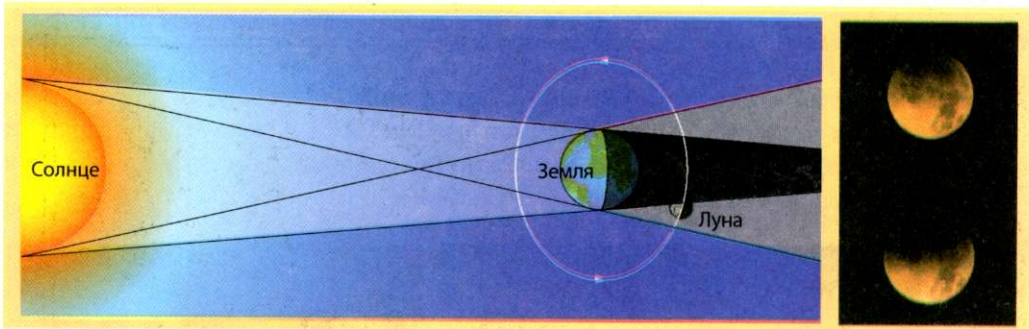


Рис. 3.18. Когда Луна попадает в зону тени от Земли, наступает лунное затмение

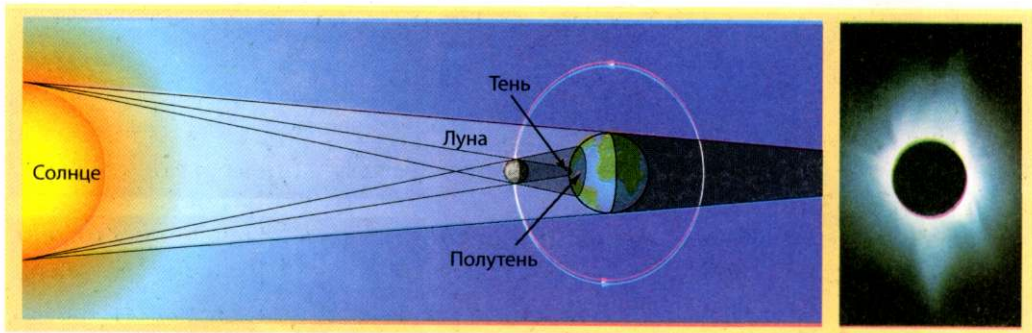


Рис. 3.19. Если Луна оказывается между Солнцем и Землей, то полная тень и полутень от Луны падают на Землю. Наступает солнечное затмение

## ПОДВОДИМ ИТОГИ

В прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно. Линия, указывающая направление распространения светового пучка, называется световым лучом.

В результате того, что свет распространяется прямолинейно, непрозрачные тела отбрасывают тень (полную тень и полутень). Полная тень — область пространства, в которую не попадает свет от источника (источников) света. Полутень — это область пространства, освещенная некоторыми из нескольких имеющих точечных источников света или частью протяженного источника.

Во время солнечных и лунных затмений мы наблюдаем образование тени и полутени в космических масштабах.

## Контрольные вопросы

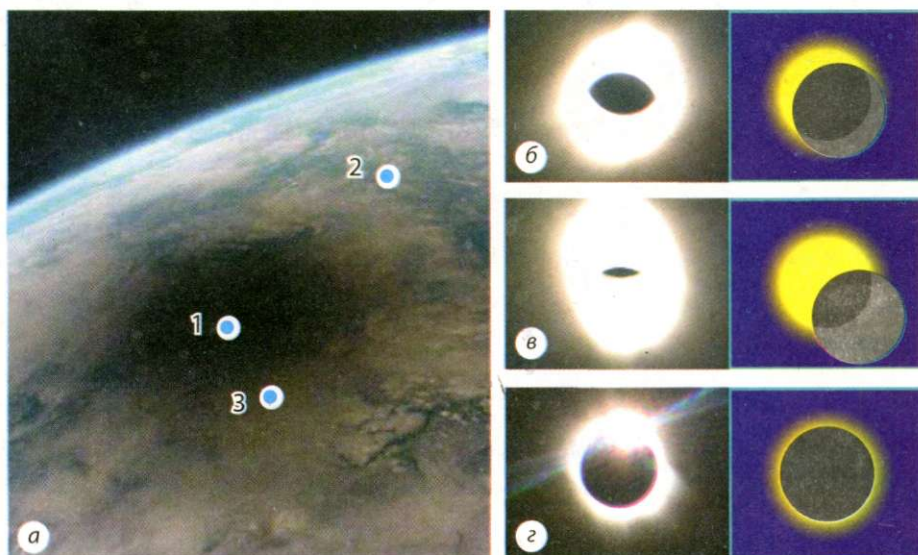
1. Что называют световым лучом?
2. В чем заключается закон прямолинейного распространения света?
3. Какими опытами можно доказать прямолинейность распространения света?
4. Какие явления подтверждают прямолинейность распространения света?
5. При каких условиях предмет будет образовывать только полную тень, а при каких — полную тень и полутень?
6. При каких условиях возникают солнечные и лунные затмения?





### Упражнения

- Во время солнечного затмения на поверхности Земли образуются тень и полутень Луны (рисунок *a*). Рисунки *б*, *в*, *г* — фотографии этого солнечного затмения, сделанные с разных точек Земли. Какая фотография сделана в точке 1 рисунка *a*? в точке 2? в точке 3?



- Космонавт, находясь на Луне, наблюдает Землю. Что увидит космонавт в тот момент, когда на Земле будет полное лунное затмение? частичное затмение Луны?
- Как необходимо освещать операционную, чтобы тень от рук хирурга не заслоняла операционного поля?
- Почему самолет, летящий на большой высоте, не образует тени даже в солнечный день?



### Экспериментальные задания

- На расстоянии 30—40 см от зажженной свечи или настольной лампы расположите экран. Между экраном и свечой горизонтально поместите карандаш. Изменяя расстояние между карандашом и свечой, наблюдайте изменения, происходящие на экране. Опишите и объясните свои наблюдения.
- Предложите способ, как, используя булавки, можно проверить, является ли линия, проведенная на картоне, прямой.
- Встаньте вечером неподалеку от уличного фонаря. Внимательно рассмотрите свою тень. Объясните результаты наблюдения.

## Физика и техника в Украине



**Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЕ)**, основанный в 1930 году, по концентрации научно-технического и научно-педагогического потенциала в области радиоэлектроники, телекоммуникаций, информационных технологий и вычислительной техники не имеет себе равных в Украине и странах СНГ.

Уникальные научные результаты работы ученых университета оказывали содействие развитию десятков новых научных направлений, закрепив приоритет отечественной науки в ряде важнейших областей народного хозяйства и оборонной сферы. Прежде всего это касается

исследований околоземного пространства. Благодаря созданным учеными университета измерительным комплексам, не имеющим аналогов в странах СНГ, составлен самый полный в мире каталог метеоритных частиц в околоземном пространстве, осуществлена высочайшая привязка во время запуска первого украинского спутника «Сечь-1», построена глобальная модель техногенных примесей в стратосфере и мезосфере Земли.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9



**Тема.** Изготовление простейшего оптического устройства.

**Цель работы:** разобраться в принципе действия камеры-обскуры, изготовить камеру-обскуру и получить с ее помощью изображение светящегося объекта.

**Оборудование:** картонная коробка, полупрозрачная бумага (пергамент, калька), канцелярская кнопка, клей, ножницы, свеча (одна на класс).

### Теоретические сведения

*Камера-обскура* (или, как ее иногда называют, пинхол-камера) — одно из простейших оптических устройств\*.

Схема действия этого устройства найдена в работах древнегреческого философа Аристотеля (IV в. до н. э.), а также китайского философа Мо Ти (V в. до н. э.). Камеру-обскуру считают предшественницей современного фотоаппарата.

Камера-обскура представляет собой сундучок, в одной из стенок которого имеется небольшое отверстие, а на противоположной стенке —

\* Камера-обскура — от лат. *camera* — комната, *obscura* — темная. В современных музеях науки камера-обскура представляет собой комнату, куда могут заходить зрители. Пинхол-камера — от англ. *pinhole camera* — камера с отверстием.



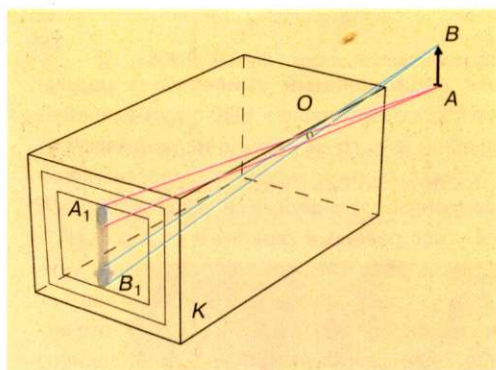


Рис. 1

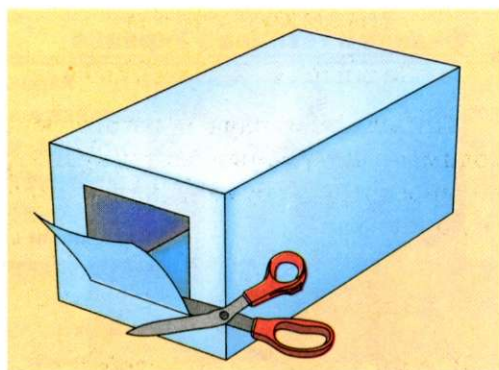


Рис. 2

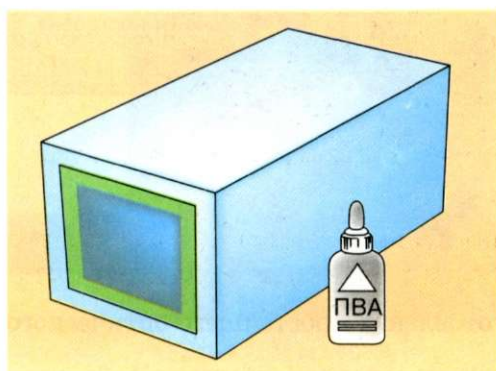


Рис. 3

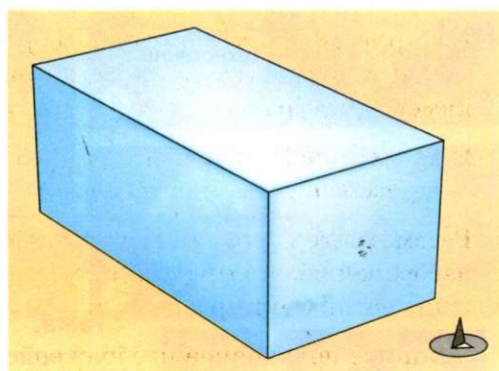


Рис. 4

полупрозрачный экран. Стенку с отверстием называют *передней*, так как именно ее поворачивают к рассматриваемому объекту. Стенка с экраном, на котором получается изображение объекта, называется *задней*.

Действие камеры-обскуры основывается на законе *прямолинейного распространения света*.

На рис. 1 вы видите объект  $AB$  и его изображение  $A_1B_1$ , полученное на экране камеры-обскуры  $K$ . От каждой точки объекта  $AB$  через отверстие  $O$  проходит узкий пучок света (чтобы не перегружать рисунок, показаны световые пучки, которые идут только от крайних точек объекта, —  $A$  и  $B$ ). Каждый из этих пучков создает на экране светлое пятнышко, форма которого совпадает с формой отверстия. Такие пятнышки, накладываясь одно на другое, образуют на экране картину, воссоздающую контуры и детали объекта. Эту картину называют *оптическим изображением объекта*.

Необходимо указать, что на *четкость полученного изображения* влияет размер отверстия в передней стенке камеры. Максимальной четкости изображения удастся достичь, когда каждая точка изображается опять-таки в виде точки. То есть чем меньшего размера пятнышки получаются на экране, тем более резким будет изображение объекта.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

### Подготовка к эксперименту

Прежде чем начать изготовление камеры-обскуры, подготовьте необходимые материалы: картонную коробку (например из-под чая или сока), полупрозрачную бумагу (кальку или пергамент), клей, ножницы, канцелярскую кнопку.

### Эксперимент

1. Возьмите картонную коробку и вырежьте в одной из ее стенок небольшое окошко для экрана (рис. 2).
2. Закончите изготовление задней стенки камеры-обскуры, заклеив окошко калькой (рис. 3).
3. На противоположной стенке коробки с помощью канцелярской кнопки сделайте отверстие диаметром приблизительно 1 мм (рис. 4). Простейшая камера-обскура готова!
4. В затемненном помещении наведите камеру на зажженную свечу и получите изображение пламени на экране.
5. Рассмотрите изображение. Обратите внимание на то, каким является это изображение: прямым или перевернутым, увеличенным или уменьшенным, четким или размытым.
6. Опишите полученное изображение.

### Анализ результатов эксперимента

Сделайте вывод, в котором укажите название изготовленного вами оптического устройства, а также то, в чем заключается принцип действия этого устройства, на каком законе оптики этот принцип действия основывается.

### Дополнительное задание

1. Исследуйте, как влияет размер отверстия в передней стенке камеры-обскуры на качество изображения.  
Для этого:
  - а) расширьте входное отверстие камеры до 15 мм;
  - б) подготовьте отдельные листы картона с отверстиями 3 мм, 5 мм и 10 мм;
  - в) поочередно приставляя к передней стенке камеры листы картона с отверстиями разного диаметра, наблюдайте за четкостью изображения.  
Сделайте вывод, проиллюстрировав его пояснительным рисунком.
2. Усовершенствуйте свой прибор так, чтобы экран можно было передвигать, приближая или отдаляя его от отверстия. Для этого воспользуйтесь такой же или большей по размеру коробкой.

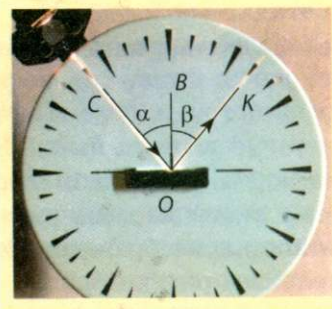


## § 21. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

■ Большинство объектов, которые нас окружают, — дома, деревья, наши одноклассники и т. п. — не являются источниками света. Тем не менее мы их видим. Ответ на вопрос «Почему так?» вы найдете в этом параграфе.



**Рис. 3.20.** При отсутствии источника света невозможно ничего увидеть. Если же появляется источник света, то мы видим не только сам источник, но и предметы, отражающие свет, который идет от источника



**Рис. 3.21.** Установление законов отражения света с помощью оптической шайбы

### 1 Выясняем, почему мы видим тела, не являющиеся источниками света

Вы уже знаете, что свет в прозрачной однородной среде распространяется прямолинейно. Если же на пути распространения пучка света расположено какое-либо тело, то свет частично отражается от него по определенным законам. Некоторые отраженные лучи попадают на наши глаза, и мы видим это тело (рис. 3.20).

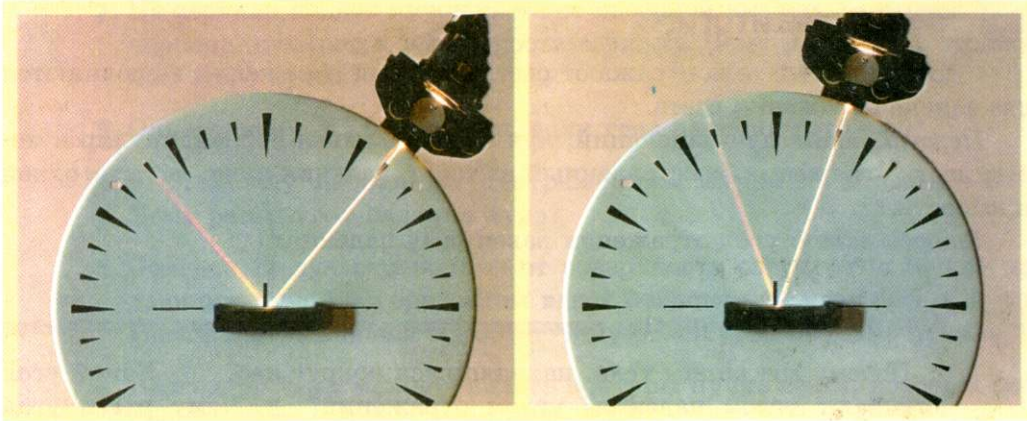
### 2 Устанавливаем законы отражения света

Для установления законов отражения света воспользуемся специальным прибором — *оптической шайбой\**. Сначала закрепим зеркало в центре оптической шайбы. Потом направим на зеркало узкий пучок света от осветителя так, чтобы он давал на поверхности шайбы светлую полоску. Мы увидим, что отраженный пучок также даст на поверхности шайбы светлую полоску (рис. 3.21).

Зададим направление падающего пучка света лучом  $SO$ . Этот луч называют *падающим лучом*. Луч  $OK$ , который задает направление отраженного пучка света, называют *отраженным лучом*. Из точки  $O$  падения луча восстановим перпендикуляр  $OB$  к поверхности зеркала, на которую падает свет. Обратите внимание на то, что *перпендикуляр  $OB$ , падающий луч  $SO$  и отраженный луч  $OK$  лежат в плоскости поверхности шайбы*.

*Угол  $\alpha$ , образованный падающим лучом  $SO$  и перпендикуляром  $OB$ , называют углом падения.*

\* Оптическая шайба — это белый диск, по кругу которого нанесены деления, а на краю установлен осветитель.



**Рис. 3.22.** Если изменять угол падения светового пучка, соответственно будет изменяться угол его отражения. Угол падения и угол отражения всегда будут равными

Угол  $\beta$ , образованный отраженным лучом  $ОК$  и перпендикуляром  $ОВ$ , называют *углом отражения*.

Если измерить угол  $\alpha$  и угол  $\beta$ , то можно убедиться, что эти углы являются равными. Передвинув источник света по краю диска, изменим угол падения светового пучка. Соответственно изменится и угол отражения (рис. 3.22). Передвигая источник света дальше и измеряя время от времени углы падения и отражения света, убеждаемся: они каждый раз являются равными.

Итак, мы установили **законы отражения света**:

**Первый закон:** *луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к поверхности отражения, восставленный из точки падения луча, лежат в одной плоскости.*

**Второй закон:** *угол отражения света равен углу падения.*

Законы отражения света еще в III в. до нашей эры установил *Эвклид*.

### 3 Демонстрируем обратимость световых лучей

С помощью зеркала на оптической шайбе можно продемонстрировать также обратимость световых лучей. Если падающий луч направить по пути отраженного луча, то отраженный луч пойдет по пути падающего (рис. 3.23).



**Рис. 3.23.** Демонстрация обратимости световых лучей с помощью зеркала. Видно, что отраженный луч идет по пути падающего луча



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Все видимые тела отражают свет. Во время отражения выполняются два закона отражения света.

*Первый закон:* луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к поверхности отражения, восставленный из точки падения луча, лежат в одной плоскости.

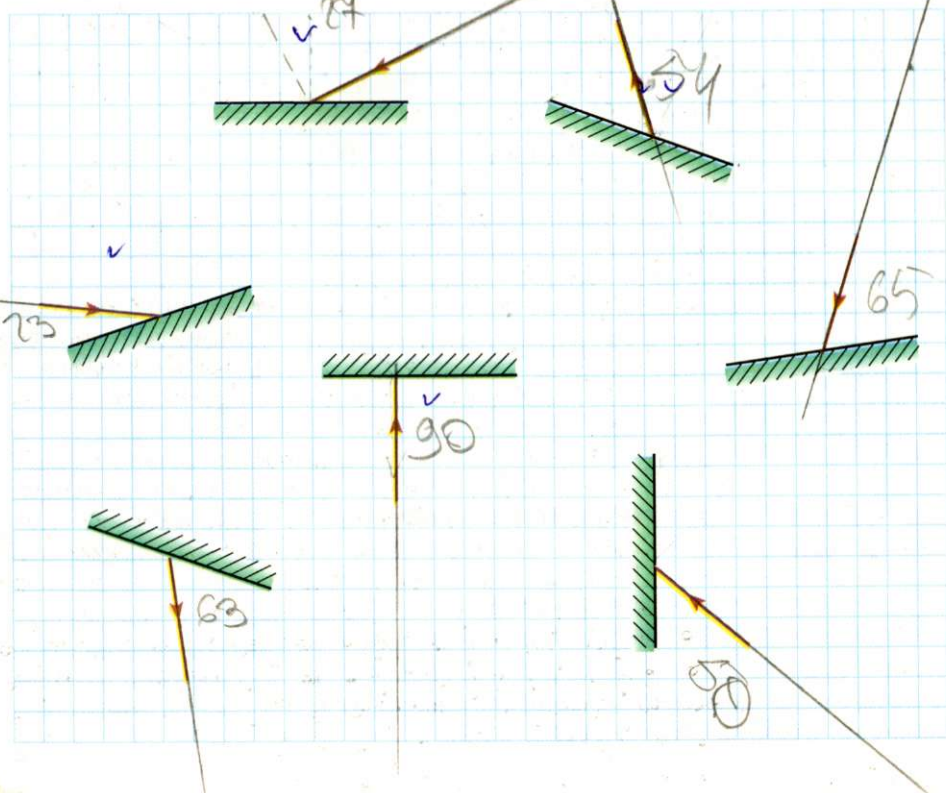
*Второй закон:* угол отражения равен углу падения.

### Контрольные вопросы

1. Почему мы видим тела, находящиеся вокруг нас?
2. Какой угол называют углом падения? углом отражения?
3. Чему равен угол падения луча, если луч падает на зеркало перпендикулярно к его поверхности?
4. Сформулируйте законы отражения света.
5. С помощью какого прибора можно убедиться в справедливости законов отражения света?
6. В чем заключается свойство обратимости световых лучей?

### Упражнения

1. Перенесите рисунок в тетрадь, постройте для каждого случая падающий или отраженный луч. Обозначьте углы падения и отражения.



2. На зеркало падает пучок света от лазерной указки, расположенной перпендикулярно к поверхности зеркала. Чему равен угол отражения этого пучка?
3. Определите угол отражения, если угол падения равен  $30^\circ$ .
4. Угол между падающим и отраженным лучами составляет  $80^\circ$ . Чему равен угол падения луча?
5. Солнечный луч отражается от поверхности озера. Угол между падающим лучом и горизонтом вдвое больше, чем угол между падающим и отраженным лучами. Чему равен угол падения луча?
6. Благодаря чему можно увидеть контуры пучка света, который распространяется сквозь тучи (рис. 3.12)?



### Экспериментальное задание

Это задание лучше выполнять вечером, после заката солнца. Вашим «помощником» при этом будет «световой зайчик».

Оставьте в полутемной комнате только один источник света — настольную лампу. Возьмите маленькое зеркало, поднесите его к лампе и расположите так, чтобы на одной из стен комнаты появился «световой зайчик». Изменяя наклон и расположение зеркала, сделайте так, чтобы «зайчик» «перепрыгнул» на другие стены, на потолок, за шкаф, «залез» внутрь глубокой вазы и помог вам увидеть ее дно.

Объясните результаты своих опытов, выполнив соответствующие схематические рисунки.

*на стенку, потолок, дно  
вазы нарисовать*

### Физика и техника в Украине



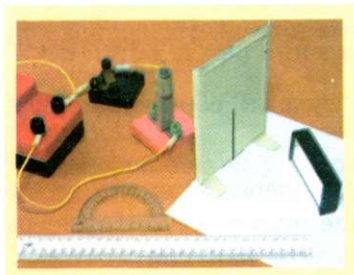
#### Научно-производственное предприятие «Карат» (Львов)

Является ведущим в Украине специализированным предприятием в области материалов для электроники. Координирует основные направления развития области и ведет ряд важных государственных научно-технических программ.

НПП «Карат» — предприятие с полностью законченным циклом «поиск — исследование — разработка — серийное производство», которое владеет технологиями производства материалов и устройств для оптоэлектроники, квантовой электроники и оптики, акусто-, магнито- и криоэлектроники, керамических материалов электронной техники, разнообразных технологических материалов; фундаментальных физико-химических исследований; испытания, тестирования и сертификации материалов в аккредитованной Госстандартом Украины лаборатории.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10



**Тема.** Изучение закона отражения света с помощью плоского зеркала.

**Цель работы:** экспериментально проверить закон отражения света.

**Оборудование:** линейка, транспортир, карандаш, источник света, плоское зеркало, экран со щелью, чистый белый лист.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

Установите экран со щелью на белый лист. Опытным путем определите такое расположение источника света относительно экрана, при котором полоска света на бумаге будет наиболее тонкой, выразительной и яркой. Потом поперек этой полоски поставьте на ребро плоское зеркало. В случае правильного расположения приборов отраженный от зеркала пучок света даст на бумаге след в виде светлой полосы.

#### Эксперимент

1. Хорошо заточенным карандашом начертите на бумаге линию вдоль зеркала. Обозначьте луч, падающий на зеркало, и отраженный луч.
2. Из точки падения лучей проведите перпендикуляр к линии вдоль зеркала. Измерьте угол падения и угол отражения.
3. Повторите опыт несколько раз, устанавливая зеркало под разными углами к падающему лучу.

#### Обработка результатов эксперимента

Результаты измерений занесите в таблицу.

Номер опыта	Угол падения, град	Угол отражения, град
1		
2		
3		

#### Анализ результатов эксперимента

1. Сравните полученные значения углов падения и отражения.
2. Сделайте вывод.

## § 22. ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО. ЗЕРКАЛЬНОЕ И РАССЕЯННОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

■ Помните мультфильм (сказку) о Крошке Еноте, который хотел добраться на другой берег пруда, но ужасно боялся Того, Кто Сидит в Пруду? Что только Енот ни делал: и грозил ему кулаком, и замахивался палкой — все напрасно. Каждый раз Тот, Кто Сидит в Пруду, отвечал Крошке тем же. И только улыбка решила все проблемы. В ответ на улыбку Крошки Енота Тот, Кто Сидит в Пруду, тоже улыбнулся. Вы, конечно, догадались, что в пруду Енот видел свое отражение.

### 1 Строим изображение в плоском зеркале

Каждый раз, подходя к зеркалу, мы, как и Крошка Енот, видим в нем своего «двойника». Конечно, никакого «двойника» там нет — мы говорим, что видим в зеркале свое изображение.

Рассмотрим, как образуется изображение в плоском зеркале.

Пусть из точечного источника света  $S$  на поверхность плоского зеркала падает расходящийся пучок света. Из множества падающих лучей выделим лучи  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$  (рис. 3.24).

Пользуясь законами отражения света, построим отраженные лучи  $AA_1$ ,  $BB_1$ ,  $CC_1$ . Эти лучи пойдут расходящимся пучком. Если продолжить их в противоположном направлении, за зеркало, все они пересекутся в одной точке —  $S_1$ , расположенной за зеркалом.

Нам будет казаться, что эти лучи выходят из точки  $S_1$ , хотя в действительности никакого источника света в точке  $S_1$  не существует. Поэтому точку  $S_1$  называют *мнимым изображением точки  $S$* . Плоское зеркало всегда дает мнимое изображение. (Действительное изображение можно получить, например, с помощью собирающей линзы, с которой вы познакомитесь немного позже, или маленького отверстия.)

### 2 Изучаем изображение в плоском зеркале

Проведем опыт, с помощью которого выясним, как расположены предмет и его изображение относительно зеркала. Пусть в роли

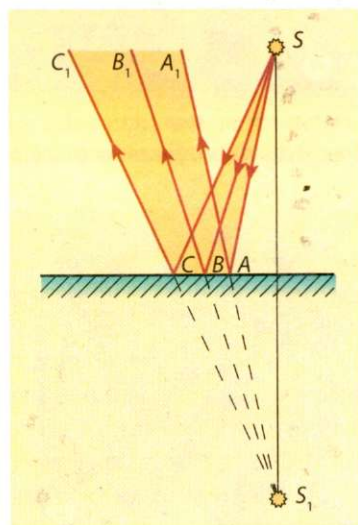


Рис. 3.24. Получение изображения точечного источника света  $S$  в плоском зеркале



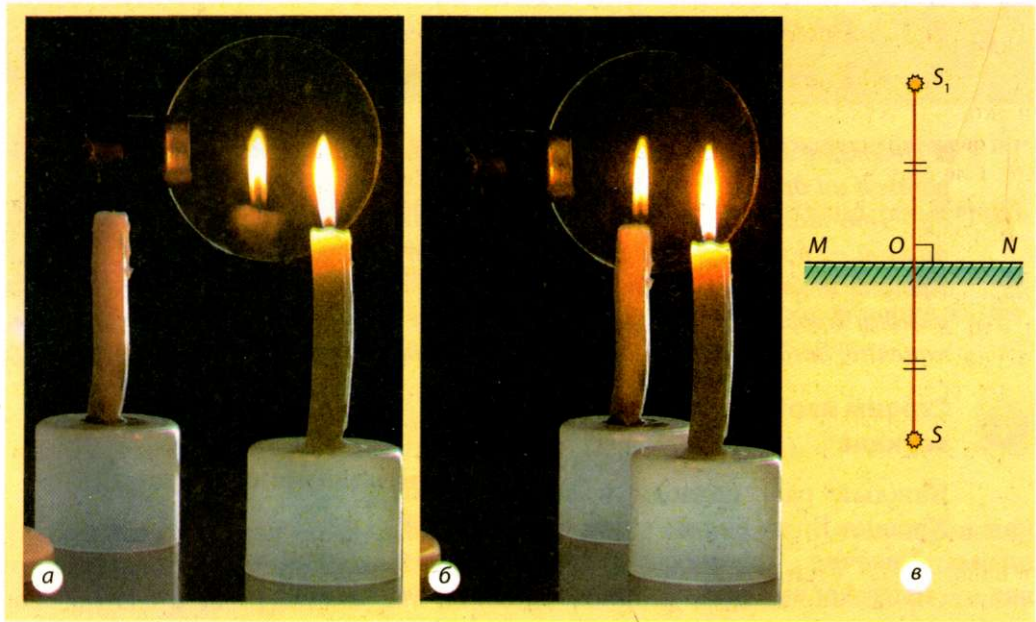


Рис. 3.25. Опыт, показывающий особенности изображения предмета в плоском зеркале

зеркала будет плоское стекло, закрепленное вертикально. С одной стороны стекла установим горящую свечу (в стекле появится ее изображение), а с другой — точно такую же, но не зажженную (рис. 3.25, а). Передвигая незажженную свечу, найдем такое ее расположение, что эта свеча, если смотреть на нее сквозь стекло, будет казаться горящей (рис. 3.25, б). В этом случае незажженная свеча окажется в месте, где наблюдается изображение в стекле зажженной свечи.

Схематично изобразим на бумаге местоположение стекла (прямая  $MN$ ), зажженной и незажженной свечей:  $S$  — зажженная свеча,  $S_1$  — незажженная свеча (точка  $S_1$  в нашем случае показывает также местоположение изображения зажженной свечи) (рис. 3.25, в). Если теперь соединить точки  $S$  и  $S_1$  и провести необходимые измерения, то убедимся, что прямая  $MN$  перпендикулярна отрезку  $SS_1$ , а длина отрезка  $SO$  равна длине отрезка  $S_1O$ .

Благодаря описанному опыту (а также множеству других, направленных на изучение процесса отражения света) можно установить **общие характеристики изображений в плоских зеркалах**:

- 1) *плоское зеркало дает мнимое изображение предмета;*
- 2) *изображение предмета в плоском зеркале равно по размеру самому предмету и расположено на том же расстоянии от зеркала, что и предмет;*
- 3) *прямая, которая совмещает точку на предмете с соответствующей ей точкой на изображении предмета в зеркале, перпендикулярна поверхности зеркала.*



3 \*Различаем зеркальное и рассеянное отражение света

Вечером, когда в комнате горит свет, мы можем видеть свое изображение в оконном стекле. Но изображение исчезает, если задернуть шторы: глядя на ткань, мы своего изображения не увидим. Но чем в этом случае отличается штора от стекла и почему на ней нельзя увидеть свое изображение?

Ответ на эти вопросы связан по меньшей мере с двумя физическими явлениями. Первое из них — **отражение света**. Чтобы появилось изображение, свет должен отразиться от поверхности *зеркально*. После зеркального отражения света, поступающего от точечного источника  $S$ , продолжения отраженных лучей сойдутся в одной точке  $S_1$ , которая и будет изображением точки  $S$  (рис. 3.26, а). Такой вид отражения возможен не от всех поверхностей, а только от очень гладких. Такая поверхность отражения называется *зеркальной* (рис. 3.26, б, в). Кроме обычного зеркала, примерами зеркальных поверхностей являются стекла автомобилей, витрин магазинов, полированная мебель, ложки и лезвия ножей из нержавеющей стали, спокойная поверхность воды (как в случае с Крошкой Енотом) и т. п.

Если свет отражается от неровной, шероховатой поверхности, то такое отражение называют *рассеянным*. В этом случае отраженные лучи никогда не сойдутся в одной точке и никогда не сойдутся в одной точке их продолжения (рис. 3.27, а). Таким образом, на такой поверхности нельзя получить изображение. Примеров поверхностей, которые рассеивают свет, разумеется, намного больше, чем зеркальных. Это и бетонная стена, и ствол дерева, и асфальтированное шоссе. Даже некоторые

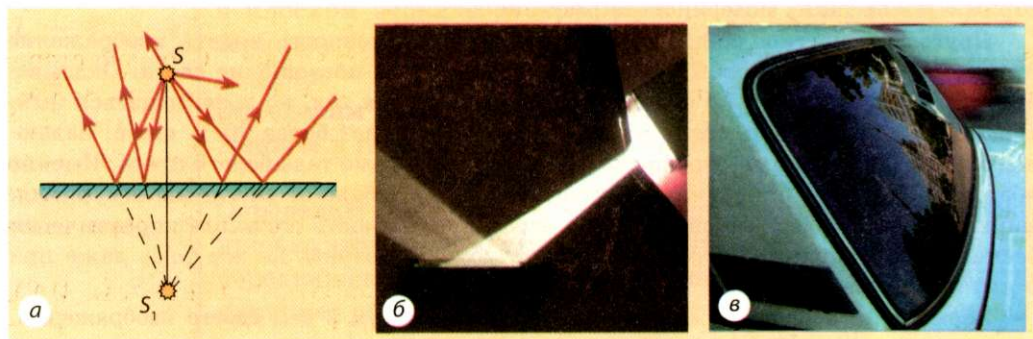


Рис. 3.26. Зеркальное отражение света — отражение света от гладкой поверхности

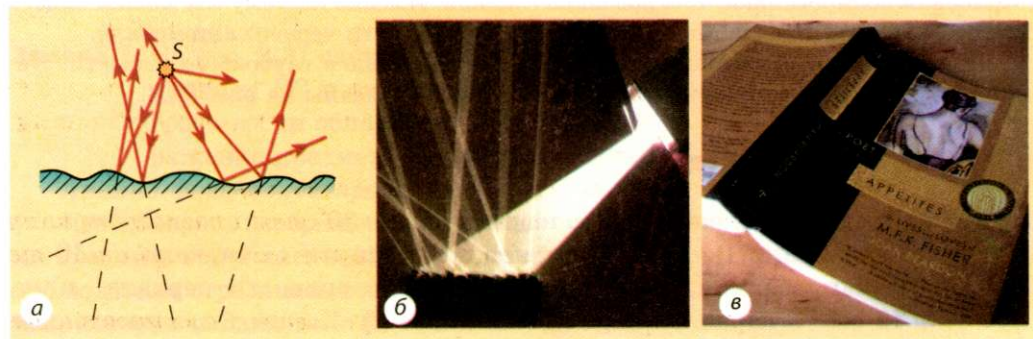
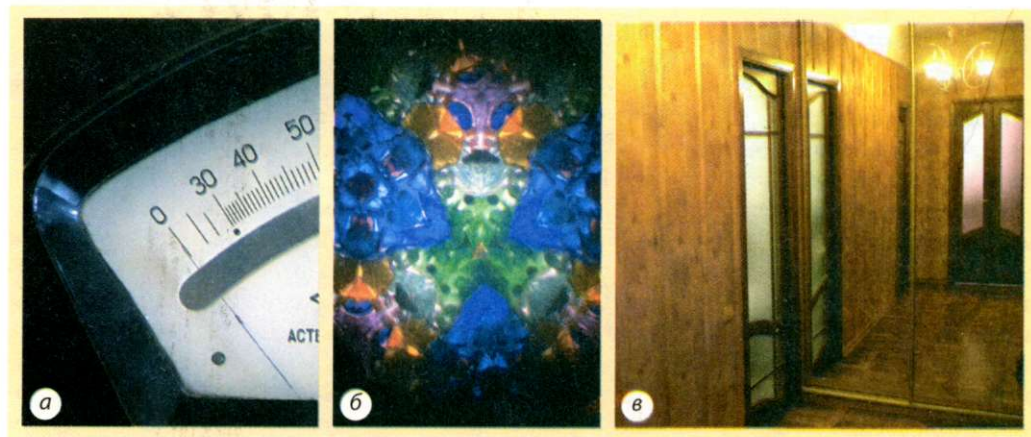


Рис. 3.27. Рассеянное отражение света — отражение света от неровной, шероховатой поверхности





**Рис. 3.28.** Использование плоских зеркал: *а* — применение зеркальной полосы в точных электроизмерительных приборах (в случае правильного отсчета стрелки и ее зеркальное изображение сливаются); *б* — калейдоскоп (многократное отражение в зеркалах мелких разноцветных стеклышек приводит к созданию необычайно красивых узоров, изменяющихся вследствие поворачивания калейдоскопа); *в* — зеркало (зрительно расширяет пространство)

гладкие на ощупь поверхности, например кусок пластика или обложка книги (рис. 3.27, б, в), для света являются недостаточно гладкими, шероховатыми — свет отражается от таких поверхностей рассеянно.

Другое физическое явление, влияющее на возможность видеть изображение предметов с помощью любых физических тел, — это **поглощение света**. Оказывается, свет может не только отражаться от физических тел, но и поглощаться ими. Наилучший отражатель света — зеркало: оно отражает более 90 % света, падающего на него. Хорошими отражателями являются также тела белого цвета. Именно поэтому в солнечный зимний день, когда все вокруг бело от снега, мы жмуримся, защищая глаза от яркого света. А вот черная поверхность поглощает практически весь свет, и, например, на черный бархат можно смотреть не жмурясь даже при очень ярком освещении.

Белый лист хорошо отражает свет, но мы не видим в нем своего изображения, так как поверхность бумаги шероховатая, значит, в этом случае мы имеем дело с рассеянным отражением света. А вот поверхность черного автомобиля в основном поглощает свет, но некоторую его часть отражает, причем зеркально, так как поверхность автомобиля полированная, т. е. довольно гладкая. Именно поэтому мы можем видеть свое изображение, правда, не очень яркое, в поверхности черного автомобиля.

Зеркальные поверхности широко используются еще с глубокой древности. Некоторые из примеров применения зеркал сегодня показаны на рис. 3.28.

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача 1.** Предмет был расположен на расстоянии 30 см от плоского зеркала (положение 1). Потом предмет передвинули от зеркала на 10 см в направлении, перпендикулярном поверхности зеркала, и на 15 см — параллельно ей (положение 2). Каким было расстояние между предметом и его изображением в положении предмета 1 и каким оно стало в положении 2?

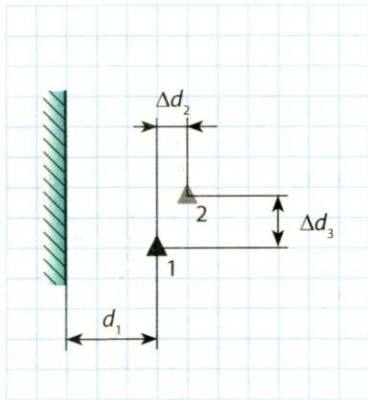


Рис. 3.29

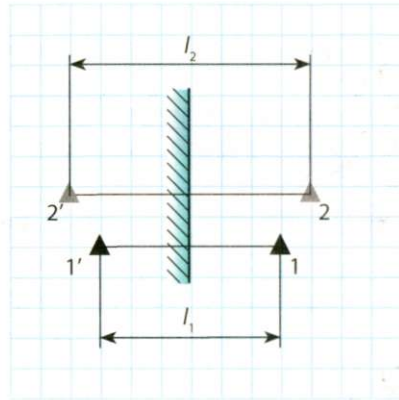


Рис. 3.30

Дано:

$$d_1 = 30 \text{ см}$$

$$\Delta d_2 = 10 \text{ см}$$

$$\Delta d_3 = 15 \text{ см}$$

$$l_1 = ?$$

$$l_2 = ?$$

*Анализ физической проблемы*

Сделаем пояснительный чертеж, где обозначим известные нам расстояния (рис. 3.29). Найдем местоположение изображения предмета для каждого из указанных положений предмета, основываясь на том, что изображение предмета в плоском зеркале расположено на том же расстоянии от зеркала, что и сам предмет (рис. 3.30).

*Решение*

Определим расстояние  $l_1$  — между предметом и его изображением в первом случае (положение предмета 1):

$$l_1 = 2d_1; \quad l_1 = 2 \cdot 30 \text{ см} = 60 \text{ см.}$$

Определим расстояние  $l_2$  — между предметом и его изображением во втором случае (положение предмета 2), учитывая, что передвижение предмета параллельно поверхности зеркала не изменяет расстояния между предметом и его изображением:

$$l_2 = 2(d_1 + \Delta d_2); \quad l_2 = 2(30 \text{ см} + 10 \text{ см}) = 80 \text{ см.}$$

*Ответ:* расстояние от предмета до его изображения в положении 1 равно 60 см, в положении 2 — 80 см.

**Задача 2.** На рис. 3.31 схематически изображен предмет  $BC$  и зеркало  $NM$ . Найдите графически область, из которой изображение предмета видно полностью.

*Анализ физической проблемы*

Чтобы видеть изображение определенной точки предмета в зеркале, необходимо, чтобы в глаз наблюдателя отразилась хотя бы часть из тех лучей, которые падают из этой точки на зеркало.

В нашем случае в глаз должны отразиться лучи, выходящие из крайних точек предмета  $BC$

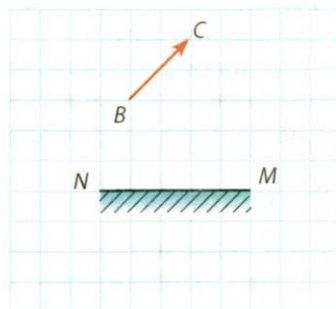


Рис. 3.31



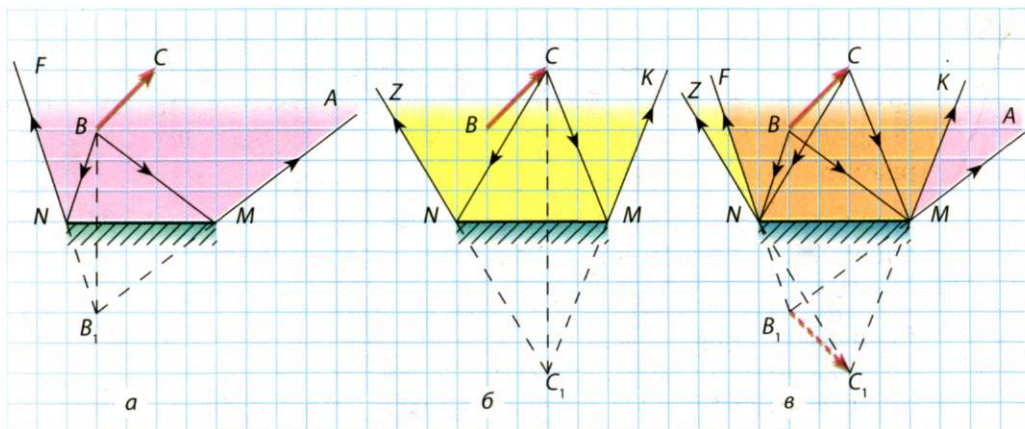


Рис. 3.32

(понятно, что при этом условии в глаз отражаются и лучи, выходящие из всех остальных точек предмета).

*Решение и анализ результатов*

1. Построим лучи  $BM$  и  $BN$ , которые падают на крайние точки зеркала  $MN$  из точки  $B$  (рис. 3.32, а). Эти лучи ограничивают пучок всех лучей, которые после отражения в зеркале пойдут расходящимся пучком и дадут на своем продолжении точку  $B_1$ , которая является изображением точки  $B$  в плоском зеркале. Область, ограниченная поверхностью зеркала и лучами, отраженными от крайних точек зеркала (луче  $MA$  и  $NF$ ), и будет областью, из которой видно изображения  $B_1$  точки  $B$  в зеркале.

2. Аналогично построив изображение  $C_1$  точки  $C$  в зеркале, найдем область, из которой видно это изображение (рис. 3.32, б).

3. Видеть изображение всего предмета наблюдатель может только в том случае, если в его глаз попадают лучи, которые дают оба изображения —  $B_1$  и  $C_1$  (рис. 3.32, в). Итак, оранжевая область — это область, из которой изображение предмета видно полностью.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Изображение предмета в плоском зеркале является мнимым, равным по размерам предмету, расположенному на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет.

Различают зеркальное и рассеянное отражения света. В случае зеркального отражения мы можем видеть изображение предмета в зеркале, в случае рассеянного отражения изображение не наблюдается.



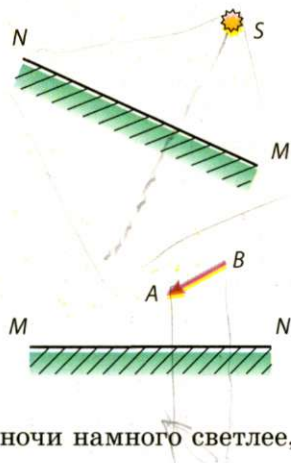
### Контрольные вопросы

1. Какое отражение света называется зеркальным?
2. В каком случае изображение называют мнимым?
3. Каковы характеристики изображения предмета в плоском зеркале?
4. Чем рассеянное отражение света отличается от зеркального?



### Упражнения

1. Человек стоит на расстоянии 1,5 м от плоского зеркала. На каком расстоянии от человека расположено его изображение? Охарактеризуйте это изображение.
2. Водитель автомобиля, взглянув в зеркало заднего обзора, увидел в нем пассажира, сидящего на заднем сиденье. Может ли пассажир в этот момент, глядя в то же зеркало, увидеть водителя?
3. Вы направляетесь к зеркальной витрине со скоростью 4 км/ч. С какой скоростью к вам приближается ваше изображение? На сколько сократится расстояние между вами и вашим изображением, когда вы пройдете 2 м?
4. У щенка, который сидит перед зеркалом, поднято правое ухо. Какое ухо поднято у изображения щенка в зеркале?
5. На рисунке изображена светящаяся точка  $S$  и зеркало  $MN$ . Постройте изображение точки в зеркале, укажите область, из которой видно это изображение. Какие изменения будут наблюдаться, если зеркало постепенно заслонять непрозрачным экраном?
6. Постройте изображение отрезка  $AB$  в плоском зеркале  $MN$  (см. рисунок). Найдите графически область, из которой отрезок видно полностью.
7. Зимой, когда земля покрыта снегом, лунные ночи намного светлее, чем летом. Почему?
8. Почему ночью в свете фар автомобиля лужа на асфальте кажется водителю темным пятном на более светлом фоне?
9. Представьте, что поверхности всех тел отражают свет зеркально. Что бы мы увидели вокруг?

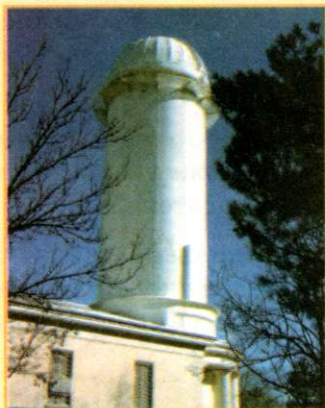


### Экспериментальное задание

Возьмите любой предмет (например карандаш) и два плоских зеркала. Расположите зеркала под прямым углом преломляющими поверхностями друг к другу и положите между ними предмет. Выясните, сколько изображений предмета можно получить с помощью такой системы зеркал. Результат опыта объясните с помощью схематического рисунка. Как будет изменяться количество изображений предмета в случае увеличения (уменьшения) угла между зеркалами?



### Физика и техника в Украине



#### Крымская (Симеизская) обсерватория

В начале XX века астрономия вплотную подошла к изучению физической природы звезд. Возникла новая область науки — астрофизика. Тем не менее выяснилось, что для астрофизических исследований главная обсерватория Российской империи (Пулковская в Петербурге) является непригодной из-за погодных условий: темными зимними ночами небо почти всегда закрыто тучами, а летом, в период «белых ночей», оно настолько светлое, что невозможно применить основной метод астрофизики — спектроскопию звезд.

Поэтому была создана обсерватория на юге — Крымская (Симеизская). Сначала основным направлением ее работы было наблюдение малых планет. Хотя обсерватория в Симеизе имела очень маленький астрограф, по числу наблюдений малых планет и открытых астероидов она занимала второе место в мире, уступая лишь Гейдельбергской обсерватории (Германия).

После Второй мировой войны главным телескопом обсерватории стал рефлектор с зеркалом диаметром 2,5 м. Он начал работать в 1961 году и со временем получил имя своего разработчика — академика Г. А. Шайна. Успешная работа автоматических систем на телескопе Шайна и других телескопах Крымской обсерватории привела к идее создания полностью автоматизированного телескопа с зеркалом диаметром 1,25 м, введенного в действие в 1980 году.

Ныне обсерватория принимает участие в международной программе «Спектр», исследования которой охватывают очень широкий диапазон волн — от рентгеновских до радиоволн.

## § 23. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

■ Почему ложка, опущенная в стакан с водой, кажется нам сломанной на границе воздуха и воды? Что такое оптическая плотность среды? Как ведет себя свет, переходя из одной среды в другую? Обо всем этом вы узнаете из этого параграфа.

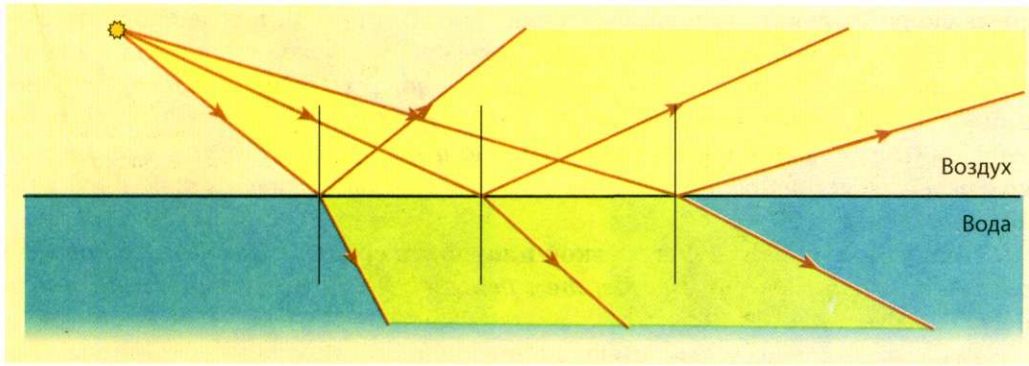
1

### Проводим опыты по преломлению света

Проведем такой эксперимент. Направим на поверхность воды в широком сосуде узкий пучок света под некоторым углом к поверхности. Мы заметим, что в точках падения лучи не только отражаются от поверхности воды, но и частично проходят в воду, изменяя при этом свое направление (рис. 3.33).

Изменение направления распространения света в случае его прохождения через границу раздела двух сред называют **преломлением света**.

Первое упоминание о преломлении света можно найти в работах древнегреческого философа *Аристотеля*, который задавался вопросом: почему палка в воде кажется сломанной? А в одном из древнегреческих трактатов



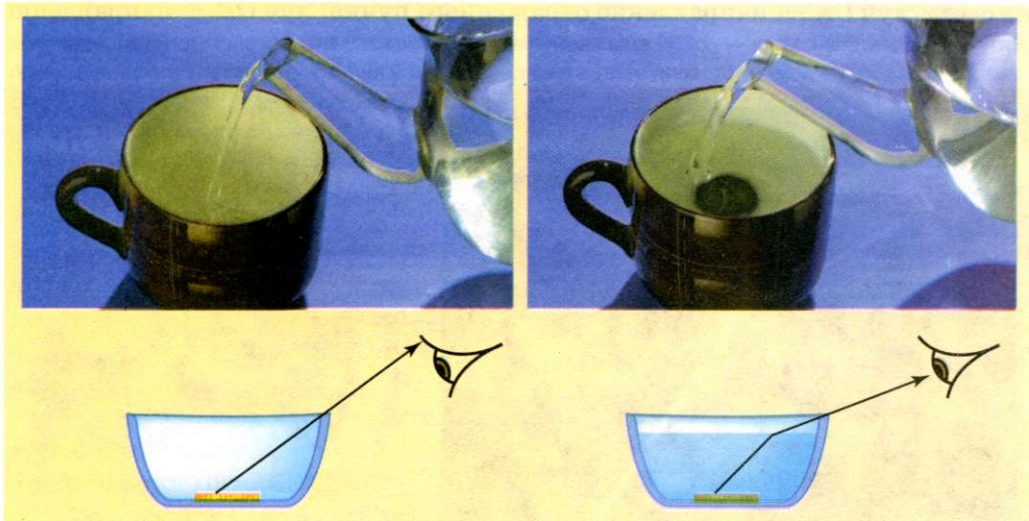
**Рис. 3.33.** Схема опыта по демонстрации преломления света. Переходя из воздуха в воду, луч света изменяет свое направление, смещаясь к перпендикуляру, восстановленному в точке падения луча

описан такой опыт: «Нужно встать так, чтобы плоское кольцо, положенное на дно сосуда, спряталось за его краем. Потом, не изменяя положения глаз, налить в сосуд воду. Луч света преломится на поверхности воды, и кольцо станет видимым». Аналогичный опыт проиллюстрирован на рис. 3.34.

## 2 Выясняем причину преломления света

Так почему же свет, переходя из одной среды в другую, изменяет свое направление?

Мы уже знаем, что свет в вакууме распространяется хотя и с огромной, но тем не менее конечной скоростью — около 300 000 км/с. В любой другой



**Рис. 3.34.** На рисунке и схеме слева в чашке нет воды: пучок света, отраженный монетой, не попадает в глаз наблюдателя, поэтому он не видит монеты. На рисунке и схеме справа в чашку налита вода: отраженный монетой свет, преломляясь на границе «вода — воздух», достигает глаза наблюдателя — его глаз расположен так же, как и прежде, но монета становится для наблюдателя видимой



среде скорость света меньше, чем в вакууме. Например, в воде скорость света в 1,33 раза меньше, чем в вакууме; когда свет переходит из воды в алмаз, его скорость уменьшается еще в 1,8 раза; в воздухе скорость распространения света в 2,4 раза больше, чем в алмазе, и лишь немного ( $\approx 1,0003$  раза) меньше скорости света в вакууме. Именно *изменение скорости света в случае перехода из одной прозрачной среды в другую является причиной преломления света.*

Принято говорить об **оптической плотности среды**: чем меньше скорость распространения света в среде, тем большей является оптическая плотность среды.

Так, воздух имеет большую оптическую плотность, чем вакуум, поскольку в воздухе скорость света несколько меньше, чем в вакууме. Оптическая плотность воды меньше, чем оптическая плотность алмаза, поскольку скорость света в воде больше, чем в алмазе.

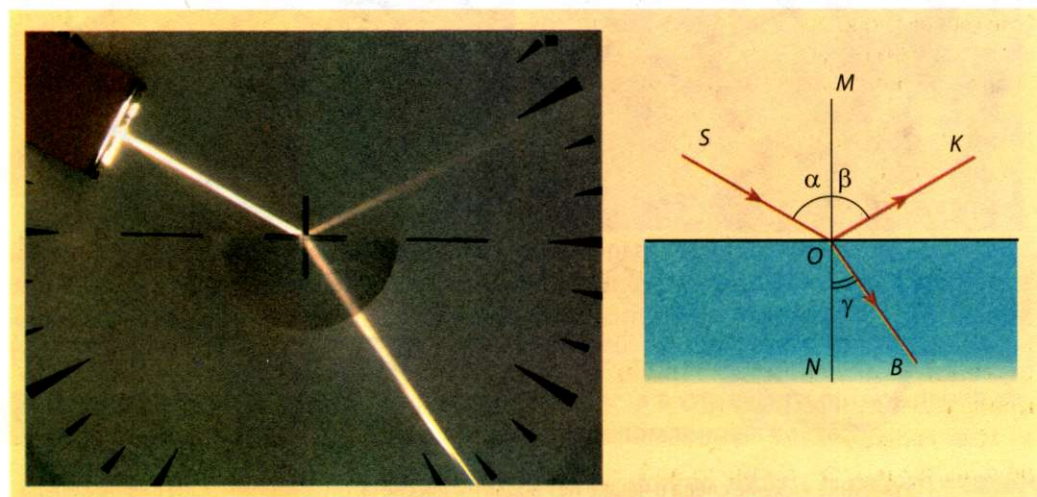
Чем больше отличаются оптические плотности двух сред, тем более преломляется свет на границе их раздела. Другими словами, *чем больше изменяется скорость света на границе раздела двух сред, тем сильнее он преломляется.*

3

### Устанавливаем закономерности преломления света

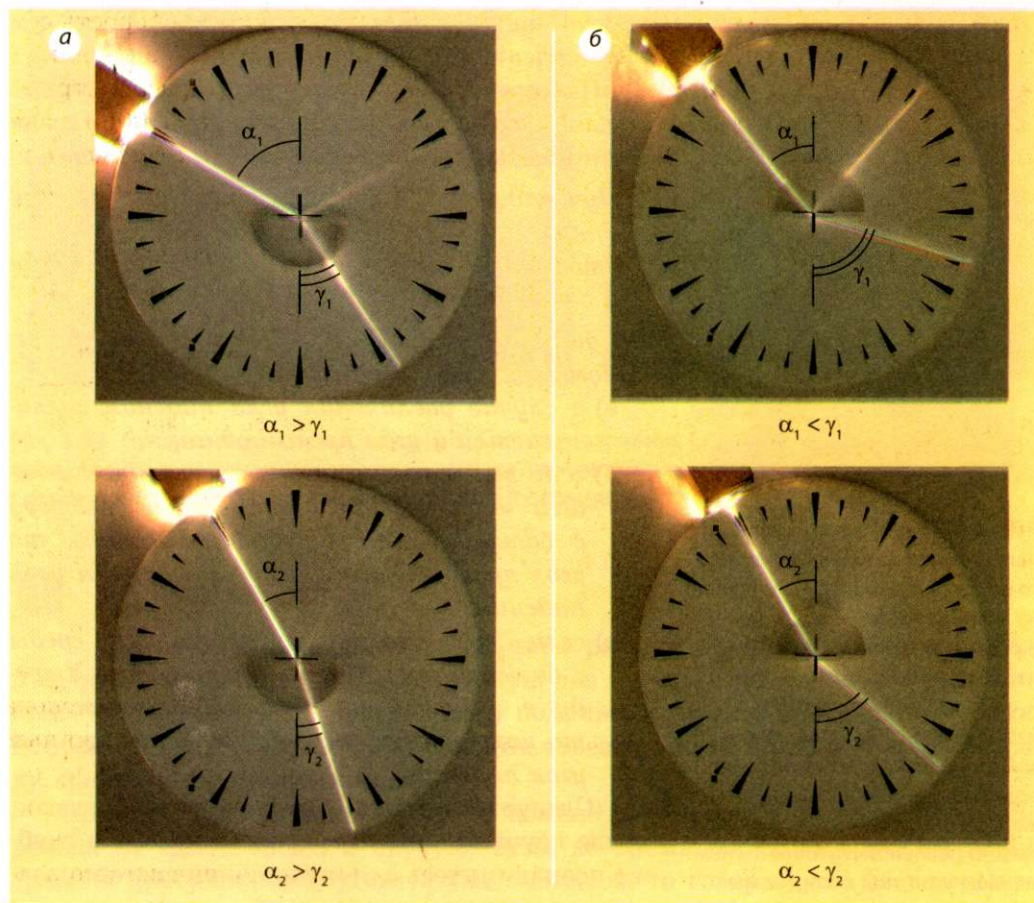
Рассмотрим явление преломления света подробнее. Для этого снова воспользуемся оптической шайбой. Установив в центре диска стеклянный полуцилиндр, направим на него узкий пучок света (рис. 3.35). Часть пучка отразится от поверхности полуцилиндра, а часть пройдет сквозь него, изменив свое направление (преломится).

На схеме по правую сторону луч  $SO$  задает направление падающего пучка света, луч  $OK$  — направление отраженного пучка, луч  $OB$  — направление



**Рис. 3.35.** Наблюдение преломления света с помощью оптической шайбы.  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол отражения,  $\gamma$  — угол преломления светового пучка





**Рис. 3.36.** Установление закономерности преломления света ( $\alpha_1, \alpha_2$  — углы падения,  $\gamma_1, \gamma_2$  — углы преломления). В случае увеличения угла падения света увеличивается и угол его преломления. Если свет падает из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей оптической плотностью (из воздуха в стекло) (а), то угол преломления меньше угла падения. Если наоборот (из стекла в воздух) (б), то угол преломления больше угла падения

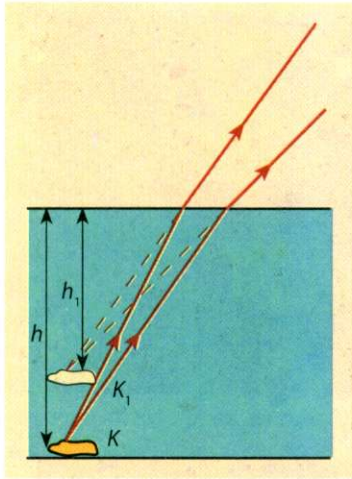
преломленного пучка;  $MN$  — перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча  $SO$ . Все указанные лучи лежат в одной плоскости — в плоскости поверхности диска.

Угол, образованный преломленным лучом и перпендикуляром к границе деления двух сред, восстановленным в точке падения луча, называется **углом преломления**.

Если теперь увеличить угол падения, то мы увидим, что увеличится и угол преломления. Уменьшая угол падения, мы заметим уменьшение угла преломления (рис. 3.36).

Соотношение значений угла падения и угла преломления в случае перехода пучка света из одной среды в другую зависит от оптической плотности каждой из сред. Если, например, свет падает из воздуха в стекло (рис. 3.36, а), то угол преломления всегда будет меньшим, чем угол падения ( $\gamma_1 < \alpha_1, \gamma_2 < \alpha_2$ ). Если же луч света направить из стекла в воздух (рис. 3.36, б),





**Рис. 3.37.** Лучи света, идущие, например, от камешка  $K$ , лежащего на дне водоема, преломляются на границе «вода — воздух». В результате мы видим мнимое изображение камешка —  $K_1$  и, соответственно, мнимое изображение дна. Таким образом, определяя на глаз глубину водоема, мы ошибаемся: нам кажется, что глубина водоема —  $h_1$  вместо реальной глубины  $h$ . (Чем меньше угол, под которым мы рассматриваем дно, тем больше погрешность.)

то угол преломления всегда будет большим, чем угол падения ( $\gamma_1 > \alpha_1$ ,  $\gamma_2 > \alpha_2$ ).

Напомним, что оптическая плотность стекла больше оптической плотности воздуха, и сформулируем **закономерности преломления света**.

1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред, составленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.
2. Существуют такие соотношения между углом падения и углом преломления:
  - а) в случае увеличения угла падения увеличивается и угол преломления;
  - б) если луч света переходит из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей оптической плотностью, то угол преломления будет меньше, чем угол падения;
  - в) если луч света переходит из среды с большей оптической плотностью в среду с меньшей оптической плотностью, то угол преломления будет большим, чем угол падения.

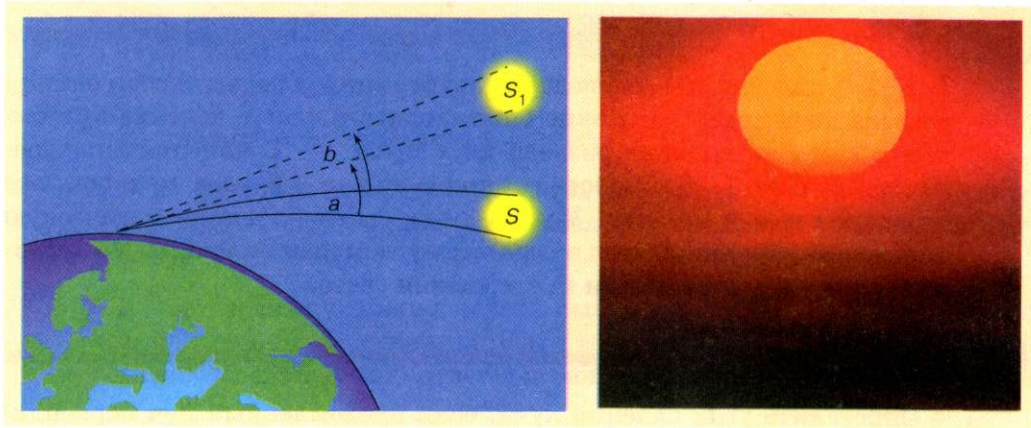
(Следует отметить, что в старших классах, после изучения курса тригонометрии, вы глубже познакомитесь с преломлением света и узнаете о нем на уровне законов.)

#### 4 Объясняем преломлением света некоторые оптические явления

Когда мы, стоя на берегу водоема, стараемся на глаз определить его глубину, она всегда кажется меньшей, чем есть на самом деле. Это явление объясняется преломлением света (рис. 3.37).

Следствием преломления света в атмосфере Земли является тот факт, что мы видим Солнце и звезды немного выше их реального положения (рис. 3.38). Преломлением света можно объяснить еще много природных явлений: возникновение миражей, радуги и др.

Явление преломления света является основой работы многочисленных оптических устройств (рис. 3.39). С некоторыми из них мы познакомимся в следующих параграфах, с некоторыми — в ходе дальнейшего изучения физики.



**Рис. 3.38.** Пучок световых лучей, идущий от Солнца (положение Солнца —  $S$ ), преломляется (кривая  $a$ ) в атмосфере Земли. Наблюдателю кажется, что свет распространяется по прямой  $b$  и что Солнце расположено выше, чем на самом деле (положение  $S_1$ .)

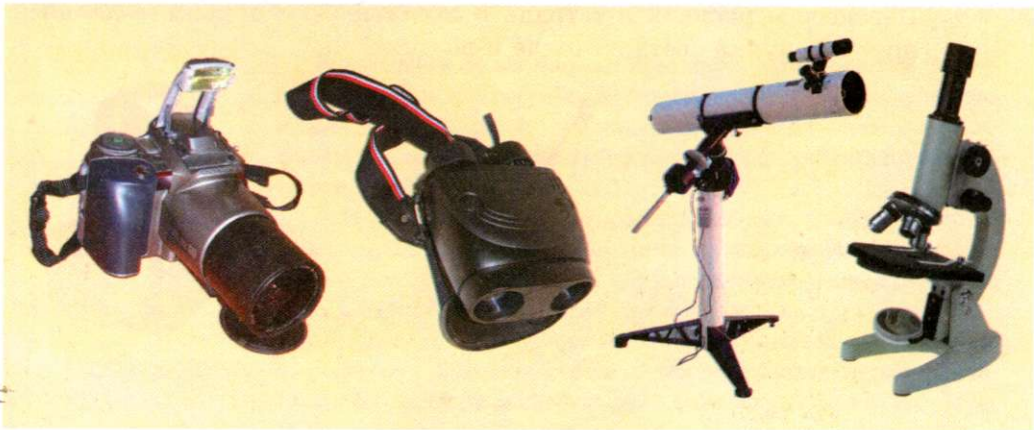


### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Световой пучок, падая на границу раздела двух сред, имеющих разную оптическую плотность, делится на два пучка. Один из них — отраженный — отражается от поверхности, подчиняясь законам отражения света. Второй — преломленный — проходит через границу раздела в другую среду, изменяя свое направление.

Причина преломления света — изменение скорости света в случае перехода из одной среды в другую. Если во время перехода света из одной среды в другую скорость света уменьшилась, то говорят, что свет перешел из среды с меньшей оптической плотностью в среду с большей оптической плотностью, и наоборот.

Преломление света происходит по определенным законам.



**Рис. 3.39.** Оптические устройства, работа которых базируется на явлении преломления света





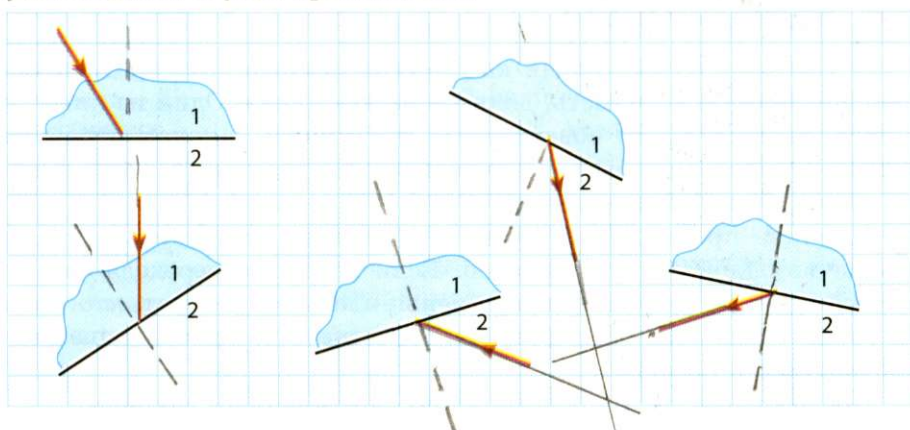
### Контрольные вопросы

1. Какое явление мы наблюдаем, когда свет проходит через границу раздела двух сред?
2. Какие опыты подтверждают явление преломления света на границе раздела двух сред?
3. В чем причина преломления света?
4. Скорость света в воде в 1,3 раза меньше, чем скорость света в воздухе. Какая среда имеет большую оптическую плотность?
5. Какой угол называется углом преломления?
6. Сформулируйте закономерности преломления света.

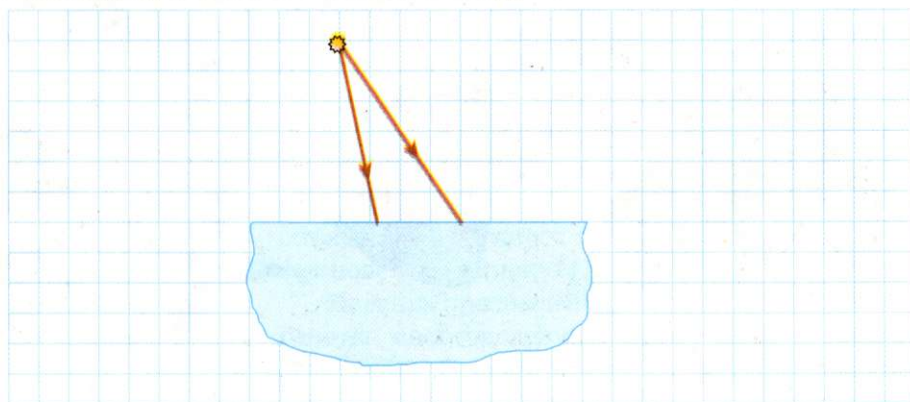


### Упражнения

1. Определите угол падения луча, если преломленный луч перпендикулярен к границе раздела двух сред.
2. Перенесите рисунок в тетрадь. Считая, что среда 1 имеет большую оптическую плотность, чем среда 2, для каждого случая схематически постройте падающий или преломленный луч, обозначьте угол падения и угол преломления.



3. Пучок света падает из воздуха на поверхность стекла (см. рисунок). Перенесите рисунок в тетрадь и схематически покажите дальнейший ход пучка света в стекле и воздухе.



4. Луч света падает из воздуха в воду под углом  $60^\circ$ . Угол между отраженным и преломленным лучами составляет  $80^\circ$ . Вычислите угол преломления луча.
5. Вычислите скорость света в алмазе.
6. Если смотреть на предметы сквозь теплый воздух, который поднимается от костра, то будет казаться, что предметы колеблются. Почему?
7. В чистом пруду можно видеть рыб. Глубина, на которой плавает рыба, меньше, больше или равна той глубине, на которой вы ее видите? Обоснуйте свой ответ с помощью схематического рисунка.



### Экспериментальные задания

1. Покажите и объясните кому-нибудь из своих друзей или близких упомянутый в параграфе опыт с кольцом, который был описан в одном из древнегреческих трактатов (понятно, что вместо кольца можно воспользоваться и другим предметом).
2. Приготовьте насыщенный раствор поваренной соли, прибавляя соль в теплую воду до тех пор, пока соль не перестанет растворяться. Дайте раствору отстояться в течение нескольких часов и осторожно перелейте его в чистую банку. Опустите в раствор стеклянную палочку (шарик). Объясните, почему погруженный предмет практически не виден.

### Физика и техника в Украине



Выдающийся физик **Леонид Исаакович Мандельштам** (1879—1944) родился в Могилеве. В скором времени семья переехала в Одессу, где Мандельштам учился в гимназии. Со временем он закончил физико-математический факультет Новороссийского университета.

Л. И. Мандельштам изучал распространение электромагнитных волн, прежде всего — видимого света. Он обнаружил целый ряд эффектов, некоторые ныне носят его имя (комбинационное рассеяние света, эффект Мандельштама—Бриллюена и т. п.).

Огромна роль Л. И. Мандельштама в подготовке новых поколений физиков. Он был одним из организаторов Политехнического института в Одессе. Среди его учеников — выдающиеся физики И. Е. Тамм, М. Д. Папалекси, М. О. Леонтович, Г. С. Ландсберг и другие.



## § 24\*. ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ

■ Приведем несколько фактов, на первый взгляд, совсем не связанных друг с другом: когда по телевизору показывают подводные съемки, поверхность воды над подводниками в тихую погоду кажется зеркальной (рис. 3.40); ювелиры ограничивают драгоценные камни, чтобы увеличить их привлекательность; в настоящее время все большее применение получают так называемые оптические линии связи. Оказывается, между этими фактами все-таки есть общее: все они связаны с одним физическим явлением — полным внутренним отражением света.



Рис. 3.40. Наблюдателю, находящемуся под водой, поверхность воды кажется блестящей, как зеркало

1

### Формулируем гипотезу полного отражения

Чтобы разобраться в причинах этого физического явления и понять основы его практического применения, необходимо вернуться к материалу предыдущего параграфа, где мы экспериментировали с преломлением светового луча. Вспомним: если пучок света переходит из среды с большей оптической плотностью в ту, оптическая плотность которой меньше, угол преломления будет всегда большим, чем угол падения.

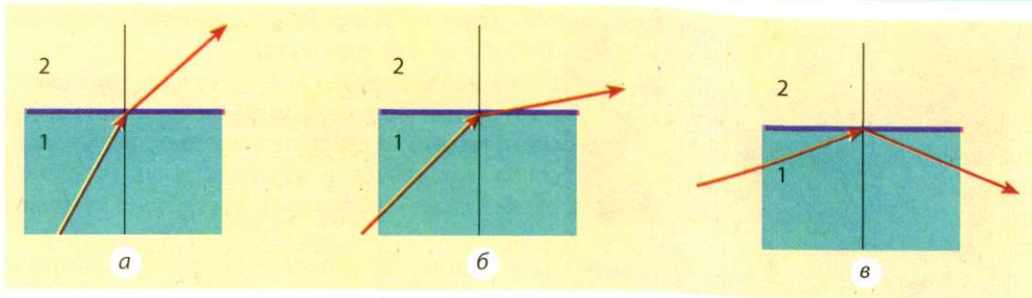
Представим теперь, как будет изменяться угол преломления светового пучка в случае увеличения угла его падения. Для этого схематически изобразим падение пучка света на поверхность раздела сред под разными углами, причем угол падения пучка света будем последовательно увеличивать (рис. 3.41). Сравнивая рис. 3.41, а и рис. 3.41, б, мы видим, как преломленный пучок приближается к границе раздела двух сред. Логически рассуждая, в случае дальнейшего увеличения угла падения угол преломления наконец превысит  $90^\circ$  (рис. 3.41, в). Однако угол больше  $90^\circ$  — это уже не преломление пучка света, а его возвращение в первую среду! «Возвращение в первую среду» означает на самом деле отражение, причем отражение полное, так как *весь падающий пучок света должен возвратиться в первую среду.*

Таким образом, на основании только знания преломления света и размышлений мы сделали предположение о существовании нового для вас явления.

Теперь сформулируем наше предположение в виде гипотезы.

*Если направить под большим углом падения пучка света из среды с большей оптической плотностью в ту, оптическая плотность которой меньше, то падающий пучок не будет проходить во вторую среду, а полностью отразится от границы раздела.*

Проверим нашу гипотезу с помощью эксперимента.



**Рис. 3.41.** Схематическое изображение лучей, падающих на поверхность раздела двух сред из среды 1 с большей оптической плотностью в среду 2 с меньшей оптической плотностью. Угол падения луча увеличивается от схемы к схеме (от схемы а к схеме в)

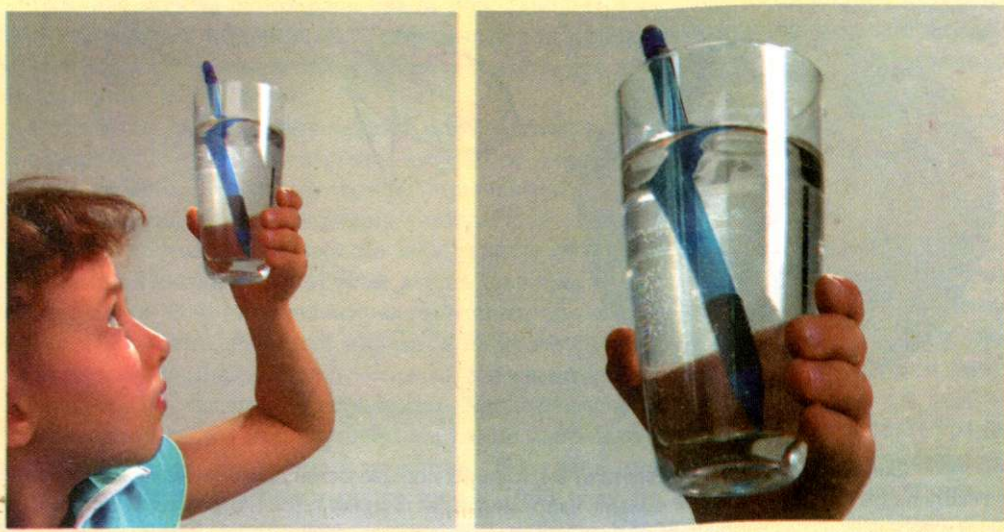
## 2 Экспериментально проверяем гипотезу полного отражения

Для эксперимента вам нужен тонкостенный стеклянный сосуд, например стакан, примерно наполовину заполненный холодной водопроводной водой. Для удобства проведения опыта выбранный сосуд должен быть без рисунка на стенках. Объектом наблюдения может быть, например, корпус пластмассовой ручки яркого цвета, желательнее с надписью.

Предлагаемый опыт необходимо проводить в хорошо освещенной комнате (при солнечном или искусственном освещении).

Погрузите корпус ручки в стакан с водой и, держа стакан в руке, расположите его над головой — приблизительно на расстоянии 25—30 см (рис. 3.42). В ходе опыта вы должны следить за объектом.

Сначала, подняв голову, вы будете видеть весь корпус ручки (как ту часть, которая в воде, так и надводную часть). Теперь медленно передвигайте от себя бокал, не изменяя высоты. Такое движение бокала соотносится с увеличением угла падения



**Рис. 3.42.** Наблюдение полного отражения



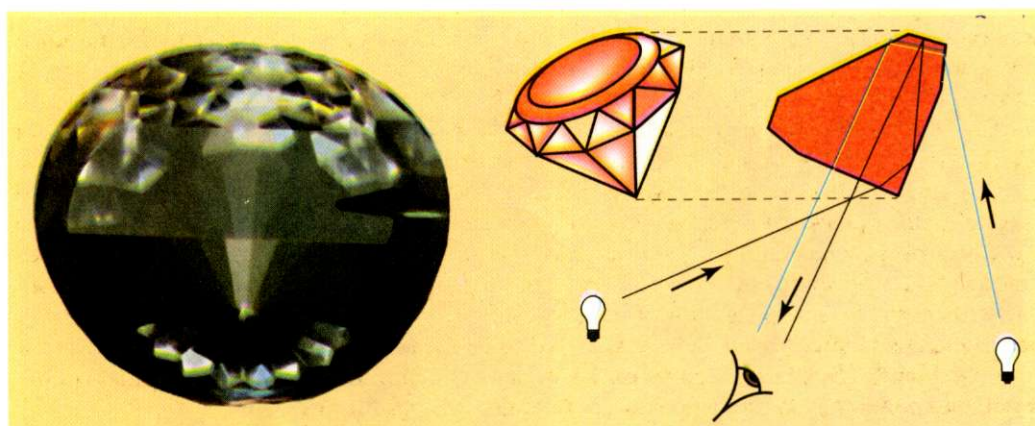
пучка света, о чем мы говорили в нашей гипотезе. Попробуйте самостоятельно нарисовать схему распространения света (аналог — см. рис. 3.41).

Когда бокал будет достаточно отдален от наблюдателя, т. е. от ваших глаз (соответственно, угол падения пучка света будет достаточно большим), поверхность воды станет для вас зеркальной и вы перестанете видеть часть ручки, которая над водой. Вместо этого вы увидите зеркальное отображение части корпуса, расположенной под водой. Убедиться в том, что это в самом деле «подводная» часть, вам поможет надпись на корпусе ручки.

Итак, в результате эксперимента мы успешно подтвердили сформулированную в начале параграфа гипотезу и встретились с новым физическим явлением, которое называют **полное отражение**. «Полное» — так как в этом явлении весь световой пучок отражается от границы раздела двух сред. Проще всего наблюдать это явление, находясь в пределах среды с большей оптической плотностью. Любители подводного плавания смогут подтвердить все это собственными наблюдениями, всем другим советуем внимательно следить за экраном телевизора, когда показывают подводные съемки (см. рис. 3.40).

Обратите внимание, что *описанное явление возможно только тогда, когда пучок света переходит из среды с большей оптической плотностью в ту, оптическая плотность которой меньше*. Для противоположного случая (переход из среды с меньшей оптической плотностью в ту, оптическая плотность которой больше) угол преломления будет меньше, чем угол падения. Значит, явление полного внутреннего отражения наблюдаться не будет.

Ювелиры на протяжении веков используют явление полного внутреннего отражения света, чтобы повысить привлекательность и ценность драгоценных камней. Природные камни обрабатывают — огранивают, другими словами, создают на поверхности камня много плоскостей (граней). Люди обычно рассматривают драгоценные камни при ярком свете. Независимо от местоположения источника света некоторые грани камня будут выполнять роль «внутренних зеркал», и камень «заиграет» в лучах (рис. 3.43). Если камень повернуть, то внутренними зеркалами станут другие грани.



**Рис. 3.43.** Схема отражения лучей света от внутренних поверхностей драгоценных камней. Если луч света падает на драгоценный камень, например, из источника 1, то он отражается от одной грани и попадает в глаз наблюдателя. Если луч света падает из источника 2, то свет отражается уже от двух граней — и снова попадает в глаз наблюдателя. Следовательно, для наблюдателя драгоценный камень сверкает независимо от того, где расположен источник света



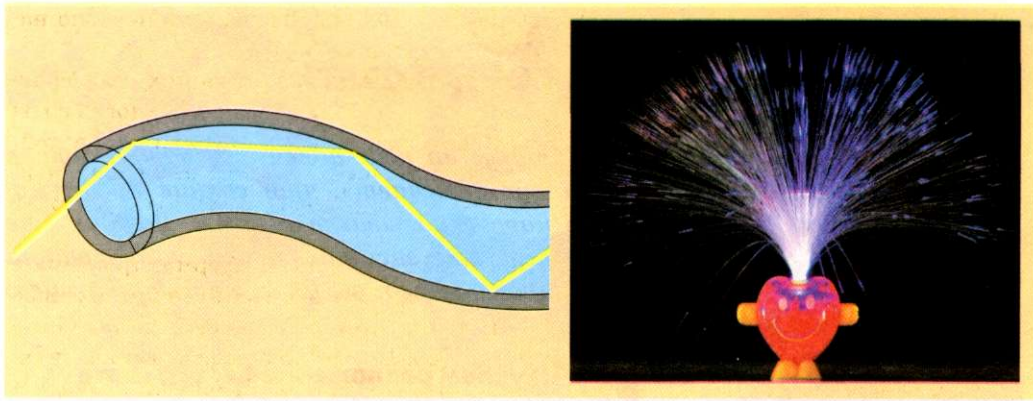


Рис. 3.44. Распространение светового пучка по световоду

### 3 Знакомимся с волоконной оптикой

Интенсивное практическое применение явления полного отражения началось только в последние 20—30 лет. Связано оно с созданием волоконных оптических систем.

Если в торец стеклянной пластинки направить пучок света, то после многократного отражения свет выйдет на противоположной стороне пластинки (рис. 3.44). К тому же, это состоится независимо от того, какой будет пластинка: изогнутой или прямой. Поэтому первые **световоды** (гибкие нити, которые проводят свет на основе явления полного внутреннего отражения) люди стали использовать для подсвечивания труднодоступных мест. Источник света (например фонарик) направляет свет на один конец гибкого световода, а второй конец этого световода освещает нужное труднодоступное место. Эту технологию используют в медицине для исследования внутренних органов (эндоскопия). Применяют ее и в технике, скажем, для определения дефектов внутри моторов без их разборки.

Позднее жгуты световодов стали использовать как источники солнечного освещения закрытых помещений. Например, один конец световода размещают на крыше, а второй — в комнате без окон; в результате в солнечный день естественный свет заливает эту комнату.

Световоды широко используют в индустрии развлечений — для подсвечивания сцен различных шоу, украшения витрин, в детских игрушках.

Однако больше всего световоды применяются как кабели для передачи информации. Если превратить определенную информацию в пакет световых сигналов, то с помощью световодов ее можно передать на большое расстояние практически без искажений. Поставив на другом конце системы обратный преобразователь (световых сигналов — в определенную информацию), в результате получают высокоэффективный кабель, который является намного более дешевым и более легким, чем стандартный медный, практически не изменяет своих свойств под влиянием окружающей среды, позволяет передавать больше информации и т. п.

Благодаря своим преимуществам такие кабели стремительно вытесняют традиционные провода. Если еще в середине 70-х годов прошлого столетия эти системы были довольно экзотическими, то уже в 1988 году по дну Атлантического океана проложен первый волоконно-оптический кабель. Сегодня ВОЛС (волоконно-оптические линии связи) — это телефонная связь между крупнейшими городами Украины, Интернет и многое другое.



## § 25. ДИСПЕРСИЯ СВЕТА. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СВЕТА

■ Солнечный летний день. И вдруг на небе появилась тучка, пошел дождик, который будто бы «не замечает», что солнце продолжает светить. Такой дождь в народе называют слепым. Дождик еще не успел закончиться, а на небе уже засияла разноцветная радуга (рис. 3.45). Почему она появилась? Ответ вы узнаете из следующего параграфа.



Рис. 3.45. Явление, подобное радуге, можно наблюдать в брызгах фонтана или водопада

### 1 Изучаем разложение белого света в спектр

Оказывается, что и в лабораторных условиях можно наблюдать удивительное явление, подобное радуге. Для этого направим узкий пучок белого света на стеклянную призму (рис. 3.46). Проходя сквозь призму, пучок белого света преломляется, и на экране образуется радужная полоска — спектр.

Появление спектра объясняется тем, что пучок белого света представляет собой совокупность световых пучков разных цветов, а световые пучки разных цветов распространяются в одной и той же среде с разной скоростью.

Зависимость скорости распространения пучка света в определенной среде от цвета пучка называют **дисперсией света**.

Обычно пучки света, имеющие меньшую скорость распространения, преломляются боль-

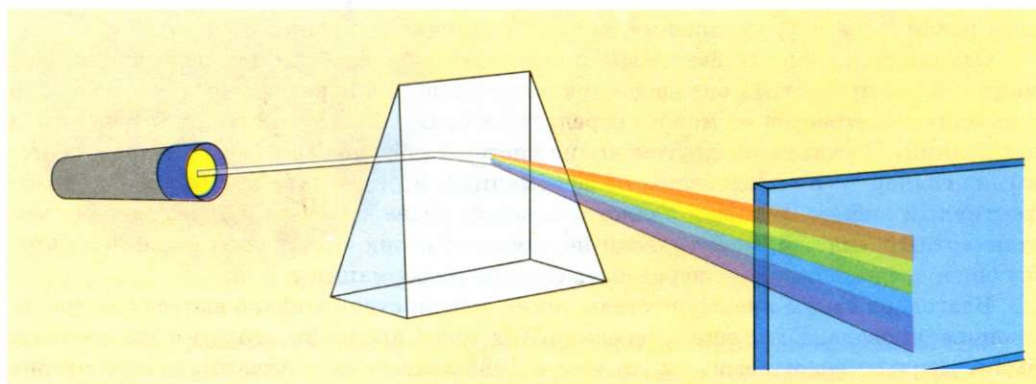
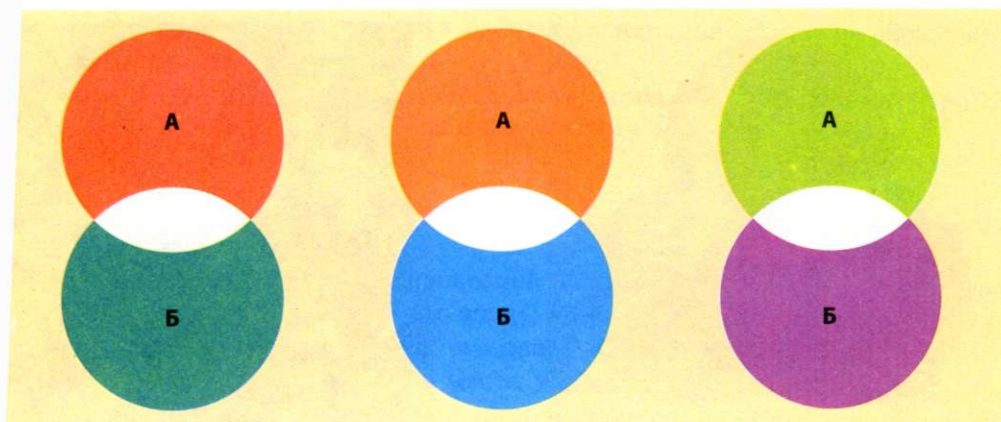


Рис. 3.46. Разложение белого света в спектр при прохождении сквозь стеклянную призму. Сильнее всего преломляются фиолетовые лучи, слабее всего — красные



с. 3.47. Некоторые дополнительные цвета

е. Например, в средах, с которыми вы знакомитесь в школе, фиолетовые лучи имеют меньшую скорость, чем красные, и, значит, преломляются сильнее. Кстати, именно поэтому полоска фиолетового цвета в спектре расположена ниже красной (рис. 3.46).

Сравним рис. 3.45 и 3.46: цвета радуги — это и есть цвета спектра, что не удивительно, так как на самом деле радуга — это огромный спектр солнечного света. Мириады маленьких капелек воды (помните, что радуга всегда образуется во время или после дождя?), действуя вместе подобно множеству призм», преломляют белый солнечный свет и создают разноцветную дугу.

## 2 Характеризуем цвета

В спектре обычно выделяют семь цветов: *красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый*.

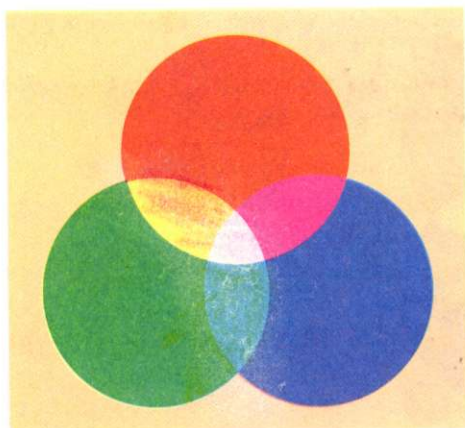
Световые пучки двух разных спектральных цветов в случае наложения друг на друга образуют другие цвета. Это явление называют наложением спектральных цветов. Так, направив на экран пучки оранжевого и зеленого цветов таким образом, чтобы они перекрывали друг друга, получим на экране желтый цвет.

Некоторые спектральные цвета в случае наложения друг на друга образуют белый цвет. Такие пары спектральных цветов называют дополнительными (рис. 3.47). На рисунке цвета участков А и Б являются дополнительными, так как они дополняют друг друга до белого цвета.

Особое же значение для нашего зрения имеют *три основных спектральных цвета: красный, зеленый и синий*. Накладывая эти три цвета друг на друга в разных пропорциях, можно получать различные цвета и оттенки (рис. 3.48). При этом зеленый, красный и синий цвета нельзя получить комбинацией других цветов спектра.

На наложении трех основных спектральных цветов в разных пропорциях основывается, например, *цветное телевидение*. Если вы посмотрите на экран цветного телевизора через лупу, то увидите, что изображение состоит из мелких объектов красного, зеленого и синего цветов.





**Рис. 3.48.** Основные цвета спектра -- зеленый, красный, синий



**Рис. 3.49.** Листья растения, освещенного синим светом, кажутся нам практически черными

### 3 Выясняем, почему мир разноцветный

*Зная, что белый свет является сложным, можно объяснить, почему окружающий мир, освещенный лишь одним источником белого света — Солнцем, — мы видим разноцветным.*

Как вы уже знаете, свет частично отражается от физических тел, частично преломляется и частично поглощается ими, причем эти процессы зависят от оптических свойств материала, из которого состоит тела, и от цвета падающего светового пучка.

Белая поверхность отражает одинаково лучи всех цветов. Поэтому альбомный лист, освещенный источником белого света, кажется нам белым. Зеленая трава, освещенная тем же источником, отражает преимущественно лучи зеленого цвета, а остальные поглощает. Красные лепестки тюльпанов отражают в основном лучи красного цвета, желтые лепестки подсолнуха — желтого.

Синий свет, направленный на зеленую листву растений, почти целиком поглотится листвой, так как такая листва отражает преимущественно зеленые лучи, а другие — поглощает. Значит, листва, освещенная синим светом, будет казаться нам практически черной (рис. 3.49). Если же, например, осветить синим светом белую бумагу, то она покажется нам синей, так как белая бумага отражает лучи всех цветов, в том числе и синие. А вот черная шерсть кота поглощает лучи всех цветов, поэтому, каким бы светом мы его ни осветили, кот все равно будет казаться черным.

### 📌 ПОДВОДИМ ИТОГИ

Зависимость скорости распространения пучка света в определенной среде от цвета пучка называют дисперсией света. В результате дисперсии белый свет, прошедший, например, сквозь призму, образует спектр, т.е. оказывается разложенным на семь спектральных цветов (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый).

В случае наложения двух разных спектральных цветов образуются другие цвета.

Благодаря тому что разные тела по-разному отражают, преломляют и поглощают свет, мы видим окружающий мир разноцветным.



### Контрольные вопросы

1. Что называют дисперсией света?
2. В чем причина дисперсии света?
3. Какие природные явления можно объяснить дисперсией света?
4. Объясните, что означает выражение «белый свет — сложный свет»?
5. Какие цвета называют дополнительными?
6. Назовите свойства основных цветов спектра.
7. Свет какого цвета отражает зеленый виноград?



### Упражнения

1. Свет какого цвета проходит сквозь синее стекло? поглощается им?
2. Какими будут казаться красные буквы на белой бумаге, если смотреть на них сквозь зеленое стекло? Каким при этом будет казаться цвет бумаги?
3. Через стекло какого цвета нельзя увидеть текст, написанный фиолетовыми чернилами на белой бумаге?
4. В воде распространяются пучки света красного, оранжевого и голубого цветов. Скорость распространения какого из пучков будет большей?



### Экспериментальные задания

1. Наполните неглубокий сосуд водой и поставьте его возле стены. На дно сосуда поместите плоское зеркало под тупым углом ко дну. Зеркало должно быть целиком погружено в воду. Направьте на него пучок света — на стене появится «солнечный зайчик». Внимательно рассмотрите его и объясните явление, которое наблюдается.
2. Проведите опыт по наложению разных цветов. Для этого следует вырезать из плотной бумаги несколько кругов диаметром 15 см. Один из кругов разделите на три одинаковых сектора. Первый сектор закрасьте красным цветом, второй — синим, третий — зеленым. Остальные круги разделите на сектора разного размера и закрасьте любыми разными цветами. Поочередно насадите каждый круг на острие шариковой ручки и раскрутите его. Опишите и объясните свои наблюдения.



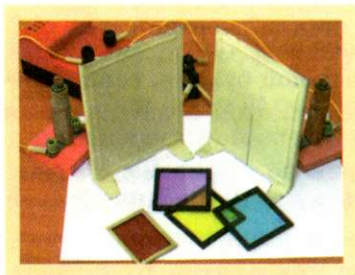
### Физика и техника в Украине



**Открытое акционерное общество «СЭЛМИ»** (Сумские Электронные Микроскопы) начало свою производственную деятельность в 1959 году. Это предприятие является бесспорным лидером на территории СНГ по производству приборов для измерений.

Одним из образцов продукции объединения «СЭЛМИ» является спектрофотометр (см. рисунок). Этот прибор предназначен для анализа содержания тяжелых металлов, вредных веществ (цинк, свинец, медь, кадмий, ртуть) в продуктах питания и пищевом сырье, а также в природной воде, образцах грунта и т. п. Чувствительность спектрофотометра очень высока. Скажем, прибор сможет определить наличие 0,005 мг ртути в литре воды.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11



**Тема.** Образование цветной гаммы света путем наложения пучков света разного цвета.

**Цель работы:** получить различные цвета и оттенки цветов путем наложения пучков света разного цвета.

**Оборудование:** чистый белый лист; источник света (2 шт.); экран со щелью (2 шт.); различные светофильтры (минимум два).

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к работе

Положите на стол белый лист. Возле противоположных краев листа установите экраны. За экранами расположите источники света. Опытным путем найдите такое расположение источников относительно экранов, при котором полосы света на бумаге накладываются друг на друга.

#### Выполнение работы

1. Заслоняя щели экранов различными светофильтрами, наблюдайте изменение цвета полосы света на бумаге.
2. По результатам наблюдений заполните таблицу.

Номер опыта	Цвет светофильтра (1)	Цвет светофильтра (2)	Цвет полосы света на бумаге между экранами

#### Анализ результатов работы

Сделайте вывод, в котором опишите и объясните явления, которые вы наблюдали.

*Выполнение работы*

## § 26. ЛИНЗЫ

■ На уроках природоведения вы, наверное, пользовались микроскопом. Кое-кто из ваших друзей (а может, и вы сами) имеет очки. Вероятнее всего, большинство из вас знакомы с биноклем, зрительной трубой, телескопом. У всех этих приборов есть общее: их основной частью является линза.

### 1 Знакомимся с разными видами линз

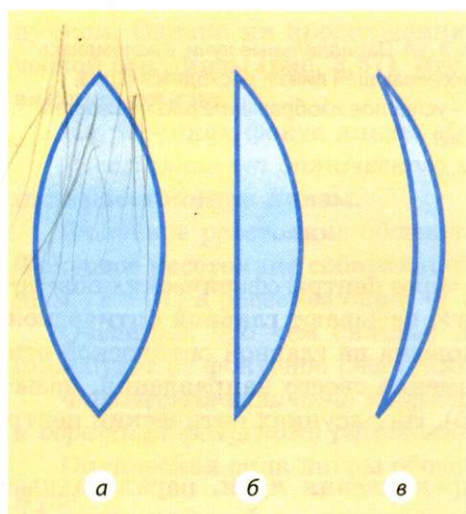
**Линзой** (сферической\*) называют прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими поверхностями (в частности, одна из поверхностей может быть плоскостью). По форме линзы делятся на **выпуклые** (рис. 3.50) и **вогнутые** (рис. 3.51).

Если толщина линзы  $d$  во много раз меньше радиусов  $R_1$  и  $R_2$  сферических поверхностей, которые образуют линзу, то такую линзу называют **тонкой линзой** (рис. 3.52). Дальше, говоря о линзе, мы всегда будем иметь в виду такую линзу.

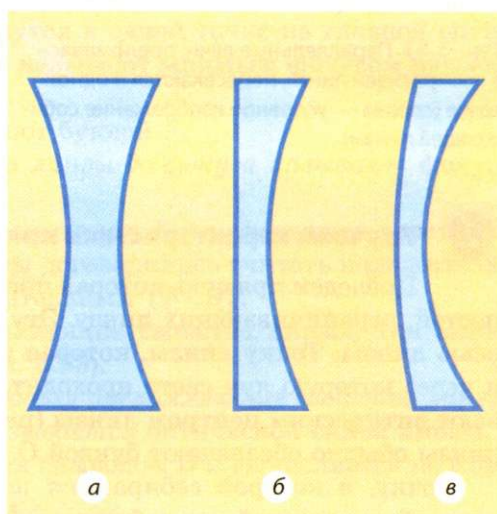
Обычно выпуклые линзы являются **собирающими**: параллельные лучи, которые падают на собирающую линзу, пройдя сквозь нее, пересекаются в одной точке (рис. 3.53).

Вогнутые линзы чаще всего бывают **рассеивающими**: параллельные лучи после прохождения сквозь рассеивающую линзу выходят расходящимся пучком (рис. 3.54).

\* Линзы также бывают цилиндрическими, но встречаются такие линзы редко.



**Рис. 3.50.** Различные виды выпуклых линз в разрезе: а — двояковыпуклая линза; б — плосковыпуклая линза; в — вогнуто-выпуклая линза



**Рис. 3.51.** Различные виды вогнутых линз в разрезе: а — двояковогнутая линза; б — плосковогнутая линза; в — выпукло-вогнутая линза



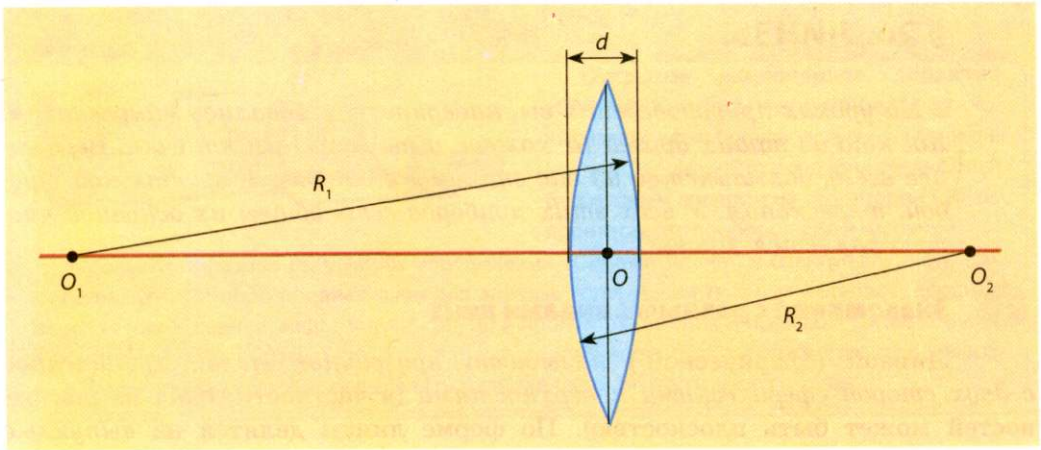


Рис. 3.52. Тонкая сферическая линза:  $d \ll R_1, d \ll R_2$

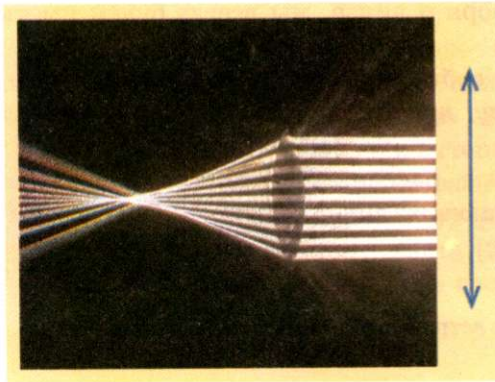


Рис. 3.53. Параллельные лучи, преломляясь в собирающей линзе, пересекаются в одной точке (справа — условное изображение собирающей линзы)

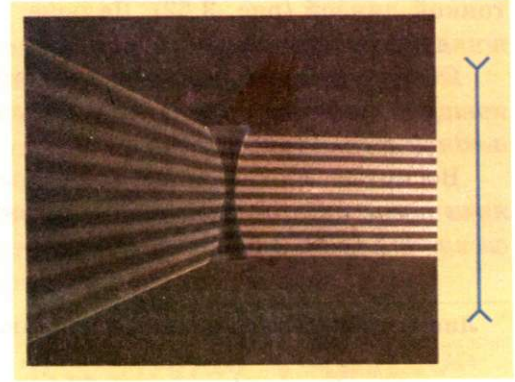


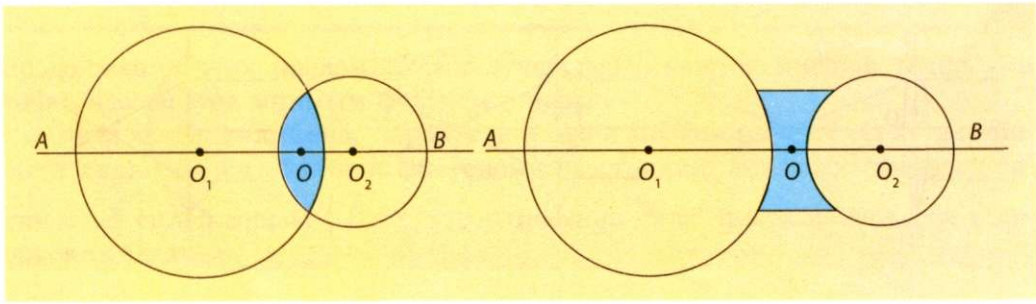
Рис. 3.54. Параллельные лучи, преломляясь в рассеивающей линзе, расходятся (справа — условное изображение рассеивающей линзы)

## 2 Изучаем характеристики линзы

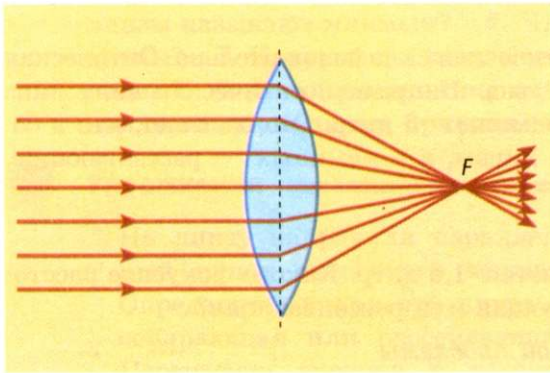
Проведем прямую, которая проходит через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу. Эту прямую называют **главной оптической осью линзы**. Точку линзы, которая расположена на главной оптической оси и через которую луч света проходит, не изменяя своего направления, называют **оптическим центром линзы** (рис. 3.55). На рисунках оптический центр линзы обычно обозначают буквой *O*.

Точку, в которой собираются после преломления лучи, параллельные главной оптической оси собирающей линзы, называют **действительным фокусом собирающей линзы** (рис. 3.56).

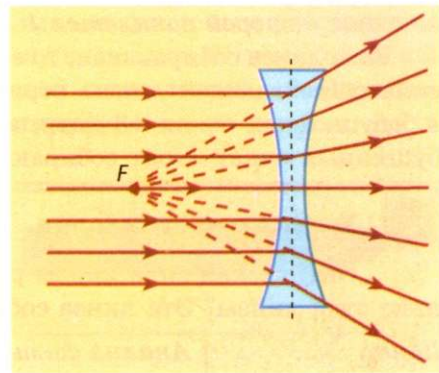
Если пучок лучей, параллельных главной оптической оси, направить на рассеивающую линзу, то после преломления они выйдут расходящимся



**Рис. 3.55.** Прямая  $AB$ , проходящая через центры  $O_1$  и  $O_2$  сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется главной оптической осью линзы. Точка  $O$  — оптический центр линзы



**Рис. 3.56.** Действительный фокус собирающей линзы — точка  $F$



**Рис. 3.57.** Мнимый фокус рассеивающей линзы — точка  $F$

пучком. Однако их продолжения соберутся в одной точке на главной оптической оси линзы (рис. 3.57). Эту точку называют **мнимым фокусом рассеивающей линзы**.

На рисунках фокус линзы обозначают буквой  $F$ .

*Расстояние от оптического центра линзы до фокуса называют **фокусным расстоянием линзы**.*

Фокусное расстояние обозначается символом  $F$  и *измеряется в метрах*. Фокусное расстояние собирающей линзы договорились считать положительным ( $F > 0$ ), а рассеивающей — отрицательным ( $F < 0$ ).

Очевидно, что чем сильнее преломляющие свойства линзы, тем меньшим будет ее фокусное расстояние (рис. 3.58).

*Физическая величина, характеризующая преломляющие свойства линзы и обратная фокусному расстоянию, называется **оптической силой линзы**.*

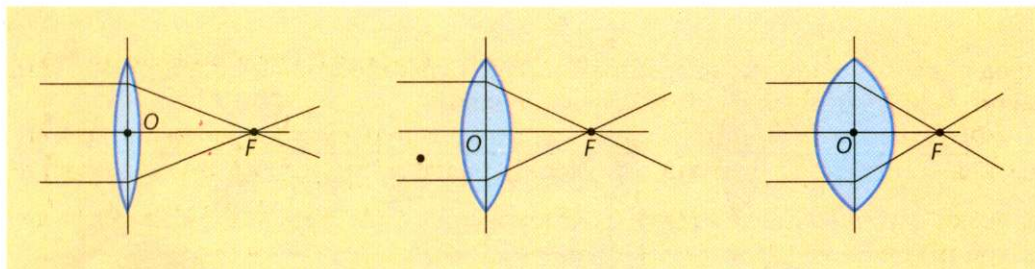
Оптическая сила линзы обозначается символом  $D$  и вычисляется по формуле

$$D = \frac{1}{F},$$

где  $F$  — фокусное расстояние линзы.

*Единицей оптической силы является **диоптрия**.*





**Рис. 3.58.** Чем меньше радиусы сферических поверхностей, ограничивающих линзу, тем сильнее эта линза преломляет свет, следовательно, тем меньше ее фокусное расстояние  $F$

**1 диоптрия (дптр)** — это оптическая сила такой линзы, фокусное расстояние которой равняется 1 м.

Если линза собирающая, то ее оптическая сила положительна. Оптическая сила рассеивающей линзы отрицательна. Например, оптическая сила линз в бабушкиных очках +3 дптр, а в маминых -3 дптр. Это означает, что в бабушкиных очках стоят собирающие линзы, а в маминых — рассеивающие.

### 3 Учимся решать задачи

Оптическая сила линзы равняется -1,6 дптр. Каково фокусное расстояние этой линзы? Эта линза собирающая или рассеивающая?

Дано:

$$D = -1,6 \text{ дптр}$$

$F = ?$

*Анализ физической проблемы*

Для определения фокусного расстояния этой линзы воспользуемся формулой для вычисления оптической силы линзы. Поскольку  $D < 0$ , то линза рассеивающая.

*Поиск математической модели, решение:*

$$D = \frac{1}{F}, \text{ значит, } F = \frac{1}{D}.$$

Определим числовое значение искомой величины:

$$\{F\} = \frac{1}{-1,6} = -0,625.$$

$$F = -0,625 \text{ м} = -62,5 \text{ см}.$$

*Ответ:*  $F = -62,5$  см, линза рассеивающая.



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

Прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими поверхностями, называют линзой. Линзы бывают собирающими и рассеивающими, а по форме — выпуклыми и вогнутыми.

Линза называется собирающей, если пучок параллельных лучей, падающий на нее, после преломления в линзе пересекается в одной точке. Эту точку называют действительным фокусом линзы.

Линза называется рассеивающей, если параллельные лучи, падающие на нее, после преломления в линзе идут расходящимся пучком, однако

продолжения этих преломленных лучей пересекаются в одной точке. Эта точка называется мнимым фокусом линзы.

Физическая величина, характеризующая преломляющие свойства линзы и являющаяся обратной фокусному расстоянию линзы, называется оптической силой линзы  $\left(D = \frac{1}{F}\right)$ . Оптическая сила линзы измеряется в диоптриях (дптр).



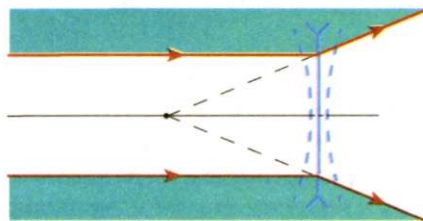
### Контрольные вопросы

1. Что называют линзой?
2. Какие виды линз вам известны?
3. Чем рассеивающая линза отличается от собирающей?
4. Что называют действительным фокусом линзы?
5. Почему фокус рассеивающей линзы называют мнимым?
6. Что называют фокусным расстоянием линзы?
7. Какую физическую величину называют оптической силой линзы?
8. Назовите единицу оптической силы линзы.
9. Оптическая сила какой линзы принята за единицу?



### Упражнения

1. На линзу направили параллельный пучок света (см. рисунок). Определите, какая это линза — собирающая или рассеивающая. Перенесите рисунок в тетрадь. Обозначьте оптический центр и фокус линзы. Измерьте фокусное расстояние линзы и определите ее оптическую силу.



2. Оптическая сила одной линзы равняется  $-2$  дптр, а другой —  $+2$  дптр. Чем отличаются эти линзы друг от друга?
3. Фокусное расстояние одной линзы равняется  $+0,5$  м, а другой —  $+1$  м. Какая линза имеет большую оптическую силу?
4. Почему нельзя поливать растения на клумбах в солнечный день?
5. В стекле имеется полость в виде двояковыпуклой линзы. Эта линза будет собирать или рассеивать лучи? Обоснуйте ответ.
6. Дано две двояковыпуклых линзы, изготовленные из одного сорта стекла. Как на ощупь определить, какая линза имеет большую оптическую силу?



### Экспериментальные задания

1. Предложите метод определения фокусного расстояния собирающей линзы с помощью линейки.
2. Попробуйте в домашних условиях изготовить линзу. Какой материал удобнее взять? Определите фокусное расстояние и оптическую силу такой линзы.



### Физика и техника в Украине



**Изюмский казенный приборостроительный завод** — ведущее предприятие Украины по изготовлению оптического стекла. Завод выпускает свыше 200 марок цветного и бесцветного стекла, в том числе волоконное, лазерное, молочное, фотохромное, с высоким коэффициентом преломления.

Завод является разработчиком и единственным на территории СНГ производителем морских стационарных маяков, работающих в телеуправляемом режиме.

Завод — единственное в нашей стране предприятие по производству сенситометрических приборов, необходимых для контроля качества кино- и фотоматериалов. На заводе разрабатываются и выпускаются сверхточные лазерные дальномеры, а также серия высокоточных оптико-механических и оптико-электронных приборов.

## § 27. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, КОТОРЫЕ ДАЕТ ТОНКАЯ ЛИНЗА. ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ

■ Сейчас никого не удивляет, что можно увидеть бактерии и другие микроорганизмы, рассмотреть невидимые невооруженным глазом детали рельефа поверхности Луны или полюбоваться портретом, нарисованным на маковом зернышке. Все это стало возможным потому, что с помощью линзы получают разные по размеру изображения предметов.

### 1 Наблюдаем изображение предмета, полученное с помощью линзы

Расположив последовательно зажженную свечу, собирающую линзу и экран, получим на экране четкое изображение пламени свечи (рис. 3.59). Изображение может быть как большим, так и меньшим, чем само пламя, или равным ему — в зависимости от расстояния между свечой и экраном. Чтобы выяснить, при каких условиях с помощью линзы образуется то или иное изображение предмета, рассмотрим приемы его построения.



Рис. 3.59. Получение изображения пламени свечи с помощью собирающей линзы

### 2 Учимся строить изображение предмета, которое дает тонкая линза

Любой предмет можно представить как совокупность точек. Каждая точка предмета, который светится собственным или

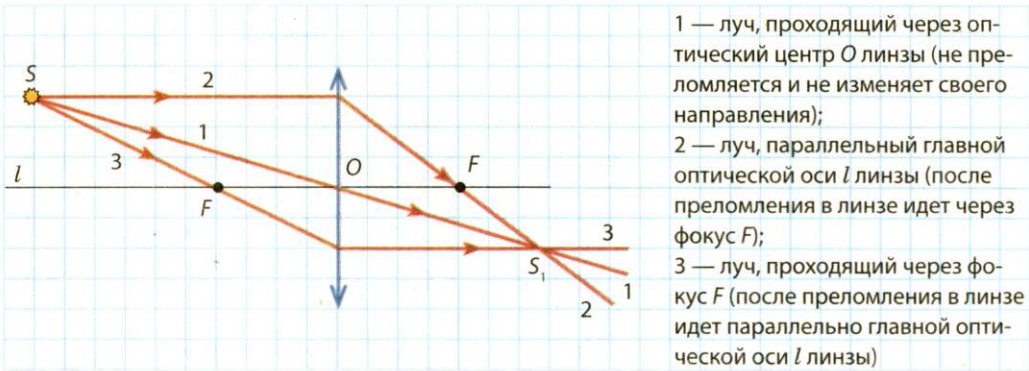


Рис. 3.60. Три простейших в построении луча («удобные лучи»)

отраженным светом, испускает лучи во всех направлениях. Для построения изображения точки  $S$ , получаемого с помощью линзы, достаточно найти точку пересечения  $S_1$  любых двух лучей, выходящих из точки  $S$  и проходящих сквозь линзу (точка  $S_1$  и будет действительным изображением точки  $S$ ). Кстати, в точке  $S_1$  пересекаются все лучи, выходящие из точки  $S$ , однако для построения изображения достаточно двух лучей (любых из трех показанных на рис. 3.60).

Изобразим схематически предмет стрелкой  $AB$  и удалим его от линзы на расстояние, большее, чем  $2F$  (за двойным фокусом) (рис. 3.61, а). Сначала построим изображение  $B_1$  точки  $B$ . Для этого воспользуемся двумя «удобными» лучами (луч 1 и луч 2). Эти лучи после преломления в линзе пересекутся в точке  $B_1$ . Значит, точка  $B_1$  является изображением точки  $B$ . Для построения изображения  $A_1$  точки  $A$  из точки  $B_1$  опустим перпендикуляр на главную оптическую ось  $l$ . Точка пересечения перпендикуляра и оси  $l$  и является точкой  $A_1$ .

Значит,  $A_1B_1$  и является изображением предмета  $AB$ , полученное с помощью линзы. Мы видим: *если предмет расположен за двойным фокусом собирающей линзы, то его изображение, полученное с помощью линзы, будет уменьшенным, перевернутым, действительным.* Такое изображение получается, например, на пленке фотоаппарата (рис. 3.61, б) или сетчатке глаза.

На рис. 3.62, а показано построение изображения предмета  $AB$ , полученного с помощью собирающей линзы, в случае, когда предмет расположен

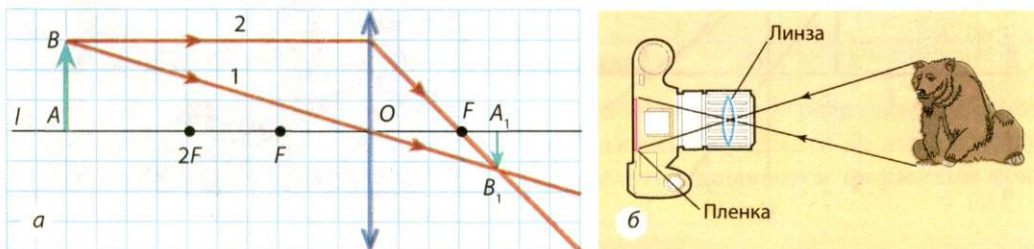
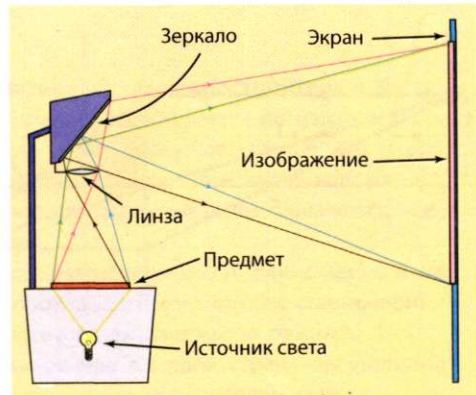
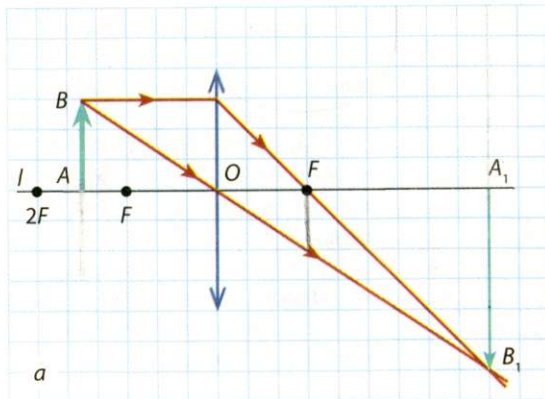


Рис. 3.61. а — построение изображения  $A_1B_1$  предмета в собирающей линзе: предмет  $AB$  расположен за двойным фокусом линзы; б — ход лучей в фотоаппарате



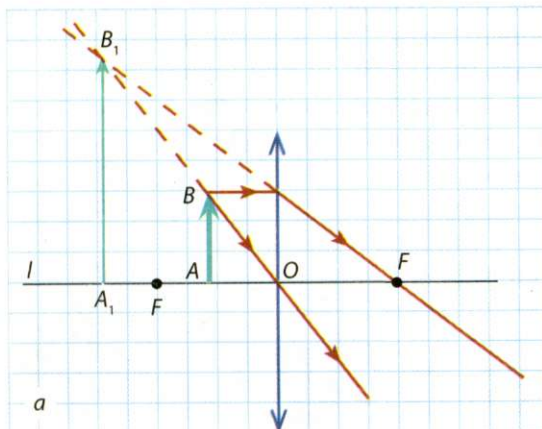


**Рис. 3.62.** а — построение изображения  $A_1B_1$  предмета в собирающей линзе: предмет  $AB$  расположен между фокусным и двойным фокусным расстояниями; б — ход лучей в проекционном аппарате

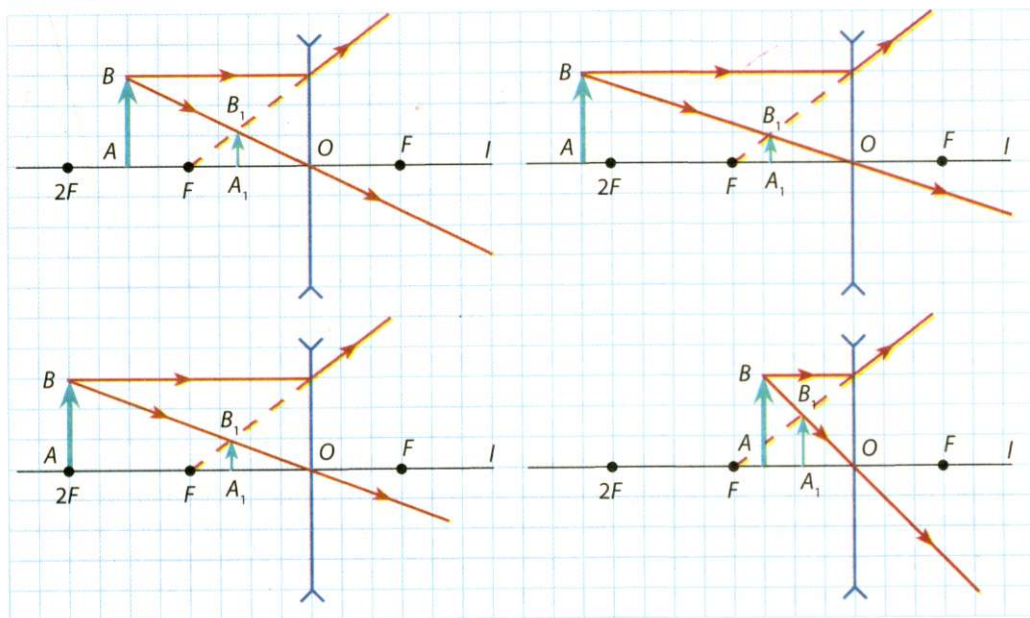
между фокусом и двойным фокусом. Изображение предмета в этом случае будет увеличенным, перевернутым, действительным. Такое изображение позволяет получить проекционная аппаратура на экране (рис. 3.62, б).

Если поместить предмет между фокусом и линзой, то изображения на экране мы не увидим. Но, посмотрев на предмет сквозь линзу, увидим изображение предмета — оно будет прямое, увеличенное.

Используя «удобные лучи» (рис. 3.63, а), увидим, что после преломления в линзе реальные лучи, вышедшие из точки  $B$ , пойдут расходящимся пучком. Однако их продолжения пересекутся в точке  $B_1$ . Напоминаем, что в этом случае мы имеем дело с мнимым изображением предмета. То есть если предмет расположен между фокусом и линзой, то его изображение будет увеличенным, прямым, мнимым, расположенным с той же стороны от линзы, что и сам предмет. Такое изображение можно получить с помощью лупы (рис. 3.63, б) или микроскопа.



**Рис. 3.63.** а — построение изображения  $A_1B_1$  предмета в собирающей линзе: предмет  $AB$  расположен между линзой и ее фокусом; б — с помощью лупы можно получить увеличенное изображение предмета и рассмотреть его подробнее



**Рис. 3.64.** Построение изображений  $A_1B_1$  предмета, создаваемых рассеивающей линзой, в случае различного расположения предмета  $AB$  относительно линзы

Итак, *размеры и вид изображения, полученного с помощью собирающей линзы, зависят от расстояния между предметом и этой линзой.*

Внимательно рассмотрите рис. 3.64, на котором показано построение изображения предмета, полученного с помощью рассеивающей линзы. Построение показывает, что *рассеивающая линза всегда дает мнимое, уменьшенное, прямое изображение предмета*, расположенное с той же стороны от линзы, что и сам предмет.

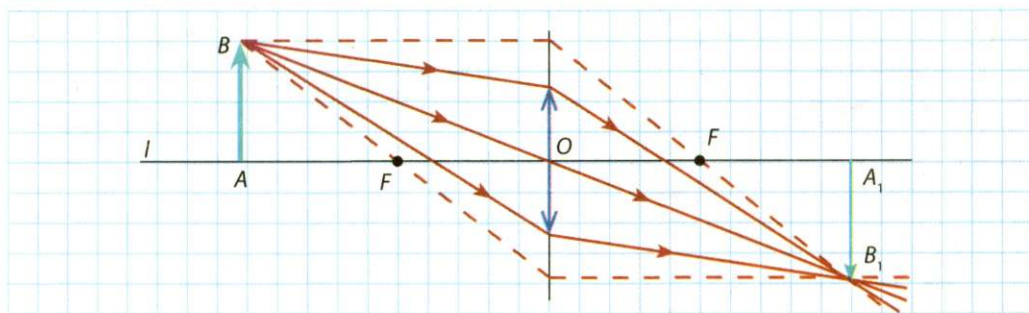
Мы часто сталкиваемся с ситуацией, когда предмет значительно больше, чем линза (рис. 3.65), или когда часть линзы закрыта непрозрачным экраном (например, линза объектива фотоаппарата). Как создается изображение в этих случаях? На рисунке видно, что лучи 2 и 3 при этом не проходят через линзу. Однако мы, как и раньше, можем использовать эти лучи для построения изображения, получаемого с помощью линзы. Поскольку реальные лучи, вышедшие из точки  $B$ , после преломления в линзе пересекаются в одной точке —  $B_1$ , то «удобные лучи», с помощью которых мы строим изображение, тоже пересеклись бы в точке  $B_1$ .

### 3 Знакомимся с формулой тонкой линзы

Существует математическая зависимость между расстоянием  $d$  от предмета до линзы, расстоянием  $f$  от изображения предмета до линзы и фокусным расстоянием  $F$  линзы. Эта зависимость называется **формулой тонкой линзы** и записывается так:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$





**Рис. 3.65.** Построение изображения  $A_1B_1$  предмета в случае, когда предмет  $AB$  значительно больше линзы

Пользуясь формулой тонкой линзы для решения задач, следует иметь в виду: *расстояние  $f$*  (от изображения предмета до линзы) следует брать со знаком *минус*, если изображение *мнимое*, и со знаком *плюс*, если изображение *действительное*; фокусное расстояние  $F$  собирающей линзы положительное, а рассеивающей — отрицательное.

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** Рассматривая монету с помощью лупы, оптическая сила которой +5 дптр, мальчик расположил монету на расстоянии 2 см от лупы. Определите, на каком расстоянии от лупы мальчик наблюдал изображение монеты. Каким будет это изображение — действительным или мнимым?

Дано:  
 $d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$   
 $D = +5 \text{ дптр}$

$f = ?$

*Анализ физической проблемы, поиск математической модели*

Лупу можно считать тонкой линзой, поэтому чтобы найти расстояние от лупы до изображения, воспользуемся формулой тонкой линзы:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$  (1). Фокусное расстояние  $F$  неизвестно, но мы знаем, что  $\frac{1}{F} = D$  (2), где  $D$  — оптическая сила линзы, данная в условии задачи.

*Решение и анализ результатов*

Подставив формулу (2) в формулу (1), получаем

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \text{ Отсюда: } \frac{1}{f} = D - \frac{1}{d} = \frac{Dd - 1}{d}, \text{ т. е. } f = \frac{d}{Dd - 1}.$$

$$\text{Проверим единицу: } [f] = \frac{\text{м}}{\text{дптр} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\frac{1}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \text{м}.$$

Найдем числовое значение:

$$\{f\} = \frac{0,002}{5 \cdot 0,002 - 1} = -0,21; f = -0,21 \text{ м} = -21 \text{ см}.$$

Проанализируем результат: знак «-» говорит о том, что изображение является мнимым.

**Ответ:**  $f = -21 \text{ см}$ , изображение мнимое.

**Подводим итоги**

$d = F$  — изображения нет

В зависимости от вида линзы (собирающая или рассеивающая) и местоположения предмета относительно этой линзы получают разные изображения предмета с помощью линзы (см. таблицу):

Местоположение предмета	Характеристика изображения	
	в собирающей линзе	в рассеивающей линзе
За двойным фокусом линзы ( $d > 2F$ )	действительное, <sup>3</sup> уменьшенное, перевернутое	мнимое, уменьшенное, прямое
Между фокусом и двойным фокусом линзы ( $F < d < 2F$ )	действительное, увеличенное, перевернутое	
Между линзой и фокусом ( $d < F$ )	мнимое, увеличенное, прямое	

$d = 2F$

идеально с той линзой, перев. в том же направлении

Таким образом, по типу изображения можно судить как о виде линзы, так и о местоположении предмета относительно нее.

Расстояние  $d$  от предмета до линзы, расстояние  $f$  от изображения до линзы и фокусное расстояние  $F$  связаны формулой тонкой линзы:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ .

**Контрольные вопросы**

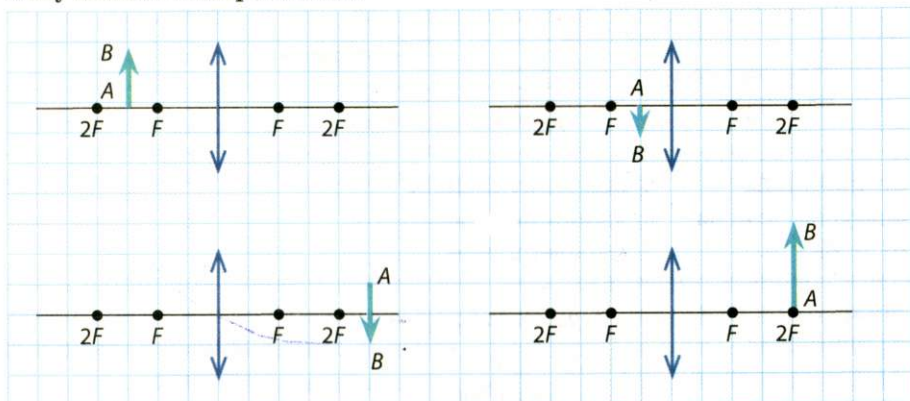
1. От чего зависят характеристики изображений, получаемых с помощью собирающей линзы?
2. Какие лучи удобно использовать для построения изображения, получаемого с помощью линзы?
3. Можно ли получить действительное изображение с помощью собирающей линзы? рассеивающей линзы?
4. Можно ли получить мнимое изображение с помощью собирающей линзы? рассеивающей линзы?
5. С помощью линзы получено изображение какого-то предмета. В каком случае его можно увидеть на экране — когда это изображение является действительным или когда оно мнимое?
6. На каком расстоянии от линзы должен быть предмет, чтобы размеры самого предмета и его изображение были одинаковыми?
7. Можно ли по характеристикам изображения, полученного с помощью линзы, определить, какая это линза — собирающая или рассеивающая?
8. Назовите известные вам оптические приборы, в которых есть линзы.
9. Какие физические величины связывает формула тонкой линзы?
10. Какого правила следует придерживаться, применяя формулу тонкой линзы?



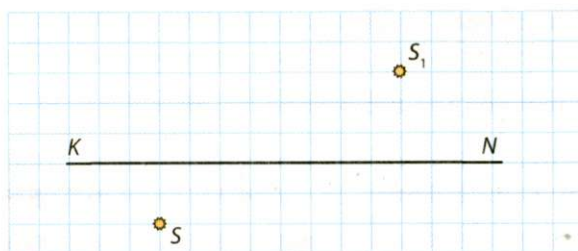


**Упражнения**

1. Перенесите рисунок в тетрадь и для каждого случая постройте изображение предмета  $AB$  в собирающей линзе. Охарактеризуйте полученные изображения.



2. На рисунке показаны главная оптическая ось линзы  $KN$ , светящаяся точка  $S$  и ее изображение  $S_1$ . Перенесите рисунок в тетрадь и с помощью соответствующих построений определите расположение оптического центра и фокусов линзы. Определите тип линзы и тип изображения.



3. Предмет расположен в фокусе собирающей линзы. Покажите графически, что изображение в этом случае не образуется.
4. На лист с печатным текстом попала капля прозрачного клея. Почему буквы, которые оказались под каплей, кажутся большими, чем соседние?
5. Оптическая сила линзы 5 дптр. На каком расстоянии от линзы нужно расположить зажженную свечу, чтобы получить изображение пламени свечи в натуральную величину? Сделайте схематический чертёж, поясняющий ваше решение.
6. Выполняя лабораторную работу, ученик с помощью линзы получил на экране четкое изображение нити накаливания электрической лампочки. Какими являются фокусное расстояние и оптическая сила линзы, если расстояние от электрической лампочки до линзы 30 см, а расстояние от линзы до экрана 15 см?

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{1} + \frac{1}{0,25}$$

7. Предмет расположен на расстоянии 1 м от линзы. Мнимое изображение предмета расположено на расстоянии 25 см от линзы. Определите оптическую силу линзы. Какая это линза — собирающая или рассеивающая?
8. Лампочка расположена на расстоянии 12,5 см от собирающей линзы, оптическая сила которой 10 дптр. На каком расстоянии от линзы получится изображение лампочки?
9. С помощью линзы на экране получили четкое изображение предмета. Определите оптическую силу линзы, если предмет расположен на расстоянии 60 см от линзы. Расстояние между предметом и экраном 90 см.



### Экспериментальное задание

Используя свечу, собирающую линзу и экран, получите на экране увеличенное изображение пламени свечи. Заслоните половину линзы непрозрачным экраном. Опишите и объясните явление, которое наблюдается.

### Физика и техника в Украине

Государственное предприятие завод «Арсенал» (г. Киев) было основано в 1764 году как «арсенальные мастерские» для ремонта и изготовления различных видов вооружений, в том числе артиллерийских. С 1946 года предприятие перепрофилировалось на выпуск оптических, оптико-механических и оптико-электронных приборов. Все космические старты бывшего СССР и России обеспечивались оптико-электронными системами ориентирования, выпущенными на заводе «Арсенал». Одним из известнейших видов продукции завода является фототехника, история которой началась с первой массовой фотокамеры «Киев-2» (1949 г.). Фотоаппараты, созданные арсенальцами, использовались для фотосъемки с борта космических кораблей серии «Восток», «Союз», лунных кораблей серий «Эхо» и «Зонд», орбитальной станции «Салют», а также в открытом космосе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12



**Тема.** Определение фокусного расстояния и оптической силы тонкой собирающей линзы.

**Цель работы:** вычислить оптическую силу и определить фокусное расстояние тонкой собирающей линзы с помощью формулы тонкой линзы.

**Оборудование:** собирающая линза на подставке, экран, источник света, мерная лента.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

Прежде чем приступать к работе, вспомните формулу тонкой линзы и формулу связи оптической силы линзы и ее фокусного расстояния.



### Эксперимент

1. Расположив линзу между источником света и экраном, получите на экране четкое уменьшенное изображение источника света.
2. Измерьте расстояние  $d$  от источника света до линзы и расстояние  $f$  от линзы до экрана.
3. Передвигая линзу, получите на экране четкое увеличенное изображение источника света.
4. Снова измерьте расстояние  $d$  от источника света до линзы и расстояние  $f$  от линзы до экрана.

### Обработка результатов эксперимента

Используя соответствующие формулы, вычислите оптическую силу линзы  $D$  и фокусное расстояние  $F$ . Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Номер опыта	$f$ , м	$d$ , м	$F$ , м	$D$ , дптр
1				
2				

### Анализ результатов эксперимента

1. Сравните полученное вами значение оптической силы линзы с ее значением, приведенным в паспорте. Назовите причину возможного расхождения.
2. Сделайте вывод.

## § 28. ГЛАЗ КАК ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

■ Вы уже знаете, что большую часть информации об окружающем мире мы получаем благодаря зрению. Органом зрения человека является глаз — один из самых совершенных и вместе с тем простых оптических приборов. Как же устроен глаз? Почему некоторые люди плохо видят и как скорректировать их зрение? Как с особенностями человеческого глаза связано производство мультипликационных фильмов?

1

### Знакомимся со строением глаза

Глаз человека имеет шарообразную форму (рис. 3.66). Диаметр глазного яблока около 2,5 см. Снаружи глаз покрыт плотной непрозрачной оболочкой — *склерой*. Передняя часть склеры переходит в прозрачную роговую оболочку — *роговицу*, которая действует как собирающая линза и обеспечивает 75 % способности глаза преломлять свет.

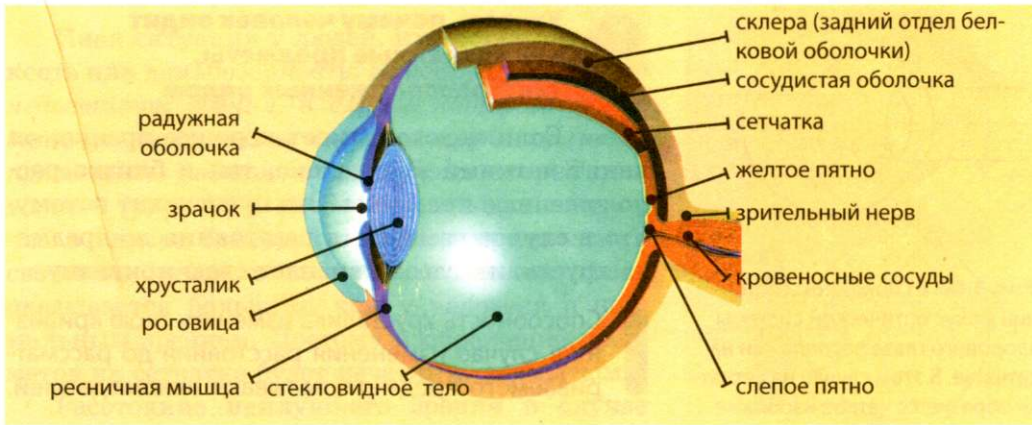


Рис. 3.66. Строение глаза

С внутренней стороны склера покрыта *сосудистой оболочкой*, состоящей из кровеносных сосудов, питающих глаз. В передней части глаза сосудистая оболочка переходит в *радужную оболочку*, которая неодинаково окрашена у разных людей. В радужной оболочке есть круглое отверстие — *зрачок*. **Зрачок** сужается в случае усиления интенсивности света и расширяется в случае ослабления.

*Способность глаза приспосабливаться к различной яркости наблюдаемых предметов называют адаптацией.*

За зрачком расположен **хрусталик**, который представляет собой двояковыпуклую линзу. Хрусталик благодаря скрепленным с ним мышцам может изменять свою кривизну, а следовательно, и оптическую силу.

Сосудистая оболочка с внутренней стороны глаза покрыта *сетчаткой* — разветвлениями светочувствительного нерва. Самая чувствительная часть сетчатки расположена прямо напротив зрачка и называется *желтым пятном*. Место, где зрительный нерв входит в глаз, невосприимчиво к свету, поэтому получило название *слепого пятна*. В получении изображения также принимает участие **стекловидное тело** — прозрачная студенистая масса, которая заполняет пространство между хрусталиком и сетчаткой. Свет, попадающий на поверхность глаза, преломляется в роговице, хрусталике и стекловидном теле. В результате на *сетчатке* получается *действительное, перевернутое, уменьшенное изображение предмета* (рис. 3.67).

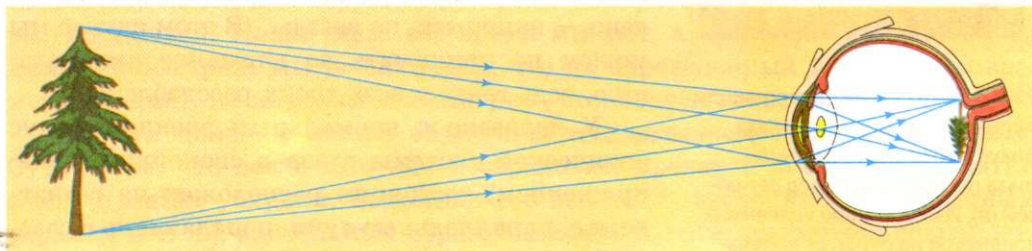
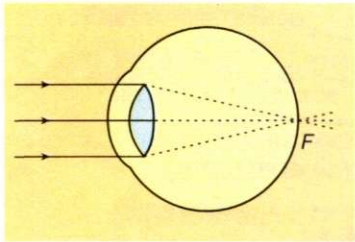
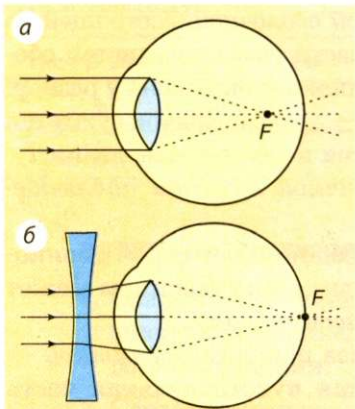


Рис. 3.67. Изображение, которое получается на сетчатке глаза, — действительное, перевернутое, уменьшенное





**Рис. 3.68.** В спокойном состоянии фокус оптической системы здорового глаза расположен на сетчатке. В этом случае на сетчатке образуется четкое изображение удаленных предметов



**Рис. 3.69.** В случае близорукости в спокойном состоянии глаза фокус  $F$  оптической системы глаза расположен перед сетчаткой (а). Изображение удаленных предметов на сетчатке получается нечетким. Для коррекции близорукости используют очки с рассеивающими линзами (б)

## 2 Узнаем, почему человек видит как удаленные предметы, так и расположенные рядом

Если человек имеет хорошее зрение, он видит четкими как далеко, так и близко расположенные предметы. Это происходит потому, что в случае изменения расстояния до предмета хрусталик глаза изменяет свою кривизну.

Способность хрусталика изменять свою кривизну в случае изменения расстояния до рассматриваемого предмета, называют **аккомодацией**.

Если человек смотрит на довольно удаленные предметы, в глаз попадают параллельные лучи — в этом случае глаз наиболее расслаблен. (Заметьте, что, задумавшись, человек смотрит как будто вдаль!) Чем ближе расположен предмет, тем сильнее напрягается глаз. Наименьшее расстояние, на котором глаз видит предмет, практически не напрягаясь, называют расстоянием наилучшего зрения. Для людей с нормальным зрением это расстояние равно приблизительно 25 см. Именно на таком расстоянии человек с хорошим зрением читает книгу.

## 3 Выясняем, что такое близорукость и дальность зрения и какие есть способы их коррекции

Чтобы лучше разобраться, что происходит в оптической системе глаза в случае *близорукости* и *дальности зрения* и как корректируются эти недостатки зрения, представим такую ситуацию. Три человека, один из которых имеет нормальное зрение, у второго — близорукость, а у третьего — дальность зрения, смотрят на одни и те же предметы, расположенные довольно далеко, — например, на звезды. (В этом случае мы можем не принимать во внимание аккомодацию, ведь глаза у всех троих расслаблены.)

У человека с нормальным зрением фокус оптической системы глаза в спокойном (ненапряженном) состоянии расположен на сетчатке, т.е. параллельные лучи, попадающие в глаз, после преломления в оптической системе глаза собираются на сетчатке (рис. 3.68), и изображение предметов на ней будет четким.

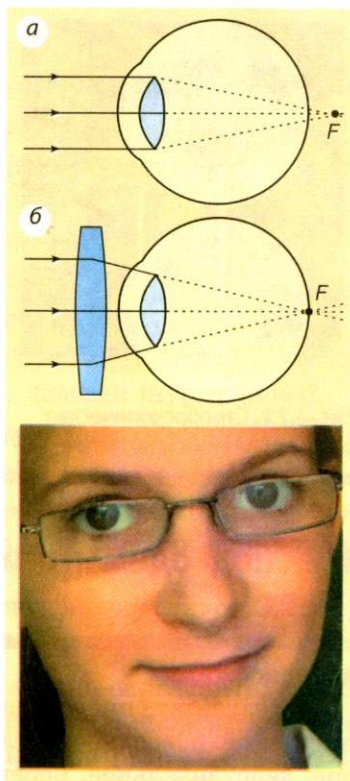


Иная ситуация у людей, имеющих близорукость или дальнюю зоркость. **Близорукость** — это недостаток зрения, в случае которого фокус оптической системы глаза в спокойном (ненапряженном) состоянии расположен перед сетчаткой (рис. 3.69, а). Это происходит потому, что в случае близорукости угол преломления светового пучка в оптической системе глаза оказывается большим, чем у человека с нормальным зрением. Поэтому изображение предметов на сетчатке будет нечетким, размытым.

Расстояние наилучшего зрения в случае близорукости меньше 25 см. Именно поэтому близорукий человек, чтобы рассмотреть предмет в руках, подносит его близко к глазам. Близорукость корректируется ношением очков с *рассеивающими линзами* (рис. 3.69, б).

**Дальней зоркость** — это недостаток зрения, в случае которого фокус оптической системы глаза в спокойном (ненапряженном) состоянии расположен за сетчаткой (рис. 3.70, а). Это происходит потому, что в случае дальней зоркости угол преломления светового пучка в оптической системе глаза оказывается меньшим, чем у человека с нормальным зрением. Изображение предметов на сетчатке также будет нечетким, размытым.

Расстояние наилучшего зрения в случае дальней зоркости больше, чем 25 см, поэтому, рассматривая предмет в руках, человек отодвигает его от глаз. Дальней зоркость корректируется ношением очков с *собирающими линзами* (рис. 3.70, б).



**Рис. 3.70.** В случае дальней зоркости в спокойном состоянии глаза фокус  $F$  оптической системы глаза расположен за сетчаткой (а). Изображение удаленных предметов на сетчатке получается нечетким. Для коррекции дальней зоркости используют собирающие линзы (б)

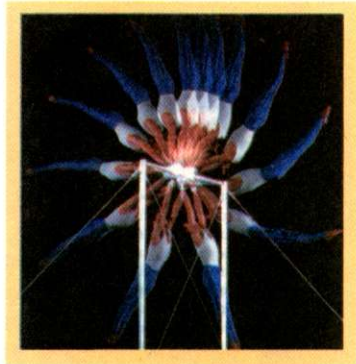
#### 4 Знакомимся с инерцией зрения

Если быстро перемещать в темноте «бенгальский огонь», то наблюдатель увидит светящиеся фигуры, образованные «огневым контуром». Разноцветные лампочки карусели во время быстрого вращения, сливаясь, образуют кольца. Наши глаза все время мигают, а поскольку эти движения довольно быстрые, мы не замечаем, что на определенный промежуток времени предмет, на который мы смотрим, становится невидимым.

Все эти явления можно объяснить так называемой *инерцией зрения*. Суть в том, что после того как изображение предмета исчезает с сетчатки глаза (предмет убирают, перестают его освещать, заслоняют непрозрачным экраном и т. п.), зрительный образ, вызванный этим предметом, сохраняется на протяжении 0,1 с.

Зрительную инерцию широко используют в анимационном кино. Картинки на экране очень быстро (24 раза в секунду) сменяют друг друга, во





**Рис. 3.71.** Стробоскопическая фотография гимнаста, выполняющего упражнения на перекладине

время их смены экран не освещается, но зритель этого не замечает — он просто видит ряд чередующихся картинок. Таким образом на экране создается иллюзия движения. (А теперь представьте, сколько картинок нужно нарисовать художникам, чтобы получить полнометражный мультипликационный фильм!)

На инерции зрения также базируется применение *стробоскопа*. (Стробоскоп представляет собой источник света, излучающий световые вспышки через определенные, очень малые промежутки времени.) Во время фотографирования объектов, освещенных стробоскопом, мы получаем стробоскопические фотографии (рис. 3.71).



### ПОДВОДИМ ИТОГИ

С точки зрения физики, глаз представляет собой оптическую систему, основными элементами которой являются роговица, хрусталик и стекловидное тело.

В результате преломления света в этой оптической системе на светочувствительной поверхности глазного дна — сетчатке — образуется уменьшенное, действительное, перевернутое изображение предмета.

Если оптическая система глаза собирает лучи перед сетчаткой, то изображение предмета на сетчатке будет размытым — такой дефект зрения называется близорукостью. Близорукость корректируют ношением очков с рассеивающими линзами.

Если оптическая система глаза слабо преломляет лучи, то продолжения лучей пересекаются за сетчаткой — такой дефект зрения называется дальнозоркостью. Дальнозоркость корректируют ношением очков с собирающими линзами.

После того как изображение предмета исчезает с сетчатки глаза, зрительный образ, вызванный этим предметом, сохраняется в сознании человека на протяжении 0,1 с. Это свойство называют инерцией зрения.



### Контрольные вопросы

1. Опишите строение человеческого глаза и назначение отдельных его элементов.
2. Какие характеристики имеет изображение, возникающее на сетчатке глаза?
3. Как изменяется диаметр зрачка в случае уменьшения освещенности?
4. Почему человек с нормальным зрением может одинаково четко видеть как далеко, так и близко расположенные предметы?
5. Чему равно расстояние наилучшего зрения для человека с нормальным зрением?
6. Какой дефект зрения называется близорукостью? Как его можно скорректировать?
7. Какой дефект зрения называется дальнозоркостью? Как его можно скорректировать?
8. Какое свойство зрения называют инерцией зрения?



### Упражнения

1. Почему кривизна хрусталика глаза рыбы большая, чем у человека?
2. Оптическая сила нормального глаза изменяется от 58,6 до 70,6 дптр. Определите, во сколько раз изменяется при этом фокусное расстояние глаза.
3. На каком минимальном расстоянии от глаза следует расположить зеркальце, чтобы увидеть четкое изображение глаза?
4. Оптическая сила линз бабушкиных очков -2,5 дптр. Каково фокусное расстояние этих линз? Какой дефект зрения имеет бабушка?
5. Почему, чтобы лучше видеть, близорукий человек щурит глаза?
6. Почему даже в чистой воде человек без маски плохо видит?
7. Мальчик читает книгу, держа ее на расстоянии 20 см от глаз. Определите оптическую силу линз, которые необходимы мальчику для чтения на расстоянии наилучшего зрения (при условии нормального зрения).



### Экспериментальные задания

1. Предложите способ, с помощью которого можно определить, какой дефект зрения (близорукость или дальнозоркость) корректируют те или иные очки. Постарайтесь найти несколько разных очков (попросите у домашних, соседей и т. д.) и убедитесь в правильности своего способа.
2. Проверьте на опыте свойство глаза изменять диаметр зрачка в зависимости от освещенности рассматриваемого объекта. Для наблюдения изменений диаметра зрачка воспользуйтесь зеркалом.

### Физика и техника в Украине



В конце прошлого века ученым удалось установить, что преломление светового луча, попадающего в глаз, различно в разных точках глаза из-за того, что поверхность роговицы не является идеально гладкой, а хрусталик не является однородным (см. рисунок).

Для исправления зрения была предложена методика сглаживания поверхности роговицы с помощью лазерного излучения. Однако чтобы эта технология действительно заработала, надо было знать, какое именно количество вещества хрусталика следует удалить в конкретном месте,

т. е. было необходимо измерить реальный профиль хрусталика. Тем не менее глаз не стоит спокойно, а следовательно, надо было сделать это измерение очень быстро (за доли секунды).

В Германии, Японии, Испании и США началось неистовое соревнование ученых и инженеров за создание такого измерительного прибора. Однако первый в мире рефрейсинговый аберрометр был создан коллективом украинских ученых под руководством профессора Василия Молебного.

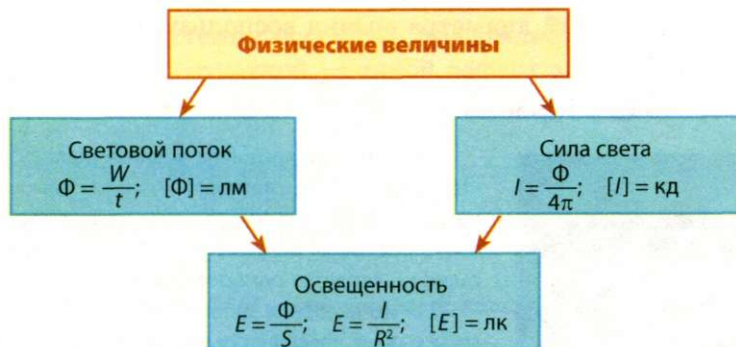
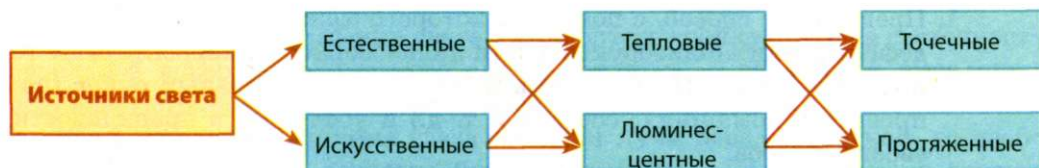


## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 3 «СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

■ В этом разделе вы ознакомились с некоторыми оптическими явлениями, их законами, а также физическими величинами, характеризующими объекты, которые излучают свет.

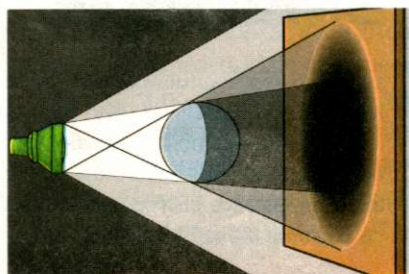


**2** Свет излучается источниками света. Вы ознакомились с разными видами источников света и некоторыми физическими величинами, характеризующими их.



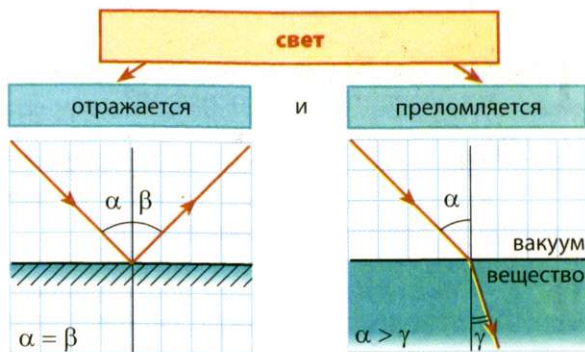
**3** Вы убедились, что в прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Следствие прямолинейного распространения света — образование полной тени и полутени.

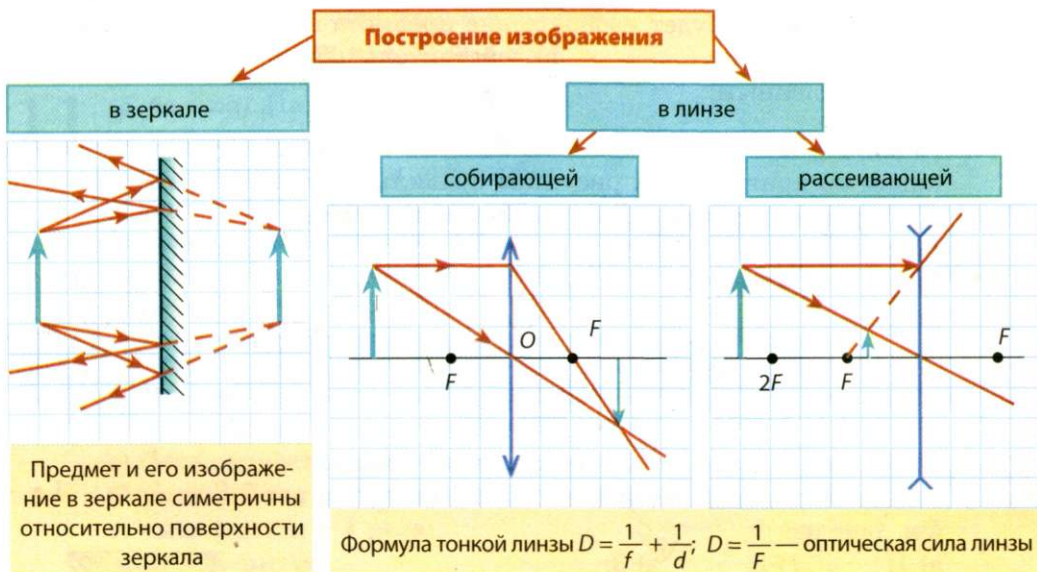


#### 4 Вы выяснили, что на границе раздела двух сред...

Луч падающий, отраженный, преломленный, а также перпендикуляр, восстановленный из точки падения луча, лежат в одной плоскости.



#### 5 Вы научились строить изображение в плоском зеркале, собирающей и рассеивающей линзах.



#### 6 Вы познакомились с оптическими приборами, в которых применяются линзы.





# ТЕСТ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ПО РАЗДЕЛУ 3 «СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

1

(1 балл) Какое оптическое явление иллюстрирует фотография?

- а) Отражение света;
- б) поглощение света;
- в) дисперсию света;
- г) преломление света.



2

(1 балл) Какой закон подтверждается существованием солнечных и лунных затмений?

- а) Закон отражения света;
- б) закон прямолинейного распространения света;
- в) закон преломления света;
- г) закон сохранения энергии.

3

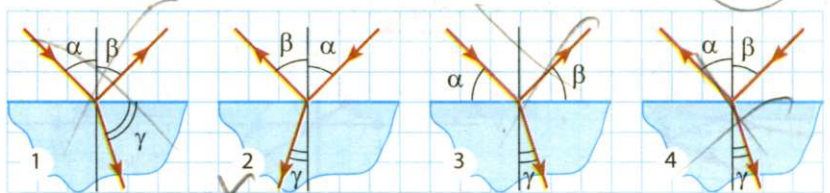
(1 балл) Каким будет изображение предмета в плоском зеркале?

- а) Увеличенным;
- б) уменьшенным;
- в) действительным;
- г) мнимым.

4

(2 балла) Луч света падает из воздуха на пластинку из стекла. На каком из приведенных рисунков правильно указаны все три угла — угол падения, отражения и преломления света?

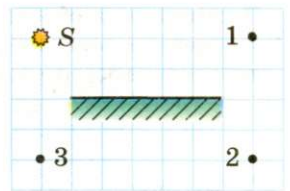
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



5

(2 балла) В какой точке расположено изображение источника света S в плоском зеркале (см. рисунок)?

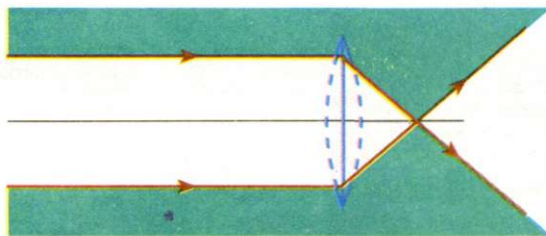
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) при таком размещении источника света S его изображения в зеркале нет.



6

(2 балла) Чему равна оптическая сила линзы, изображенной на рисунке (масштаб 1:1)?

- а) 1 дптр;
- б) 100 дптр;
- в) -100 дптр;
- г) 0,01 дптр.







За последние несколько лет благодаря прогрессу в электронике уникальные научные изобретения стали общедоступными. Прогресс в электронике коренным образом изменил как источники, так и приемники света.

Расспросите ваших родителей о том, как изготавливались фотографии десять и более лет назад. Оказывается — это была достаточно сложная процедура. Для вас же стало привычным, увидев интересный сюжет, навести на него камеру мобильного телефона, нажать на соответствующую кнопку и мгновенно переслать готовое изображение друзьям.

Приведем еще один пример. Ваши бабушки и дедушки читали об узком направленном пучке света, обладающем уникальными свойствами, только в научной фантастике. В наше время лазерный луч применяется настолько широко, что даже самые смелые фантасты середины прошлого столетия не могли себе это представить.

Так что получается, вы зря изучали последнюю главу этого учебника и раздел физики под названием «Оптика» уже устарел?

Давайте не делать поспешных выводов и рассмотрим некоторые из современных оптических устройств подробнее.

### Лазер

Все вы, конечно, видели лазерные шоу в цирке или на эстрадных концертах. Тонкие световые иглы пронизывают пространство зала, быстро проносятся над нашими головами. Восхитительное зрелище!

На рисунке показан один из видов лазеров — газовый. Яркий светящийся «шнур» в стеклянной трубке — это не лазерный луч, а электрический разряд подобный разряду в лампах дневного света. Сам же луч проецируется на экран справа в виде маленькой красной точки.

Разряд служит для «накачки» рабочего тела (газа внутри стеклянной трубки). Процесс накачки заключается в том, что атомы газа постепенно получают избыточную энергию от электрического разряда, а затем лавинообразно отдают ее в виде импульса (вспышки) света.

По названию вещества рабочего тела стали классифицировать и сами лазеры: газовые, жидкостные и, наиболее удобные для бытовых целей, твердотельные лазеры.

Эстрадные шоу — далеко не единственное применение лазеров. Эти устройства широко используются в медицине, военном деле и других областях.



Газовый лазер («лазер» — сокращение от английских слов — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света с помощью вынужденного излучения)



## Цифровой фотоаппарат

Приемным устройством в фотоаппарате старых конструкций являлась фотопленка. В цифровых же фотоаппаратах таким приемным устройством служит пластинка, усыпанная мельчайшими световыми датчиками (пикселями). Каждый из этих датчиков фиксирует «кусочек» светового потока. Чем меньше размер пикселя, тем более качественное изображение можно получить. Приемная пластинка стандартного фотоаппарата насчитывает 3—5 миллионов пикселей. Количество пикселей в мобильном телефоне значительно меньше, поскольку съемка — это не основная функция телефона. Соответственно и качество снимков — хуже.



Микропроцессор фотоаппарата обрабатывает информацию от сенсоров и запоминает ее в виде отдельного файла.

История фотографии насчитывает более 150 лет. Но и в старом фотоаппарате, и в самом современном, встроенном в мобильный телефон, одним из важнейших элементов является оптическая система. Это — сложная конструкция, которая



должна обеспечить резкое изображение разных объектов съемки: и вашего приятеля, стоящего рядом, и гор, виднеющихся на горизонте. Похоже, рано списывать оптику в архив, конструктору современных фотоаппаратов и видеокамер она еще пригодится.

## Это интересно

Очень часто создатели современных фильмов сознательно (или из-за недостатка знаний) искажают информацию о возможностях лазеров. Приведем только несколько примеров.

*Сколько ни дыми, все равно не увидишь.* Во многих фильмах, чтобы обнаружить охранную сигнализацию, герои выпускают клубы дыма, и лучи лазера становятся видимыми. На самом деле инфракрасные (невидимые глазу) лазеры сделать гораздо проще. Именно их и используют в стандартных охранных системах. Инфракрасный луч, сколько его ни задымляй, все равно остается невидимым глазу.

*Берегите глаза.* Лазеры в фильмах (и это соответствует реальности) используют для разрезания металлических препятствий (двери сейфа, решетки). Вот только герои фильма часто забывают о защите себя от отраженных лучей. Отражение сверхмощного луча от разрезаемого металла будет тоже достаточно мощным. А значит, как минимум, берегите глаза!

*Попробуй догони.* Иногда создатели фильмов демонстрируют, что процесс распространения луча подобен полету пули. Это, безусловно, не так. Скорость пули составляет несколько сот метров в секунду. Поэтому ее полет может быть действительно зарегистрирован с помощью скоростной киносъемки. А вот аналогичным образом проследить за процессом распространения луча света (напомним, что скорость света огромна — 300 000 км/с) современные механические приборы не смогут.





## ОТВЕТЫ

Мы приводим ответы только на количественные задачи. Ответы на качественные задачи мы предлагаем вам найти самим. Чтобы поиск ответа завершился удачно, всегда внимательно читайте текст параграфа и обязательно обращайтесь к своему жизненному опыту. Помните, что физика — это наука о природе. Освоить физику может каждый, если приложит усилия.

### Раздел 1

- § 3 3) 0,145 м; 1500 м; 2032 м; 4) 7,5 мкм; 5,9 Тм; 6,4 Мм.  
 § 5 1) 2 548 800 с; 42 480 мин; 708 ч; 2) одновременно; 3) 14 ч.

### Тест для самопроверки к разделу 1

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Правильный вариант ответа	а	б	в	б	б	г	в	в	в	а	г

### Раздел 2

- § 9 1) 5300 кг; 250 кг; 4,7 кг; 0,15 кг; 2) 5230 г, 5,23 кг; 270,84 г, 0,27084 кг; 56,91 г, 0,05691 кг; 764,02 г, 0,76402 кг; 3) 145,23 г, 0,14523 кг; 4) 189 г 740 мг.  
 § 10 3) Масса меда больше массы растительного масла в 1,58 раза; 4) объем кубика из оргстекла меньше объема кубика из дуба в 1,5 раза.  
 § 11 1) Из сосны ( $\rho = 0,44 \text{ г/см}^3$ ); 2) 100 л; 3) 10 л; 4) пустотелая ( $\rho_{\text{сер}} = 1,01 \text{ г/см}^3$ ); 5) масса воздуха больше ( $m_n = 1290 \text{ кг}$ ); 6) 0,4 кг; 7) 1200 т.  
 § 12 4)  $5 \cdot 10^6$ ; 5) приблизительно в 3 раза; 6) диаметр молекул приблизительно 1 нм.  
 § 16 7) 0,000019  $1/^\circ\text{C}$ ; 8) 1111  $^\circ\text{C}$ ; 9) 59  $\text{см}^2$ .

### Тест для самопроверки к разделу 2

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Правильный вариант ответа	в	в	а	в	в	а	г	в	а	б	б	а	б	б

### Раздел 3

- § 17 3)  $94,6 \cdot 10^{14}$  м; 4) 500 с.  
 § 18 1) 1256 лм; 2) 150 кд.  
 § 19 4) 1000 лм; 5) 12,84 лк; недостаточно; 6) на 0,29 м.  
 § 21 2)  $0^\circ$ ; 3)  $30^\circ$ ; 4)  $40^\circ$ ; 5)  $18^\circ$ .  
 § 22 1) 3 м; 3) 8 км/ч; 4 м.  
 § 23 1)  $0^\circ$ ; 4)  $40^\circ$ ; 5) приблизительно 125 000 км/ч.  
 § 26 1) -50 дптр; рассеивающая.  
 § 27 5) 0,4 м; 6) 0,1 м; 10 дптр; 7) -3 дптр; рассеивающая; 8) 0,5 м; 9) 5 дптр.  
 § 28 2) Уменьшается в 1,2 раза; 3) 12,5 см; 4) 0,4 м; дальность; 7) -1 дптр.

### Тест для самопроверки к разделу 3

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Правильный вариант ответа	а	б	г	б	в	б	а	в	а	в	б	г

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрегатное состояние вещества 94  
адаптация 179  
аккомодация 180  
атом 80
- Близорукость 181
- Вещество 7, 60  
— аморфное 97  
— кристаллическое 96  
взаимодействие гравитационное 39  
— электромагнитное 40
- Гипотеза 13  
главная оптическая ось линзы 166  
глаз 178, 179
- Дальнозоркость 181  
джоуль 44  
диоптрия 167, 168  
дисперсия света 160  
диффузия 86
- Единица дольная 18  
— кратная 18
- Изображение 134, 142, 171, 172, 173  
источник света 114  
— искусственный 115  
— люминесцентный 116  
— природный 115  
— протяженный 116, 117  
— тепловой 116  
— точечный 116, 117
- Законы отражения 137  
закон прямолинейного распространения  
света 129  
зеркало плоское 140, 141  
зрачок 179
- Камера-обскура 133  
кандела 121  
килограмм 62  
— на метр кубический 68  
кристаллическая решетка 96
- Линейные размеры тела 32  
линза 165  
— рассеивающая 165  
— собирающая 165  
— тонкая 165  
люкс 123  
люмен 121
- Макромир 25  
масса тела 61  
материя 7  
мегамир 26  
Международная система единиц (СИ)  
18, 32, 35, 62, 121
- метр 32  
— квадратный 32  
— кубический 35  
метроном 30  
микромир 25  
молекула 80, 81
- Наблюдение 12  
ньютон 43
- Оптическая плотность среды 150  
— сила линзы 167, 168, 169, 177  
оптический центр линзы 166  
освещенность 123  
отражение света 143  
— полное 158
- Периодический процесс 28  
плотность вещества 67  
поле 8  
полная тень 130  
полутень 130  
последовательность событий 27  
пределы измерения 19  
преломление света 148  
приемник света 117  
продолжительность события 27
- Работа 43
- Световой луч 128  
световой поток 120  
секунда 28  
секундомер 30  
сила 43  
— света 121
- Тело физическое 7, 60  
температурный коэффициент линейного  
расширения 102
- Угол отражения 137  
— падения 136  
— преломления 151
- Физическая величина 16, 17, 18  
фокус линзы 166, 167  
фокусное расстояние линзы 167  
формула тонкой линзы 173
- Цена деления 20
- Эксперимент 12  
энергия 44, 119  
эталон 62
- Явление 8  
— природное 9  
— физическое 9



# СОДЕРЖАНИЕ

Дорогие друзья! ..... 3

## Раздел 1. Начинаем изучать физику

§ 1. Физика — наука о природе. Физические тела и физические явления .....	6
Лабораторная работа № 1 .....	11
§ 2. Научные методы изучения природы .....	12
§ 3. Физические величины. Измерение физических величин .....	16
Лабораторная работа № 2 .....	22
§ 4*. Несколько слов о точности измерений .....	23
§ 5. Мир, в котором мы живем. Пространство и время .....	25
Лабораторная работа № 3 .....	30
Лабораторная работа № 4 .....	32
Лабораторная работа № 5 .....	34
§ 6. Взаимодействие тел .....	37
§ 7. Сила — мера взаимодействия. Энергия .....	42
§ 8. Творцы физической науки. Вклад украинских ученых в развитие физики .....	47
Подводим итоги раздела 1 «Начинаем изучать физику» .....	52
Тест для самопроверки к разделу 1 «Начинаем изучать физику» .....	54

## Раздел 2. Строение вещества

§ 9. Физическое тело и вещество. Масса. Единицы массы .....	60
Лабораторная работа № 6 .....	65
§ 10. Плотность. Единицы плотности .....	66
Лабораторная работа № 7 .....	72
§ 11. Учимся решать задачи .....	74
§ 12. Строение вещества. Атомы и молекулы .....	80
§ 13. Движение молекул. Диффузия .....	85
Лабораторная работа № 8 .....	90
§ 14. Взаимодействие молекул .....	90
§ 15. Агрегатное состояние вещества .....	94
§ 16. Зависимость размеров тел от температуры .....	100
Подводим итоги раздела 2 «Строение вещества» .....	106
Тест для самопроверки по разделу 2 «Строение вещества» .....	108

## Раздел 3. Световые явления

§ 17. Оптические явления в природе. Источники света .....	114
§ 18. Фотометрия. Световой поток. Сила света .....	119
§ 19. Освещенность .....	122
§ 20. Закон прямолинейного распространения света .....	127
Лабораторная работа № 9 .....	133
§ 21. Отражение света. Законы отражения света .....	136
Лабораторная работа № 10 .....	140
§ 22. Плоское зеркало. Зеркальное и рассеянное отражение света .....	141
§ 23. Преломление света .....	148
§ 24*. Полное отражение .....	156
§ 25. Дисперсия света. Спектральный состав света .....	160
Лабораторная работа № 11 .....	164
§ 26. Линзы .....	165
§ 27. Построение изображений, которые дает тонкая линза. Формула тонкой линзы ..	170
Лабораторная работа № 12 .....	177
§ 28. Глаз как оптическая система .....	178
Подводим итоги раздела 3 «Световые явления» .....	184
Тест для самопроверки по разделу 3 «Световые явления» .....	186
Ответы .....	190
Алфавитный указатель .....	191