

Физика

9

УЧЕБНИК

ЧАСТЬ 1



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ DÖVLƏT HİMNİ

Musiqisi *Üzeyir Hacıbəylinin,*
sözləri *Əhməd Cavadındır.*

Azərbaycan! Azərbaycan!
Ey qəhrəman övladın şanlı Vətəni!
Səndən ötrü can verməyə cümlə hazırız!
Səndən ötrü qan tökməyə cümlə qadırız!
Üçrəngli bayrağınla məsud yaşa!

Minlərlə can qurban oldu,
Sinən hər bə meydan oldu!
Hüququndan keçən əsgər,
Hərə bir qəhrəman oldu!

Sən olasan gülüstan,
Sənə hər an can qurban!
Sənə min bir məhəbbət
Sinəmdə tutmuş məkan!

Namusunu hifz etməyə,
Bayrağını yüksəltməyə
Cümlə gənclər müştəqdir!
Şanlı Vətən! Şanlı Vətən!
Azərbaycan! Azərbaycan!



ГЕЙДАР АЛИЕВ
ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР
АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО НАРОДА

Расим Абдуразагов
Дуньямалы Мамедов
Али Агаджанлы
Замир Дадашов

Физика

Учебник по предмету физика для 9-х классов
общеобразовательных заведений (часть I)

9

ЧАСТЬ 1

УЧЕБНИК

©Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi



**Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0International
(CC BY-NC-SA 4.0)**

Bu nəşr Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
lisensiyası (CC BY-NC-SA 4.0) ilə www.trims.edu.az saytında əlçatandır. Bu nəşrin
məzmunundan istifadə edərkən sözügedən lisenziyanın şərtlərini qəbul etmiş olursunuz:

İstinad zamanı nəşrin müəllif(lər)inin adı göstərilməlidir.



Nəşrdən kommersiya məqsədilə istifadə qadağandır.



Törəmə nəşrlər orijinal nəşrin lisenziya şərtlərilə yayılmalıdır.



Замечания и предложения, связанные с этим изданием,
просим отправлять на электронные адреса:
trm@arti.edu.az и **derslik@edu.gov.az**
Заранее благодарим за сотрудничество!

Ознакомьтесь с учебником

Первая страница раздела

Представлены интересные сведения из истории науки, природы или техники. Вопросы на странице помогут вам вспомнить предыдущие знания и связать их с темами раздела.

В учебнике по некоторым темам **использованы интерактивные симуляции PhET и другие ресурсы. Сканируя QR-коды**, можно проводить эксперименты в симуляциях и знакомиться с видеоматериалами.

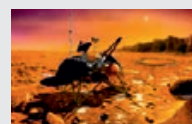


Simulation by PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, licensed under CC-BY-4.0 (<https://phet.colorado.edu>).

Раздел 1

Физические величины. Экспериментальная физика

Космический аппарат Mars Polar Lander, запущенный NASA из Флориды (США) 3 января 1999 года, вышел на орбиту Марса 3 декабря 1999 года. Когда космический аппарат приблизился к поверхности планеты, бортовые датчики зафиксировали сигналы, излучаемые случайными вибрациями его посадочных опор. Система приняла их за сигналы привода, и двигатели автоматически преждевременно выключились. В тот момент космический аппарат ещё не достиг поверхности Марса. Таким образом, под действием гравитации планеты космический аппарат на высокой скорости врезался в поверхность и разрушился.



При измерении и расчёте физических величин по разным причинам могут возникать неточности, то есть ошибки. Это может привести к отклонению запланированных результатов от истинных значений.

1. Что, по вашему мнению, может быть причиной ошибки в работе космического корабля?
2. Что можно сделать, чтобы уменьшить количество ошибок в эксперименте?

Из раздела вы узнаете:

- Физические величины делятся на две группы: векторные и скалярные
- Векторные величины можно складывать, вычитать, умножать и делить
- Точность измерения зависит от систематических и случайных погрешностей
- Погрешности можно абсорбировать с помощью статистики
- Научный метод физики — это основной метод исследования физических явлений и установления закономерностей

Из раздела вы узнаете

Перечисляются знания и навыки, которые вы получите, изучая темы раздела.

Мотивация

В этой части представлены знакомые ситуации и сопутствующие вопросы. Информация направлена на подготовку к этапам деятельности и объяснения материала урока. Анализируется ситуация, с помощью ответов на вопросы вспоминаются уже имеющиеся знания по теме.

Разъяснение

Объясняется новый материал (тема)

1.1 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.

ПЕРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

В физике для изучения явлений и процессов материального мира используются их количественное выражение — физические величины. Некоторые из этих величин характеризуются только численным значением, другие — как числом, так и направлением. Например, как можно сравнивать движение, силу и энергию? Физика отвечает на этот вопрос посредством физических величин. Некоторые из них отвечают только на вопрос «сколько?», другие — ещё и на вопрос «в каком направлении?».

1.1.1 Скалярные и векторные физические величины

Задача 1. Даны кубики, изготовленные из пенопласта и дерева, при комнатной температуре (18°C). Длина ребра пенопластового кубика равна 3 см, а деревянного — 1 см. Плотность пенопласта $0,015 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а плотность дерева $0,698 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.



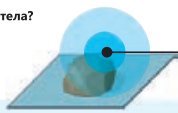
- Каковы массы этих кубиков?
- Какой кубик, покоящийся на столе, весит больше: сделанный из пенопласта или деревянный? Обоснуйте свой ответ.
- Какие из упомянутых в задаче понятий (температура, длина, объём, плотность, масса и вес) являются скалярными, а какие — векторными физическими величинами? Обоснуйте свой ответ.

скалярная величина, векторная величина, модуль вектора, коллинеарные векторы

Вы знаете, что свойства предметов или явлений выражаются физическими величинами. Некоторые физические величины характеризуются только численным значением и единицей измерения, в то время как другие, помимо численного значения, обладают ещё и направлением. С этой точки зрения физические величины делятся на две группы: **скалярные физические величины** и **векторные физические величины**.

Что нужно знать, чтобы определить направление движения тела?

Задача 2. На полу лежит камень массой 30 кг. На него действует сила 1000 Н.



Обсудите:

- Вопрос 1. В каком направлении будет двигаться камень (рис. 1.2)?
- Вопрос 2. В чём заключается ошибка в условии задачи?

Деятельность

Практическое задание, выполняемое для поиска ответа на поставленный вопрос.

Подумай – обсуди – поделись

Представленный вопрос предназначен для обдумывания и обсуждения ответов с одноклассниками.

ПОДУМАЙ
ОБСУДИ
ПОДЕЛИСЬ

Если начало и конец вектора совпадают, он называется нулевым вектором и обозначается $\vec{0}$.
Имеет ли нулевой вектор определённое направление и длину? Обоснуйте свой ответ.

Примените полученные знания

Вопросы и упражнения в этом блоке помогают применить новые понятия в различной ситуации, а также углубить и закрепить полученные знания.

Примените полученные знания

Задача 3. На материальную точку массой 2 кг действуют горизонтально $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ направленные силы так, как показано на рисунке. Известно, что $F_1 = 9\text{ Н}$ и $F_2 = 4\text{ Н}$.

Вопрос 1. Куда направлена равнодействующая сила?

Вопрос 2. Чему равен модуль равнодействующей силы?

Вопрос 3. Куда направлен вектор ускорения? Чему равен его модуль?

Проверьте полученные знания

1. Сравнение векторов

Вопрос 1. Какие из векторов, изображённых на рисунке 1.6, коллинеарны?

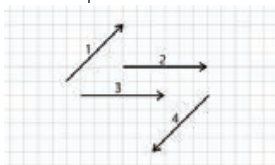


Рисунок 1.6.

Вопрос 2. На рисунке 1.7 изображены векторы скорости точки, движущейся равномерно по окружности. В каких точках векторы скорости коллинеарны?

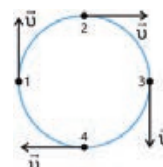


Рисунок 1.7.

2. Обратите внимание на следующую информацию.

а) Автомобиль выезжает из пункта А и проезжает 200 м до пункта В.

б) На пассажирский самолёт, летящий на высоте 10 000 м над поверхностью Земли, действует сила тяготения $7 \cdot 10^5\text{ Н}$.

с) Земля массой $6 \cdot 10^{24}\text{ кг}$ вращается вокруг Солнца по орбите длиной $930 \cdot 10^6\text{ км}$ со скоростью 30 км/с.

Вопрос. Какая из этих величин является скалярной, а какая — векторной?

Проверьте полученные знания

Представленные вопросы и упражнения измеряют уровень овладения темой.

Знаете ли вы?

Представлены интересные факты и информация из области природы, истории науки, быта или техники.

Знаете ли вы?

Точное определение скорости света было получено учеными во второй половине XX века. Это стало возможным благодаря созданию мазеров и лазеров, обладающих исключительной стабильностью частоты излучения. К началу 1970-х годов погрешность измерений удалось снизить до 1 км/с. В результате в 1975 году, на XV Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение считать значение скорости света в вакууме равным точно **299 792,458 км/с**.

Наука, технология, жизнь

В разделе представлен материал для чтения об историческом развитии, применении или возможных направлениях развития изученных знаний.

Наука, технология, жизнь

Большой адронный коллайдер (БАК)

БАК — это крупнейшая в мире экспериментальная установка и самый сложный научный прибор из когда-либо созданных человеком. Коллайдер расположен в Европейском центре ядерных исследований на границе Швейцарии и Франции.

Основная цель БАК — изучение мельчайших частиц материи. С помощью мощных магнитных полей — установка разгоняет заряженные частицы адроны (в основном протоны) — до скоростей, близких к скорости света, а затем сталкивает их.

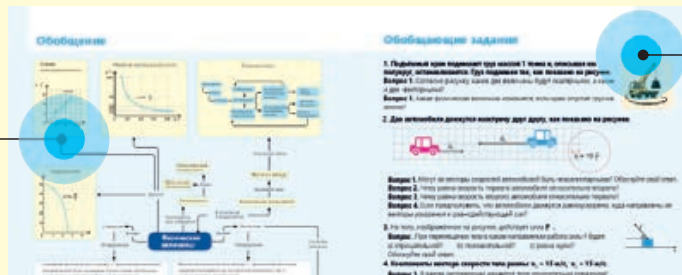
При этих столкновениях высвобождается колоссальная энергия, что позволяет ученым наблюдать рождение новых частиц. Именно так в 2012 году был открыт бозон Хиггса — элементарная частица, ответственная за наличие массы у материи.

Исследования, проводимые на БАК, позволяют проверить теоретические модели, описывающие устройство Вселенной, и в частности — «Стандартную модель физики». Кроме того, эти исследования играют ключевую роль в изучении таких отраслей науки, как антиматерия, темная материя и квантовая гравитация.

Технологии, разработанные для БАК, находят широкое применение не только в науке, но и в повседневной жизни: в медицине, информационных технологиях и материаловедении.

Выводы

Помогают запомнить основные понятия, изучаемые в рамках раздела, в последовательной и обобщенной форме с помощью схемы или карты понятий.



Обобщающие задания

Представлены вопросы и задания по всем темам раздела, измеряется уровень знаний и умений, освоенных в разделе.

Содержание

Раздел 1 Физические величины. Экспериментальная физика

1.1 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. ПЕРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1.1.1	Скалярные и векторные физические величины	8
1.1.2	Сложение векторов	12
1.1.3	Вычитание векторов	15
1.1.4	Проекция вектора. Проекция вектора на ось	18
1.1.5	Координаты вектора. Определение модуля вектора по его проекциям	23
1.1.6	Скалярное произведение векторов	27
1.1.7	Переменные физические величины	30
1.1.8	Графическое представление зависимостей между физическими величинами	34

1.2 ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ И РАСЧЁТАХ

1.2.1	Точность измерений	39
1.2.2-1	Погрешность измерений: абсолютная и относительная погрешности при многократных последовательных измерениях.	43
1.2.2-2	Погрешность измерений: абсолютная и относительная погрешности при многократных последовательных измерениях	46

1.3 ЭКСПЕРИМЕНТ В ФИЗИКЕ

1.3.1	Эксперимент в физике как метод научного исследования	50
1.3.2	Подготовка научного отчета о физическом эксперименте (образец)	54
1.3.3	Роль экспериментов в развитии физики (урок-презентация)	58
	Наука, технология, жизнь	61
	Обобщение.	62
	Обобщающие задания	63

Раздел 2 Геометрическая оптика

2.1 СВЕТОВЫЕ ЛУЧИ

2.1.1	Представления о природе света	66
2.1.2	Определение скорости света	71
2.1.3	Закон прямолинейного распространения света.	74

2.2 ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

2.2.1	Закон отражения света	78
2.2.2	Как получить изображение тела в плоском зеркале?	81
2.2.3	Сферическое зеркало	85
2.2.4	Построение изображения в сферических зеркалах	88

2.3 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА – РЕФРАКЦИЯ

2.3.1	Закон преломления света: закон Снеллиуса	92
2.3.2	Полное внутреннее отражение света	96
2.3.3	Распространение света в плоскопараллельной стеклянной пластине и треугольной стеклянной призме	100
2.3.4	Разложение белого света на цвета: дисперсия	103

2.4 ЛИНЗЫ

2.4.1	Линзы. Основные элементы линз.	107
2.4.2	Построение изображения предмета в линзах	111
2.4.3	Формула тонкой линзы: связь между характеристиками линзы	115
2.4.4	Глаз – естественная оптическая система	119
2.4.5	Оптические приборы	123
	Наука, технология, жизнь	127
	Обобщение	128
	Обобщающие задания	129
	Словарь.	132

Раздел 1

Физические величины. Экспериментальная физика

Космический аппарат Mars Polar Lander, запущенный NASA из американского штата Флорида 3 января 1999 года, 3 декабря 1999 года вошел в атмосферу Марса. Когда космический аппарат приблизился к поверхности планеты, бортовые датчики зафиксировали сигналы, излучаемые случайными вибрациями его посадочных опор. Система приняла их за сигналы приземления, и двигатели автоматически преждевременно выключились. В тот момент космический аппарат ещё не достиг поверхности Марса. Таким образом, под действием гравитации планеты космический аппарат стал совершать ускоренное движение по направлению к поверхности, на высокой скорости врезался в нее и разрушился.



- При измерении и расчёте физических величин по разным причинам могут возникать неточности, то есть погрешности. Это может привести к отклонению запланированных результатов от истинных значений.
- 1. Что, по вашему мнению, может быть причиной сбоя в работе космического корабля?
2. Что можно сделать, чтобы уменьшить количество погрешностей в эксперименте?

Из раздела вы узнаете:

- Физические величины делятся на две группы: векторные и скалярные.
- Векторные физические величины можно складывать, вычитать и умножать.
- Точность измерений зависит от систематических и случайных погрешностей.
- Погрешности можно изобразить с помощью графиков.
- Научный метод в физике – это основной метод исследования физических явлений и установления закономерностей.

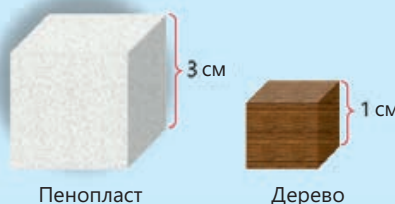
1.1 ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ.

ПЕРЕМЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- В физике для изучения явлений и процессов материального мира используется их количественное выражение – физические величины. Некоторые из этих величин характеризуются только численным значением, другие – как числом, так и направлением. Например, как можно сравнивать скорость движения, силу и энергию? Физика отвечает на этот вопрос посредством физических величин. Некоторые из них отвечают только на вопрос «сколько?», другие – ещё и на вопрос «в каком направлении?».

1.1.1 Скалярные и векторные физические величины

Задача 1. Даны кубики, изготовленные из пенопласта и дерева, при комнатной температуре (18°C). Длина ребра пенопластового кубика равна 3 см, а деревянного – 1 см. Плотность пенопласта – $0,015 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а плотность дерева – $0,698 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.



- Каковы массы этих кубиков?
- Какой из кубиков, находящихся на столе, весит больше: из пенопласта или деревянный? Обоснуйте свой ответ.
- Какие из упомянутых в задаче физических величин являются скалярными, а какие – векторными физическими величинами? Обоснуйте свой ответ.

Ключе-
вые
слова

скалярная величина,
векторная величина,
модуль вектора,
коллинеарные векторы

Вы знаете, что свойства предметов или явлений выражаются физическими величинами. Некоторые физические величины характеризуются только численным значением и единицей измерения, в то время как другие, помимо численного значения и единицы измерения, обладают ещё и направлением. С этой точки зрения физические величины делятся на две группы: **скалярные физические величины** и **векторные физические величины**.

Скалярные физические величины

Скалярная физическая величина (или скалярная величина) – физическая величина, которая может быть выражена только численным значением (в определенной единице измерения).

В физике существует множество скалярных величин. Все эти величины являются скалярными величинами, поскольку они полностью характеризуются только своими численными

значениями. Однако в физике скалярная величина — это не просто число. Многие скалярные физические величины, помимо численного значения, обязательно имеют единицу измерения. К примеру, когда дана масса, мы не можем записать её просто как $m = 5$, необходимо указать единицу измерения этой величины: $m = 5 \text{ кг}$. Следовательно, в физике, скалярная величина определяется не только числом, но и единицей измерения. Именно этим физическая скалярная величина отличается от чисел в математике. Так, если в математике можно прибавить к 5 число 220, то в физике нельзя сложить 220 В и 5 кг. В физике складывать и вычитать скалярные величины можно только в том случае, если их единицы измерения одинаковы. Например, при сравнении тела массой $m_1 = 5 \text{ кг}$ с телом массой $m_2 = 2000 \text{ г}$ их следует приводить к одной единице измерения

Векторные физические величины

Векторная физическая величина (или векторная величина) – это физическая величина, которая характеризуется как численным значением (неотрицательным скаляром), так и направлением в пространстве. В этом случае численное значение или модуль вектора называется **скаляром**.

Предположим, что самолёт летит со скоростью 900 км/ч (рис. 1.1). Можно ли назвать эту информацию о движении самолёта полной? Конечно, нет. Важно также знать, куда и в каком направлении летит самолёт. Следовательно, недостаточно знать только модуль (абсолютную величину) скорости самолёта, то есть его скорость равна 900 км/ч, важно также знать, в каком направлении он движется в пространстве с этой скоростью. Следовательно, скорость — векторная величина (здесь под скоростью понимается скорость по перемещению).



Рисунок 1.1.
Куда летит самолёт?

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Что нужно знать, чтобы определить направление движения тела?

Задача 2. На полу лежит камень массой 30 кг.
На него действует сила 1000 Н.

Обсудите:

- **Вопрос 1.** В каком направлении будет двигаться камень (рис. 1.2)?
- **Вопрос 2.** Какая ошибка допущена в условии задачи?



Рисунок 1.2

В физике вектор также обладает единицей измерения.

Единицей измерения вектора является единица измерения его модуля.

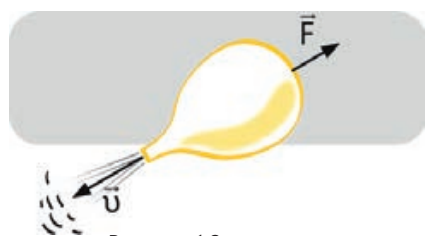


Рисунок 1.3.
Векторы скорости и силы
и их направления.

Векторная физическая величина обозначается символом со стрелкой над ним. Например, вектор скорости обозначается символом $\vec{v}$, а вектор силы – символом $\vec{F}$ (рисунок 1.3). Начало стрелки называется началом (точкой приложения) вектора, а ее острый конец – концом вектора. В математике, если начало вектора находится в точке А, а конец – в точке В, такой вектор обозначается как $\overrightarrow{AB}$. Подобные обозначения иногда используются и в физике.

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Если начало и конец вектора совпадают, он называется нулевым вектором и обозначается $\vec{0}$.

• **Имеет ли нулевой вектор определённое направление и длину? Обоснуйте свой ответ.**

Для графического представления векторных величин используются направленные отрезки (стрелки). При этом направление стрелки указывает направление вектора, а ее длина соответствует модулю (величине) этого вектора в выбранном масштабе. Например, предположим, что два автомобиля движутся навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $v_2 = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ соответственно. В этом случае векторы скоростей $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ будут направлены в противоположные стороны, а длина вектора $\vec{v}_2$ будет в два раза больше длины вектора $\vec{v}_1$ (рис. 1.4).

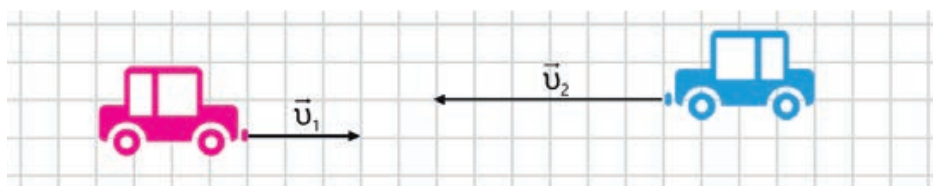


Рисунок 1.4. Длина вектора
 $\vec{v}_2$ в 2 раза больше.

В математике модуль вектора, например, модуль скорости, записывается символом $|\vec{v}|$. В физике же модуль вектора часто записывается тем же символом, но без стрелки, то есть просто как v .

Коллинеарные векторы

Векторы, лежащие на одной прямой или параллельных прямых, называются **коллинеарными векторами**.

Предположим, что даны два коллинеарных вектора. В зависимости от их направления возможны следующие случаи:

- если направления двух коллинеарных векторов совпадают, они называются сонаправленными векторами;
- если два коллинеарных вектора имеют разные направления, они

называются противоположно направленными векторами.

Векторы, изображённые на рисунке 1.4, являются противоположно направленными коллинеарными векторами;

- если два коллинеарных вектора имеют одинаковое направление и равные модули, такие векторы называются равными векторами (см. рис. 1.5).

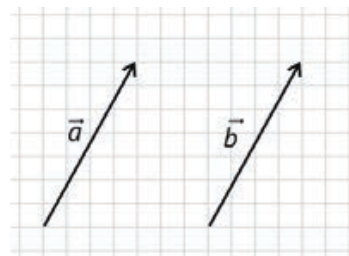
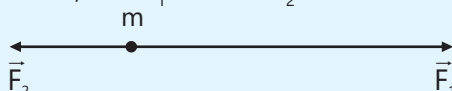


Рисунок 1.5. Равные друг другу векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$: $\vec{a} = \vec{b}$.

Примените полученные знания

Задача 3. На материальную точку массой 2 кг действуют горизонтальные силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, направленные так, как показано на рисунке. Известно, что $F_1 = 9\text{ Н}$ и $F_2 = 4\text{ Н}$.



Вопрос 1. Куда направлена равнодействующая сила?

Вопрос 2. Чему равен модуль равнодействующей силы?

Вопрос 3. Куда направлен вектор ускорения? Чему равен его модуль?

Проверьте полученные знания

1. Сравнение векторов

Вопрос 1. Какие из векторов, изображённых на рисунке 1.6, коллинеарны?

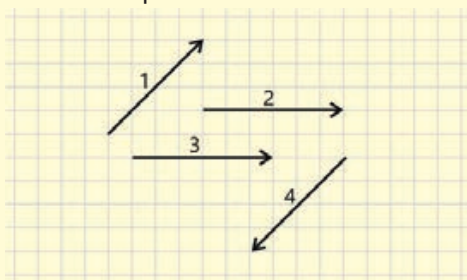


Рисунок 1.6.

Вопрос 2. На рисунке 1.7 изображены векторы скорости точки, движущейся равномерно по окружности.

В каких точках векторы скорости коллинеарны?

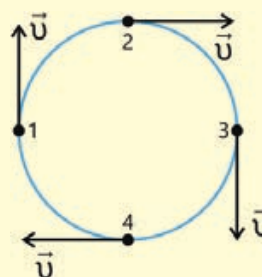


Рисунок 1.7.

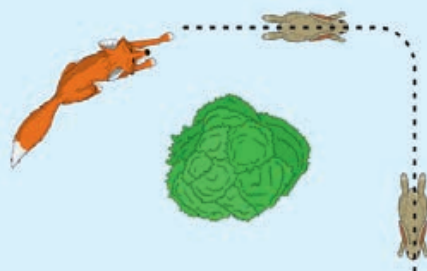
2. Обратите внимание на следующую информацию.

- Автомобиль выезжает из пункта А и проезжает 200 м до пункта В.
- На пассажирский самолёт, летящий на высоте 10 000 м над поверхностью Земли, действует сила тяготения $7 \cdot 10^5\text{ Н}$.
- Земля массой $6 \cdot 10^{24}\text{ кг}$ вращается вокруг Солнца по орбите длиной $930 \cdot 10^6\text{ км}$ со скоростью 30 км/с.

Вопрос. Какие из этих величин являются скалярными, а какие – векторными?

1.1.2 Сложение векторов

Задача 1. Заяц убегает от лисы. Сначала он пробегает 5 м на восток, затем резко подпрыгивает и пробегает 12 м на юг. Лиса хочет догнать его по кратчайшему пути.



- В каком направлении и сколько метров должна пробежать лиса от начальной точки движения до конечной, чтобы быстрее догнать зайца?
- Как это можно изобразить на схеме?

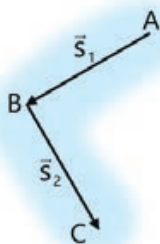
Ключевые слова

сложение векторов, результирующий вектор, правило треугольника, правило параллелограмма

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Как определить направление результирующего вектора?

Задача 2. Тело совершило перемещение $\vec{s}_1$ из точки A в точку B и перемещение $\vec{s}_2$ из точки B в точку C.



Обсудите:

- Каково результирующее перемещение тела $\vec{s}$?
- Как это можно изобразить на схеме?

В физике можно складывать только те векторы, которые выражают одинаковые физические величины и имеют одни и те же единицы измерения. Например, вектор перемещения можно сложить только с вектором перемещения, вектор силы – только с вектором силы и т.д. Однако сложить вектор перемещения с вектором силы невозможно. Рассмотрим правило сложения векторов на двух примерах.

1. Правило треугольника для сложения векторов

Сложение векторов перемещения

Перемещение – вектор, соединяющий начальное и конечное положения тела.

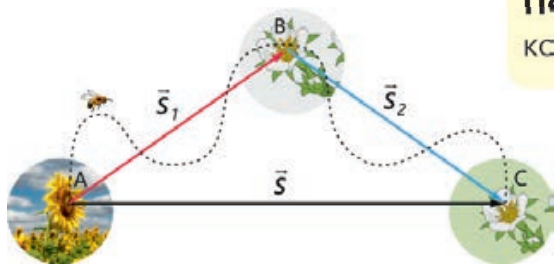


Рисунок 1.8. Вектор перемещения.

Предположим, что тело (например, пчела) совершило перемещение $\vec{s}_1$ из точки A в точку B, а затем перемещение $\vec{s}_2$ из точки B в точку C. В этом случае результирующее перемещение тела будет представлять собой вектор $\vec{s}$, соединяющий точки A и C (рис. 1.8).

Таким образом, перемещение тела $\vec{s}$ является результирующим перемещением двух его последовательных перемещений $\vec{s}_1$ и $\vec{s}_2$. Следовательно, перемещение $\vec{s}$ равно векторной сумме этих перемещений (рис. 1.9):

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2.$$

Этот пример демонстрирует **правило треугольника**, используемое при сложении векторов.

Согласно правилу треугольника для сложения векторов, начало вектора $\vec{b}$ совмещается с концом вектора $\vec{a}$. В этом случае результирующий вектор $\vec{a} + \vec{b}$ соединяет начало вектора $\vec{a}$ и конец вектора $\vec{b}$ (рис. 1.10).

2. Правило параллелограмма для сложения векторов

Сложение векторов сил. Сложение сил можно рассматривать как явление, отличное от сложения перемещений. Предположим, что на тело в точке О действуют две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Опыт показывает, что действие этих двух сил на тело можно заменить одной силой. Эта сила является диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 1.11). То есть если заменить силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ одной силой $\vec{F}$, изменений в движении тела не произойдет. В этом случае сила F называется *равнодействующей* двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Равнодействующая сила равна векторной сумме сил, действующих на тело:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

Такой подход позволяет нам понять **правило параллелограмма** для сложения двух произвольных векторов (рис. 1.12).

Согласно правилу параллелограмма для сложения векторов, начала двух векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ совмещаются в одной точке. В этом случае вектор $\vec{a} + \vec{b}$ будет диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{a}$ и $\vec{b}$ с началом в этой точке (см. рис. 1.12).

Сложение векторов с использованием правил треугольника и параллелограмма дает один и тот же равнодействующий вектор.

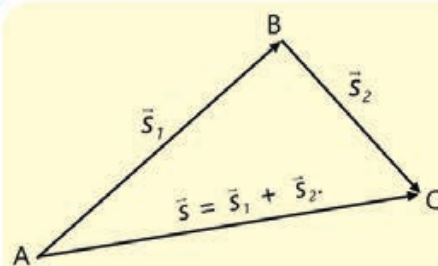


Рисунок 1.9. Сложение перемещений.

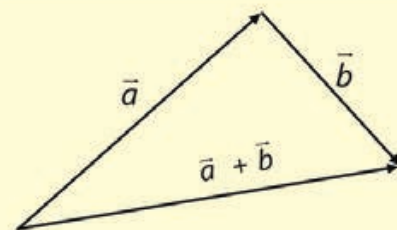


Рисунок 1.10. Правило треугольника для сложения двух векторов.

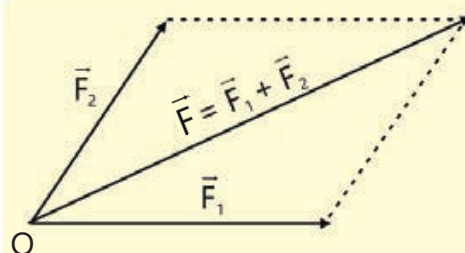


Рисунок 1.11. Сложение векторов силы.

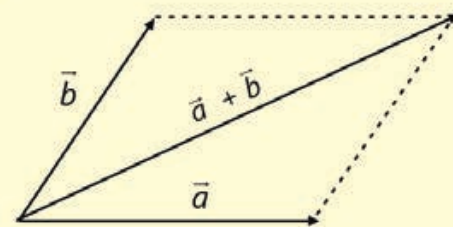


Рисунок 1.12. Правило параллелограмма для сложения двух векторов.

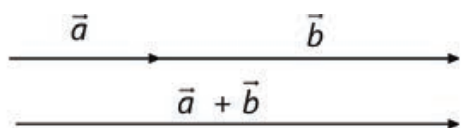


Рисунок 1.13. Сложение коллинеарных векторов.

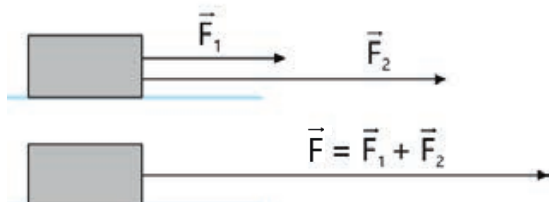


Рисунок 1.14. Сложение двух коллинеарных векторов.

Сложение коллинеарных векторов

Методы треугольника или параллелограмма не подходят для сложения векторов, направленных по прямой или параллельно друг другу.

Поскольку в этом случае невозможно построить фигуры параллелограмма и треугольника.

Однако при сложении коллинеарных векторов можно использовать принцип, соответствующий правилу треугольника. Для этого начало вектора $\vec{b}$ совмещается с концом вектора $\vec{a}$. В результате получается результирующий вектор $\vec{a} + \vec{b}$ (рис. 1.13). В физике часто встречается сложение коллинеарных векторов. Например, две силы, действующие на тело в одном направлении, можно заменить силой, равной их сумме (рис. 1.14).

ПОДУМАЙ · ОБСУДИ · ПОДЕЛИСЬ

Где на практике можно использовать сложение векторов? Приведите два примера.

Примените полученные знания

Задача 3. На тело действуют две силы (рис. 1.15, а).

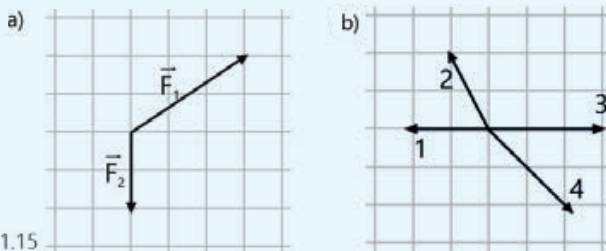


Рисунок 1.15

Вопрос. Какой цифрой на рисунке 1.15, б обозначено направление вектора равнодействующей силы?

Проверьте полученные знания

1. Что общего и в чем различия между правилами треугольника и параллелограмма для сложения векторов?
2. На рисунке 1.16 изображены три вектора силы, расположенные в одной плоскости и приложенные к одной точке.
3. На тело, находящееся на горизонтальной плоскости, действуют три силы (рис. 1.17).

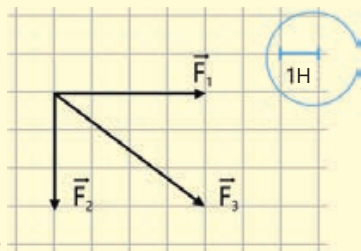


Рисунок 1.16

Вопрос 1. Как направлена равнодействующая сила?

Вопрос 2. Какова величина равнодействующей силы?

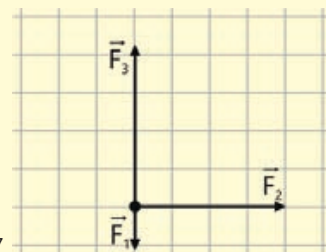


Рисунок 1.17

Вопрос: Как направлена равнодействующая сила? Покажите ее на схеме.

1.1.3 Вычитание векторов

Азер и Лала тренируются в парке рано утром. Азер бежит на север и совершает перемещение $\vec{s}_1$, а Лала бежит на северо-восток и совершает перемещение $\vec{s}_2$.



• Как можно изобразить на схеме разность векторов перемещения Азера и Лалы?

Ключевые слова

вычитание векторов, противоположный вектор, изменение скорости

ИССЛЕДОВАНИЕ

Задача 1. Тело вращается по часовой стрелке по окружности с постоянной по модулю скоростью, начиная движение в точке 1 (рис. 1.18).

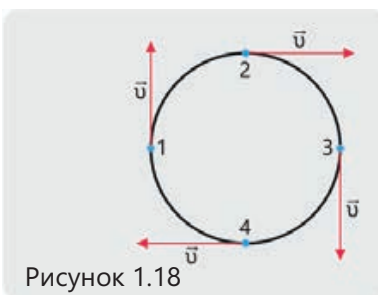


Рисунок 1.18

Вопрос 1. Чему равно изменение скорости тела в точке 2 на окружности?

Вопрос 2. Чему равно изменение скорости тела в точке 3 на окружности?

Вычитание векторов аналогично их сложению. Разница лишь в том, что для вычитания одного вектора из другого необходимо прибавить к первому вектору вектор, противоположный второму, то есть:

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

Здесь $(-\vec{b})$ – это вектор, имеющий ту же длину, что и вектор $\vec{b}$, но направленный в противоположную сторону.

Вычитание векторов – это сложение уменьшаемого вектора с вектором, противоположным вычитаемому, т.е. разность векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ равна сумме $\vec{a} + (-\vec{b})$.

Однако к вычитанию векторов можно подойти и с другой точки зрения.

Предположим, что нам даны три вектора: $-\vec{a}$, $\vec{b}$ и $\vec{c}$. При этом вектор $\vec{a}$ равен сумме векторов $\vec{b}$ и $\vec{c}$ (рис. 1.19):

$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a} \quad (1)$$

Если перенести вектор $\vec{b}$ в выражении (1) в правую часть уравнения со знаком минус, то получим:

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} \quad (2)$$

Уравнение (2) читается так:

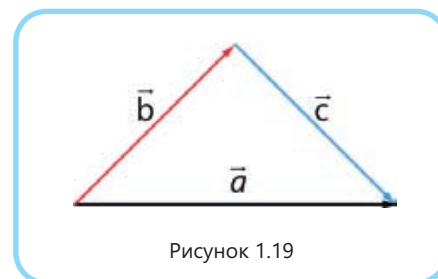


Рисунок 1.19

Вектор $\vec{c}$ равен разности векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$.

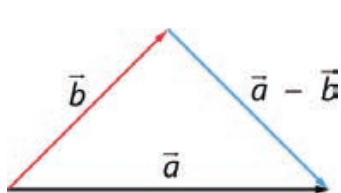


Рисунок 1.20. Разность векторов.

Схема вычитания векторов, представленная на рисунке 1.20, аналогична рисунку 1.19, но вместо вектора $\vec{c}$ записано $\vec{a} - \vec{b}$. Таким образом, на рисунке 1.19 изображена разность векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$. Значит, для нахождения разности векторов $\vec{a} - \vec{b}$ последовательно выполняются следующие шаги:

Шаг 1. Если начала векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ исходят не из одной точки, то их начала совмещают в одной точке (параллельным переносом одного из векторов).

Шаг 2. Результирующим вектором, полученным путем вычитания, будет вектор, соединяющий конец второго вектора (вычитаемого) с концом первого вектора (уменьшаемого) (см. рис. 1.20).

В физике, особенно в разделе *механика*, часто встречается вычитание векторов. Например, известно, что ускорение определяется следующей формулой:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Здесь $\vec{v}_0$ – начальная скорость тела, $\vec{v}$ – его конечная скорость, а t – время, за которое скорость изменяется от $\vec{v}_0$ до $\vec{v}$. Изменение скорости тела равно разности векторов конечной и начальной скоростей:

$$\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0.$$

Отсюда мы получаем определение ускорения:

Ускорение – это отношение изменения скорости ко времени, в течение которого это изменение произошло.

Таким образом, в физике вычитание векторов имеет глубокий физический смысл. Это можно ещё раз подтвердить на примере решения следующей задачи:

Задача 2. Тело движется по окружности с постоянной по модулю скоростью v . Каково изменение его вектора скорости за время $\frac{T}{4}$?

Решение. Предположим, что скорость тела в точке А окружности равна $\vec{v}_1$. Тело проходит $\frac{1}{4}$ часть окружности за время $\frac{T}{4}$ и достигает точки В. Предположим, что скорость тела в этой точке равна $\vec{v}_2$ (рис. 1.21, а). По условию задачи модуль скорости тела остается постоянным, поэтому модули векторов $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ равны: $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$.

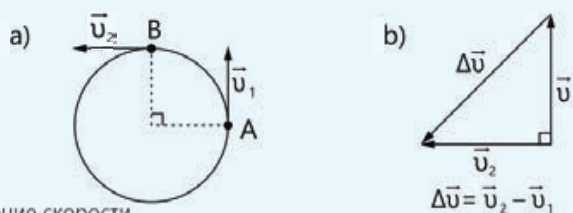


Рисунок 1.21. Изменение скорости.



Однако несмотря на то, что модули векторов скорости равны, сами векторы различны, так как они имеют разное направление. Следовательно, разность этих векторов не равна нулю.

Как видно из рисунка 1.21, в, изменение скорости тела, движущегося равномерно по окружности, равно $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$. Поскольку изменение скорости является гипотенузой прямоугольного равнобедренного треугольника, то его численное значение, согласно теореме Пифагора, равно произведению модуля скорости на $\sqrt{2}$:

$$|\Delta \vec{v}| = \sqrt{v^2 + v^2} = v\sqrt{2}.$$

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

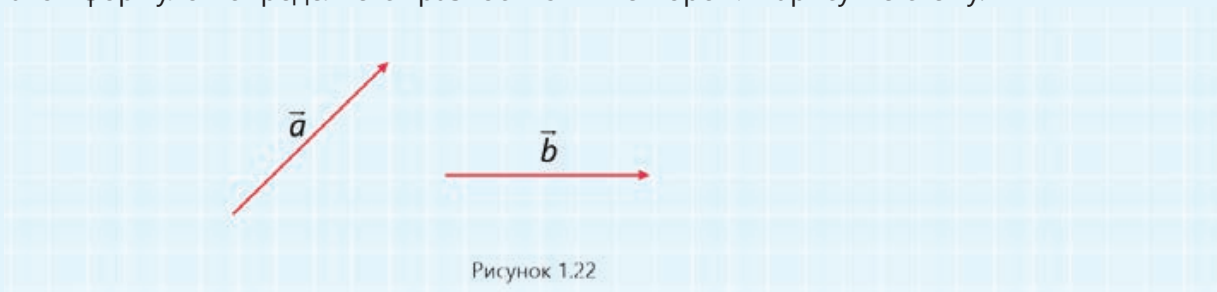
Будет ли вектор, полученный в результате вычитания или сложения коллинеарных векторов, коллинеарен исходным векторам? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.

Примените полученные знания

Задача 3. Векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$ изображены на рисунке 1.22.

Вопрос 1. Какой формулой определяется сумма этих векторов? Нарисуйте схему.

Вопрос 2. Какой формулой определяется разность этих векторов? Нарисуйте схему.



Задача 4. Исходя из условия задачи 1, определите изменение скорости в точках 4 и 1 траектории движения тела.

Проверьте полученные знания

1. Чем понятие вычитания векторов в физике отличается по смыслу от аналогичного понятия в математике?

2. Для трёх векторов известно: $\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$.

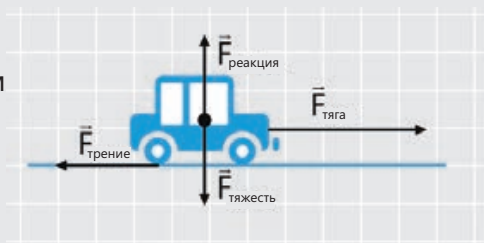
Вопрос. Векторы a и c даны на схеме. Чему равен "потерянный" вектор $\vec{b}$?

3. На уроке один из учеников пишет: $\vec{a} - \vec{b} = \vec{b} - \vec{a}$

Вопрос. Что неверно в этом выражении?

1.1.4 Проекция вектора. Проекция вектора на ось

Задача 1. Автомобиль массой 1,5 тонны движется прямолинейно с постоянным ускорением. На рисунке показаны силы, действующие на автомобиль (для упрощения точка приложения силы реакции опоры перенесена в центр тяжести автомобиля).



- Под действием какой из этих сил движется автомобиль?
- Как можно записать уравнение движения автомобиля в виде векторной зависимости физических величин в соответствии со вторым законом Ньютона?
- Как решить это уравнение?

Ключевые слова проекция вектора на ось OX , координаты точек, угол между вектором и осью

При решении физических задач часто используется понятие «проекция вектора на ось».



Что такое проекция вектора на ось?

Предположим, что заданы вектор $\vec{a}$ и ось OX . В некоторых случаях на оси OX может быть нанесена шкала, позволяющая измерить длину отрезка и тем самым определить модуль вектора $\vec{a}$. Таким образом, для определения проекции вектора $\vec{a}$ на ось OX из его начала и конца опускаются перпендикуляры на эту ось. Точки A и B будут точками пересечения этих перпендикуляров с осью OX . Обозначим длину отрезка AB как $|AB|$ (рис. 1.23).

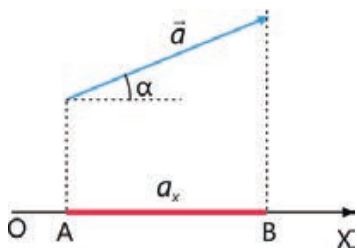


Рисунок 1.23. Проекция вектора на горизонтальную ось.

Проекция a_x вектора $\vec{a}$ на ось OX – это скалярная величина, равная длине отрезка AB .

Эта величина может быть положительной, отрицательной или равной нулю в зависимости от угла α , который вектор образует с осью. То есть:

$$a_x = \begin{cases} |AB|; & \text{если } \alpha < 90^\circ \\ -|AB|; & \text{если } \alpha > 90^\circ \\ 0; & \text{если } \alpha = 90^\circ \end{cases}$$

Эти случаи показаны на рисунке 1.24. Из этого следуют два вывода.



Вывод 1. Из рисунка 1.24 видно, что все три проекции вектора на ось OX можно выразить одной простой формулой:

$$a_x = a \cos \alpha \quad (3)$$

Здесь $a = |\vec{a}|$ модуль вектора $\vec{a}$.

Проекция вектора на ось – скалярная величина, равная произведению модуля этого вектора и косинуса угла между модулем этого вектора и произвольно выбранной осью координат.

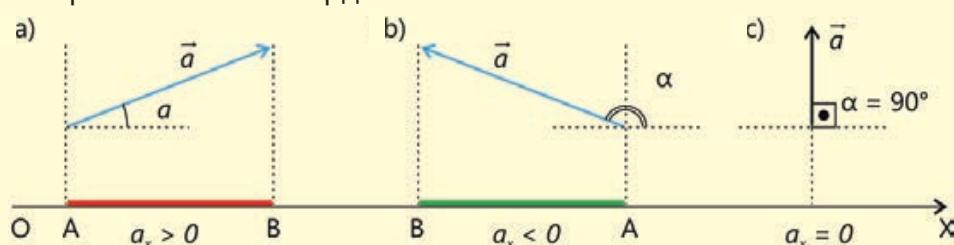


Рисунок 1.24. Проекция вектора на ось может быть положительной, отрицательной или равной нулю.

Знак проекции вектора на ось зависит от угла между вектором и положительным направлением этой оси: если угол острый, проекция положительная, если тупой, то отрицательная, а если прямой, то равна нулю. Это также видно из формулы (3):

- Поскольку косинус острого угла положителен при $\alpha < 90^\circ$, формула (3) дает положительное значение, соответствующее длине красного отрезка (см. рис. 1.24, а);
- Поскольку косинус тупого или развернутого угла отрицателен при $\alpha > 90^\circ$ (это будет объяснено в старших классах), формула (3) дает отрицательное значение, соответствующее длине зеленого отрезка (см. рис. 1.24, б);
- Поскольку косинус прямого угла равен нулю при $\alpha = 90^\circ$, то согласно формуле (3) проекция вектора на ось также равна нулю (см. рис. 1.24, в).

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Проекция вектора широко используется при изучении физических явлений.

• **В каких физических явлениях применяется проекция вектора?**

Приведите два примера.

Вывод 2. Если координаты начала и конца вектора $\vec{a}$ на оси OX обозначить соответственно через x_1 и x_2 (рис. 1.25), то проекция вектора a_x вычисляется по следующей формуле:

$$a_x = x_2 - x_1 \quad (4)$$

Как видно из рисунка, разность координат $x_2 - x_1$ равна длине красного отрезка, то есть a_x .

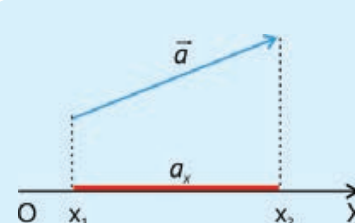


Рисунок 1.25. Проекция вектора равна разности координат.

При вычислении модуля векторных физических величин в физике часто используют проекцию вектора на ось. В качестве примера решим задачу 2 на вычисление механической работы (см.: «Физика-8», часть I).

Задача 2.

Тело перемещается на 20 м под действием равнодействующей силы 100 Н, направленной под углом 60° к горизонту. Какую работу совершает эта сила?

Решение. Задачу удобно решать последовательно, выполнив следующие шаги:

Шаг 1. Изобразим условие задачи на схеме (рис. 1.26).

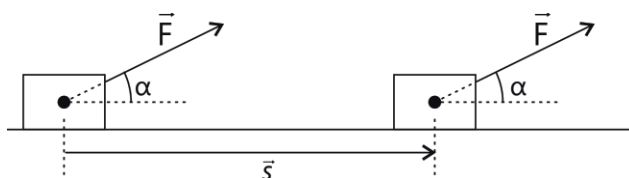


Рисунок 1.26

Шаг 2. Запишем общую формулу механической работы:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s}.$$

Как видно из формулы, механическая работа равна скалярному произведению векторов силы и перемещения. Чтобы найти это произведение, необходимо определить модули векторов и их проекции на выбранную ось.

Шаг 3. Проводится ось OX в направлении движения и строятся проекции векторов $\vec{F}$ и $\vec{s}$ на эту ось (рис. 1.27).

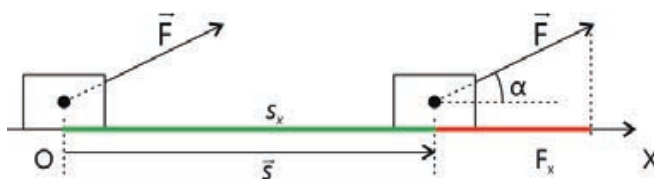


Рисунок 1.27

Шаг 4. Общая формула для работы записывается через проекции векторов, а именно:

$$A = F_x \cdot s_x.$$

Учитывая, что $F_x = F \cos \alpha$ и $s_x = s$ (см. рис. 1.27), общую формулу механической работы можно записать в виде:

$$A = F \cdot s \cos \alpha.$$

Шаг 5. Выполняется расчет: $A = 100 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м} \cdot \cos 60^\circ = 2000 \cdot \frac{1}{2} \text{ Дж} = 1000 \text{ Дж}$

Примените полученные знания

Задача 3 (пример). Тело массой m движется с постоянным ускорением по горизонтальной прямой (рис. 1.28, а).

Вопрос. Чему равно ускорение тела?

Решение. Алгоритм решения задачи состоит из следующих шагов:

Шаг 1. На схеме представлены все силы, действующие на тело (см. рис. 1.28, б).

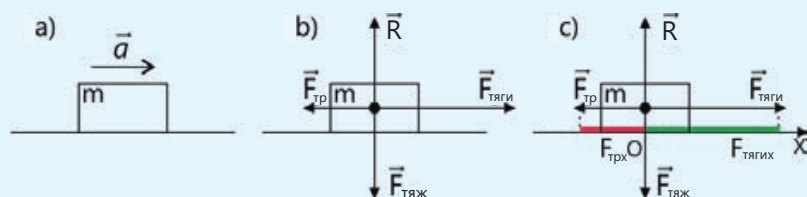


Рисунок 1.28

Шаг 2. Согласно второму закону Ньютона, уравнение движения тела в векторной форме записывается так:

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

$$m\vec{a} = \vec{F}_{тяги} + \vec{F}_{тяж} + \vec{F}_{тр} + \vec{R}$$

Шаг 3. Для решения уравнения необходимо преобразовать векторную зависимость между величинами в скалярную. Для этого проводится координатная ось Ox и определяются проекции векторов сил на эту ось (см. рис. 1.28, с).

Шаг 4. Согласно второму закону Ньютона, уравнение движения тела записывается в скалярной форме и решается следующим образом:

$$ma_x = F_{тягиx} + F_{трx} + 0 + 0$$

Здесь проекции векторов на ось равны:

$$a_x = a; \quad F_{тягиx} = F_{тяги}; \quad F_{трx} = -F_{тр}; \quad F_{тяжx} = R_x = 0$$

Учитывая это, общее уравнение движения примет вид:

$$ma = F_{тяги} - F_{тр}.$$

Так как при движении по прямолинейной горизонтальной траектории $F_{тр} = \mu R = \mu mg$, уравнение движения тела согласно второму закону Ньютона будет иметь вид:

$$ma = F_{тяги} - \mu mg.$$

Из последнего выражения получается формула для расчета ускорения тела:

$$a = \frac{F_{тяги} - \mu mg}{m}.$$

Задача 4. Тело массой 25 кг поднимают вертикально вверх на веревке с ускорением $a = 4 \frac{m}{c^2}$.

Вопрос. С какой силой T веревка действует на тело (сопротивление воздуха не учитывается)?

Примечание. Для упрощения схемы точки приложения сил перенесены в центр тяжести тела (см. рис. 1.28, б).

$\vec{F}$ – равнодействующая сила
 $\vec{F}_H$ – сила натяжения
 $\vec{F}_{тр}$ – сила трения
 $\vec{F}_{тяж}$ – сила тяжести
 $\vec{R}$ – сила реакции опоры

Подсказка. Изобразите на схеме силы, действующие на тело при вертикальном подъеме. Запишите уравнение движения тела, то есть второй закон Ньютона, в виде векторной системы сил и выполните последующие шаги решения задачи 3.

Проверьте полученные знания

1. Какой величиной является проекция вектора и какова её общая формула?
2. Тело переместилось на 20 м в горизонтальном направлении под действием равнодействующей силы 25 Н, направленной под углом α к горизонту.

Вопрос 1. Если работа этой силы равна 250 Дж, чему равен угол α ?

Вопрос 2. При каких значениях угла α работа равнодействующей силы будет меньше 250 Дж, а при каких – равна нулю?

3. Материальная точка движется под действием силы $\vec{F}$.

Вопрос. Чему равно отношение модуля силы к ее проекции на ось X (рис. 1.29), если она образует с этой осью угол 45° ?

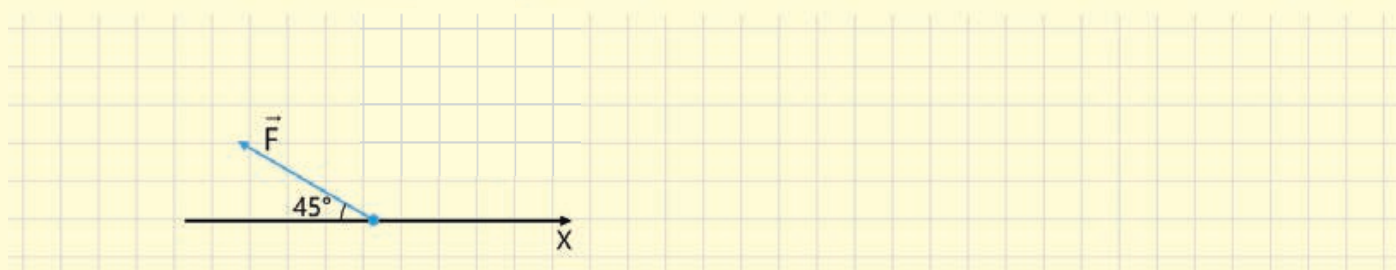
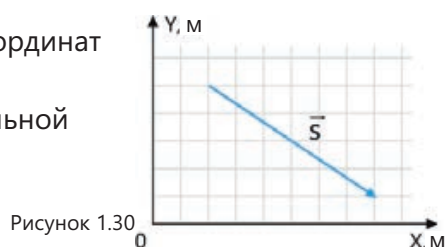


Рисунок 1.29

1.1.5 Координаты вектора. Определение модуля вектора по его проекциям

Задача 1. В системе координат ОХУ изображен вектор перемещения материальной точки $\vec{s}$ (рис. 1.30).



- Каковы координаты начальной и конечной точек этого вектора на осях ОХ и ОУ?
- Как определить длину вектора перемещения $\vec{s}$?

Схематическое изображение движения тела очень важно для определения его положения. Поскольку, изображая различные векторы на схеме, можно получить общую картину движения тела. Однако использование линейки и транспортира каждый раз для выполнения различных операций с векторами затруднительно. Поэтому операции с векторами упрощаются путём определения их проекций на оси координат.

1. Определение проекции вектора на оси координат

Предположим, что в системе координат ОХУ задан вектор $\vec{a}$ (рис. 1.31). Как видно из рисунка, этот вектор образует угол α с отрицательным направлением оси ОХ и угол β с положительным направлением оси ОУ. Проекции вектора на оси координат ОХ и ОУ равны a_x и a_y соответственно.

Ключевые слова проекция, модуль вектора, теорема Пифагора

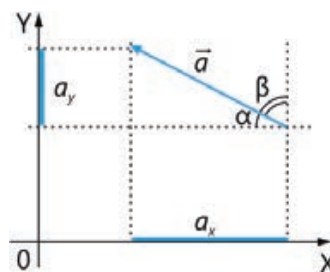


Рисунок 1.31.
Определение проекции вектора.

Внимание! Для определения проекций вектора на оси координат ОХУ используется формула (3), а именно:

$$a_x = -a \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

$$a_y = a \cdot \cos \beta, \quad (6)$$

Здесь скаляр a — это модуль вектора $\vec{a}$. В качестве примера рассмотрим следующую задачу:

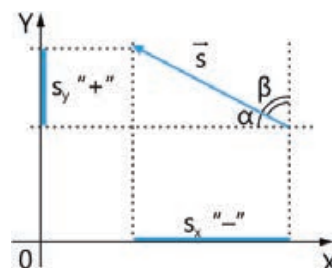
Задача 2.

На рисунке 1.32 изображён вектор перемещения, модуль которого равен 60 км. Направление этого вектора составляет угол 30° с направлением, противоположным оси ОХ.

Чему равны проекции вектора перемещения на оси координат?

Рисунок 1.32.

Определение проекций вектора перемещения на координатные оси ОХУ.



Решение. Используя формулу (5), определяем проекцию перемещения на ось OX:

$$s_x = -s \cdot \cos \alpha = -60 \text{ км} \cdot \cos 30^\circ = -60 \text{ км} \cdot 0,87 = -52,2 \text{ км}$$

Поскольку угол между осями OX и OY равен 90° , вектор перемещения образует с положительным направлением оси OY острый угол 60° . Используя формулу (6), определяем проекцию вектора перемещения на ось OY:

$$s_y = s \cdot \cos \beta = 60 \text{ км} \cdot \cos 60^\circ = 30 \text{ км}.$$

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Каковы проекции вектора скорости на оси координат?

Задача 3.

На рисунке 1.33 изображён вектор скорости, модуль которого равен 10 м/с.

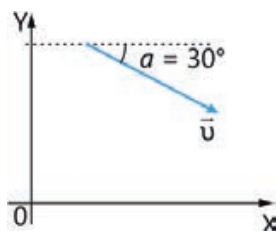


Рисунок 1.33

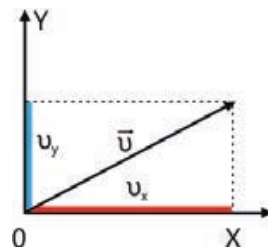
Направление этого вектора составляет угол 30° с направлением оси OX.

Вопрос 1. Изобразите проекции векторов скорости u_x и u_y соответствующие оси координат.

Вопрос 2. Чему равны проекции вектора скорости u_x и u_y соответствующие оси координат.

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

На рисунке изображены вектор скорости $\vec{u}$ и его проекции u_x и u_y на оси системы координат OXY.



• Если вектор скорости вращается против часовой стрелки, как будут изменяться его проекции u_x и u_y ?

• В каком случае проекции u_x и u_y будут равны нулю?

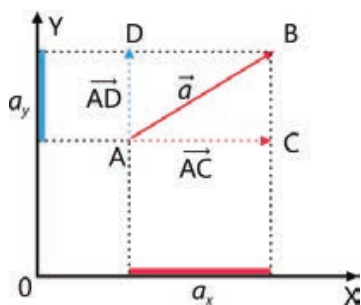


Рисунок 1.34. Проекция вектора на оси координат OXY.

2. Определение модуля вектора по его проекциям

Предположим, что начало вектора $\vec{a} = \overrightarrow{AB}$ находится в точке A. Из начала и конца вектора $\vec{a}$ опустим перпендикуляры на оси координат OX и OY. Разложим вектор $\overrightarrow{AB}$ на составляющие $\overrightarrow{AC}$ и $\overrightarrow{AD}$, параллельные осям OX и OY соответственно (рис. 1.34). Из прямоугольного треугольника $\triangle ABC$ определим модуль вектора $\overrightarrow{AB}$ по теореме Пифагора:

$$AB = \sqrt{AC^2 + CB^2}.$$

Здесь, если учесть, что $AB = a$ и $AC^2 = a_x^2$ и $CB^2 = a_y^2$, то при произвольных значениях проекций a_x и a_y модуль вектора можно определить следующим образом:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (7)$$

Задачи на определение модуля векторной физической величины по ее проекциям весьма распространены в механике. Рассмотрим следующую задачу.

Задача 4. На рисунке 1.35 изображено перемещение $\vec{s}$ материальной точки за определённый промежуток времени.

Вопрос 1. Какова проекция перемещения $\vec{s}_x$ на ось OX?

Вопрос 2. Какова проекция перемещения s_y на ось OY?

Вопрос 3. Каков модуль перемещения согласно проекциям?

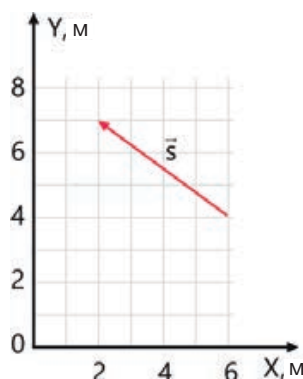


Рис. 1.35.
Проекция вектора на оси координат.

Решение

Как видно из графика, проекция перемещения $\vec{s}$ на ось OX равна $s_x = x - x_0 = -4$ м, а проекция s_y на ось OY равна $s_y = y - y_0 = 3$ м.

Согласно выражению (7), модуль перемещения по его проекциям равен:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = \sqrt{(4 \text{ м})^2 + (3 \text{ м})^2} = \sqrt{25 \text{ м}^2} = 5 \text{ м}.$$

3. Координаты вектора

Рассмотрим рисунок 1.31, приведённый в начале урока. Если начальную точку вектора обозначить как A, а конечную – как B, координаты этих точек будут $A(x_1; y_1)$ и $B(x_2; y_2)$ соответственно (рис. 1.36). Проекции вектора перемещения координат на оси OX и OY будут соответственно:

$$s_x = x_2 - x_1 \text{ и } s_y = y_2 - y_1$$

Таким образом, координаты вектора можно записать в виде:

$$\vec{s}(x_2 - x_1; y_2 - y_1) \quad (8)$$

Координаты вектора равны разности координат конечной и начальной точек вектора.

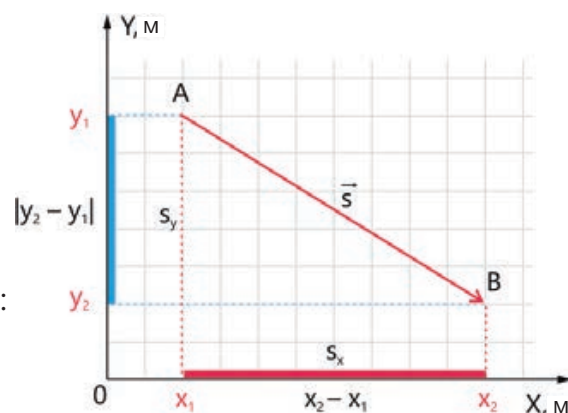


Рисунок 1.36.
Координаты вектора.

Примените полученные знания

Задача 5.

Дрон движется со скоростью 50 км/ч. Проекция скорости дрона на ось OY равна 40 км/ч.

Вопрос 1. Чему равны углы между вектором скорости дрона и осями координат OX и OY соответственно?

Вопрос 2. С какой скоростью движется дрон относительно оси OX?

Задача 6 (образец).

Координаты вектора перемещения равны (6 м; 2 м), а координаты его начальной точки A (2 м; 4 м) (рис. 1.37).

Вопрос. Каковы координаты точки B вектора?

Решение. По определению, координаты вектора выражаются формулой (8).

Согласно условию, координаты вектора $\vec{s}$ равны:

$$(6 \text{ м}; 2 \text{ м}) \rightarrow x_2 - x_1 = 6 \text{ м}; y_2 - y_1 = 2 \text{ м}.$$

Обозначим координаты точки B через (x; y).

В данном случае $x - 2 \text{ м} = 6 \text{ м} \rightarrow x = 8 \text{ м}$; $y - 4 \text{ м} = 2 \text{ м} \rightarrow y = 6 \text{ м}$.

Следовательно, координаты точки B равны (8 м; 6 м).

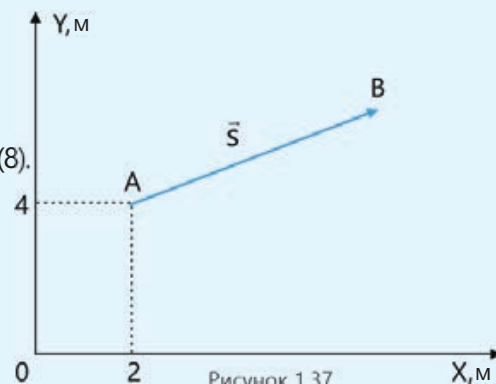


Рисунок 1.37

Проверьте полученные знания

1. Проекция равнодействующей силы, действующей на тело массой 2 кг, в системе координат OXY равны 30 Н и 40 Н соответственно.

Вопрос 1. Как направлена равнодействующая сила?

Вопрос 2. Чему равен модуль равнодействующей силы?

Вопрос 3. С каким ускорением движется тело и как оно направлено?

2. На рисунке 1.38 изображено перемещение пяти материальных точек.

Вопрос. Чему равны проекции каждого вектора перемещения в метрах на оси координат?

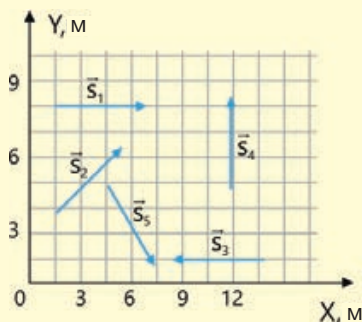


Рисунок 1.38

3. На рисунке 1.39 показано положение вектора $\vec{u}$ в системе координат.

Вопрос. Перенесите следующую таблицу на рабочий лист и заполните её, определив неизвестные величины, приведённые в ней.



Рисунок 1.39

№	$u, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$u_x, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$u_y, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	α	β
1	20	?	?	32°	?
2	?	20	15	?	?
3	16	?	10	?	?

1.1.6 Скалярное произведение векторов

Джавид катает свою сестру Лалу на санках. Сила натяжения $\vec{F}$ троса, тянущего санки, составляет угол α с вектором перемещения санок $\vec{s}$ (рис. 1.40).

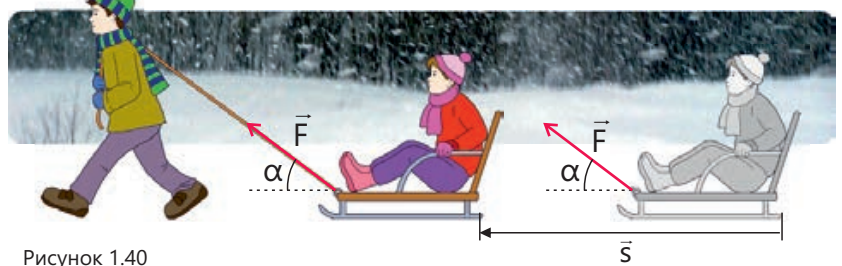


Рисунок 1.40

- Какая сила приводит санки в движение?
- Можно ли рассчитать работу силы натяжения по формуле $A = \vec{F} \cdot \vec{s}$?
- Какой величиной является произведение вектора силы на вектор перемещения: векторной или скалярной?
- Что означает произведение двух векторов?

1. Что такое скалярное произведение?

Пусть α – угол между двумя произвольными векторами $\vec{a}$ и $\vec{b}$ (рис. 1.41).

Ключевые слова

скалярное произведение, дистрибутивность, ассоциативность, коммутативность

Скалярным произведением векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ (обозначается как $\vec{a} \cdot \vec{b}$) называется скалярная величина, равная произведению их модулей на косинус угла между ними:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos \alpha. \quad (9)$$

2. Свойства скалярного произведения

Скалярное произведение векторов обладает следующими свойствами:

- 1) Для скалярного произведения выполняется закон коммутативности (перестановки). То есть от перемены мест перемножаемых векторов их скалярное произведение не изменится:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}.$$

- 2) Скалярное произведение вектора на самого себя равно квадрату модуля этого вектора:

$$\vec{a} \cdot \vec{a} = a^2.$$

Это свойство также вытекает из формулы (9). Поскольку вектор $\vec{a}$ образует с самим собой угол 0 , то

$$\vec{a} \cdot \vec{a} = a \cdot a \cdot \cos 0^\circ = a^2.$$

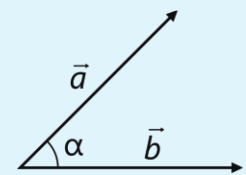


Рисунок 1.41.
Определение скалярного произведения.

3) Скалярное произведение векторов, не равных нулю, равно нулю только в том случае, если угол между векторами прямой (90°). Согласно формуле (9):

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos 90^\circ = 0.$$

4) Для скалярного произведения справедлив дистрибутивный (распределительный) закон:

$$(\vec{a} + \vec{b}) \cdot \vec{c} = \vec{a} \cdot \vec{c} + \vec{b} \cdot \vec{c}.$$

5) Для скалярного произведения выполняется закон ассоциативности (группировки):

$$(\vec{a} \cdot \vec{b}) \cdot \vec{c} = \vec{a} (\vec{b} \cdot \vec{c}).$$

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

От каких из перечисленных ниже факторов зависит результат скалярного произведения векторов?

a – выбора системы координат;

b – длин векторов;

c – угла между векторами.

3. Скалярное произведение векторов в физике

В физике, в отличие от математики, скалярное произведение часто является величиной, имеющей единицы измерения.

Размерность скалярного произведения равна произведению размерностей векторных множителей.

Свойства скалярного произведения применимы к действиям над векторами и также справедливы для векторных физических величин. Например, это можно проверить в формуле механической работы. Предположим, что тело совершило перемещение $\vec{s}$ под действием равнодействующей силы $\vec{F}$. При записи формулы работы получается, что работа – это скалярное произведение двух векторов – силы и перемещения:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos(\vec{F}, \vec{s}) = Fs \cos \alpha. \quad (10)$$

Чтобы проверить, выполняется ли дистрибутивный закон скалярного произведения в физике, рассмотрим следующую задачу.

Задача 1.

Тело совершает перемещение $\vec{s}$ под действием двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Вопрос. Какова работа, совершённая равнодействующей силой?

Решение. Механическая работа сил, действующих на тело, определяется по формулам:

$$A_1 = \vec{F}_1 \cdot \vec{s} \quad \text{и} \quad A_2 = \vec{F}_2 \cdot \vec{s}.$$

Применяя дистрибутивный закон скалярного произведения векторов, формула работы равнодействующей силы записывается следующим образом:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) \cdot \vec{s} = \vec{F}_1 \cdot \vec{s} + \vec{F}_2 \cdot \vec{s} = A_1 + A_2.$$

Отсюда можно сделать вывод, что работа, совершаемая равнодействующей силой, равна алгебраической сумме работ, совершаемых каждой силой в отдельности. То есть силы, приложенные к телу, суммируются в векторной форме, а совершаемая ими работа – в скалярной форме.

Примените полученные знания

Задача 2. Область применения скалярного произведения векторов на практике весьма обширна. В таблице ниже перечислены некоторые ситуации, векторные величины и характеризующие их свойства. Перенесите таблицу на рабочий лист и заполните её, вычислив скалярные произведения соответствующих векторов.

№	Ситуация	Векторы	Угол между векторами α	Модуль вектора a	Модуль вектора b	Скалярное произведение
1	Двигатель и движение	Сила тяги, перемещение	0°	2500 Н	120 м	
2	Волейбольный мяч и скорость	Сила упругости, скорость мяча	10°	75 Н	$22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	
3	Дует ветер и лист	Выталкивающая сила, перемещение	30°	5 Н	2 м	
4	Стрелок из лука и лук	Сила тяги, деформация струны	45°	75 Н	0,8 м	
5	Двигатель и скорость	Сила тяги, скорость	0°	350 Н	$15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	

Проверьте полученные знания

1. Что означает скалярное произведение векторов и от чего оно зависит?
2. Сторона равностороннего треугольника $\triangle ABC$ равна 5 см (рис. 1.42). Определите скалярное произведение векторов $\vec{AB}$ и $\vec{AC}$.

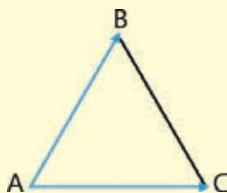


Рисунок 1.42

3. Скалярное произведение векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$, отличных от нуля, равно нулю.

Вопрос 1. Как выражается скалярное произведение этих векторов?

Вопрос 2. Что означает, когда скалярное произведение векторов равно нулю?

4. Тележка под действием сил $\vec{F}_{\text{тяга}}$ и $\vec{F}_{\text{трение}}$ переместилась на 8 м в горизонтальной плоскости. Модуль силы тяги равен 120 Н, а угол между силой и направлением перемещения равен 45° . Сила трения, действующая на тележку, равна 50 Н.

Вопрос 1. Какова работа сил, действующих на тележку по отдельности?

Вопрос 2. Какова работа равнодействующей силы, действующей на тележку?

Вопрос 3. Какое свойство скалярного произведения векторов использовалось при решении задачи?

1.1.7 Переменные физические величины

Волейболист при каждой атаке старается ударить по мячу с большей силой. В этом случае мяч приобретает большую скорость и игрокам команды соперника становится сложнее обороняться.



- Какие физические величины в этом случае изменяются, а какие остаются постоянными?
- Какая из физических величин является свободной переменной, какая – зависимой, а какая – контрольной?

Ключевые слова переменные, свободные переменные, зависимые переменные, контрольные переменные

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Проверка закона Ома: какая величина является контрольной, какая – свободной, а какая – зависимой физической величиной?

Принадлежности: лабораторный амперметр, лабораторный вольтметр, источник постоянного тока, три набора резисторов сопротивлением 1 Ом, 2 Ом и 4 Ом, реостат, электрический ключ, соединительные провода.

Ход работы:

Опыт 1. Изучение зависимости силы тока от напряжения на заданном участке цепи.

1. Соберите электрическую цепь, состоящую из источника тока, амперметра, реостата, резистора сопротивлением 2 Ом и ключа. Параллельно зажимам резистора подключите вольтметр (рис. 1.43).
2. Замкните ключ. С помощью реостата увеличьте напряжение на концах резистора сначала до 1 В, затем до 2 В, а затем до 3 В. Каждый раз измеряйте силу тока и записывайте результаты в таблицу 1.

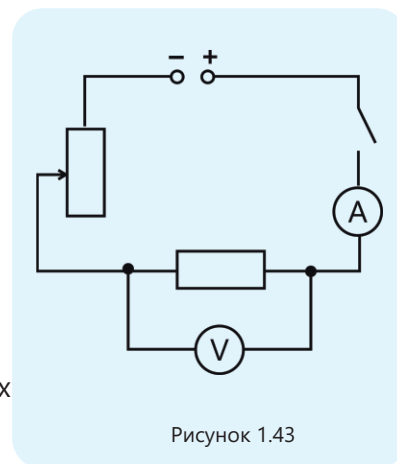
Таблица 1. Сопротивление резистора равно 2 Ом.

U, В	1	2	3
I, А			

3. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, постройте график зависимости силы тока от напряжения.

Обсудите:

- Как сила тока зависит от напряжения на концах участка цепи? Изобразите эту зависимость на графике.
- Какие физические величины в данной зависимости являются свободными, а какие – зависимыми?
- Какая физическая величина поддерживалась постоянной в ходе эксперимента?



Опыт 2. Изучение зависимости силы тока от сопротивления участка цепи.

1. Используя ту же схему, поочередно подключайте к цепи резисторы сопротивлением 1 Ом, затем 2 Ом и 4 Ом. С помощью реостата поддерживайте на зажимах каждого резистора постоянное напряжение, например, 2 В.

Измерьте силу тока и запишите результаты в таблицу 2.

Таблица 2. Напряжение на концах участка цепи равно 2 В.

R, Ом	1	2	4
I, А			

2. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, постройте график зависимости силы тока от сопротивления.

Обсудите:

- Как сила тока зависит от сопротивления участка цепи? Изобразите эту зависимость графически.
- Какие физические величины в данной зависимости являются свободными, а какие – зависимыми?
- Какая физическая величина поддерживалась постоянной в ходе эксперимента?
- Можно ли утверждать, что «сопротивление участка цепи зависит от силы тока»?

Известно, что физические законы обычно выражаются формулами. Формулы описывают соотношения между различными физическими величинами. Справедливость этих соотношений между физическими величинами проверяется в ходе научных экспериментов и наблюдений. В ходе экспериментов не все величины, входящие в формулу, измеряются или изменяются одновременно. Некоторые из них поддерживаются постоянными, и путем изменения одной из оставшихся величин исследуется зависимость между ними. Таким образом, последовательно устанавливаются зависимости между другими переменными. Следовательно, под переменными в физике понимают любые физические величины, которые измеряются, изменяются или поддерживаются постоянными в ходе научных экспериментов и наблюдений. Их правильное определение помогает верно интерпретировать результаты эксперимента. Переменные делятся на 3 основных типа:

1. *Свободная переменная (независимая)* – это физическая величина, которая целенаправленно изменяется экспериментатором. Она является основным фактором, влияющим на результат эксперимента.

Пример. Если мы хотим изучить ускорение свободного падения тел, мы проводим следующий эксперимент: тело заданной массы отпускают с разной высоты. В этом случае высота является свободной переменной физической величиной.

2. *Зависимая физическая величина* – это величина, которая изменяется в зависимости от свободной переменной. Она также является основной величиной, наблюдаемой и измеряемой в эксперименте.

Пример. Время падения или скорость движения тела изменяются в зависимости от высоты, с которой оно падает. Таким образом, время падения или скорость в конце движения являются зависимыми физическими величинами.

3. *Контрольная переменная* – это величина, которая остается неизменной (постоянной) на протяжении всего эксперимента. Цель её использования — исключить влияние побочных факторов на результат опыта и измерить воздействие только независимой переменной.

Пример. При изучении свободного падения тел разной массы с одинаковой высоты сила притяжения Земли и высота не изменяются, поскольку являются контрольными переменными.

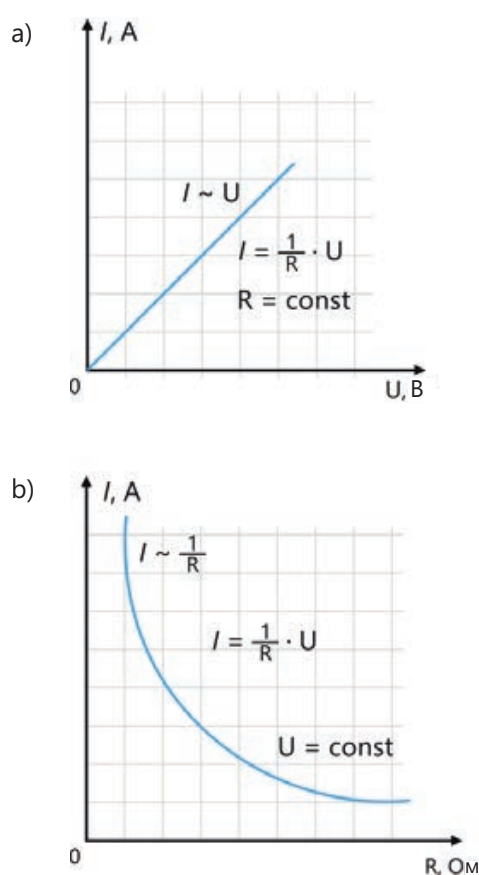


Рисунок 1.44

Целью двух экспериментов, проведённых вами на этапе деятельности, была проверка закона Ома, то есть формулы $I = \frac{U}{R}$.

В опыте 1 контрольной переменной было сопротивление резистора на участке цепи, так как оно поддерживалось постоянным ($R = \text{const}$). Свободной переменной физической величиной было напряжение на резисторе, а зависимой переменной – сила тока на участке цепи. Таким образом, вы измерили силу тока в данном резисторе при трёх различных значениях напряжения на его концах. В результате вы определили, что сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на его концах, то есть $I \sim U$.

График этой зависимости представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 1.44, а).

В опыте 2 контрольной переменной было напряжение на концах резистора. Свободной переменной было сопротивление цепи, а зависимой – сила тока. Таким образом, вы измерили силу тока в цепи при различных значениях сопротивления и постоянном напряжении. Значит, вы определили, что сила тока в цепи обратно пропорциональна сопротивлению этого участка цепи, то есть $I \sim \frac{1}{R}$. График этой зависимости является гиперболой (рис. 1.44, б).

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

На уроке учащиеся проводят эксперимент, чтобы выяснить, как вид материала влияет на теплопроводность тела. Они измерили температуру на одном конце каждого металлического, деревянного и пластикового стержней после нагревания другого конца каждого стержня при одинаковых условиях.

- **Какие физические величины в этом эксперименте были приняты в качестве контрольной, свободной и зависимой переменных?**

Примените полученные знания

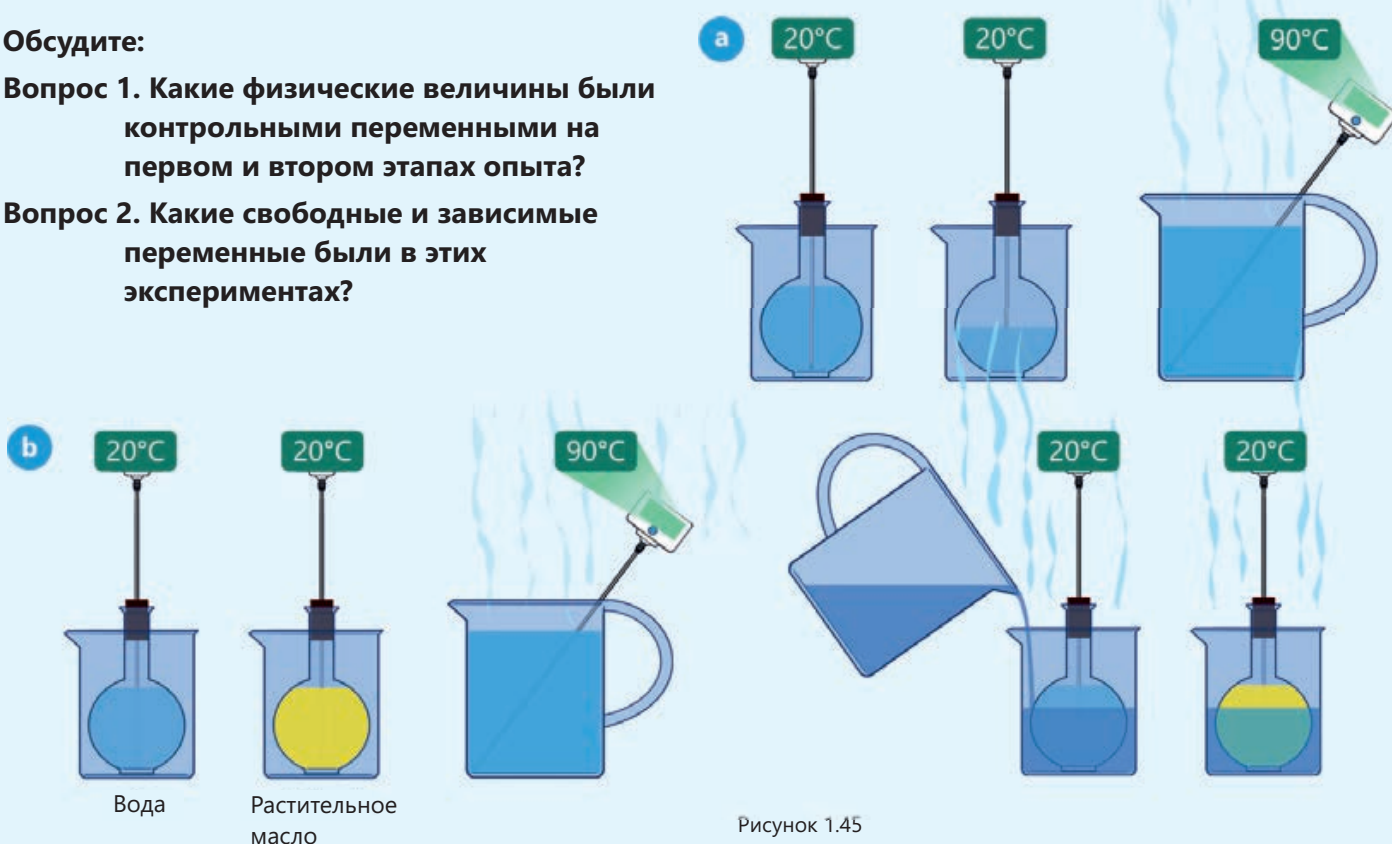
Вы провели опыт, состоящий из двух этапов, чтобы определить величины, от которых зависит количество теплоты (см. "Физика-8").

- На первом этапе в одну из двух колб одинакового объёма налили 100 г воды комнатной температуры, а в другую – 50 г воды. Колбы закрыли пробками и поместили каждую в отдельный лабораторный стакан. Затем в стаканы налили одинаковое количество воды при температуре 90 °С, передав таким образом колбам одинаковое количество теплоты (рис. 1.45, а).
- На втором этапе опыт повторили, но на этот раз в одну из колб налили 100 г воды, а в другую – 100 г подсолнечного масла (рис. 1.45, б).

Обсудите:

Вопрос 1. Какие физические величины были контрольными переменными на первом и втором этапах опыта?

Вопрос 2. Какие свободные и зависимые переменные были в этих экспериментах?

**Проверьте полученные знания**

1. В ходе опыта измеряются различные переменные физические величины и графически изображаются зависимости между ними.

Вопрос 1. Какая физическая величина называется зависимой переменной?

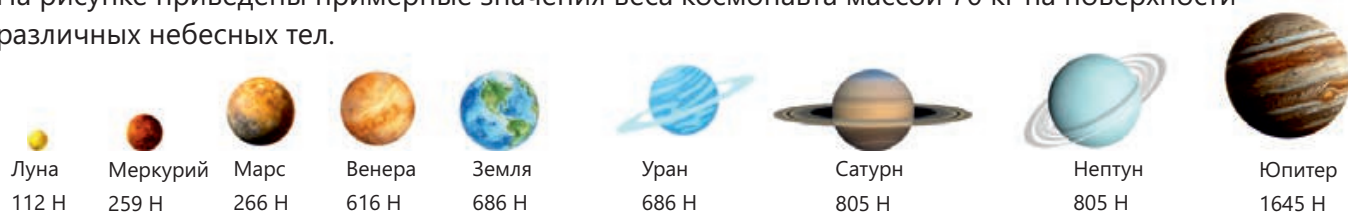
Вопрос 2. Что такое свободная переменная физическая величина?

Вопрос 3. Какая физическая величина называется контрольной переменной?

Вопрос 4. Зависимость между какими переменными используется для графического представления результатов опыта?

1.1.8 Графическое представление зависимостей между физическими величинами

На рисунке приведены примерные значения веса космонавта массой 70 кг на поверхности различных небесных тел.



- На основе представленной информации какая физическая величина является свободной переменной, какая – зависимой, а какая – контрольной величиной?
- Как можно графически изобразить зависимость между этими физическими величинами?

Ключевые слова

независимая переменная, зависимая переменная, линейная зависимость, квадратичная зависимость

Графическое представление прямой пропорциональности между величинами

В МАТЕМАТИКЕ

Уравнение линейной функции имеет вид:

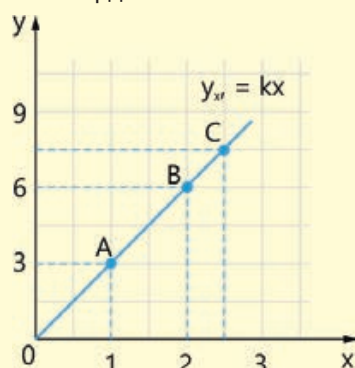
$$y = b + kx.$$

Где b и k – постоянные величины;

y – зависимая переменная или функция,

x – независимая переменная или аргумент.

Если $b = 0$, то $y = kx$. В этом случае функция прямо пропорциональна аргументу. Это означает, что во сколько раз увеличивается (или уменьшается) свободная переменная x , во столько же раз увеличивается (или уменьшается) зависимая переменная y . Следовательно, график функции $y(x)$ представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат.



В ФИЗИКЕ

Уравнение скорости тела, движущегося по оси X :

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

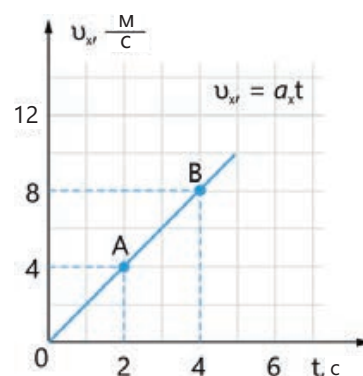
Здесь v_{0x} – проекция начальной скорости тела на ось X , а a_x – проекция ускорения на ось x , которая является постоянной величиной, то есть движение равноускоренное.

$$a_x = \text{const};$$

v_x – зависимая переменная функции скорости;

а аргумент t – свободно изменяющаяся физическая величина.

Если $v_0 = 0$, то $v_x = a_x t$. Это означает, что график зависимости скорости от t также представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат. В этом случае скорость прямо пропорциональна времени.



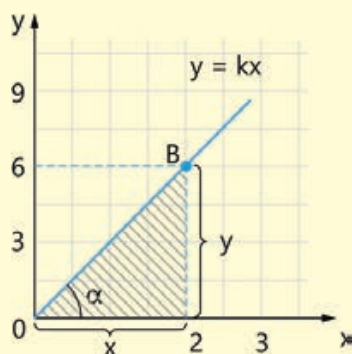
Уравнение $k = \frac{y}{x}$ показывает, что коэффициент k является постоянной величиной для произвольной точки прямой, проходящей через начало координат:

$$k_A = \frac{3}{1} = 3; \quad k_B = \frac{6}{2} = 3; \quad k_C = \frac{7,5}{2,5} = 3.$$

$$k = k_A = k_B = \dots = \text{const.}$$

Подставив значение k в $y = kx$, получим: $y = 3x$.

Приведённый график выражает зависимость $y = 3x$. Обратите внимание на прямоугольный треугольник с заштрихованной областью на графике.



Оказывается, тангенс острого угла в треугольнике равен постоянному угловому коэффициенту k , то есть:

$$\text{tg} \alpha = \frac{y}{x} = k, \quad \text{tg} \alpha = k.$$

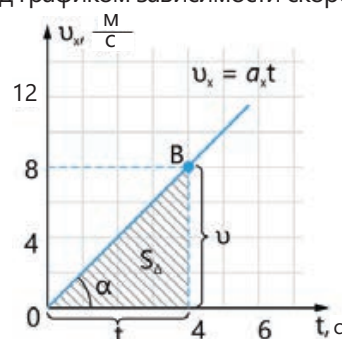
Выражение $a_x = \frac{v_x}{t} = \text{const}$ означает, что в любой точке прямой, проходящей через начало координат, мгновенное значение a_x является постоянной величиной:

$$a_{xA} = \frac{4 \text{ м/с}}{2 \text{ с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad a_{xB} = \frac{8 \text{ м/с}}{4 \text{ с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$a_{xA} = a_{xB} = \dots = \text{const.}$$

Если подставить значение ускорения в формулу скорости, то получим: $v_x = 2t$.

Именно рассмотренный выше график зависимости скорости от времени соответствует выражению $v_x = 2t$. Аналогично обратим внимание на заштрихованный прямоугольный треугольник под графиком зависимости скорости от времени.



Здесь видно, что тангенс острого угла численно равен ускорению: $\text{tg} \alpha = \frac{v_x}{t} = a_x$ или $\text{tg} \alpha = a_x$. Площадь заштрихованного треугольника численно равна пройденному пути:

$$l = S_{\Delta} = \frac{v_x t}{2}.$$

Внимание! В физике для определения наличия зависимостей (в математической терминологии: прямо пропорциональных, обратно пропорциональных и т.д.) между величинами в формулах важно обращать внимание на физическую природу этих величин. Существуют случаи, когда физическая величина выражается определенной формулой, но не зависит от других величин, входящих в эту формулу. Например, формула напряжённости электрического поля $E = \frac{F}{q}$ не означает, что напряжённость поля зависит от внесённого в это поле заряда q и действующей на него силы F . Так как во сколько раз изменяется заряд q , во столько же раз изменяется и действующая на него сила F , напряжённость E остается неизменной:

$$E = \frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \dots = \frac{F_n}{q_n} = \text{const.}$$

График такой зависимости изображен на рисунке 1.46.

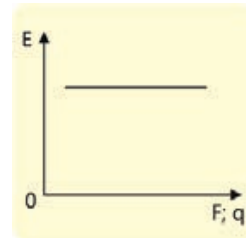


Рисунок 1.46

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Задача 1 (образец). На рисунке 1.47 представлен график зависимости силы упругости, возникающей при деформации упругой пружины, от её удлинения.

Вопрос 1. Какие величины здесь являются свободными и зависимыми переменными физическими величинами соответственно?

Вопрос 2. Какую работу необходимо совершить, чтобы растянуть пружину на 5 мм?

Вопрос 3. Какова жёсткость пружины?

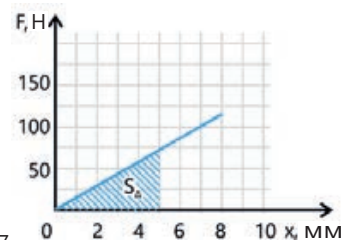


Рисунок 1.47

Решение.

1. Как видно из графика, свободной переменной физической величиной является удлинение пружины, а зависимой переменной – возникающая при этом сила упругости. Поскольку возникает сила упругости, соответствующая удлинению пружины.

2. Работа по растяжению пружины на 5 мм численно равна площади заштрихованного треугольника на графике:

$$A = S_{\Delta} = \frac{1}{2} Fx = \frac{1}{2} \cdot 75 \text{ Н} \cdot 0,005 \text{ м} = 0,1875 \text{ Дж}.$$

3. Жесткость пружины можно определить по формуле $F = kx$:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{75 \text{ Н}}{0,005 \text{ м}} = 15\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Задача 2. На рисунке 1.48 представлен график зависимости силы тока в цепи от напряжения на резисторе.

Вопрос 1. Какие физические величины являются свободными и зависимыми переменными?

Вопрос 2. Чему равно сопротивление резистора?

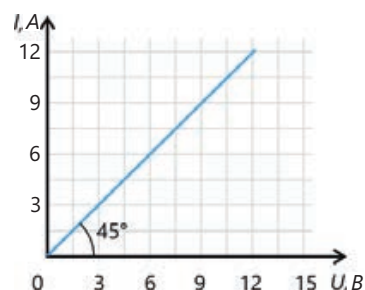
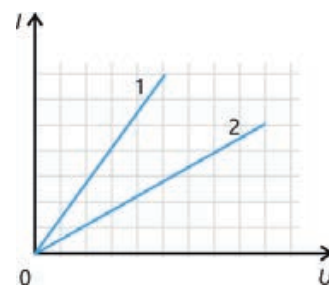


Рисунок 1.48

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

График на рисунке показывает зависимость силы тока от напряжения для двух разных резисторов.

• Какой из этих резисторов имеет большее сопротивление?
Обоснуйте свой ответ.



Графическое представление обратной пропорциональности между величинами

В МАТЕМАТИКЕ

Эта зависимость задаётся формулой $y = \frac{k}{x}$. В этой формуле зависимость означает, что при увеличении значения аргумента независимой переменной x значение функции зависимой переменной y уменьшается во столько же раз. Или наоборот, при уменьшении значения аргумента x значение функции зависимой переменной y увеличивается во столько же раз.

В ФИЗИКЕ

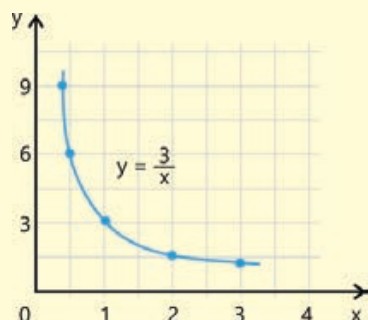
Обратно пропорциональная зависимость между физическими величинами встречается практически во всех разделах физики. Например, вспомним величины, от которых зависит давление, оказываемое твёрдым телом на поверхность:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Если сила F , действующая на тело, постоянна, то чем больше площадь опоры тела, тем меньшее давление оно оказывает на поверхность. Или, наоборот, чем меньше площадь опоры тела, тем большее давление оно оказывает на поверхность.

Предположим, что функция, задана формулой $y = \frac{3}{x}$. График этой зависимости строится путем задания значений x :

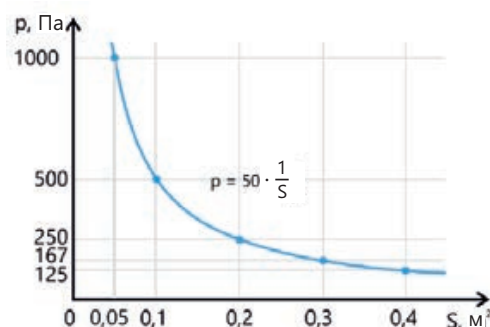
x	$\rightarrow 0$	0,5	1	2	3
y	$\rightarrow \infty$	6	3	1,5	1



Как видите, график обратной зависимости между величинами имеет вид гиперболы.

Если сила F , действующая на тело, постоянна, то давление тела на поверхность обратно пропорционально площади его опоры. То есть давление будет зависимой переменной величиной, а площадь его опоры – свободно изменяющейся физической величиной. Построим график этой зависимости. Предположим, что на тело действует постоянная сила 50 Н. Опишем графически, как изменяется давление на поверхность при различных значениях площади опоры.

$S, \text{ м}^2$	$\rightarrow 0$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
$p, \text{ Па}$	$\rightarrow \infty$	1000	500	250	167	125



Из курса математики (см. «Математика–8») вы знаете, что график квадратичной функции $y = ax^2$ является параболой. Это симметричная кривая, ветви которой направлены в одну сторону, что напоминает латинскую букву U. Форма параболы и её расположение на координатной плоскости зависят от коэффициента a в уравнении. Если $a > 0$, ветви параболы направлены вверх, а если $a < 0$ – вниз. Вершина параболы – это точка, в которой она достигает своего наименьшего (при $a > 0$) или наибольшего (при $a < 0$) значения. В физике также существуют квадратичные зависимости между величинами и их графическим изображением также является парабола.

Графическое изображение квадратичной зависимости между величинами – парабола

В МАТЕМАТИКЕ

Предположим, что функция задана уравнением $y = 2x^2$. График этой зависимости строится путём задания значений x :

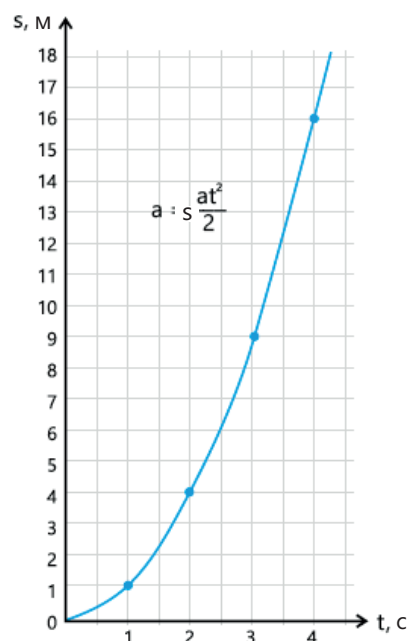
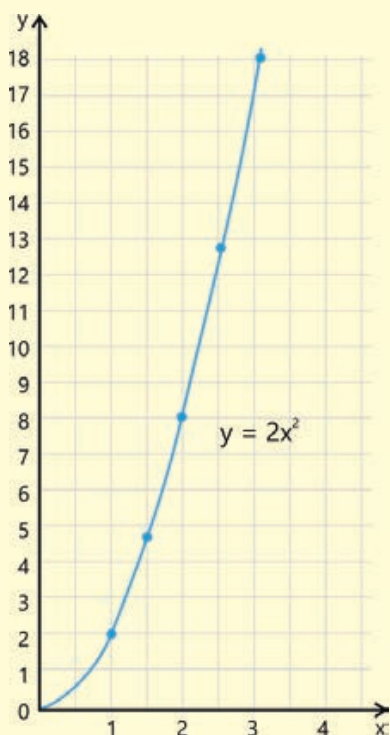
x	0	1	1,5	2	2,5	3
$y = 2x^2$	0	2	4,5	8	12,5	18

В ФИЗИКЕ

Предположим, что тело начинает двигаться равноускоренно ($a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$) из состояния покоя по закону $S = \frac{at^2}{2}$. Построим график этой зависимости:

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4
$s, \text{ м}$	0	1	4	9	16





Примените полученные знания

Задача 3. На рис. 1.49 показан график зависимости скорости велосипедиста от времени.

Вопрос 1. Как изменилась скорость велосипедиста за первые 5 секунд?

Вопрос 2. Чему равно ускорение велосипедиста?

Вопрос 3. Какой формулой выражается скорость велосипедиста?

Вопрос 4. Как изменилась кинетическая энергия велосипедиста за первые 4 секунды – увеличилась или уменьшилась?

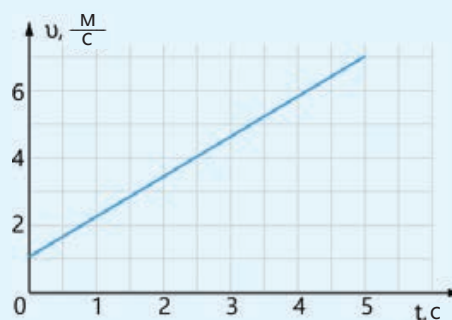


Рисунок 1.49

Проверьте полученные знания

1. Постройте графики зависимостей между заданными физическими величинами и объясните их различия:

а) $u_x = -3t$ и $u_x = 3t$

б) $s_x = \frac{3t^2}{2}$ и $s_x = -\frac{3t^2}{2}$

2. Скорость автомобиля изменяется по закону $u = 2 + 0,5t$ (м/с).

Вопрос 1. Каким будет график зависимости скорости автомобиля от времени?

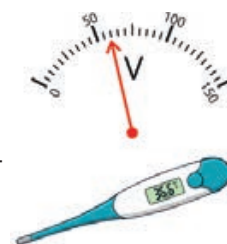
Вопрос 2. Какой путь пройдёт автомобиль за первые 3 секунды?

1.2 ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ И РАСЧЕТАХ

- Ни одно измерение не бывает абсолютно точным. Даже самые совершенные измерительные приборы допускают погрешности. Изучение погрешностей в физике помогает определить, насколько точны измерения, правильно оценить результаты и сделать достоверные научные выводы.

1.2.1 Точность измерений

Измерения невозможно провести с идеальной точностью. Значение измеряемой величины всегда содержит некоторую неточность. Эта неточность характеризуется погрешностями, возникающими из-за отклонения измеренного значения величины от её истинного значения. Например, на рисунке изображены показания стрелки вольтметра и электронного термометра во время практического занятия.



- Чему равны показания вольтметра и термометра соответственно, с учётом погрешности приборов?
- Как можно определить эффективность выполненных измерений и расчётов?

Ключевые слова шкала измерительного прибора, цена деления, абсолютная погрешность, относительная погрешность

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Задача 1. Масса тела измеряется с помощью ручных весов (рис. 1.50). Погрешность измерения равна половине цены деления шкалы весов.

Вопрос 1. Чему равна цена деления шкалы весов?

Вопрос 2. Чему равна погрешность прибора при измерении массы?

Вопрос 3. Какова масса тела?

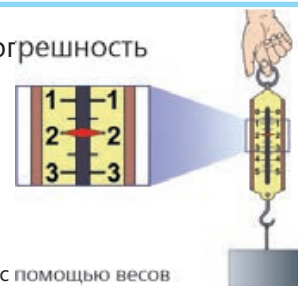


Рисунок 1.50.

Измерение массы с помощью весов

1. Шкала измерительного прибора

Шкала – это часть измерительного прибора, представляющая собой совокупность штрихов и проставленных у некоторых из них чисел. Шкала может быть расположена по окружности, дуге или прямой линии (рис. 1.51).



Манометр: прибор для измерения давления – круглая шкала



Индикатор громкости – линейная шкала



Вольтметр: прибор для измерения напряжения – шкала в форме дуги

Рисунок 1.51

2. Цена деления шкалы

Цена деления измерительного прибора – это значение физической величины, соответствующих одному делению шкалы, то есть число физических единиц, приходящихся на одно деление шкалы. Обычно цена деления указывается в маркировке на приборе.

Алгоритм определения цены деления

Δ – греч.: δέλτα – дельта (заглавная буква дельта) – это цена одного деления данного прибора.

Шаг 1. Выбирается на шкале любого измерительного прибора два соседних больших пронумерованных деления. Пусть цена первого пронумерованного деления равна **a**, а второго – **b** ($b > a$).

Шаг 2. Определяется количество малых делений между большими. Обозначим это число **n**.

Шаг 3. Разность между значениями больших делений делится на количество делений, образованных малыми делениями. То есть если количество малых делений равно **n**, то количество делений между большими будет равно **n + 1**.

Таким образом, цена одного деления прибора определяется следующим образом:

$$\Delta = \frac{b - a}{n + 1}. \quad (11)$$

Образец

Задача 2. На рисунке 1.52 изображён механический секундомер. Какова цена деления его основной шкалы в секундах?

Решение. Основная шкала – это шкала с крупными цифрами. Для расчета выберем два ближайших штриха с цифрами, например, 30 секунд и 35 секунд:

$$a = 30 \text{ с}; b = 35 \text{ с}.$$

Между выбранными цифрами находятся 4 средних штриха, а между каждыми средними делениями расположены еще по 4 самых малых штриха. Таким образом, количество меньших штрихов между двумя близко расположенными большими штрихами рассчитывается следующим образом:

$$n = 4 + 4 \cdot 5 = 24 \text{ делений}.$$

Цена одного деления основной шкалы секундомера определяется по формуле (11):

$$\Delta = \frac{b - a}{n + 1} = \frac{35 \text{ с} - 30 \text{ с}}{24 + 1} = \frac{5 \text{ с}}{25} = 0,2 \text{ с}.$$

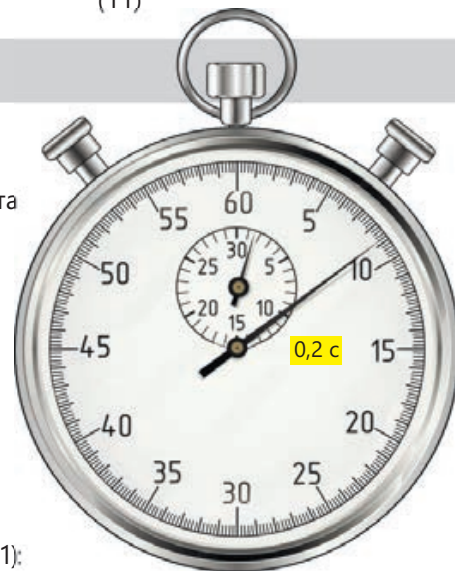


Рисунок 1.52

Если внимательно посмотреть на прибор, то можно увидеть, что на шкале написано 0,2 секунды (см. рис. 1.52).

3. Виды измерений

Определение значений физических величин может осуществляться с помощью двух видов измерений:

Вид измерения	Определение	Образец
Прямое измерение	Физическая величина измеряется непосредственно прибором.	Измерение объема тела с помощью мензурки.
Косвенное измерение	Физическая величина рассчитывается по формуле. В этой формуле величины заменяются их значениями, полученными в результате прямых измерений.	Скорость (v) не измеряется напрямую. Измеряются расстояние (s) и время (t). Результаты подставляются в формулу $v = \frac{s}{t}$ и производится расчёт, по которому определяется скорость.

4. Погрешность измерения, погрешность прибора, абсолютная и относительная погрешности измерения

В зависимости от используемых средств и методов измерения погрешности делят на две группы: систематические и случайные.

Систематическая погрешность – это ошибка, которая возникает постоянно, повторяется в процессе измерений и отрицательно влияет на их точность.

Причины: неисправность или дефекты измерительного прибора, его неправильная калибровка, влияние окружающей среды (например, температуры или влажности) либо систематические ошибки самого экспериментатора.

Случайная погрешность – это ошибка, возникающая из-за множества непредсказуемых факторов. К ним относятся несовершенство процесса измерения, человеческий фактор и случайные колебания внешних условий.

При многократном измерении одной и той же величины случайная погрешность проявляется в том, что результаты немного отличаются друг от друга.

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность прибора принимается равной половине цены деления шкалы прибора:

$$d = \frac{\Delta}{2}. \quad (12)$$

Здесь **d** – погрешность прибора.

Если a_0 – среднее измеренное значение величины, Δa – абсолютная погрешность измерения, то результат измерения записывается в виде:

$$a = a_0 \pm \Delta a \quad (13)$$

или

$$(a_0 - \Delta a) < a < (a_0 + \Delta a). \quad (14)$$

То есть если результат измерения будет находиться в интервале $a_0 - \Delta a$ и $a_0 + \Delta a$.

Абсолютная погрешность измерения – это модуль разности между измеренным значением величины и ее средним значением:

$$\Delta a = |a - a_0|. \quad (15)$$

Относительная погрешность измерения – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (среднему) значению, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta a}{a_0} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Здесь **δ** – греч.: δέλτα – дельта (дельта строчная) – относительная погрешность.

Относительная погрешность – это показатель точности измерения. Чем меньше относительная погрешность, тем точнее измерение. О точности измерения нельзя судить по абсолютной погрешности.

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Даны два результата измерений: $a = (5,0 \pm 0,1)$ см и $b = (25 \pm 0,1)$ см. Абсолютная погрешность обоих измерений одинакова.

• Какой результат более точный и почему?

Примените полученные знания

Какая линейка измеряет точнее?

Принадлежности: стержень; две линейки с сантиметровой шкалой: первая – линейка с одним маленьким штрихом между пронумерованными делениями, вторая – линейка с 9 маленькими делениями между пронумерованными делениями; карандаш; рабочий лист.

Ход работы:

Опыт 1.

1. Измерьте длину стержня первой линейкой (рис. 1.53).
2. Определите цену деления шкалы линейки, погрешность прибора, истинную длину стержня, абсолютную и относительную погрешности измерения.

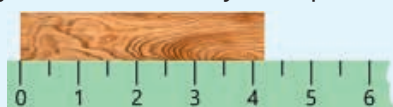


Рисунок 1.53

Опыт 2.

1. Измерьте длину стержня второй линейкой (рис. 1.54).
2. Определите цену деления шкалы линейки, погрешность прибора, истинную длину стержня, а также абсолютную и относительную погрешности.



Рисунок 1.54

Обсудите:

- Чему равна цена деления каждой из линеек?
- Какова разница между истинной длиной стержня, измеренной первой и второй линейками?
- Чему равна абсолютная погрешность (в см) измерения, выполненного первой линейкой?
- Чему равна абсолютная погрешность (в см) измерения, выполненного второй линейкой?
- Какая линейка дала меньшую относительную погрешность измерения? Почему?

Проверьте полученные знания

1. На рисунке 1.55 изображен амперметр с двумя шкалами (верхняя шкала $0 \div 8$ А, нижняя шкала $0 \div 40$ А).

Вопрос 1. Чему равна цена деления для каждой шкалы амперметра?

Вопрос 2. Какова погрешность прибора для каждой шкалы амперметра?

Вопрос 3. Чему равно истинное значение силы тока, протекающего через цепь, при использовании разных шкал?

Вопрос 4. Какова абсолютная погрешность измерения по соответствующей шкале амперметра?

Вопрос 5. Какова относительная погрешность измерения по соответствующей шкале амперметра в процентах?

2. Барометр используется для измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра градуирована в **кПа**, а нижняя – в **мм. рт. ст.** (рис. 1.56). Погрешность измерения давления равна половине цены деления шкалы барометра. Чему равны показания барометра с учётом погрешности измерения?

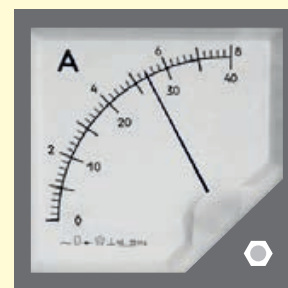


Рисунок 1.55. Амперметр

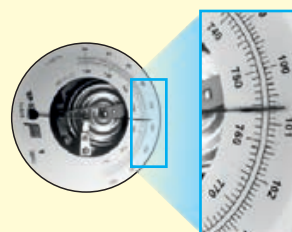


Рисунок 1.56. Барометр

1.2.2 **1** Погрешность измерений: абсолютная и относительная погрешности при многократных последовательных измерениях

В спортивных соревнованиях результат спортсмена подтверждается после многократной проверки и уточнения судьями. Например, дальность прыжка в длину измеряется несколько раз рулеткой, прежде чем объявляется результат.



- Почему результаты спортивных соревнований всегда объявляются после многократных проверок?
- Какой результат берётся за основной после многократных измерений?

Ключевые слова шкала измерительного прибора, цена деления, абсолютная погрешность, относительная погрешность, линия наилучшего соответствия, линии погрешности

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Какие показания термометра следует принимать?

Оборудование: ртутный медицинский термометр.

Ход работы:

1. Прижмите руку к телу и подождите 3 минуты. Затем поместите термометр под мышку, измерьте температуру тела и запишите результат в таблицу 1.

2. Повторите измерения еще дважды. Перед каждым новым измерением интенсивно встряхивайте термометр. Запишите показания термометра в таблицу 1.

Таблица 1.

№	Показания термометра	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность	Примечания
1	36,6°C			
2	37,0°C			
3	36,8°C			



Обсудите:

- Предположим, при трех последовательных измерениях термометр показал 36,6 °C, 37,0 °C и 36,8 °C. Какой из этих результатов вы сочтете наиболее верным?

1. Погрешность повторных измерений одной и той же величины

Часто погрешность метода измерения или погрешность экспериментатора значительно превышает погрешность прибора. В таких случаях результаты измерения одной и той же физической величины при каждом повторе несколько различаются. Поэтому для определения истинного значения величины и абсолютной погрешности измерения необходимо провести серию последовательных повторных измерений, вычислить среднее значение и записать окончательный результат в виде среднего значения с указанием абсолютной погрешности.

Определение истинного значения и абсолютной погрешности величины при последовательных измерениях

Рассмотрим алгоритм этого процесса в физике по аналогии с математикой (таблица 2).

Таблица 2.

Алгоритм определения истинного значения и абсолютной погрешности величины при последовательных измерениях		
№	В МАТЕМАТИКЕ	В ФИЗИКЕ
Шаг 1	Проводится N повторных измерений, в каждом из которых получается значение физической величины $x_1, x_2, \dots, x_N$.	Предположим, что масса металлического цилиндра измеряется с помощью рычажных весов. В результате трех последовательных измерений получены значения массы: $m_1 = 99,2$ г; $m_2 = 98,8$ г и $m_3 = 100,3$ г.
Шаг 2	Истинным значением величины считается среднее арифметическое всех измерений: $x_0 = x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$	Определяется среднее значение измерений: $m_{cp} = \frac{99,2 \text{ г} + 98,8 \text{ г} + 100,3 \text{ г}}{3} \approx 99,4 \text{ г}.$ Это значение принимается за истинное значение массы: $m_0 = m_{cp} = 99,4 \text{ г}.$
Шаг 3	Для каждого измерения находятся абсолютные отклонения от истинного значения величины: $\Delta_1 = x_0 - x_1 $; $\Delta_2 = x_0 - x_2 $; ... , $\Delta_N = x_0 - x_N $.	Находятся абсолютные отклонения от истинного значения величины: $\Delta_1 = 99,4 - 99,2 \text{ г} = 0,2 \text{ г};$ $\Delta_2 = 99,4 - 98,8 \text{ г} = 0,6 \text{ г};$ $\Delta_3 = 99,4 - 100,3 \text{ г} = 0,9 \text{ г}.$
Шаг 4	Среднее арифметическое значение всех абсолютных отклонений определяется по формуле: $\Delta_{cp} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_N}{N}$	Определяется среднее арифметическое значение абсолютных отклонений: $\Delta_{cp} = \frac{0,2 \text{ г} + 0,6 \text{ г} + 0,9 \text{ г}}{3} \approx 0,57 \text{ г}.$
Шаг 5	Полученное значение Δ_{cp} сравнивают с погрешностью прибора (d). За абсолютную погрешность принимают большее из этих двух значений: $\Delta x = \Delta_{cp} + d.$	Предположим, что приборная погрешность весов равна $d = 0,05$ г. Видно, что среднее значение абсолютных отклонений больше погрешности: $\Delta x = \Delta_{cp} + d = (0,57 + 0,05) \text{ г}.$
Шаг 6	Записывается результат повторных последовательных измерений: $x = x_0 \pm \Delta x.$	Таким образом, результат последовательно повторяющихся измерений массы тела можно написать следующим образом: $m = m_0 \pm \Delta m, \quad m = (99,4 \pm 0,57) \text{ г}.$
Шаг 7	Определяется относительная погрешность: $\delta = \frac{\Delta_{cp}}{x_0} \cdot 100 \text{ \%}.$	Определяется относительная погрешность измерения: $\delta = \frac{\Delta_{cp}}{m_0} \cdot 100 \text{ \%}, \quad \delta = \frac{0,57 \text{ г}}{99,4 \text{ г}} \cdot 100 \text{ \%} \approx 0,57 \text{ \%}.$

2. Представление результатов эксперимента

Как вы уже знаете, результат эксперимента принято записывать в следующем виде:

$$a = a_0 \pm \Delta a.$$

Здесь a_0 – истинное значение измеряемой величины, Δa – ее абсолютная погрешность. Выше мы рассмотрели, как найти результат прямого измерения. Результат косвенного

измерения зависит от математических операций, выполняемых при подстановке в формулу величин, полученных прямым измерением. Они следующие:

Погрешность при сложении величин

Предположим, что результат прямого измерения величин a и b следующий:

$$a = a_0 + \Delta a \text{ и } b = b_0 + \Delta b.$$

В этом случае абсолютная погрешность суммы этих величин равна сумме их абсолютных погрешностей:

$$\Delta(a + b) = \Delta a + \Delta b.$$

Относительная погрешность при умножении и делении величин

Предположим, что результат прямого измерения величин a и b равен $a = a_0 + \Delta a$ и $b = b_0 + \Delta b$, а их относительные погрешности соответственно равны $\delta_a = \frac{\Delta a}{a_0} \cdot 100\%$ и $\delta_b = \frac{\Delta b}{b_0} \cdot 100\%$. В этом случае относительная погрешность их произведения равна сумме их относительных погрешностей:

$$\delta_{a \cdot b} = \delta_a + \delta_b = \left(\frac{\Delta a}{a_0} + \frac{\Delta b}{b_0} \right) \cdot 100\%. \quad (18)$$

Относительная погрешность отношения этих величин также равна сумме относительных погрешностей этих величин:

$$\delta_{a/b} = \delta_a + \delta_b = \left(\frac{\Delta a}{a_0} + \frac{\Delta b}{b_0} \right) \cdot 100\%. \quad (19)$$

Погрешность при возведении в степень

Если результат прямого измерения величины a равен $a = a_0 + \Delta a$, а ее относительная погрешность равна $\delta_a = \frac{\Delta a}{a_0} \cdot 100\%$, то относительная погрешность a^2 равна удвоенной относительной погрешности этой величины:

$$\delta_{a^2} = 2\delta_a. \quad (20)$$

Относительная погрешность a^3 равна утроенной относительной погрешности этой величины, и, таким образом, относительная погрешность a^n равна n -кратному значению относительной погрешности этой величины:

$$\delta_{a^3} = 3\delta_a; \dots; \delta_{a^n} = n\delta_a.$$

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Три ученика измерили толщину учебника физики линейкой.

Результат оказался следующим:

Лала: 1,8 см;

Ариф: 2,0 см;

Нигяр: 2,1 см.

Несмотря на то, что ученики измеряли одну и ту же книгу, результаты оказались разными.

Как, по-вашему:

чьи измерения верны?

почему результаты оказались разными?

какой метод следует использовать для точного определения «истинной толщины» книги?

1.2.2 ² Погрешность измерений: абсолютная и относительная погрешности при многократных последовательных измерениях

3. Графическое представление погрешности

На рисунке 1.57 изображено множество точек $(x; y)$, выражающих зависимость y от x в системе координат $ХОУ$.

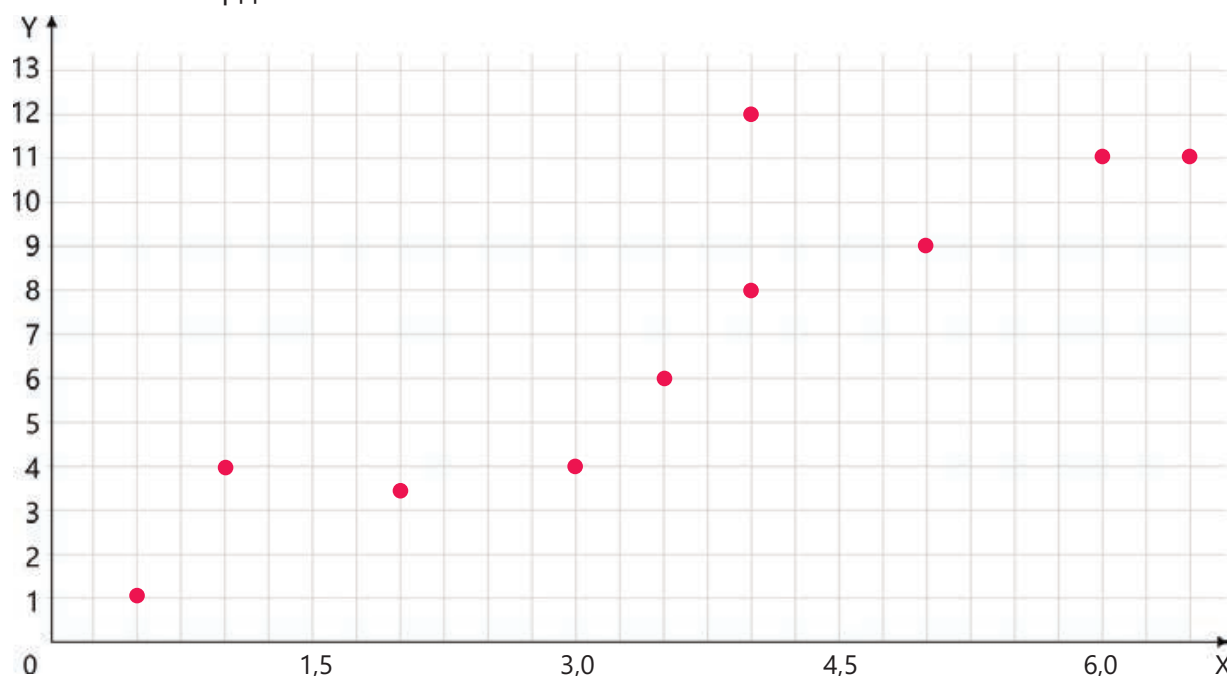


Рисунок 1.57

Систематические погрешности возникают по причинам, связанным с особенностями строения измерительного прибора или устройства. Этот вид погрешности либо постоянно завышает, либо постоянно занижает результат измерения. Одним из основных типов систематических погрешностей является приборная погрешность, которая возникает из-за неправильной калибровки измерительного прибора. Например, если при нормальном атмосферном давлении термометр завышает показания на 2°C , то температура тающего льда будет отображаться как 2°C , а температура кипящей воды – как 102°C . Измерения, проведенные таким термометром, всегда будут давать завышенный результат.

Случайная погрешность – это погрешность, которая может возникнуть из-за невнимательности при измерении. При проведении только одного измерения систематическая или случайная погрешность может быть учтена в расчётах. Однако получение большого количества результатов измерений в ходе эксперимента и их графическое представление погрешностей позволяют провести более точный анализ. То есть на графике лучше видно, насколько погрешности измерений отличаются от фактических значений. С другой стороны, увеличение количества измерений позволяет снизить случайные погрешности.



Как можно изобразить на графике систематические и случайные погрешности результатов измерений?

Предположим, что даны 8 металлических шаров разной массы. Их объём измеряется с помощью мензурки с водой. Объём воды до погружения шара в воду равен V_0 и он поддерживается постоянным в течение эксперимента. m_0 – теоретическое (т.е. рассчитанное по формуле) значение

массы шара. Эксперимент был повторён трижды. В первом эксперименте объёмы V_1 и массы m_1 определяли по изменению уровня воды при погружении шаров, во втором – объёмы V_2 и массы m_2 , а в третьем – объёмы V_3 и массы m_3 .

Таким образом, восемь металлических шаров поочередно помещали в мензурку, их объёмы определяли по изменению уровня воды, а массы – по показаниям весов. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№	$V_1, (\times 10^{-4} \text{ м}^3)$	$V_2, (\times 10^{-4} \text{ м}^3)$	$V_3, (\times 10^{-4} \text{ м}^3)$	$m_1, (\text{кг})$	$m_2, (\text{кг})$	$m_3, (\text{кг})$
1	0,048	0,050	0,049	0,013	0,014	0,013
2	0,103	0,102	0,105	0,028	0,028	0,028
3	0,152	0,151	0,154	0,041	0,041	0,042
4	0,201	0,206	0,203	0,054	0,056	0,055
5	0,252	0,250	0,257	0,068	0,068	0,069
6	0,297	0,301	0,299	0,080	0,081	0,081
7	0,346	0,349	0,348	0,093	0,094	0,094
8	0,401	0,395	0,403	0,108	0,107	0,109

Затем находим среднее значение результатов, полученных при первом, втором и третьем измерениях. Для этого необходимо найти сумму значений объёма и массы для каждой строки и разделить на их количество. В качестве примера рассмотрим расчёты, основанные на данных первой строки таблицы 1:

$$V_{\text{cp}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = \frac{(0,048 + 0,050 + 0,049) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{3} = 0,049 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$m_{\text{cp}} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} = \frac{(0,013 + 0,014 + 0,013) \text{ кг}}{3} = 0,013 \text{ кг}.$$

Абсолютная и относительная погрешности объема соответственно равны:

$$\Delta V = \frac{V_{\text{макс}} - V_{\text{мин}}}{2} = \frac{(0,050 - 0,048) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{2} = 0,001 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{V_{\text{cp}}} \cdot 100\% = \frac{0,001 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{0,049 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3} \cdot 100\% = 2,041\%.$$

Абсолютная и относительная погрешности массы соответственно равны:

$$\Delta m = \frac{m_{\text{макс}} - m_{\text{мин}}}{2} = \frac{0,014 - 0,013 \text{ кг}}{2} = 0,0005 \text{ кг}.$$

$$\delta_m = \frac{\Delta m}{m_{\text{cp}}} \cdot 100\% = \frac{0,0005 \text{ кг}}{0,013 \text{ кг}} \cdot 100\% = 3,85\%.$$

Таблица 2.

№	$V_{\text{ср}} (\times 10^{-4} \text{ м}^3)$	Погрешность объёма		$m_{\text{ср}} (\text{кг})$	Погрешность массы	
		$\Delta V, (\times 10^{-4} \text{ м}^3)$	$\delta_{V_i} (\%)$		$\Delta m, (\text{кг})$	$\delta_{m_i} (\%)$
1	0.049	0,001	2,04	0,0130	0,0005	3,85
2	0.103	0.0015	1,46	0,0280	0,000	0,00
3	0.152	0,0015	1,00	0,0413	0,0005	1,21
4	0.203	0,0025	1,23	0,0550	0,001	1,82
5	0.253	0,0035	1,38	0,0683	0,0005	0,73
6	0.299	0,002	0,67	0,0807	0,0005	0,62
7	0.348	0,0015	0,43	0,0937	0,0005	0,53
8	0.400	0,004	1,00	0,1080	0,001	0,93

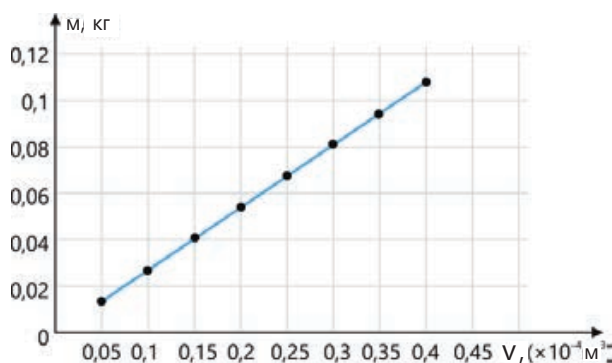


Рисунок 1.58.

График зависимости массы от объёма

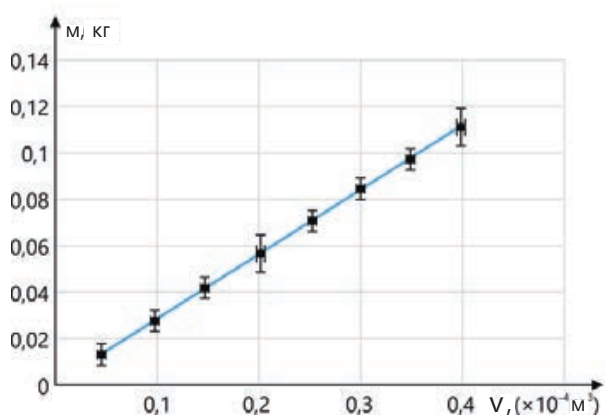


Рисунок 1.59.

Графическое представление ошибок

График строится путём нанесения значений объёма и массы на оси координат. По графику можно рассчитать итоговую погрешность эксперимента. Для этого значения объёма откладываются по оси абсцисс, а значения массы – по оси ординат. Погрешности можно построить для каждой точки графика или автоматически с помощью программы *Excel*.

График, построенный без учёта погрешностей, будет иметь вид, как на рисунке 1.58. Этот график получен путём усреднения расчётов и называется **линией наилучшего соответствия**, поскольку он ближе к истинным значениям.

При добавлении погрешностей график будет выглядеть следующим образом (рис. 1.59). Горизонтальные линии на графике показывают погрешности в значениях объёма, а вертикальные линии – погрешности в значениях массы. Эти линии называются **планками погрешностей**. Например, на рисунке 1.58 значению объёма первой точки, равному $(0,049 \times 10^{-4} \pm 0,0010 \times 10^{-4}) \text{ м}^3$,

соответствует значение $0,0010 \times 10^{-4} \text{ м}^3$, которое указывает длину горизонтальной линии, проведённой от этой точки в положительном и отрицательном направлениях. Аналогичным образом на графике отображается абсолютная погрешность измерения массы.

Примените полученные знания

Какова относительная погрешность в процентах и абсолютная погрешность в м^2 площади поверхности стола?

Задача. Джавид и Лала хотят покрыть поверхность старого домашнего стола тонким листом оргстекла. Для этого они измеряют ширину и длину поверхности стола. Используя линейку с ценой деления 0,1 см, они определяют, что длина поверхности равна 135,2 см, а ширина – 65,1 см.

Вопрос 1. Чему равна площадь поверхности стола?

Вопрос 2. Какова относительная погрешность площади в процентах?

Вопрос 3. Какова абсолютная погрешность площади в м^2 ?

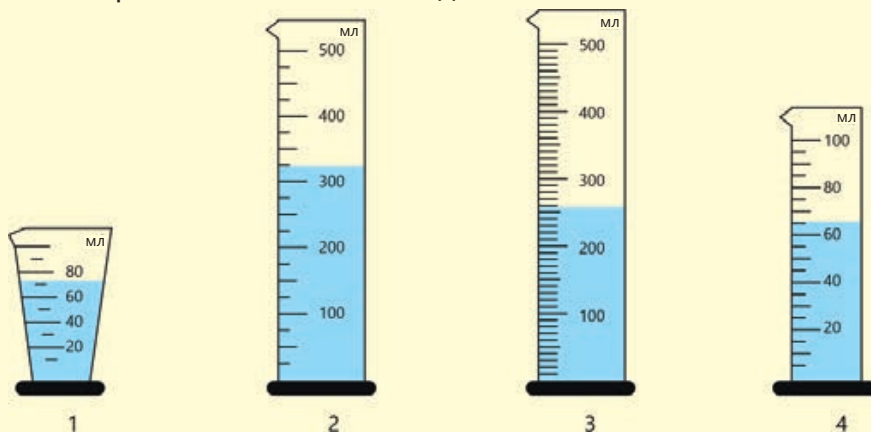
Подсказка. Значение абсолютной погрешности можно найти, используя формулу относительной погрешности: $\Delta S = S \cdot \delta_s$.

Проверьте полученные знания

1. Как рассчитываются абсолютная и относительная погрешности при повторных измерениях одной и той же физической величины?

2. На рисунке 1.60 показаны мензурки с четырьмя различными шкалами.

В мензурки налито разное количество воды.



Вопрос 1. Чему равна цена деления каждой мензурки?

Вопрос 2. Каков объём жидкости в каждой из мензурок?

Вопрос 3. Какая мензурка измеряет объём точнее, а какая — менее точно? Обоснуйте свой ответ.

Вопрос 4. Чему равна абсолютная погрешность измерения объема в каждой из мензурок?

1.3 ЭКСПЕРИМЕНТ В ФИЗИКЕ

- Как и в любой фундаментальной науке, эксперимент сыграл важную роль в развитии физики.
- Задумайтесь: если бы Галилей не провёл эксперимент, сбрасывая предметы разной массы с Пизанской башни, мы бы до сих пор верили в утверждение Аристотеля о том, что "тяжелые тела падают быстрее"? Конечно, нет, но к этому верному выводу мы пришли бы лишь спустя столетия.

Другой вопрос.

- Если бы не классический опыт, проведённый Торичелли с ртутным столбом, поверили бы мы, что атмосферное давление имеет столь высокое численное значение? Безусловно, мы могли бы в это поверить, но, вероятно, доказали бы через несколько сотен лет. Одним словом, эксперименты всегда играли ключевую роль в становлении и развитии физики как науки.

1.3.1 Эксперимент в физике как метод научного исследования

Известен такой исторический факт: в 1583 году итальянский ученый Г.Галилей, находясь в Пизанском соборе, обратил внимание на колебания подвешенной на длинном тросе люстры. Сравнив ритм ее колебаний с биением своего пульса, он заметил: несмотря на то, что амплитуда колебаний люстры постепенно уменьшалась, время, затраченное на одно полное колебание (период колебаний), оставалось неизменным. Позже, путем многочисленных экспериментов с нитяным маятником, Галилей определил, от чего зависят период и частота его колебаний. Он изучал влияние длины нити, массы подвешенного к нему груза, высоты точки подвеса маятника (относительно уровня моря) и амплитуды колебаний.



- **Действительно ли период колебаний нитяного маятника не зависит от амплитуды колебаний?**
- **От каких величин зависит период колебаний нитяного маятника?**

Ключевые слова физический эксперимент, научный метод исследования, наблюдение, научная гипотеза, результат

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Опыт с нитяным маятником

Принадлежности: шар, подвешенный на тонкой нити, секундомер, линейка, штатив с муфтой и держателем.

Ход работы

Опыт 1. Зависит ли период колебаний маятника от амплитуды колебаний?

1. Соберите нитяной маятник длиной 1 м, прикрепив к концу нити шарик. Полученный маятник закрепите на штативе с помощью муфты (рис. 1.61) и нарисуйте таблицу 1 на рабочем листе.



Таблица 1. Опыт с маятником длиной 1 м.

№	A, (см)	N, (число полных колебаний)	t, (с)	T, (с)
1	2	5		
2	4			
3	5			

- Приведите маятник в движение с определенной амплитудой, отклонив его, например, на $A = 2$ см от положения равновесия, и отпустите.
- Включите секундомер, измерьте время t_1 , необходимое для совершения $N = 5$ полных колебаний, и запишите результат в таблицу.
- Повторите эксперимент еще два раза при амплитудах колебания 4 см и 5 см, измерьте соответствующие промежутки времени t_1 и t_2 и запишите их в таблицу.
- Рассчитайте периоды колебаний маятника T_1 , T_2 и T_3 по формуле $T = \frac{t}{N}$ и занесите их в таблицу.

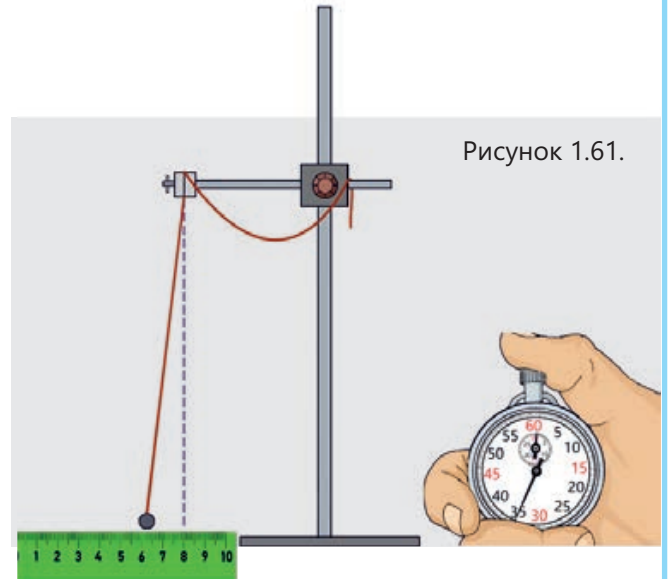


Рисунок 1.61.

Опыт 2. Зависит ли период колебаний нитяного маятника от его длины?

- Эксперимент проводится в следующей последовательности при неизменной начальной амплитуде колебаний (например, 5 см), изменяя только длину нити маятника:
 - приведите в колебательное движение маятник 1 м и измерьте секундомером время t_1 , затраченное на $N = 5$ полных колебаний. Результат запишите в таблицу 2 (таблицу заранее начертите на рабочем листе);
 - увеличивая длину нити маятника до 1,3 м; 1,35 м; 1,4 м, повторите опыт еще три раза; измерьте время t_2 , t_3 и t_4 соответственно и занесите результаты в таблицу.
- Вычислите периоды колебаний нитяного маятника T_1 , T_2 , T_3 и T_4 по формуле $T = \frac{t}{N}$ и запишите их в таблицу.

Таблица 2. Амплитуда колебаний равна 5 см.

№	l, (м)	N, (число полных колебаний)	t, (с)	T, (с)
1	1	5		
2	1,3	5		
3	1,35	5		
4	1,4	5		

- Перенесите таблицу 3 на рабочий лист, вычислите соответствующие отношения и запишите результаты. Определите, существует ли закономерность между отношениями в соответствующем столбце.

Таблица 3. Сравнение отношений.

$\frac{T_2}{T_1} =$	$\frac{T_3}{T_1} =$	$\frac{T_4}{T_1} =$
$\frac{l_2}{l_1} =$	$\frac{l_3}{l_1} =$	$\frac{l_4}{l_1} =$

Обсудите:

- Как изменялся период колебаний маятника при различных значениях амплитуды колебаний в опыте 1?
- Какие переменные величины участвовали в этом эксперименте?
- Как изменение длины нити маятника влияло на период его колебаний в опыте 2?
- Какую закономерность вы обнаружили при сравнении отношений периодов колебаний и отношением длин нитей маятников?
- Что вы «открыли» для себя в результате этих экспериментов?

Чтобы открыть закон физики или сформулировать новую теорию, недостаточно просто выдвинуть гипотезу и устно обосновать её с научной точки зрения. Для получения точного и доказанного результата необходимо строго следовать этапам научного метода.

Научный метод

Учёные используют научный метод для поиска ответов на вопросы, открытия законов и формулирования теорий в науке. *Научный метод – это систематический подход к исследованию проблем и поиску ответов, основанный на логике и доказательствах.* Использование научной методики сводит к минимуму влияние личных мнений или предвзятых взглядов на результат, что обеспечивает высокую точность и надёжность полученных данных. Кроме того, научный метод делает возможным проверку результатов другими учеными, что является основой развития современной науки. Этапы научного метода можно кратко и конкретно представить следующим образом (рис. 1.62).

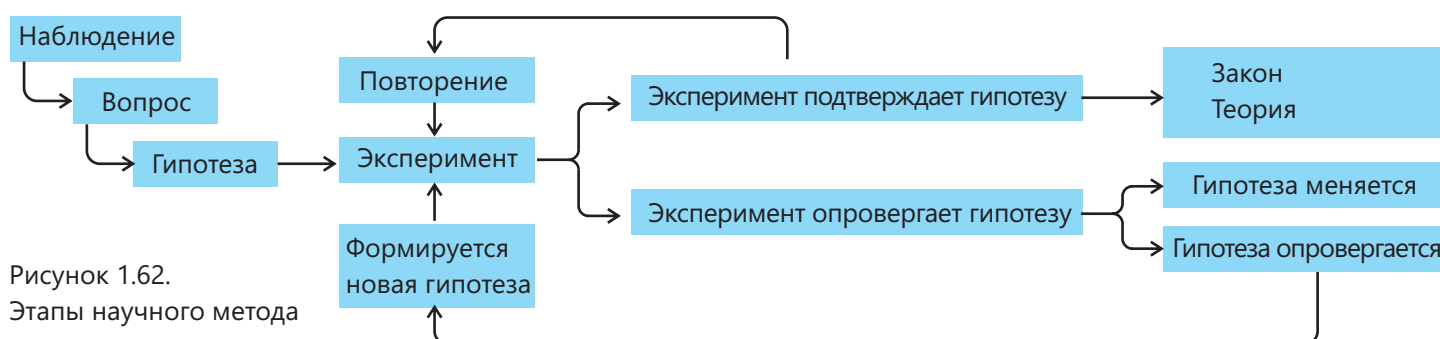


Рисунок 1.62.
Этапы научного метода

На первом этапе данного метода проводятся наблюдения, на их основе формулируются вопросы, подлежащие исследованию, и выдвигаются гипотезы для поиска ответов на них. Выдвигая гипотезу, исследователь может также сделать прогноз о её результате. Однако научная ценность гипотезы и основанного на ней прогноза может быть определена только после её проверки путём эксперимента и наблюдения. После завершения эксперимента полученные данные собираются, анализируются и делаются выводы. Показатели, полученные на этапе анализа, сравниваются с ранее выдвинутыми гипотезами. Если результаты подтверждают гипотезу и те же результаты получаются при повторных экспериментах, то делаются обобщения относительно наблюдаемого явления. Результаты научных исследований представляются научному сообществу различными способами. Обобщение этих результатов может в конечном итоге привести к открытию физических законов. Физические законы возникают в результате многочисленных наблюдений и экспериментов и отражают закономерности, наблюдаемые в явлениях или процессах, регулярно происходящих в природе. Законы физики не ограничиваются практическим применением, они также создают условия для формирования научных теорий. Теории более полно и систематически объясняют причины, механизмы и процессы, лежащие в основе этих законов.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет ставить новые научные вопросы, определять направления дальнейших исследований и углублять наши знания в целом. Это ещё раз подтверждает, что научный метод познания носит циклический и последовательный характер.

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Необходимо решить интересную проблему:

- У кого из ваших одноклассников реакция быстрее – у мальчиков или у девочек?
 - Какой эксперимент вы бы предложили, чтобы точно ответить на этот вопрос?
- Выдвиньте свои гипотезы.

Примените полученные знания

Чья реакция быстрее? Как это определить?

Принадлежности: линейка (30 см), рабочий лист, карандаш, калькулятор.

Ход работы:

1. Первый ученик стоит и держит вертикально линейку на отметке 30 см. Вторым учеником держит открытую ладонь на отметке 0 см линейки (рис. 1.63, а).
2. Первый ученик внезапно, без предупреждения, отпускает линейку.
3. Вторым учеником должен как можно быстрее поймать падающую линейку. Отметить деление, на котором пальцы перехватили линейку (например, 18 см). Это значение считается высотой падения (рис. 1.63, б).
4. Время реакции рассчитывается по следующей формуле:

$$h = \frac{gt^2}{2} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Здесь h – высота падения линейки на поверхность земли, g – ускорение свободного падения.

5. Повторите процесс 3–5 раз для каждого учащегося и вычислите среднее значение времени реакции по формуле $t = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$

Обсудите:

- Чья гипотеза подтвердилась?
- Как вы определили, что гипотеза верна?
- Каково время вашей реакции?
- Какие величины в этом эксперименте были контрольными переменными?
- Какое обобщение можно сделать после этого эксперимента?

Домашнее задание: подготовьте отчёт о вашем эксперименте, учитывая возможные погрешности измерений. Как готовится отчёт?

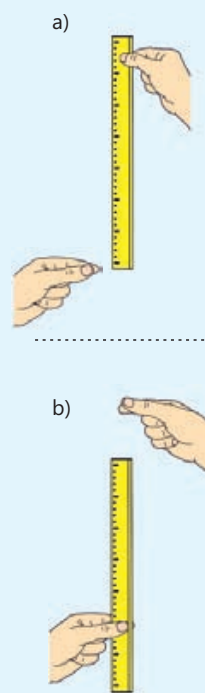


Рисунок 1.63

Проверьте полученные знания

1. На каком этапе научного метода используется эксперимент и какова его цель?
2. Какие преимущества дает науке систематическое применение научного метода?
3. Какая актуальная исследовательская проблема кажется вам наиболее интересной? Сформулируйте научную гипотезу по этой проблеме и предложите способ ее экспериментальной проверки.

1.3.2 Подготовка научного отчета о физическом эксперименте (образец)

После завершения практической работы (эксперимента) по физике необходимо составить отчет. На первый взгляд данная работа может показаться сложной, но это простой процесс, который поможет вам объяснить результаты проведенного эксперимента преподавателю и всем, кому это может быть интересно. Поняв, какие разделы включить в отчёт и какие приёмы письма использовать, вы сможете написать аргументированный отчёт о физическом эксперименте в кратчайшие сроки.

В качестве примера рассмотрим порядок оформления отчёта по физическому эксперименту «Определение ускорения свободного падения». Отчёт обычно состоит из следующих частей:

I. Титульный лист отчёта

На титульном листе указывается следующая информация:

Дата: _____.

Ваше имя и фамилия и имя вашего партнёра: _____

Класс: _____

Название эксперимента: «Определение ускорения свободного падения».



II. Аннотация эксперимента

В этом разделе кратко излагаются цель, гипотеза и основные результаты работы.

Цель. Экспериментально проверить в условиях учебного кабинета, остается ли неизменным численное значение ускорения свободного падения тела (мячика для пинг-понга) при падении с небольших высот, близких к поверхности Земли.

В ходе эксперимента мяч для пинг-понга сбрасывают с разной высоты и измеряют время его падения до поверхности Земли (пола класса) с помощью секундомера. Каждое измерение повторяют не менее трёх раз, среднее время рассчитывают по формуле

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}, \text{ а ускорение свободного падения – по формуле } g = \frac{2h}{t^2}.$$

Научная гипотеза эксперимента

Если тело падает с высот, близких к поверхности Земли, его ускорение свободного падения не изменяется.

Заключение

- Несмотря на погрешности прибора и измерений, использованных в эксперименте, ускорение свободного падения тела, падающего с высот, близких к поверхности Земли, практически не изменилось.
- Проведенные в ходе эксперимента измерения и расчеты, а также график зависимости высоты тела от времени (с учетом относительной погрешности), представляющий собой прямую линию в системе координат, подтвердили справедливость научной гипотезы.

III. Описание хода эксперимента

В этом разделе отчета необходимо перечислить принадлежности, использованные в эксперименте, и подробно описать последовательность действий. Описание должно быть настолько ясным, чтобы читатель, незнакомый с ходом вашей работы, мог точно представить и воспроизвести эксперимент. При наличии рисунков или схем их следует включить в отчет.

Принадлежности: линейка, карандаш, шарик для пинг-понга, секундомер, рабочий лист.

Порядок выполнения:

1. На боковой части стола линейкой измеряются высоты 0,50 м, 1 м и 1,50 м от пола и отмечаются карандашом.
2. Удерживая шарик для пинг-понга на выбранной высоте, отпустите его. В момент начала падения одновременно запустите секундомер. Остановите его, как только шарик коснется пола.
3. Для каждой высоты проведите три замера времени. Занесите полученные данные в таблицу 1.

Среднее значение времени рассчитывается по формуле $t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$.

4. Для каждой высоты ускорение свободного падения вычисляется по формуле $g = \frac{2h}{t^2}$, а результаты записываются в таблицу.

5. Вычисляются абсолютная и относительная погрешности измерений и записываются в таблице 1. При этом усредненное значение полученных значений g принимается за общий результат.

6. Переменные, зависимые и контрольные величины:

- Свободная переменная: высота (h)
- Зависимая переменная: время (t)
- Контрольная переменная: окружающая среда (класс)

IV. Пример выполнения расчетов

Если при анализе данных вы использовали уравнения, в отчете необходимо привести один пример расчета. Даже если в ходе эксперимента уравнение использовалось несколько раз, в отчете достаточно привести один пример этого уравнения.

Также следует указать возможные погрешности, возникшие в ходе эксперимента, и привести пример их расчёта.

Образец. Мячик для пинг-понга бросают с высоты $h = 0,50$ м. Среднее время падения мяча рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{ср}} = \frac{0,36 + 0,34 + 0,35}{3} \text{ с} = 0,35 \text{ с}.$$

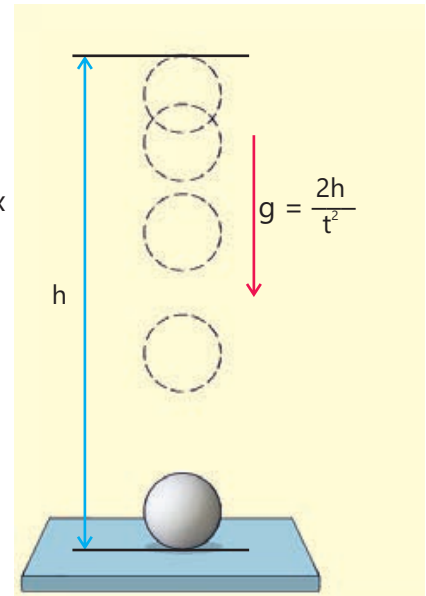
На основании этого значения времени найдем t^2 и, следовательно, g :

$$t^2 = 0,1225 \text{ с}^2$$

$$g = \frac{2h}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,50 \text{ м}}{0,1225 \text{ с}^2} = 8,163 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Возможные ошибки и их расчёт:

- 1) Время реакции экспериментатора является основной ошибкой измерения.
- 2) Возможны небольшие ошибки при измерении высоты.
- 3) Способ бросания шарика также может влиять на конечный результат. Погрешности,



упомянутые в пунктах 1 и 2, поддаются расчету. Метод определения времени реакции экспериментатора был рассмотрен в предыдущей теме; в среднем это значение составляет $\Delta t = \pm 0,02$ с.

Определены погрешности приборов, используемых при измерениях:

- для линейки $\Delta h = \pm 0,005$ м;
- для секундомера $\Delta t = \pm 0,02$ с.

Относительная и абсолютная погрешности, которые следует учитывать при расчёте ускорения свободного падения:

$$\frac{\Delta g}{g} = \left(\frac{\Delta h}{h} + 2 \cdot \frac{\Delta t}{t} \right) \cdot 100\%;$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{0,005}{0,50} \cdot 100\% = 1\% (0,01);$$

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{0,02}{0,35} \cdot 100\% = 5,7\% (0,057);$$

$$\frac{\Delta g}{g} = 1\% + 2 \cdot 5,7\% = 12,4\% (0,124);$$

$$\Delta g = g \cdot 0,124 = 8,163 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,124 \approx 1,015 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

Итого:

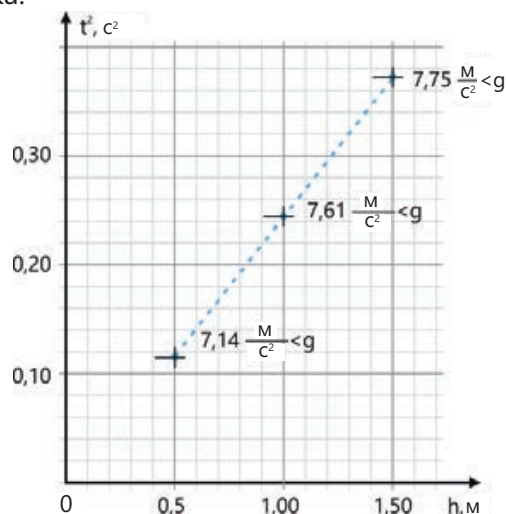
$$g \pm \Delta g, = (8,163 \pm 1,015) \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Таблица 1. Окончательные результаты измерений

$h, (\text{м})$	$t_{\text{ср}}, (\text{с})$	$g, (\frac{\text{м}}{\text{с}^2})$	$\frac{\Delta h}{h}$	$\frac{\Delta t}{t_{\text{ср}}}$	$\frac{\Delta g}{g}$	$\Delta g, (\frac{\text{м}}{\text{с}^2})$	$g_{\text{изм}} \pm \Delta g, (\frac{\text{м}}{\text{с}^2})$
0,50	0,350	8,163	0,010	0,057	0,124	1,015	$8,16 \pm 1,02$
1,00	0,490	8,330	0,005	0,041	0,087	0,722	$8,33 \pm 0,72$
1,50	0,600	8,333	0,003	0,033	0,070	0,583	$8,33 \pm 0,58$

V. Анализ результатов, полученных в ходе эксперимента

1. На основании полученных значений дан график зависимости между соответствующими физическими величинами. Определен наклон графика.



2. Полученные в ходе эксперимента значения ускорения свободного падения сравниваются с его значением $9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ на высотах, близких к поверхности Земли. Необходимо объяснить причины отличия экспериментального результата от известного значения.

VI. Обобщающие выводы и рекомендации

- Среднее значение ускорения свободного падения, рассчитанное на трех высотах, равно $8,28 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
- Экспериментально полученное значение ускорения свободного падения оказалось на 15,6% меньше его значения $9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ на высотах, близких к поверхности Земли.

Предложения по повышению эффективности эксперимента:

1. Использование более точных измерительных приборов, например, электронного секундомера.
2. Определение времени падения с помощью видеозаписи в режиме замедленной видеосъемки.
3. Увеличение числа повторных измерений.
4. Свободное падение шарика для пинг-понга с большей высоты.

ПРОЕКТ

Проведите дома эксперимент «Определение ускорения свободного падения» и оформите отчет.

1.3.3 Роль экспериментов в развитии физики (урок-презентация)

Эксперименты играют ключевую роль в развитии физики. Они позволяют учёным изучать природные явления в наблюдаемых и контролируемых условиях, проверять научные гипотезы, открывать фундаментальные законы физики и формулировать теории. Значение эксперимента проявляется во многих аспектах: в истории науки, в развитии научно-исследовательских методов, в формировании законов и теорий, а также в образовании.

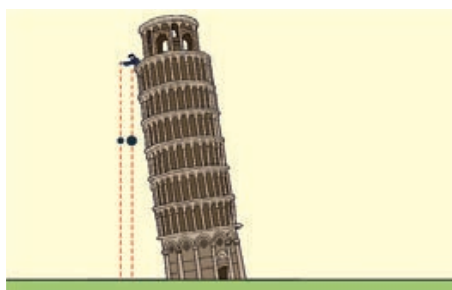


Рисунок 1.64

История развития физики

В качестве примера рассмотрим пять классических экспериментов, которые привели к открытию важнейших физических законов.

1. Закон свободного падения тел

Проведя серию экспериментов на Пизанской башне в 1589 году, Г.Галилей опроверг теорию древнегреческого философа Аристотеля. Аристотель 2000 лет тому назад утверждал, что тяжелые тела падают быстрее легких (рис. 1.64). В ходе экспериментов было обнаружено, что все тела падают с одинаковым ускорением (изменяют скорость одинаково), независимо от их массы.



Рисунок 1.65

2. Экспериментальное открытие сложного состава белого света

Исаак Ньютон в 1666–1667 годах в результате серии экспериментов по рассеянию света определил, что солнечный свет, проходя сквозь узкое отверстие, преломляясь в стеклянной призме, разлагается на отдельные цвета – спектр (рис. 1.65).

3. Открытие волновой природы света

Ньютон полагал, что световой луч – это поток мельчайших частиц (корпускул). В 1803 году английский учёный Томас Юнг провёл классический эксперимент. Он направил свет на непрозрачную пластину с двумя узкими щелями. Если бы идея Ньютона была верна, в центре экрана должны были бы получиться две яркие световые полосы. Однако в ходе эксперимента на экране возникла последовательность светлых и темных полос (рис. 1.66). Это доказывало, что свет распространяется не как поток частиц, а как волны, подвергающиеся интерференции.

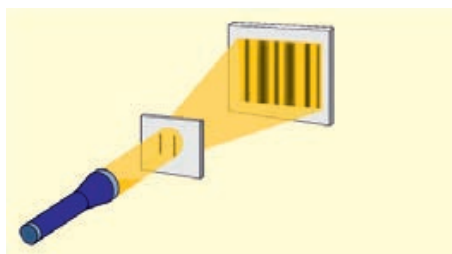


Рисунок 1.66

4. Создание магнитного поля электрическим током

В 1820 году датский учёный Ганс Эрстед провёл классический эксперимент, продемонстрировавший магнитное действие электрического тока и заложивший тем самым основу электромагнетизма. Эксперимент проводился следующим образом: прямой провод располагался параллельно магнитной стрелке компаса. При прохождении электрического тока по проводнику стрелка мгновенно поворачивалась и устанавливалась перпендикулярно ему. При изменении направления тока магнитная стрелка поворачивалась таким образом, чтобы полюса менялись на противоположные (рис. 1.67). Таким образом, Эрстед определил, что электрический ток создаёт вокруг себя магнитное поле.

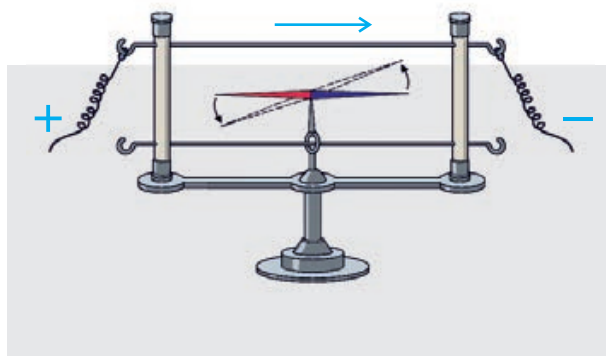


Рисунок 1.67

5. Планетарная модель атома

В 1907–1911 годах английский физик Эрнест Резерфорд в ходе проведенных опытов бомбардировал золотую фольгу α -частицами, что привело к неожиданным результатам. В итоге результаты эксперимента доказали ошибочность модели атома Томсона (см. рис. 1.68, а). Результаты эксперимента были следующими:

- наличие большого свободного пространства внутри атома. Это подтверждалось тем, что подавляющее большинство α -частиц проходило сквозь атом золота, не отклоняясь от первоначальной траектории;
- открытие атомного ядра. Эксперимент показал, что некоторые α -частицы отклоняются на очень большие углы. Это доказывало наличие внутри атома небольшой положительно заряженной частицы, называемой «ядром», поскольку только ядро может отталкивать или изменять траектории, сталкивающихся с ним положительно заряженных α -частиц (рис. 1.68, b);
- возникновение гипотезы планетарной модели атома. На основе эксперимента Резерфордом была предложена новая модель атома. Согласно этой модели, атом состоит из положительно заряженного ядра и электронов, вращающихся вокруг него по различным орбитам. Так как эта модель напоминала движение планет по орбитам вокруг Солнца (рис. 1.68, c), она была названа планетарной моделью атома (рис. 1.68, d).

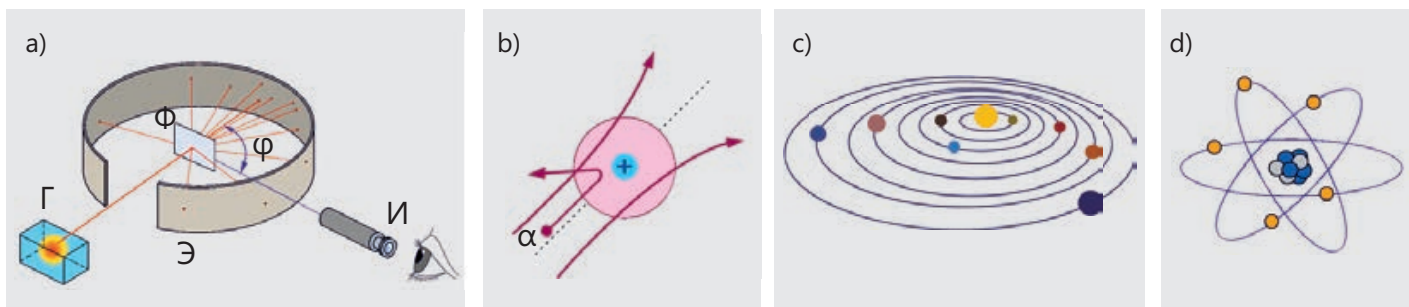


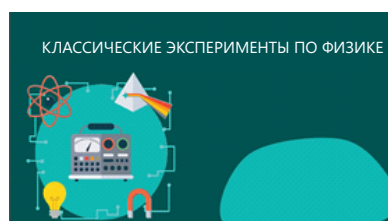
Рисунок 1.68

Формирование законов и теорий

Основой любой физической теории являются конкретные факты – результаты экспериментов. Например, из закона свободного падения Галилея следует, что вблизи поверхности Земли все тела падают с одинаковым ускорением. Этот вывод стал возможен благодаря обобщению множества экспериментальных данных. Эксперименты либо подтверждают, либо опровергают законы. Если эксперимент даёт ожидаемый результат, то закон можно считать верным, в противном случае его необходимо дополнить или полностью пересмотреть.

Образование

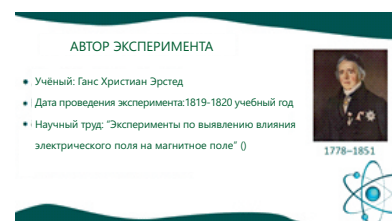
Эксперимент – это связующее звено между теорией и практикой. Проводя эксперименты, вы осваиваете научные методы исследования: учитесь выдвигать гипотезы, планировать исследования, проводить наблюдения и анализировать полученные данные. Эксперименты помогают визуализировать абстрактные понятия и законы природы. Например, изучая законы движения на уроках физики, вы можете самостоятельно исследовать движения различных тел, наблюдая, как меняются их скорость и направление их движения. Ниже представлен пример структуры и содержания электронной презентации (*PowerPoint*), которую вы можете подготовить по теме классического или современного физического эксперимента, сыгравшего важную роль в развитии физики.



Слайд №1



Слайд №2



Слайд №3



Слайд №4



Слайд №5



Слайд №6

ПРОЕКТ

1. Подготовить электронную презентацию в *PowerPoint* на тему «Эксперименты, совершившие революцию в современной физике».
2. Написать эссе на тему «Определение заряда электрона».

Наука, технология, жизнь

Большой адронный коллайдер (БАК)

БАК – это крупнейшая в мире экспериментальная установка и самый сложный научный прибор из когда-либо созданных человеком. Коллайдер расположен в Европейском центре ядерных исследований на границе Швейцарии и Франции.

Основная цель БАК – изучение мельчайших частиц материи. С помощью мощных магнитных полей – установка разгоняет заряженные частицы адроны (в основном протоны) – до скоростей, близких к скорости света, а затем сталкивает их.

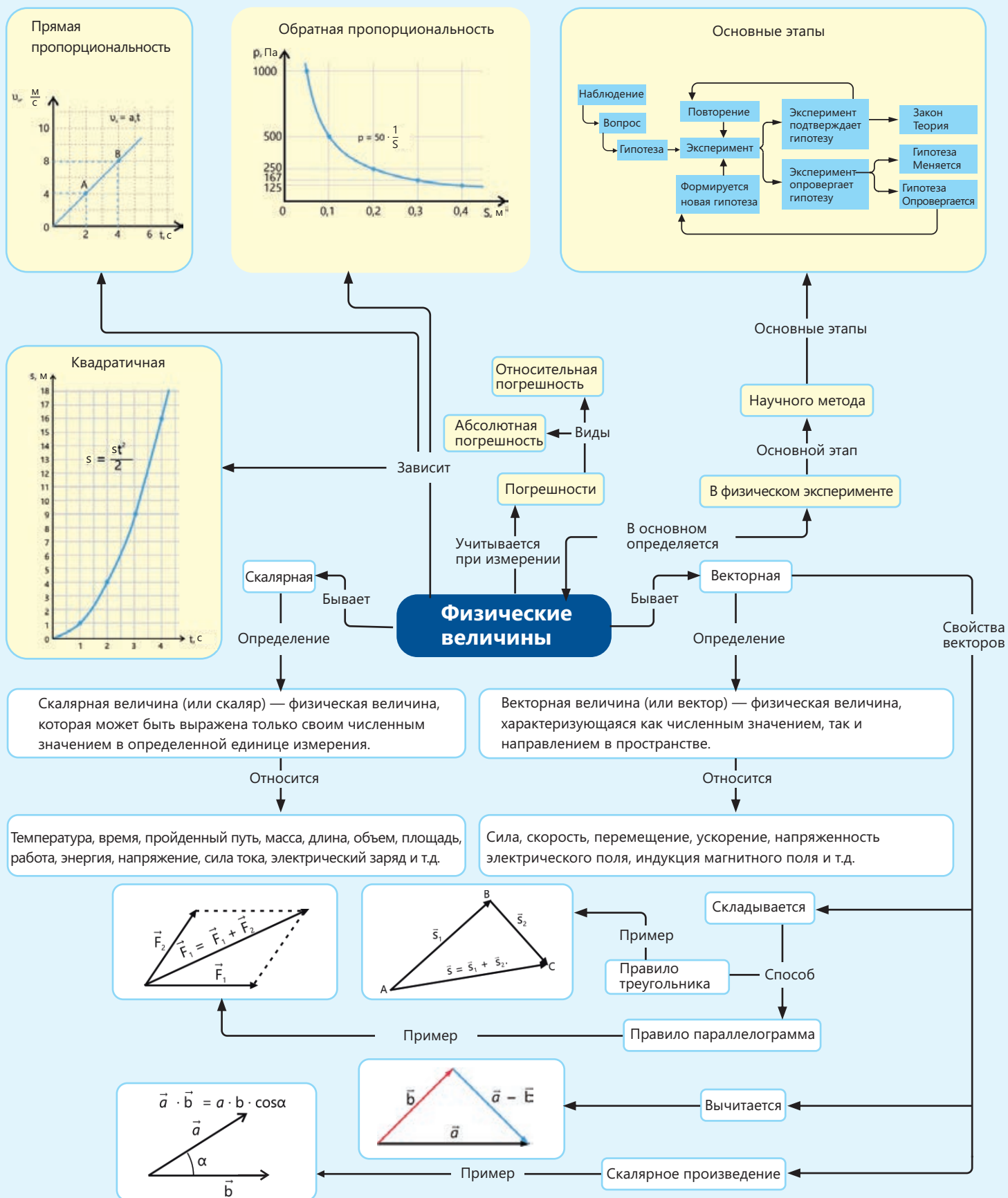
При этих столкновениях высвобождается колоссальная энергия, что позволяет ученым наблюдать рождение новых частиц. Именно так в 2012 году был открыт бозон Хиггса – элементарная частица, ответственная за наличие массы у материи.

Исследования, проводимые на БАК, позволяют проверить теоретические модели, описывающие устройство Вселенной, и в частности – «Стандартную модель физики». Кроме того, эти исследования играют ключевую роль в изучении таких отраслей науки, как антиматерия, тёмная материя и квантовая гравитация.

Технологии, разработанные для БАК, находят широкое применение не только в науке, но и в повседневной жизни: в медицине, информационных технологиях и материаловедении.



Обобщение

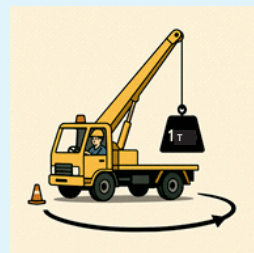


Обобщающие задания

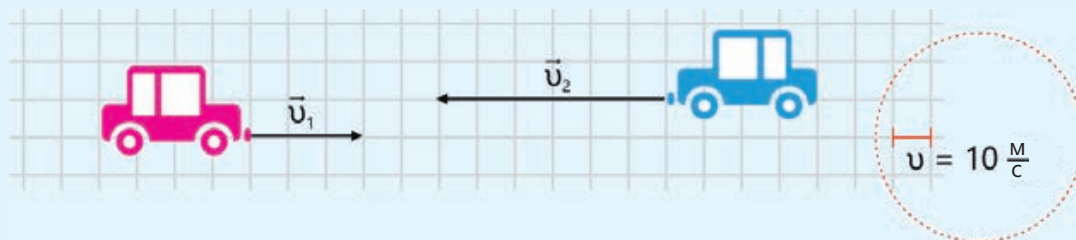
1. Подъёмный кран поднимает груз массой 1 тонна и, описывая им полукруг, останавливается. Груз подвешен так, как показано на рисунке.

Вопрос 1. Согласно рисунку, какие две величины будут скалярными, а какие две – векторными?

Вопрос 1. Какая физическая величина изменится, если кран опустит груз на землю?



2. Два автомобиля движутся навстречу друг другу, как показано на рисунке.



Вопрос 1. Могут ли векторы скоростей автомобилей быть неколлинеарными? Обоснуйте свой ответ.

Вопрос 2. Чему равна скорость первого автомобиля относительно второго?

Вопрос 3. Чему равна скорость второго автомобиля относительно первого?

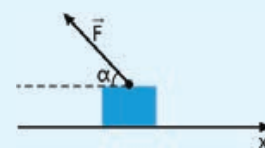
Вопрос 4. Если предположить, что автомобили движутся равноускорено, куда направлены их векторы ускорения и равнодействующей сил?

3. На тело, изображённое на рисунке, действует сила $\vec{F}$.

Вопрос . При перемещении тела в каком направлении работа силы F будет:

а) отрицательной? б) положительной? с) равна нулю?

Обоснуйте свой ответ.



4. Компоненты вектора скорости тела равны: $v_x = 15$ м/с, $v_y = 15$ м/с.

Вопрос 1. В каком направлении движется тело относительно горизонта?

Вопрос 2. Чему равна скорость тела?

5. Тележка переместилась на 8 м в горизонтальной плоскости под действием сил $\vec{F}_{\text{тяги}}$ и $\vec{F}_{\text{трения}}$. Модуль силы тяги равен 120 Н, а угол между вектором силы и направлением перемещения равен 30° . Сила трения, действующая на тележку, равна 50 Н.

Вопрос 1. Какую работу совершила каждая сила в отдельности?

Вопрос 2. Чему равна работа равнодействующей силы, действующей на тележку?

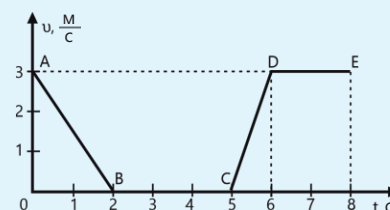
Вопрос 3. Какое свойство скалярного произведения векторов использовалось при решении задачи?

6. На рисунке представлен график зависимости модуля скорости тела, движущегося прямолинейно, от времени t .

Вопрос 1. Сколько секунд тело двигалось равномерно?

Вопрос 2. Какой участок графика соответствует движению с переменной скоростью?

Вопрос 3. Какое утверждение можно сделать о движении тела, описываемого частью ВС графика?



7. На рисунке приведены показания вольтметра, измеряющего электрическое напряжение.



Вопрос 1. Чему равна цена деления шкалы прибора?

Вопрос 2. Какова погрешность прибора?

Вопрос 3. Какой вариант правильно отображает результат измерения электрического напряжения?

- A) $(2,4 \pm 0,2)\text{В}$ B) $(2,4 \pm 0,1)\text{В}$ C) $(4,4 \pm 0,1)\text{В}$
 D) $(4,4 \pm 0,2)\text{В}$ E) $(4,8 \pm 0,2)\text{В}$

8. Измеренные ширина и длина обложки книги равны $(26 \pm 0,5)$ см и $(22 \pm 0,5)$ см соответственно.

Вопрос 1. Являются погрешности этого измерения случайными или систематическими?

Вопрос 2. Какова абсолютная погрешность суммы ширины и длины книги?

Вопрос 3. Какова абсолютная погрешность разности длины и ширины книги?

Вопрос 4. Каковы абсолютная и относительная погрешности площади одной обложки книги?

Вопрос 5. Каковы абсолютная и относительная погрешности площади обеих обложек книги?

9. Начертите окружность радиусом R.

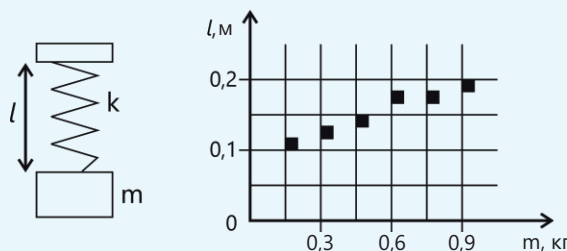
Вопрос 1. Как рассчитать абсолютную и относительную погрешности длины окружности?

Вопрос 2. Как рассчитать абсолютную и относительную погрешности площади окружности?

10. На графике представлены результаты измерения длины пружины (l) при различных значениях массы (m) подвешенных к ней грузов.

Погрешность измерения массы равна $\Delta m = \pm 0,01$ кг, а погрешность измерения длины — $\Delta l = \pm 0,01$ м.

Вопрос. Какие два утверждения соответствуют результатам этих измерений ($g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$)?



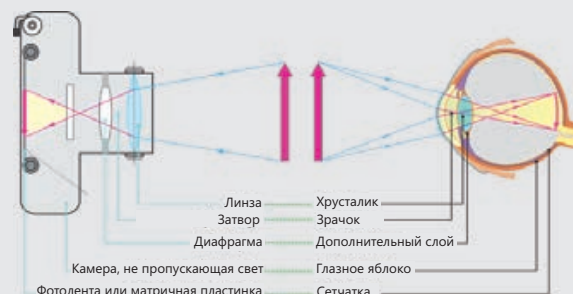
- 1) Жёсткость пружины равна $90 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.
- 2) При подвешивании к пружине груза массой 450 г пружина растягивается на 5 см.
- 3) Жёсткость пружины равна $75 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.
- 4) При подвешивании к пружине груза массой 900 г пружина растягивается на 15 см.
- 5) Увеличение массы груза не влияет на длину пружины.

Раздел 2

Геометрическая оптика

Оптика (греч. *optike* – "наука о видимом") – это раздел физики, изучающий природу света, закономерности его распространения и взаимодействия с веществом. Раздел оптики, в котором распространение, отражение и преломление света рассматриваются на основе модели светового луча, а также изучаются принципы работы оптических приборов, называется геометрической оптикой.

- Сегодня оптические приборы – неотъемлемая часть жизни и деятельности человека. Именно они позволяют нам видеть то, что мы не видим, освещают тьму и приближают к нашим глазам планеты и другие небесные тела, находящиеся за миллионы километров. Наши глаза также являются естественной оптической системой. Именно через них мы получаем более 80% информации, получаемой нашими органами чувств.



- 1. Какие элементы оптических систем, включая глаз, обеспечивают построение изображений предметов?
- 2. На каких физических законах основан принцип действия оптических систем?
- 3. Какие примеры применения этих законов вы встречаете в повседневной жизни и в природных явлениях?

Из раздела вы узнаете

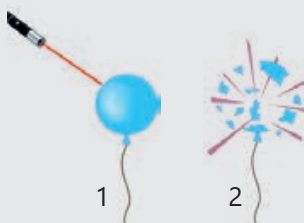
- Вы поймете, как, формулируются законы геометрической оптики и как их применять, используя модель светового луча.
- Вы научитесь объяснять возникновение солнечных и лунных затмений, опираясь на законы образования тени и полутени.
- Вы научитесь определять, по каким закономерностям строятся изображения в плоских и сферических зеркалах, и их геометрические размеры и положение.
- Вы изучите, в чем заключается закон преломления света на границе двух прозрачных сред и научитесь сравнивать преломленный луч с отраженным.
- Вы научитесь определять скорость распространения света в различных прозрачных средах, зная показатели преломления сред и вакуума.
- Вы научитесь объяснять причину появления радуги и сможете экспериментально доказать, исходя из модели "белого света", что свет имеет сложный состав.
- Вы узнаете, на какие типы делятся линзы, каковы теоретические основы получения изображений в них и как проверить эти знания на практике.
- Вы научитесь объяснять, почему очки близорукого человека не могут подходить всем людям, и в чем заключаются физические принципы работы различных оптических приборов.

2.1 СВЕТОВЫЕ ЛУЧИ

- В геометрической оптике световой луч – это геометрическая модель, показывающая направление распространения световой энергии. Другими словами, световой луч – это узкий пучок света. Некоторые свойства световых лучей приведены ниже.
- В прозрачной и однородной (т.е. имеющей одинаковый состав) среде световые лучи распространяются прямолинейно. Примерами прозрачных и оптически однородных сред являются равномерно прогретый воздух, чистая вода и стекло без примесей.
- Если однородность среды нарушается, закон прямолинейного распространения света перестает действовать. Например, на границе раздела двух прозрачных сред световой луч разделяется на две части: отраженный и преломленный.
- Если оптические свойства среды изменяются от точки к точке, траектория светового луча становится криволинейной. Это происходит не только тогда, когда световой луч падает перпендикулярно границе среды.

2.1.1 Представления о природе света

Если направить луч лазерного фонарика на поверхность надутого резинового шарика, то спустя очень короткое время мы увидим, как шарик лопнет.



- **Световой луч кажется безобидным, но почему же тогда лопнул шарик?**
- **Что переносится световым лучом?**

Ключевые слова

свет, корпускула, природа света, действие света



Евклид
(326–265 годы до н.э.)

Природа света

Современные представления о природе света формировались на протяжении многих веков, проходя через этапы теоретического осмысления и практических открытий. Первое основополагающее учение о свете принадлежит древнегреческому философу Евклиду (IV–III вв. до н.э.) Так, он выдвинул идею о том, что световой луч состоит из потока корпускул (лат. corpusculum – “частица”). Евклид заложил основы геометрической оптики, дав теоретическое объяснение законов прямолинейного распространения, отражения и преломления света. В средние века философы мусульманского Востока также придерживались идеи о корпускулярной природе света. Одним из философов, которого в истории науки

называют "отцом оптики", был Хасан ибн аль-Хайсам (965–1039), известный в Европе как Альхазен. По мнению ибн аль-Хайсама, свет распространяется прямолинейно и попадает в глаз в виде потока мельчайших частиц. Философ первым описал физиологическое строение глаза, объяснил физические основы зрения и описал новые оптические приборы, которые он изобрел.

Одним из приборов, изобретённых ибн Хайсамом, стал первый прототип фотоаппарата – камера-обскура (рис. 2.1).



Хасан ибн аль-Хайсам
(Альхазен, 965–1039)

Представления о корпускулярной природе света получили дальнейшее теоретическое развитие в конце XVII века в трудах английского учёного И.Ньютона (1642–1727). Согласно теории, сформулированной Ньютоном, свет – это поток частиц, испускаемых источником и распространяющихся в пространстве с огромной скоростью, перенося энергию. Корпускулярная природа света объясняет некоторые его действия и законы. Примерами таких законов являются законы прямолинейного распространения света и преломления света на границе двух сред, взаимодействие света с веществом и излучение абсолютно чёрного тела. Однако, в отличие от потоков обычных частиц, световые лучи не влияют друг на друга при пересечении.

Эксперимент показывает, что при прохождении различных световых лучей через одну и ту же точку пространства они не смешиваются, не меняют своего направления и не изменяют свою энергию (рис. 2.2). Подобная независимость друг от друга характерна и для волн: например, звуковые волны в воздухе или волны на поверхности воды проходят друг сквозь друга, продолжая свой путь без изменений (рис. 2.3). Опираясь на эти факты, голландский учёный Христиан Гюйгенс (1629–1695) выдвинул гипотезу о волновой природе света.

Рис. 2.1. Камера-обскура Хасана ибн аль-Хайсама
<https://ru.pinterest.com/pin/719450109205889586/>

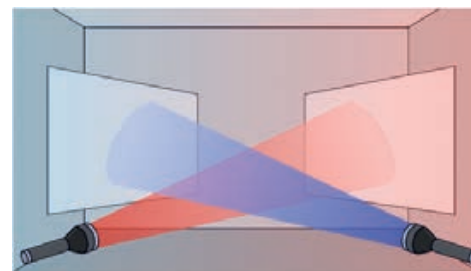


Рисунок 2.2. Независимое друг от друга распространение световых лучей

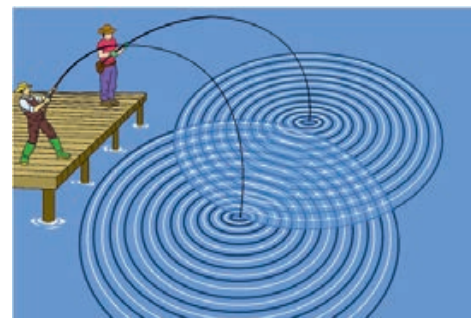


Рисунок 2.3. Две волны, распространяющиеся независимо друг от друга по поверхности воды

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Приведите по три примера естественных и искусственных источников света.

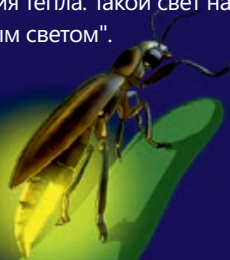
Согласно гипотезе Гюйгенса, свет — это волна, распространяющаяся в эфире, особой теоретической среде, заполняющей всё пространство и проникающей в тела. Если частица начинает колебаться в любой точке эфира, это колебание передаётся соседним частицам, и возникает волна в эфире, распространяющаяся с огромной скоростью в пространстве. Центром этой волны является частица, которая первой начала колебаться. В середине XIX века теория электромагнитного поля английского ученого Джеймса Клерка Максвелла (1831–1879) и экспериментальное открытие электромагнитных волн немецким физиком Генрихом Герцем (1857–1894), а также установление того факта, что скорость электромагнитных волн совпадает со скоростью света, еще больше развили идею о волновой природе света.

В результате многочисленных последующих экспериментов было установлено, что видимый свет представляет собой электромагнитную волну с частотой в диапазоне $(4 \div 7,5) \cdot 10^{14}$ Гц и длиной волны от 380 до 760 нм по шкале классификации электромагнитных волн в физике. Волновая природа света объясняет такие явления, как дифракция, интерференция, поляризация и дисперсия, а также законы отражения и преломления света. Таким образом, в результате многовековых теоретических и практических исследований было установлено, что световое излучение это процесс переноса энергии. При этом перенос энергии происходит как за счёт движения потока частиц, так и за счёт распространения волн. Соответственно, в современной физике принято считать, что свет имеет двойственную природу. Одни световые явления объясняются только корпускулярной природой света, другие – только волновой, а некоторые – сочетанием обеих теорий.

Знаете ли вы?

Ученые подробно изучили светлячков. Было обнаружено, что свет, излучаемый

насекомыми, – это естественный процесс, называемый биолюминесценцией. В ходе этого процесса в организме насекомого происходит химическая реакция. В реакции участвуют люциферин (органическое соединение), люцифераза (фермент) и кислород. В результате взаимодействия этих веществ происходит световое излучение без выделения тепла. Такой свет называется "холодным светом".



Действие света

Как уже упоминалось выше, электромагнитные волны в диапазоне длин волн 380÷760 нм по шкале классификации электромагнитных волн оказывают визуальное воздействие на глаз и поэтому называются **видимым светом**. Благодаря способности глаза воспринимать это излучение мы видим как сами источники света, такие как Солнце, звёзды, огонь, электрическая лампа, так и освещенные ими предметы – небо и землю, море и облака, Луну и планеты на небе, деревья и дома, собственное отражение в зеркале и окружающих людей. Свет также оказывает **тепловое** действие. Например, мы не только видим свет солнечных лучей и пламя камина глазами, но и чувствуем их тепловое воздействие кожей. Благодаря тепловому действию солнечной энергии происходит испарение воды с поверхности водоёмов на поверхности Земли. В результате запускается "воздушная машина" – глобальный круговорот воды в природе, обеспечивающий существование жизни на нашей планете. Это порождает непрерывные потоки облаков, ветер, осадки, течение рек и океанов (рис. 2.4).

Одним из действий света является его **химическое** действие. Под воздействием солнечного света в листьях и стеблях растений происходит химическая реакция, называемая **фотосинтезом**. В процессе фотосинтеза растения поглощают углекислый газ из атмосферы и взамен вырабатывают кислород и органические вещества, жизненно важные для живых существ.

Свет также обладает **электрическим** действием. Он способен создавать электрический ток, выбивая электроны из вещества и переводя связанные электроны в свободное состояние.

Явление испускания электронов веществом под действием света в физике называется **фотоэффектом**.

Электрическое действие света используется в фотоэлементах солнечных батарей, цифровых фотоаппаратах и видеокамерах.

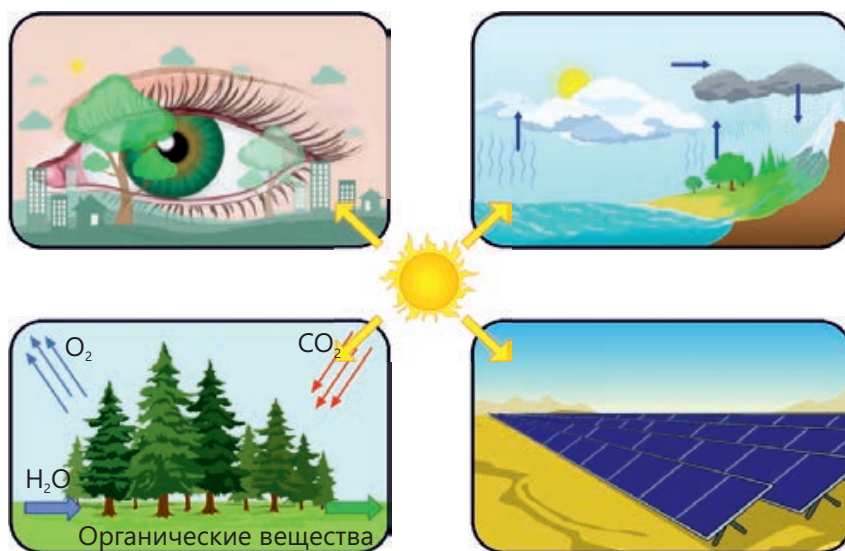


Рисунок 2.4. Влияние солнечного света

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Какое действие света сделало невидимую надпись видимой?

Принадлежности: лимон, блюдце, ватная палочка, лист белой бумаги формата А5, свеча, зажигалка.

ВНИМАНИЕ!

В целях безопасности постоянно перемещайте бумагу над пламенем, чтобы предотвратить ее возгорание.



Ход работы:

1. Разрежьте лимон пополам и выжмите его сок в блюдце.
2. Окуните ватную палочку в лимонный сок и напишите на бумаге слово или короткое предложение.
3. Подождите, пока надпись высохнет. По мере высыхания лимонный сок станет бесцветным и надпись исчезнет.
4. Медленно перемещайте бумагу над пламенем свечи в том месте, где была сделана надпись, справа налево. Спустя некоторое время лимонный сок начнет темнеть и надпись начнет проявляться.

Обсудите:

- Какое действие (или действия) света сделали невидимое секретное слово, написанное вами на бумаге, видимым? Объясните свой ответ.

Проверьте полученные знания

1. Лала направляет солнечный луч с помощью зеркала на стену и получает "солнечный зайчик". В этот момент её одноклассник Агиль говорит: "Ты создала новый источник света".

Вопрос: Можно ли считать зеркало источником света?

2. Адиль достал кассету из своего старого фотоаппарата и рассматривает её. От отца он узнал, что в этой кассете находится фотоплёнка. Когда лучи света проходят через объектив фотоаппарата и попадают на фотоплёнку, она темнеет, и получается фотография. Адиль задумался: "Интересно, на каком эффекте света основано это явление?" Какой ответ вы бы выбрали, чтобы помочь Адилью?

- A) Тепловое действие света
- B) Химическое действие света
- C) Фотоэлектрическое действие света
- D) Видимое действие света
- E) Все перечисленные эффекты света

3. В Австралии с 1987 года проводится чемпионат мира по гонкам на автомобилях, использующих солнечные батареи. Протяженность маршрута составляет более 3022 километров. Начало маршрута находится в городе Дарвин на севере Австралии и тянется до города Аделаида, расположенного на юге. В соревнованиях WSC участвуют многие университеты, корпорации и школьные команды со всего мира. Команда Nuna из Делфтского технического университета (Нидерланды) на своих автомобилях Nuna выиграла семь из десяти гонок с 2001 года.

Вопрос 1.
На каком действии света основан принцип работы солнечной батареи?

Вопрос 2.
Какую природу света подтверждает этот факт?

2.1.2 Определение скорости света

Глядя на звёздное небо, вы, вероятно, даже не задумывались о том, что некоторых из этих звезд уже не существуют. Более того, вы даже не знаете, что те звезды, которыми наши предки восхищались несколько поколений назад, могли давно погаснуть, хотя мы продолжаем видеть их свет.



- Как может быть так, что звезда светит, мы ее видим, но самой звезды уже нет там, где нам кажется?

Определение скорости света астрономическим методом

Несмотря на то, что электромагнитные волны различаются по частоте и диапазону длин волн, скорость их распространения в вакууме одинакова. Эта скорость называется **скоростью света**, и она огромна и в вакууме равна $\approx 300\,000$ км/с. Свету с этой скоростью достаточно всего 0,13 с, чтобы "обогнуть" Землю.

Как была измерена скорость света?

Скорость света была впервые измерена в 1676 году датским астрономом Олафом Рёмером (1644–1710). Он определил ее, изучая затмения спутника Юпитера – Ио. Астроном сначала зафиксировал время выхода Ио из тени Юпитера, в момент когда Земля находилась в ближайшей к орбите Юпитера точке (точка 1). Через несколько месяцев он повторил наблюдение, когда Земля находилась в самой дальней точке своей орбиты относительно Юпитера (точка 2). Рёмер заметил, что во втором случае выход Ио из тени Юпитера был задержан на 22 минуты (рис. 2.5). Следовательно, чтобы свет от спутника Ио достиг Земли в точке 2, он должен пройти дополнительное расстояние, равное диаметру земной орбиты, т.е. D . Согласно неточным расчетам, сделанным в XVII веке, диаметр земной орбиты был равен $D \approx 2,84 \times 10^8$ км. Таким образом, из своих расчетов Рёмер получает исторически важное очень большое конечное значение скорости света:

$$c = \frac{D}{t} = \frac{2,84 \cdot 10^8 \text{ км}}{22 \text{ мин}} = \frac{2,84 \cdot 10^8 \text{ км}}{1320 \text{ с}} \approx 215\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 2,15 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$c \approx 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 2,15 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Здесь c — скорость распространения света.

Ключевые слова

скорость света, световой год, максимальная скорость

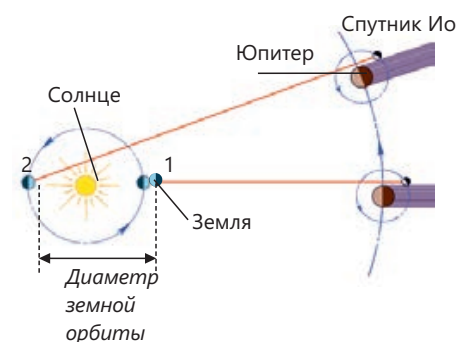


Рис.2.5. Определение скорости света астрономическим методом

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Если бы удалось построить ракету, способную двигаться со скоростью, близкой к скорости света, смогли бы мы безопасно запустить её в космос? Обоснуйте свой ответ.

Знаете ли вы?

Точное определение скорости света было получено учеными во второй половине XX века. Это стало возможным благодаря созданию мазеров и лазеров, обладающих исключительной стабильностью частоты излучения. К началу 1970-х годов погрешность измерений удалось снизить до 1 км/с. В результате в 1975 году на XV Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение считать значение скорости света в вакууме равным точно **299 792,458 км/с**.

• *Скорость света в вакууме — это максимально возможная скорость в природе. Эта скорость не зависит от выбора инерциальной системы отсчета.*

Скорость света в воздухе мало чем отличается от его скорости в вакууме. Однако скорость света в других средах отличается от его скорости в вакууме, например:

$$v_{\text{вода}} \approx 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v_{\text{стекло}} \approx 2,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v_{\text{алмаз}} \approx 1,25 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Свет распространяется на расстояния в несколько километров за очень короткое время, например, за тысячную долю секунды. Именно поэтому, если расстояние между источником света и приемником мало, нам кажется, что свет распространяется мгновенно. Однако свет от далеких звезд достигает нас через тысячи, даже миллионы лет. Поэтому возможно, что звезды, свет которой достиг нас, уже не существует или она была разрушена. В звездной астрономии для измерения огромных расстояний используют единицу длины - световой год.

• *Световой год – это расстояние, которое луч света в вакууме проходит за один год.*

Примените полученные знания**Эксперимент Майкельсона по определению скорости света**

Американский учёный Альберт Майкельсон (1852–1931) в период с 1924 по 1927 год провел серию экспериментов, используя разработанную им оптическую установку. Упрощённая схема устройства показана на рисунке 2.6. Таким образом, источник света S, вращающееся восьмигранное зеркало A (призма) и окуляр C были установлены на горе Уилсон недалеко от Лос-Анджелеса. Система отражающих зеркал B была установлена на горе Сан-Антонио, в 35,2 км от этой системы.

Свет сначала падает на призму, вращаемую ротором. Скорость вращения призмы постепенно увеличивается до тех пор, пока в окуляре не появится изображение источника света. Это возможно только в том случае, если призма поворачивается на одну сторону, то есть боковая поверхность призмы поворачивается на 1/8 полного цикла, прежде чем свет пройдет расстояние между призмой и зеркалами и вернется.

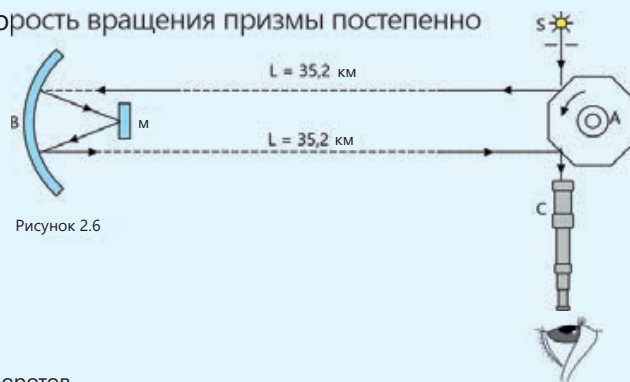


Рисунок 2.6

Свет виден, когда призма вращается с частотой $528 \frac{\text{оборотов}}{\text{секунду}}$. Таким образом, на основании этих данных Майкельсон смог вычислить скорость света.

1. **Какое значение скорости света получил Майкельсон?**
2. **Какую формулу он использовал для расчета?**

Подсказка. Используйте следующие данные и математические выражения, полученные в ходе эксперимента:

Дано	Решение
$L = 35,2 \text{ км} = 35\,200 \text{ м},$ $v = 528 \frac{\text{оборотов}}{\text{секунду}},$ $\Delta\varphi = \frac{1}{8} \cdot 2\pi = \frac{\pi}{4}.$ $c = ?$	Скорость света: $c = \frac{2L}{t}.$ Здесь t – время, за которое свет проходит расстояние L и возвращается. Оно определяется по формуле для угла поворота и угловой скорости призмы, а именно: $t = \frac{\Delta\varphi}{\omega}.$ Здесь ω – угол поворота призмы, т.е. $\omega = 2\pi v.$
Вычисления	
Таким образом, Майкельсон рассчитал скорость света, подставив все полученные значения в итоговую формулу.	

Проверьте полученные знания

1. Лала и Адиль, проводящие научные исследования, готовят интересные задания, связанные с космосом для расчета расстояния с помощью скорости света. Они знают, что скорость света в вакууме составляет примерно 300 000 км/с. Помогите им выполнить следующие вычисления:

Вопрос 1. Лала узнает из Интернета, что свет от Луны доходит до Земли за 1,28 секунды. На основе этой информации она хочет рассчитать расстояние от Луны до Земли. Как вы думаете, сможет ли Лала рассчитать это расстояние?

Вопрос 2. Адиль узнает, что среднее расстояние от Солнца до Марса равно $228 \cdot 10^6$ км. Он хочет рассчитать, сколько времени требуется солнечным лучам, чтобы достичь поверхности Марса. Какое значение времени получит Адиль в результате своих вычислений?

2. На уроке учитель просит учеников ответить на следующие вопросы о звезде Gliese 667 (MLO 4), используя значение скорости света.

Вопрос 1. Звезда Gliese 667 (MLO 4) находится на расстоянии 22,7 световых лет от Земли. Чему равно это расстояние в километрах?

Вопрос 2. Сколько времени требуется свету, излучаемому звездой Gliese 667 (MLO 4), чтобы достичь Земли?

3. Солнце находится на расстоянии 150 000 000 км от Земли. Однако свет, отраженный от Сатурна, достигает Земли в 9,3 раза позже, чем от Солнца.

Вопрос 1. На каком расстоянии от Земли находится Сатурн в км?

Вопрос 2. Сколько примерно времени потребуется самолету, чтобы долететь до Сатурна (средняя скорость самолета равна 900 км/ч)?

2.1.3 Закон прямолинейного распространения света

Длина тени фонарного столба на земле равна 6,5 метра, а длина тени Нигяр равна 2 метра.



- Если известно, что рост Нигяр равен 1,5 м, то как можно определить высоту столба?
- На каком свойстве света основано образование тени?

Ключевые слова

полная тень, полутень, точечный источник света, солнечное затмение, лунное затмение, прямолинейное распространение

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Изучение явления распространения света.

Принадлежности: источник света, экран с вертикальной щелью, белый лист формата А4, карандаш, линейка.

Ход работы:

1. Поместите экран с вертикальной щелью на белый лист бумаги на пути светового луча от источника. Проследите за траекторией луча за экраном.
2. Отметьте карандашом четыре точки на листе: точку А около источника света, точку В около щели в экране и точки С и D на световом луче за экраном (рис. 2.7).
3. Уберите экран. Проведите прямую линию сначала через точки А и В, затем через точки С и D.

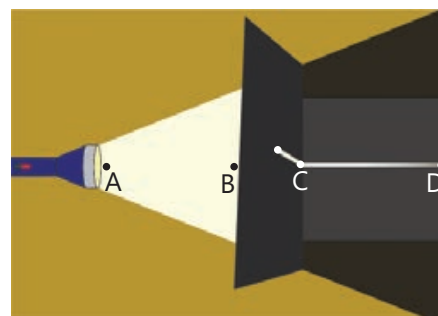


Рисунок 2.7

Обсудите:

1. Является ли прямая CD продолжением отрезка АВ?
2. К какому выводу о распространении света в однородной среде можно прийти из опыта?

?

- Что такое луч света?
- При каких условиях лучи света видимы, а при каких – невидимы?

Световой луч рассматривается как модель узкого пучка света. Примером такого пучка может служить свет от лазерного фонарика (рис. 2.8). Понятие светового луча позволяет схематично изображать распространение света в разных направлениях в виде прямых линий со стрелками. *Световой луч – это линия, вдоль которой распространяется световая энергия.*

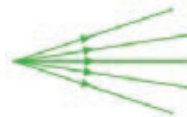
Световые лучи могут быть параллельными, дивергентными (расходящимися) и конвергентными (сходящимися) (рис. 2.9).



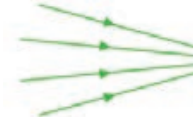
Рисунок 2.8



Параллельные лучи



Дивергентные лучи



Конвергентные лучи

Рисунок 2.9

Световые лучи видны только в том случае, если среда, в которой они распространяются, содержит частицы вещества (например, атомы и молекулы различных газов, капли воды, частицы дыма и пыли). Световые лучи освещают окружающую среду, рассеиваясь в разных направлениях от этих частиц. Если же свет от любого источника проходит через вакуум, он остается невидимым, так как там нет среды, способной рассеивать световые лучи.



Как распространяется луч света в вакууме и в однородной среде?

В ходе проведенного эксперимента вы убедились, что в воздухе световой луч распространяется по прямой линии. В природе мы часто наблюдаем прямолинейное распространение света. Например, солнечные лучи, пробиваю-

щиеся сквозь облака или листву деревьев, служат естественным подтверждением закона прямолинейного распространения света (рис. 2.10). В физике раздел оптики, изучающий путь световых лучей, называется геометрической оптикой. Потому что для определения направления лучей используются методы геометрического моделирования: построение прямых линий, измерение углов, свойств треугольников и других фигур.

• *Свет в вакууме и в однородной среде распространяется по прямой линии. Это закон прямолинейного распространения света.*

Однородная среда – это среда, свойства которой не изменяются при перемещении из одной точки в другую. Если среда



Рисунок 2.10. Картина прямолинейного распространения света

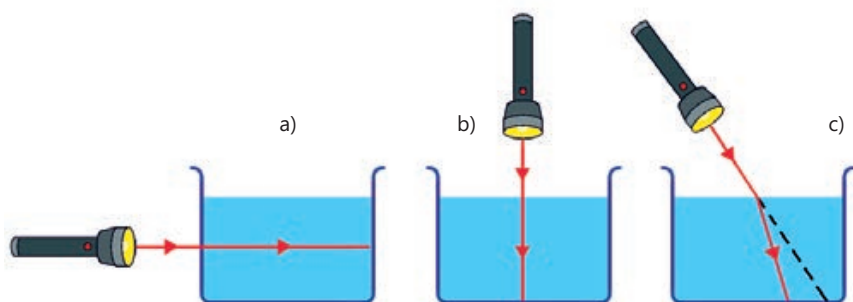


Рисунок 2.11



неоднородна (состоит из двух различных сред), закон прямолинейного распространения соблюдается только в том случае, если луч падает на границу раздела этих сред строго перпендикулярно поверхности второй среды.

Во всех остальных случаях направление светового луча меняется. Например, если лазерный луч направлен перпендикулярно боковой стенке емкости с водой или из воздуха к поверхности воды, он продолжит свой путь по прямой линии, не меняя направления распространения (рис. 2.11, а и б). Однако, если направить луч под углом к границе двух сред, закон прямолинейного распространения света нарушается. Это происходит из-за того, что на границе раздела двух сред скорость распространения света меняется и луч преломляется (рис. 2.11, с; см. "Природа-5", стр. 50-52).

Закон прямолинейного распространения света позволяет объяснить многие световые явления. Например, установлено, что все непрозрачные тела, на которые падают лучи света, отбрасывают тени. Если эти тела освещаются

точечными источниками света, то за ними на поверхности (стене или экране) образуется четкая тень. Это объясняется тем, что лучи, падающие от точечного источника света, распространяются прямолинейно, создавая за телом неосвещенную область, то есть источник света не виден при наблюдении из этой области (рис. 2.12). Точечный источник света – это источник света, размерами которого в данных условиях можно пренебречь. Свет распространяется от точечного источника во всех направлениях. Если тело освещается одновременно несколькими точечными источниками или одним неточечным (большим) источником, то на экране образуется также полутень. Полутень образуется в той части экрана, из которой частично виден источник света, создающий её (рис. 2.13).

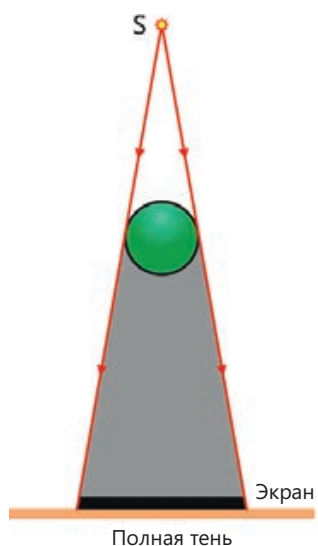


Рисунок 2.12.
Образование
полной тени

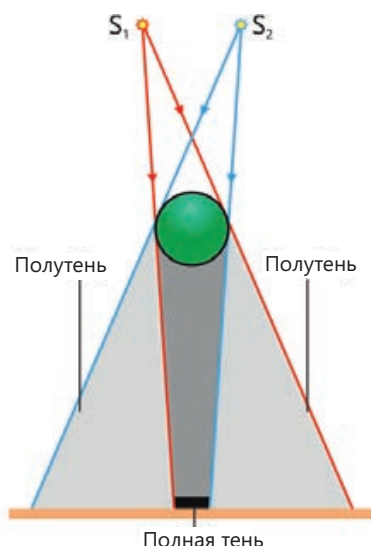


Рисунок 2.13.
Образование полной
тени и полутени

- ПОДУМАЙ
- ОБСУДИ
- ПОДЕЛИСЬ

Вы, наверное, замечали, что во время ремонтных работ мастер иногда прикладывает один конец предмета, например, деревянной рейки, к глазу и смотрит вдоль него на другой конец.

- **Что именно проверяет мастер с помощью этого метода, и какую роль в этом явлении играет прямолинейное распространение света?**



Примените полученные знания

Солнечные и лунные затмения — это природные явления, подтверждающие закон прямолинейного распространения света.

На рисунке показана схема расположения Солнца, Луны и Земли на одной линии. Перенесите схему на рабочий лист. Дополните ее, опираясь на закон прямолинейного распространения света, и укажите на поверхности Земли области, где наблюдаются полное и частичное Солнечное затмение.



Обсудите:

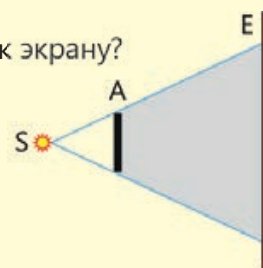
- В каких частях Земли люди будут наблюдать полное Солнечное затмение (полную тень), а в каких — частичное затмение (полутень)?
- Чем отличается полная тень тела от его полутени?

Проверьте полученные знания

1. На рисунке изображен точечный источник света **S**, непрозрачное тело **A** и экран **E**, на которое отбрасывается тень этого тела.

Вопрос. Что произойдет, если тело переместить от источника света ближе к экрану?

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| 1. Размер тени увеличится | A) только 1 и 4 |
| 2. Размер тени не изменится | B) только 2 и 5 |
| 3. Размер тени уменьшится | C) только 3 и 4 |
| 4. Границы тени будут четкими | D) только 3 и 5 |
| 5. Образуется полутень | E) только 2 и 4 |



2. Учитель спрашивает у класса: "У вас есть только линейка длиной 1 м. Кто с ее помощью сможет измерить высоту кипариса во дворе школы, не забираясь на него?"

"Я", — отвечает Джавид и тут же объясняет геометрический метод измерения высоты дерева по длине его тени.

И учитель, и одноклассники остались довольны этим его объяснением. Во время перемены ученики выходят во двор и определяют высоту высокого кипариса, используя метод, предложенный Джавидом.

Вопрос 1. Какой метод предложил Джавид для определения высоты дерева?

Вопрос 2. Как вы рассчитали высоту H дерева в метрах, используя этот метод?



3. В операционных блоках всех клиник используется многоламповая система "хирургических светильников».

Вопрос. В чем необходимость использования "хирургических светильников" в операционных?



2.2 ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

- На предыдущем уроке было отмечено, что свет распространяется по прямой линии в прозрачной (однородной) среде. Но что произойдет, если на пути света окажется непрозрачное тело? В этом случае часть света, достигнув границы раздела сред, меняет направление и возвращается в ту же среду. Это явление называется *отражением света*.

2.2.1 Закон отражения света

Среди работ народного художника Саттара Бахлулзаде, представленных в Азербайджанском национальном музее искусств, особое внимание богатством и яркостью красок привлекает картина "Желание земли".



С. Бахлулзаде. "Желание земли", 1963

- **Картина не является источником света, но почему мы ее видим?**
- **Почему, когда мы смотрим на картину с разных ракурсов, цвета иногда кажутся яркими и чистыми, а иногда – тусклыми и приглушенными?**

Ключевые слова

отражение света, угол падения, угол отражения, плоское зеркало, диффузное (рассеянное) отражение

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Как тела отражают свет?

Принадлежности: оптический диск (в комплекте).

Описание прибора

Оптический диск (рис. 2.14) представляет собой круглую металлическую пластину с градусными делениями по окружности.

- точечный источник света (лазерный фонарик), который можно перемещать по краю диска;
- штатив, на котором закреплен диск, и источник света.



Рисунок 2.14. Оптический диск

Ход работы:

1. Закрепите в центре диска небольшое плоское зеркало. Направьте луч лазера на зеркало точно в точку падения, через которую проходит нормаль (пунктирная линия на диске, перпендикулярная поверхности зеркала). Определите по шкале диска угол между падающим лучом и нормалью (угол падения), а также угол между отраженным лучом и нормалью (угол отражения).
2. Повторите эксперимент, направляя луч света на поверхность зеркала под углами 56° , 60° и 72° .

Обсудите:

- **Какую закономерность вы обнаружили в ходе эксперимента?**

В ходе исследования плоского зеркала (зеркала с условной плоской поверхностью) и источника света вы выявили следующее важное явление:

1. Световой луч, падающий из воздуха на поверхность зеркала, отражается от него и возвращается в ту же среду.
2. Если от точки падения луча света поднять воображаемую нормаль к поверхности зеркала, то можно представить, что падающий луч, отраженный луч и эта нормаль лежат в одной плоскости.
3. Нормаль делит угол между падающим и отражённым лучами на две равные части. То есть угол отражения, образованный падающим на отражающую поверхность лучом и нормалью, равен углу падения, образованному падающим лучом с этой нормалью (рис. 2.15).

Таким образом, *закон преломления света* гласит:

Закон отражения света – падающий луч, отраженный луч и нормаль к поверхности, проведенная в точке падения, лежат в одной плоскости.

Угол отражения равен углу падения:

$$\beta = \alpha$$

Характер отражения света от разных тел также различен. Например, если пучок параллельных лучей падает на гладкую поверхность плоского зеркала, то отраженные лучи также останутся параллельными друг другу в соответствии с законом отражения. Когда глаз наблюдателя находится на пути этого отраженного пучка (точка 1 на рис. 2.16, а), он воспринимает отраженные лучи как изображение источника света. Однако, если глаз сместится в точки 2 или 3, изображение источника в зеркале станет невидимым, так как отраженные лучи в эти области не попадают (рис. 2.16, а). Такое отражение света называется **зеркальным отражением**. Примером зеркального отражения является отражение лучей света от поверхности неподвижной воды (рис. 2.16, б).

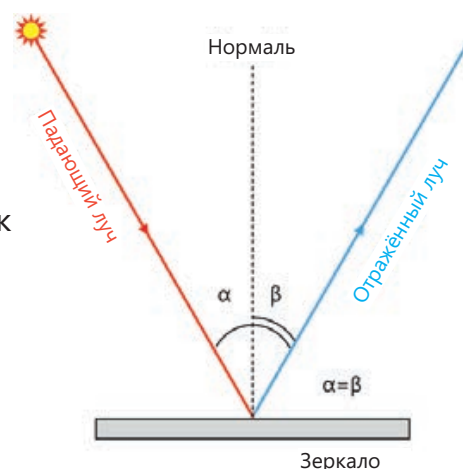


Рисунок 2.15.
Закон преломления света

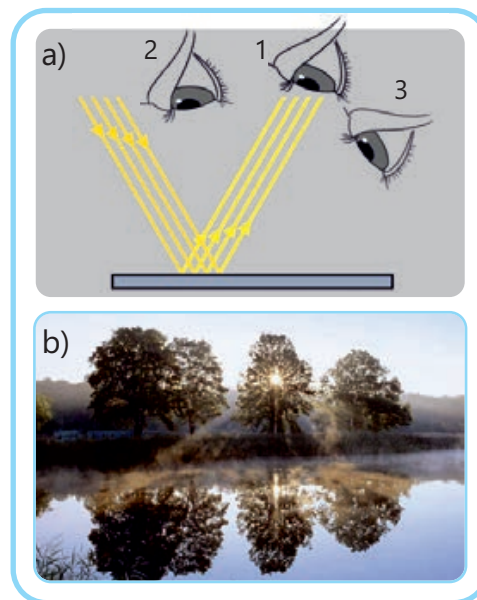


Рисунок 2.16. Зеркальное отражение света



Когда параллельные лучи света падают на гладкую белую страницу вашего учебника, вы можете видеть всю страницу, читать текст и рассматривать изображения. Разве отражение лучей света от поверхности гладкого листа бумаги не является зеркальным отражением света?

На рисунке 2.17, а показана поверхность и края листа бумаги под микроскопом. Лист бумаги, который кажется гладким невооруженным глазом, на самом деле состоит из большого количества шероховатых поверхностей. Поэтому лучи света, падающие параллельно такой поверхности, рассеиваются во всех направлениях под разными углами отражения, что позволяет нам видеть всю страницу книги и читать

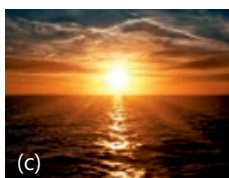
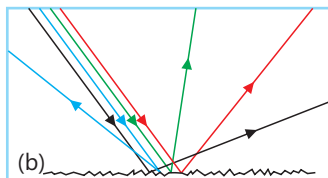
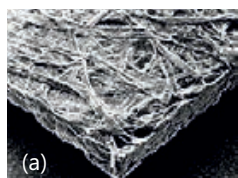


Рисунок 2.17.
Диффузное (рассеянное)
отражение света

написанное на ней (рис. 2.17, b). Рассеяние света от шероховатой поверхности называется диффузным (рассеянным) отражением. "Солнечная дорожка", которую вы неоднократно наблюдали, стоя на берегу Каспийского моря на восходе Солнца, представляет собой диффузное (рассеянное) отражение света (рис. 2.17, c).

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Если луч падает на поверхность плоского зеркала перпендикулярно, то в каком направлении он отразится? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.

Примените полученные знания

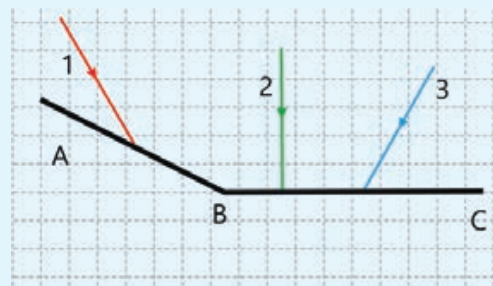
Проверим закон отражения света.

На рисунке показаны лучи света 1, 2, 3, падающие на зеркало ABC. Перенесите этот рисунок в рабочий лист и ответьте на следующие вопросы.

Вопрос 1. В каком направлении отразятся лучи света?

Изобразите на схеме.

Вопрос 2. Чему равны углы падения и углы отражения для каждого луча? (Определите значения с помощью транспортира).

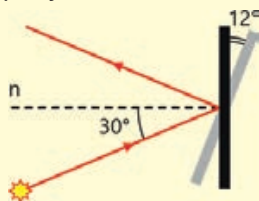


Проверьте полученные знания

1. Луч падает на вертикально расположенное плоское зеркало под углом 30° . Не перемещая источник света, зеркало поворачивают на 12° , как показано на рисунке.

Вопрос 1. Чему равен угол отражения света в этом случае? Ответ укажите в градусах.

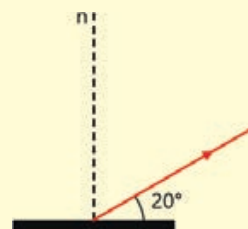
Вопрос 2. Чему равен угол между падающим лучом и плоскостью зеркала в этот момент? Ответ укажите в градусах.



2. Ученик проводит опыт с плоским зеркалом. Он измеряет угол между отраженным лучом и плоскостью зеркала и определяет, что он равен 20° .

Вопрос 1. Чему равен угол падения луча?

Вопрос 2. Чему равен угол между отраженным и падающим лучами?



3. Какой тип отражения важнее для того, чтобы мы могли видеть: зеркальное или рассеянное (диффузное) отражение от поверхности? Обоснуйте свой ответ.

2.2.2 Как получить изображение тела в плоском зеркале?

Во всем мире на передних частях автомобилей скорой помощи слово AMBULANS часто пишут в зеркальном отражении – ЗИАЛУЯМА. Это делается для того, чтобы водитель машины, движущийся впереди, увидел в зеркале заднего вида правильную надпись AMBULANS, быстро среагировал и уступил дорогу.

- Почему слово, написанное в зеркальном отражении, читается в зеркале правильно?
- Какие сходства и различия вы заметили между собой и своим отражением в зеркале?



Ключевые слова

расстояние до предмета, расстояние до изображения, мнимое изображение, симметрия относительно зеркала



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Где находится отражение тела в плоском зеркале?

Принадлежности: свечи (2 шт.), стеклянная пластина, закрепленная вертикально на штативе, зажигалка, линейка длиной 50 см, карандаш, лист бумаги формата А3.

Ход работы:

1. Положите лист бумаги на стол и установите на нем стеклянную пластину. Расположите линейку перпендикулярно пластине так, чтобы стекло находилось ровно посередине линейки.
2. Зажгите свечу и поставьте её перед стеклянной пластинкой. В этот момент отражение свечи будет видно в стекле, как в зеркале (рис. 2.18, а).
3. Возьмите незажженную свечу и перемещайте её вдоль линейки за стеклом до тех пор, пока ее положение не совместится с положением изображения зажженной свечи.
4. Нарисуйте схему эксперимента на рабочем листе (см. рис. 2.18, б). Измерьте расстояния от горящей свечи до стеклянной пластинки и от пластинки до незажжённой свечи и запишите их на схеме.

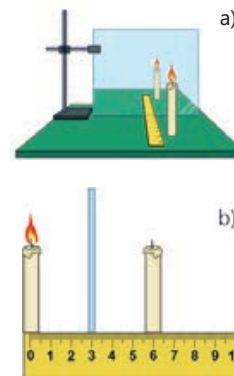


Рисунок 2.18

Обсудите:

- В каком положении незажженная свеча, находящаяся за стеклянной пластиной, казалась горящей?
- Какое соотношение между размерами свечи и её изображением в пластине вы установили?
- К какому выводу о получении изображения предмета в плоском зеркале можно прийти на основании опыта?

Закономерности получения изображения предмета в плоском зеркале

Изображение тела в плоском зеркале – это его зеркальное отражение, то есть **изображение предмета**. Расстояние от изображения предмета до зеркала называется **расстоянием до изображения** и обозначается буквой **f**.

Расстояние от самого тела до зеркала называется **расстоянием до предмета** и обозначается буквой **d**. В системе СИ обе величины измеряются в метрах.



В эксперименте со свечами какое расстояние является расстоянием до предмета, а какое — расстоянием до изображения?



Давайте разберем, как можно получить изображение в плоском зеркале. Прежде всего отметим, что изображение любого тела состоит из совокупности изображений всех его точек. Поэтому для начала построим изображение одной точки. Для этого, опираясь на закон отражения света, проследим ход двух произвольных лучей, исходящих из точечного источника S и падающих на зеркало. Как видно на схеме, отраженные лучи расходятся и возвращаются в ту же среду, из которой они падали (рис. 2.19, а). Если мы мысленно проведем продолжения этих отраженных лучей за плоскость зеркала, они пересекутся в определенной точке S' за зеркалом. Если изображение образовано не самими лучами, а пересечением их продолжений, оно называется **мнимым изображением**. Следовательно, точка S' является мнимым изображением точки S .

Наблюдателю кажется, что лучи, попадающие в его глаз после отражения, исходят непосредственно из мнимого изображения за зеркалом (рис. 2.19, б).

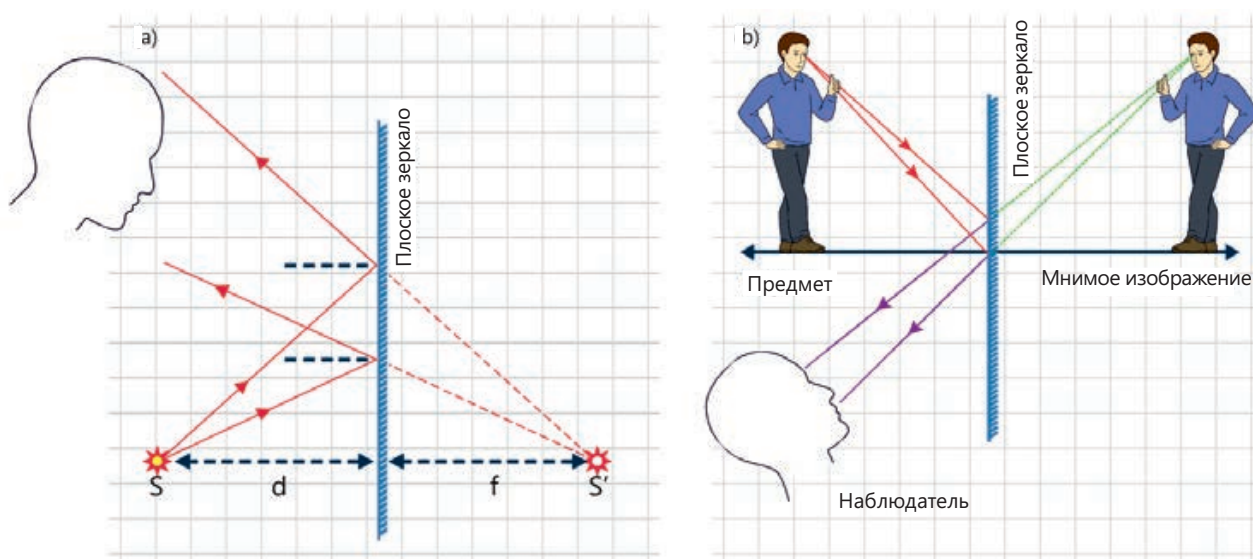


Рисунок 2.19. Мнимое изображение и предмет расположены симметрично относительно зеркала

Если сложить лист бумаги, на котором нарисована схема пополам так, чтобы его сгиб был совмещен с положением зеркала, то мы увидим, что положения точек S и S' , то есть точки и его мнимого изображения, полностью совпадают. Это означает, что точка и ее мнимое изображение в зеркале всегда лежат на одной прямой, перпендикулярной плоскости зеркала, и находятся от него на одинаковом расстоянии (см. рис. 2.19).

Таким образом, на основе ваших практических и теоретических исследований можно сформулировать две закономерности получения изображения предмета в плоском зеркале:

1. Изображение предмета в плоском зеркале всегда является мнимым.
2. Предмет и его изображение симметричны относительно плоского зеркала.

Основные характеристики зеркальной симметрии:

- Расстояние от зеркала до изображения равно расстоянию от зеркала до самого предмета: $f = d$.
- Мнимое изображение по размеру точно соответствует самому предмету. Размеры изображения совпадают с размерами предмета.
- Зеркало меняет "левое" и "правое" местами. Это означает, что правая рука выглядит как левая, правая нога как левая, то есть правильная надпись будет казаться нам зеркально отраженной и т.д. Например, если вы протянете левую руку к зеркалу, отражение в зеркале "протянет" вам правую руку (рис. 2.20).



Рисунок 2.20.
Изменение левой и правой сторон в зеркале

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

Если предмет расположен перпендикулярно плоскости зеркала, то как будет выглядеть его мнимое изображение?

Как определить поле зрения в плоском зеркале?

Для этой цели глаз условно рассматривается как точечный источник света. Из этой точки проводят два луча к крайним точкам (краям) зеркала. Область, ограниченная лучами, отраженными от этих точек, и образует поле зрения глаза в данном зеркале (рис. 2.21). Предмет виден в зеркале только в том случае, если он находится в пределах этой области, тогда как предметы вне этого поля не видны.

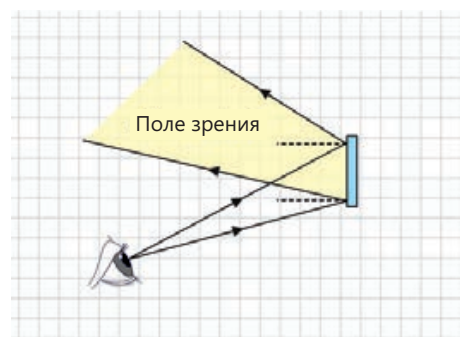
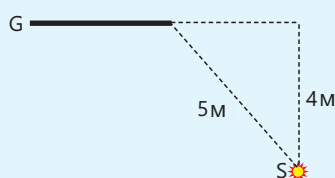


Рисунок 2.21.
Поле зрения глаза в зеркале

Примените полученные знания

Пример. На рисунке изображены плоское зеркало G и точечный источник света S. Определите:

1. Где будет получено изображение источника света S.
2. Расстояние от изображения до точечного источника.



Проверьте полученные знания

1. Глаз наблюдателя находится в точке О перед плоским зеркалом G. Какие из точек 1, 2, 3, 4 и 5 он сможет увидеть в зеркале? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.

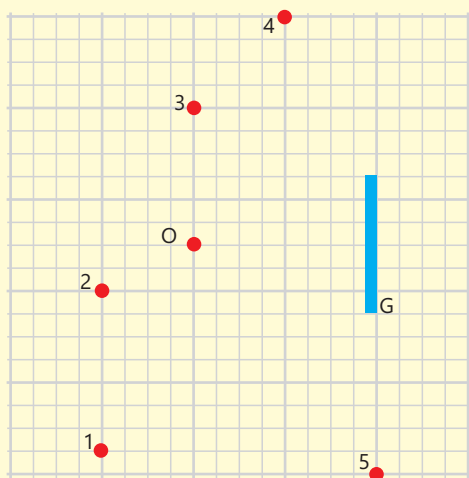


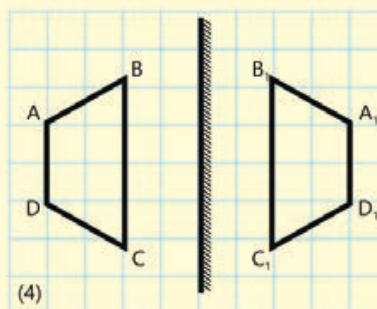
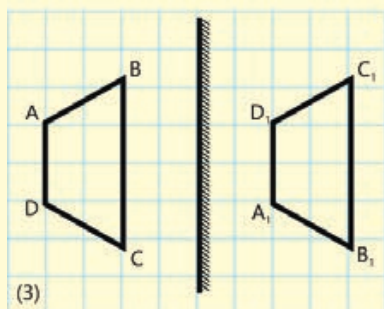
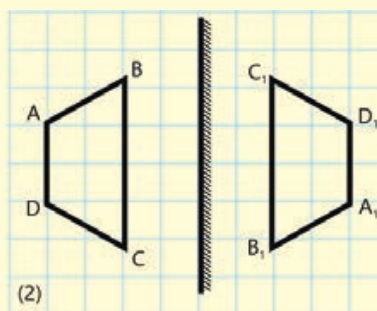
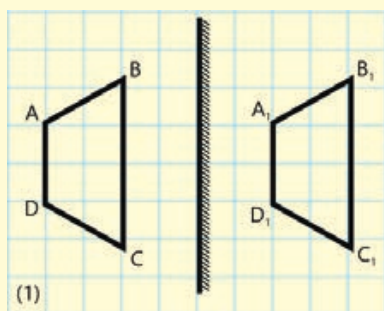
Рисунок 2.22

2. Как изменятся размер изображения и расстояние до него при удалении предмета от плоского зеркала?

Для каждой величины определите характер изменения: 1 – увеличится; 2 – уменьшится; 3 – не изменится. Запишите числа, соответствующие выбранным ответам для каждой физической величины в таблицу. Числа могут повторяться в ответе.

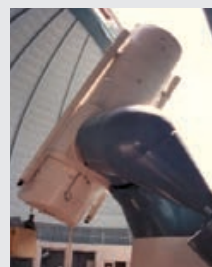
Размер изображения предмета в плоском зеркале.	Расстояние до изображения

3. Предмет ABCD расположен перед плоским зеркалом. На каком из рисунков правильно показано построение изображения $A_1 B_1 C_1 D_1$?



2.2.3 Сферическое зеркало

Для изучения звезд, планет и других небесных тел астрономы используют телескопы-рефлекторы. Эти приборы собирают параллельные лучи света, идущие от далеких объектов, с помощью вогнутых зеркал. На рисунке показана упрощенная схема телескопа и его оптической системы в Шамахинской астрофизической обсерватории с диаметром рефлектора (зеркала) 2 м. Как видно из схемы, оптическая система прибора включает в себя различные зеркала. Эти зеркала играют важную роль в сборе параллельных лучей, попадающих в объектив телескопа, и направлении их к окуляру (смотровой трубе).



- Какой тип зеркал используется для сбора параллельных световых лучей в одной точке?
- Каковы закономерности формирования изображения в таких зеркалах?

Ключевые слова

сферическое зеркало, вогнутое зеркало, выпуклое зеркало, точка фокуса, радиус кривизны, главная оптическая ось, фокальная плоскость.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Какова закономерность отражения света в сферических зеркалах?

Принадлежности: оптический диск.

Ход работы:

1. Закрепите модель вогнутого зеркала в центре оптического диска.
2. Перемещайте источник света вдоль диска так, чтобы на поверхность зеркала попали 3 параллельных луча. Отрегулируйте источник света так, чтобы один из лучей попал на поверхность зеркала перпендикулярно его поверхности. Нарисуйте схему наблюдаемого явления на вашем рабочем листе (рис. 2.23, а).
3. Повторите эксперимент с выпуклым зеркалом и нарисуйте на рабочем листе схему наблюдаемого явления (рис. 2.23, б).

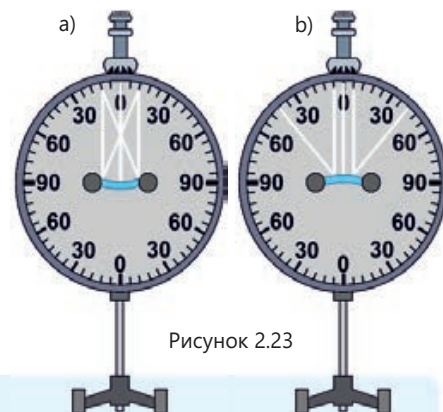


Рисунок 2.23

Обсудите:

- Сравните ход параллельных лучей после отражения от плоского и сферического зеркал. В чем заключаются основные сходства и различия?

Из опыта ясно, что выпуклость или вогнутость сферического зеркала зависит от того, какая его сторона является отражающей поверхностью (рис. 2.24).

Вогнутое сферическое зеркало (конкав) – зеркало, отражающее параллельные лучи света от внутренней поверхности сферы и собирающее их в одной точке.

Выпуклое сферическое зеркало (конвекс) – зеркало, рассеивающее параллельные лучи света от внешней поверхности сферы.

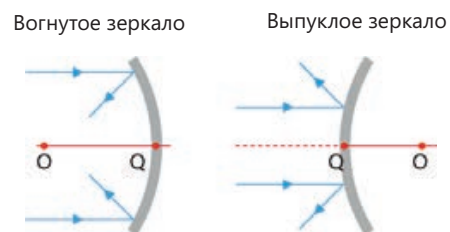
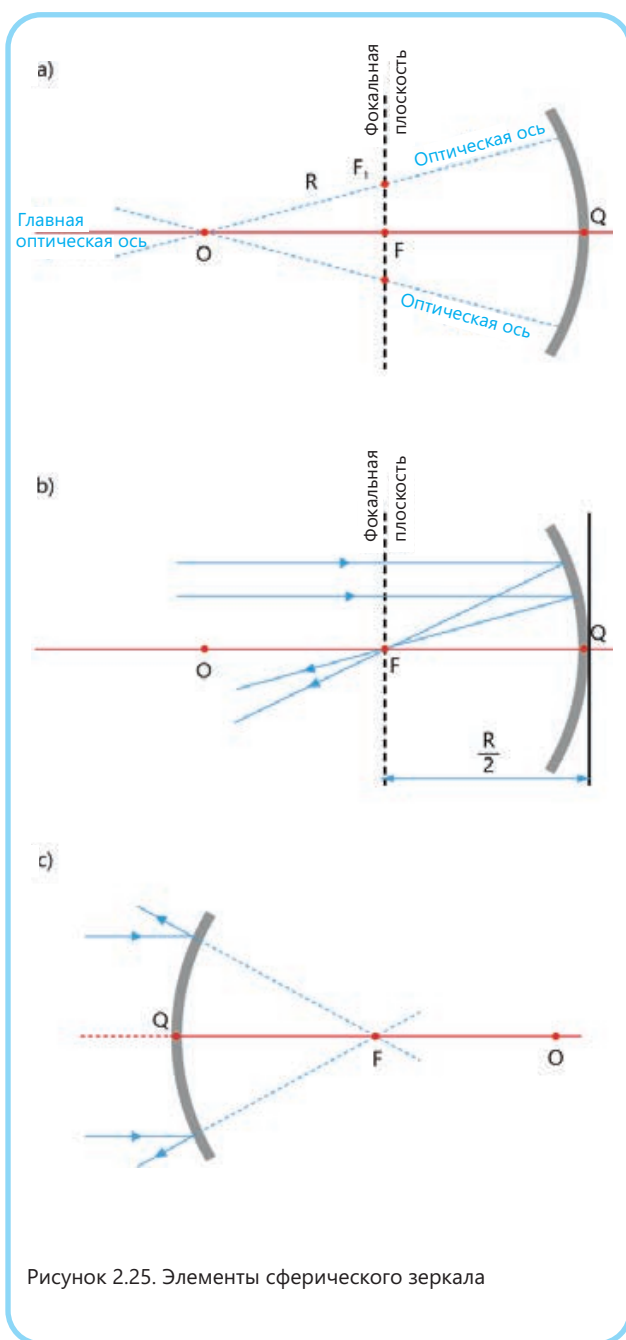


Рисунок 2.24. Сферические зеркала



К характеристикам сферического зеркала относятся следующие элементы:

Центр кривизны (точка O) сферического зеркала – это центр сферы, образованной продолжением сферического сегмента.

Полюс (Q) сферического зеркала – это вершина сферического сегмента.

Радиус кривизны (R) сферического зеркала – это расстояние от центра кривизны сферического зеркала до его поверхности.

Оптическая ось сферического зеркала – это любая прямая, проходящая через центр кривизны.

Главная оптическая ось сферического зеркала – это прямая, проходящая через центр кривизны (O) и полюс зеркала (Q) (рис. 2.25, а).

Главный фокус (F) сферического зеркала – это точка, в которой лучи, падающие на вогнутое зеркало параллельно главной оптической оси, пересекаются после отражения. Главный фокус вогнутого зеркала является действительным, так как в этой точке пересекаются сами лучи, отражённые от зеркала (рис. 2.25, b). Главный фокус выпуклого зеркала является мнимым, поскольку в этой точке пересекаются не сами лучи, а их продолжения (рис. 2.25, c).

Фокальная плоскость – это плоскость, перпендикулярная главной оптической оси и проходящая через главный фокус. Точка, в которой побочные оптические оси пересекаются с фокальной плоскостью, также является фокусом, например, точки F_1 и F_2 (см. рис. 2.25, а).

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Приведите два примера практического применения сферических зеркал.

Фокусное расстояние (или фокальное расстояние) – это расстояние от касательной к сегменту сферы в крайней точке зеркала до фокальной плоскости. Фокусное расстояние обозначается буквой F и равно половине радиуса кривизны зеркала (см. рис. 2.25, b):

$$F = F_1 = F_2 = \dots = F_n = \frac{R}{2}.$$

Примените полученные знания.**Какой тип сферического зеркала используется?****А. Проект "Солнечная печь"**

Джавид и Лала решили построить печь, работающую на солнечной энергии, чтобы сварить в ней яйца. Они знают, что основным элементом такой печи должно быть зеркало, способное концентрировать солнечные лучи в одной точке. Поместив кастрюлю в точку фокусировки лучей, можно приготовить пищу за счет накопленного солнечного тепла.

Вопрос. Сферическое зеркало какого типа необходимо использовать в этом проекте?

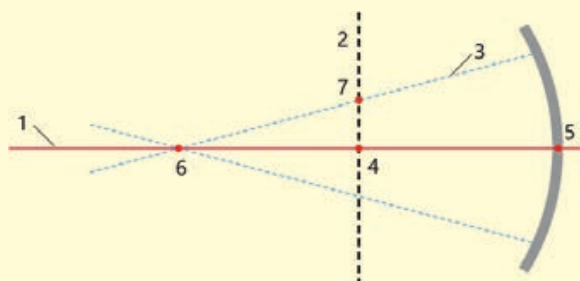
**Б. Зеркало, расположенное на зеркале**

Назрин ехала с родителями в деревню к бабушке на микроавтобусе. Внезапно ее внимание привлекло боковое зеркало автомобиля. Зеркало состояло из двух частей: плоского зеркала и прикрепленного к нему круглого сферического зеркала. Назрин подумала: "Интересно, к какому типу сферических зеркал относится это зеркало и какова его основная функция?"

Вопрос. Как бы вы ответили на вопрос, возникший у Назрин?

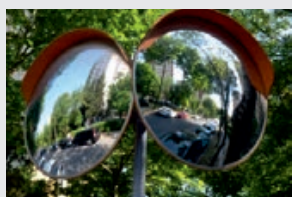
**Проверьте полученные знания**

1. Как называется прямая, проходящая через центр кривизны и полюс сферического зеркала?
2. На рисунке изображено сферическое зеркало и его элементы. Нарисуйте схему на рабочем листе и укажите, какой элемент обозначен соответствующей цифрой.



3. Обратите внимание на окружающие вас физические тела и найдите те, в которых используются сферические зеркала. В каких телах используются вогнутые, а в каких — выпуклые сферические зеркала? Почему?

2.2.4 Построение изображения в сферических зеркалах

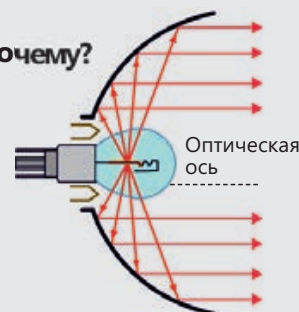


Сферические зеркала определенного диаметра часто устанавливают на перекрестках с ограниченной видимостью. Они помогают водителям лучше оценивать дорожную ситуацию в местах, где обзор затруднен из-за сложного рельефа, зданий или растительности.

• **Зеркало какого типа используется в данной ситуации? Почему?**

Конструкция автомобильной фары включает сферическое зеркало. Оно располагается позади источника света (лампы) и собирает излучаемые во все стороны свет, направляя поток вперед на дорогу.

• **Какой тип сферических зеркал используется в фаре? В какой точке на зеркале располагается лампочка?**



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Является изображение, наблюдаемое в сферических зеркалах, действительным или мнимым?

Принадлежности: вогнутое и выпуклое зеркала, штатив, свеча (на подставке), зажигалка.

Ход работы:

1. Закрепите вогнутое зеркало на штативе. Зажгите свечу и поднесите ее достаточно близко к зеркалу, чтобы получить четкое, прямое и увеличенное изображение свечи (рис. 2.26, а).

2. Постепенно удаляйте свечу от зеркала. Обратите внимание, как при этом меняются размер и ориентация изображения (рис. 2.26, б).

3. Повторите эксперимент с выпуклым зеркалом. Расположите свечу на разных расстояниях от зеркала и понаблюдайте за формой и размером наблюдаемых изображений (рис. 2.26, в).

а)



б)



в)



Рисунок 2.26

Обсудите:

1. Какое изображение свечи вы наблюдали в вогнутом зеркале: действительное или мнимое?
2. Почему при удалении свечи от вогнутого зеркала ее изображение перевернулось и уменьшилось?
3. Зависели ли ориентация и размер изображения в выпуклом зеркале от расстояния до свечи?
4. Можно ли схематически заранее определить местоположение, размер и форму изображения предмета в сферических зеркалах?

Лучи, используемые для построения изображений

В сферических зеркалах для построения изображения произвольной точки за основу берутся благоприятные лучи с известными свойствами. Таким образом:

- Луч, параллельный главной оптической оси после отражения от вогнутого зеркала проходит через его главный фокус (рис. 2.27, а);
- Луч, проходящий через главный фокус, после отражения от зеркала распространяется параллельно его главной оптической оси (рис. 2.27, б);
- Если падающий луч проходит через центр кривизны зеркала, то отражённый луч распространяется в обратном направлении вдоль этой линии (рис. 2.27, с);
- Если падающий луч падает на полюс зеркала, то нормаль, поднятая из точки падения, становится главной оптической осью, и луч отражается под углом, равным углу падения, т.е. $\beta = \alpha$ (рис. 2.27, d).

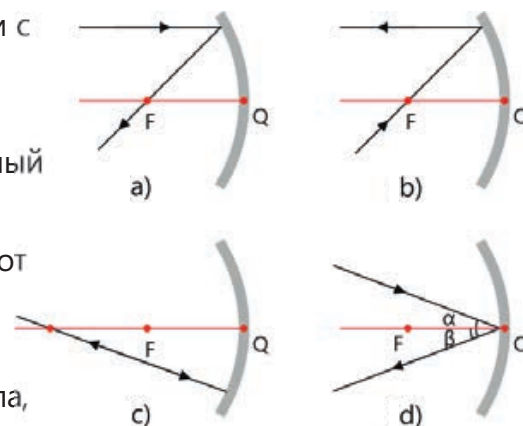


Рисунок 2.27.
Построение изображения в вогнутом зеркале в зависимости от падающего луча

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Если падающий луч проходит через центр кривизны сферического зеркала, почему отражённый луч возвращается по той же прямой? Обоснуйте свой ответ.

Таким образом, для упрощения схемы построения изображения в сферических зеркалах удобно использовать любые два из вышеупомянутых лучей. На рисунке 2.28 показана схема построения изображения свечи в вогнутом зеркале, полученная в ходе проведенного вами исследования. Как видно из схемы, для построения изображения используются два падающих луча.

Луч **1** исходит из точки **В** (вершины пламени свечи), распространяется параллельно главной оптической оси. Луч **2** также выходит из точки **В**, проходит через главный фокус зеркала. Эти лучи, отражаясь от зеркала, распространяются по прямым **"1"** и **"2"** соответственно. Отраженные лучи пересекаются в точке **В'**, которая является изображением точки **В**. Следовательно, изображение пламени свечи в вогнутом сферическом зеркале является перевернутым. Основание свечи – точка **А** – расположено на главной оптической оси. Поэтому луч, падающий вдоль этой оси, после отражения возвращается по той же оси, и изображение точки **А'** также располагается на главной оптической оси.

Следует отметить, что изображение свечи также можно получить, опустив перпендикуляр на главную оптическую ось из точки **В'**. Это означает, что изображение свечи в вогнутом сферическом зеркале будет перевернутым.

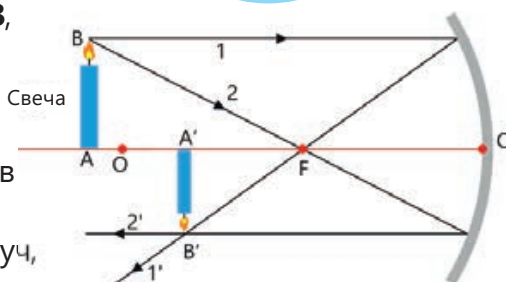


Рисунок 2.28.
Схема получения изображения свечи в вогнутом зеркале

? Если для построения изображения любого предмета (например, источника света) в сферическом зеркале можно использовать только один из "удобных" падающих лучей, то как можно построить это изображение?

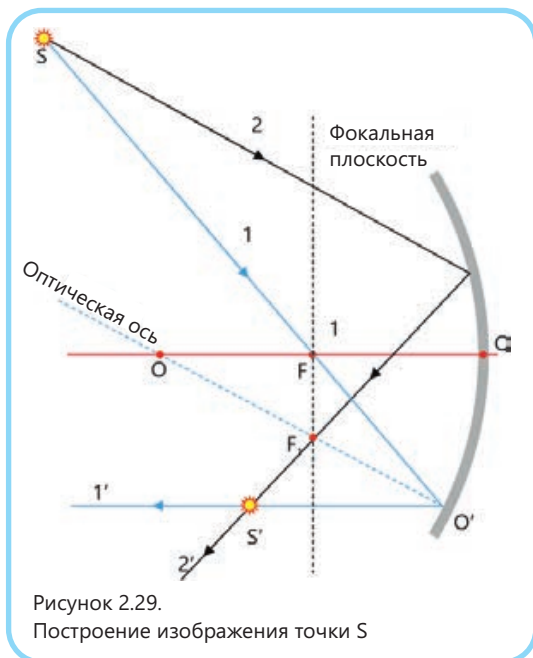


Рисунок 2.29.
Построение изображения точки S

Построим изображение источника света S , представленного на рисунке 2.29. Как видно, только один луч, выходящий из источника, является падающим "удобным" лучом. После отражения он распространяется параллельно главной оптической оси (луч 1'), поскольку он проходит через главный фокус. Второй падающий луч (луч 2) направлен в произвольную точку на поверхности зеркала.

Как определить направление его отражения?

Проведем побочную оптическую ось OO' , параллельную лучу 2. Проведем фокальную плоскость. Точка F_1 , где ось OO' пересекает фокальную плоскость, является фокусом на этой оптической оси. Следовательно, отраженный луч 2' пройдет через точку F_1 . Точка, в которой пересекаются отраженные лучи S' , и будет являться изображением точки S .

Построение изображения в вогнутом зеркале

В вогнутом зеркале изображение предмета в пяти случаях получается действительным, а в одном – мнимым.

1. Когда предмет находится в бесконечности, то есть $d \rightarrow \infty$, падающие лучи принимаются за параллельные, а отраженные пересекаются в главном фокусе зеркала. Расстояние до изображения равно фокусному расстоянию (см. рис. 2.25, b): $f = F$.
2. Когда предмет расположен за центром кривизны зеркала, т.е.: $d > R$, изображение получается между центром кривизны зеркала и фокусом, т.е. $R > f > F$. В этом случае изображение является действительным, перевернутым и уменьшенным (см. рис. 2.28).
3. Когда предмет находится в центре кривизны зеркала, то есть $d = R$, изображение получается в центре кривизны зеркала: $f = R$. В этом случае изображение является действительным, перевернутым и равным по размеру самому предмету (рис. 2.30, a).
4. Когда предмет находится между центром кривизны и фокусом зеркала, то есть $R > d > F$, изображение получается за центром кривизны зеркала: $f > R$. В этом случае изображение действительное, перевернутое и увеличенное (рис. 2.30, b).
5. Когда предмет находится в фокусе зеркала, то есть $d = F$, изображение получается в бесконечности: $f \rightarrow \infty$ (рис. 2.30, c).
6. Когда предмет находится между фокусом и полюсом зеркала, то есть $d < F$, изображение находится за зеркалом. Оно мнимое, прямое и увеличенное (рис. 2.30, d).

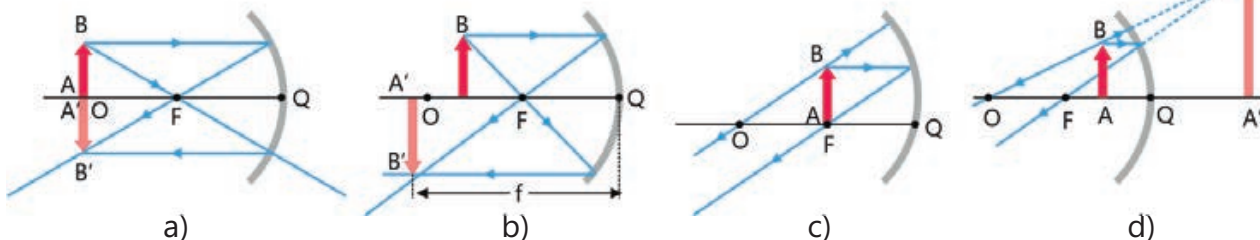


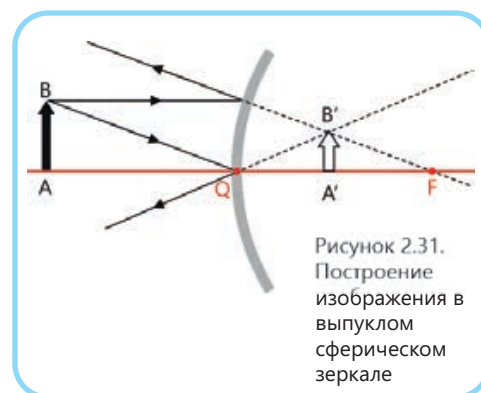
Рисунок 2.30.
Построение изображения в вогнутом сферическом зеркале

Таким образом, построение изображения предметов в вогнутых сферических зеркалах можно выразить двумя предположениями:

- Если расстояние от предмета до зеркала больше или равно фокусному $d \geq F$, то вогнутое зеркало дает действительное изображение предмета. Оно образуется в точке пересечения самих отраженных лучей.
- Если предмет находится между зеркалом и фокусом ($d < F$), то в вогнутом зеркале получается мнимое изображение. Оно образуется в точке пересечения не самих лучей, а их продолжений за плоскость зеркала.

Построение изображения в выпуклом сферическом зеркале

Поскольку фокус выпуклого зеркала является мнимым, во всех случаях, независимо от того, на каком расстоянии от зеркала находится предмет, изображение получается мнимым. Оно всегда располагается за зеркалом, в области между его полюсом и фокусом (рис. 2.31).



Примените полученные знания.

Где будет получено изображение источника света S?

Источник света S расположен на главной оптической оси сферического зеркала, за его центром кривизны. Перенесите схему на рабочий лист и постройте изображение источника света.

Обсудите:

- Какие падающие лучи удобно использовать при построении изображения источника света?
- Где было получено изображение источника света?



Проверьте полученные знания

1. Нарисуйте лучи, падающие от источника света S на соответствующие точки L, M вогнутого и N, K выпуклого зеркал, и покажите ход отраженных лучей (рис. 2.32).

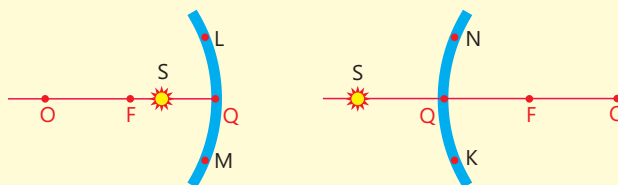
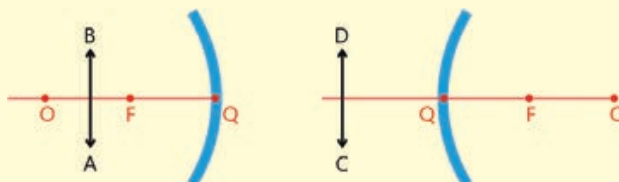


Рисунок 2.32

Вопрос 1. В какой точке вогнутого зеркала образуется изображение источника света S? Является ли это изображение действительным или мнимым?

Вопрос 2. В какой точке выпуклого зеркала образуется изображение источника света S? Является это изображение действительным или мнимым?

2. Постройте изображения тел AB и CD, показанных на рисунке, в вогнутом и выпуклом зеркалах соответственно.

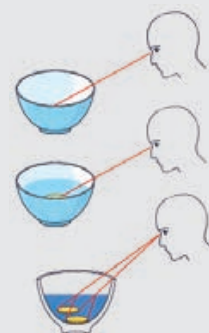


2.3 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА – РЕФРАКЦИЯ

- Преломление света (рефракция) – это явление, при котором свет меняет направление своего распространения. Оно наблюдается при переходе света через границу раздела двух различных прозрачных сред. Например, когда свет проходит из воздуха в стекло, воду или пластик. Термины "преломление" и "рефракция" являются взаимозаменяемыми понятиями:
 - Термин "рефракция" обычно используется для описания распространения света в средах, где показатель преломления плавно меняется от точки к точке (в этом случае луч распространяется по плавно изогнутой траектории).
 - Термин "преломление" обычно используется при резком изменении траектории луча на границе раздела сред, где показатели преломления сильно различаются.

2.3.1 Закон преломления света: закон Снеллиуса

Выполняя задание учителя, Лала провела дома простой эксперимент. Она поставила на стол пустую чашку, из которой пила чай, и положила на дно монету в 50 гяпиков. Затем она отодвинулась от стола так, чтобы монета оказалась полностью скрыта за краем чашки, то есть не видна. Не меняя положения головы, Лала попросила своего брата Джавида налить в чашку воду. Когда воды было налито больше половины чашки, 50 гяпиков неожиданно появились перед Лалой.



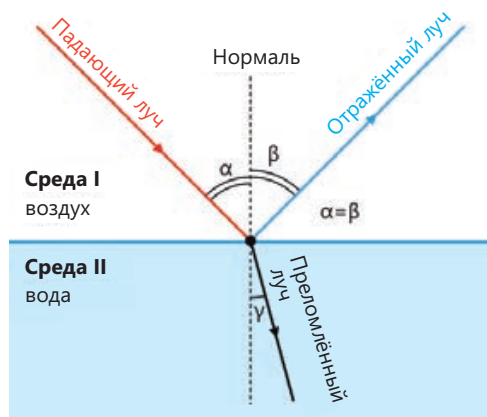
При повторении опыта в обратном порядке, когда воду откачали шприцем, монета снова исчезла из поля зрения.

- Как, по-вашему, каким физическим явлением объясняется то, что Лала после добавления воды увидела монету достоинством 50 гяпиков, которую раньше не могла видеть?
- С каким законом распространения света связано это явление и как оно объясняется?

Ключевые слова

преломление света, угол преломления, относительный показатель преломления, оптическая плотность, закон Снеллиуса

Рисунок 2.33.
Падение света на
границу раздела
воздух-вода



Вы уже знаете, что в однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно. Однако при падении луча на границу раздела двух однородных прозрачных сред, например, из воздуха в воду, часть его отражается и возвращается в первую среду, а другая часть меняет направление и переходит во вторую среду, воду (рис. 2.33). Как видно из схемы: α — угол падения, то есть угол между падающим лучом и нормалью;



β – угол отражения, то есть угол между отражённым лучом и нормалью;
 γ (гамма) – угол преломления, то есть угол между нормалью, поднятым к точке падения на границе раздела между двумя средами, и преломленным лучом (см. рис. 2.33).

• **Преломление света – это изменение направления распространения света при переходе через границу раздела двух прозрачных сред.**

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Исследование зависимости угла преломления света от угла падения.

Принадлежности: оптический диск, полуцилиндрическая стеклянная пластина.

Ход работы:

1. Закрепите стеклянную пластину в центре оптического диска и направьте узкий луч света от источника на его поверхность под определенным углом падения, например, 42° (рис. 2.34). Определите угол преломления луча.
2. Перемещая источник света по краю диска, определите углы преломления, соответствующие углам падения 30° , 60° и 0° . Запишите результаты в таблицу.

№	Угол падения	Угол преломления
1	42°	
2	30°	
3	60°	
4	0°	



Рисунок 2.34

Обсудите:

1. Как изменяется угол преломления при изменении угла падения?
2. При каком условии луч света не преломляется на границе раздела двух однородных прозрачных сред?
3. Почему для изучения явления преломления удобно использовать именно полуцилиндрическую стеклянную пластину?
4. Какую закономерность вы установили в ходе этого исследования?

В результате исследования вы определили, что при увеличении угла падения угол преломления также увеличивается, а при уменьшении угла падения угол преломления также уменьшается (см. рис. 2.34). Если свет падает перпендикулярно границе раздела двух сред, то есть, если угол падения $\alpha = 0^\circ$, направление распространения света не меняется. Качественное объяснение математической закономерности преломления света впервые было дано в середине XIII века азербайджанским философом Насир ад-Дином Туси (1201–1274) в его трактате "Возвращение и преломление света"*. С помощью подробных схем он обосновал, что угол преломления светового луча на границе двух прозрачных сред (воздуха и воды) меняется в зависимости от угла падения. Туси связывал это изменение с различием в плотности сред.



Насир ад-Дин Туси (1201–1274).
Азербайджанский философ естествознаний



Виллеброрд Снеллиус (1580–1626).
Голландский математик

* **Трактат** (древний) – небольшой научный труд.



Спустя примерно 400 лет, в 1621 году, голландский математик Виллеброрд Снеллиус (1580–1626), опираясь на предыдущие исследования, сформулировал закон, количественно описывающий преломление света:

- Падающий луч, преломленный луч и нормаль, проведенная к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.
- Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления является постоянной величиной для двух данных однородных прозрачных сред.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

Здесь n_{21} – постоянная физическая величина, относительный показатель преломления второй среды (среды, в которой свет распространяется после преломления) относительно первой среды (среды, в которую падает свет), то есть:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Здесь n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды соответственно.



Какова основная причина преломления света?

В различных средах свет распространяется с разной скоростью. При этом скорость света в среде всегда меньше, чем в вакууме. Например, скорость света в воде примерно в 1,33 раза

меньше, чем в вакууме. При переходе света из воды в стекло его скорость уменьшается еще в 1,18 раза. В воздухе скорость света в 1,57 раза больше, чем в стекле, и лишь незначительно (примерно в 1,0003 раза) меньше, чем в вакууме. Именно изменение скорости распространения света при переходе из одной прозрачной среды в другую является основной причиной его преломления. По этой причине в науке используется понятие "оптическая плотность":

- чем меньше скорость распространения света в среде, тем больше показатель преломления этой среды и, следовательно, тем выше её оптическая плотность;
- чем больше скорость распространения света в среде, тем меньше показатель преломления этой среды и, следовательно, тем меньше её оптическая плотность.

Относительный показатель преломления (n_{21}) также показывает, во сколько раз скорость света в первой среде больше (или меньше), чем скорость света во второй среде:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Здесь v_1 – скорость света в первой прозрачной среде, v_2 – скорость света во второй прозрачной среде.

В таблице 2.1 приведены значения абсолютных показателей преломления различных сред.

Таким образом, закон преломления света на границе двух сред в общем виде можно записать следующим образом:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Таблица 2.1

Вещество	n
Алмаз	2,42
Стекло	1,57
Каменная соль	1,54
Кварц	1,54
Растительное масло	1,52
Плексиглас (органическое стекло)	1,50
Скипидар	1,47
Глицерин	1,47
Этиловый спирт	1,36
Вода	1,33
Лёд	1,31
Воздух	~1

Эта формула, выражающая *закон Снеллиуса*, количественно описывает преломление света на границе раздела двух прозрачных однородных сред. *Физический смысл закона заключается в том, что преломление света на границе раздела двух прозрачных сред обусловлено различием скоростей распространения света в этих средах. Среда, в которой скорость распространения света меньше, имеет больший показатель преломления, а среда, в которой скорость света больше, – меньший показатель преломления.*

Обычно скорость распространения света в любой прозрачной однородной среде сравнивают со скоростью его распространения в вакууме.

• *Показатель преломления среды относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления этой среды. Абсолютный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в данной среде меньше, чем его скорость в вакууме:*

$$n = \frac{c}{v}.$$

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Какие выводы можно сделать из анализа формулы закона Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} ? \text{ Назовите два следствия.}$$

Примените полученные знания

Чему равен угол преломления?

Скорость света в воздухе равна приблизительно $3 \cdot 10^8$ м/с, а в воде – $2,25 \cdot 10^8$ м/с. Предположим, что угол падения света из воздуха на поверхность воды равна 30° .

Обсудите:

- Под каким углом свет будет распространяться в воде после преломления?
- Если свет падает на поверхность воды под углом 45° к нормали, каков угол преломления света в воде?

Проверьте полученные знания

1. У какой среды оптическая плотность больше — у воды или у стекла? У какой среды оптическая плотность меньше — у стекла или у воздуха?
2. Какова скорость света в плексигласе (см. таблицу 2.1)?
3. Свет падает из воздуха на поверхность алмаза под углом 30° к нормали.

Вопрос 1. Под каким углом будет распространяться свет в алмазе после преломления?

Вопрос 2. Какова скорость света в алмазе?

2.3.2 Полное внутреннее отражение света

Для передачи информации между континентами Земли по дну морей и океанов прокладывают специальные кабели связи. Основную часть этих кабелей составляют оптические проводники – оптические волокна. Оптические волокна обеспечивают быструю и надежную связь, передавая информацию, преобразованную в световые сигналы, на расстояния в тысячи километров.

- Как вы думаете, какое свойство света используется для передачи сигналов по оптическим волокнам?



Ключевые слова

полное внутреннее отражение, предельный угол, световод, оптическое волокно

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Исследование прохождения света из стекла в воздух.

Принадлежности: оптический диск, полуцилиндрическая стеклянная пластина.

Ход работы:

1. Поместите полуцилиндрическую стеклянную пластину в центр оптического диска.
2. Направьте узкий луч света внутрь стеклянной пластины под углом 30° к нормали к границе раздела сред стекло-воздух. Отметьте угол преломления луча в воздухе (рис. 2.35).
3. Постепенно увеличивайте угол падения света на границу раздела сред стекло-воздух до 35° , 40° , 41° и 45° . Внимательно наблюдайте за ходом луча на границе раздела сред стекло-воздух при соответствующих углах падения.

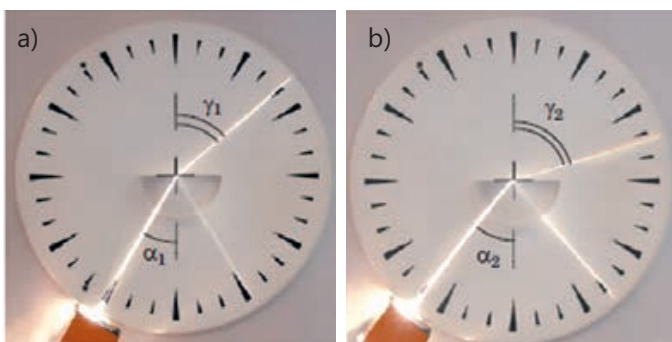


Рисунок 2.35

Обсудите:

1. Как изменяется угол преломления луча в воздухе при увеличении угла падения луча на границе раздела сред стекло-воздух?
2. При каком угле падения на границу раздела сред стекло-воздух угол преломления луча в воздухе становился равным 90° ?
3. При каком угле падения луч перестает преломляться в воздухе на границе стекло-воздух и полностью отражается обратно в стекло?
4. При каких условиях наблюдается полное внутреннее отражение света?



В вашем исследовании вы рассмотрели случай перехода света из среды с большей оптической плотностью в среду с меньшей оптической плотностью, например, из стекла в воздух. Оказалось, что в этом случае угол преломления больше угла падения. То есть когда луч света направлен изнутри стекла к его границе с воздухом, по мере увеличения угла падения (когда $\alpha_2 > \alpha_1$) угол преломления приближается к 90° . В этом случае наблюдалось, что яркость преломленного луча уменьшается, а яркость отражённого луча увеличивается. Наконец, при определенном значении угла падения световой луч не проходит во вторую среду (воздух), угол преломления равен 90° , то есть луч распространяется вдоль границы раздела сред стекло-воздух. При дальнейшем увеличении угла падения преломление света, падающего на границу стекло-воздух, не происходит, луч полностью отражается от внутренней поверхности стекла — возникает явление полного внутреннего отражения света (рис. 2.36).

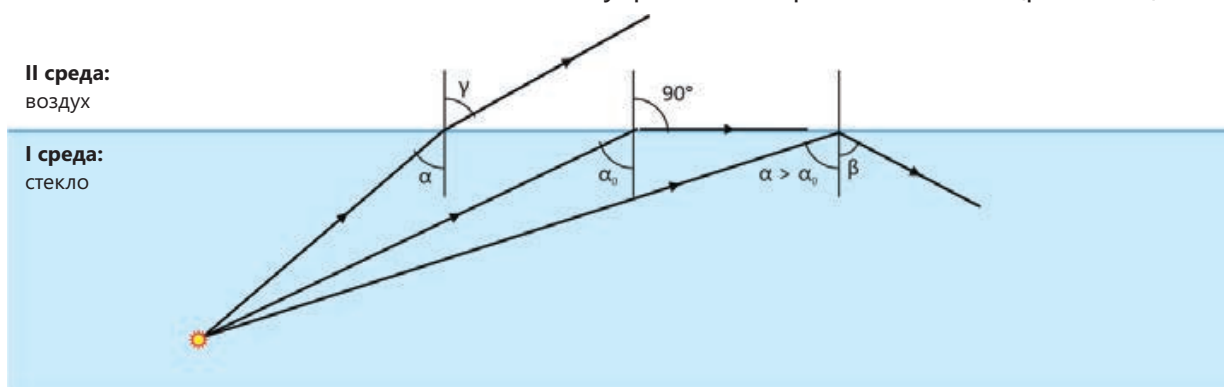


Рисунок 2.36.
Полное внутреннее
отражение света от
границы раздела
стекло-воздух

Полным внутренним отражением света называется явление, при котором свет, падающий на границу раздела двух прозрачных сред, не переходит во вторую среду, а полностью отражается от неё. Это происходит при падении света из оптически более плотной среды на границу с оптически менее плотной.

Угол падения α , при котором угол преломления становится равным 90° , называется **предельным углом** полного внутреннего отражения.

Закон преломления для случая, когда угол преломления равен 90° , записывается следующим образом:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Поскольку показатель преломления воздуха $n_2 = 1$, $\sin 90^\circ = 1$, выражение можно обобщить следующим образом:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

Таким образом, полное внутреннее отражение света происходит при выполнении двух условий:

1. Свет должен распространяться из среды с большой оптической плотностью в среду с меньшей оптической плотностью.
2. Угол падения должен быть больше предельного угла.

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

Как можно объяснить яркость морских волн, исходя из явления полного внутреннего отражения света?

Таблица 2.2.
Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторых веществ

№	Вещество	Показатель преломления	Предельный угол полного внутреннего отражения
1	Алмаз	2,64	$\approx 24,5^\circ$
2	Стекло	1,51	$\approx 41,2^\circ$
3	Спирт	1,34	$\approx 48,3^\circ$
4	Вода	1,33	$\approx 48,5^\circ$
5	Лед	1,31	$\approx 49,5^\circ$

Предельный угол полного внутреннего отражения также различен для разных прозрачных однородных веществ (например, стекло-воздух, алмаз-стекло, вода-воздух и т.д.) В таблице 2.2 показан предельный угол полного внутреннего отражения, определенный экспериментально для некоторых прозрачных веществ. Полное внутреннее отражение света используется в различных оптических устройствах, световодах и огранке ювелирных изделий. В современную эпоху наиболее важное применение

этого явления связано с волоконной оптикой. Принцип её действия таков: если направить световой луч в торец тонкой сплошной стеклянной нити, то луч претерпит многократное полное внутреннее отражение от стенок и выйдет с другого конца. В этом случае полное внутреннее отражение светового луча происходит независимо от того, прямая трубка или изогнутая. Такие стеклянные трубки называются световодами (рис. 2.37). Таким образом, оптические световоды представляют собой устройства, состоящие из покрытия с низким показателем преломления и внутренней среды с высоким показателем преломления.

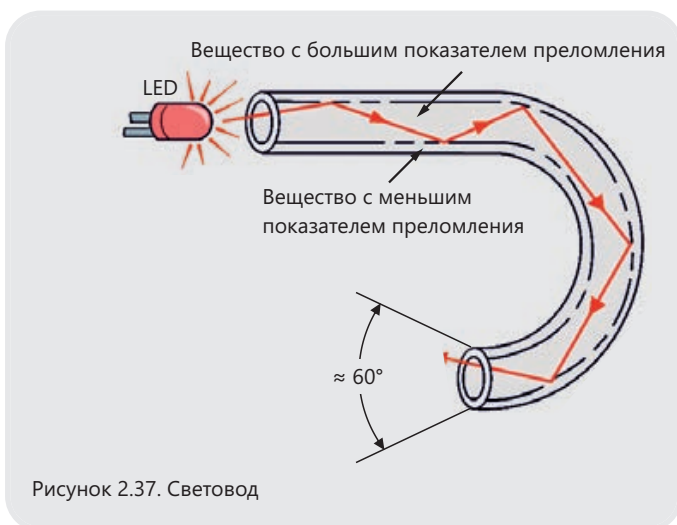


Рисунок 2.37. Световод

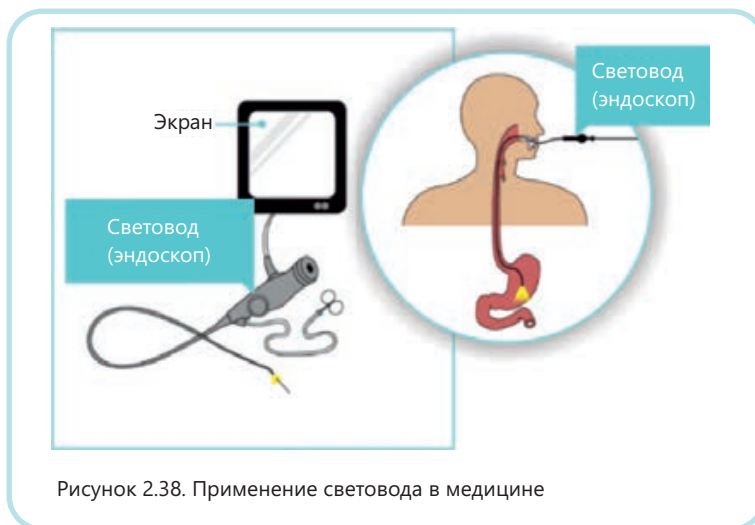


Рисунок 2.38. Применение световода в медицине

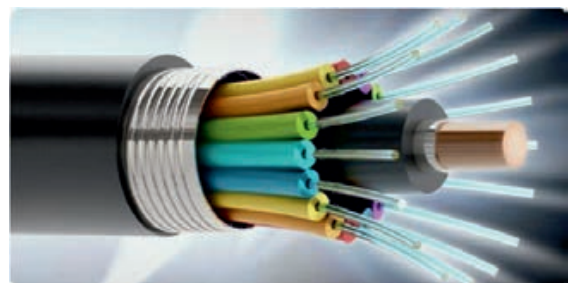


Рисунок 2.39. Оптоволоконный коммуникационный кабель

Световоды используются в медицине для исследования внутренних органов (эндоскопия). В технике они также применяются, например, для обнаружения неисправностей внутри двигателей без их разборки, для освещения труднодоступных пространств солнечным светом и т.д. (рис. 2.38). Однако чаще всего световоды используются в качестве кабелей для передачи информации (рис. 2.39). Такие "стеклянные кабели" дешевле и легче медных и алюминиевых. Они практически не подвергаются физическим или химическим изменениям под воздействием окружающей

среды. Световоды также позволяют передавать сигналы на большие расстояния без применения дополнительных усилителей. Сегодня оптоволоконные коммуникационные кабели стремительно вытесняют традиционные системы связи.

Примените полученные знания

Почему луч света не вышел за пределы струи воды?

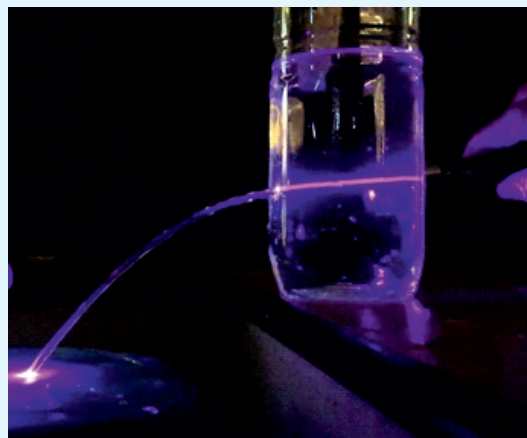
Принадлежности: пластиковая бутылка (объёмом в 1 или 2 литра), лазерный фонарь, ванна.

Ход работы:

1. Проделайте отверстие чуть выше дна бутылки, наполните её водой, закройте крышку и поставьте рядом с ванной.
2. Откройте крышку бутылки. Из отверстия в ванну начнёт течь тонкая струйка воды.
3. Включите фонарик и направьте лазерный луч на бутылку так, чтобы он попал в струю воды, вытекающую из отверстия. В это время внимательно следите за дальнейшим ходом луча.

Обсудите:

- Почему луч света не вышел за пределы струи воды?



Проверьте полученные знания

1. Если свет распространяется в воздухе и падает на поверхность стекла под углом 60° , произойдет ли полное внутреннее отражение?

Обоснуйте свой ответ, опираясь на два условия возникновения полного внутреннего отражения.

2. Оптоволоконные коммуникационные кабели играют незаменимую роль в обеспечении надежной интернет-связи на всех континентах мира.

Вопрос 1. Чем внутренняя часть оптоволокна отличается от пустой пластиковой трубки?

Вопрос 2. Почему световой луч распространяется по оптоволокну, но фактически не выходит из него?

3. Рассмотрите определение предельного угла полного внутреннего отражения для границы раздела алмаз-воздух.

Вопрос 1. В каком веществе происходит полное внутреннее отражение? Почему?

Вопрос 2. Чему равен предельный угол полного внутреннего отражения на границе раздела сред алмаз-воздух? Обоснуйте свой ответ вычислениями.

2.3.3 Распространение света в плоскопараллельной стеклянной пластине и треугольной стеклянной призме

Ключевые слова

плоскопараллельная стеклянная пластина, стеклянная призма, двукратное преломление, угол падения равен углу преломления.

1. Ход луча в плоскопараллельной стеклянной пластине

Экспериментальная задача Преломление света на границе раздела воздух-стекло и стекло-воздух.

Принадлежности: плоскопараллельная стеклянная пластина, лазерная указка, рабочий лист, карандаш, линейка, тригонометрическая таблица.

Ход работы:

1. Положите плоскую стеклянную пластину на рабочий лист и обведите ее контур карандашом.
2. Направьте лазерный луч на пластину под произвольным углом.
3. Отметьте карандашом точку 1 падения луча на границе раздела воздух-стекло и точку 2 падения луча на границе раздела стекло-воздух (рис. 2.40).
4. Затем отметьте карандашом точки 3 и 4 на траекториях распространения лучей, падающих на границу раздела воздух-стекло и преломляющихся на границе раздела стекло-воздух (см. рис. 2.40).
5. Уберите пластину и лазерную указку с рабочего листа. Достройте схему, как показано на рис. 2.41, проведите падающий и преломлённые лучи, а также отметьте углы падения и преломления.

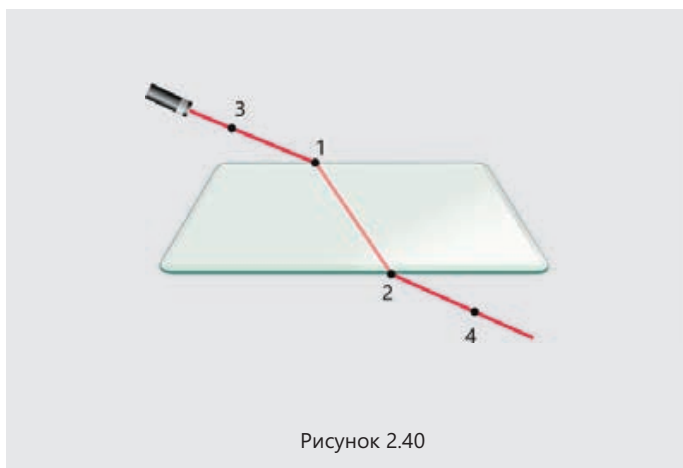


Рисунок 2.40

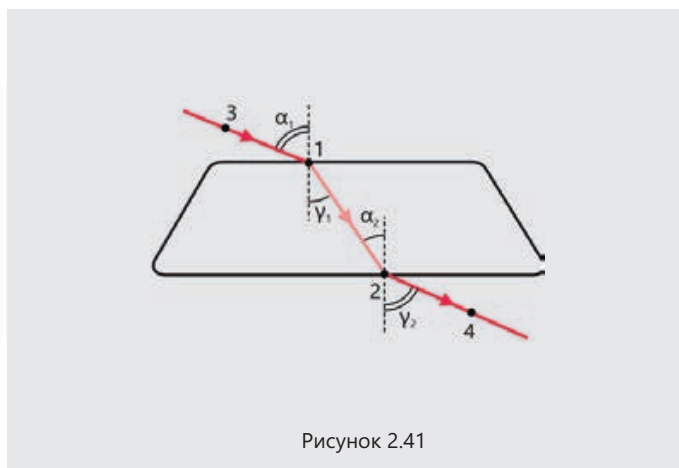


Рисунок 2.41

Задача

Предположим, что угол падения светового луча на границе раздела воздух-стекло равен $\alpha_1 = 60^\circ$. Чему равен угол преломления γ_2 света на границе раздела стекло-воздух?



Решение задачи

а) Сначала определяется угол преломления света в стекле γ_1 согласно закону Снеллиуса:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{1,51}{1} \rightarrow \sin \gamma_1 = \frac{\sin 60^\circ}{1,51} = \frac{0,8660}{1,51} = 0,5735.$$

$$\gamma_1 \approx 35^\circ.$$

б) Внутри пластины световой луч падает на границу раздела стекло–воздух также под углом $\alpha_2 = \gamma_1$. Применяя закон Снеллиуса, определяется угол преломления света на границе раздела стекло-воздух γ_2 :

$$\frac{\sin \gamma_1}{\sin \gamma_2} = \frac{1}{1,51} \rightarrow \sin \gamma_2 = \sin 35^\circ \cdot 1,51 = 0,5735 \cdot 1,51 = 0,8660.$$

Ответ: $\gamma_2 \approx 60^\circ$, значит $\alpha_1 = \gamma_2 \approx 60^\circ$.

Таким образом, из задачи, которую вы решили с плоскопараллельной стеклянной пластиной в воздухе, следуют три вывода:

- когда луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину в воздухе, он претерпевает двукратное преломление: на границе раздела сред воздух-стекло и стекло-воздух;
- луч света выходит из плоскопараллельной пластины в воздух под тем же углом, под которым он падает на него из воздуха;
- луч, выходящий из стекла, направлен параллельно падающему лучу, его положение несколько смещено, но направление распространения не меняется.

2. Ход луча в треугольной стеклянной призме

Направление распространения светового луча в треугольной стеклянной призме изменяется из-за показателя преломления призмы. В результате, в отличие от плоскопараллельной стеклянной пластины, луч, выходящий из призмы, не параллелен лучу, падающему на призму, а преломляется в сторону основания призмы. То есть при переходе в среду с меньшей оптической плотностью луч отклоняется от нормали. Как происходит преломление луча в стеклянной призме?

Лучи 1 и 2 от источника S падают на призму в точках A и B и распространяются внутри призмы в направлениях AC и BD.

Световой луч достигает второй грани призмы и преломляется во второй раз. В результате наблюдатель видит источник света в точке пересечения продолжений лучей 1' и 2', т.е. источник S, кажется, сместился в угол между преломляющими гранями стеклянной призмы (рис. 2.42).

• Лучи света, падающие на призму от источника света S, отклоняются к основанию призмы, то есть при переходе в среду с большей оптической плотностью луч приближается к нормали.



Рисунок 2.42.
Распространение света в стеклянной призме.

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

На рисунке изображен луч света, падающий на грань стеклянной призмы. Как он будет распространяться? Обоснуйте свой ответ, нарисовав ход луча.



Примените полученные знания.

На рисунке 2.43, а показана плоскопараллельная стеклянная пластина, а на рисунке 2.43, б показан ход светового луча, проходящего через эту пластину.

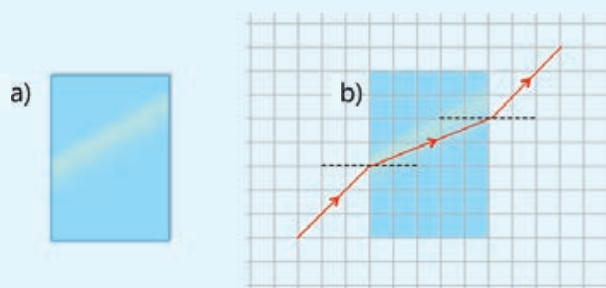


Рисунок 2.43

- Перенесите схему, изображённую на рисунке 2.43, б, на свой рабочий лист. Отметьте на схеме все углы падения и преломления светового луча.
- Определите (используя транспортир) синусы углов падения и преломления.
- Вычислите показатель преломления плоскопараллельной стеклянной пластины, используя закон Снеллиуса.
- Объясните, почему луч, вышедший из пластины, распространяется параллельно лучу, падающему на неё.

Проверьте полученные знания

1. На рисунке 2.44 схематически показан ход светового луча сквозь стеклянную призму.

- Перенесите схему на свой рабочий лист. Запишите все углы падения и преломления светового луча.
- Почему луч света, падающий на стеклянную призму, меняет свое направление в сторону основания призмы? Обоснуйте свой ответ.

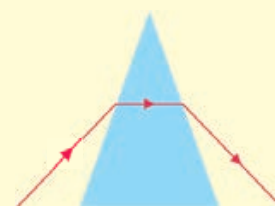


Рисунок 2.44

2. На рисунке 2.45 показан ход луча света, падающего из воздуха на плоскопараллельную стеклянную пластину.

Вопрос 1. Какой из лучей 1-5 соответствует распространению света после выхода из пластины?

Вопрос 2. Как соотносятся угол преломления луча на границе раздела воздух-стекло плоскопараллельной стеклянной пластины с углом падения луча на границе раздела стекло-воздух внутри стекла?

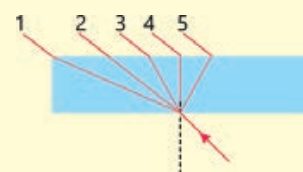


Рисунок 2.45

3. На рисунке 2.46 изображен луч света, падающий на границу раздела стекло-алмаз. Перенесите схему на свой рабочий лист. Запишите все углы падения и преломления луча света.

Каков ход луча при переходе через границы раздела стекло-алмаз и алмаз-воздух (используйте информацию из таблицы 2.2)?

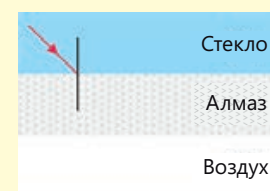
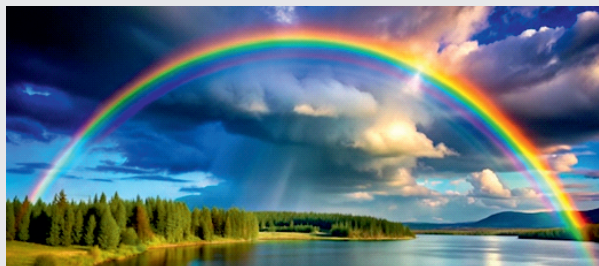


Рисунок 2.46

2.3.4 Разложение белого света на цвета: дисперсия

Лала проводила летние каникулы у бабушки и дедушки в деревне. Однажды, в солнечную погоду, она читала книгу во дворе. Внезапно погода изменилась, на небе появились облака и пошел лёгкий дождь. Интересно было то, что, несмотря на дождь, солнце всё ещё светило. Казалось, дождь не видел, что солнце всё ещё светит. Такой дождь называют “слепым дождём”. Когда Лала подняла голову и посмотрела на небо, она увидела появившуюся разноцветную радугу и с восхищением стала наблюдать за ней



- Почему возникла радуга?
- Какое световое явление лежит в основе этого процесса?

Ключевые слова радуга, спектр, дисперсия, монохроматический луч

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Почему белый свет разлагается на цвета?

Принадлежности: фонарик (белый свет), ванна (неглубокая пластиковая емкость), плоское зеркало, лист белой бумаги формата А3, вода (2-3 литра).

Ход работы:

1. Наполните ванну водой и поместите в нее зеркало под углом.
2. Направьте свет фонарика на поверхность зеркала в воде.
3. Расположите белый лист бумаги на пути лучей, отражённых от зеркала. Отрегулируйте угол падения светового луча на зеркало так, чтобы на листе получились цветные полосы (рис. 2.47).

Обсудите:

1. В чем причина разделения белого света на различные цвета?
2. Что это за цвета и какова закономерность в их расположении?

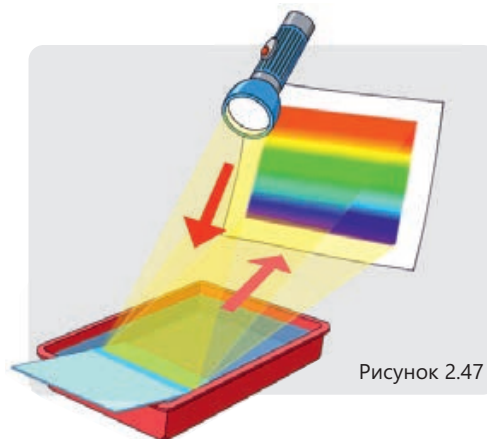
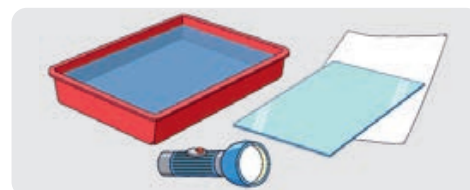


Рисунок 2.47

Азербайджанский философ Насиреддин Туси в своем трактате "О радуге", написанном в 1260 году, впервые в истории науки предложил модель цветовой природы белого света. Согласно этой модели, белый свет имеет как минимум пять видимых компонентов: красный, желтый, зеленый, голубой и синий. По его мнению, подобно тому, как в природе нет неделимого абсолютного единства, белый свет также многокомпонентен. Солнечный свет разделяется на эти компоненты путем двукратного преломления в каплях дождя, что мы наблюдаем в виде красочной радуги в небе. Известный философ теоретически объяснил причину появления радуги, основываясь на схеме двукратного преломления светового луча в дождевой капле

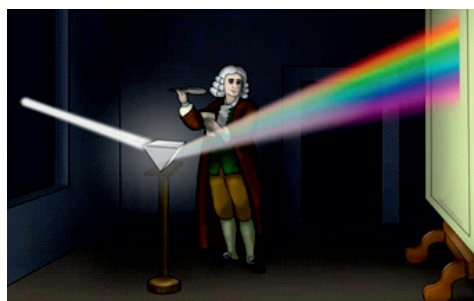


Рисунок 2.48.
Разделение света на его компоненты



Рисунок 2.49.
Видимый спектр белого света

Приблизительно 400 лет спустя, в 1666 и 1667 годах, английский учёный И.Ньютон в серии опытов со стеклянной призмой смог наглядно продемонстрировать разложение белого света на спектр. Он сделал узкое отверстие в плотной шторе, закрывавшей окно затемнённой комнаты, и поставил треугольную стеклянную призму на пути солнечного луча. При этом он обнаружил, что узкий пучок белого света, проходя через призму и преломляясь, разлагается на стене в широкую радужную полосу, называемую спектром (лат. spectrum – "видение", "образ") (рис. 2.40). Эти полосы состояли из видимых красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего и фиолетового цветов, которые следовали друг за другом без перерыва (рис. 2.49).

Явление разложения белого света на составляющие цвета называется **дисперсией света**.



Следует отметить, что каждый цветной луч в спектре называется **монохроматическим лучом** (греч.: *monos* – "один", "единственный"; *chromos* – "цвет"). Монохроматические лучи не меняют цвет при прохождении через стеклянную призму, то есть монохроматический луч – это луч, который не разделяется на составляющие части.

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

В каком случае явление дисперсии проявляется заметнее – при прохождении белого света через плоскопараллельную стеклянную пластинку или через треугольную стеклянную призму? Обоснуйте свой ответ.

Знаете ли вы?

Свет, называемый в природе белым светом, на самом деле не существует. Белый свет – это лишь восприятие человеческого глаза и мозга. То есть одновременное воздействие всех лучей – от красного до фиолетового – на человеческий глаз создает в мозге восприятие белого света.

?

Почему белый свет разделяется на цвета при преломлении в стеклянной призме?

Причина кроется в электромагнитной природе света. Известно, что электромагнитная волна, независимо от ее длины,

распространяется в вакууме со скоростью 300 000 км/с. Однако скорости распространения электромагнитных волн разных длин в веществе не одинаковы. Как вы знаете, преломление света на границе двух различных прозрачных сред объясняется разницей в скорости света в этих средах. Это означает, что степень преломления электромагнитных волн (включая свет), распространяющихся с разной скоростью в веществе, также будет различной. Белый свет – это комбинация



электромагнитных волн с разными длинами волн и монохроматических лучей разных цветов. Явление дисперсии, возникающее при преломлении света в призме, приводит к разложению монохроматических лучей и образованию спектра. В результате проведенных экспериментов было установлено, что в видимом диапазоне спектра фиолетовый луч распространяется в стекле (прозрачном материале) с наименьшей скоростью и, следовательно, преломляется сильнее по сравнению с лучами другого цвета. Красный луч, с другой стороны, распространяется в стекле с наибольшей скоростью и преломляется слабее всего. Скорости и, следовательно, преломления остальных лучей спектра находятся между скоростями фиолетового и красного лучей (рис. 2.50).

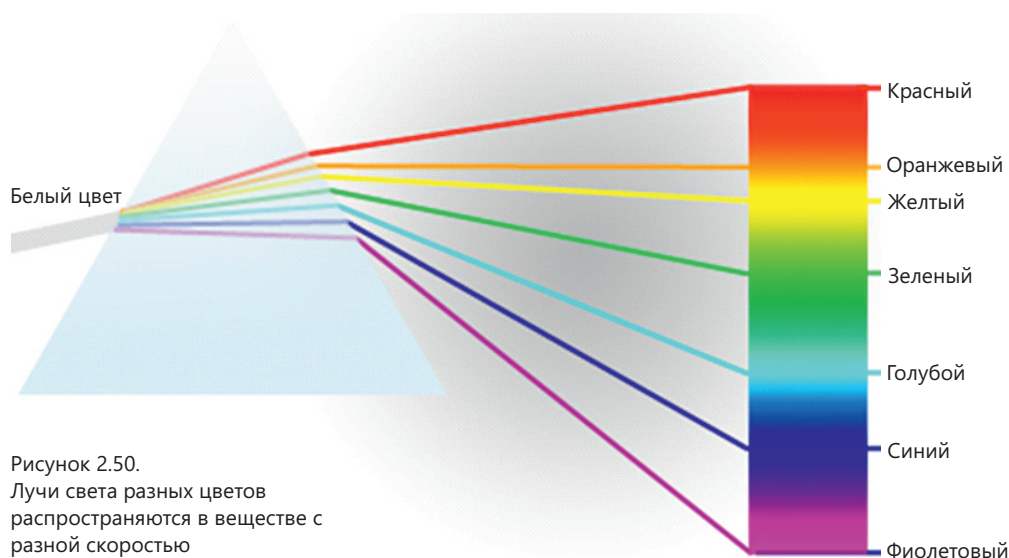


Рисунок 2.50.
Лучи света разных цветов
распространяются в веществе с
разной скоростью



Как образуется
радуга?

Радуга – это оптическое явление, вызванное двукратным преломлением солнечного света каплями дождя в атмосфере после дождя, а также каплями воды, рассеиваемыми водопадами и фонтанами (рис. 2.51).

На рисунке 2.51 показан луч белого света, падающий на сферическую каплю воды в точке **A**. Свет преломляется в капле и разделяется на лучи разного цвета. Эти лучи достигают внутренней поверхности капли между точками **B** и **C**. Отразившись от неё, лучи попадают на границу капля-воздух между точками **D** и **E**. Там лучи вновь преломляются и выходят из капли. Именно лучи, выходящие из части между точками **D** и **E**, образуют радугу.

На рисунке 2.52 показаны две капли дождя, освещаемые солнечным светом. В глаз наблюдателя от верхней капли попадает красный свет, а от нижней – фиолетовый. Капли, находящиеся между ними, направляют в глаз наблюдателя свет других цветов спектра, формируя радугу. Радуга имеет форму

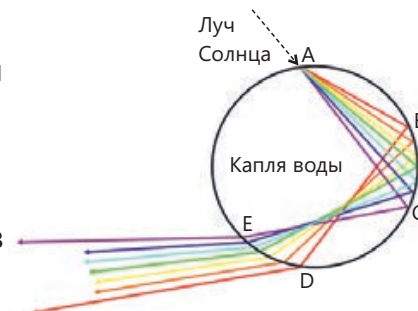
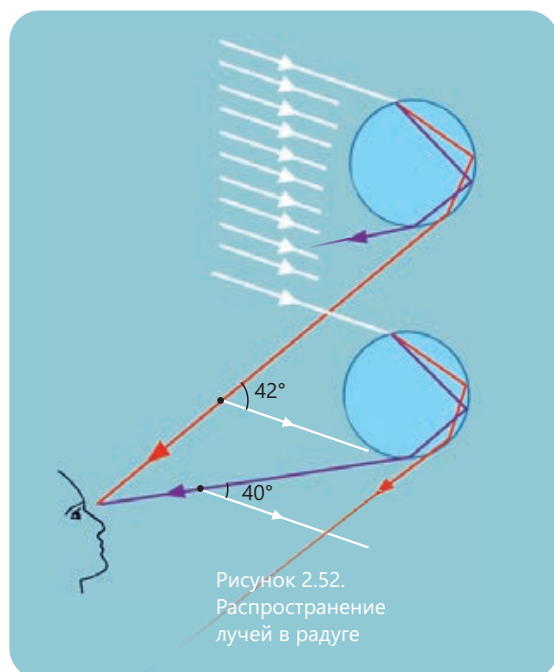


Рисунок 2.51.
Схема разложения солнечного
света на цвета в капле воды



дуги, так как для наблюдения каждого цвета необходим свой строго определенный угол обзора наблюдаются не только вдоль вертикальной линии, но и по бокам. Исследования показали, что если угол между солнечными лучами и лучами, выходящими из капель воды, составляет 40° , наблюдатель видит фиолетовый свет, а если угол равен 42° – красный свет. Между этими углами располагаются все цвета спектра (см. рис. 2.52).

Цвета тел

Цвет тела зависит от способности его поверхности отражать и поглощать свет:

если тело поглощает весь падающий на него свет, то есть не отражает его, то тело будет казаться черным;

если тело отражает лучи всех цветов спектра, то тело будет казаться белым;

если тело поглощает все падающие на него лучи света, кроме красного, то тело будет казаться красным;

если тело поглощает все падающие на него лучи, кроме зеленого, то оно будет казаться зеленым.

Цвет прозрачных тел, таких как стекло, определяется цветом луча, который не поглотился этим телом.

Примените полученные знания

Пример. Радуга – одно из красивейших оптических явлений в природе.

Вопрос 1. В какую сторону нужно смотреть утром во время восхода Солнца, чтобы увидеть радугу?

Вопрос 2. Какое оптическое явление вызывает образование радуги?

Проверьте полученные знания

1. На каком из рисунков 2.53 правильно показано разложение белого света в стеклянной призме?

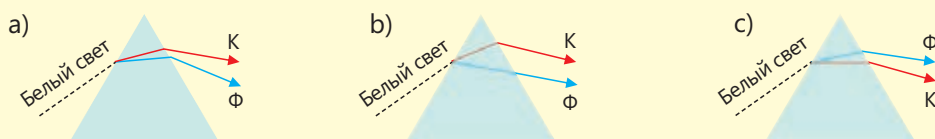


Рисунок 2.53

2. Голубой свет распространяется в стекле медленнее, чем жёлтый.

Вопрос 1. Какой луч преломляется сильнее в стеклянной призме?

Вопрос 2. Для луча какого цвета показатель преломления стекла больше?

3. При объяснении причины появления радуги используются понятия "отражение света" и "преломление света". Но какое из них вызывает дисперсию света?

2.4 ЛИНЗЫ

- Законы геометрической оптики позволяют нам проектировать и рассчитывать работу различных оптических устройств, от гигантских телескопов до очков. Линзы – главная составная часть почти всех оптических устройств.

2.4.1 Линзы. Основные элементы линз

Скорее всего, вы уже пользовались фотоаппаратом, знакомы с биноклем и телескопом, а на уроках биологии работали с микроскопом. Некоторые из вас, возможно, носят очки.



• Как вы думаете, что общего в устройстве и принципе действия перечисленных приборов?

Ключевые слова линза, выпуклая линза, вогнутая линза, тонкая линза, фокус линзы, главная оптическая ось, фокальная плоскость, оптический центр

Линзы

На рисунке 2.54 показаны “увеличительные” и “уменьшительные” стёкла, с которыми большинство из вас знакомы. Такие стёкла называются *линзами* (от латинского: lens – “линза”).

- *Линза – это прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями (иногда одна из поверхностей плоская).*

Линзы бывают двух типов: выпуклые и вогнутые.

- *Выпуклые линзы – это линзы, средняя часть которых толще, чем края.*
- *Вогнутые линзы – это линзы, средняя часть которых тоньше, чем края.*

На рисунке 2.55, а и б соответственно, показаны условные обозначения различных типов выпуклых и вогнутых линз в поперечном сечении и на схемах. Так как лучи света, падающие на выпуклую стеклянную линзу в воздухе, после преломления собираются в одной точке, такая линза называется *собирающей* (см. рис. 2.57).

Так как лучи света, падающие на вогнутую стеклянную линзу в воздухе, после преломления рассеиваются, такая линза называется *рассеивающей* (см. рис. 2.58). Через такие линзы предметы кажутся уменьшенными.

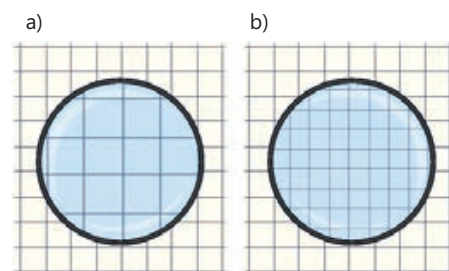


Рисунок 2.54. Увеличительные и уменьшительные стекла

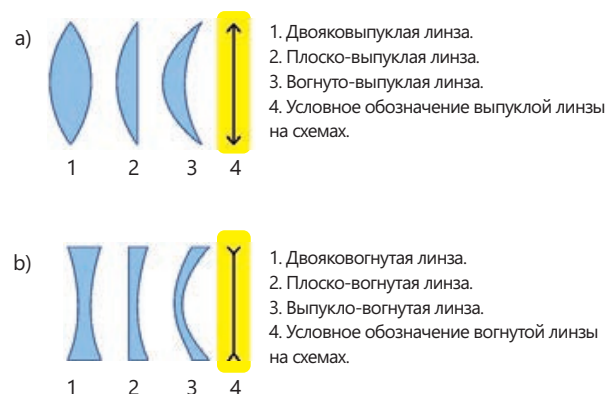


Рисунок 2.55. Выпуклые и вогнутые линзы

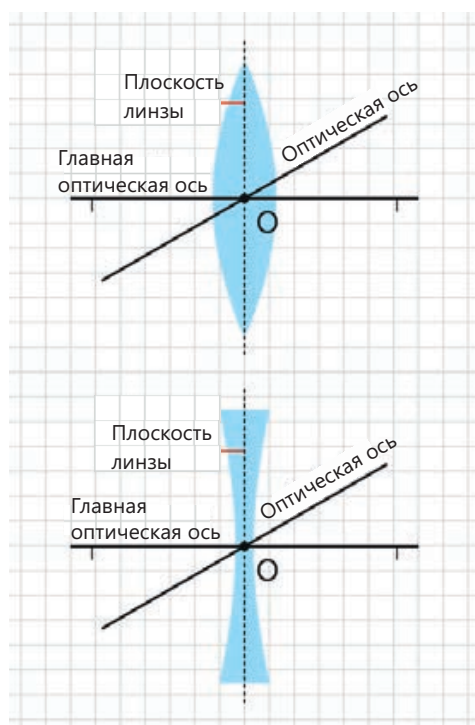


Рисунок 2.56.
Плоскость линзы.

Основные элементы линзы

Понятие тонкой линзы вводят для упрощения изучения основных свойств линз.

- *Тонкой линзой называют линзу, толщина которой значительно меньше всех остальных размеров линзы.*

Модель тонкой линзы применяется в случае, когда толщина линзы очень мала по сравнению с её фокусным расстоянием. При работе с тонкой линзой предполагается, что она расположена на поверхности, называемой плоскостью линзы (рис. 2.56).

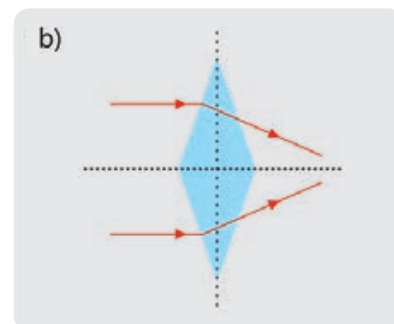
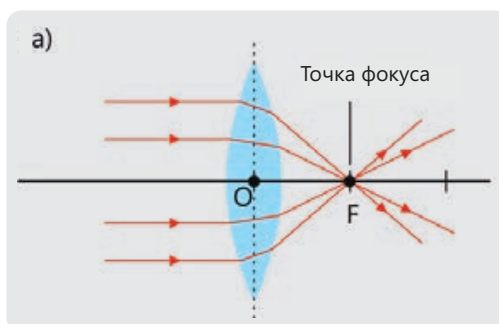
- *Оптический центр линзы – это точка O , в которой луч света, проходящий через линзу, не преломляется. (см. рис. 2.56).*
- *Главная оптическая ось линзы – это прямая линия, проходящая через оптический центр линзы перпендикулярно её плоскости.*
- *Оптическая ось линзы – это произвольная прямая линия, проходящая через оптический центр.*

Поскольку через оптический центр может пройти любое количество прямых линий, линза имеет бесконечное число оптических осей.

- *Главный фокус выпуклой линзы – это точка, где падающие параллельно главной оптической оси лучи света пересекаются с главной оптической осью после преломления в линзе, и обозначается буквой F . Точка, в которой расположен главный фокус, называется точкой фокуса или фокальной точкой.*

Фокус выпуклой линзы является действительным, поскольку в этой точке пересекаются сами преломленные в линзе лучи (рис. 2.57, а). Чтобы понять собирающее свойство выпуклой линзы, полезно сравнить ход световых лучей в ней с их ходом в двух стеклянных призмах (рис. 2.57, б).

Рисунок 2.57.
Фокус выпуклой линзы является действительным



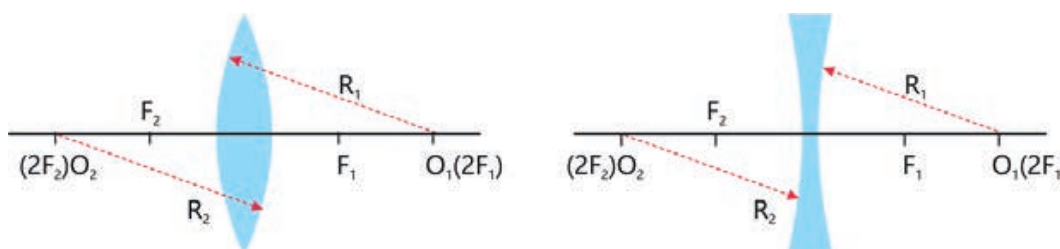
- *Главный фокус вогнутой линзы – это точка пересечения продолжений преломлённых лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси.*

Фокус вогнутой линзы является мнимым, поскольку в нем пересекаются не сами преломленные в линзе лучи, а их продолжения (рис. 2.58, а). Для понимания рассеивающих свойств вогнутой стеклянной линзы в воздухе достаточно сопоставить ход световых лучей в ней с их ходом в двух стеклянных призмах (рис. 2.58, б).

• **Фокальная плоскость** - это плоскость, перпендикулярная главной оптической оси, проходящая через главный фокус (фокусную точку) линзы. Точки, где все оптические оси линзы пересекаются с фокальной плоскостью, являются фокусами линзы на этой оси. В собирающей линзе световые лучи, падающие параллельно произвольной оптической оси, преломляются в линзе и собираются в точке пересечения фокальной плоскости с этой оптической осью, то есть в фокусе линзы (рис. 2.59).

• **Фокусное расстояние линзы (или фокусное расстояние)** – это расстояние между оптическим центром линзы и её фокусом. Фокусное расстояние обозначается буквой **F**, а единицей его измерения в системе СИ является метр: $[F] = 1 \text{ м}$.

Двояковыпуклая (или вогнутая) линза имеет два фокуса и два центра кривизны (точки O_1 и O_2). Эти точки расположены на главной оптической оси и находятся на одинаковом расстоянии по обе стороны линзы в однородной среде, т.е. $F_1 = F_2$ и $R_1 = R_2$ (рис. 2.60).



• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

На рисунке показаны параллельные лучи, падающие на вогнуто-выпуклую линзу слева, преломление и пересечение этих лучей на правой стороне линзы. Если на линзу падают параллельные лучи справа, то по какой траектории будут распространяться преломленные лучи? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.

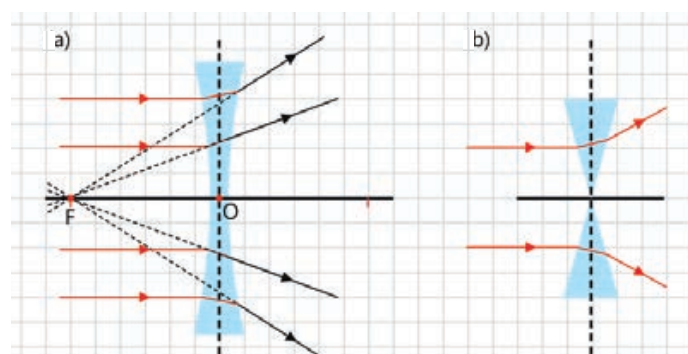
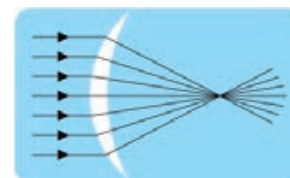


Рисунок 2.58.
Фокус вогнутой линзы — мнимый фокус.

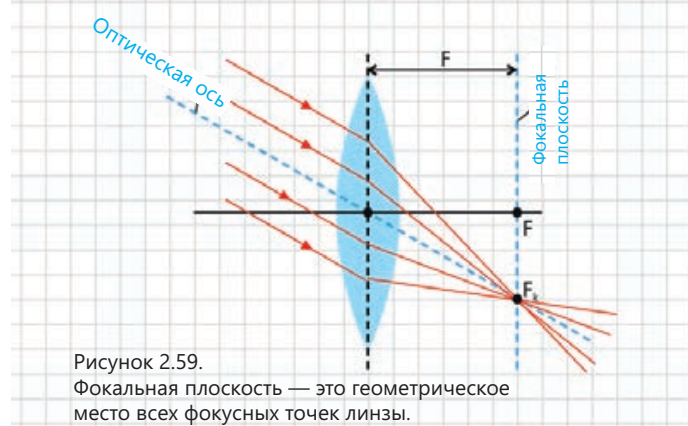


Рисунок 2.59.
Фокальная плоскость — это геометрическое место всех фокусных точек линзы.

Примечание. Радиус кривизны двояковыпуклой симметричной линзы в однородной среде равен удвоенному фокусному расстоянию линзы, т.е. $R = 2F$.

Рисунок 2.60.
Точка фокуса и центр кривизны двояковыпуклой (или вогнутой) линзы

Примените полученные знания.

Изменилось ли фокусное расстояние линзы?

Оборудование: оптический диск, выпуклая стеклянная линза, карандаш, линейка.

Ход работы:

1. Закрепите выпуклую линзу в центре оптического диска и направьте параллельный луч света, исходящий от источника, на линзу вдоль главной оптической оси. Отметьте карандашом точку пересечения преломленных лучей на диске и нарисуйте схему эксперимента на рабочем листе (рис. 2.61).
2. Измерьте фокусное расстояние, определенное в эксперименте, и запишите его на схеме, нарисованной на рабочем листе.
3. Повторите эксперимент несколько раз, изменяя угол падения параллельных лучей на поверхность линзы. Каждый раз отмечайте карандашом точку пересечения лучей, преломленных линзой, на диске, измеряйте фокусное расстояние и записывайте его на соответствующем рисунке, который вы нарисовали на рабочем листе.

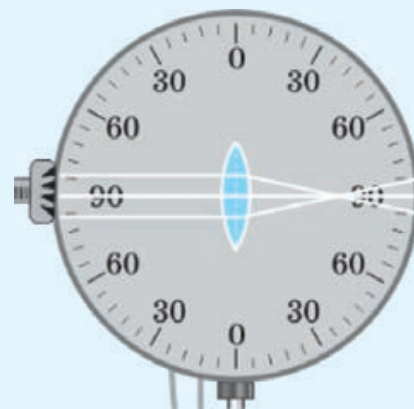


Рисунок 2.61

Обсудите:

- Зависит ли фокусное расстояние линзы от угла падения параллельных лучей? Какой вывод вы сделали из эксперимента?

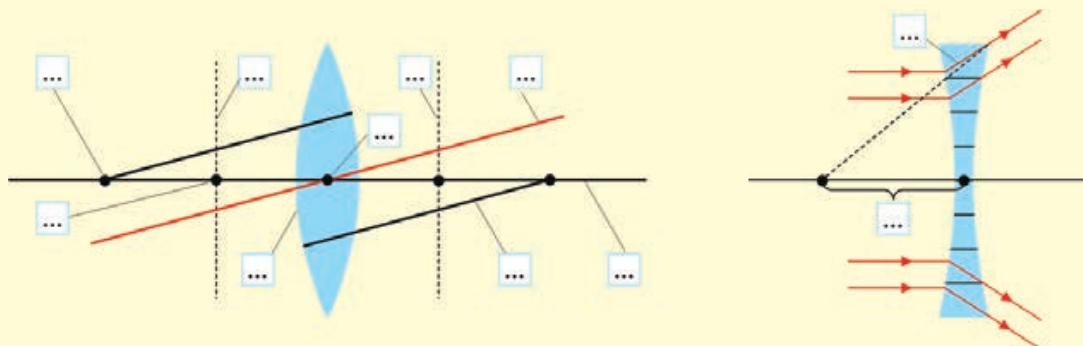
Проверьте полученные знания

1. Для описания линз используются понятия "главная оптическая ось" и "оптическая ось".

Вопрос 1. В чем разница между этими понятиями?

Вопрос 2. Сколько главных оптических осей и сколько оптических осей имеет линза?

2. Что означают понятия "главный фокус линзы" и "фокусное расстояние"? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.
3. Нарисуйте данную схему на рабочем листе и отметьте соответствующий элемент линзы вместо точек.



2.4.2 Построение изображения предмета в линзах

• В романе Жюль Верн "Путешествие и приключения капитана Хаттераса" мы читаем: "Доктор Клобонни, спутник храброго капитана Хаттераса, отличался изобретательностью. Однажды во время арктической экспедиции они оказались в затруднительном положении – в 48-градусный мороз остались без огня! Что делать? Доктор Клобонни не терял надежды, он взял топор... и с его помощью воспламенил гнилую древесину".

• **Сформулируйте свою гипотезу:**
Что, по вашему мнению, было написано вместо точек в предложении в произведении? Как доктор Клобонни поджег гнилую древесину без спичек?

• Мы продолжаем расширять наши знания об интересных фактах из физики, изучая свойства линз, широко используемых на практике.

- **Как вы считаете, возможно ли получить с помощью выпуклой линзы как действительное, так и мнимое изображение?**
- **Какие виды изображений дает вогнутая линза и от чего зависит расстояние от линзы до изображения?**

Ключевые слова

расстояние до предмета, расстояние до изображения, двойной фокус, действительное изображение, мнимое изображение

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

От чего зависит изображение предмета, полученное в линзе?

Принадлежности: двояковыпуклая линза с известным фокусным расстоянием, свеча, спички, экран, чувствительный электронный термометр.

Ход работы:

1. Разместите экран, линзу и горящую свечу на столе на прямой линии на расстоянии, равном двойному фокусному расстоянию линзы ($d > 2F$).
2. Перемещайте экран ближе и дальше от линзы до тех пор, пока не появится четкое изображение пламени свечи (рис. 2.62). Измерьте температуру области, где на экране покажется изображение пламени, и сравните ее с комнатной температурой.
3. Повторите эксперимент, как описано в пункте 2, поместив свечу между двойным фокусом и фокусом линзы.

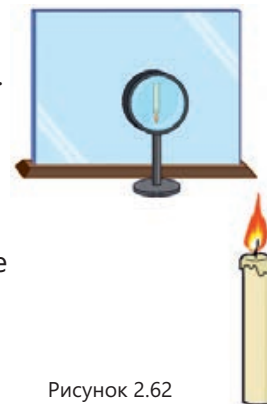


Рисунок 2.62

Обсудите:

1. **Какие различия вы наблюдали при сравнении изображений, полученных на экране, с самим предметом (пламенем)?**
2. **Какие выводы можно сделать о том, являются изображения действительным или мнимыми?**
3. **Какую разницу вы определили между температурой места, где были получены изображения, и комнатной температурой? О чем свидетельствует эта разница?**
4. **Какие выводы можно сделать из эксперимента о характеристиках изображения (действительное или мнимое, размер, прямое или перевернутое изображение)?**



Какие лучи лучше всего использовать для получения изображения в линзах?

1. Построение изображений в собирающей линзе

Наиболее важным свойством любой линзы является то, что изображение точки в линзе также является точкой.

Следовательно, для построения изображения выбранной точки достаточно построить ход всего двух произвольных лучей, исходящих из этой точки и проходящих через линзу. Точка пересечения этих лучей или их продолжений будет изображением данной точки.

Обычно для построения изображения любой точки в линзе целесообразно использовать следующие лучи (лучи, направление которых известно после преломления в линзе):

- 1) луч, проходящий через оптический центр, преломляется на обеих поверхностях линзы, но эти два преломления компенсируют друг друга – луч сохраняет своё первоначальное направление (рис. 2.63);
- 2) луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходит через её фокус (рис. 2.64);
- 3) луч, проходящий через фокус линзы, после преломления в собирающей линзе идёт параллельно главной оптической оси (рис. 2.65).

Таким образом, как указано выше, достаточно использовать любые два из этих лучей для построения изображения любой точки в линзе. Собирающая линза даёт действительное изображение предмета в пяти случаях и мнимое изображение в одном случае. Давайте ознакомимся с ними.

Примечание. При построении изображения предмета AB , расположенного перпендикулярно главной оптической оси, сначала строят изображение B' точки B с помощью двух удобных лучей. Затем из точки B' опускают перпендикуляр на главную оптическую ось. Точка пересечения перпендикуляра с осью будет изображением точки A .

Случай 1. Предмет находится в бесконечности, т.е. $d \rightarrow \infty$.

Действительное изображение получается в фокусе линзы (лучи, идущие из бесконечности, параллельны, поэтому они преломляются в линзе и собираются в её фокусе), т.е. $f = F$. Здесь d – расстояние до предмета (расстояние от предмета до линзы), f – расстояние до изображения (расстояние от изображения до линзы), F – фокусное расстояние.

Случай 2. Когда предмет находится за двойным фокусом линзы, т.е. $d > 2F$, его изображение получается действительным, уменьшенным и перевернутым. Изображение расположено между фокусом и двойным фокусом линзы:

$$2F > f > F.$$

На рисунке 2.66 показана схема построения изображения ($A'B'$) предмета AB .

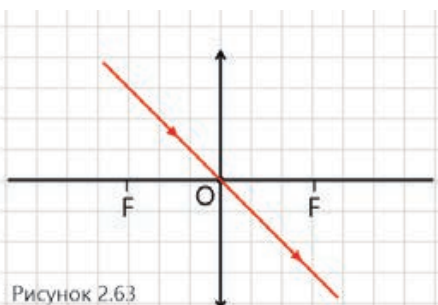


Рисунок 2.63

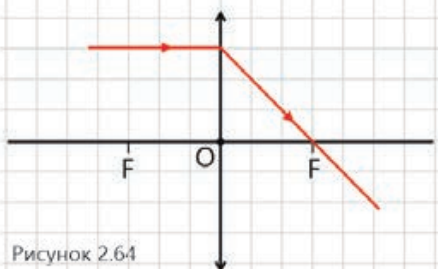


Рисунок 2.64

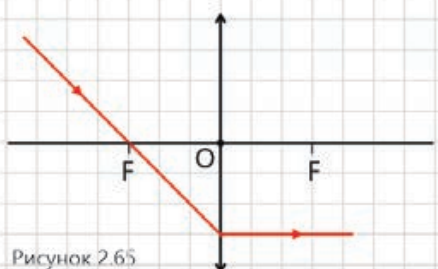


Рисунок 2.65

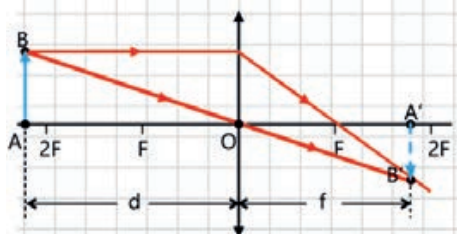


Рисунок 2.66

Случай 3. Когда предмет находится на двойном фокусе линзы, если $d = 2F$, его изображение получается на двойном фокусе линзы ($f = 2F$). Изображение действительное, равное по размеру предмету и перевернутое (рис. 2.67).



Случай 4. Когда предмет находится между фокусом и двойным фокусом линзы, то есть если $2F > d > F$, его изображение действительное, увеличенное и перевернутое. Изображение расположено за двойным фокусом линзы: $f > 2F$.

Случай 5. Когда предмет находится в фокусе линзы, то есть если $d = F$, его изображение получается на бесконечности. Это происходит потому, что лучи, преломленные в линзе, идут параллельно друг другу: $f \rightarrow \infty$.

Случай 6. Когда предмет находится между линзой и ее фокусом, то есть если $d < F$, то изображение получается с той же стороны от линзы, где и предмет, но дальше от неё – оно мнимое, прямое и увеличенное (рис. 2.68).

2. Построение изображения в рассеивающей линзе

Поскольку фокус рассеивающей линзы мнимый, изображение всегда, независимо от расстояния до предмета, будет мнимым, уменьшённым и прямым. Изображение располагается между предметом и линзой. На рисунке 2.69 показана схема построения изображения предмета АВ, расположенного за двойным фокусом рассеивающей линзы, с помощью соответствующих лучей.

Таким образом, получение изображений предметов в линзах можно обобщить следующим образом:

- Во всех случаях, когда соотношение между расстоянием до предмета и фокусным расстоянием собирающей линзы $d \geq F$, собирающая линза дает действительное изображение предмета. Действительное изображение всегда перевернуто.
- В случае, когда расстояние до предмета меньше фокусного расстояния линзы ($d < F$), в собирающей линзе получается мнимое изображение предмета. Мнимое изображение в собирающей линзе прямое и увеличенное.
- Поскольку фокус рассеивающей линзы является мнимым, изображение во всех случаях, независимо от расстояния до предмета, является мнимым, уменьшенным, прямым и расположенным между предметом и линзой.

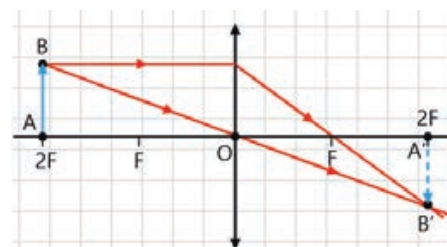


Рисунок 2.67

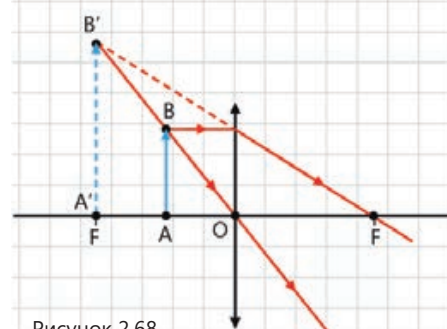


Рисунок 2.68

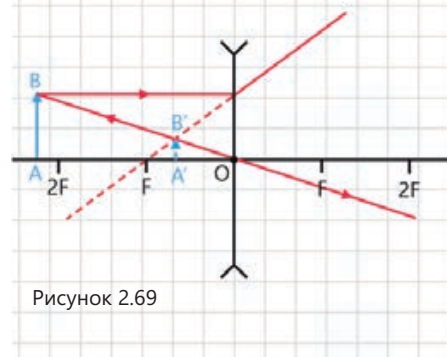
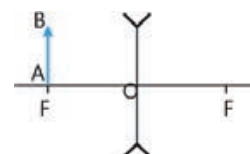


Рисунок 2.69

• ПОДУМАЙ
• ОБСУДИ
• ПОДЕЛИСЬ

Если предмет расположен на главном фокусе собирающей линзы, какими свойствами будет обладать его изображение? Перенесите схему на свой рабочий лист и обоснуйте свой ответ, построив изображение предмета.



Примените полученные знания.

Задача. Перенесите схему, изображенную на рисунке 2.70, на свой рабочий лист. Используя подходящие лучи, постройте изображение предмета AB и CD в соответствующих линзах.

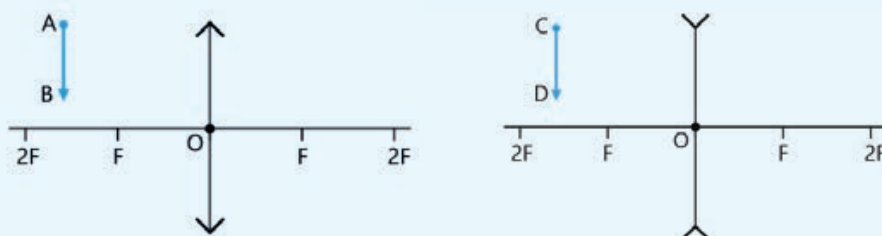


Рисунок 2.70

Обсудите:

- Для какого предмета изображение получилось действительным, а для какого – мнимым?
- Что можно сказать о геометрических характеристиках изображений?

Проверьте полученные знания

1. Какие лучи подходят для построения изображений предметов в линзах? Изобразите ход этих лучей на схеме.
2. Возможно ли получить мнимое изображение в выпуклой линзе и действительное изображение в вогнутой линзе? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему.
3. На рисунке 2.71 изображена главная оптическая ось MN, предмет AB и его изображение A'B'.

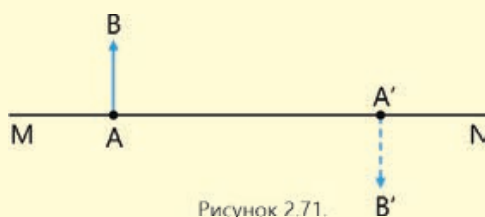


Рисунок 2.71

Вопрос 1. Определите построением положение оптического центра и фокусов линзы на схеме.

Вопрос 2. Каким типом линзы было получено изображение A'B' — выпуклой или вогнутой? Является это изображение мнимым или действительным? Обоснуйте свой ответ.

2.4.3 Формула тонкой линзы: связь между характеристиками линзы

Джавид и Лала в саду рассматривали через лупу насекомых на цветочных листьях. Приближая лупу к листьям, они с интересом наблюдали за крошечными букашками.

Джавид сказал Лале:

– Моя лупа увеличивает букашек сильнее, чем твоя.

Лала ответила:

– А моя лупа показывает букашек ближе, чем твоя.



- Как определить увеличение линзы?
- Как вычислить расстояние от линзы до изображения предмета?

Ключевые слова

уравнение производства линзы, формула тонкой линзы, оптическая сила, линейное увеличение линзы

1. Уравнение производства линзы

Фокусное расстояние линзы зависит от двух характеристик материала линзы:

- кривизны поверхности линзы;
- показателя преломления материала линзы.

Именно кривизна отличает линзу от обычного оконного стекла. Показатель преломления определяет, насколько сильно преломляется луч света при прохождении из воздуха в линзу (а затем из нее в воздух). Таким образом, связь между фокусным расстоянием линзы и величинами, выражающими эти две характеристики, называется уравнением производства линзы и выражается следующим образом:

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (1)$$

Здесь F — фокусное расстояние линзы, n — показатель преломления материала, из которого изготовлена линза, а R_1 и R_2 — радиусы кривизны двух поверхностей линзы.

Задача 1.

На рисунке 2.72 изображена вогнуто-выпуклая линза. Радиус кривизны ее выпуклой поверхности равен 22 см, а радиус кривизны ее вогнутой поверхности равен 32 см. Показатель преломления стекла линзы равен 1,52. Каково фокусное расстояние этой линзы?



Решение. Для этого записывается уравнение производства линзы, и уравнение решается с учетом имеющихся данных. Однако следует отметить, что одна из поверхностей линзы вогнутая, поэтому радиус кривизны этой поверхности будет взят с отрицательным знаком.

Таким образом:

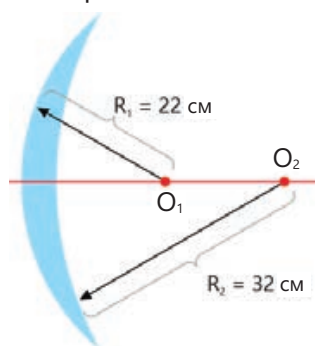


Рисунок 2.72. Радиусы кривизны вогнуто-выпуклой линзы

Дано	Решение
$R_1 = 22 \text{ см},$ $R_2 = 32 \text{ см},$ $n = 1,52.$ $F - ?$	$\frac{1}{F} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{-R_2} \right).$
Вычисления	
$\frac{1}{F} = (1,52 - 1) \cdot \left(\frac{1}{22} + \frac{1}{-32} \right) \frac{1}{\text{см}} = 0,52 \cdot (0,046 - 0,031) \frac{1}{\text{см}} = 0,0078 \frac{1}{\text{см}}.$	
$F = \frac{1}{0,0078} \text{ см} = 128,2 \text{ см}.$	

2. Формула тонкой линзы

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Можно ли определить расстояние между линзой и изображением, исходя из характеристик линзы?

Задача 2.

Предмет находится на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 28 \text{ см}$. На экране получено его действительное изображение, увеличенное в 5 раз. Определите расстояние до изображения (f).

подсказка Алгоритм решения задачи состоит из следующих последовательных шагов:

Шаг 1. Строится схема получения изображения по условию задачи (см. рис. 2.73).

Шаг 2. Определяется искомая величина с помощью подобия треугольников. На схеме треугольники ABO и $A'B'O$ подобны. Отсюда следует, что:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d} \rightarrow f = \frac{d \cdot H}{h}.$$

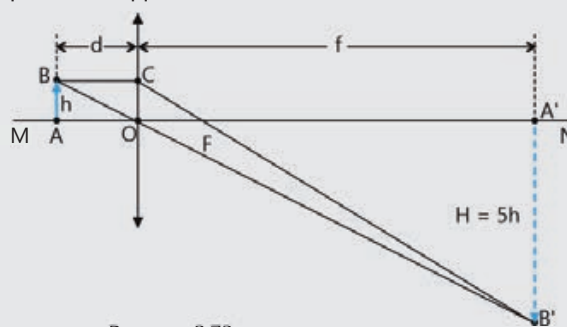


Рисунок 2.73

Общая закономерность, связывающая расстояние до предмета, расстояние до изображения и фокусное расстояние, выражается формулой линзы. Вы начали выводить эту формулу в задаче 2.

Итак, из подобия треугольников ABO и $A'B'O$:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (2)$$

Здесь d — расстояние до предмета, f — расстояние до изображения.

Из подобия треугольников COF и A'B'F следует, что (см. рис. 2.73):

$$\frac{H}{h} = \frac{f - F}{F}. \quad (3)$$

Сравнив выражения (2) и (3), получим:

$$\frac{f}{d} = \frac{f - F}{F}.$$

Отсюда получим:

$$fF = df - dF \text{ или } df = fF + dF.$$

Разделив все члены последнего выражения на произведение Fdf , получаем:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Выражение (4) – это формула тонкой линзы для случая действительного изображения.

Если в собирающей линзе получается мнимое изображение, то расстояние до него отрицательное, то есть:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}. \quad (5)$$

В формуле тонкой линзы физическая величина, обратная фокусному расстоянию, называется оптической силой линзы. Оптическая сила обозначается буквой **D**:

$$\frac{1}{F} = D. \quad (6)$$

Единицей измерения оптической силы в СИ является диоптрия (1 дптр).

• 1 диоптрия – это оптическая сила собирающей линзы с фокусным расстоянием 1 м:

$$[D] = \frac{1}{[F]} = \frac{1}{\text{м}} = 1 \text{ дптр}.$$

Учитывая выражение (6) в (4), формулу тонкой линзы можно также записать следующим образом:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (7)$$

В рассеивающей линзе главный фокус и изображение являются мнимыми. В этом случае, поскольку фокусное расстояние и расстояние до изображения отрицательны, перед выражениями, определяющими эти расстояния, ставится знак минус, т.е.:

$$\frac{1}{|F|} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|} \quad (8)$$

Как видно из формул (4) и (8), фокусное расстояние и оптическая сила собирающей линзы положительны, т.е. $f > 0$, $D > 0$, тогда как фокусное расстояние и оптическая сила рассеивающей линзы отрицательны, т.е.: $f < 0$, $D < 0$.

Для сравнения линейного размера изображения предмета, полученного линзой, с его собственным размером используется величина, называемая *линейным увеличением линзы*.

• *Линейное увеличение линзы* – это физическая величина, равная отношению линейного размера изображения к линейному размеру предмета или расстоянию от изображения к расстоянию до предмета. Линейное увеличение линзы обозначается буквой Γ (гамма):

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{d}. \quad (9)$$

Если $|\Gamma| > 1$, изображение – увеличенное, если $|\Gamma| < 1$, изображение – уменьшенное.

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

Если предмет расположен на двойном фокусе выпуклой линзы, чему будет равно его увеличение? Обоснуйте свой ответ.

Примените полученные знания

Задача 3. Предмет находится на расстоянии 30 см от линзы с фокусным расстоянием 15 см.

Вопрос 1. Чему равно расстояние до изображения?

Вопрос 2. Чему равна оптическая сила линзы в диоптриях?

Вопрос 3. Чему равно линейное увеличение линзы?

Проверьте полученные знания

1. Джавид рассматривал монету через лупу с оптической силой +8 дптр, расположив её на расстоянии 5 см от монеты.

Вопрос 1. Чему равно фокусное расстояние увеличительного стекла?

Вопрос 2. На каком расстоянии от лупы изображение монеты кажется чётче?

Вопрос 3. Какое изображение даёт лупа – действительное или мнимое?

2. Оптическая сила одной линзы равна -3,5 диоптрий, а другой — +3,5 диоптрий. Чем отличаются эти линзы?

3. Предмет расположен на расстоянии 1 м от линзы. Его мнимое изображение получено на расстоянии 25 см от линзы.

Вопрос 1. Чему равны фокусное расстояние и оптическая сила линзы?

Вопрос 2. Какая эта линза – выпуклая или вогнутая?

2.4.4 Глаз – естественная оптическая система

Специалисты установили, что новорожденные видят все вверх ногами (перевернутым). Это происходит потому, что свет преломляется, проходя через роговицу и зрачок, и проецируется в перевернутом виде на сетчатку в задней части глаза. Поскольку зрительная система новорожденных еще не полностью развита, их мозг постепенно учится интерпретировать эти сигналы. Было установлено, что нормальное зрение у младенцев развивается в возрасте от четырех до шести месяцев, и только после этого они начинают видеть так же, как взрослые.



- Действительно ли изображение на сетчатке глаза получается перевернутым?
- Чем мы видим: глазами или мозгом?

Ключевые слова

оптическая система глаза, роговица, жидкость передней камеры, кристалл, стекловидное тело, аккомодация, близорукость, дальнозоркость, очки

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Почему и как изменяется зрачок глаза под воздействием внешних факторов?

Принадлежности: фонарик, плоское зеркало.

Ход работы:

1. Закройте шторы на окнах в классе. Установите зеркало вертикально на стол (оперев о книгу) и рассмотрите свои зрачки.
2. Включите фонарик и поднесите его ближе к виску. В это время наблюдайте за изменением размера зрачков (рис. 2.74).
3. Выключите фонарик и снова наблюдайте за изменениями зрачков в зеркале.



Рисунок 2.74

Обсудите:

- Какие изменения наблюдались в зрачках при попадании яркого света в глаз и при выключении света?
- Почему и как изменяется размер зрачка под воздействием внешних факторов?

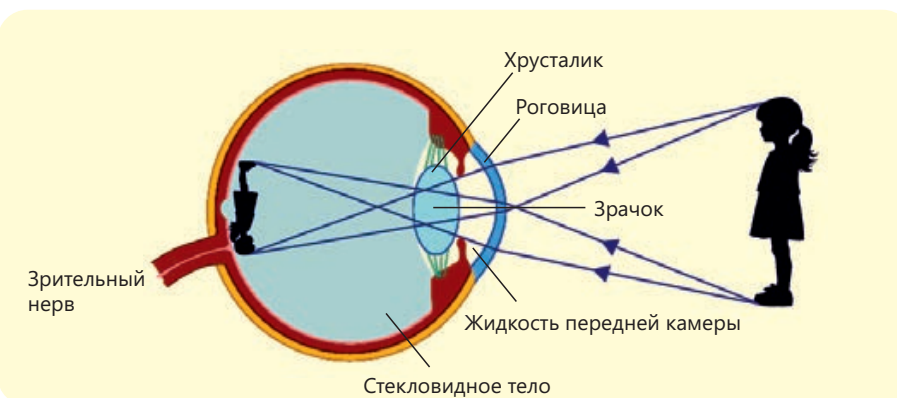
Глаз и зрение

Известно, что человек получает более 80% информации об окружающем мире с помощью зрения. Глаз, орган зрения, представляет собой очень совершенную, сложно устроенную и в то же время простую естественную оптическую систему.

Оптическая система глаза – это сложная система, состоящая из прозрачных элементов, преломляющих световые лучи: роговицы, жидкость передней камеры, хрусталика и внутреннего стекловидного тела, обладающих оптической силой ~60 дптр.

Световые лучи, попадающие в глаз, преломляются в оптической системе глаза и фокусируются на сетчатке, образуя действительное, уменьшенное и перевернутое изображение предметов, которые мы видим (рис. 2.75).

Рисунок 2.75.
Глаз — это естественная
оптическая система



Изменение оптической силы хрусталика глаза называется **аккомодацией**.

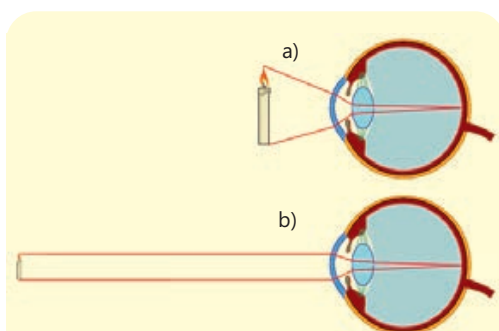


Рисунок 2.76. Аккомодация глаза



Изображение предметов на сетчатке глаза перевернуто. Так почему же мы видим их в прямом виде?

Глаз мгновенно адаптируется к восприятию предметов, находящихся как близко, так и далеко, в результате аккомодации (лат. "аккомодация" означает "адаптация"). Например, когда глаз смотрит на относительно близкий предмет, выпуклость хрусталика увеличивается, и проходящие через него световые лучи преломляются сильнее (рис. 2.76, а). В результате изображение предмета на сетчатке становится увеличенным. По мере удаления предмета от глаза выпуклость хрусталика уменьшается и на сетчатке формируется уменьшенное действительное изображение предмета (рис. 2.76, б). Однако существует определенный предел аккомодации. Предел аккомодации равен 12 см от глаза. Оптическая система глаза не может сфокусировать на сетчатке изображение предметов, расположенных на расстояниях меньше этого предела.

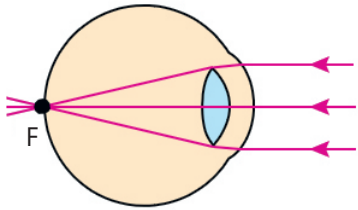
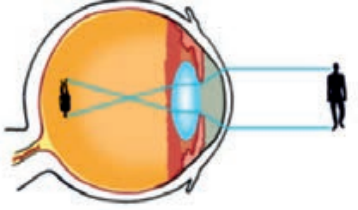
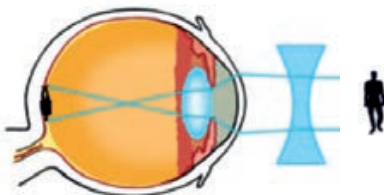
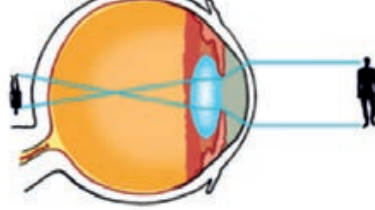
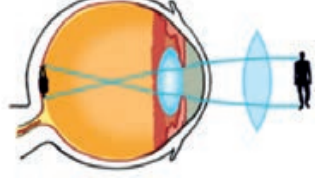
Наиболее подходящее расстояние для здорового глаза, позволяющее комфортно видеть близко расположенные предметы, равно приблизительно 25 см. Это расстояние называется оптимальным расстоянием зрения.

Это происходит потому, что в процессе зрения задействованы и другие органы чувств. Так, под воздействием изображения, поступающего на сетчатку, раздражаются концы зрительного нерва. Это раздражение передается в зрительную часть мозга, где полученная визуальная информация мгновенно анализируется: оцениваются размер, цвет, освещенность предмета и расстояние до него. В результате мозг формирует видимую реальную картину окружающего мира. Таким образом, глаз является инструментом для зрительного восприятия мозга.

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

1. Какая часть (или части) глаза выполняет функцию линзы?
2. Почему изображения предметов на сетчатке глаза бывают действительными, уменьшенными и перевернутыми?

Дефекты зрения и их коррекция

Нормальное зрение	Дефект зрения	
	Близорукость (миопия)	Дальнозоркость (гиперметропия)
В ненапряжённом состоянии фокус F оптической системы глаза расположен на сетчатке.  Сетчатка получает точные изображения удаленных предметов. Оптимальное расстояние для зрения равно 25 см. На этом расстоянии глаз может комфортно читать книгу, не напрягая зрение. Оптическая система глаза имеет оптическую силу +60 дптр.	В ненапряжённом состоянии фокус F оптической системы глаза расположен перед сетчаткой.  На сетчатке получаются размытые изображения предметов, находящихся далеко от глаза. Оптимальное расстояние для чтения – менее 25 см. Человек с близорукостью может читать, держа книгу близко к глазам. По сравнению с нормальным глазом глазное яблоко при близорукости удлинено, а его оптическая сила больше. Для устранения этого дефекта зрения необходимо каким-либо образом уменьшить оптическую силу глаза. Близорукость можно устранить с помощью очков с рассеивающими линзами. Так, очки с оптической силой "–" (например, –2 дптр, –2,5 дптр и т.д.) уменьшают оптическую силу глаза, и изображение предмета формируется на сетчатке так же, как и у здорового глаза. 	В ненапряжённом состоянии фокус F оптической системы глаза расположен за сетчаткой.  На сетчатке получаются размытые изображения предметов, находящихся близко к глазу. Оптимальное расстояние для чтения – более 25 см. Человек с дальнозоркостью может читать книгу, держа её на расстоянии от глаз. Оптическая сила такого глаза меньше оптической силы здорового глаза. Для устранения этого дефекта зрения необходимо каким-либо образом увеличить оптическую силу глаза. С помощью очков с собирающими линзами можно устранить дальнозоркость. Так, очки с оптической силой "+" (например, +2 дптр, +2,5 дптр и т.д.) увеличивают оптическую силу глаза, и изображение предмета формируется на сетчатке глаза. 

Примените полученные знания.

Задача: В магазине оптики

В магазине оптики на полках были выставлены различные типы очков с линзами со следующими обозначениями:

+2,5 дптр, -1,5 дптр, -0,75 дптр, +1 дптр, +6 дптр, -2,75 дптр.

Вопрос 1. Для кого предназначены эти очки с линзами?

Вопрос 2. Каковы их фокусные расстояния соответственно?

Проверьте полученные знания

1. Почему человек с нормальным зрением одинаково четко видит как далеко, так и близко расположенные предметы?

2. На каком минимальном расстоянии человек с нормальным зрением должен держать тело глаза, чтобы видеть четко?

3. Когда бабушка читает газету, она держит её подальше от глаз, а когда дедушка читает газету, он держит её близко к глазам.



Вопрос 1. Какой тип дефекта зрения у бабушки и дедушки?

Вопрос 2. Какие очки им следует использовать для коррекции этого дефекта?



2.4.5 Оптические приборы

Оптические приборы — незаменимые технические средства в различных сферах человеческой деятельности. По назначению их можно разделить на следующие группы:

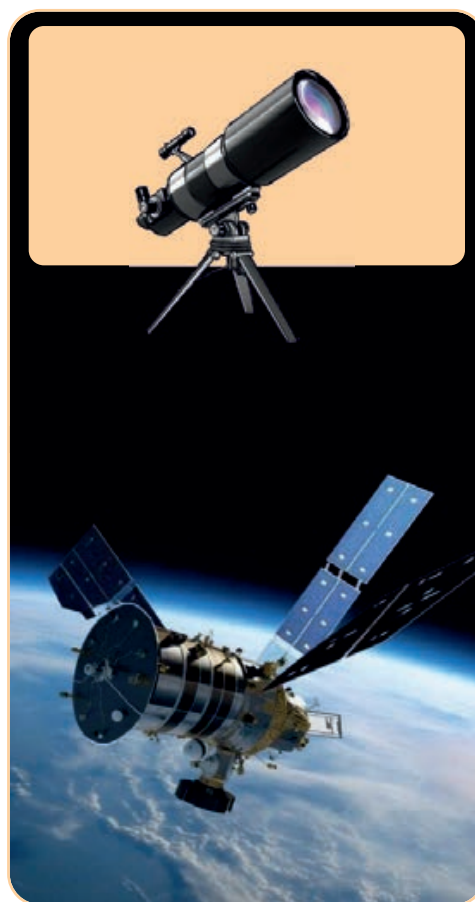
В быту



В медицине



В космических исследованиях



В военной сфере



- Из каких основных элементов состоят оптические системы этих приборов?
- На каких законах распространения света (оптики) основан принцип действия этих приборов?

Ключевые слова

оптическая система, лупа, фотоаппарат, телескоп, микроскоп

Лупа

Лупа — это простейший оптический прибор, предназначенный для получения увеличенных изображений мелких предметов.

Лупа представляет собой собирающую (выпуклую) линзу с малым фокусным расстоянием (обычно в диапазоне 1–10 см). Чтобы рассмотреть мелкий предмет AB , его помещают между лупой и ее фокусом (рис. 2.77). Когда глаз смотрит через лупу, он видит изображение $A'B'$ предмета. Изображение является мнимым, прямым и увеличенным.

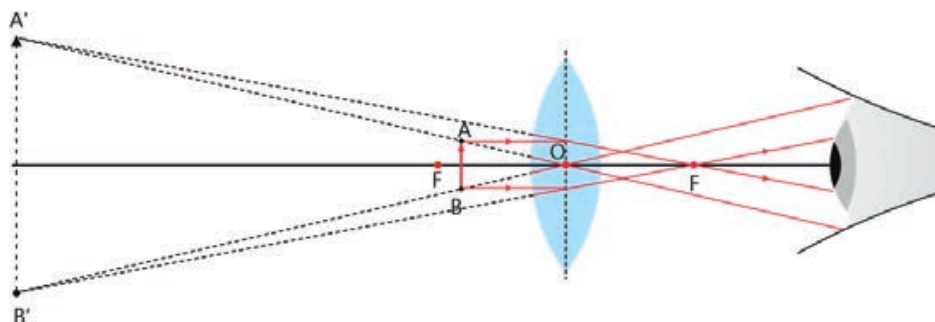


Рисунок 2.77. Лупа и схема ее увеличения

Микроскоп

Простейший микроскоп состоит из двух собирающих линз L_1 и L_2 (рис. 2.78). Если предмет AB поместить перед линзой L_1 (объективом) на некотором расстоянии от фокусного расстояния F_1 , то получится действительное и перевернутое изображение предмета $A'B'$. Изображение $A'B'$ играет роль действительного предмета для линзы L_2 окуляра. Окуляр настраивается таким образом, чтобы изображение $A'B'$ располагалось между линзой L_2 и ее фокусом F'_1 . В этом случае окуляр действует как увеличительное стекло и создает мнимое, перевернутое и увеличенное изображение $A''B''$ предмета AB . По сравнению с лупами микроскопы позволяют получать более крупные изображения более мелких предметов.

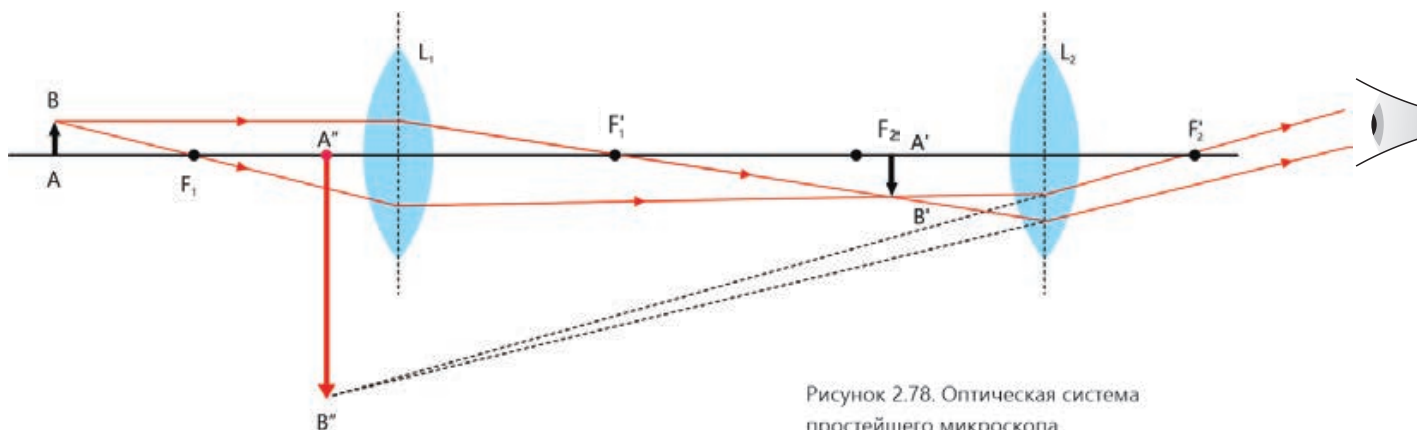
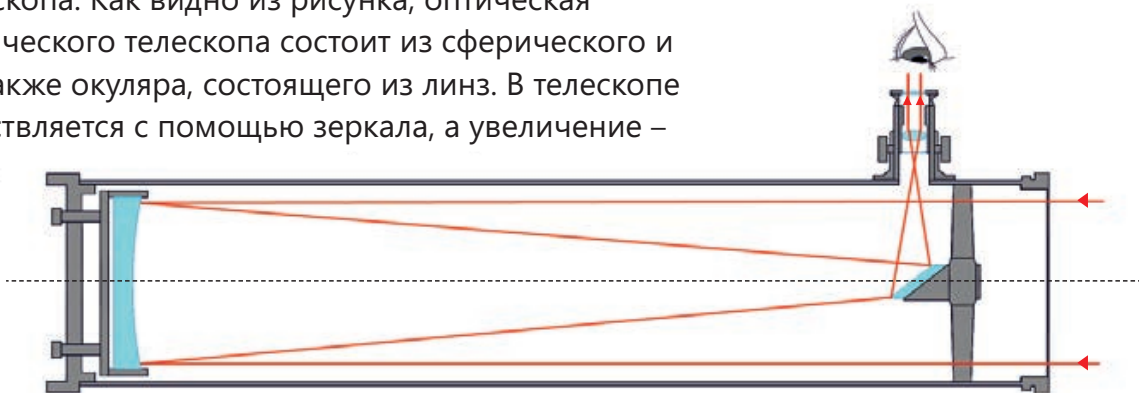


Рисунок 2.78. Оптическая система простейшего микроскопа

Телескоп

Телескоп предназначен для наблюдения за очень далёкими объектами, такими как планеты, звёзды и другие небесные тела. На рисунке 2.79 показана схема оптической системы классического ньютоновского телескопа. Как видно из рисунка, оптическая система этого классического телескопа состоит из сферического и плоского зеркал, а также окуляра, состоящего из линз. В телескопе фокусировка осуществляется с помощью зеркала, а увеличение – с помощью окуляра.

Рисунок 2.79.
Схема оптической системы классического ньютоновского телескопа



Фотоаппарат

Фотоаппарат использует систему короткофокусных собирающих линз. Обычно при съемке предмет располагается на расстоянии нескольких фокусных расстояний от объектива линзы. За объективом размещается светочувствительный элемент, например, фотоприемная матричная пластина, которая действует как экран. На рисунке 2.80 показана траектория лучей в современном зеркальном фотоаппарате. Объектив вращается влево и вправо до тех пор, пока в окулярах не появится четкое изображение фотографируемого предмета. Таким образом, после появления сфокусированного изображения нажимается кнопка спуска затвора. В этот момент зеркало поднимается, и лучи света от предмета падают на матричную пластину, создавая там действительное, уменьшенное и перевернутое изображение.

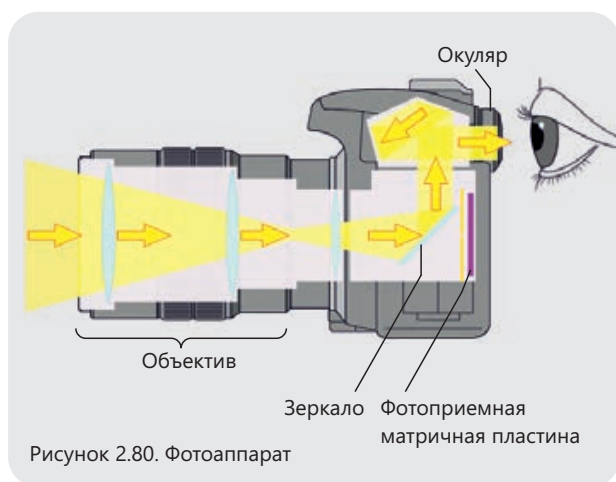


Рисунок 2.80. Фотоаппарат

• ПОДУМАЙ • ОБСУДИ • ПОДЕЛИСЬ •

Как можно объяснить яркость морских волн, исходя из явления полного внутреннего отражения света?

Примените полученные знания

Давайте сделаем средневековый "фотоаппарат"

Принадлежности: квадратная коробка с одной открытой стороной (можно также использовать коробку из-под сока темного цвета), картонная трубка (цилиндрическая картонная вставка от кухонного полотенца), лупа, ножницы, клей, калька и скотч.

Ход работы :

1. Прodelайте отверстие на дне коробки. Отрегулируйте его размер так, чтобы картонная трубка могла свободно вращаться внутри него (рис. 2.81, а).



2. Приклейте кальку к открытой стороне коробки (рис. 2.81, б).
3. Подготовьте объектив, прикрепив лупу к открытому горлышку трубки с помощью скотча (рис. 2.81, с).
4. Направьте линзу "камеры" на любой хорошо освещенный предмет, а сторону с калькой (окуляр) – к своему глазу (рис. 2.81, d).

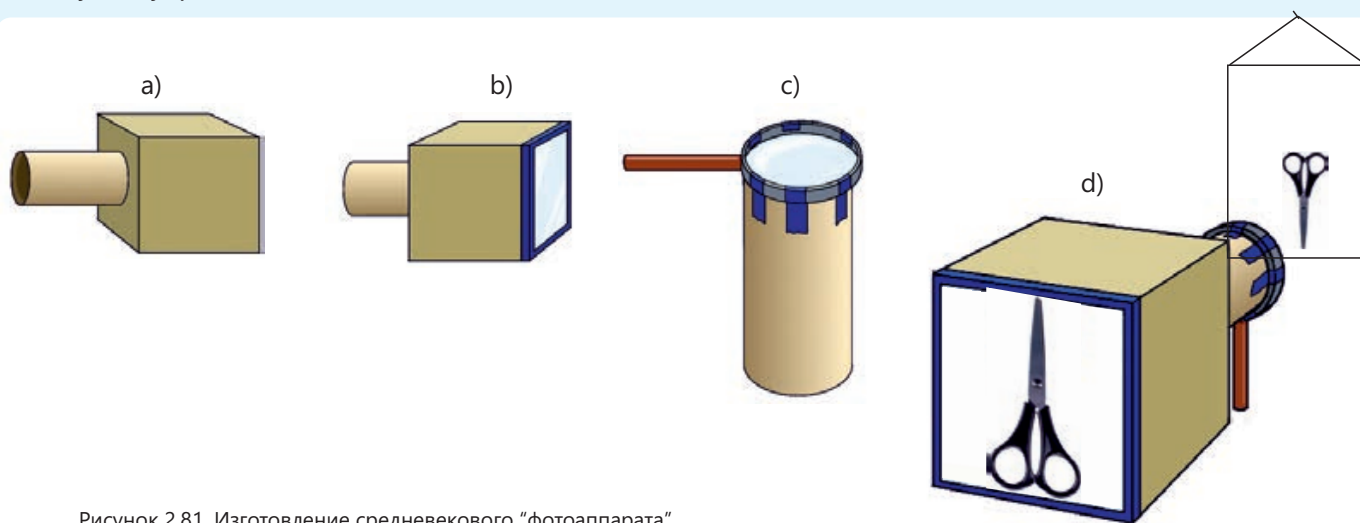


Рисунок 2.81. Изготовление средневекового "фотоаппарата"

Обсудите:

- Почему изображение предмета в изготовленном вами фотоаппарате получилось перевернутым?
- Нарисуйте на рабочем листе схему получения изображения этого предмета.

Проверьте полученные знания

1. Сравните ход лучей в лупе и фотоаппарате (см. рис. 2.77 и рис. 2.80).

Вопрос 1. В чем их сходство и различия?

Вопрос 2. Какое изображение получается в этих оптических приборах?

2. Сравните оптическую систему ньютоновского телескопа и лупы (см. рис. 2.77 и 2.79).

Вопрос 1. На каких световых законах основан принцип работы этих приборов?

Вопрос 2. Какое изображение получается в них?

3. При фотографировании удаленного предмета мы смотрим через окуляр и фокусируем его, вращая объектив влево и вправо.

Вопрос 1. На каком расстоянии от объектива находится матричная пластина в этом случае?

Вопрос 2. Полученное изображение предмета является прямым или перевернутым?

Обоснуйте свой ответ.

Роль законов геометрической оптики в архитектуре.

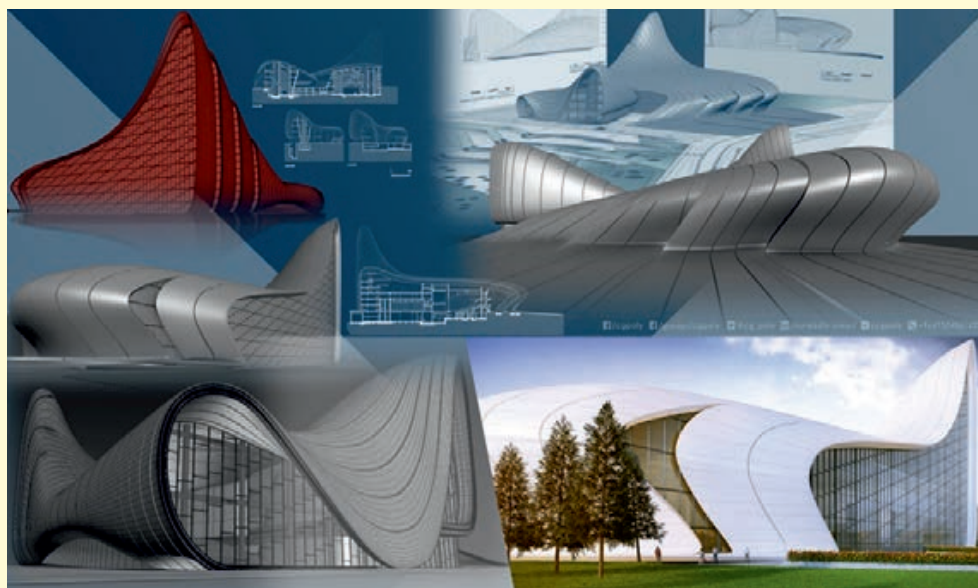
Архитекторы используют законы геометрической оптики, чтобы показать эффекты света и тени при проектировании зданий в 3D-программах.

Основные принципы, используемые в этом процессе:

- **Стереоскопия.** Создает иллюзию объёма, позволяя воспринимать объекты трёхмерными за счет формирования отдельных изображений для каждого глаза.
- **Перспектива.** Делает удаленные и близкие объекты разными по размеру и форме.
- **Тени и освещение.** Реалистичное распределение теней подчеркивает форму объектов, придавая им глубину и объем.
- **Фокусировка и размытие.** Размытые элементы помогают привлечь внимание к главному элементу и усилить эффект глубины.

Вывод:

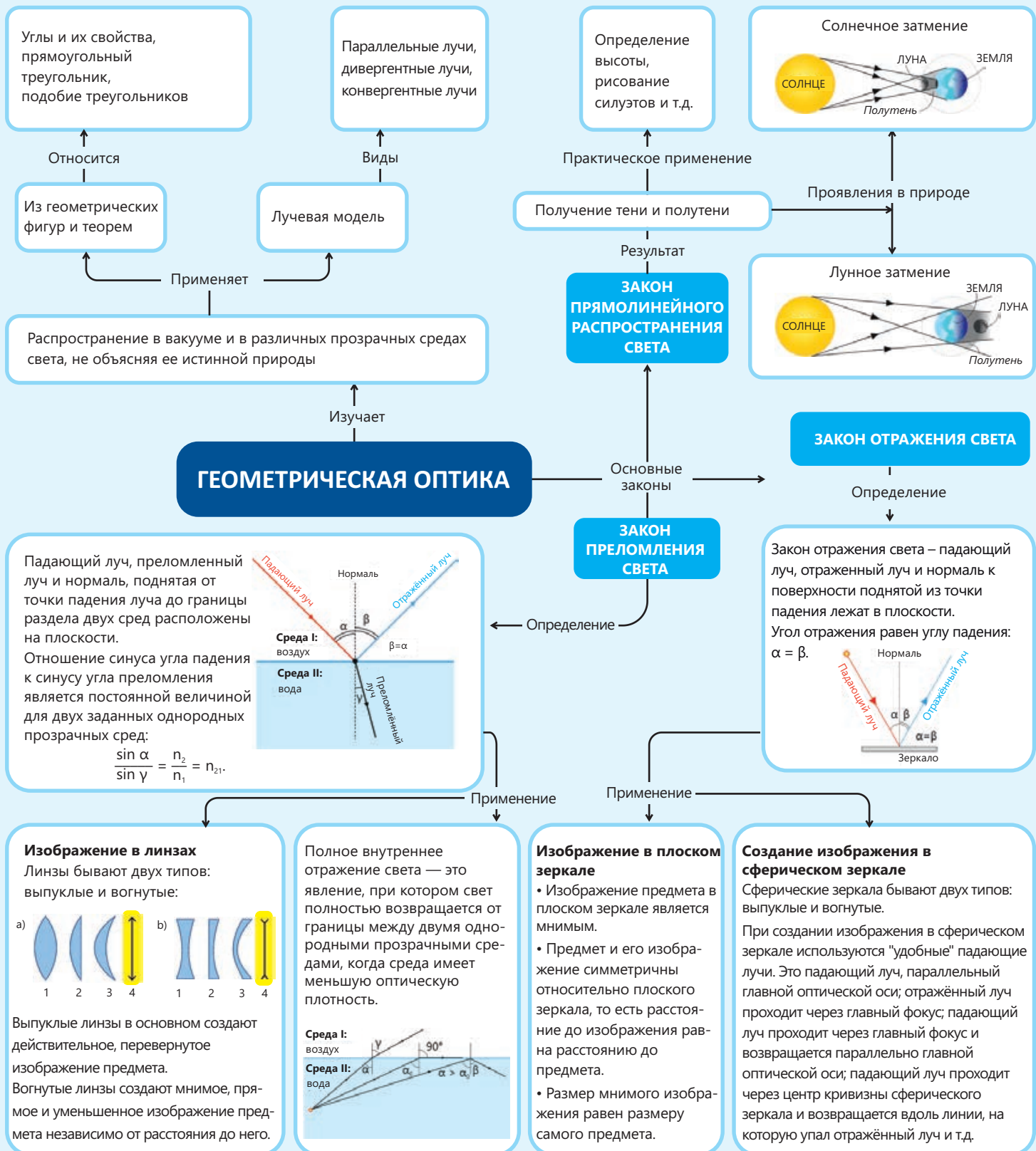
3D-визуализация помогает архитекторам "увидеть" здание до начала строительства и своевременно исправлять ошибки.



3D-проект Центра Гейдара Алиева. Заха Хадид. Баку



Обобщение



Обобщающие задания

1. Луч света от " α -звезды" ближайшего к Земле созвездия Центавра, достигает Земли через 4,3 года. На каком расстоянии находится " α -звезда" от Земли?

2. В то время как на Земле наблюдается полное лунное затмение, астронавт находится на поверхности Луны. Что он увидит, глядя на Землю?

- A) Лунное затмение
- B) Солнечное затмение
- C) Только Северное полушарие Земли
- D) Только Солнце
- E) Только Южное полушарие Земли

3. После прохождения через оптическое устройство, скрытое за ширмой, параллельные лучи 1 и 2 изменили свои направления на 1' и 2' соответственно (рис. 2.82).

Какова основная часть оптического устройства, расположенного за занавесом? Обоснуйте свой ответ, нарисовав схему и показав путь лучей.

- A) Собирающая линза
- B) Выпуклое сферическое зеркало
- C) Плоское зеркало
- D) Вогнутое сферическое зеркало
- E) Рассеивающая линза

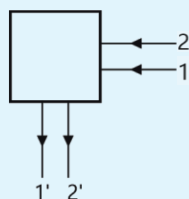


Рисунок 2.82

4. Трапецевидный предмет ABCD находится на расстоянии $d = 2,5$ см от плоского зеркала (рис. 2.83).

Вопрос 1. Каким будет изображение этого предмета в плоском зеркале? Завершите схему, нарисовав изображение.

Вопрос 2. Чему равно расстояние до изображения d_x ?

Вопрос 3. Является ли изображение предмета ABCD в плоском зеркале действительным или мнимым? Обоснуйте свой ответ.

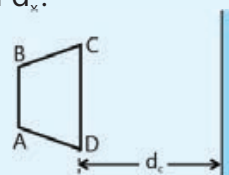


Рисунок 2.83

Вопрос 4. Если объект находится в положении, изображенном на рисунке 2.84, относительно зеркала, где будет находиться его изображение и на каком расстоянии от зеркала оно будет расположено? Завершите схему, показав путь лучей.

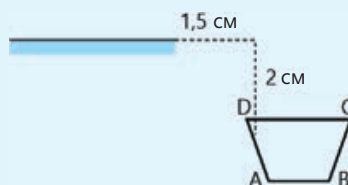


Рисунок 2.84

5. Кошка бежит к неподвижному плоскому зеркалу со скоростью $u = 0,4 \text{ м/с}$ (рис. 2.85, а).

Вопрос 1. С какой скоростью кошка приближается к своему отражению в зеркале?

Вопрос 2. Если зеркало также движется к кошке со скоростью $u = 0,08 \text{ м/с}$, с какой скоростью кошка приблизится к своему отражению в зеркале (рис. 2.85, в)?

Вопрос 3. Если зеркало движется в том же направлении, что и кошка, со скоростью $u = 0,08 \text{ м/с}$, с какой скоростью кошка приблизится к своему отражению в зеркале (рис. 2.85, с)?

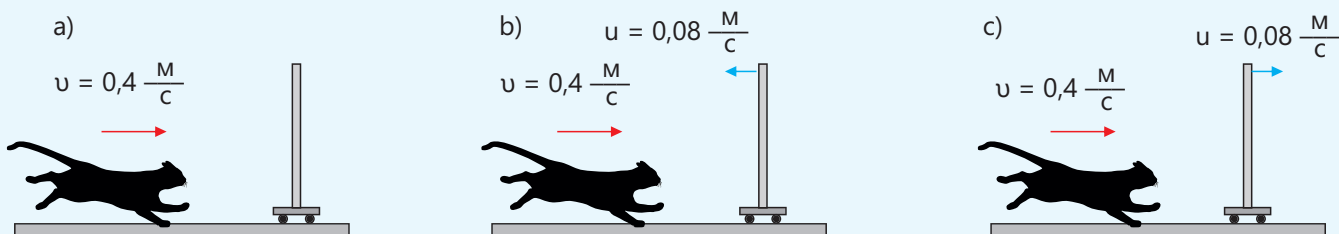


Рисунок 2.85.

6. На рисунке 2.86 изображен луч, распространяющийся в воздухе и падающий на плоскопараллельную стеклянную пластину. Часть луча отражается, а часть преломляется.

Вопрос 1. Какой цифрой обозначен преломленный луч? Используя закон преломления, покажите, какими цифрами обозначены углы падения, отражения и преломления на схеме.

Вопрос 2. Что гласит закон преломления света Снеллиуса?

Вопрос 3. Каково соотношение между углом преломления луча на границе раздела воздух-стекло на стеклянной пластине с параллельными сторонами и углом падения луча на границе раздела стекло-воздух внутри стекла?



Рисунок 2.86

7. Луч света проходит через три прозрачных вещества с показателями преломления n_1 , n_2 , n_3 , соответственно (рис. 2.87).

Вопрос 1. Каково соотношение между показателями преломления этих веществ?

Вопрос 2. Как соотносятся скорости света в этих средах v_1 , v_2 , v_3 ?

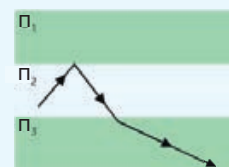


Рисунок 2.87

8. Между показателями преломления стеклянной призмы и воздуха существует следующее соотношение: $n_n > n_v$. По какому пути пойдет луч А после прохождения через призму (рис. 2.88)?

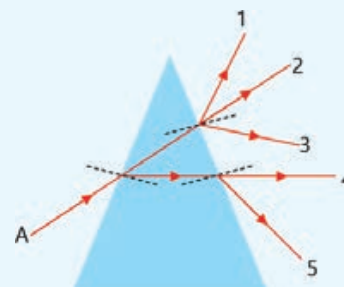


Рисунок 2.88

9. Определите соответствие

1	2	3	4

1 – физическая величина
 2 – единица измерения
 физической величины
 3 – физический прибор
 4 – физическое явление

а. Расстояние до предмета
 б. Оптическая сила линзы
 с. Оптический микроскоп
 д. Диоптрии
 е. Лупа
 ф. Дисперсия

10. На рисунке 2.89 показаны лучи 1 и 2, падающие на собирающую линзу.

Вопрос 1. Как пойдут лучи после преломления в линзе? Нарисуйте ход лучей на схеме.

Вопрос 2. Каким является изображение, даваемое этими лучами: мнимым или действительным?

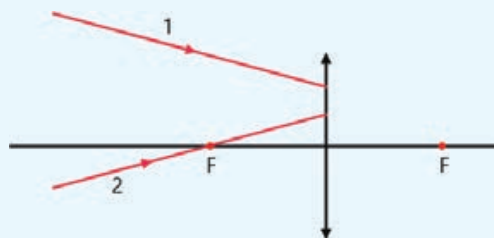


Рисунок 2.89

11. На рисунке 2.90 изображена главная оптическая ось MN, тело AB и его изображение A'B'.

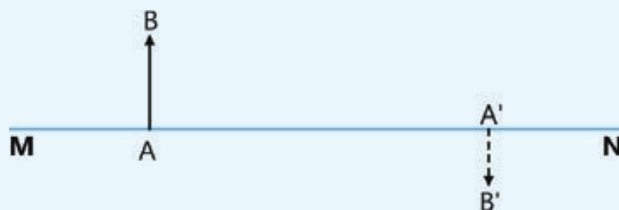


Рисунок 2.90

Вопрос 1. Определите положение оптического центра и фокусов линзы, нарисовав схему.

Вопрос 2. Какой вид линзы используется для получения изображения A'B' – выпуклая или вогнутая? Какое это изображение: мнимое или действительное? Обоснуйте свой ответ.

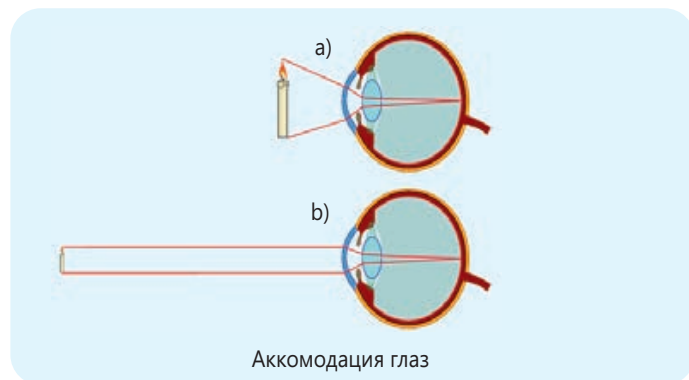
Абсолютная погрешность измерения – модуль разности между полученным значением измеренной величины и её истинным значением.

$$\Delta a = |a - a_0|.$$

Абсолютный показатель преломления среды – называют показатель преломления среды относительно вакуума. Абсолютный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в данной среде меньше скорости света в вакууме:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Аккомодация – изменение оптической силы хрусталика глаза. В результате аккомодации глаз мгновенно адаптируется к восприятию предметов, находящихся как далеко, так и близко (лат. "аккомодация" означает "адаптация"). Например, когда глаз смотрит на предмет, расположенный близко, выпуклость хрусталика увеличивается и проходящие через него световые лучи преломляются сильнее (а). В результате на сетчатке формируется чёткое увеличенное изображение предмета. По мере удаления предмета от глаза выпуклость хрусталика уменьшается и на сетчатке образуется уменьшенное действительное изображение (в).



Векторная величина – физическая величина, которая может быть охарактеризована как своим численным значением (неотрицательный скаляр), так и направлением в пространстве. В этом случае модуль или численное значение вектора называется скаляром.

Вогнутое сферическое зеркало – зеркало, которое собирает параллельные световые лучи в одной точке, отражая их от внутренней поверхности сферического сегмента.

Выпуклое сферическое зеркало – зеркало, которое рассеивает параллельные световые лучи от внешней поверхности сферы.

Геометрическая оптика – раздел оптики в физике, изучающий распространение световых лучей.

Главная оптическая ось сферического зеркала – оптическая ось, проходящая через крайнюю точку зеркала и центр кривизны (рис. 2.25, а).

Главный фокус (F) сферического зеркала – точка, в которой лучи, падающие на вогнутое зеркало параллельно главной оптической оси, пересекаются после отражения. Главный фокус вогнутого зеркала является действительным, поскольку в этой точке пересекаются сами лучи, отражённые от зеркала. Главный фокус выпуклого зеркала является мнимым, поскольку в этой точке пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

Дисперсия света – явление разложения белого света на лучи разных цветов.

Закон отражения света гласит – падающий луч, отраженный луч и нормаль к поверхности в точки падения лежат в одной плоскости. Угол отражения равен углу падения: $\beta = \alpha$.

Закон преломления света (закон Снеллиуса) гласит: падающий луч, преломленный луч и нормаль, проведенная от точки падения к границе двух сред, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления является постоянной величиной для двух данных однородных прозрачных сред.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$$

Здесь n_{21} – постоянная физическая величина, то есть относительный показатель преломления второй среды (среды, в которой свет распространяется после преломления) относительно первой среды (среды, в которой падает свет), то есть:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

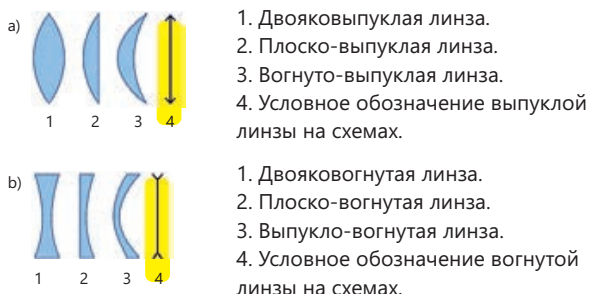
Коллинеарные векторы – векторы, лежащие на прямой или параллельных прямых.

Полюс (Q) сферического зеркала – вершина сферического сегмента.

Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями (иногда одна из поверхностей также плоская).

Линзы бывают двух видов: выпуклые (а) и вогнутые (b).

Выпуклые линзы — это линзы, средняя часть которых толще, чем её края.



Оптическая ось сферического зеркала – произвольная прямая линия, проходящая через центр кривизны.

Относительная погрешность измерения – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta a}{a_0} \cdot 100\%.$$

Здесь δ [греч. δέλτα – дельта (дельта строчная)] – относительная погрешность.

Переменные – любые физические величины, рассматриваемые в физике, в научных экспериментах и наблюдениях которые измеряются, изменяются или остаются постоянными.

Переменные делятся на 3 основных вида:

1. Свободно изменяющаяся (независимая переменная) физическая величина – величина, которая целенаправленно изменяется экспериментатором. Это основной фактор, влияющий на результат эксперимента.
2. Зависимая переменная физическая величина – величина, которая изменяется в зависимости от свободной переменной. Это основная величина, которая наблюдается и измеряется в эксперименте.
3. Контролируемая переменная (постоянная переменная) физическая величина – величины, которые не изменяются на протяжении всего эксперимента и остаются постоянными. Цель эксперимента – только изучение влияния свободной переменной.

Погрешность измерения – отклонение измеренного значения величины от её истинного значения.

Полное внутреннее отражение света – явление, при котором свет полностью возвращается от границы между двумя однородными прозрачными средами, то есть от среды с меньшей оптической плотностью.

Построение изображения в вогнутом зеркале. В вогнутом зеркале действительное изображение предмета получается в пяти случаях, а мнимое – в одном.

1. Когда предмет находится в бесконечности, то есть когда $d \rightarrow \infty$,

падающие лучи распространяются параллельно, а преломлённые лучи собираются в фокусе зеркала.

Расстояние до изображения равно фокусному расстоянию: $f = F$.

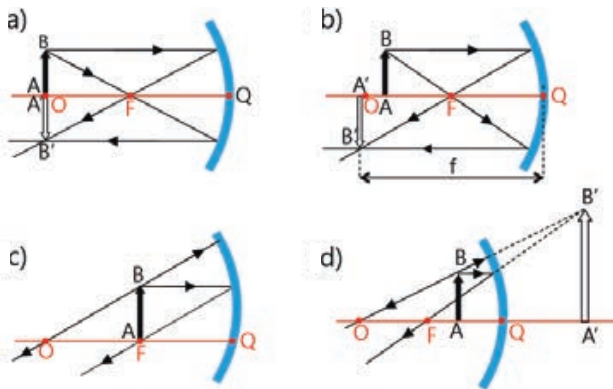
2. Когда предмет удален от центра кривизны зеркала, то есть когда $d > R$, изображение получается между центром кривизны зеркала и его фокусом, то есть когда $R > f > F$. В этом случае изображение является действительным, перевернутым и уменьшенным.

3. Когда предмет находится в центре кривизны зеркала, то есть когда $d = R$, изображение получается в центре кривизны зеркала: $f = R$. В этом случае изображение является действительным, перевернутым и равного размера (a).

4. Когда предмет находится между центром кривизны и фокусом зеркала, то есть $R > d > F$, изображение образуется за центром кривизны зеркала: $f > R$. В этом случае изображение действительное, перевернутое и увеличенное (b).

5. Когда предмет находится в фокусе зеркала, то есть $d = F$, изображение образуется в бесконечности: $f \rightarrow \infty$ (c).

6. Когда предмет находится между фокусом зеркала и крайней точкой, то есть $d < F$, изображение находится за зеркалом и оно мнимое, прямое и увеличенное (d).

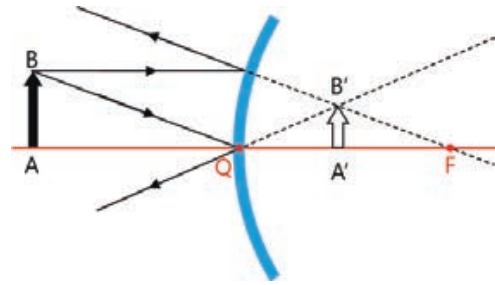


Построение изображения в вогнутом сферическом зеркале

Образование изображений предметов в вогнутых сферических зеркалах можно суммировать двумя результатами:

- Во всех случаях, когда расстояния до предмета и фокусное расстояние зеркала $d \geq F$, вогнутое зеркало дает действительное изображение предмета, поскольку изображение предмета получается из пересечения самих преломлённых лучей.
- В случае, когда расстояние до предмета меньше фокусного расстояния вогнутого зеркала ($d < F$), вогнутое зеркало дает мнимое изображение предмета, поскольку изображение образуется пересечением продолжений преломлённых лучей за зеркалом.

Построение изображения в выпуклом сферическом зеркале. Поскольку фокус выпуклого зеркала является мнимым, изображение будет расположено за зеркалом во всех случаях, независимо от расстояния до предмета, и оно будет мнимым и прямым, расположенным между крайней точкой зеркала и фокусом.



Построение изображения в выпуклом сферическом зеркале

Предельный угол полного внутреннего отражения света – угол падения α_0 , соответствующий углу преломления 90° . Закон преломления для случая угла преломления 90° выглядит следующим образом:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Поскольку показатель преломления воздуха равен $n_2 = 1$, $\sin 90^\circ = 1$, выражение можно обобщить следующим образом:

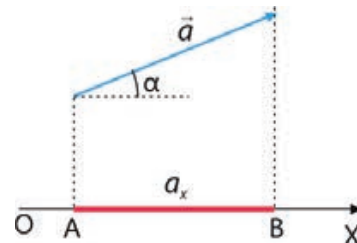
$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

Преломление света – изменение направления распространения светового луча на границе раздела двух сред при переходе из одной прозрачной среды в другую.

Проекция вектора на координатную ось – представляет собой скалярную величину, равную произведению косинуса угла между модулем этого вектора и произвольно выбранной координатной осью:

$$a_x = a \cos \alpha.$$

Здесь $a = |\vec{a}|$ модуль вектора a .



Радиус кривизны (R) сферического зеркала – расстояние от центра кривизны сферического зеркала до его поверхности.

Радуга – оптическое явление, вызванное двукратным преломлением солнечного света в каплях дождя в атмосфере после дождя, а также в каплях воды, рассеиваемых водопадами и фонтанами.

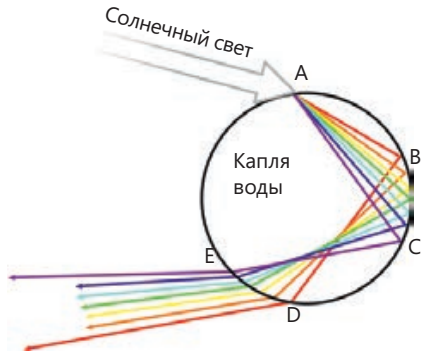
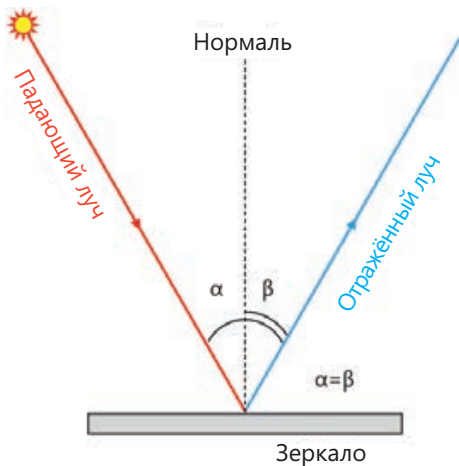


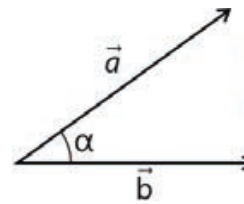
Схема рассеяния солнечного света в капле воды

Световой год – расстояние, которое световой луч проходит в вакууме за один год.



Скалярная величина – физическая величина, которая может быть выражена только своим численным значением (в определенной единице измерения).

Скалярное произведение векторов – скаляр, равный произведению модулей векторов и косинуса угла между ними. Например, для скалярного произведения векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$:

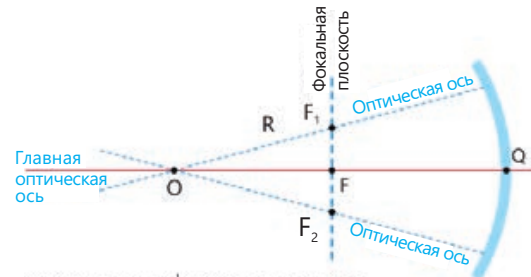


$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha$$

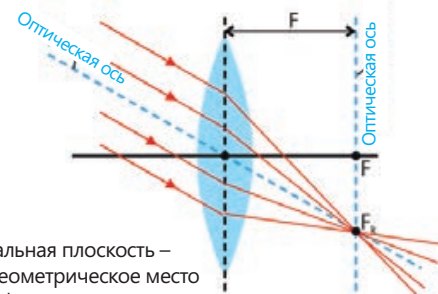
Сферическое зеркало – зеркало, поверхность которого, отражающая световые лучи, имеет форму сферы. Сферическое зеркало может быть выпуклым или вогнутым.

Точечный источник света – источник света, размеры которого не учитываются в данных условиях. Свет распространяется от точечного источника во всех направлениях.

Фокальная плоскость – плоскость, перпендикулярная главной оптической оси и проходящая через главный фокус. Точка, в которой все оптические оси пересекают фокальную плоскость, является фокусом зеркала (линзы) на этой оптической оси. Например, на рисунке точки F_1 и F_2 расположены на сферическом зеркале, а точка F_k – на линзе.



Некоторые элементы сферического зеркала

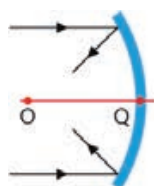


Фокальная плоскость – это геометрическое место всех фокусов линзы

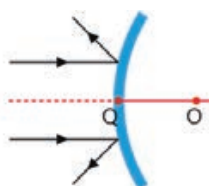
Фокусное расстояние (или фокальное расстояние) сферического зеркала – расстояние от касательной к поверхности сферы в крайней точке зеркала до фокальной плоскости. Фокусное расстояние обозначается буквой F и равно половине радиуса кривизны зеркала.

$$F = F_1 = F_2 = \dots = \frac{R}{2}.$$

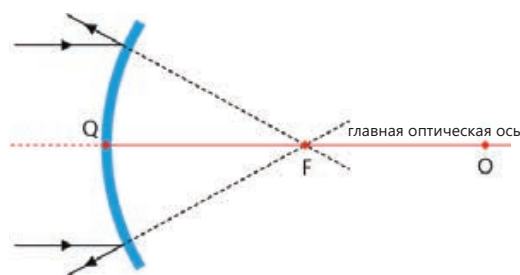
Вогнутое зеркало



Выпуклое зеркало

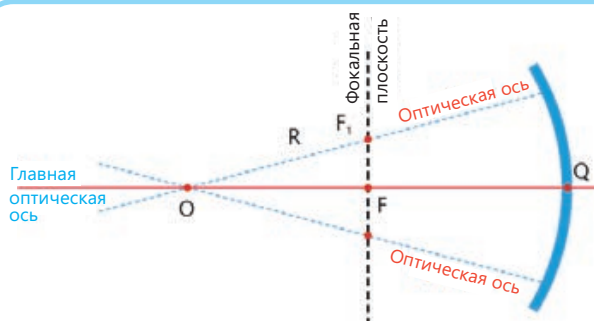


Сферические зеркала

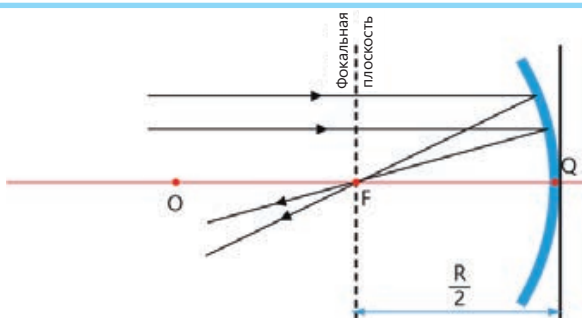


Элементы сферического зеркала

Центр кривизны (точка O) сферического зеркала – центр сферы, образованной продолжением сферической поверхности.



Элементы вогнутого зеркала



Элементы выпуклого зеркала

BURAXILIŞ MƏLUMATI

Ümumi təhsil müəssisələrinin 9-cu sinifləri üçün
fizika fənni üzrə dərslik (1-ci hissə)
rus dilində

Tərtibçi heyət:

Müəlliflər	Rasim Abdurazaqov Dünyamalı Məmmədov Əli Ağacanlı Zamir Dadaşov
Tərcümə	Mehriban Bağirova
İxtisas redaktoru	Nigar Hənifəyeva
Dil redaktoru	Aygün Əliyeva
Bədii redaktor	Taleh Məlikov
Texniki redaktor	Zeynal İsayev
Dizayner	Eldəniz Xocayev
Səhifələyici	Səbinə İbrahimli
Üz qabığı	Taleh Məlikov
Rəssam	Fərid Quliyev
Korrektor	Olqa Kotova
Rəyçilər	Sona Hacılı Qurban Mehdiyev Sevda Qadaşova Təranə Orucova Sevda Əsgərli, əməkdar müəllim

© **Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin qrif nömrəsi:**

Müəlliflik hüquqları qorunur. Xüsusi icazə olmadan bu nəşri və yaxud onun hər hansı bir hissəsini yenidən çap etdirmək, surətini çıxarmaq, elektron informasiya vasitələri ilə yaymaq qanuna ziddir.

ISBN 978-9952-550-10-8

Hesab-nəşriyyat həcmi: 15,8. Fiziki çap vərəqi: 17. Səhifə sayı: 136.
Kəsimdən sonra: 220 × 275. Kağız formatı: 57 × 90 ¹/₈. Şrift və ölçüsü: Corbel 12pt.
Ofset çapı. Sifariş____. Tiraj: ____ . Pulsuz. Bakı – 2026

Əlyazmanın yığma verildiyi və çapa imzalandığı tarix: 23.06.2026

Çap məhsulunu hazırlayan:
Azərbaycan Respublikasının Təhsil İnstitutu (Bakı ş., A.Cəlilov küç., 86).

Çap məhsulunu istehsal edən:

Pulsuz



Əziz məktəbli !

Bu dərslik sizə Azərbaycan dövləti tərəfindən bir dərs ilində istifadə üçün verilir. O, dərs ili müddətində nəzərdə tutulmuş bilikləri qazanmaq üçün sizə etibarlı dost və yardımçı olacaq.

İnanırıq ki, siz də bu dərsliyə məhəbbətlə yanaşacaq, onu zədələnmələrdən qoruyacaq, təmiz və səliqəli saxlayacaqsınız ki, növbəti dərs ilində digər məktəbli yoldaşınız ondan sizin kimi rahat istifadə edə bilsin. Sizə təhsildə uğurlar arzulayırıq!

