# СОДЕРЖАНИЕ

Введение ........ 5

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

**1.1. КИНЕМАТИКА** ........ 6
1.1.1. Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение ........ 6
1.1.2. Прямолинейное движение. Скорость ........ 8
1.1.3. Равноускоренное прямолинейное движение ........ 9
1.1.4. Векторные величины в физике ........ 10
1.1.5. Свободное падение ........ 11
1.1.6. Движение по окружности ........ 12

**1.2. ДИНАМИКА** ........ 14
1.2.1. Масса. Плотность вещества ........ 14
1.2.2. Сила ........ 15
1.2.3. Инерция тел. Первый закон Ньютона ........ 16
1.2.4. Второй и третий законы Ньютона ........ 16
1.2.5. Сила трения ........ 17
1.2.6. Сила упругости ........ 17
1.2.7. Сила тяжести. Закон всемирного тяготения ........ 18
1.2.8. Импульс тела. Закон сохранения импульса ........ 19

**1.3. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ** ........ 21
1.3.1. Механическая работа и мощность ........ 22
1.3.2. Кинетическая энергия ........ 22
1.3.3. Консервативные и неконсервативные силы ........ 23
1.3.4. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике ........ 23
1.3.5. Потенциальная энергия тела в однородном поле тяжести ........ 25
1.3.6. Потенциальная энергия упругодеформированной пружины ........ 25
1.3.7. Простые механизмы. Коэффициент полезного действия простых механизмов ........ 26

**1.4. ГИДРО- И АЭРОСТАТИКА** ........ 29
1.4.1. Давление жидкостей ........ 29
1.4.2. Атмосферное давление. Опыт Торричелли ........ 30
1.4.3. Закон Паскаля ........ 31
1.4.4. Закон Архимеда ........ 32

**1.5. ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ** ........ 33
1.5.1. Амплитуда, фаза, период и частота гармонических колебаний ........ 33
1.5.2. Затухающие колебания ........ 36
1.5.3. Вынужденные колебания. Резонанс ........ 37

**1.6. ВОЛНЫ В УПРУГОЙ СРЕДЕ** ........ 39
1.6.1. Механизм образования волн в упругой среде ........ 40
1.6.2. Звуковые волны ........ 42

**Тренировочные тестовые задания к разделу «Механические явления»** ........ 44
Тема 1.1 «Кинематика» ........ 44
Тема 1.2 «Динамика» ........ 47
Тема 1.3 «Работа и энергия» ........ 49
Тема 1.4 «Гидро- и аэростатика» ........ 50
Темы 1.5—1.6 «Механические колебания и волны. Звук» ........ 51

2. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**2.1. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ** ........ 52
2.1.1. Строение вещества. Газы, жидкости и твердые тела ........ 52
2.1.2. Внутренняя энергия и температура ........ 54

**2.2. ТЕРМОДИНАМИКА** ........ 56
2.2.1. Количество теплоты. Удельная теплоемкость тел ........ 56
2.2.2. Закон сохранения энергии в тепловых процессах ........ 58
2.2.3. Принцип работы тепловой машины ........ 59

**2.3. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ** ........ 61
2.3.1. Испарение и конденсация. Кипение жидкости ........ 61

2.3.2. Влажность воздуха ........ 62
2.3.3. Плавление и кристаллизация ........ 63

**Тренировочные тестовые задания к разделу «Тепловые явления» ........ 66**

## 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**3.1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА ........ 68**
3.1.1. Электризация тел. Два рода зарядов ........ 68
3.1.2. Закон сохранения заряда ........ 69
3.1.3. Электрическое поле ........ 69
3.1.4. Проводники и диэлектрики ........ 70
**3.2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК ........ 72**
3.2.1. Сила тока ........ 72
3.2.2. Закон Ома для участка цепи ........ 73
3.2.3. Соединение проводников ........ 75
3.2.4. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца ........ 76
**3.3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ ........ 77**
3.3.1. Взаимодействие магнитов. Магнитное поле ........ 78
3.3.2. Опыт Эрстэда. Магнитное поле тока ........ 78
3.3.3. Сила, действующая в магнитном поле на проводник с током ........ 80
3.3.4. Явление электромагнитной индукции. Опыты Фарадея ........ 80
3.3.5. Вихревые токи, или токи Фуко ........ 82
3.3.6. Электромагнитное поле ........ 82
**3.4. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА ........ 85**
3.4.1. Прямолинейное распространение света ........ 85
3.4.2. Отражение и преломление света ........ 86
3.4.3. Дисперсия света ........ 88
3.4.4. Линза ........ 90
3.4.5. Построение изображений предметов в собирающей линзе ........ 92
3.4.6. Рассеивающая линза ........ 92
3.4.7. Глаз как оптическая система ........ 93
3.4.8. Оптические приборы ........ 94

**Тренировочные тестовые задания к разделу «Электромагнитные явления» ........ 97**

## 4. КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**4.1. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА ........ 101**
4.1.1. Опыты Резерфорда по рассеянию $\alpha$-частиц веществом. Планетарная модель атома ........ 101
4.1.2. Заряд, масса и размер ядер атомов ........ 102
4.1.3. Радиоактивность ........ 103
4.1.4. Энергия связи ядер ........ 104
4.1.5. Получение ядерной энергии. Цепная ядерная реакция ........ 105
4.1.6. Ядерные реакторы ........ 107
4.1.7. Термоядерные реакции. Проблема управляемого термоядерного синтеза ........ 108

**Тренировочные тестовые задания к разделу «Квантовые явления» ........ 111**

Ответы ........ 112

# Введение

*Физика – наука о природе, о наиболее общих и простых законах движения материи.* Слово *physis* в переводе с греческого означает «природа». Физика как наука зародилась в Древней Греции и включала в себя все, что человеку было известно о природных явлениях, в частности, и астрономию как науку о движении небесных тел. Физика была тогда наукой описательной, основывалась на наблюдениях и не пользовалась экспериментом как критерием истинности умозаключений. Постановкой экспериментов человечество открыло новую эпоху в своем развитии. Это произошло в XVII веке нашей эры, обусловило бурное развитие знаний о природе и позволило открыть законы, которым подчиняются природные явления. Сформулированные на языке математики, они устанавливают количественные связи между физическими характеристиками явлений.

Изучая законы природы и познавая суть природных явлений, физика всегда была двигателем прогресса. Каждая её ветвь в своём развитии неизбежно приводила к возникновению какой-либо сферы человеческой деятельности. Так, исследование явлений электричества и магнетизма привело к возникновению радиосвязи и электроники, открытия в области микромира — к освоению энергии атома и созданию современных информационных технологий. В свою очередь, потребности практики стимулировали развитие науки. Термодинамика как наука возникла из потребности заменить физический труд животных и человека машинным.

Накопление знаний о природе привело к возникновению и других естественных наук, таких как химия, биология, геофизика, астрофизика. В основе этих наук лежат законы, открытые физикой. Развитие техники также обусловлено успехами физики, так как знание глубинных закономерностей природных явлений дало возможность создать эффективно действующие механизмы, современные приборы связи, транспортные средства, компьютеры, лазеры и другие атрибуты высоких технологий.

Физика как наука условно делится на несколько связанных между собой разделов, рассматривающих разные природные явления. Это — *механика, молекулярная физика, электромагнетизм, оптика, физика атома и атомного ядра.*

В настоящем пособии излагаются вопросы школьного курса физики, предлагаемые ученикам 9 класса во время проведения Государственной итоговой аттестации (ГИА). Они охватывают четыре темы — механические, тепловые, электромагнитные и квантовые явления. Соответствующие разделы пособия разделены на подразделы, в конце каждого из которых приводится список вопросов для самопроверки, призванных обратить внимание изучающего предмет на самое важное, что в нем содержится. Тестовые задания, заключающие каждую из тем, помогут учащимся приспособиться к условиям прохождения ГИА и оценить уровень их сложности.

# 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

**Знать:**

- смысл понятий: физическое явление, физический закон, вещество и поле, взаимодействие тел;
- смысл физических величин: путь, перемещение, скорость, ускорение, масса, плотность вещества, сила, давление, импульс, работа, мощность, кинетическая энергия, потенциальная энергия;
  смысл законов Ньютона, закона всемирного тяготения, законов сохранения энергии и импульса.

**Уметь:** объяснить и описать физические явления и процессы:

- равномерное прямолинейное движение;
- равноускоренное прямолинейное движение;
- обращение тела по окружности;
- колебательное движение;
- передача давления жидкостями и газами;
- плавание тел.

## 1.1. КИНЕМАТИКА

**Материей** называют все существующие в природе тела и различные поля — поле тяготения, электромагнитное поле, поле внутриядерных сил. Материя находится в беспрерывном движении, простейшей формой которого является перемещение тел друг относительно друга, т. е. *механическое движение*. Эта форма движения изучается в механике. Раздел механики, в котором рассматривается движение материальных тел, не касаясь причин, его вызывающих, называется **кинематикой**.

### 1.1.1. Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение

Простейшим объектом, движение которого изучает механика, является материальная точка.

**Материальной точкой** в механике называется тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь. Планеты, обращающиеся вокруг Солнца, можно считать материальными точками, поскольку размеры планет, сколь бы велики они ни были, все же очень малы по сравнению с их расстояниями до Солнца. Снаряд, выпущенный из орудия, или поезд, идущий из одного города в другой, также могут быть приняты за материальную точку.

При *поступательном движении* твердого тела все его точки описывают одинаковые траектории. Поэтому в дальнейшем движущуюся материальную точку мы часто будем называть *телом*. Примерами поступательного движения служат движение кабин колеса обозрения, движение поршней в цилиндрах двигателя автомобиля.

Движение тела в пустом пространстве лишено смысла. Мы можем говорить лишь об относительном перемещении.

Тело, относительно которого определяется положение других тел, называется **телом отсчета**. В качестве тела отсчета чаще всего используют Землю, с которой связывают прямоугольную *декартову систему координат* (рис. 1.1). Отрезки $x$, $y$, $x$, отсекаемые на осях координат перпендикулярными к ним плоскостями, проходящими через точку $M$, называются *координатами точки $M$*.

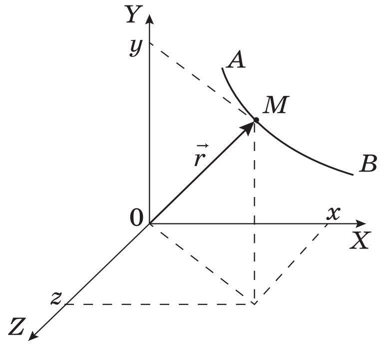


*Рис. 1.1*

**Системой отсчета** называется совокупность системы координат, связанной с телом отсчета, и покоящихся относительно него часов.

Движение точки полностью описано, если известно ее положение в любой момент времени относительно выбранной системы координат. Число независимых координат, определяющих положение тела в пространстве, называется *числом его степеней свободы*. Положение материальной точки задается тремя координатами, поэтому она имеет *три степени свободы*. Чтобы описать ее движение, необходимо найти три функции:

$$
\begin{aligned}
x &= x(t),\\
y &= y(t),\\
z &= z(t).
\end{aligned}
\tag{1.1}
$$

Вид этих функций определяется конкретными условиями, в которых происходит движение материальной точки. Их знание позволяет определить ее положение в любой момент времени.

**Траекторией** называется совокупность последовательных положений материальной точки, т. е. линия, которую она описывает в пространстве при своем движении (линия $AB$ на рис. 1.1). Система уравнений (1.1) задает траекторию точки в *параметрическом виде*, где в качестве параметра выступает время $t$.

В общем случае траектория представляет собой кривую линию. Движение по траектории можно уподобить ходьбе по извилистой тропинке в лесу. Расстояние, пройденное по ней за некоторый промежуток времени, называется **пройденным путем**. Путь $s$ — скалярная физическая величина, т. е. такая, которая характеризуется только численным значением, показывающим в данном случае, сколько единиц длины — *метров* — укладывается на длине траектории.

Отрезок прямой, соединяющей исходную точку пути с конечной точкой, называется **перемещением тела**. Перемещение, в отличие от пройденного пути, является величиной *векторной*, поскольку показывает направление, в котором оно было совершено. Сказанное иллюстрируется рис. 1.2, на котором изображена траектория $S$ движения тела из точки $A$ в точку $B$, лежащая в плоскости $XOY$, и вектор перемещения $\overrightarrow{AB}$.

В частном случае, если тело возвращается в исходную точку, его перемещение равно нулю. Величина перемещения (длина вектора $\overrightarrow{AB}$) меньше длины пройденного пути и равна ему только в том случае, когда движение происходит вдоль прямой линии, соединяющей начало и конец пути, а скорость тела на всем пути не изменяет своего направления.

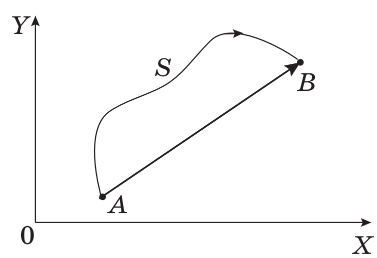


*Рис. 1.2*

**Задача механики** заключается в отыскании функций (1.1). Для формулировки законов, с помощью которых могут быть найдены эти функции, нужно ввести понятия *скорости*, *ускорения*, *массы*, *импульса и силы*. В кинематике вводятся понятия *скорости* и *ускорения*. Определим их для материальной точки, движущейся вдоль одной из координатных осей, когда ее положение в пространстве характеризуется одной координатой.

## 1.1.2. Прямолинейное движение. Скорость

Рассмотрим движение материальной точки вдоль прямой линии, которую выберем в качестве координатной оси $X$ (рис. 1.3). Координатой $x$ точки $M$ называется ее расстояние от начала координат (точки $O$).

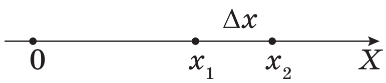

*Рис. 1.3*

Зависимость координаты от времени выражается функцией $x = x(t)$. Пусть в момент времени $t$ материальная точка имела координату $x_1 = x(t)$, а спустя промежуток времени $\Delta t$ — координату $x_2 = x(t + \Delta t)$, так что их разность $\Delta x = x_2 - x_1 = x(t + \Delta t) - x(t)$ есть путь, который она прошла за время $\Delta t$.

Отношение пройденного пути ко времени:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \qquad (1.2)$$

называется **средней скоростью** материальной точки за время $\Delta t$.

Среднюю скорость поезда можно найти, разделив расстояние между городами s на его время в пути $t$:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}. \qquad (1.3)$$

Если путь $\Delta s$, проходимый телом за короткий промежуток времени $\Delta t$, например за одну секунду, столь мал, что его скорость за это время существенно не изменяется, отношение этого пути ко времени $\Delta t$ будет равно скорости тела в данный момент времени. Она носит название **мгновенной** или просто **скорости** тела:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \qquad (1.4)$$

Скорость показывает быстроту изменения координаты тела и измеряется в системе СИ в *метрах в секунду*: $[v]$ = м/с.

Если на всем пути тело движется с постоянной скоростью, его мгновенная скорость совпадает со средней:

$$v = v_{\text{ср}}.$$

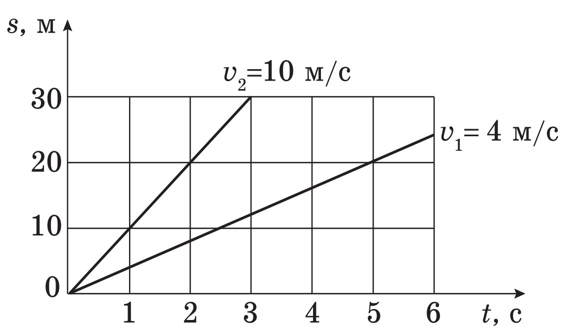

*Рис. 1.4*

Пройденный путь $s$ за промежуток времени $t$ находится тогда из уравнения (1.3):

$$s = v \cdot t. \qquad (1.5)$$

Движение с постоянной скоростью называется **равномерным**. График зависимости пути от времени при таком движении представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 1.4).

## 1.1.3. Равноускоренное прямолинейное движение

Движение тела является **ускоренным**, если его скорость с течением времени изменяется.

Зависимость скорости тела от времени выражается функцией $v = v(t)$. Пусть в момент времени $t$ тело имело скорость $v_1 = v(t)$, а спустя промежуток времени $\Delta t$ — скорость $v_2 = v(t + \Delta t)$, т. е. приращение скорости: $\Delta v = v_2 - v_1 = v(t + \Delta t)$.

Отношение приращения скорости ко времени, за которое оно произошло, называется **средним значением ускорения**:

$$a_{\text{ср}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \tag{1.6}$$

Его значение за короткий промежуток времени равно *мгновенному ускорению* или просто *ускорению* тела. Ускорение показывает быстроту изменения скорости тела в данный момент времени и измеряется *в метрах в секунду за секунду*:

$$[a] = \text{м/с}^2.$$

Если возрастание скорости происходит равномерно, то $a = \text{const}$ и движение его называется **равноускоренным**.

Поскольку $\Delta v = v - v_0$, из уравнения (1.6) в этом случае можно получить зависимость скорости от времени:

$$v = v_0 + at, \tag{1.7}$$

где $v_0$ — скорость в начальный момент времени ($t = 0$). График этой зависимости приведен на рис. 1.5.

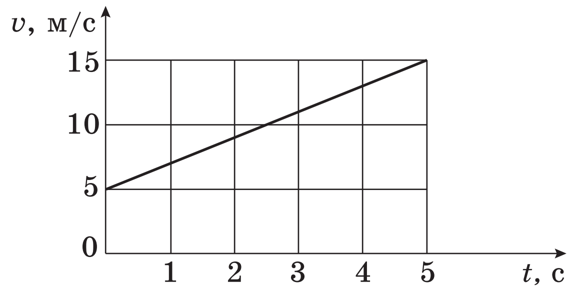


*Рис. 1.5*

В силу того, что скорость возрастает пропорционально времени движения, среднее значение скорости равно полусумме начального и конечного ее значений:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + v_0}{2}. \tag{1.8}$$

Подставив сюда уравнение (1.7) и учитывая уравнение (1.3), найдем путь, пройденный телом за время $t$:

$$s = \frac{v + v_0}{2}t = \frac{2v_0 + at}{2}t = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \tag{1.9}$$

График этой функции — *парабола*. При $v_0 = 0$, когда тело начинает движение из состояния покоя, вершина параболы совпадает с началом координат (рис. 1.6).

Если тело движется замедленно, его ускорение отрицательно ($a < 0$).

Выражая время $t$ из уравнения (1.7) и подставляя его в уравнение (1.9), получим формулу, связывающую конечную и начальную скорости движения, ускорение и пройденный путь:

$$v^2 - v_0^2 = 2as. \tag{1.10}$$

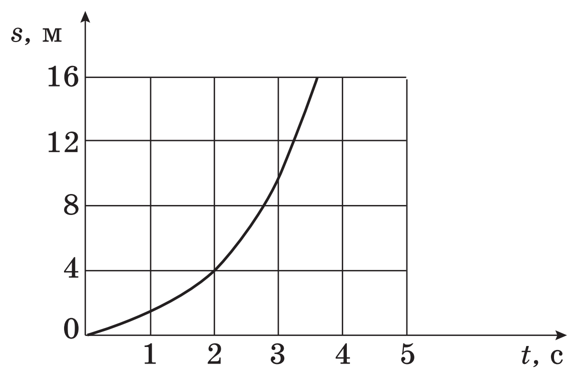


*Рис. 1.6*

Уравнения (1.7), (1.9) и (1.10) составляют полную систему уравнений, достаточную для решения задач кинематики, в которых рассматривается движение тел с постоянным ускорением.

Скорость и ускорение являются величинами *векторными*, и указанные уравнения следует записывать для каждой из компонент этих векторов — проекций их на оси координат.

## 1.1.4. Векторные величины в физике

Движение тела часто происходит по траектории, не являющейся прямой линией. В этом случае скорость изменяется и по модулю, и по направлению и рассматривается как вектор.

Физические величины, характеризуемые не только численным значением, но и направлением в пространстве, называются **векторными**.

Помимо скорости, векторными являются также *перемещение*, *сила*, *ускорение* и ряд других величин. Принадлежность какой-либо величины к векторным устанавливается, в конечном счете, опытным путем по признаку, подчиняется ли она правилу сложения векторов.

В качестве примера рассмотрим перемещение тела из точки $A$ сначала в точку $B$, а затем — в точку $C$ (рис. 1.7). Результирующее перемещение изображает отрезок $AC$. Обозначая каждое из перемещений векторами $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, приходим к заключению, что

$$\vec{a}+\vec{b}=\vec{c}. \tag{1.11}$$

Формула (1.11) и рис. 1.7 устанавливают *правило сложения векторов*:

**Чтобы получить сумму векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$, нужно совместить начало вектора $\vec{b}$ с концом вектора $\vec{a}$ и соединить начало вектора $\vec{a}$ с концом вектора $\vec{b}$ направленным отрезком $\vec{c}$, который и будет равен сумме векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$.**

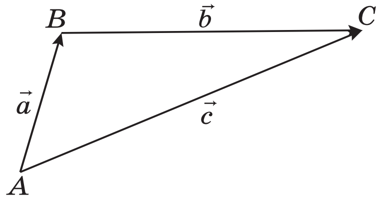


*Рис. 1.7*

Векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$ называются *слагаемыми векторами*, вектор $\vec{c}$ — *геометрической суммой*, или *результирующим вектором*. Очевидно, что от перестановки слагаемых сумма векторов не меняется:

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

Чтобы образовать сумму $n$ векторов $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, ..., используют *правило многоугольника:*

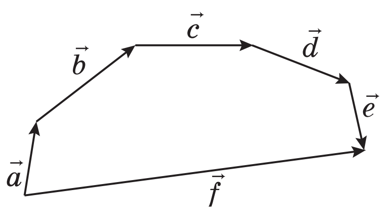


*Рис. 1.8*

**Векторы следует расположить так, чтобы начало каждого следующего слагаемого вектора совпало с концом предыдущего. Сумма векторов — вектор, проведенный из начала первого к концу последнего из них** (рис. 1.8).

**Разность векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ можно найти, отложив оба вектора $\vec{a}$ и $\vec{b}$ из общего начала и соединив конец вектора $\vec{b}$ с концом вектора $\vec{a}$, который и будет вектором $\vec{a}-\vec{b}$** (рис. 1.9).

Диагональ параллелограмма, построенного на векторах $\vec{a}$ и $\vec{b}$, дает их сумму *(правило параллелограмма)*. Другая диагональ этого параллелограмма будет их разностью (рис. 1.10).

Помимо сложения и вычитания, векторы можно умножать на *скаляр*, т. е. величину, характеризуемую только своим численным значением.

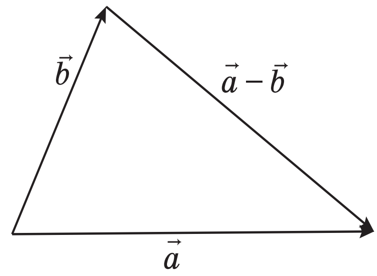


*Рис. 1.9*

**Умножив вектор $\vec{a}$ на число $\alpha$, получим вектор $\vec{b}$, параллельный исходному, но имеющий длину, в $\alpha$ раз отличающуюся от длины вектора $\vec{a}$:**

$$\vec{b} = \alpha\vec{a}. \tag{1.12}$$

Модуль (или длину) вектора обозначают той же буквой, но без стрелки: $|\vec{a}| = a$.

Векторы единичной длины — *орты*, задающие направления осей $X$, $Y$ и $Z$ декартовой системы координат, — обозначаются соответственно буквами $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ (рис. 1.11). Пользуясь правилом сложения векторов (1.11) и правилом умножения на скаляр (1.12), вектор $\vec{a}$ можно представить в виде суммы:

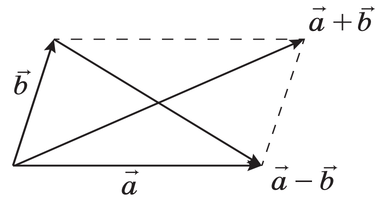


*Рис. 1.10*

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k},$$

где $a_x$, $a_y$, $a_z$ — его проекции на координатные оси, называемые *составляющими* (или *компонентами*) вектора $\vec{a}$.

Длина вектора $\vec{a}$ равна диагонали прямоугольного параллелепипеда. По теореме Пифагора:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Если два вектора равны между собой, то их проекции также равны между собой и наоборот, т. е. если $\vec{a} = \vec{b}$, то

$$a_x = b_x, \qquad a_y = b_y, \qquad a_z = b_z.$$

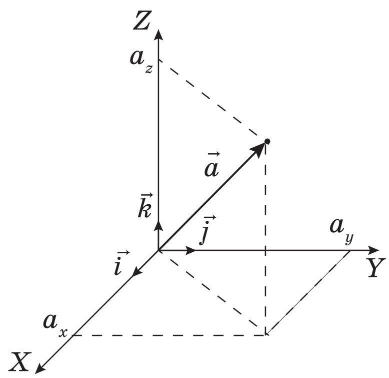


*Рис. 1.11*

Проекция геометрической суммы нескольких векторов равна алгебраической сумме проекций слагаемых векторов, т. е. если $\vec{a} = \vec{b} + \vec{c}$, то:

$$a_x = b_x + c_x, \qquad a_y = b_y + c_y, \qquad a_z = b_z + c_z.$$

## 1.1.5. Свободное падение

Проиллюстрируем сказанное в предыдущих пунктах этого раздела на примере свободного падения тела в поле тяжести Земли. Пусть тело бро-

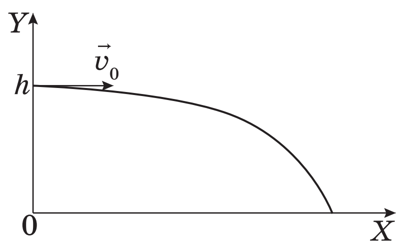


*Рис. 1.12*

шено горизонтально на высоте $h$ со скоростью $v_0$ (рис. 1.12). Найдем уравнение траектории его движения.

Движение тела происходит в плоскости. Выберем в этой плоскости оси координат $X$ и $Y$, как показано на рис. 1.12. Поскольку сила тяжести направлена вертикально вниз, проекция на ось $X$ вектора ускорения равна нулю: $a_x = 0$.

По формуле (1.7), отнесенной к оси $X$, найдем, что проекция вектора скорости на эту ось постоянна: $v_x = v_0 = \text{const}$.

Поскольку $s = x - x_0$, уравнение (1.9) можно записать в виде:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}, \tag{1.13}$$

где $x_0$ — координата тела по оси $X$ в начальный момент времени. В нашем случае $x_0 = 0$. Тогда:

$$x(t) = v_0 t. \tag{1.14}$$

Ускорение тела вдоль оси $Y$ равно ускорению свободного падения $g$, взятому со знаком «минус», так как проекция вектора $\vec{g}$ на эту ось отрицательна: $a_y = -g$. Заменив $x$ на $y$ в формуле (1.13) и учитывая, что начальная координата тела по оси $Y$: $y_0 = h$, а проекция начальной скорости $v_{0y} = 0$, найдем:

$$y(t) = h - \frac{gt^2}{2}. \tag{1.15}$$

Уравнения (1.14) и (1.15) задают траекторию тела в параметрическом виде. Выразив $t$ из первого и подставив его во второе, получим уравнение этой траектории в явном виде. Поскольку $t = \frac{x}{v_0}$, имеем:

$$y(x) = h - \frac{g}{2v_0^2} x^2. \tag{1.16}$$

Это уравнение параболы с вершиной в точке $(0, h)$ и ветвями, направленными вниз (рис. 1.12). В однородном поле тяжести, когда ускорение свободного падения одинаково в любой точке пространства, тело движется по параболе.

Из уравнения (1.15) можно найти время полета тела $t_п$. В момент касания поверхности Земли его координата по оси $Y$ станет равной нулю:

$$y(t_п) = h - \frac{gt_п^2}{2} = 0,$$

откуда:

$$t_п = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Подставляя его в уравнение (1.14), найдем дальность полета тела $l$ по горизонтали:

$$l = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Дальность полета пропорциональна скорости бросания тела $v_0$ и возрастает с увеличением высоты $h$, с которой оно было брошено.

## 1.1.6. Движение по окружности

Наиболее простой случай криволинейного движения — *равномерное движение по окружности*. Вектор скорости тела направлен по касательной к этой окружности в каждой ее точке и изменяется только по направлению, оставаясь постоянным по модулю (рис. 1.13).

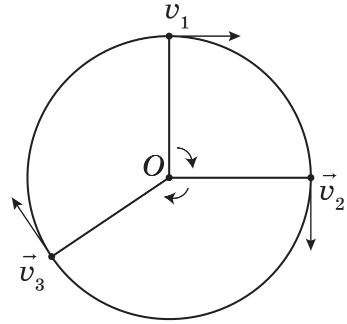

*Рис. 1.13*

Пусть за малый промежуток времени $\Delta t$ тело перемещается из положения $A_1$ в положение $A_2$ (рис. 1.14). Перенесем вектор $\vec{v}_1$, показывающий скорость тела в точке $A_1$, параллельно самому себе в точку $A_2$. Отрезок прямой $B_1B_2$ равен изменению скорости тела $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, а отношение $\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{a}$ — вектор ускорения, параллельный вектору $\Delta\vec{v}$. Вектор ускорения, как видно из рис. 1.14 , параллелен отрезку $OA$, т. е. направлен вдоль радиуса к центру окружности, а само ускорение называется *центростремительным*. Поскольку треугольники $OA_1A_2$ и $A_2B_1B_2$ подобны, можно записать:

$$\frac{\Delta v}{v_1} = \frac{A_1A_2}{R}. \qquad (1.17)$$

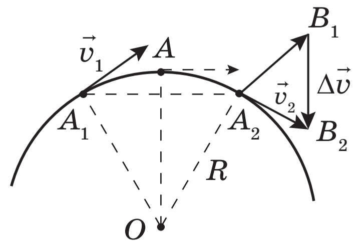

*Рис. 1.14*

Для короткого промежутка времени точки $A_1$ и $A_2$ расположены настолько близко друг к другу, что длину дуги $A_1AA_2$ окружности можно считать равной длине отрезка $A_1A_2$, сама же длина этой дуги есть путь, пройденный телом за время $\Delta t$ со скоростью $v_1$: $A_1A_2 = s = v_1 \cdot \Delta t$.

Тогда, подставляя в уравнение (1.17) и учитывая уравнение (1.6), получим:

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R}. \qquad (1.18)$$

**При равномерном движении тела по окружности ускорение направлено к ее центру и равно квадрату скорости, деленному на радиус этой окружности.**

Тело, равномерно движущееся по окружности, за время $t$ совершает $N$ оборотов. Число оборотов за единицу времени называется **частотой** $n$ его обращения по окружности: $n = \dfrac{N}{t}$.

**Периодом обращения** $T$ называется время, за которое оно совершает один оборот: $T = \dfrac{t}{N}$.

Период и частота — взаимно обратные величины: $T = \dfrac{1}{n}$.

Единица измерения периода $[T] = с$ (секунда), частоты $[n] = 1/с$ (оборот в секунду).

Период можно выразить через радиус окружности $R$ и скорость тела $v$, разделив длину окружности на скорость: $T = \dfrac{2\pi R}{v}$.