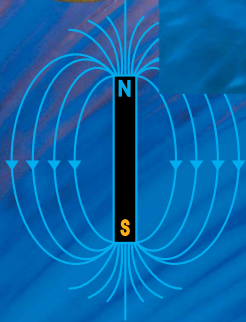
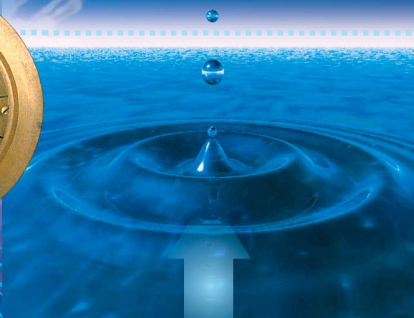


С. Н. Капельян, Л. А. Аксенович

# ФИЗИКА

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ФОРМУЛЫ, ЗАКОНЫ



АВЕРСЭВ

УДК 53(075.3)  
ББК 22.3я721  
К20

**Капельян, С. Н.**  
К20 Физика : основные понятия, формулы, законы / С. Н. Капельян, Л. А. Аксенович. — 12-е изд. — Минск : Аверсэв, 2023. — 96 с. : ил.

ISBN 978-985-19-3939-4.

В пособии конспективно изложен основной материал курса физики в соответствии с содержанием действующей учебной программы для учреждений общего среднего образования и учебников. Книга поможет восстановить в памяти, конкретизировать и систематизировать ранее изученное.

Адресуется старшеклассникам и абитуриентам для работы на уроках и подготовки к централизованному тестированию.

**УДК 53(075.3)**  
**ББК 22.3я721**

*Справочное издание*

**Капельян Семен Наумович**  
**Аксенович Лилия Антоновна**

**ФИЗИКА**

**Основные понятия, формулы, законы**

*12-е издание*

Ответственный редактор *Е. В. Громько*

Подписано в печать 03.03.2023. Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага газетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 3,57. Тираж 2100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013.

Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.

**E-mail: [info@aversev.by](mailto:info@aversev.by); [www.aversev.by](http://www.aversev.by)**

Контактные телефоны: (017) 378-00-00, 379-00-00.

Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

Унитарное полиграфическое предприятие «Витебская областная типография».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий № 2/19 от 26.11.2013.

Ул. Щербакова-Набережная, 4, 210015, г. Витебск.

12+

**ISBN 978-985-19-3939-4**

© Капельян М. Ф., Аксенович Л. А., 2017  
© Капельян М. Ф., Аксенович Л. А., 2021,  
с изменениями  
© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2021

# 1 | МЕХАНИКА

## 1.1. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

### 1.1.1. Основные понятия кинематики

**Механика** — раздел физики, в котором изучают механическое движение, т. е. изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Кинематика — раздел механики, изучающий способы описания движения без учета причин, вызывающих это движение. Основными понятиями кинематики являются:

**Материальная точка** — тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.

**Тело отсчета** — это тело, которое условно считается неподвижным и относительно которого рассматривается движение других тел. Система координат, связанная с телом отсчета, и часы (выбранный способ измерения времени) образуют систему отсчета.

Положение материальной точки в пространстве в любой момент времени определяется радиус-вектором  $\vec{r}$ , проведенным из начала отсчета к материальной точке (рис. 1) или координатами  $(x; y; z)$ , представляющими собой проекции конца радиус-вектора на соответствующие оси.

Движение точки в пространстве считается заданным, если известны зависимости координат точки от времени  $x = x(t); y = y(t); z = z(t)$  или радиус-вектора  $\vec{r}(t)$ .

**Траектория** — линия, которую описывает материальная точка в процессе своего движения.

**Путь**  $s$  — длина траектории, описанной материальной точкой за данный промежуток времени (рис. 2). Вектор, соединяющий на-

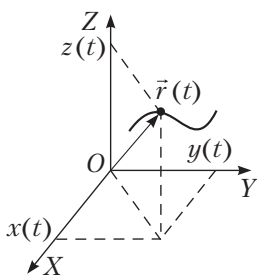


Рис. 1

начальное и конечное положение тела, называют **перемещением**  $\Delta\vec{r}$  тела за данный промежуток времени:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1,$$

где  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  — радиус-векторы тела в начальный и конечный моменты времени.

Путь  $s$  — величина скалярная и положительная, перемещение  $\Delta\vec{r}$  — величина векторная.

В общем случае за данный промежуток времени

$$s \geq |\Delta\vec{r}|.$$

**Средняя скорость перемещения**  $\langle\vec{v}\rangle$  — это векторная физическая величина, численно равная отношению перемещения к промежутку времени, за который оно произошло, и направленная вдоль перемещения:

$$\langle\vec{v}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

**Средняя путевая скорость**  $\langle v\rangle$  численно равна отношению пути  $s$  к промежутку времени, за который путь пройден:

$$\langle v\rangle = \frac{s}{\Delta t}.$$

Единицей скорости в СИ является метр в секунду  $\left(1 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ ;

$$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**Мгновенная скорость**  $\vec{v}$  — это скорость в данный момент времени (или в данной точке траектории). Мгновенная скорость приблизительно равна средней скорости, определенной за малый промежуток времени ( $\Delta t \rightarrow 0$ ). Точность этого приближения тем выше, чем меньше промежуток времени.

Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения в каждой ее точке.

Быстроту изменения скорости по модулю и направлению характеризует ускорение.

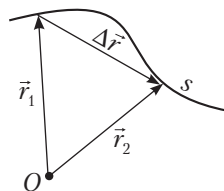


Рис. 2

**Среднее ускорение**  $\langle \vec{a} \rangle$  — векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости  $\Delta \vec{v}$  ко времени  $\Delta t$ , за которое это изменение произошло:

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Среднее ускорение направлено по вектору изменения скорости  $\Delta \vec{v}$ .

**Мгновенное ускорение**  $\vec{a}$  равно среднему ускорению, вычисленному за достаточно малый промежуток времени ( $\Delta t \rightarrow 0$ ).

При прямолинейном движении ускорение направлено либо по скорости (если ее модуль растет), либо противоположно скорости (если ее модуль убывает).

### 1.1.2. Равномерное прямолинейное движение

**Равномерное прямолинейное движение** — это движение, при котором модуль и направление скорости не изменяются ( $\vec{v} = \text{const}$ ).

Перемещение  $\Delta \vec{r}$  за данный промежуток времени  $\Delta t$  равно:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \Delta t.$$

Модуль перемещения при этом равен пройденному пути. Для проекции перемещения на координатную ось  $Ox$  имеем

$$\Delta r_x = v_x \Delta t,$$

где  $\Delta t = t - t_0$ . Если принять  $t_0 = 0$ , то  $\Delta t = t$  и  $\Delta r_x = v_x t$ .

Координата  $x$  точки в любой момент времени  $t$  линейно зависит от времени:

$$x = x_0 + v_x t,$$

где  $x_0$  — координата тела в начальный момент времени.

Графики зависимости  $v_x$ ,  $\Delta r_x$  и  $x$  от времени  $t$  представлены на рисунке 3.

Проекция  $\Delta r_x$  численно равна заштрихованной площади фигуры между графиком проекции скорости  $v_x(t)$  и осью времени  $t$  в пределах рассматриваемого промежутка времени (рис. 3, а). Проекция скорости  $v_x$  численно равна тангенсу угла наклона графика  $r_x(t)$  или  $x(t)$  к оси времени (рис. 3, б, в).

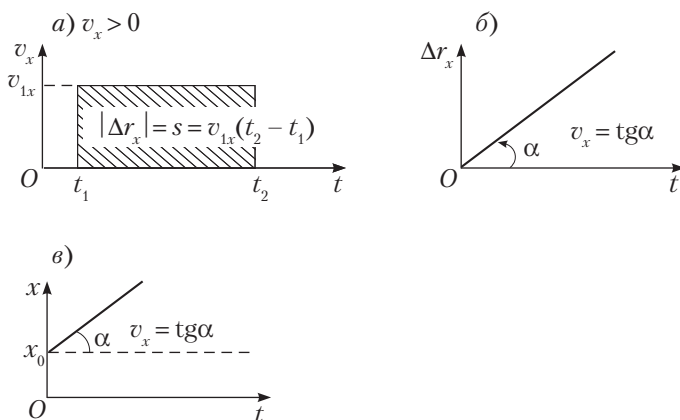


Рис. 3

### 1.1.3. Закон сложения скоростей в классической механике

Пусть материальная точка движется относительно двух систем отсчета, одна из которых неподвижна относительно поверхности Земли (система  $K$ ), а другая  $K'$  движется равномерно со скоростью  $\vec{v}_0$ . Тогда перемещение материальной точки  $\Delta\vec{r}$  относительно неподвижной системы отсчета равно векторной сумме ее перемещения  $\Delta\vec{r}'$  относительно движущейся системы отсчета и перемещения  $\Delta\vec{r}_0$  движущейся системы отсчета относительно неподвижной:

$$\Delta\vec{r} = \Delta\vec{r}' + \Delta\vec{r}_0.$$

Скорость точки  $\vec{v}$  относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости точки  $\vec{v}'$  относительно движущейся системы отсчета и скорости  $\vec{v}_0$  движущейся системы относительно неподвижной:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0.$$

### 1.1.4. Равнопеременное прямолинейное движение

**Равнопеременное прямолинейное движение** — это движение с постоянным ускорением  $\vec{a} = \text{const}$ . При таком движении скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

Кинематические уравнения равнопеременного прямолинейного движения имеют вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t;$$

$$\Delta\vec{r} = \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

В проекциях на ось  $Ox$ , направленную вдоль траектории движения:

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

$$\Delta r_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

где  $x_0$  — координата точки в начальный момент времени.

Частные случаи:

- ♦ движение без начальной скорости ( $v_{0x} = 0$ ) из начала координат ( $x_0 = 0$ ):

$$v_x = a_x t;$$

$$\Delta r_x = \frac{a_x t^2}{2};$$

$$\Delta r_x = \frac{v_x^2}{2a_x};$$

- ♦ движение с начальной скоростью ( $v_{0x} \neq 0$ ) из начала координат ( $x_0 = 0$ ):

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

$$x = \Delta r_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$\Delta r_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x};$$

$$\Delta r_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t.$$

Графики зависимости проекции скорости  $v_x$ , ускорения  $a_x$  и проекции перемещения  $\Delta r_x$  от времени  $t$  при равнопеременном движении представлены на рисунке 4.

График зависимости проекции перемещения от времени представляет собой параболу (рис. 4, в). Если проекция ускорения  $a_x > 0$ , то ветвь параболы направлена вверх (график 2), если  $a_x < 0$ , то ветвь параболы направлена вниз (график 3).

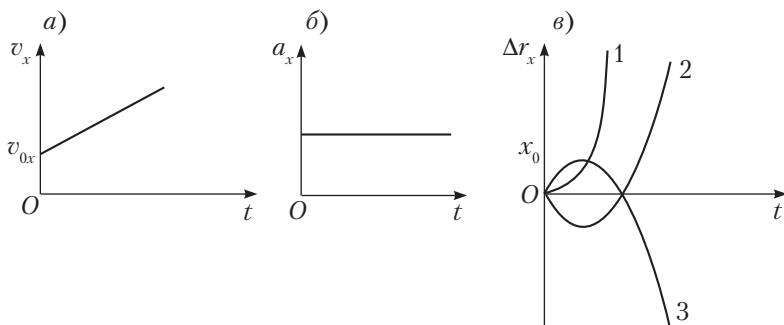


Рис. 4

Вершина параболы соответствует моменту времени, при котором модуль скорости движения равен нулю.

### 1.1.5. Движение тела по окружности

Пусть тело движется по окружности радиусом  $R$  со скоростью, модуль которой постоянен (рис. 5):

$$|\vec{v}_A| = |\vec{v}_B| = v.$$

**Угловая скорость тела**  $\vec{\omega}$  — это физическая величина, модуль которой численно равен отношению угла поворота радиус-вектора к промежутку времени, за который этот поворот произойдет:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

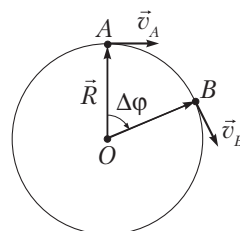


Рис. 5

Единицей угловой скорости в СИ является радиан в секунду  $\left(1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$ .

**Период обращения**  $T$  — это промежуток времени, за который тело совершает один полный оборот. Число оборотов, совершен-



ных телом за единицу времени, называют *частотой обращения*  $\nu$ . Связь между  $\omega$ ,  $T$  и  $\nu$  имеет вид:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu;$$
$$T = \frac{1}{\nu}.$$

Модуль линейной скорости тела, равномерно вращающегося по окружности, не изменяется:

$$v = 2\pi R\nu = \frac{2\pi R}{T} = \omega R,$$

а ее направление непрерывно изменяется. Быстроту изменения направления линейной скорости характеризует центростремительное ускорение  $a_{ц}$ , перпендикулярное скорости и направленное по радиусу к центру окружности. Модуль центростремительного ускорения рассчитывают по формулам:

$$a_{ц} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 \nu^2 R = \frac{v^2}{R} = \nu\omega.$$

## 1.2. ДИНАМИКА

*Динамика* — раздел механики, который выявляет причины, определяющие характер движения тел, и изучает закономерности движения тел под действием приложенных к ним сил.

### 1.2.1. Первый закон Ньютона

Первый закон Ньютона утверждает, что существуют системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной (или покоится), если на него не действуют другие тела (или действие других тел скомпенсировано).

Инерциальной системой является также любая система отсчета, движущаяся относительно данной инерциальной системы равномерно и прямолинейно.

*Инерция* — явление сохранения телом модуля и направления своей скорости или состояния покоя в инерциальной системе отсчета, если на него не действуют другие тела или если это действие скомпенсировано.

# Содержание

<b>1. Механика</b> .....	3
1.1. Основы кинематики .....	3
1.2. Динамика.....	9
1.3. Законы сохранения.....	20
1.4. Статика.....	23
1.5. Жидкости и газы.....	25
<b>2. Молекулярная физика и термодинамика</b> .....	28
2.1. Молекулярная физика.....	28
2.2. Основы термодинамики.....	35
<b>3. Электродинамика</b> .....	41
3.1. Электростатика .....	41
3.2. Законы постоянного тока .....	48
3.3. Магнитное поле.....	54
<b>4. Колебания и волны</b> .....	61
4.1. Механические колебания .....	61
4.2. Электромагнитные колебания.....	63
4.3. Механические волны .....	64
4.4. Электромагнитные волны .....	65
4.5. Переменный ток.....	67
<b>5. Оптика</b> .....	73
5.1. Геометрическая оптика.....	73
5.2. Волновая оптика .....	78
<b>6. Основы специальной теории относительности</b> .....	82
<b>7. Квантовая физика</b> .....	84
7.1. Световые кванты .....	84
7.2. Фотоэффект .....	84
7.3. Давление света.....	86
<b>8. Физика атома</b> .....	87
8.1. Ядерная модель атома.....	87
8.2. Спектр атома водорода.....	87
8.3. Квантовые постулаты Бора.....	88
<b>9. Атомное ядро</b> .....	90
9.1. Строение атомных ядер.....	90
9.2. Радиоактивность.....	92
9.3. Ядерные реакции.....	93