ФИЗИКА

В ТАБЛИЦАХ

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

для школьников и абитуриентов

Надежный помощник для поступающих в вузы

ДОДЭКА
www.dodeca.ru

ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

Прописные буквы	Строчные буквы	Русская транскрипция
Α	α	альфа
Β	β	бета
Γ	γ	гамма
Δ	δ	дельта
Ε	ε	эпсилон
Ζ	ζ	дзета
Η	η	эта
Θ	θ	тета
Ι	ι	йота
Κ	κ	каппа
Λ	λ	ламбда
Μ	μ	мю
Ν	ν	ню
Ξ	ξ	кси
Ο	ο	омикрон
Π	π	пи
Ρ	ρ	ро
Σ	σ	сигма
Τ	τ	тау
Υ	υ	ипсилон
Φ	φ	фи
Χ	χ	хи
Ψ	ψ	пси
Ω	ω	омега

ЛАТИНСКИЙ/АНГЛИЙСКИЙ АЛФАВИТ

Прописные буквы	Строчные буквы	Русская транскрипция латинского алфавита	Русская транскрипция английского алфавита
A	a	а	эй
B	b	бэ	би
C	c	цэ	си
D	d	дэ	ди
E	e	э	и
F	f	эф	эф
G	g	гэ	джи
H	h	ха	эйч
I	i	и	ай
J	j	йота	джей
K	k	ка	кей
L	l	эль	эл
M	m	эм	эм
N	n	эн	эн
O	o	о	оу
P	p	пэ	пи
Q	q	ку	кью
R	r	эр	а(р)
S	s	эс	эс
T	t	тэ	ти
U	u	у	ю
V	v	вэ	ви
W	w	—	дабл ю
X	x	икс	экс
Y	y	ипсилон	уай
Z	z	зэта	зэд

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИСТЕМЫ СИ

Величина	Единица измерения	Обозначение	
		Русское	Международное
Время	секунда	с	s
Длина	метр	м	m
Сила электрического тока	ампер	А	A
Количество вещества	моль	моль	mol
Масса	килограмм	кг	kg
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
Сила света	кандела	кд	cd
Температура	кельвин	К	K

В. Г. Пец

Физика

В ТАБЛИЦАХ

Универсальное
справочное пособие
для школьников
и абитуриентов

4-е издание

Москва
Издательский дом «Додэка-XXI»
2012

УДК 373.167.1:53+53(075)
ББК 22.3я721
П 31

Пец В. Г.
П31 Физика в таблицах. Универсальное справочное пособие для школьников и абитуриентов /Пец В. Г. ; 4-е изд., испр. — М.: Додэка-XXI, 2012. — 80 с. : ил. — ISBN 5-94120-273-7.

Книга представляет собой справочное пособие по всему школьному курсу физики, выполненное в виде таблиц. Каждому разделу общей физики соответствуют свои таблицы, включающие определения физических величин, формулировки основных законов физики, формулы, необходимые для решения задач по физике и единицы измерения физических величин в системе СИ. Определения и формулировки соответствуют научной терминологии. Таблично представленный материал обладает хорошей наглядностью, быстрее запоминается и воспроизводится, а также позволяет легко ориентироваться при нахождении необходимой формулы, определения, единицы измерения.

Пособие составлено в соответствии со школьной программой для классов с углублённым изучением курса физики и может быть использовано при подготовке к выпускным и вступительным экзаменам, единому госэкзамену, для самообразования учащихся старших классов средних школ, колледжей, СПТУ, а также может быть полезно студентам первых курсов высших учебных заведений и начинающим учителям физики.

УДК 373.167.1:53+53(075)
ББК 22.3я721

Вера Геннадьевна Пец

ФИЗИКА В ТАБЛИЦАХ

Универсальное справочное пособие
для школьников и абитуриентов

Ответственный редактор *И. А. Сенников*
Технический редактор *В. И. Матвеева*
Графики *А. Ю. Анненков, А. Н. Клочков*

Издательский дом «Додэка-XXI»
ОКП 95 3000
105318 Москва, а/я 70
Тел./факс: (495) 366-04-56, 365-26-95
E-mail: red@dodeca.ru

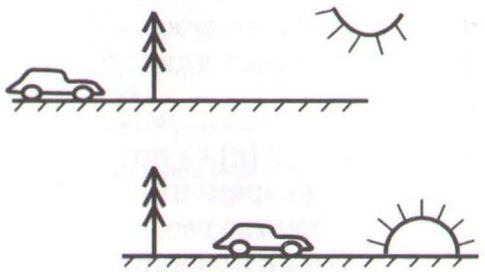
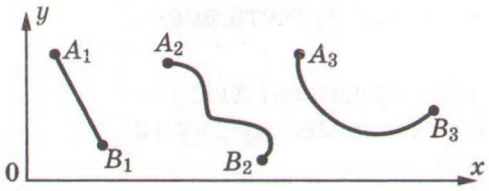
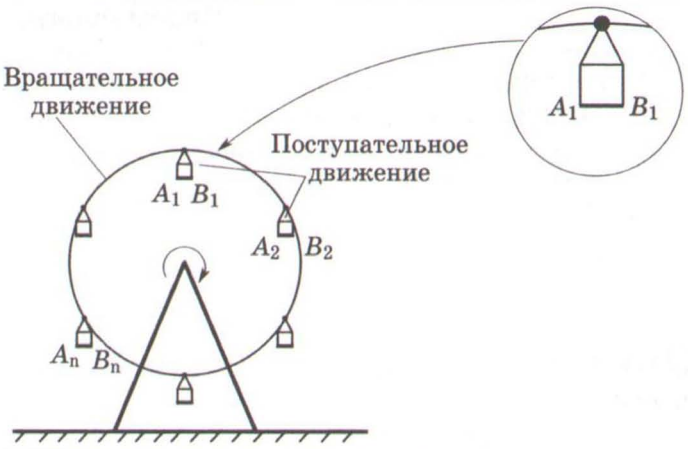
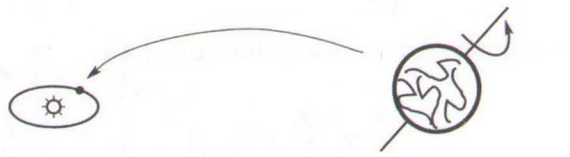
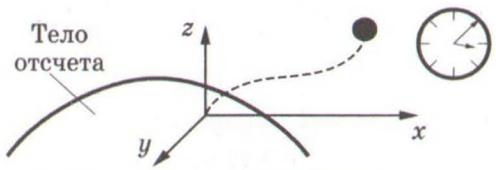
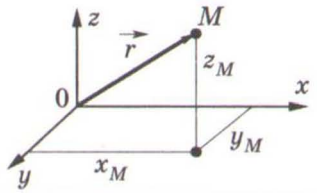
Подписано в печать 01.09.2011. Формат 60x90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «SchoolBookC». Печать офсетная. Объем 5,0 п. л. Усл. печ. л. 5,0.
Тираж 3000 экз. Код PHY(4). Заказ Р-1404.
Отпечатано в типографии филиала ОАО «ТАТМЕДИА» «ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.

ISBN 5-94120-273-7

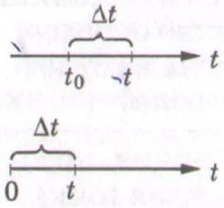
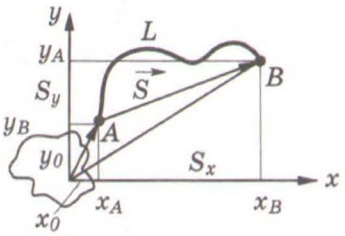
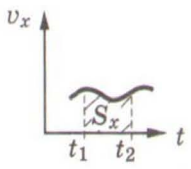
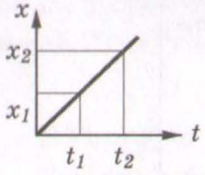
© Пец В. Г.. 2005
© Издательский дом «Додэка-XXI», 2012

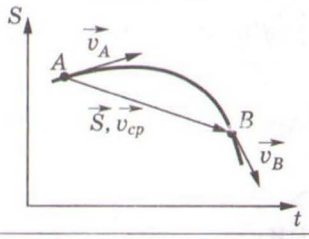
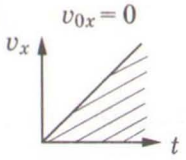
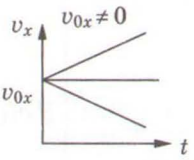
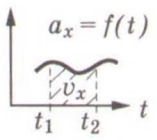
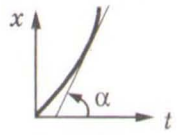
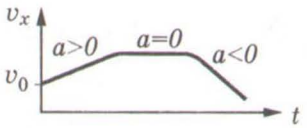
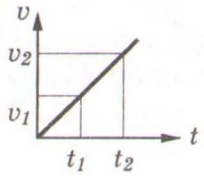
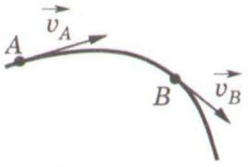
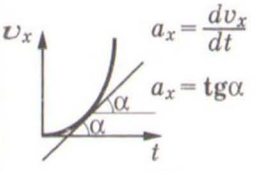
I. МЕХАНИКА

1. Общие понятия

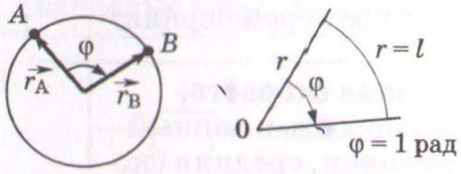
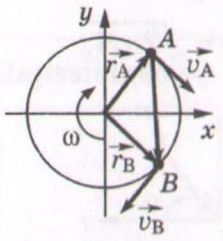
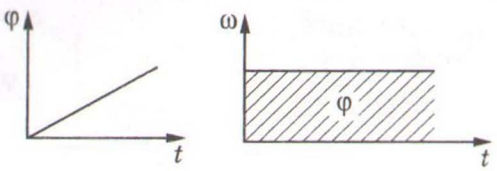
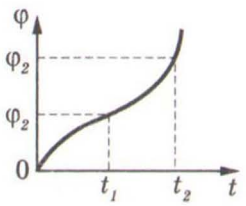
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Механическое движение** — изменение положения тела в пространстве и во времени относительно других тел (движется тело или находится в состоянии покоя — невозможно определить до тех пор, пока не будет указано *тело отсчета*)	
❷ **Траектория** — линия, которую описывает каждая точка тела при движении относительно выбранной системы отсчета	
❸ **Поступательное движение** — движение тела, при котором все точки тела описывают одинаковые траектории одинаковой длины ❹ **Вращательное движение** — движение тела, при котором все точки тела описывают окружности или дуги в плоскостях, перпендикулярных оси вращения	
❺ **Материальная точка** — тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи (размеры тела малы по сравнению с расстояниями, которые оно проходит, или тело движется поступательно; в иных случаях тело рассматривают как совокупность материальных точек)	 Земля — материальная точка Земля — совокупность материальных точек
❻ **Система отсчета** — тело отсчета, связанная с ним система координат и указание начала отсчета времени	
❼ **Положение материальной точки** в принятой системе отсчета определяют заданием радиус-вектора $\vec{r}$ или координат x, y, z	

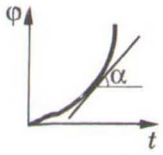
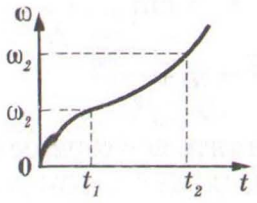
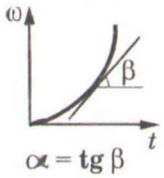
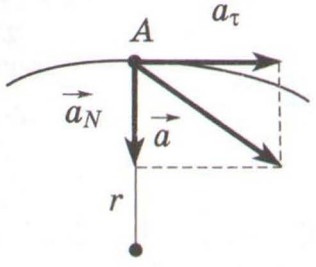
2. Кинематика поступательного движения

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Время	
❶ **Время** — физическая величина, характеризующая длительность процессов	В основу измерения времени положены периодические процессы, например колебания (маятниковые часы, кварцевые часы, атомные часы)
❷ **Момент времени**, t [с] — положение события во времени (аналогично положению геометрической точки на прямой) ❸ **Начальный момент**, t_0 [с] — условное начало отсчета времени ❹ **Интервал времени**, Δt [с] — время, истекшее между двумя событиями	 $\Delta t = t - t_0$ если $t_0 = 0$, то $\Delta t = t$
Перемещение, путь	
❺ **Перемещение**, S [м] — векторная физическая величина, характеризующая изменение положения материальной точки. Вектор перемещения соединяет начальную и конечную точки траектории ❻ **Путь**, L [м] — длина траектории	$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$; $S_x = x_B - x_A$, $S_y = y_B - y_A$  **Уравнение движения:** $x = x_0 + S_x$, где: $S_x = \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ $(a = const)$ или: $S_x = \frac{\upsilon_x + \upsilon_{0x}}{2} t$  или: $S_x = \frac{\upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2}{2a}$ $S_x = \int_{t_1}^{t_2} \upsilon_x dt$ $(a = f(t))$ • При криволинейном движении путь определяют с помощью курвиметра • $L = S$ при прямолинейном однонаправленном движении; при криволинейном — $L > S$
Скорость	
❼ **Скорость**, υ [м/с] — векторная физическая величина, характеризующая быстроту движения	$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}$ **Равномерное движение** $(a = 0)$  $\upsilon_x = \frac{S_x}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

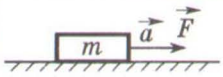
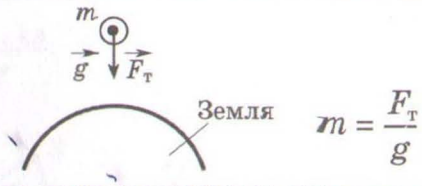
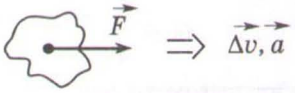
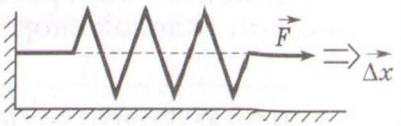
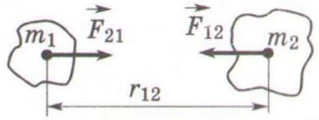
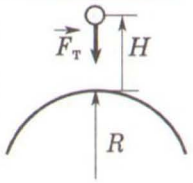
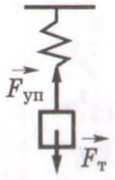
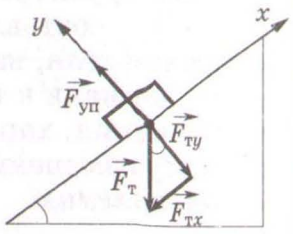
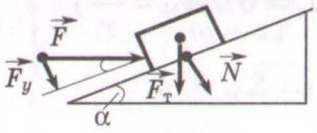
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
8 Средняя скорость, $\upsilon_{ср}$ [м/с] — отношение перемещения к интервалу времени, за который это перемещение произошло (по направлению совпадает с направлением вектора перемещения)	 $\vec{\upsilon}_{ср} = \frac{\vec{S}}{t} = \frac{\sum_1^N \vec{S}_k}{\sum_1^N t_k}$
9 Мгновенная скорость, υ [м/с] — скорость в данный момент времени, средняя скорость за бесконечно малый интервал времени	**Равномерно ускоренное движение (a = const)** $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}\,t$  $\upsilon_x = at$ $\upsilon_x = \sqrt{2aS_x}$  $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$  $\upsilon_x = \int_{t_0}^{t} a_x dt$  $\upsilon_x = \text{tg}\alpha$ $\upsilon_x = x'$  • Вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории ($\vec{\upsilon}_A$, $\vec{\upsilon}_B$)
Ускорение	
10 Ускорение, a [м/с^2] — векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости	$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$ **Равномерно ускоренное движение**  $a = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{t_2 - t_1}$
11 Среднее ускорение, $a_{ср}$ [м/с^2] — отношение изменения скорости к интервалу времени, за который это изменение произошло	 $\vec{a}_{ср} = \frac{\vec{\upsilon}_B - \vec{\upsilon}_A}{t_B - t_A}$
12 Мгновенное ускорение, a [м/с^2] — ускорение в данный момент времени, среднее ускорение за бесконечно малый интервал времени	$a_x = \upsilon_x' = x''$; $a_y = \upsilon_y' = y''$  $a_x = \frac{d\upsilon_x}{dt}$ • $a > 0$ — ускорение $a < 0$ — замедление • При свободном падении тел $\vec{a} = \vec{g}$

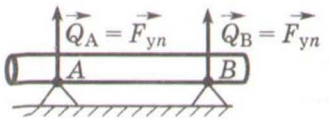
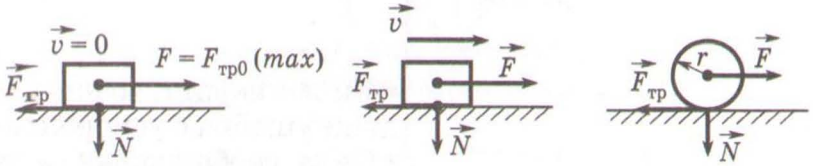
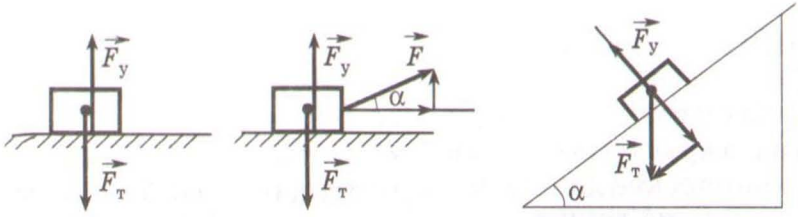
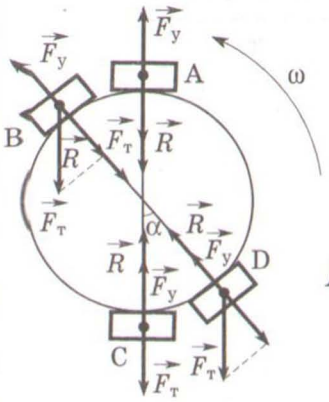
3. Кинематика вращательного и криволинейного движения

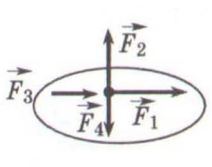
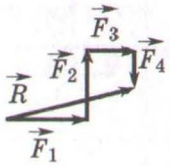
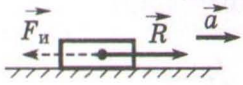
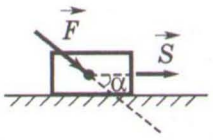
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Движение тела по окружности	
❶ **Угол поворота (угловое перемещение),** φ [рад] — угол между радиус-векторами, определяющими местоположение тела при его движении по окружности	$\varphi = \dfrac{L_{\cup AB}}{r}$  $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \dfrac{\alpha t^2}{2}$ Угол полного оборота: $\varphi_\Theta = \dfrac{L_\Theta}{r} = \dfrac{2\pi r}{r} = 2\pi$
❷ **Период,** T [с] — время полного оборота тела при движении по окружности ❸ **Число оборотов (частота вращения),** n [1/с] — физическая величина, определяющая быстроту вращения тела	 $T = 2\pi/\omega \qquad T = 2\pi r/\upsilon \qquad T = 1/n$ $n = 1/T \qquad n = \dfrac{\omega}{2\pi}$ • n, вопреки названию, — не число, а физическая величина, на практике измеряемая *тахометром*
❹ **Линейная скорость,** υ [м/с^2] — мгновенная скорость тела при движении по окружности	$\upsilon = 2\pi r/T, \qquad \upsilon = 2\pi r n, \qquad \upsilon = \omega r$ • Направление вектора линейной скорости вращающегося тела определяется касательной к окружности вращения
❺ **Угловая скорость,** ω [рад/с] — количественная характеристика быстроты вращения	**Равномерное движение по окружности (ω = const)**  $\omega = \varphi/t$ $\omega = \upsilon/r$ $\omega = 2\pi n$ $\omega = 2\pi/T$
❻ **Средняя угловая скорость,** $\omega_{ср}$ [рад/с] — отношение углового перемещения к интервалу времени, за который оно произошло	 $\omega_{ср} = \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \dfrac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}$
❼ **Мгновенная угловая скорость,** ω [рад/с] — средняя угловая скорость за бесконечно малый промежуток времени	**Равноускоренное движение по окружности (α = const)** ***Движение без начальной скорости*** $\omega = \alpha t$ $\omega = \sqrt{2\alpha\varphi}$ ***Движение с начальной скоростью*** $\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\omega = \sqrt{\omega_0^2 + 2\alpha\varphi}$

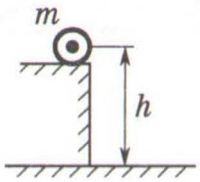
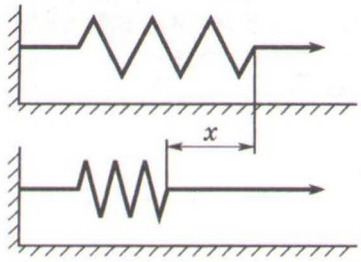
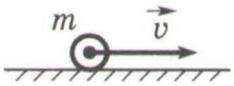
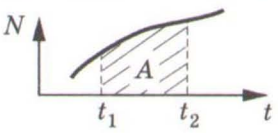
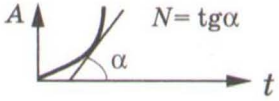
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑧ Мгновенная угловая скорость (продолжение)	**Ускоренное движение по окружности ($\alpha = f(t)$)**  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ $\quad \omega = \varphi'$ $\quad \omega = \int_{t_1}^{t_2} \alpha dt$ • Для вычисления ω необходимо знать зависимость $\alpha = f(t)$.
⑨ Угловое ускорение, α [рад/с] — количественная характеристика быстроты изменения угловой скорости	**Движение без начальной скорости:** $\alpha = \frac{\omega}{t}$ **Движение с начальной скоростью:** $\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}$
⑩ Среднее угловое ускорение, $\alpha_{ср}$ [рад/с] — отношение углового перемещения к интервалу времени, за который оно произошло	 $\alpha_{ср} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$
⑪ Мгновенное угловое ускорение, α [рад/с] — средняя угловая скорость за бесконечно малый промежуток времени	 $\alpha = \omega' = \varphi''$
Криволинейное движение	
⑫ Криволинейное движение — движение тела, у которого изменяется и величина и направление скорости	• При криволинейном движении тело обладает тангенциальным a_τ и нормальным (центростремительным) a_N ускорением • Любое криволинейное движение можно представить как последовательность движений, происходящих по дугам окружностей
⑬ Нормальное (центростремительное) ускорение, a_N [м/с^2] — составляющая ускорения тела, направленная по нормали к траектории его движения, характеризует быстроту изменения скорости *по направлению* **⑭ Тангенциальное ускорение,** a_τ [м/с^2] — составляющая ускорения тела, направленная по касательной к траектории его движения, характеризует быстроту изменения скорости *по модулю*	$a_N = \frac{\upsilon^2}{r}$ $a_N = \omega^2 r$ $a_\tau = \alpha r$ • Равномерное движение по окружности — частный случай криволинейного движения $(a_\tau = 0;\ a_N = \frac{\upsilon^2}{r})$ $\vec{a} = \vec{a}_N + \vec{a}_\tau$ $a = \sqrt{a_N^2 + a_\tau^2}$ 

4. Динамика поступательного движения

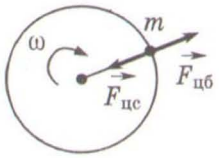
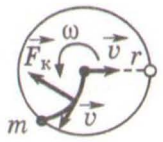
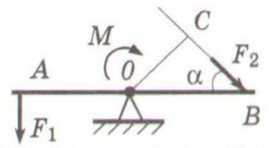
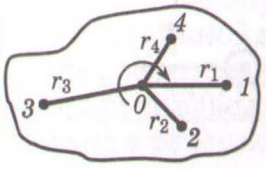
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Масса, сила и импульс тела	
❶ Масса, m [кг] — физическая величина, характеризующая инерционные и гравитационные свойства тела	 $m = \frac{F}{a}$  $m = \frac{F_т}{g}$ • Инертность — свойство тела оказывать сопротивление изменению его скорости • Масса составного тела равна сумме масс его частей
❷ Сила, F [Н] — векторная физическая величина, характеризующая воздействие материальных тел друг на друга при их механическом контакте или посредством создаваемых ими полей	 $\vec{F} = m\vec{a}$ $\vec{F} = m\frac{\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0}{t}$  $\vec{F}_{уп} = -k\vec{\Delta x}$ • Принято векторное обозначение для сил использовать в случаях, когда существенно их направление. Во всех остальных случаях принимают во внимание только величину силы.
❸ Сила тяготения, F [Н] — сила гравитационного воздействия тел друг на друга	 $F_{12} = F_{21} = G\frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$ G — гравитационная постоянная $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
❹ Сила тяжести, $F_т$ [Н] — сила действующая на любое тело вблизи поверхности небесного тела (частный случай силы тяготения)	 $F_т = mg$ $g = G\frac{M}{(R+H)^2}$ g — ускорение свободного падения тел • У поверхности Земли $g \approx 9{,}8$ м/с^2
❺ Сила упругости, $F_{уп}$ [Н] — сила сопротивления тела при деформации	 $\vec{F}_{уп} = -k\vec{\Delta x}$ $F_{уп} = F_т$ $F_{ту} = mg\cos\alpha$ $F_{уп} = F_{ту}$  • Сила упругости направлена навстречу деформирующей силе со стороны опоры
❻ Сила нормального давления, N [Н] — сила давления тела на опору	 $N = F_{уп} = F_{ту} + F_y =$ $= F_т\cos\alpha + F\sin\alpha$ • Сила нормального давления численно равна силе упругости

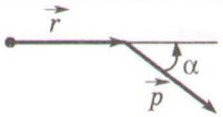
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ Реакция опоры, Q [Н] — сила воздействия опоры на лежащее на ней тело	 $Q = F_{уп}$ • Реакция опоры численно равна силе упругости
❽ Сила трения, $F_{тр}$ [Н] — сила, возникающая при соприкосновении поверхностей тел и препятствующая их относительному перемещению	**Виды трения** ***Трение покоя*** (трение в отсутствие перемещения соприкасающихся тел) ***Трение скольжения*** (тело скользит по поверхности опоры) ***Трение качения*** (тело катится по поверхности опоры)  $F_{тр0(max)} = \mu_0 N$ $F_{тр\,ск} = \mu N$ $F_{тр\,к} = \mu_к \frac{N}{r}$ • Сила трения направлена против движения • Относительное движение возникает, если $F > F_{тр\,0\,(max)}$
❾ Вес тела, P [Н] — сила воздействия тела на горизонтальную опору (или подвес) вследствие его притяжения к Земле	***Вес тела, находящегося на горизонтальной плоскости*** ***Вес тела, находящегося на наклонной плоскости***  $P = F_т$ $P = F_т - F\sin\alpha$ $P = F_т \cos\alpha$ ***Вес тела, вращающегося по окружности***  $R = ma_{цс} = m\omega^2 r = \frac{mv^2}{r}$ Вес тела в точке A $P_A = R - F_т = m(a-g)$ (при $a = g$ — невесомость) Вес тела в точке B $P_B = R - F_T \cos\alpha = m(a - g\cos\alpha)$ Вес тела в точке C $P_C = R + F_T = m(a+g)$ (при $a = g$ — перегрузка) Вес тела в точке D $P_D = R + F_T \cos\alpha = m(a + g\cos\alpha)$ • Вес тела численно равен силе упругости

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑩ **Равнодействующая приложенных к телу сил,** R [Н] — геометрическая сумма сил, приложенных к телу	  $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$ $\vec{R} = m\vec{a}$ • Несколько сил, действующих на тело, можно заменить равнодействующей силой
⑪ **Сила инерции,** $F_и$ [Н] — сила, являющаяся следствием ускорения	 $\vec{F}_и = -\vec{R} = -m\vec{a}$ • Сила инерции возникает только в системе отсчета, движущейся с ускорением, т.е. это *кажущаяся сила* • Сила, сообщающая телу ускорение, и сила инерции всегда равны по величине и противоположно направлены
⑫ **Импульс тела,** p [кг·м/с] или [Н·с] — векторная физическая величина, характеризующая интенсивность направленного движения тела	$\vec{p} = m\vec{\upsilon}$ при $F = f(t)$ $p_x = \int F dt$ ▸ Импульс тела определяют как произведение массы тела и его скорости • Направление вектора импульса совпадает с направлением скорости тела
⑬ **Импульс силы,** $F\Delta t$ [Н·с] или [кг·м/с] — векторная физическая величина, характеризующая механическое действие одного тела на другое	$\vec{F}\,\Delta t = m\Delta\vec{\upsilon} = \Delta\vec{p}$ ▸ Импульс силы равен произведению силы на время ее действия • Импульс силы определяют как изменение импульса тела постоянной массы в результате изменения скорости, обусловленной действием силы • Формула справедлива только в случае, когда сила постоянна в течение времени Δt
Работа, энергия, мощность	
⑭ **Работа,** A [Дж] — физическая величина, характеризующая действие силы по конечному перемещению тела	 $A = FS\cos\alpha$ • Величина силы должна оставаться постоянной во время перемещения $A = \int F ds = \int N dt$ • Величина силы (или мощности) изменяется во время перемещения (например, растяжение пружины) $A = \Delta E_к = -\Delta E_п$ ▸ Работа равнодействующей силы, приложенной к телу, равна изменению кинетической энергии тела и изменению потенциальной энергии с обратным знаком

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑮ Коэффициент полезного действия (КПД), η [%] — характеристика эффективности превращения энергии в работу	▸ КПД определяют: 1) как отношение полезной работы к затраченной работе $\eta = \frac{A_{пол}}{A_{затр}} 100\%$ 2) как отношение полезной (эффективной) мощности к подводимой мощности $\eta = \frac{N_{пол}}{N_{под}} 100\%$ • КПД по мощности и КПД по работе совпадают только в случае, когда время подвода и время выделения энергии одинаково
⑯ Механическая энергия, E [Дж] — энергия механического движения и взаимодействия тел системы, способность тела совершать работу	$E = E_к + E_п$ ▸ Механическая энергия системы равна сумме кинетической и потенциальной энергии этой системы • Механическая энергия — одна из возможных форм универсальной физической величины — *энергии*
⑰ Потенциальная энергия, $E_п$ [Дж] — энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и характером сил взаимодействия между ними	$E_п = mgh$  $E_п = \frac{kx^2}{2}$ 
⑱ Кинетическая энергия, $E_к$ [Дж] — энергия механического движения тела	 $E_к = \frac{mv^2}{2}$
⑲ Мощность, N [Вт] — физическая величина, характеризующая скорость совершения работы	***Прямолинейное равномерное движение*** $N = \frac{A}{t}$ $N = \frac{FS}{t}$ $N = Fv$ ▸ Мощность равна отношению произведенной работы ко времени ее выполнения ▸ Мощность равна произведению силы, приложенной к телу, и скорости, с которой движется это тело
⑳ Средняя мощность, N [Вт] — отношение произведенной работы ко времени ее выполнения	 $N_{ср} = \frac{A}{t_2 - t_1}$
㉑ Мгновенная мощность, N [Вт] — средняя мощность за бесконечно малый промежуток времени	 $N = \frac{dA}{dt} = A'$

5. Динамика вращательного движения

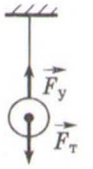
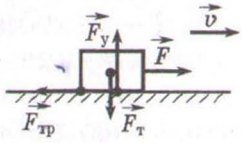
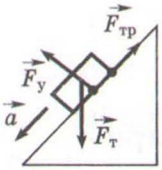
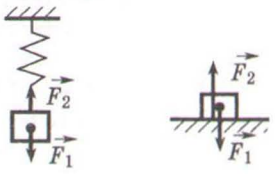
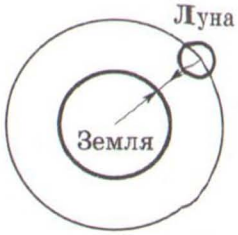
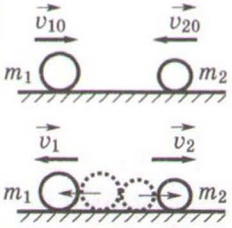
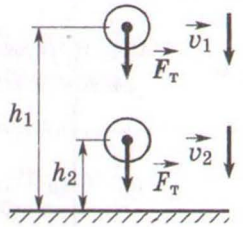
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Силы, инертность	
❶Центростремительная сила, $F_{цс}$ [Н] — сила, сообщающая телу нормальное (центростремительное) ускорение **❷Центробежная сила,** $F_{цб}$ [Н] — сила инерции, противодействующая изменению состояния движения, направлена от центра вращения	 $F_{цс} = \frac{m\upsilon^2}{r}$ $F_{цс} = m\omega^2 r$ $F_{цс} = p\omega$ $F_{цс} = -F_{цб}$ • Центростремительная и центробежная силы равны по величине и противоположны по направлению
❸Сила Кориолиса, $F_к$ [Н] — сила, сообщающая телу тангенциальное ускорение при его движении по радиусу во вращательной системе	 $F_к = 2m\upsilon\omega$ или в векторной форме: $\vec{F}_к = 2m[\vec{\upsilon}\vec{\omega}]$ **Ускорение Кориолиса:** $a_к = 2\upsilon\omega$
❹Момент силы, M [Н·м] — векторная физическая величина, характеризующая внешнее воздействие на тело, закрепленное на оси вращения	 $d_1 = OA;\ d_2 = OC = OB\sin\alpha$ $M = Fd$ $M = F_2 d_2 - F_1 d_1$ ▸ Момент силы равен произведению модуля силы и кратчайшего расстояния от оси до линии действия силы
❺Момент инерции тела, J [кг·м^2] — физическая величина, характеризующая инертность тела при вращательном движении	 $J = M/\alpha$ $J = \Delta m_1 r_1^2 + \Delta m_2 r_2^2 + \ldots + \Delta m_k r_k^2 = \sum \Delta m_k r_k^2$ ▸ Момент инерции тела равен отношению момента силы к вызываемому им угловому ускорению • Момент инерции тел некоторых видов относительно оси вращения, проходящей через центр масс J_0, табулирован **Момент инерции тела относительно произвольной точки:** $J_A = J_0 + (OA)^2 m$
❻Приведенная масса, $m_{пр}$ [кг] — точечная масса, находящаяся на расстоянии r от оси вращения и создающая такой же момент инерции, что и все тело относительно этой же оси	$m_{пр} = \frac{J}{r^2}$ ▸ Приведенная масса равна отношению момента инерции тела к квадрату расстояния от точки приложения силы до оси вращения

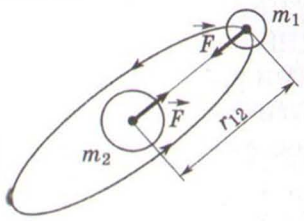
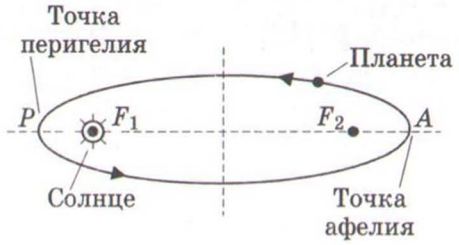
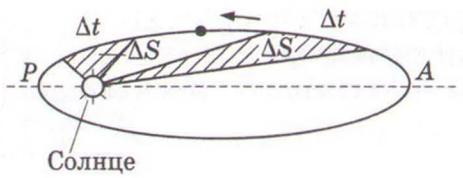
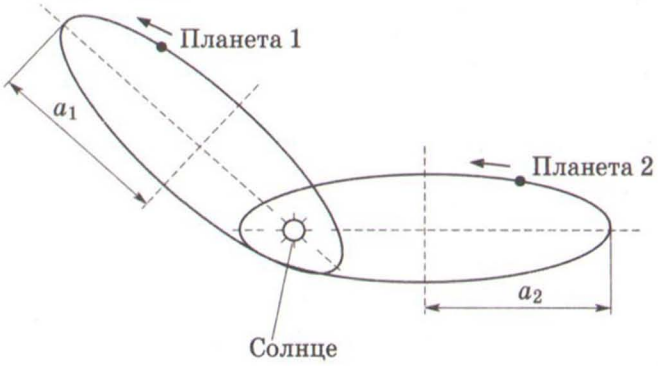
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ Момент импульса (момент количества движения, угловой момент), L [кг·м^2/с] — векторная физическая величина, характеризующая интенсивность вращательного движения	 $\vec{L} = J\vec{\omega} = [\vec{p}\,\vec{r}\,]$ ▸ Момент импульса равен произведению момента инерции тела и его угловой скорости вращения • Направление вектора момента импульса совпадает с направлением вектора угловой скорости
❽ Импульс момента силы (движущий момент), ΔL [кг·м^2/с] — изменение момента импульса	$\Delta\vec{L} = \vec{J}\,\Delta\omega \qquad \Delta\vec{L} = \vec{M}\,\Delta t$ • Формулы справедливы при условии, что момент силы M не меняется в течение времени Δt
Работа, энергия, мощность	
❾ Работа, совершаемая при вращательном движении, A [Дж] — физическая величина, характеризующая количество переданного движения вращающегося тела	$A = M\varphi$ ▸ Работа, совершаемая при вращательном движении, равна произведению момента силы и углового перемещения $A = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} M\,d\varphi$ если момент силы зависит от угла поворота
❿ Мгновенная мощность при вращательном движении, N [Вт] — физическая величина, характеризующая быстроту передачи движения	$N = A' = M\varphi' = M\omega$ ▸ Мгновенная мощность равна произведению мгновенного момента силы и мгновенной угловой скорости
⓫ Энергия вращения, $E_{вр}$ [Дж] — кинетическая энергия, которой обладают элементы вращающегося тела	$E_{вр} = E_1 + E_2 + \ldots + E_n \qquad E = J\omega^2/2$ ▸ Полная энергия тела равна сумме энергий отдельных элементов тела

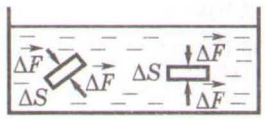
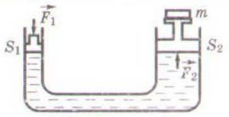
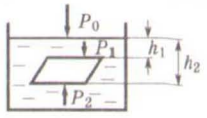
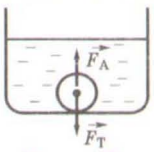
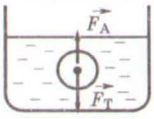
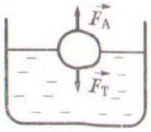
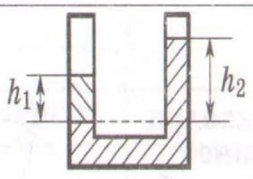
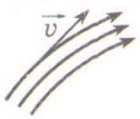
Сравнение величин поступательного и вращательного движений

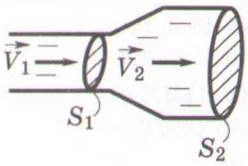
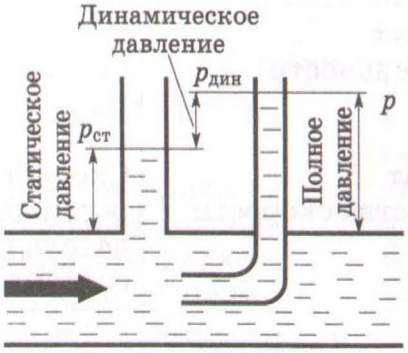
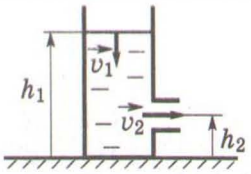
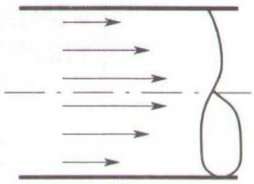
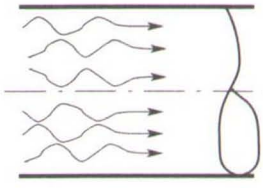
Масса	m	Момент инерции	J
Скорость	$\vec{v}$	Угловая скорость	$\vec{\omega}$
Ускорение	$\vec{a}$	Угловое ускорение	$\vec{\alpha}$
Сила	$\vec{F}$	Момент силы	$\vec{M}$
Импульс	$\vec{p} = m\vec{v}$	Момент импульса	$L = I\vec{\omega}$
Работа	$A = FS$	Работа	$A = M\varphi$
Кинетическая энергия	$\frac{mv^2}{2}$	Кинетическая энергия	$\frac{I\omega^2}{2}$

6. Основные законы механики

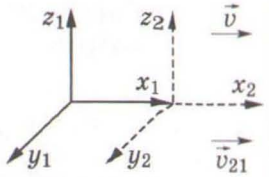
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Динамика поступательного движения	
❶ **Первый закон Ньютона (закон инерции):** существуют такие системы отсчета, относительно которых тело находится в состоянии покоя или движется равномерно пока и поскольку действие на него других тел скомпенсировано или равнодействующая приложенных к телу сил равна нулю	  $\vec{R} = \vec{F}_т + \vec{F}_у = 0$ $\vec{R} = \vec{F} + \vec{F}_т + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_у$ • Если $R = 0$, то тело находится в состоянии покоя или движется равномерно
❷ **Второй закон Ньютона (основной закон динамики):** если равнодействующая приложенных к телу сил не равна нулю, то тело движется с ускорением, величина которого прямо пропорциональна силе и обратно пропорциональна массе этого тела	 $\vec{R} = m\vec{a}$ $\vec{R} = m\vec{q}$ $\vec{a} = \frac{\vec{R}}{m}$; $\vec{a} = \frac{\vec{F}_т}{m} + \frac{\vec{F}_у}{m} + \frac{\vec{F}_{тр}}{m}$
❸ **Третий закон Ньютона:** при взаимодействии двух тел сила противодействия равна силе действия с обратным знаком	$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$   $m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2$
❹ **Закон сохранения импульса:** в замкнутой механической системе суммарный импульс взаимодействующих тел не изменяется	 $\vec{p}_{10} + \vec{p}_{20} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ или $m_1\vec{\upsilon}_{10} + m_2\vec{\upsilon}_{20} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2$
Энергия	
❺ **Закон сохранения энергии:** в замкнутой механической системе полная механическая энергия не изменяется	 $E_{1к} + E_{1п} = E_{2к} + E_{2п}$ $\frac{m\upsilon_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{m\upsilon_2^2}{2} + mgh_2$ • При наличии трения часть энергии из механической формы переходит в тепловую

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Тяготение	
❻ **Закон всемирного тяготения:** между любыми двумя телами действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс этих тел и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними	 $F = G\dfrac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$ G — гравитационная постоянная $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2 • Силы тяготения *всегда* являются силами притяжения (в отличие от кулоновских) и направлены вдоль прямой, проходящей через центры масс взаимодействующих тел
❼ **Первый закон Кеплера:** каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце	 • F_1 и F_2 — фокусы эллипса **Перигелий** и **афелий** — соответственно ближайшая и наиболее удаленная от Солнца точки орбиты вращающегося вокруг него небесного тела
❽ **Второй закон Кеплера:** отрезок, соединяющий Солнце с планетой, заметает за равные интервалы времени равные площади	 $\dfrac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}$
❾ **Третий закон Кеплера:** квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит	 $\dfrac{T_1^2}{T_2^2} = \dfrac{a_1^3}{a_2^3}$

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Сила и давление в жидкостях и газах	
❶ **Газ** — агрегатное состояние вещества, в котором частицы слабо связаны между собой силами взаимодействия, движутся хаотично и заполняют весь предоставленный им объем ❷ **Жидкость** — агрегатное состояние вещества, состоящее из слабо связанных друг с другом частиц и сохраняющих в то же время расстояние между собой постоянным, что обеспечивает изменчивость формы и постоянство объема	• В ряде явлений механики жидкости и газы характеризуются *одинаковыми параметрами* и их поведение определяется *идентичными уравнениями*. Поэтому часто (в том числе и здесь) ***при описании физических явлений, пользуясь термином «жидкость», имеют в виду не только собственно жидкость, но и газ***
❸ **Давление**, p [Па] — векторная физическая величина, характеризующая интенсивность воздействия силы на поверхность тела	 ▸ Давление равно отношению модуля силы, действующей парпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности
❹ **Закон Паскаля:** давление, производимое на жидкость внешними силами, передается ею одинаково по всем направлениям	 $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$  $p_1 = p_0 + \rho g h_1$ $p_2 = p_0 + \rho g h_2 = p_1 + \rho g (h_1 - h_2)$
❺ **Закон Архимеда:** на всякое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила (F_A), направленная вверх и равная силе тяжести вытесненной им жидкости	$F_A = \rho g V$ **Тело тонет**  $F_A < F_T$ **Тело всплывает**  $F_A > F_T$ **Тело плавает**  $F_A = F_T$
❻ **Закон сообщающихся сосудов:** высоты столбов разнородных жидкостей h_1, h_2 обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей ρ_1, ρ_2	 $\rho_1 > \rho_2$ $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ $h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2$
❼ **Поток** — пространство, заполненное частицами движущейся жидкости ❽ **Стационарное течение** — течение жидкости, при котором форма и расположение линий тока, а также значение скоростей в каждой ее точке со временем не изменяются	 • Для определения направления скоростей частиц в потоке используют *линии тока*. Густота линий характеризует скорость течения жидкости. По линиям тока можно судить о направлении и модуле скорости в разных точках потока, т. е. о состоянии движения жидкости

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑨ Закон постоянства потока — при стационарном течении жидкости в трубах через любое сечение проходит одинаковое количество жидкости за одинаковые интервалы времени	 $Q = \rho S_1 \upsilon_1 = \rho S_2 \upsilon_2$ $S_1 \upsilon_1 = S_2 \upsilon_2$ $Q = m/t = \text{const}$ Q [м^3/с] — объемный расход жидкости
⑩ Статическое давление в потоке, $p_{ст}$ [Па] — давление, обусловленное потенциальной энергией жидкости, находящейся под давлением столба жидкости **⑪ Динамическое давление в потоке,** $p_{дин}$ [Па] — давление, обусловленное кинетической энергией движущейся жидкости **⑫ Полное давление в потоке,** p [Па] — давление, складывающееся из статического и динамического давления	 • В покоящейся жидкости динамическое давление равно нулю, а полное давление равно статическому $p_{ст} = \rho g h \quad p_{дин} = \frac{\rho \upsilon^2}{2}$ • При увеличении скорости потока динамическое давление возрастает, а статическое уменьшается $p = p_{ст} + p_{дин}$
⑬ Закон Бернулли: в стационарном потоке сумма статического и динамического давлений остается постоянной	 $p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho \upsilon_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho \upsilon_2^2}{2};$ Если $p_1 = p_2$, $\upsilon_1 << \upsilon_2$; $\upsilon_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$
⑭ Ламинарное (слоистое) течение — упорядочное течение, характеризующееся отсутствием перемешивания между соседними слоями **⑮ Турбулентное (вихревое) течение** — неупорядоченное, хаотическое течение, характеризующееся интенсивным перемешиванием, теплообменом, большими значениями коэффициента трения	**Ламинарное течение**  **Турбулентное течение**  $F_{тр} = \eta \upsilon_{12} S / a$ $F_{сопр} = \frac{S c \rho \upsilon^2}{2}$ • Турбулентное течение возникает в результате потери устойчивости ламинарного течения

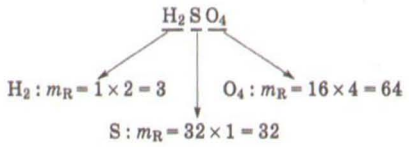
8. Элементы релятивистской механики

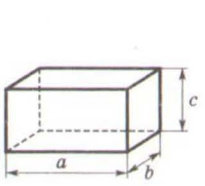
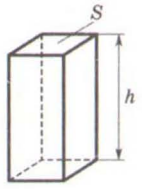
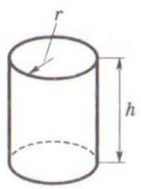
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Релятивистская механика** — совокупность законов движения тел, движущихся со скоростями, сравнимыми со скоростью распространения света в вакууме	• Релятивистская механика основана на *специальной теории относительности*, разработанной Эйнштейном • Все формулы релятивистской механики совпадают с формулами классической механики, если $\upsilon << c$ ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с)
Постулаты теории относительности (постулаты Эйнштейна)	
❷ **Первый постулат** (принцип относительности)	Все законы природы инвариантны (неизменны) по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой
❸ **Второй постулат** (принцип постоянства скорости света)	Скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета
Движение в инерциальных системах	
❹ **Преобразование Галилея** связывает движение в двух инерциальных системах, движущихся с малой относительной скоростью ($\upsilon << c$) ❺ **Преобразование Лоренца** связывает движение в двух инерциальных системах, движущихся с очень большой относительной скоростью ($\upsilon \to c$)	$\upsilon_1, \upsilon_{x1}, S_1, a_1, x_1, \Delta t_1$ — параметры движения системы «1» $\upsilon_2, \upsilon_{x2}, S_2, a_2, x_2, \Delta t_2$ — параметры движения системы «2» $\upsilon_{21}, \upsilon_{x21}, S_{21}, a_{21}$ — параметры движения системы «2» относительно системы «1» • Длина L, интервал времени Δt, и ускорение a остаются неизменными при переходе к инерциальной системе, движущейся со скоростью $\upsilon << c$ • При переходе к инерциальной системе, движущейся со скоростью $\upsilon \to c$ учитывается постоянство скорости света $\Delta t_1 = \Delta t_2$ $\vec{\upsilon}_1 = \vec{\upsilon}_2 + \vec{\upsilon}_{21}$ $\vec{S}_1 = \vec{S}_2 + \vec{S}_{21}$  Для инерциальных систем: $a_{x1} = a_{x2}$ • Ускорения в обоих системах одинаковы, т.к. $\upsilon = \text{const}$ $x_1 = \dfrac{x_2 + \upsilon_{21} t_2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ $t_1 = \dfrac{t_2 + \dfrac{\beta x_2}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}}$ $\upsilon_{x1} = \dfrac{\upsilon_{x2} + \upsilon_{x21}}{1 + \dfrac{\upsilon_{x2}\upsilon_{x21}}{c^2}}$ $\beta = \dfrac{\upsilon}{c}$ • При $\upsilon << c$ уравнения переходят в классическое преобразование Галилея

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины	
Следствия теории относительности		
❻ **Замедление времени** в «движущейся» системе для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе ($\upsilon \to c$)	$\Delta\tau = \dfrac{\Delta\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \geq \Delta\tau_0$ $\Delta\tau_0$ и $\Delta\tau$ — интервал времени в «неподвижной» и «движущейся» системах, соответственно	• Временной интервал между двумя событиями в «движущейся» системе отсчета *больше* для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе (парадокс часов)
❼ **Сокращение длины** в «движущейся» системе для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе ($\upsilon \to c$)	$L = L_0\sqrt{1-\beta^2} \leq L_0$ L_0 и L — длина отрезка в «неподвижной» и «движущейся» системах, соответственно	• Длина отрезка в «движущейся» системе отсчета имеет *меньшую величину в направлении движения* для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе. Размеры в перпендикулярном направлении остаются неизменными (тело «сплющивается»)
❽ **Увеличение массы** в «движущейся» системе для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе ($\upsilon \to c$)	$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ m_0 и m — масса тела в «неподвижной» и «движущейся» системах, соответственно	• Масса тела в «движущейся» системе отсчета *больше* для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе
❾ **Увеличение импульса** в «движущейся» системе для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе ($\upsilon \to c$)	$\vec{p} = \dfrac{p_0\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\beta^2}}$ p_0 и p — импульс тела в «неподвижной» и «движущейся» системах, соответственно	• Импульс тела в «движущейся» системе отсчета *больше* для наблюдателя, находящегося в «неподвижной» системе
❿ **Эквивалентность массы и энергии**	$E = E_0 + E_k, \quad E = mc^2$ $E_0 = m_0c^2 \qquad m = \dfrac{E}{c^2}$ Массе покоя m_0 соответствует энергия покоя E_0	• Каждой массе (или изменению массы) соответствует определенная энергия (изменение энергии)

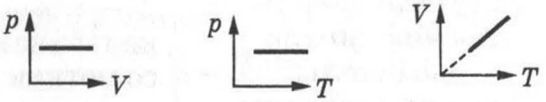
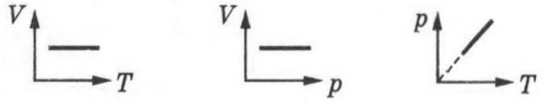
II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

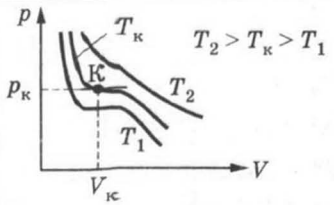
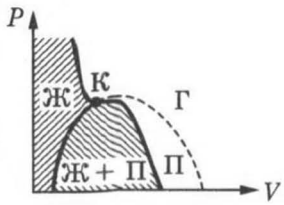
9. Общие понятия

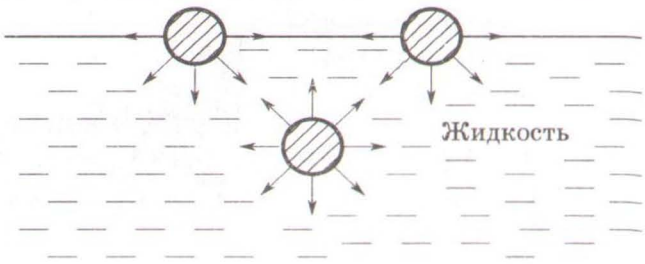
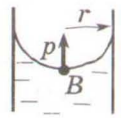
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Дискретные элементы, образующие вещество	
❶ **Атом** — нейтральная частица, структурный элемент молекул	• Размеры атомов 10^{-10} м • Например, молекула воды (H_2O) состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода • Размеры молекул $10^{-10}...10^{-7}$м
❷ **Молекула** — нейтральная, мельчайшая устойчивая частица вещества	
Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ)	
❸ Все тела состоят из частиц (атомов, молекул, ионов и др.)	Пример: следы мела на доске, водяной пар
❹ Частицы хаотически движутся	Пример: броуновское движение, диффузия
❺ Частицы взаимодействуют друг с другом	Следствие взаимодействия: сжатие, растяжение, прилипание, сохранение формы тел
❻ **Масса молекулы**, m_0 [кг]	$m_0 = m/N = \mu/N_A$ Например, масса молекулы H_2O: $m_0 \approx 2{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг
❼ **Относительная молекулярная масса**, m_R — масса молекулы, выраженная в атомных единицах массы (а.е.м.)	▸ Молекулярная масса вычисляется как сумма относительных атомных масс атомов, входящих в состав молекулы. Например, относительная молекулярная масса молекулы H_2SO_4: $m_R = 1 \times 2 + 32 \times 1 + 16 \times 4 = 98$  • Относительные атомные массы приведены в периодической системе элементов
❽ **Количество молекул** в данном теле, N	$N = \nu N_A = m/m_0 = nV$ Например, в одном грамме H_2O $3{,}7 \cdot 10^{22}$ молекул
❾ **Количество вещества**, ν [моль] — физическая величина, оценивающая количество структурных элементов в теле или системе тел	$\nu = N/N_A = m/\mu$ ▸ Количество вещества определяют как отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 12 г углерода
❿ **Моль** — единица количества вещества	▸ Моль — количество вещества, в котором содержится столько же структурных элементов (молекул, атомов, ионов), сколько атомов содержится в 12 г углерода • Один моль любого вещества содержит $6{,}023 \cdot 10^{23}$ структурных элементов (N_A) N_A — **постоянная Авогадро**

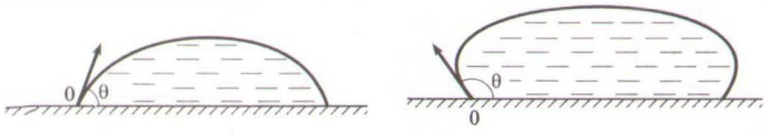
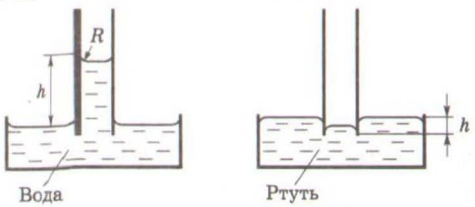
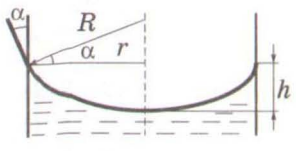
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⓫ **Молярная масса,** μ [кг/моль] — масса одного моля вещества	$\mu = m/\nu = m_0 N_A$ ▸ Молярная масса численно равна молекулярной массе, умноженной на 10^{-3} Например, для H_2SO_4: $\mu = 98 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
⓬ **Концентрация вещества,** n [м$^{-3}$] — число молекул в единице объема	$n = N/V = \rho N_A/\mu$ Например, концентрация воды: $n = 0{,}3 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
⓭ **Плотность вещества,** ρ [кг/м^3] — масса вещества в единице объема	$\rho = m/V = \mu\nu/V = \mu n/N_A$
⓮ **Давление газа,** p [Па] — физическая величина, характеризующая интенсивность воздействия ударов молекул газа на поверхность тела (стенки сосуда)	$p = nkT$ $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К k — **постоянная Больцмана** ▸ В замкнутой системе давление газа пропорционально квадрату средней квадратичной скорости молекул или температуре
⓯ **Объем,** V [м^3] — физическая величина, характеризующая часть пространства занятую телом	 $V = abc$  $V = Sh$  $V = \pi r^2 h$
⓰ **Температура,** T [К] — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы	$T = 5E_{ко} \cdot 10^{22}$ К • Температура характеризует энергию, с которой движутся молекулы газа • Температура всех частей изолированной системы, находящейся в равновесии, одинакова • С ростом температуры вещество из твердого переходит в жидкое, а затем в газообразное состояние
⓱ **Температурные шкалы (шкала Кельвина, шкала Цельсия)** — две шкалы, допустимые к применению в науке и технике	T — температура в кельвинах (К) или абсолютная температура; t — температура в градусах Цельсия (°С) $T_0 = 273{,}15$ К — нулевая точка по шкале Цельсия (точка замерзания воды) $t = T - T_0$ $\quad T = t + T_0$
⓲ **Средняя квадратичная скорость молекул** $\overline{\upsilon}$	$\overline{\upsilon} = \sqrt{\dfrac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N}}$ • Средняя квадратичная скорость вводится для случая, когда газ в объеме V содержит N молекул, движущихся со скоростями $\upsilon_1, \upsilon_2, \upsilon_3, \ldots, \upsilon_N$

10. Свойства газов

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Идеальный газ** — теоретическая модель реального газа, в соответствии с которой между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия	• На практике свойства многих газов (например, кислород и гелий) в нормальных условиях близки к свойствам идеального газа • Свойства всех газов при низких давлениях и высокой температуре близки к свойствам идеального газа
❷ **Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа**	$p = \frac{F}{S} = \frac{F_0 N}{S} = \frac{1}{3} n \grave{m}_0 \upsilon^2 = \frac{2}{3} n E_{k0}$ ▸ Давление идеального газа пропорционально концентрации молекул и средней кинетической энергии их поступательного движения
❸ **Уравнение Менделеева-Клапейрона**	$pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT$ $R = 8{,}31$ Дж/(К·моль) R — **молярная газовая постоянная** • Уравнение Менделеева-Клапейрона устанавливает взаимосвязь между давлением p, объемом V и температурой T произвольной массы газа m
❹ **Уравнение Клапейрона**	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$ • Уравнение Клапейрона устанавливает взаимосвязь между давлением p, объемом V и температурой T данной массы газа m
❺ **Закон Бойля-Мариотта:** для газа данной массы при неизменной температуре ($T = \text{const}$) произведение давления на его объем постоянно	$p_1 V_1 = p_2 V_2$ ▸ Процесс, протекающий при постоянной температуре, называют изотермическим
❻ **Закон Гей-Люссака:** для газа данной массы при неизменном давлении ($p = \text{const}$) отношение объема к температуре постоянно	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  ▸ Процесс, протекающий при постоянном давлении, называют изобарическим
❼ **Закон Шарля:** для газа данной массы при неизменном объеме ($V = \text{const}$) отношение давления к температуре постоянно	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$  ▸ Процесс, протекающий при постоянном объеме, называют изохорическим

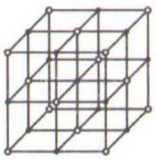
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❽ **Адиабатический процесс** — процесс, при котором в изолированной системе отсутствует теплообмен с окружающей средой	• Полная изоляция на практике неосуществима. Это условие выполняется приближенно для быстропротекающих процессов. (Примеры: сжатие и расширение воздуха в звуковой волне; сжатие горючей смеси в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания)
❾ **Изотермы реального газа** — изотермы, учитывающие собственный объем и притяжение молекул	 *Критическая изотерма* — изотерма, имеющая одну точку перегиба *Критическая точка* — точка перегиба К на критической изотерме *Критическая температура* — температура $T_к$, соответствующая критической изотерме *Критические объем и давление* — объем $V_к$ и давление $p_к$, соответствующие критической точке К *Критическое состояние* — состояние с критическими параметрами ($p_к$, $V_к$, $T_к$) • При $T > T_к$ свойства газа соответствуют свойствам идеального газа, при $T < T_к$ — реального газа
❿ **Пар** — газообразное состояние вещества при температурах ниже критической ⓫ **Насыщенный пар** — пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью того же состава	 Ж — жидкость Г — газ П — пар К — критическая температура $p = nkT$
⓬ **Точка росы,** $t_р$ [°C] — температура, при которой пар, находящийся в объеме становится насыщенным	• Точка росы — одна из основных характеристик *влажности воздуха* • Точку росы можно измерить *конденсационным гигрометром*
⓭ **Относительная влажность,** φ — физическая величина, характеризующая насыщенность воздуха водяными парами	$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%$ φ = 40...50% — воздух сухой, φ = 80...90% — воздух влажный ▸ Относительной влажностью воздуха называют отношение давления p водяного пара, содержащегося в воздухе (парциальное давление), к давлению p_0 насыщенного водяного пара при той же температуре
⓮ **Абсолютная влажность,** f [г/м^3] — физическая величина, характеризующая количество водяного пара, содержащегося в воздухе	$f = \frac{m}{V}$ ▸ Абсолютную влажность определяют как отношение массы водяного пара к объему, в котором он содержится
⓯ **Парциальное давление,** p [Па] — давление газа, входящего в состав газовой смеси, которое он оказывал бы, занимая один весь объем смеси при той же температуре	• В соответствии с законом Дальтона *давление смеси газов равно сумме давлений парциальных газов, составляющих смесь*

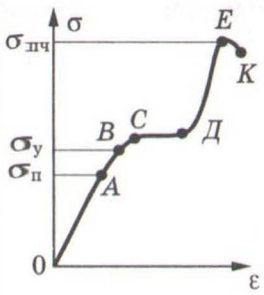
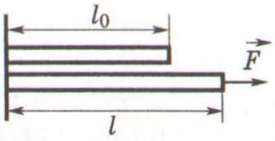
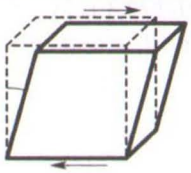
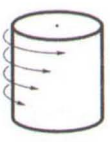
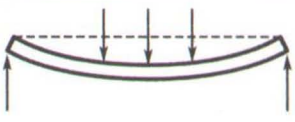
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Поверхностное натяжение	
❶ Межмолекулярные силы — силы взаимодействия молекул, удерживающие их на определенном расстоянии друг от друга	 • Межмолекулярные силы представляют собой равнодействующую сил отталкивания и притяжения, компенсирующих друг друга при равновесном расстоянии друг от друга • Радиус действия межмолекулярных сил не превышает 10 нм
❷ Поверхностное натяжение (коэффициент поверхностного натяжения), σ [Н/м] или [Дж/м^2] — физическая величина, характеризующая силы притяжения между приповерхностными молекулами жидкости	 $\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}$ • На молекулы, находящиеся вблизи поверхности, действует нескомпенсированная результирующая сила притяжения, направленная внутрь жидкости от ее поверхности ▸ Поверхностным натяжением называют отношение работы, требующейся для увеличения площади поверхности, к величине этого приращения площади
❸ Дополнительное давление на жидкость при сферической поверхности	 $p_A = \frac{2\sigma}{r}$  $p_B = \frac{2\sigma}{r}$ **Мыльный пузырек** $p = \frac{4\sigma}{r}$

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Смачивание	
4 Смачивание — явление искривления поверхности жидкости при ее соприкосновении с поверхностью твердого тела	 **Краевой угол** θ — угол между касательными к поверхности жидкости и твердого тела *Смачивающая жидкость* — $0 < \theta < \pi/2$ *Полное смачивание* — $\theta = 0$ *Несмачивающая жидкость* — $\pi/2 < \theta < \pi$ *Полное несмачивание* — $\theta = \pi$ • Смачивание и несмачивание — понятия относительные, зависят от соотношения плотностей жидкости и твердого тела: одна и та же жидкость смачивает одну поверхность и не смачивает другую (например, ртуть смачивает чистые поверхности металлов и не смачивает стекло)
Капиллярные явления	
5 Капиллярность — явление изменения высоты уровня жидкости в капиллярах	$\rho_ж < \rho_{ст}$ $\rho_ж > \rho_{ст}$  **Капилляры** — узкие цилиндрические трубки **Мениск** — поверхность жидкости внутри капилляра • Причина кривизны поверхности жидкости — смачиваемость (или несмачиваемость) жидкостью стенок капилляра • Мениск имеет вогнутую форму, если жидкость смачивает материал трубки ($\rho_ж < \rho_{ст}$), и выпуклую — если не смачивает ($\rho_ж > \rho_{ст}$)
6 Поднятие (опускание) жидкости в капилляре	 $h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$ $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}\cos\alpha$ • На границе вода — стекло $\angle\alpha$ близок к 0°, а на границе ртуть — стекло $\angle\alpha \approx 140°$

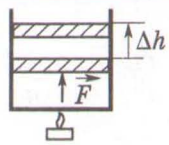
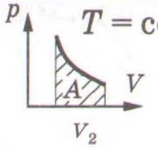
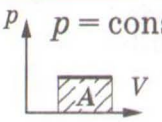
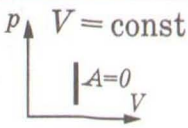
Вещество	Плотность, ρ [кг/м³]
Стекло	$2{,}4...3{,}0 \cdot 10^3$
Ртуть	$13{,}5 \cdot 10^3$
Вода	$1{,}0 \cdot 10^3$

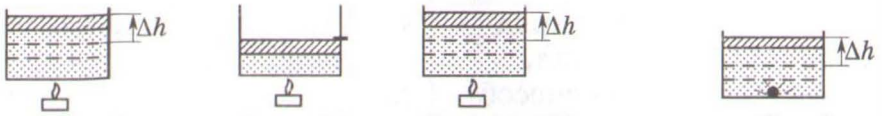
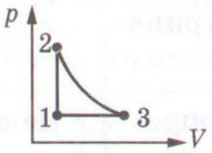
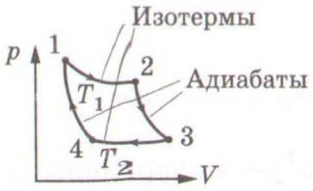
12. Свойства твердых тел

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Кристаллические и аморфные тела	
❶ **Аморфное тело** — твердое тело, молекулы которого не имеют упорядочной структуры по отношению друг к другу	• Физические свойства аморфного тела одинаковы по всем направлениям, т.е. свойства аморфных тел *изотропны* • Примеры аморфных тел: стекло, парафин, мыло
❷ **Кристаллическое тело (кристалл)** — твердое тело, атомы и молекулы которого образуют периодически повторяющуюся структуру	*Структура кристалла NaCl*  • Физические свойства кристалла зависят от направления, т.е. свойства кристаллов *анизотропны*
❸ **Кристаллическая решетка** — расположение атомов (ионов, молекул), характеризующееся периодической повторяемостью в пространстве ❹ **Узлы кристаллической решетки** — места расположения атомов (ионов, молекул) в кристаллической решетке	**Классификация кристаллов** 1. *Ионные* кристаллы. В узлах решетки поочередно располагаются ионы противоположных знаков. *Ионная* связь обусловлена кулоновскими силами (NaCl, KF). 2. *Атомные* кристаллы. В узлах решетки располагаются нейтральные атомы, удерживающиеся *ковалентными* связями (Ge, Si, Sn, C). 3. *Металлические* кристаллы. В узлах решетки располагаются положительные ионы металла. Электроны отделяются от атомов и принадлежат всему кристаллу в целом (металлы). 4. *Молекулярные* кристаллы. В узлах решетки располагаются нейтральные молекулы. Силы взаимодействия обусловлены взаимным смещением электронов в оболочках атомов (лед, нафталин).
Механические свойства и деформация твердых тел	
❺ **Хрупкость** — свойство твердых тел разрушаться при механических воздействиях без заметной пластической деформации	• Хрупкость — свойство, противоположное пластичности • Хрупкость, проявляющая себя при ударных нагрузках, называется *ударной* • Хрупкость, проявляющая себя только при низких температурах, называется *хладноломкостью*
❻ **Пластичность** — свойство твердых тел необратимо деформироваться под действием механических нагрузок	• Пластическая деформация связана с разрывом некоторых механических связей и образованием новых
❼ **Прочность** — свойство твердых тел в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать нагрузки	• Критерием прочности для различных случаев являются: *предел пропорциональности*, *предел текучести*, *предел ползучести* и др. (см. растяжение-сжатие)
❽ **Твердость** — свойство твердых тел сопротивляться локальной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела	• В большинстве случаев твердость определяется по размерам оставшегося на поверхности отпечатка • При определении твердости минералов чаще всего пользуются *методом царапания* (шкала Мооса)

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❾ **Деформация** — изменение формы и объема твердого тела под действием приложенных к нему внешних сил	• Деформацию называют *упругой*, а тело — *абсолютно упругим*, если форма и объем тела полностью восстанавливаются после прекращения действия силы • Деформацию называют *пластической*, а тело — *пластичным*, если деформация не исчезает после прекращения действия силы • Виды деформаций: *растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб*
❿ **Механическое напряжение**, σ [Па] — физическая величина, характеризующая внутренние силы, возникающие в теле под влиянием внешних воздействий	$$\sigma = \frac{F}{S}$$ ▸ Механическое напряжение равно отношению модуля силы упругости к площади поперечного сечения тела
⓫ **Растяжение-сжатие** — увеличение (уменьшение) длины тела под влиянием внешних сил, направленных перпендикулярно сечению тела и обусловленное увеличением (уменьшением) расстояния между молекулами тела	$\sigma = \varepsilon E$, E — модуль Юнга (модуль упругости)  0A — упругая деформация AB, BC — остаточная деформация СД — текучесть материала К — точка разрыва $\sigma_п$ — предел пропорциональности $\sigma_у$ — предел упругости $\sigma_{пч}$ — предел прочности  **Абсолютное удлинение** $\Delta l = l - l_0$ **Относительное удлинение** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$
⓬ **Сдвиг** — деформация тела, вызываемая касательными механическими напряжениями	 • При сдвиге происходит взаимное смещение параллельных слоев материала с сохранением расстояния между ними
⓭ **Кручение** — деформация тела (обычно круглого сечения), происходящая при повороте одного из его концов относительно другого	 • Отдельные слои тела, перпендикулярные оси поворота, при кручении остаются параллельными, но поворачиваются друг относительно друга на некоторый угол
⓮ **Изгиб** — искривление оси или срединной части тела (балки, плиты) под действием внешних сил	 • Изгиб обусловлен изменением взаимного расположения составляющих твердое тело частиц

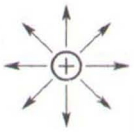
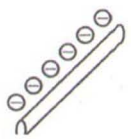
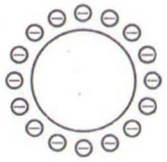
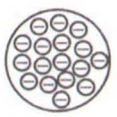
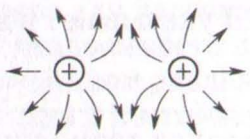
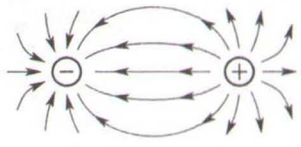
13. Теплота, энергия и законы термодинамики

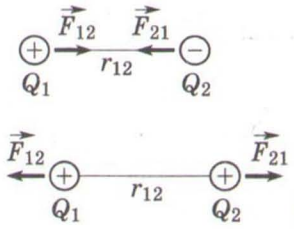
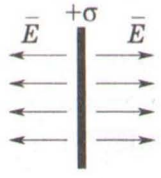
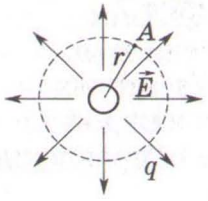
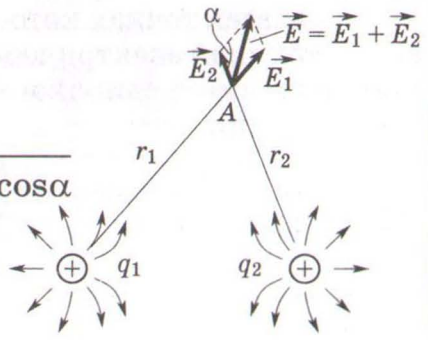
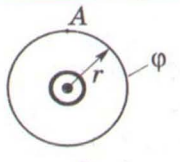
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Теплота и энергия	
❶ Внутренняя энергия тела, U [Дж] — суммарная энергия молекул	*Внутренняя энергия идеального газа* $U_0 = W_к$ $U_0 = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{i}{2}NkT$ $W_к$ [Дж] — энергия хаотического движения молекул *Внутренняя энергия реального газа* $U = U_0 + W_п + W_{вр}$ $W_п$ [Дж] — энергия взаимодействия молекул $W_{вр}$ [Дж] — энергия вращения молекулы • Следует иметь ввиду, что *внутренняя энергия тела*, *работа* и *количество теплоты* в действительности являются одной и той же физической величиной — *энергией*
❷ Число степеней свободы, i — число независимых координат, однозначно задающих состояние движения молекулы	$i = 3$ для одноатомных молекул, $i = 5$ для двухатомных молекул, $i = 6$ для молекул, состоящих из трех и более атомов • Внутренняя энергия зависит от параметров состояния (p, V, T) и не зависит от способа достижения этого состояния • Каждому термодинамическому состоянию системы соответствует определенное значение внутренней энергии
❸ Работа, совершаемая газом при расширении, A [Дж]	 $A = F\Delta h$  $A = \int_{V_1} pdV$  $A = p\Delta V = \nu R\Delta T$  $A = 0$
❹ Количество теплоты, Q [Дж] — физическая величина, характеризующая изменение внутренней энергии при теплообмене	$Q = mc\Delta T$ $\quad$ $Q = C\Delta T$ ▸ Количество теплоты нагреваемого тела пропорционально его массе и изменению температуры $Q = m\lambda$ (λ [Дж/кг] — удельная теплота плавления) $Q = mL$ (L [Дж/кг] — удельная теплота парообразования) $Q = mq$ (q [Дж/кг] — удельная теплота сгорания топлива) λ, L, q — табулированы ▸ **Удельная теплота процесса** — количество теплоты, затраченное на изменение внутренней энергии тела, отнесенное к его массе
❺ Удельная теплоемкость, c [Дж/(К·кг)] — физическая величина, характеризующая способность материала накапливать тепло	▸ Удельной теплоемкостью называют количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К. • Различают теплоемкости при постоянном объеме (c_V и C_V) и постоянном давлении (c_P и C_P), если в процессе нагревания V или p постоянны c, c_V, c_P — табулированы
❻ Теплоемкость, C [Дж/К] — физическая величина, характеризующая тепловые свойства тел	$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ $\quad$ $C = cm$ ▸ Теплоемкость определяют как отношение количества теплоты, полученного телом, к произошедшему изменению температуры

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Законы термодинамики	
❼ **1-й закон термодинамики** — тепловая энергия, подведенная к замкнутой системе, расходуется на повышение ее внутренней энергии и совершение работы против внешних сил	$Q = A + \Delta U$  $Q = A$, $T = \text{const}$ — $Q = \Delta U$, $V = \text{const}$ — $Q = A + \Delta U$, $p = \text{const}$ — $Q = 0$, $A = -\Delta U$
❽ **Круговой процесс (цикл)** — совокупность процессов, в результате которых система приходит в исходное состояние	 Изохорическое нагревание $Q_{12} = \frac{i}{2}\nu R(T_2 - T_1)$ Изотермическое расширение $Q_{23} = \int p dV$ Изобарическое сжатие $Q_{31} = p_3(V_1 - V_3) + \frac{1}{2}\nu R(T_1 - T_3)$ $Q_н = Q_{12} + Q_{23}$ $\quad Q_х = Q_{31}$
❾ **Цикл Карно** — наиболее экономичный обратимый круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат	 1 - 2 — изотермическое расширение 2 - 3 — адиабатическое расширение 3 - 4 — изотермическое сжатие 4 - 1 — адиабатическое сжатие
❿ **Коэффициент полезного действия (КПД)**, η — характеристика кругового процесса, показывающая какая часть теплоты системы превращается в механическую работу	$\eta = \frac{A}{Q_н} = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н} = 1 - \frac{Q_х}{Q_н} \cdot 100\%$ $\quad \eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\%$ ▸ Коэффициент полезного действия определяют как отношение работы, совершенной двигателем за один цикл, к количеству теплоты, полученной от нагревателя • КПД указывают в долях или процентах
⓫ **2-й закон термодинамики:** тепловые процессы необратимы, т.е. не могут протекать самопроизвольно в обратном направлении	• 2-й закон термодинамики показывает направление энергетических преобразований — работу можно полностью «перевести» в тепло (например, трением), а тепло полностью превратить в работу невозможно

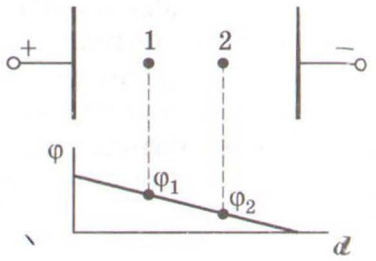
III. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

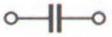
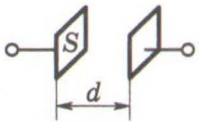
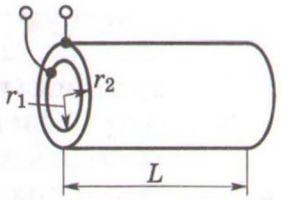
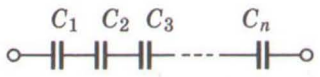
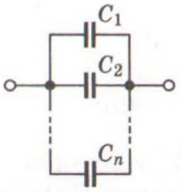
14. Электрическое поле

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Электрические заряды и их свойства	
❶ **Электрический заряд** — физическая величина, характеризующая способность элементарных частиц и тел к элетромагнитному взаимодействию	• В окрестностях зарядов существует электрическое поле, графически изображаемое *линиями напряженности* (силовыми линиями) • Силовые линии имеют начало и конец
❷ Существует два вида зарядов, условно называемых положительными и отрицательными	$-q$ — отрицательный заряд $+q$ — положительный заряд 
❸ Величина зарядов определяет интенсивность их взаимодействий (см. **Закон Кулона**)	• Величина заряда (количество электричества) измеряется в кулонах (Кл)
❹ Существуют минимальные заряды обоих знаков (протон и электрон)	• Электрон: $m_e = 9{,}1095 \cdot 10^{-31}$ кг; $q_e = -1{,}6726^{-19}$ Кл • Протон: $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ кг; $q_p = +1{,}6726^{-19}$ Кл
❺ Заряды дискретны, т.е. кратны заряду электрона или протона. Для макроскопического тела электрический заряд равен алгебраической сумме электрических зарядов всех частиц тела	$q = Nq_e$ • Заряды могут располагаться: *на протяженных телах* $q = \tau L$ τ [Кл/м] — линейная плотность зарядов  *на поверхности тел* $q = \sigma S$ σ [Кл/м^2] — поверхностная плотность зарядов  *в объеме тел* $q = \rho V$ ρ [Кл/м^3] — объемная плотность зарядов 
❻ Заряды одного знака отталкиваются, противоположных знаков притягиваются	 
❼ **Закон сохранения зарядов** — в замкнутой системе суммарный заряд взаимодействующих тел не изменяется	$\sum_{i=1}^{n} q_i = \text{const}$ **Замкнутая система** — система, не обменивающаяся зарядами с внешними телами

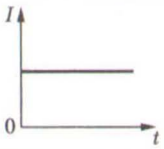
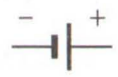
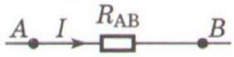
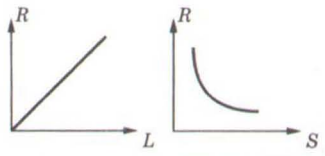
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❽ **Закон Кулона:** Сила электрического взаимодействия двух заряженных тел прямо пропорциональна зарядам этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними	$F_{12} = F_{21} = k \cdot \frac{\lvert q_1 \rvert \lvert q_2 \rvert}{r_{12}^2}$ $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_a} = \frac{9 \cdot 10^9}{\varepsilon} \cdot \frac{\Phi}{м}$ $\varepsilon_a = \varepsilon\varepsilon_0$ $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\Phi}{м}$  ε_a — абсолютная диэлектрическая проницаемость ε — относительная диэлектрическая проницаемость ε_0 — электрическая постоянная
Свойства электростатического поля	
❾ **Электрическое поле** — особый вид материи, проявляющий себя через силовое воздействие на заряженные тела	• Электрическое поле существует в окрестностях электрически заряженных тел, а также возникает при движении заряженных частиц (например, вокруг провода с током)
❿ **Электростатическое поле** — стационарное электрическое поле, созданное неподвижными заряженными телами или частицами	• Электростатическое поле характеризуется двумя величинами: *напряженностью* и *потенциалом* • Для наглядности электростатическое поле изображают *линиями напряженности* (*силовыми линиями*) и *эквипотенциальными поверхностями*
⓫ **Напряженность электростатического поля,** $\vec{E}$ [В/м] — векторная физическая величина, характеризующая силовое действие электрического поля на электрически заряженные тела	▸ Напряженность определяется силой, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку поля $\vec{E} = \vec{F}/q$ $E = \sigma/2\varepsilon_a$  $E_A = kq/r_A^2$ 
⓬ **Принцип наложения (суперпозиции) электрических полей** — напряженность поля, создаваемого системой зарядов, равна *геометрической сумме* напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности	$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$ $E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2\cos\alpha}$ $\varphi_A = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$ 
⓭ **Потенциал электростатического поля,** φ [В] — физическая величина, энергетическая характеристика электрического поля в данной точке	$\varphi = W_{пот}/q$ Потенциал электростатического поля определяется потенциальной энергией единичного положительного заряда, помещенного в данную точку поля  $\varphi = kq/r_A$

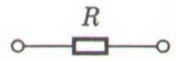
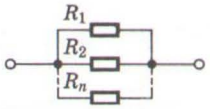
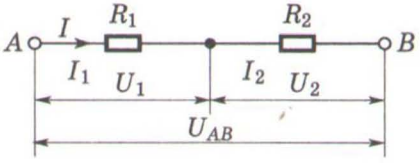
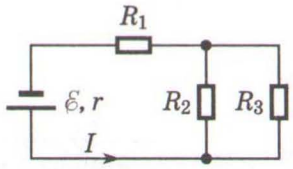
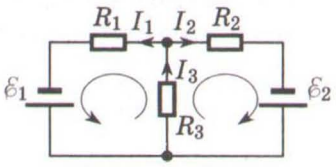
14. Электрическое поле *(продолжение)*

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⓮ **Напряжение,** U [В] — разность потенциалов между двумя точками электростатического поля	$U = A/q$ ▸ Напряжение определяют как отношение работы, совершаемой при перемещении положительного заряда из одной точки электрического поля в другую, к величине переносимого заряда  $U = \varphi_1 - \varphi_2$ • В электростатическом поле напряжение между двумя любыми точками равно разности потенциалов этих точек
⓯ **Работа сил электростатического поля**	$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ ▸ Работу сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки в другую определяют как произведение перемещаемого заряда и разности потенциалов в начальной и конечной точках поля • Работа сил электростатического поля определяется только положениями начальной и конечной точек, т.е. электоростатическое поле *потенциально* • Работа сил в потенциальном поле по замкнутому контуру равна 0
⓰ **Линии напряженности (силовые линии)** — линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора $\vec{E}$ ⓱ **Эквипотенциальная поверхность** — поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения	 • Эквипотенциальные поверхности точечного электрического заряда — *сферы* • Эквипотенциальные поверхности однородного электрического поля — *плоскости*, перпендикулярные линиям напряженности • Совокупность силовых линий и эквипотенциальных поверхностей формирует картину электрического поля
⓲ **Электрическая емкость,** C [Ф] — физическая величина, характеризующая свойство проводника удерживать электрический заряд	Емкость уединенного проводника $C = q/\varphi$ Емкость уединенного шара $C = 4\pi\varepsilon_a R$

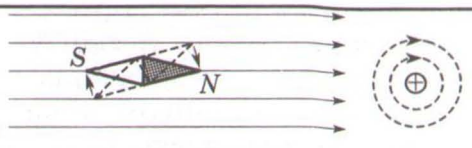
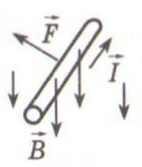
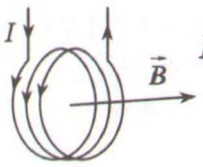
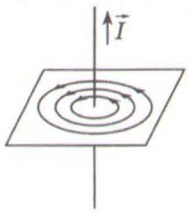
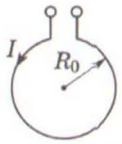
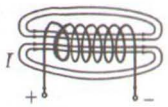
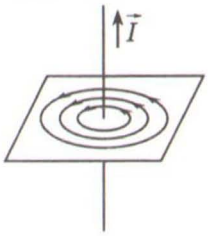
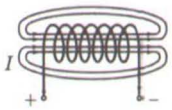
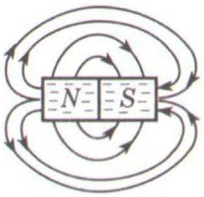
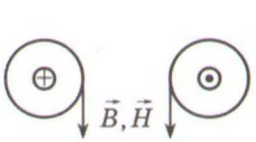
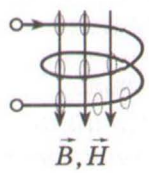
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑲ **Конденсатор** — устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов. Один из основных элементов электронных и электротехнических схем	Графическое изображение конденсатора  $C = \dfrac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$ Емкость конденсатора определяют как отношение заряда q, накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его обкладками Емкость плоского конденсатора $C = \varepsilon_a S/d$  Емкость цилиндрического конденсатора $C = 2\pi\varepsilon_a L/\ln(r_2/r_1)$  • Поле конденсатора сосредоточено между его обкладками
⑳ **Соединение элементов, содержащих емкость**	*Последовательное* соединение $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + ... + 1/C_n$  *Параллельное* соединение $C = C_1 + C_2 + ... + C_n$ 
Энергия электростатического поля	
㉑ **Энергия** системы неподвижных точечных зарядов	$W = \dfrac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i \varphi_i$
㉒ **Энергия** заряженного уединенного проводника, W [Дж]	$W = \dfrac{C\varphi^2}{2} = \dfrac{q\varphi}{2} = \dfrac{q^2}{2C}$
㉓ **Энергия** заряженного конденсатора, W [Дж]	$W = \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{qU}{2} = \dfrac{q^2}{2C}$ — конденсатор любой конфигурации $W = \dfrac{\varepsilon_a E^2}{2} Sd = \dfrac{\varepsilon_a E^2}{2}$ — плоский конденсатор • Энергия электростатического поля конденсатора пропорциональна квадрату напряженности этого поля
㉓ **Объемная плотность энергии**, w [Дж/м^3] — энергия электростатического поля в единице объема	$w = \dfrac{\varepsilon_a E^2}{2}$

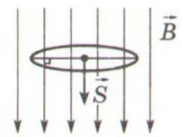
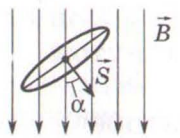
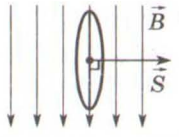
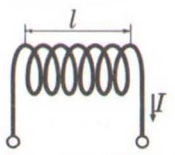
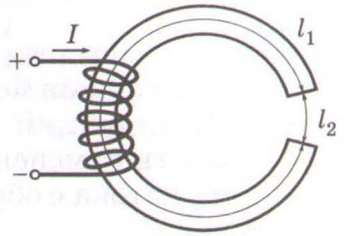
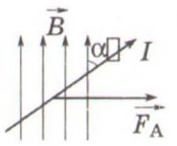
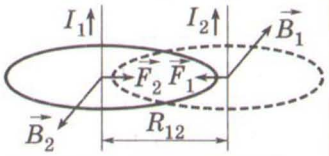
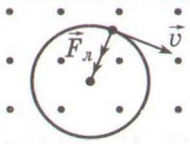
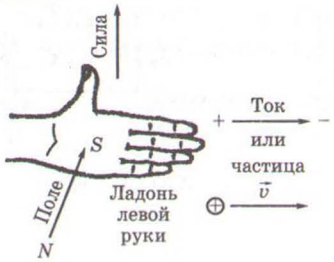
15. Электрическое поле в проводниках. Постоянный ток

Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
❶ **Электрический ток** — направленное движение свободных зарядов	Направление тока + → − • За направление тока *условно* принимают направление движения *положительных зарядов*
❷ **Постоянный ток** — электрический ток, направление которого не изменяется с течением времени	 • Постоянный ток получают от источников постоянного тока — химических источников питания, фотоэлементов, ядерных источников
❸ **Источник электропитания** — устройство, преобразующее различные виды энергии в электрическую	Графическое изображение источника питания  • Источник питания характеризуется величиной ЭДС и величиной *внутреннего сопротивления r*
❹ **Электродвижущая сила (ЭДС)**, $\mathcal{E}$ [В] — физическая величина, характеризующая работу сторонних сил по перемещению зарядов	$\mathcal{E} = A_{ст}/q$ ▸ Электродвижущую силу определяют как отношение работы, совершаемой сторонними силами при перемещении положительного заряда к величине этого заряда • **Сторонние силы** — силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источников питания
❺ **Напряжение**, U [В] — физическая величина, характеризующая работу электрического поля (кулоновских сил) по переимещению зарядов	 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ $U_{AB} = IR_{AB}$ • Напряжение на концах участка цепи равно разности их потенциалов (если участок не содержит источника питания)
❻ **Сила электрического тока**, I [А] — физическая величина, характеризующая количество электричества, проходящего через проводник в единицу времени	$I = q/t$; $I = \delta S$; ▸ Сила тока определяется электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени
❼ **Электрическое сопротивление** , R [Ом] — физическая величина, характеризующая свойство элементов электрической цепи оказывать противодействие току	$R = \rho L/S$ $R = R_0(1 + \alpha t)$ 
❽ **Удельное сопротивление**, ρ [Ом·м] или $[\frac{Ом \cdot мм^2}{м}]$ — физическая величина, характеризующая способность материала оказывать противодействие электрическому току	$\rho = \frac{RS}{l}$ $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ ▸ Удельное сопротивление определяют как сопротивление линейного проводника единичной длины и единичной площади сечения • Удельное сопротивление является характеристикой вещества, из которого изготовлен проводник или резистор • Наименьшим удельным сопротивлением обладают серебро ($16 \cdot 10^{-9}$ Ом·м) и медь ($17 \cdot 10^{-9}$ Ом·м) • Для нихрома $\rho = 1{,}0 \cdot 10^{-7}$ Ом·м

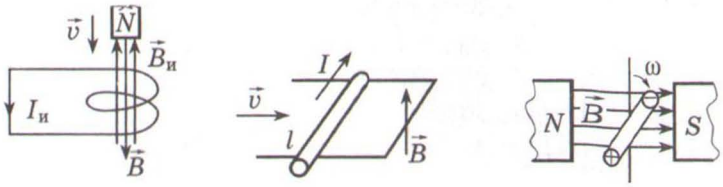
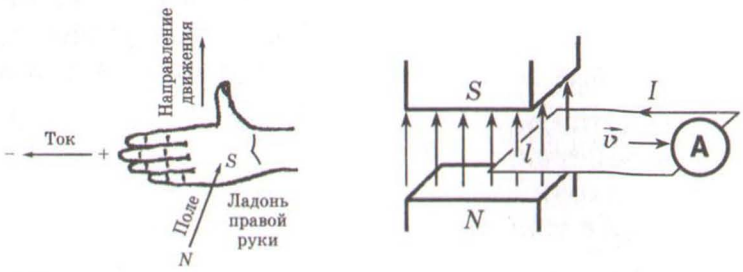
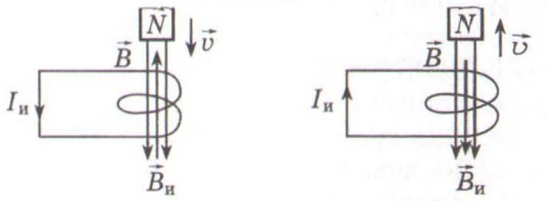
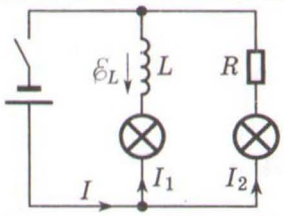
Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
⑨ **Резистор** — устройство, обладающее заранее заданным сопротивлением. Один из основных элементов электронных и электротехнических схем	• Резисторы используют в электрических цепях для обеспечения требуемого распределения токов и напряжений между участками цепи Графическое изображение резистора 
⑩ **Соединение элементов, содержащих сопротивление**	*Последовательное* соединение $R = R_1 + R_2 + ... + R_n$ *Параллельное* соединение $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + ... + 1/R_n$ 
⑪ **Мощность электрического тока**, P [Вт] — физическая величина, характеризующая быстроту передачи электрической энергии	$P = W/t \quad P = IU \quad P = U^2/R \quad P = I^2R$ • За время t в цепи постоянного тока, к которой приложено напряжение U, переносится энергия (совершается работа) $W = A = Uq$
Законы постоянного тока	
⑫ **Закон Ома** *для участка цепи*: сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению участка цепи	 $I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ $I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_1 + R_2}$ $I_{AB} = I_1 = I_2; \quad U = U_1 + U_2$
⑬ **Закон Ома** *для полной цепи*: сила тока в электрической цепи прямо пропорциональна ЭДС источника питания и обратно пропорциональна сумме внутреннего сопротивления источника и внешнего сопротивления цепи	 $I = \frac{E}{r + R}$ $R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$
⑭ **Первый закон Кирхгофа**: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле равна нулю ⑮ **Второй закон Кирхгофа**: алгебраическая сумма произведений сил токов на соответствующие сопротивления в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС источников, встречающихся в этом контуре	$I_1 + I_2 = I_3$  $\begin{cases} \mathcal{E}_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \\ \mathcal{E}_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \end{cases}$
⑯ **Закон Джоуля-Ленца**: при прохождении тока по неподвижному металлическому проводнику вся электрическая энергия идет на его нагревание	$A = Q = I^2Rt \quad Q = UIt \quad Q = Pt$ ▸ Количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении по нему постоянного тока, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока

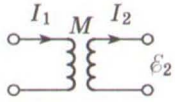
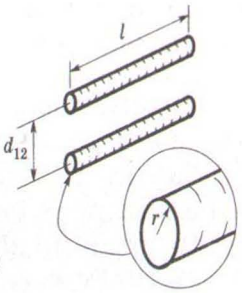
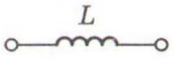
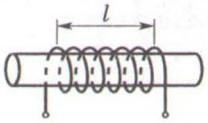
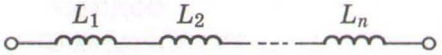
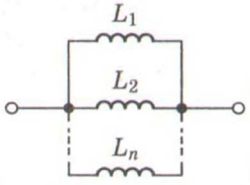
16. Магнитное поле

Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
❶ **Магнитное поле** — особый вид материи, проявляющий себя через силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы и постоянные магниты	• Направление магнитного поля в выбранной точке совпадает с направлением силы, действующей на северный полюс магнитной стрелки, помещенной в данную точку. На магнитную стрелку действует пара сил, поворачивающих ее так, что ось стрелки совпадает с вектором магнитной индукции 
❷ **Магнитная индукция,** B [Тл] — векторная физическая величина, характеризующая силовое действие магнитного поля	$\vec{B} = \mu_a \vec{H}$ $\quad \mu_a = \mu\mu_0$ μ_a — абсолютная магнитная проницаемость μ — относительная магнитная проницаемость μ_0 — магнитная постоянная  $B = \dfrac{F_A}{IL\sin\alpha}$  $B = \dfrac{M_{max}}{IS}$
❸ **Напряженность магнитного поля,** H [А/м] — векторная физическая величина, характеризующая действие магнитного поля без учета магнитных свойств среды	• Направление вектора напряженности магнитного поля совпадает с направлением вектора магнитной индукции  $H = I/2\pi r$  $H = I/2R_0$  $H = IN/L$
❹ **Линии магнитной индукции и напряженности магнитного поля** — линии, графически изображающие магнитное поле. Касательные к ним в каждой точке совпадают с направлением векторов магнитной индукции и напряженности магнитного поля	  • Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с током  • Внутри постоянных магнитов также существует магнитное поле, и его линии магнитной индукции являются продолжением линий вне магнита
❺ **Правило буравчика:** если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока, то направление его вращения указывает направление векторов магнитной индукции и напряженности магнитного поля	  • Магнитное поле катушки возникает в результате сложения полей, создаваемых отдельными витками

Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
⑥ Магнитный поток (поток вектора магнитной индукции), Ф [Вб] — физическая величина, характеризующая интенсивность магнитного поля, пронизывающего элементы поверхности среды	$\Phi = \int B_N dS$  $\Phi = BS\cos 0°$ $\Phi = BS$  $\Phi = BS\cos\alpha$  $\Phi = BS\cos 90°$ $\Phi = 0$
⑦ Магнитодвижущая сила, $F_{МДС}$ [А] — физическая величина, характеризующая магнитное действие электрического тока	 $F_{МДС} = Hl = IN$ $F_{МДС} = H_1 l_1 + H_2 l_2 = IN$  ▸ Магнитодвижущая сила равна произведению напряженности магнитного поля и длины катушки или произведению силы тока и числа витков катушки • Если H не остается постоянной (например, из-за воздушного зазора), то $F_{МДС}$ определяют для каждого участка и затем суммируют
⑧ Сила Ампера, F_A [Н] — сила воздействия магнитного поля на находящийся в нем проводник с током	 $F_A = BIL\sin\alpha$ $F_A = \dfrac{\mu_a I_1 I_2 \Delta l}{2\pi R_{12}}$ 
⑨ Сила Лоренца, $F_л$ [Н] — сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле	$F_Л = Bq\upsilon\sin\alpha$ или в векторной форме $\vec{F}_Л = q[\vec{\upsilon}\vec{B}]$ 
⑩ Правило левой руки (определяет направление силы Ампера и силы Лоренца): если вектор B входит в ладонь левой руки, а четыре вытянутых пальца расположены по направлению тока в проводнике (или движения положительных зарядов), то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера (силы Лоренца)	 *Сила Ампера* (для проводника с током) *Сила Лоренца* (для положительно заряженных частиц) • Магнитное поле действует только на движущиеся в нем заряды
⑪ Энергия магнитного поля в контуре с током, W [Дж] — энергия, накопленная в магнитном поле, созданном током в проводнике	$W = \dfrac{\Phi I}{2} = \dfrac{\Phi^2}{2L}$ $W = \dfrac{LI^2}{2}$ Формула для любой формы контура с током $W = \dfrac{BHV}{2}$ Формула для тороидальной или длинной цилиндрической катушки

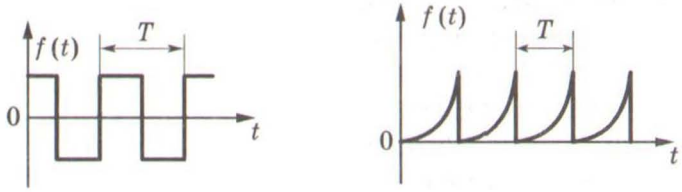
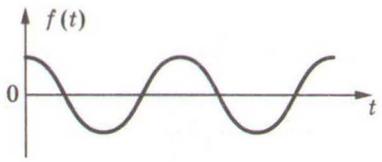
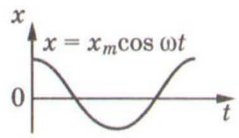
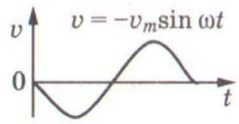
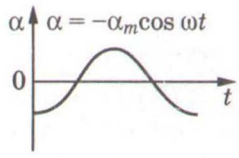
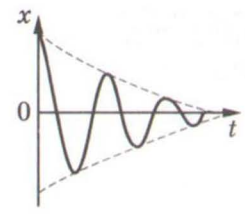
17. Электромагнитная индукция (ЭМИ)

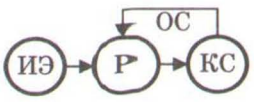
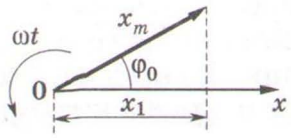
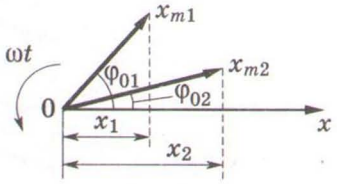
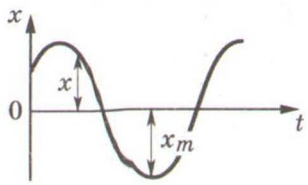
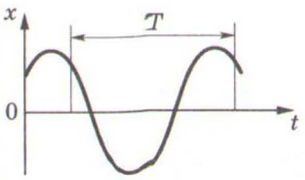
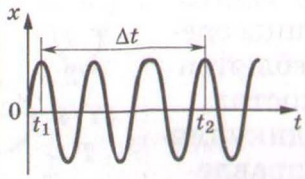
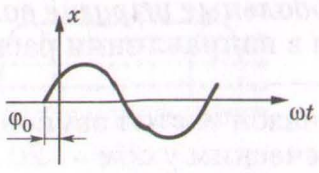
Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
❶ **Электромагнитная индукция** — возникновение электрического тока в неподвижном замкнутом контуре, помещенном в переменное магнитное поле или в движущихся в постоянном магнитном поле проводниках ❷ **Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея):** ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока с обратным знаком	$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  $\mathcal{E}_i = -\Phi' = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\quad \mathcal{E}_i = Blv\sin\alpha$ $\quad \mathcal{E}_i = -N(BS\cos\omega t)' = NBS\omega\sin\omega t = \mathcal{E}_m\sin\omega t$ • Возникновение индукционного тока указывает на наличие в цепи электродвижущей силы электромагнитной индукции
❸ **Правило правой руки:** если расположить ладонь правой руки так, чтобы в нее входили линии индукции магнитного поля, а отогнутый большой палец направить по движению проводника, то четыре вытянутых пальца укажут направление индукционного тока	$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  • Правило правой руки определяет направление индукционного тока в проводнике, движущемся в магнитном поле
❹ **Правило Ленца:** возникающий в проводниках индукционный ток своим магнитным полем препятствует изменению магнитного поля, которым он вызван	 • Правило Ленца определяет направление ЭДС индукции • Если магнитный поток нарастает, то поле индукционного тока направлено против первичного поля и стремится его ослабить • Если магнитный поток уменьшается, то поле индукционного тока направлено по первичному полю и стремится его поддержать
❺ **Самоиндукция** — возникновение ЭДС в проводниках электрической цепи при протекании в них изменяющегося во времени электрического тока	 $\mathcal{E}_L = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ ▸ ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока

Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
6 Взаимная индукция — возникновение ЭДС в одном из контуров при изменении силы тока в другом контуре, находящемся рядом с первым	$\mathcal{E}_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$ • ЭДС, индуцируемая во втором контуре, при измененииии силы тока в первом контуре  M — взаимная индуктивность контуров
7 Индуктивность (коэффициент самоиндукции), L [Гн] — физическая величина, характеризующая связь между магнитным потоком самоиндукции электрической цепи и силой тока в ней	$L = \frac{\Phi}{I}$ ***Индуктивность коаксиального кабеля*** $L = \frac{\mu_a l}{2\pi} ln \frac{R_2}{R_1}$ ***Индуктивность двухпроводной линии***  $L = \frac{\mu_a l}{\pi} ln \frac{d_{12}}{r}$ • Величина индуктивности зависит только от конфигурации цепи и материала, находящегося в магнитном поле
8 Катушка индуктивности — специальное устройство, обладающее значительной индуктивностью. Один из основных элементов электронных и электротехнических схем **9 Соленоид** — катушка индуктивности в виде намотанного на цилиндр из ферромагнитного материала изолированного провода	Графическое изображение индуктивности  $L = \mu_a \frac{N^2 S}{l}$ • Индуктивность катушки зависит от ее формы, размеров и числа витков ***Индуктивность соленоида***  $L = \frac{\mu_a N^2 S}{l}$
10 Соединение элементов, содержащих индуктивности	*Последовательное* соединение  $L = L_1 + L_2 + ... + L_n$ *Параллельное* соединение  $1/L = 1/C_1 + 1/L_2 + ... + 1/L_n$

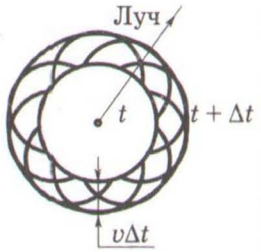
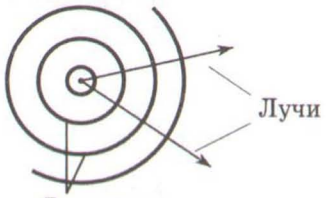
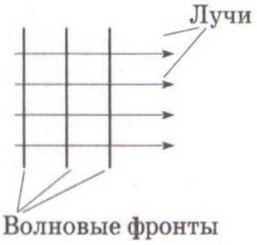
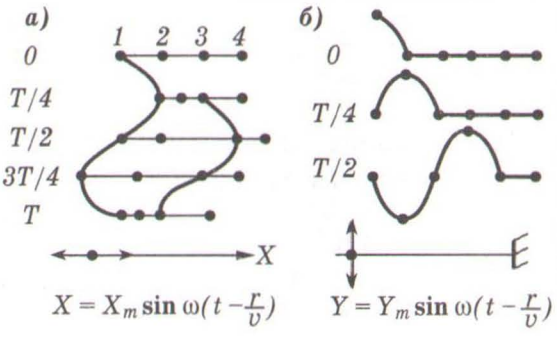
IV. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

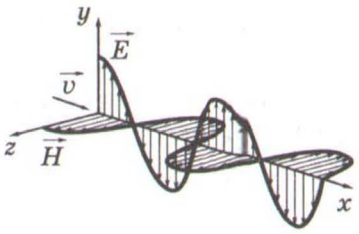
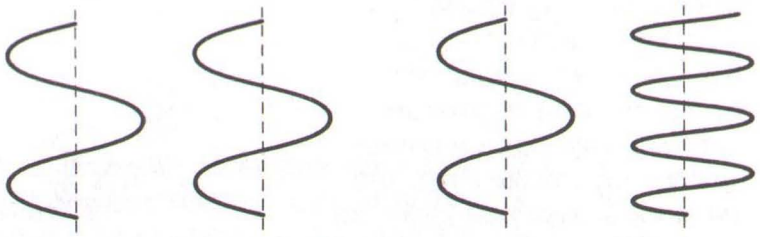
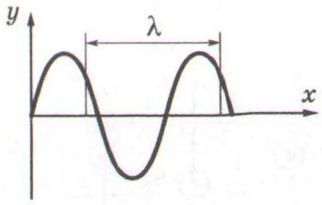
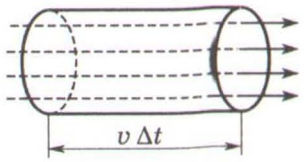
18. Колебания. Общие понятия

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Колебания** — повторяющиеся во времени движения или процессы	• Колебания имеют различную физическую природу: механические, электромагнитные, электромеханические колебания. В тоже время их можно описать одинаковыми характеристиками и уравнениями
Типы колебаний	
❷ **Периодические колебания** — колебания, при которых значение колеблющейся величины в любой момент времени повторяется через определенное время, называемое периодом (T)	
❸ **Гармонические колебания** — периодические колебания, при которых колеблющиеся величины изменяются по закону синуса (косинуса)	 • Гармонические колебания —наиболее часто встречающиеся в природе и технике процессы. Являются частным случаем периодических колебаний
❹ **Вынужденные колебания** — колебания под действием вынуждающей силы	• Частота вынужденных колебаний совпадает с частотой вынуждающей силы и, обычно, не совпадает с собственной частотой (см. **резонанс, табл. 20**)
❺ **Свободные (собственные) колебания** — колебания, происходящие в отсутствие внешних воздействий за счет предварительно полученной энергии. Предполагается, что колебательная система не имеет потерь	Уравнение свободных колебаний: $x'' = -\omega^2 x$  $x = x_m \cos(\omega t + \varphi)$ $\upsilon = x' = -\omega x_m \sin(\omega t + \upsilon\varphi)$ $\upsilon_m = \omega x_m$  $a = \upsilon' = x'' = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \varphi)$ $a_m = \omega \upsilon_m = \omega^2 x_m$  • Собственные колебания возникают благодаря *внутренней* силе колебательной системы, которая стремится вернуть тело в состояние равновесия
❻ **Свободные затухающие колебания** — свободные колебания, амплитуда которых с течением времени уменьшается из-за потерь энергии колебательной системой	 $x_{зат} = x_m e^{-\frac{r}{2m}t} \cos(\omega_{зат} t + \varphi)$ $x_{mзат} = x_m e^{-\frac{r}{2m}t}$ $\omega_{зат} = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ • В механических колебательных системах потери энергии определяются трением, в электрических — омическими потерями и электромагнитным излучением

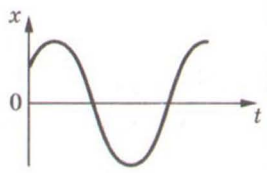
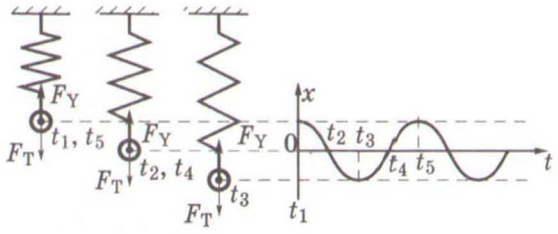
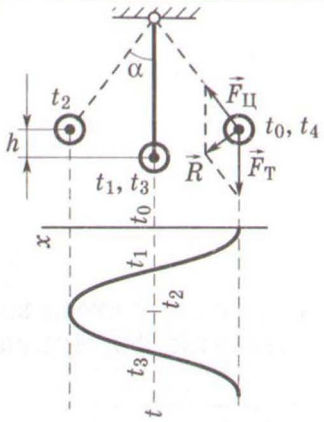
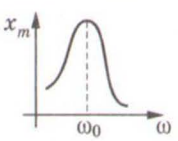
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ **Автоколебания** — незатухающие колебания возникающие и поддерживаемые за счет энергии источника, находящегося вне колебательной системы	 ИЭ — источник энергии Р — регулятор КС — колебательная система ОС — обратная связь • Параметры колебаний определяются структурой системы • Примеры автоколебаний: колебания маятника часов, струн смычковых инструментов, электрического тока в генераторах переменного тока
❽ **Представление гармонических колебаний вращающимся вектором амплитуды** — представление гармонических колебаний проекцией на произвольно выбранную ось вектора амплитуды, отложенного под углом φ_0, равным начальной фазе, и вращающегося с угловой скоростью ω	$x_1 = x_m\cos(\omega t + \varphi)$  $x_1 = x_{m1}\cos(\omega t + \varphi_1)$ $x_2 = x_{m2}\cos(\omega t + \varphi_2)$ 
Величины, характеризующие гармонические колебания	
❾ **Мгновенное значение величины,** x — значение величины (*смещение, сила тока* и др.), колеблющейся по гармоническому закону, в данный момент времени	 • Косинус изменяется от +1 до −1, поэтому x принимает значения от $+x_m$, до $-x_m$ • **Амплитуда,** x_m — максимальное значение колеблющейся величины
❿ **Период,** T [с] — наименьший интервал времени между одинаковыми фазами колебания ⓫ **Частота колебаний,** ν [Гц] — физическая величина, характеризующая быстроту повторяемости периодических процессов	 $T = \frac{1}{\nu}$ • Период — величина, обратная частоте колебаний ν  $\nu = \frac{N}{\Delta t}$ $\quad \nu = \frac{1}{T}$ • Частота — величина, обратная периоду • N — число колебаний за время • **Циклическая (круговая) частота,** ω [$с^{-1}$] — число колебаний за 2π секунд $\quad \omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$
⓬ **Фаза колебаний,** φ [рад] — величина, определяющая значение колеблющейся величины в определенный момент времени от начала колебаний	 $x = x_m\cos(\omega t + \varphi_0)$ • Фаза — аргумент косинуса при $t = 0$ $\quad x = x_m\cos\varphi_0$ • Фаза определяется временем и отклонением и характеризует мгновенное состояние системы ▸ **Начальная фаза колебаний,** φ_0 [рад] — величина, определяющая значение колеблющейся величины в начальный момент времени

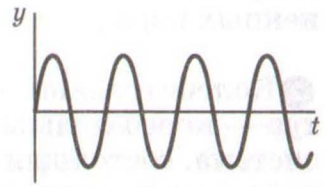
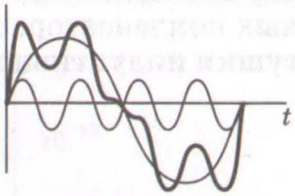
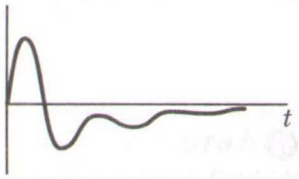
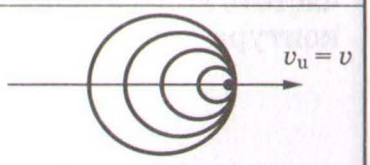
19. Волны. Общие понятия и основные свойства

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Волны** — колебания, распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью	Уравнение волны: $a = a_m \sin\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)$ • Волны можно рассматривать как процесс распространения колебаний • Волны переносят энергию без переноса вещества
❷ **Распространение волн (принцип Гюйгенса-Френеля)**	• Каждая точка среды, до которой дойдет возбуждение, сама станет источником вторичных волн • Волновая поверхность в любой момент времени есть результат интерференции вторичных волн • Принцип Гюйгенса-Френеля справедлив для всех видов волн, в том числе и для электромагнитных 
❸ **Волновой фронт (волновая поверхность)** — геометрическое место всех точек волны, колеблющихся с одинаковой фазой ❹ **Луч** — направление распространения волны	**Сферическая волна**  **Плоская волна**  • Лучи всегда перпендикулярны волновому фронту
Виды волн	
❺ **Механические (упругие) волны** — механические колебания, распространяющиеся в упругой среде	▸ *Поперечные упругие волны* — частицы среды колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению волны  ▸ *Продольные упругие волны* — частицы среды колеблются в направлении распространения волны
❻ **Звуковые волны** — частный случай продольных механических волн, воспринимаемых человеческим ухом	• Диапазон частот звуковых волн, воспринимаемых человеческим ухом — 20...20 000 Гц • Механические волны с частотой менее 20 Гц называются *инфразвуком*, с частотой более 20 000 Гц — *ультразвуком*

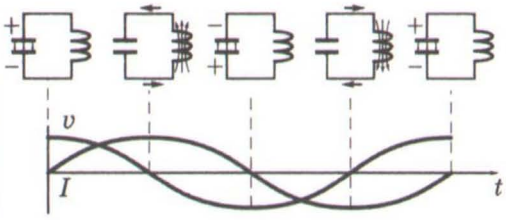
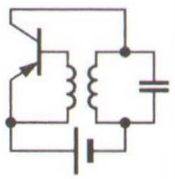
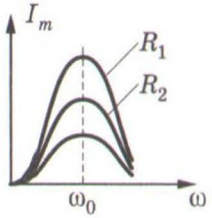
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
7 Электромагнитные волны — переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью	 • Электромагнитные волны являются *поперечными* — колебания векторов напряженности $\vec{E}$ и индукции $\vec{B}$ взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной вектору скорости распространения волны $\vec{\upsilon}$
8 Когерентные волны — волны любой природы, имеющие одинаковую частоту и сохраняющие неизменненное соотношение между фазами	**Когерентные волны** **Некогерентные волны**  • Когерентность — необходимое условие реализации *интерференции* при сложении волн
9 Поляризованные волны — поперечные волны, направление колебания которых в каждой точке пространства сохраняется неизменным	**Неполяризованные волны** **Поляризованные волны**
Параметры, характеризующие волны	
10 Длина волны, λ [м] — расстояние между двумя точками волны, находящимися в одинаковой фазе колебаний **11 Фазовая скорость,** υ [м/с] — скорость распространения волны	 Длина волны $\lambda = \upsilon T$, $\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}$ Период $T = \frac{1}{\nu}$ Частота $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ $\upsilon = \frac{\lambda}{T}$ $\upsilon = \lambda\nu$ • **Период** и **частота** волны равны периоду и частоте колебаний, формирующих волну
12 Поток энергии, W [Вт] — энергия, проходящая через поверхность площадью S за время Δt **13 Интенсивность,** I [Вт/м^2] — мощность, приходящая на единицу площади	 $W = wS\upsilon\Delta t$ $I = \frac{P}{S} = \frac{W}{\Delta t S} = w\upsilon$ w [Дж/м^3] — объемная плотность энергии

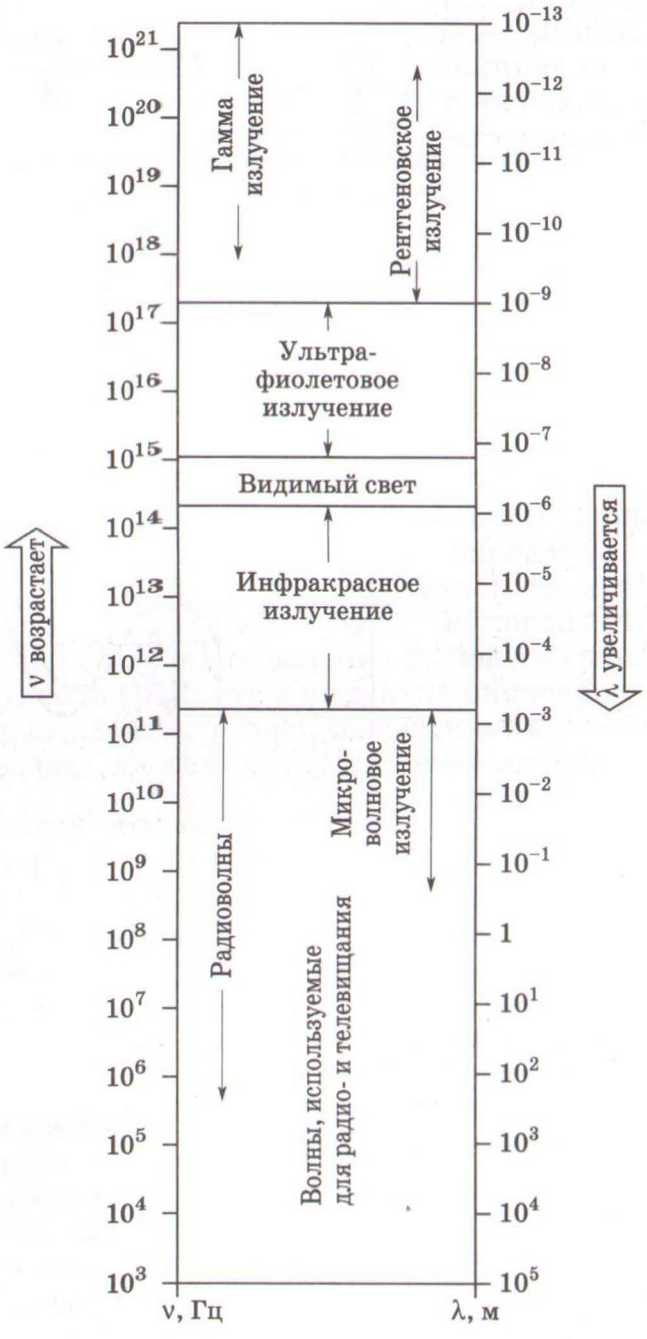
20. Механические колебания и волны

Основные определения	Схемы, графики, формулы, пояснения
1 Механические колебания — движения тел около положения равновесия, возвращающиеся в первоначальное состояние или близкое к нему через одинаковые интервалы времени	Уравнение свободных колебаний: $x'' = -\omega^2 x$  Отклонение (смещение): $x = x_m \cos(\omega t + \varphi)$ Скорость: $\upsilon = x' = -\omega x_m \sin(\omega t + \varphi)$ $\upsilon_m = \omega x_m$ Ускорение: $a = \upsilon' = x'' = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \varphi)$ $a_m = \omega \upsilon_m = \omega^2 x_m$
2 Колебания пружины (пружинный маятник) — колебательная система, образованная телом массой m, подвешенным на пружине и совершающим свободные гармонические колебания под действием упругой силы F	$F = -kx$ (k — жесткость пружины)  Уравнение движения: $x'' = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$ Частота $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ Полная энергия $W = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$ $W = \frac{m\upsilon_m^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}$ Период $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ • Масса самой пружины в формулах не учитывается • Величины ω и T не зависят от амплитуды
3 Математический маятник — колебательная система, образованная материальной точкой, массой m, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити и совершающей свободные гармонические колебания под действием силы тяжести	 Уравнение движения: $x'' = -\frac{g}{l}x = -\omega^2 x$ Частота $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ Период $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ Полная энергия $W = \frac{m\upsilon^2}{2} + mgh =$ $= \frac{m\upsilon_m^2}{2} = mgh_m$
4 Резонанс — резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний в колебательной системе при совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных колебаний системы	 $\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ • Нарастающая амплитуда колебаний при резонансе может привести к разрушению системы («резонансная катастрофа»)

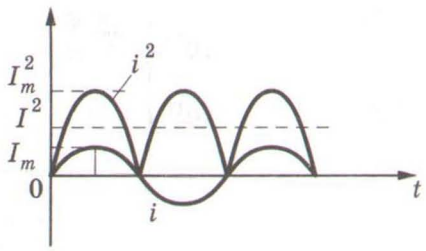
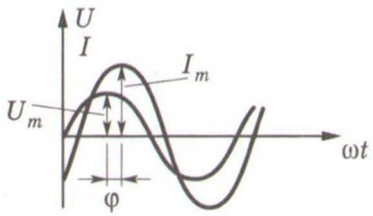
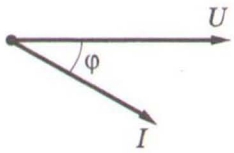
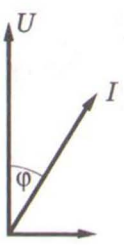
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, пояснения
5 Источники механических волн	• Источниками механических волн являются колеблющиеся тела — как твердые, так и жидкие и газообразные. Например, струна, мембрана радиоприемника, воздух в трубах, перепад давления в жидкости
Звуковые волны	
Типы звуковых волн: **6 Тон**	Синусоидальное колебание 
7 Созвучие (музыкальный звук)	Результат сложения нескольких синусоидальных колебаний с разными амплитудами 
8 Шум	Смесь многочисленных колебаний с разными частотами и приблизительно одинаковыми амплитудами
9 Взрыв	Кратковременное сильное звуковое воздействие 
10 Скорость звука в различных средах	<table><tr><th>Среда</th><th>$\upsilon_{зв}$, м/с</th><th>Среда</th><th>$\upsilon_{зв}$, м/с</th></tr><tr><td>Воздух (0°С)</td><td>332</td><td>Гранит</td><td>3950</td></tr><tr><td>Вода (0°С)</td><td>1485</td><td>Дерево</td><td>4000</td></tr><tr><td>Резина</td><td>54</td><td>Сталь</td><td>5100</td></tr></table>
11 Эффект Доплера — изменение частоты волн вследствие движения источника этих волн относительно приемника	$\omega = \dfrac{\omega_0}{1 + \upsilon_{зв}/\upsilon_и}$ Источник удаляется
	$\omega = \dfrac{\omega_0}{1 - \upsilon_{зв}/\upsilon_и}$ Источник приближается
12 Звуковой барьер — возрастание скорости источника звука до скорости звука в данной среде	• В момент достижения скорости звука сходятся фронты всех волн, излученных в предшествующие моменты времени 

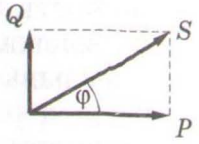
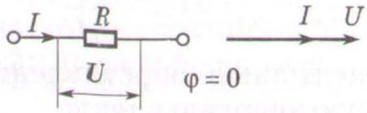
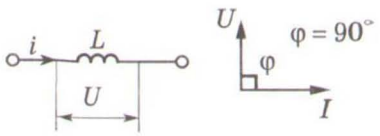
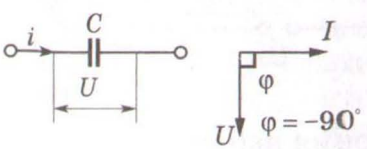
21. Электромагнитные колебания и волны

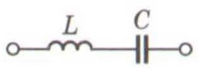
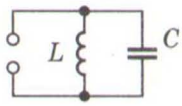
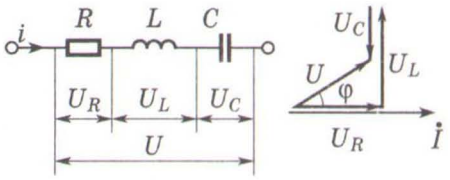
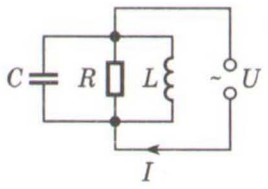
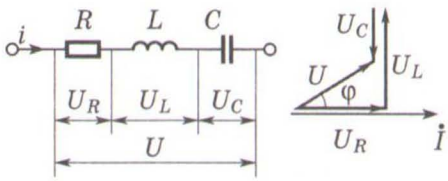
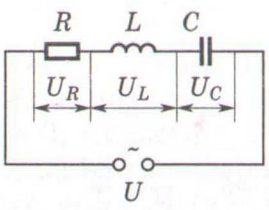
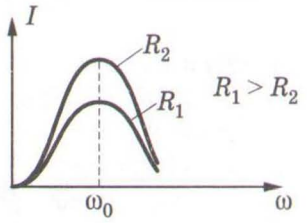
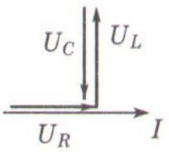
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ Электромагнитные колебания — взаимосвязанные колебания электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки индуктивности, соединенных параллельно **❷ Колебательный контур** — колебательная система, состоящая из параллельно соединенных конденсатора и катушки индуктивности	Уравнение свободных колебаний: $q'' = -\frac{1}{LC}q = -\omega^2 q$ Заряд конденсатора: $q = q_m \cos(\omega t + \alpha)$ Ток в цепи контура: $i = q' = -\omega q_m \sin(\omega t + \alpha) = -i_m \sin(\omega t + \alpha)$ ЭДС самоиндукции (напряжение на конденсаторе): $e = -Li' = -Li_m\,\omega \cos(\omega t + \alpha) = -e_m \cos(\omega t + \alpha)$  Период колебаний $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$ $T = 2\pi\sqrt{LC}$ Частота $\nu = \frac{1}{T}$ Циклическая частота $R = 0$ $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ $R \neq 0$ $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ Полная энергия $W = \frac{Li^2}{2} + \frac{Cu^2}{2}$ $\quad W = \frac{Li_m^2}{2} + \frac{Cu_m^2}{2}$
❸ Автоколебания — незатухающие колебания, возникающие и поддерживаемые за счет энергии источника, находящегося вне колебательной системы	*Генератор незатухающих электромагнитных колебаний* $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \cos\omega t$ $\quad I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ • φ — сдвиг по фазе между током контура и внешней ЭДС ▸ **Вынужденные электромагнитные колебания** — незатухающие колебания, возникающие под действием внешней периодически изменяющейся ЭДС 
❹ Электромагнитный резонанс — явление резкого возрастания вынужденных колебаний при приближении частоты вынуждающего переменного напряжения к собственной частоте колебательного контура	Амплитуда тока при установившихся вынужденных колебаниях: $I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$  I_m максимальна при $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ $R_1 < R_2$ Резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ▸ **Резонансная частота** ω_0 — частота, при которой амплитуда достигает максимального значения

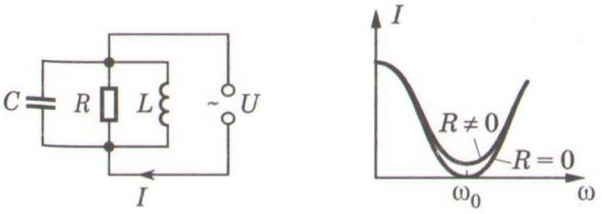
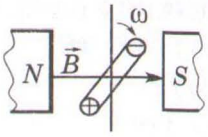
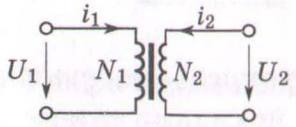
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Электромагнитные волны	
5 Источники излучения электромагнитных волн	$3 \cdot 10^5 ... 3 \cdot 10^{12}$ Гц Колебательный контур, вибратор Герца, ламповый генератор $6 \cdot 10^{11} ... 3 \cdot 10^{17}$ Гц Лампы, светоизлучающие диоды, лазеры $1.5 \cdot 10^{17} ... 5 \cdot 10^{19}$ Гц Трубки Рентгена
6 Шкала электромагнитных волн	

22. Переменный ток

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Переменный ток** — вынужденные гармонические колебания тока в электрической цепи, создаваемые вынуждающей ЭДС генератора	Переменный ток характеризуется величинами ЭДС: $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_m \sin(\omega t + \psi)$, Напряжение: $u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi)$, U, Сила тока: $i(t) = i_m \sin(\omega t + \psi)$, I, Активная мощность: $P = UI\cos\varphi$ Реактивная мощность: $Q = UI\sin\varphi$ Полная мощность: $S = UI$ Коэффициент мощности: $\cos\varphi$ $\quad (\varphi = \psi_U - \psi_I)$
❷ **Действующее значение силы тока и напряжения,** I [А] и U [В] — величины силы тока и напряжения, эквивалентные постоянному току и напряжению такой же мощности	▸ Действующее значение силы тока и напряжения определяются средним по времени от функций $i(t)$ и $u(t)$: $I^2 = \overline{i^2} = \frac{I_m^2}{2}$ $\quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707 I_m$  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707 U_m$ • Действующее значение силы тока и напряжения обозначаются в формулах I и U
Мощность переменного тока	
❸ **Активная мощность,** P [Вт] — определяется как произведение действующего значения напряжения на действующее значение составляющей тока, совпадающей по фазе с напряжением	  $P = UI\cos\varphi = I^2 R$ • Величина $\cos\varphi$ называется *коэффициентом мощности* • Если цепь не содержит реактивных сопротивлений, $\varphi = 0$, т.е. $\cos\varphi = 1$ • Если цепь содержит только реактивные сопротивления, $\cos\varphi = 0$ (активная мощность равна нулю)
❹ **Реактивная мощность,** Q [вар] — определяется как произведение действующего значения напряжения на реактивный ток (составляющую тока, перпендикулярную напряжению)	 $Q = UI\sin\varphi = I^2 X$ • Реактивные токи увеличивают нагрузку цепи, и для снижения реактивной мощности в цепь включают дополнительные реактивные (обычно емкостные) элементы, частично компенсирующие реактивный ток

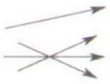
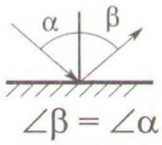
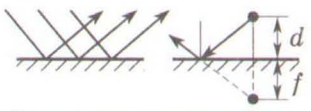
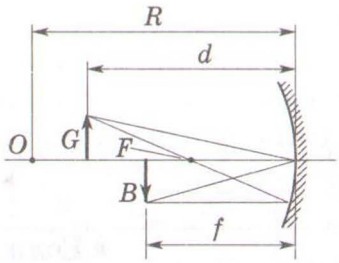
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
5 Полная мощность, S [В·А] — определяется как геометрическая сумма активной и реактивной мощностей	 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ $S = UI = I^2Z$ • Напряжение и ток цепи, измеренные вольтметром и амперметром, определяют их действующие значения и позволяют вычислить полную мощность
Сопротивление переменному току	
6 Активное (омическое) сопротивление, R [Ом] — сопротивление, характеризующее поведение резистора в цепях переменного тока	 $u = u_m \sin\omega t;$ $i = i_m \sin\omega t;$ $i = u/R;$ $i_m = u_m/R;$ $I = U/R;$ $P = UI = I^2R;$ $Q = 0;$ $S = P$ • Активное сопротивление определяется свойствами проводника и не зависит от частоты • В цепи переменного тока, содержащей только активное сопротивление, напряжение и ток совпадают по фазе
7 Индуктивное сопротивление, X_L [Ом] — сопротивление идеализированной катушки индуктивности гармоническому переменному току	 $X_L = \omega L;$ $i = i_m \sin\omega t;$ $u = u_m \sin(\omega t + \pi/2);$ $u = Li;$ $u_m = i_m X_L;$ $U = IX_L;$ $P = 0;$ $S = Q;$ $Q = I^2X_L$ ▸ Индуктивное сопротивление прямо пропорционально угловой частоте и индуктивности • В цепи переменного тока, содержащей только индуктивность, напряжение опережает ток на $\pi/2$ (или $T/4$)
8 Емкостное сопротивление, X_C [Ом] — сопротивление идеализированного конденсатора гармоническому переменному току	 $X_C = \dfrac{1}{\omega C}$ $u = u_m \sin\omega t;$ $i = i_m \sin(\omega t + \pi/2);$ $i_m = i_m X_C;$ $U = IX_C;$ $i = Cu';$ $P = 0;$ $S = Q;$ $Q = I^2X_C$ ▸ Емкостное сопротивление обратно пропорционально угловой частоте и емкости • В цепи переменного тока, содержащей только емкость, ток опережает напряжение на $\pi/2$ (или $T/4$)

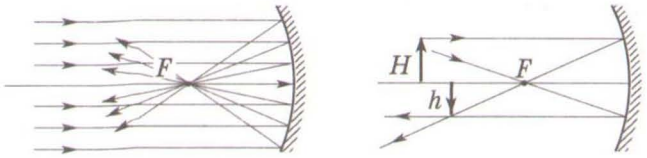
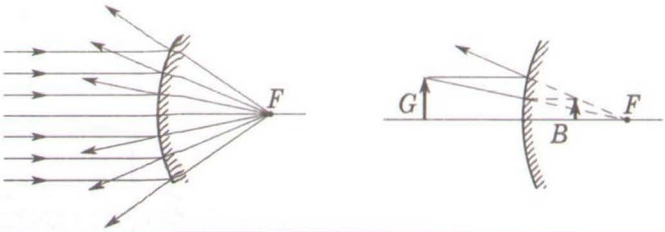
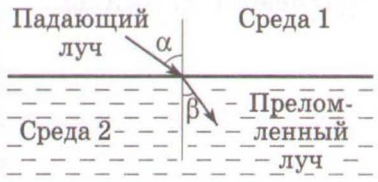
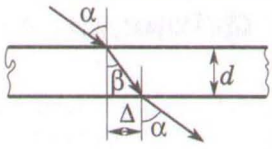
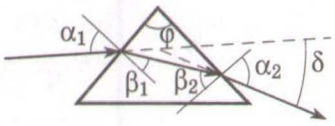
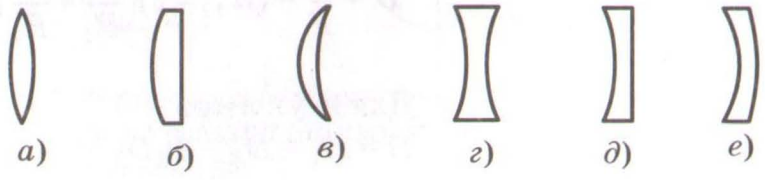
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
9 Реактивное сопротивление, X [Ом] — сопротивление цепи переменного тока, содержащей идеализированную катушку индуктивности и (или) идеализированный конденсатор	• Катушка индуктивности и конденсатор — накопители энергии, поэтому вызываемое переменным током изменение энергии вызывает их «сопротивление». Катушка индуктивности «сопротивляется» изменению тока в ней, конденсатор — изменению напряжения между его выводами *Последовательное* соединение L и C: $X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$  *Параллельное* соединение L и C: $\frac{1}{X} = \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} = \omega C - \frac{1}{\omega L}$  • Реактивные сопротивления не преобразуют электрическую энергию в тепло
10 Полное сопротивление, Z [Ом] — сопротивление цепи переменного тока, содержащей активное и реактивное сопротивления	*Последовательное* соединение R и X: $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$  *Параллельное* соединение R и X: $\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}$ 
11 Закон Ома в цепи переменного тока соблюдается как для амплитудных, так и для действующих значений величин	 $u = u_m \sin\omega t$; $i = i_m \sin(\omega t - \varphi)$; $i_m = u_m / Z$; $I = U / Z$; $\varphi = \operatorname{arctg}(X/R)$
12 Резонанс напряжений (последовательный резонанс) — явление резкого возрастания амплитуды тока при совпадении циклической частоты ω внешнего напряжения с собственной частотой ω_0 колебательного контура	  $R_1 > R_2$  Условия наблюдения резонанса: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ Резонансная частота: $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ • При резонансе $\operatorname{tg}\varphi = 0$ $Z = R$ • Полное сопротивление контура на резонансной частоте минимально, поэтому такую цепь используют как *полосовой фильтр*

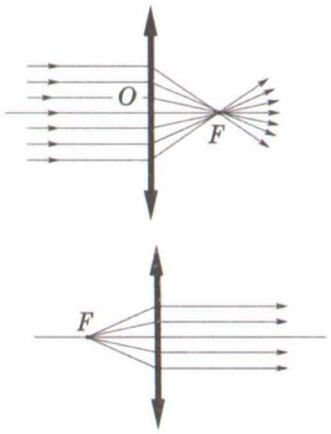
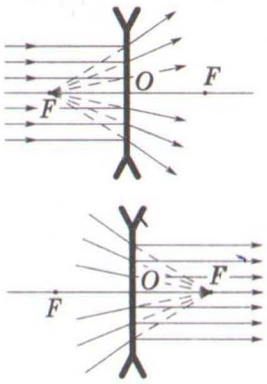
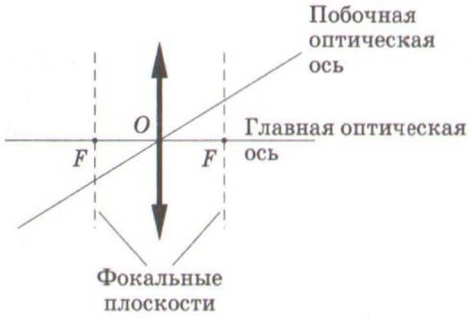
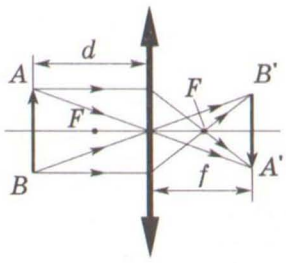
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑬ Резонанс токов (параллельный резонанс) — явление резкого падения амплитуды тока при совпадении циклической частоты ω внешнего напряжения с собственной частотой ω_0 колебательного контура	 Условия наблюдения резонанса: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ Резонансная частота: $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ • Полное сопротивление контура на резонансной частоте максимально, поэтому такую цепь используют как *заграждающий фильтр*
Устройства, производящие и преобразующие переменный ток	
⑭ Генератор переменного тока — электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования механического движения в электричество. Его принцип действия основан на явлении *электромагнитной индукции*	 $\mathcal{E} = -\Phi' = N\omega BS\sin\omega t$ $\mathcal{E}_m = N\omega BS$ • Основные части генератора: статор (неподвижная часть), ротор (вращающаяся часть), источник магнитного поля и обмотка • Механическая сила (поток воды, струя пара) вращает ротор, и в обмотках, вращающихся вместе с ним и пересекающих магнитное поле, возникает переменное напряжение индукции
⑮ Электродвигатель — электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования электрического тока в механическое движение. Его принцип основан на явлении *электромагнитной индукции*	$M = NIBS\sin\omega t$ • Электродвигатели устроены практически так же, как и генераторы • Приложенное к обмотке напряжение вызывает ток, который создает магнитное поле, взаимодействующее с магнитным полем источника. При этом возникает момент силы, вращающий ротор
⑯ Трансформатор — электротехническое устройство, предназначенное для увеличения (уменьшения) напряжения и тока. Его принцип действия основан на явлении *электромагнитной индукции*	 $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$ • Если подключить нагрузку к вторичной обмотке повышающего трансформатора и принять, что $P_1 = P_2$, то повышение напряжения в k раз, сопровождается уменьшением тока в k раз ▸ Отношение витков вторичной и первичной обмоток трансформатора называют *коэффициентом трансформации k* ▸ Обмотку, подключаемую к электрической сети, называют *первичной*, выходную обмотку — *вторичной*. Если $N_2 > N_1$, трансформатор называют *повышающим*, если $N_2 < N_1$ — *понижающим*

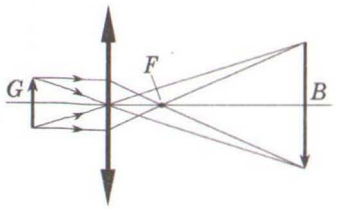
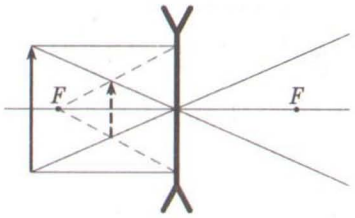
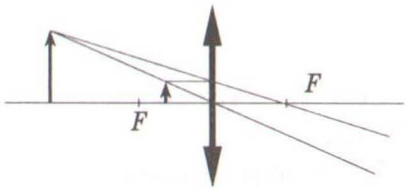
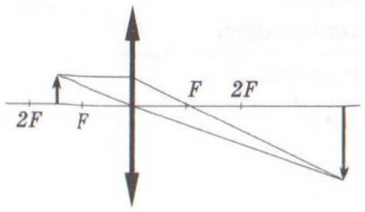
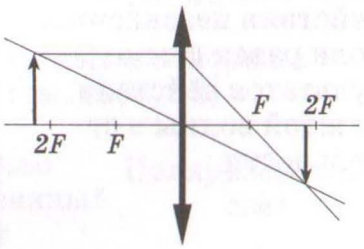
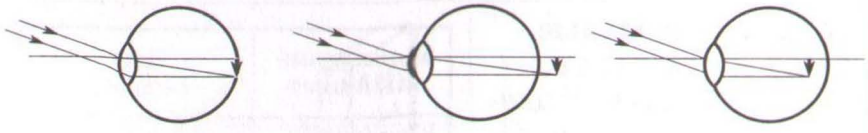
V. ОПТИКА

23. Геометрическая оптика

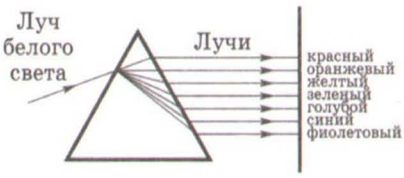
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Оптическое излучение** — электромагнитное излучение, длины волн которого находятся в интервале 10 нм ... 1 мм. К оптическому излучению относят *инфракрасное, видимое* и *ультрафиолетовое* излучения	▸ Луч — геометрическая линия, указывающая направление распространения световой энергии Лучи, исходящие из одной точки, образуют *расходящийся* пучок Лучи, сходящиеся в одну точку, образуют *сходящийся* пучок  Излучение, не выходящее из одной точки и не сходящиеся в точку, называется *диффузным*
Отражение света	
❷ **Законы отражения:** угол отражения β равен углу падения α; лучи падающий и отраженный обратимы; падающий и отраженный лучи и перпендикуляр к границе раздела, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости	 $\angle\beta = \angle\alpha$ • Углы падения и отражения измеряются между направлением луча и перпендикуляром к поверхности • В случае шероховатой поверхности параллельный пучок отражается от нее *диффузно* (рассеянно)
❸ **Плоское зеркало** — гладкая поверхность, при отражении от которой параллельный пучок остается параллельным	 *Отражение зеркальное* $f = d$ • Наблюдателю представляется, что лучи исходят из точки за зеркалом
❹ **Сферическое зеркало** — зеркало, отражающая поверхность которого представляет собой часть сферы	 *Формула зеркала*: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ • Формула справедлива только для лучей, близких к оси *Главное фокусное расстояние*: $F = \frac{R}{2}$ *Оптическая сила зеркала*: $D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$
❺ **Элементы сферического зеркала**	**Оптический центр зеркала** O **Оптическая ось** **Главная оптическая ось** **Главный фокус** F

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
6 Вогнутое сферическое зеркало — зеркало с отражающим покрытием на внутренней поверхности сферы	
7 Выпуклое сферическое зеркало — зеркало с отражающим покрытием на внешней поверхности сферы	
Преломление света	
8 Законы преломления: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред; лучи падающий и преломленный обратимы; лучи падающий и преломленный лежат в одной плоскости	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ • Среда с бо́льшим показателем преломления называется *оптически более плотной*, а среда с меньшим показателем преломления, — *оптически менее плотной* 
9 Плоскопараллельная пластина — прозрачная пластина с двумя плоскопараллельными гранями	$\Delta = \frac{d\ \sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}$ • Проходя через пластину, световой луч смещается параллельно самому себе 
10 Призма трехгранная — прозрачное тело, имеющее три грани	$\delta = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi$ • Отклонение монохроматического луча зависит от угла его падения на призму и от угла призмы φ 
Линзы	
11 Линзы — прозрачные тела, ограниченные двумя поверхностями, преломляющими световые лучи и способные формировать оптические изображения предметов: **двояковыпуклые** (*а*) **плоско-выпуклые** (*б*) **вогнуто-выпуклые** (*в*) **двояковогнутые** (*г*) **плоско-вогнутые** (*д*) **выпукло-вогнутые** (*е*)	***Виды линз*** Графическое изображение *выпуклой* (собирающей) линзы Графическое изображение *вогнутой* (рассеивающей) линзы 

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑫ **Ход лучей в линзах**	***Собирающие линзы***  ***Рассеивающие линзы*** 
⑬ **Элементы линзы**	**Главная оптическая ось** **Оптический центр линзы** O **Фокусы линзы** F **Фокусное расстояние** OF **Побочная оптическая ось** **Фокальные плоскости** 
⑭ **Формула линзы**	$\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$  Правила знаков: $+F$ для собирающей линзы $-F$ для рассеивающей линзы $+f$, если изображение действительное $-f$, если изображение мнимое $+d$, если на линзу падает расходящийся пучок лучей $-d$, если на линзу падает сходящийся пучок лучей
⑮ **Линейное увеличение линзы,** Г — отношение линейного изображения к линейному размеру предмета	$\Gamma=\frac{H}{h}$ $\Gamma=\frac{f}{d}$
⑯ **Оптическая сила линзы** — величина, обратная фокусному расстоянию	$D=\frac{1}{F}=(n_{12}-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ Для двух линз $D=D_1+D_2-D_1D_2/r_{12}$	• Оптическая сила собирающих линз положительна, рассеивающих линз — отрицательна

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
⑰ **Построение изображения в собирающей и рассеивающей линзах**	***Собирающая линза***  ***Рассеивающая линза*** 
Оптические приборы	
⑱ **Лупа** — собирающая линза с очень маленьким фокусным расстоянием	• Изображение в лупе прямое, мнимое, увеличенное • Чем меньше фокусное расстояние, тем больше увеличение лупы 
⑲ **Проекционный аппарат** — устройство для получения увеличенного изображения, использующее собирающую линзовую систему — *объектив*	 • В проекционном аппарате изображение перевернутое, действительное, увеличенное • Изображение возникает за объективом на расстоянии, превышающем удвоенное фокусное расстояние
⑳ **Фотоаппарат** — устройство для получения уменьшенного изображения с помощью собирающей линзовой системы — *объектива*	• В фотоаппарате изображение перевернутое, действительное, уменьшенное • Изображение возникает за объективом на расстоянии, составляющим от одного до двух фокусных расстояний 
㉑ **Глаз** — оптический прибор, созданный самой природой ㉒ **Очки** — оптический прибор, корректирующий недостатки зрения	Нормальное зрение Дальнозоркость Близорукость  • Дальнозоркость и близорукость можно скомпенсировать очками с собирающими и рассеивающими линзами, соответственно

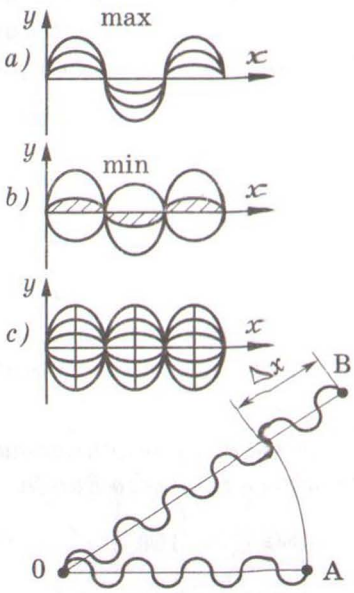
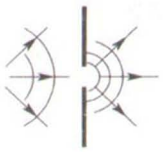
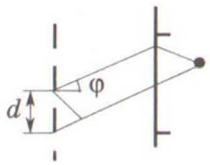
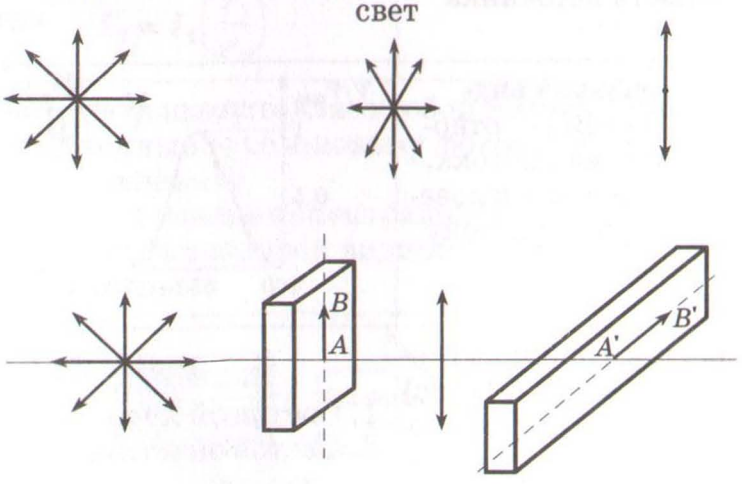
24. Волновая оптика

<table>
<tr><th>Основные определения</th><th>Рисунки, формулы, пояснения, величины</th></tr>
<tr><td>❶Волновая оптика — раздел физики, в котором законы распространения света рассматриваются как законы распространения электромагнитных волн</td><td>Волновая оптика изучает такие световые явления как дисперсия, интерференция, поляризация света</td></tr>
<tr><td>❷Дисперсия белого света — зависимость абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) падающего на него света</td><td> 

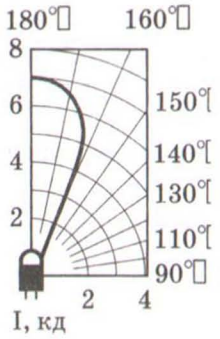
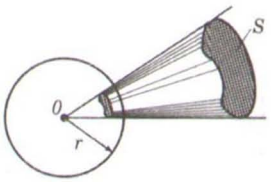
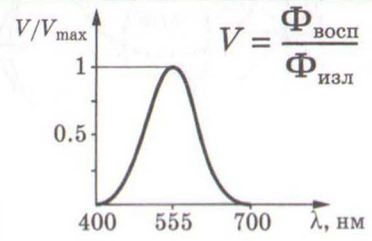
$$n = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\lambda_1 \nu_1}{\lambda_2 \nu_2}$$
• При разложении белого света, содержащего все длины волн, возникает цветовая полоса, называемая спектром</td></tr>
<tr><td>❸Спектр — цветовая полоса, содержащая все длины волн, образующие белый свет

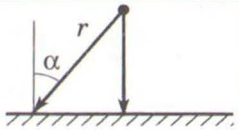
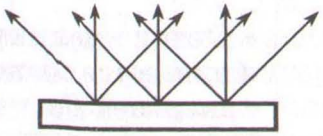
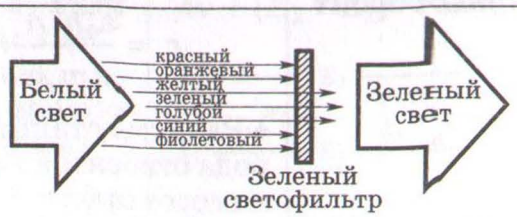
❹Спектральные цвета — отдельные цвета спектра белого света</td><td>
<table>
<tr><th>Цвет</th><th>Длина волны, нм</th></tr>
<tr><td>Ультрафиолетовый</td><td>< 390</td></tr>
<tr><td>Фиолетовый</td><td>390</td></tr>
<tr><td>Синий</td><td>435</td></tr>
<tr><td>Голубой</td><td>495</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>Цвет</th><th>Длина волны, нм</th></tr>
<tr><td>Зеленый</td><td>570</td></tr>
<tr><td>Желтый</td><td>590</td></tr>
<tr><td>Оранжевый</td><td>630</td></tr>
<tr><td>Красный</td><td>770</td></tr>
<tr><td>Инфракрасный</td><td>> 770</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>❺Принцип суперпозиции — в любой момент времени в каждой точке пространства результат действия независимых волн равен сумме результатов действия каждой волны в отдельности</td><td>$$Y = Y_1 + Y_2$$
$$Y_1 = Y_{m1} \sin\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)$$
$$Y_2 = Y_{m2} \sin\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)$$

• Белый свет является смесью всех спектральных цветов
• Основными цветами являются красный, голубой, зеленый; смесь двух из них создает дополнительный цвет, а смесь всех трех основных цветов дает белый цвет</td></tr>
<tr><td>❻Дополнительные цвета — смешанные или спектральные цвета, взаимно дополняющие друг друга до белого</td><td>
<table>
<tr><th>Исключенный цвет</th><th>Цвет остатка</th></tr>
<tr><td>Красный</td><td>Сине-зеленый</td></tr>
<tr><td>Оранжевый</td><td>Синий</td></tr>
<tr><td>Желтый</td><td>Фиолетовый</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>Исключенный цвет</th><th>Цвет остатка</th></tr>
<tr><td>Зеленый</td><td>Пурпурный</td></tr>
<tr><td>Индиго</td><td>Желтый</td></tr>
<tr><td>Фиолетовый</td><td>Желто-зеленый</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
7 Интерференция — явление возникновения максимумов и минимумов интенсивности светового потока при наложении когерентных световых волн	 Условие появления интерференционных максимумов: $\Delta X = \pm k\lambda, k = 0, 1, 2...$ Условие появления интерференционных минимумов: $\Delta X = \pm (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \ k = 0, 1, 2...$ • Интерференция света — частный случай интерференции волн • **Когерентные волны** — волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз
8 Дифракция — явление отклонения света от прямолинейного распространения при его прохождении сквозь малые отверстия	***Дифракция на щели***  ***Дифракция на дифракционной решетке***  Условие максимума дифракционной решетки: $\Delta X = \pm k\lambda = d\sin L$ • Дифракция света — частный случай дифракции волн • Дифракцию света можно объяснить, исходя из принципа Гюйгенса-Френеля **(см. табл. 19)**
9 Поляризация — процесс формирования световых волн с упорядоченными колебаниями вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$ (и, соответственно, вектора индукции магнитного поля $\vec{B}$) **10 Естественный свет** — свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора $\vec{E}$ **11 Поляризованный свет** — свет с упорядоченными колебаниями вектора $\vec{E}$	Неполяризовнный свет — Частично поляризованный свет — Поляризованный свет 

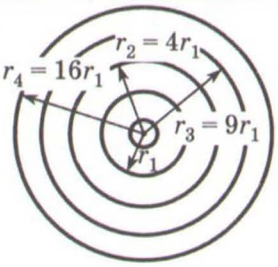
25. Фотометрия

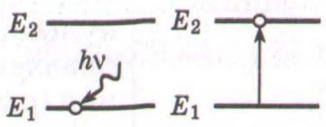
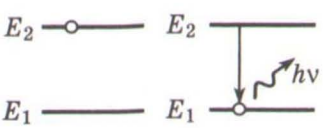
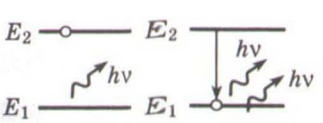
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
1 Фотометрические величины — специфические физические величины, отражающие субъективное восприятие света человеком	• Фотометрические величины характеризуют физиологическое воздействие света на человеческий глаз или фотоприемные устройства
2 Сила света, I [кд] — физическая величина, характеризующая оптическое излучение источника видимого света в некотором направлении	$I = \Phi/\Omega$ $I = \Delta\Phi/\Delta\Omega$ $\Omega = S/r^2$ • Сила света зависит от направления и характеризуется *диаграммой направленности* ***Диаграмма направленности светоизлучающего диода***  **Телесный угол,** Ω [ср] — часть пространства, ограниченная конической поверхностью 
3 Световой поток, Φ [лм] — физическая величина, характеризующая излучающую способность источника света в определенном направлении	1. $\Phi = \Omega I$ 2. $\Phi = \int I d\Omega$ 3. $\Phi_{полн} = \int_0^{4\pi} I d\Omega$ 1. Сила света постоянна в пределах телесного угла 2. Сила света не постоянна в пределах телесного угла 3. Полный световой поток источника света
4 Световая отдача, [лм/Вт] — характеристика светоизлучательной способности источника света	▸ Световую отдачу определяют как отношение светового потока, излучаемого источником света, к мощности, потребляемой этим источником
5 Спектральная видность, V [лм/Вт] — отношение светового потока, воспринимаемого человеческим глазом, к потоку излучения	 $V = \frac{\Phi_{восп}}{\Phi_{изл}}$ • Максимум спектральной видности соответствует длине волны 555 нм и составляет 680 лм/Вт • Спектральная видность зависит от частоты (длины волны) излучения
6 Световая энергия (количество света), Q [лм·с] — произведение светового потока на время его действия	1. $Q = \Phi t$ 2. $Q = \int \Phi dt$ 1. Световой поток постоянен во времени 2. Световой поток не постоянен во времени

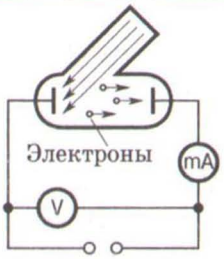
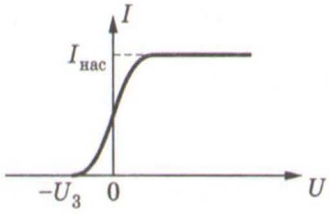
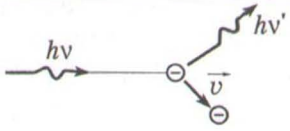
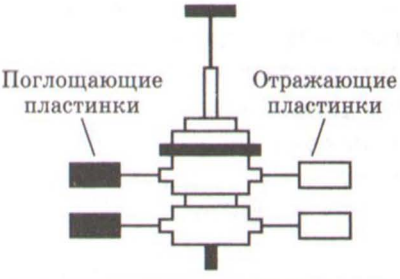
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ **Освещенность,** E [лк] — световой поток, приходящийся на единицу освещаемой поверхности	$E = \Delta\Phi/\Delta S$ $\quad E = I/r^2 \cos\alpha$ • При увеличении расстояния от источника освещенность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния 
❽ **Световая экспозиция,** H [лк·с] — произведение освещенности на продолжительность освещения	1. $H = Et$ $\quad$ 2. $H = \int E dt$ 1. Освещенность постоянна во времени 2. Освещенность не постоянна во времени • Экспонометры для фотографии позволяют определять по освещенности время экспонирования (выдержку), необходимое для получения световой экспозиции, которая обеспечит требуемое почернение пленки
❾ **Светимость,** R [лм/м^2] — физическая величина, характеризующая излучательную способность тел	 $R = \Phi/S$ ▸ Светимость определяют как отношение *светового потока* Φ излучения, исходящего от элемента светящейся поверхности, к площади S этой поверхности
❿ **Яркость,** B [кд/м^2] — физическая величина, характеризующая свечение источника света в данном направлении	$B = I/S$ ▸ Яркость определяют как отношение силы света в каком-либо направлении к площади светящейся поверхности • При яркости, превышающей 0,75 кд/см^2 происходит сужение зрачка
Измерение фотометрических величин	
⓫ **Фотометры** — общее название приборов для измерения фотометрических величин	• Фотометры предназначены для измерения силы света, освещенности, светового потока, яркости, коэффициентов пропускания и отражения
⓬ **Измерение силы света:** сила света определяется путем сравнения с эталоном	$E = I_1/r_1^2$ — освещенность, создаваемая эталоном $E = I_2/r_2^2$ — освещенность, создаваемая испытуемым источником Тогда $I_2 = I_1\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$
⓭ **Люксметр** — прибор для измерения освещенности	• Люксметр представляет собой микроамперметр, подключенный к селеновому фотоэлементу или к фотосопротивлению • Для согласования спектральной чувствительности фотоэлемента с кривой видности глаза используются светофильтры
⓮ **Светофильтр** — устройство, меняющее спектральный состав падающего на него света	 Светофильтр пропускает только определенную часть падающего на него излучения, поглощая остальные

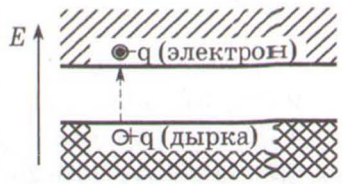
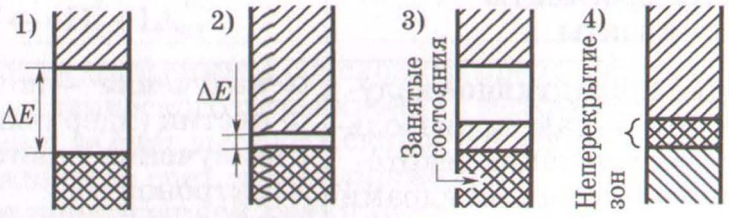
VI. АТОМНАЯ ФИЗИКА

26. Элементы квантовой физики

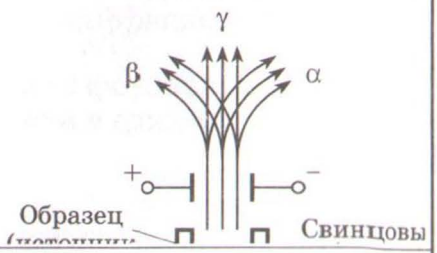
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Корпускулярно-волновой дуализм и строение атома по Бору	
❶ **Квант** — порция энергии, которая может быть отдана или поглощена какой-либо микросистемой (например, атомом при переходе электрона с одной орбиты на другую)	$E = h\nu$ h — постоянная Планка $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с • Энергия излучения всегда равна энергии *целого* числа квантов • Энергия отдельного кванта зависит от частоты волны
❷ **Фотон** — условная элементарная частица, квант электромагнитного излучения (квант света)	$m_ф = E/c^2 = \frac{h\nu}{c^2}$ $\quad p_ф = m_ф c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ • Фотон имеет нулевую массу покоя и движется со скоростью света в вакууме c, с энергией E и импульсом $p_ф$
❸ **Волны де Бройля** — волны, описывающие состояние микрочастиц и отражающие их квантовую природу и корпускулярно-волновой дуализм их свойств	$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\upsilon}$, $\upsilon \leq c$ $\quad \lambda = \frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{m_0\upsilon^2}$, $\upsilon \to c$ • Потоку любых частиц с одинаковой энергией и импульсом, движущихся с одной и той же скоростью, соответствует волна • Отвечающая частице длина волны зависит от массы и скорости этой частицы
❹ **1-й постулат Бора:** электроны могут двигаться вокруг атомного ядра, не излучая, только по определенным стационарным орбитам ❺ **2-й постулат Бора:** при переходе электрона с одной орбиты на другую излучается один квант с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний	 • Разрешенные стационарные орбиты определяются правилом квантования: $m_e \upsilon_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$ • Частота излучения при переходе электрона с орбиты k на орбиту n: $\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$ R — постоянная Ридберга $R = 3{,}29 \cdot 10^{15}$ с$^{-1}$
Атом водорода	
❻ **Радиусы стационарных орбит**	$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2 n^2}{\pi m_e e^2}$ или $r_n = n^2 \cdot 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м • Радиусы стационарных орбит атома водорода относятся как квадраты порядковых номеров орбит: 1:4:9:16:...

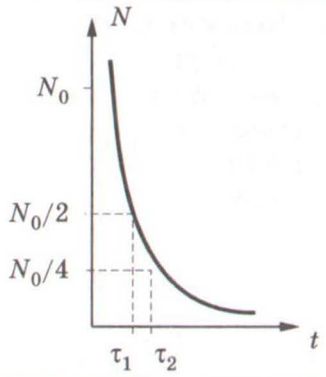
Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ Скорость движения электрона по орбите	$\upsilon_n = \dfrac{e^2}{2n\varepsilon_0 h}$ или $\upsilon_n = \dfrac{2{,}19\cdot 10^6}{n}$ м/с • Скорости электрона на различных орбитах обратно пропорциональны порядковому номеру орбиты
❽ Энергия электрона и энергетические уровни **❾ Основное состояние электрона** — состояние (энергетический уровень) с минимальной энергией ($n = 1$) **❿ Возбужденное состояние электрона** — состояние (энергетический уровень) с энергией, определяемой при $n > 1$)	Кинетическая энергия электрона в атоме водорода: $\dfrac{m_e\upsilon^2}{2} = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ Потенциальная энергия электрона в атоме водорода: $E_{пот} = -\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ Полная энергия атома (складывается из кинетической энергии электрона и потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром): $E = -\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ Энергетические уровни электрона в атоме: $E_n = -\dfrac{1}{n^2}\cdot\dfrac{m_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2}$ • Энергия электрона в атоме водорода может принимать только дискретные значения
⓫ Поглощение кванта — переход атома из основного в возбужденное состояние путем поглощения фотона	$h\nu = E_2 - E_1$  • Поглощение кванта происходит только в случае, когда его энергия совпадает с разностью энергий между возбужденным и основным уровнями
⓬ Спонтанное излучение — излучение кванта в результате перехода атома из возбужденного состояния в основное без каких-либо внешних воздействий	$\nu = \dfrac{E_2 - E_1}{h}$  • Спонтанное излучение *некогерентно*, т.к. отдельные переходы не связаны между собой
⓭ Индуцированное (вынужденное) излучение – излучение кванта в результате перехода атома из возбужденного состояния в основное под действием внешнего (вынуждающего) излучения	$h\nu + (E_2 - E_1) = 2h\nu$  • Вынужденное и вынуждающее излучение *когерентны*, т.к. атом излучает квант с такими же частотой, фазой, поляризацией и направлением излучения

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Проявление квантовой природы излучения	
⓮ **Фотоэффект** — испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения	 • Фотоэффект безынерционен — ток появляется сразу как только на фотокатод попадает излучение с $\nu \geq \nu_{кр}$
⓯ **1-й закон фотоэффекта:** при фиксированной частоте падающего света сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения ($I_{нас} \sim E_e$) ⓰ **2-й закон фотоэффекта:** максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой излучения и не зависит от его интенсивности ⓱ **3-й закон фотоэффекта:** если частота излучения меньше некоторой минимальной (для данного вещества) частоты, то фотоэффект отсутствует (*красная граница фотоэффекта*)	 $\frac{m_e \upsilon_{max}^2}{2} = eU_з$ • υ_{max} находят, измерив запирающее напряжение $U_з$ $h\nu = A_{вых} + \frac{m_e \upsilon^2}{2}$ (уравнение Эйнштейна) **Работа выхода электрона,** $A_{вых}$ [эВ] — наименьшая энергия, которую нужно затратить для удаления электрона с поверхности тела $A_{вых} = h\nu_{кр}$ $\quad \lambda_{кр} = \frac{c}{\nu_{кр}}$ • Красная граница зависит только от *работы выхода электрона* (т.е. от химической природы вещества и состояния его поверхности)
⓲ **Эффект Комптона** — увеличение длины волны (уменьшение энергии) фотона при его столкновении со свободным покоящимся электроном	• Фотон, столкнувшись с электроном и передавая ему часть своей энергии и импульса, изменяет направление движения (рассеивается) • Уменьшение энергии фотона приводит к увеличению длины волны  $\vec{p} = \vec{p}_e + \vec{p}'$ $h\nu + E_1 = h\nu' + E_2$ $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu}$
⓳ **Давление света** — давление производимое светом на тела, частицы, молекулы и атомы в процессах поглощения и отражения	$p = \frac{E_c}{c}(1+\rho)$, где ρ — коэффициент отражения $E_c = Nh\nu$ — энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени  • При отражении переданный фотоном импульс в два раза больше, чем при поглощении

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Элементы зонной теории кристаллического твердого тела	
20 Энергетические зоны в кристаллическом твердом теле — спектры возможных (разрешенных) и запрещенных значений энергии электронов, заполняющих оболочки атомов кристаллической решетки	• При сближении атомов, образующих кристалл, происходит расщепление разрешенных орбит электронов и образование разрешенных зон • Нижние разрешенные энергетические зоны кристалла всегда полностью заполнены электронами
21 Разрешенные зоны — области значений энергии, которые электрон может иметь в кристаллическом твердом теле. Две верхние разрешенные зоны разделяют на *валентную* зону и зону *проводимости*	▸ **Валентная зона** — разрешенная зона, полностью заполненная электронами ▸ **Зона проводимости** — незаполненная или частично заполненная разрешенная зона
22 Запрещенные зоны — области значений энергии, которые не может иметь электрон в кристаллическом твердом теле	• Зона проводимости всегда лежит над валентной зоной • Зоны, расположенные между валентными зонами и зонами проводимости, являются запрещенными
23 Электронно-дырочная пара — носители отрицательного (электрон) и положительного (дырка) зарядов, образовавшиеся в результате перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости	 ▸ **Дырка** — состояние вакантного (незанятого) уровня в валентной зоне • Поведение дырки в электрическом поле равнозначно поведению частицы с единичным положительным зарядом
24 Разновидности энергетических зон (Энергетические зоны диэлектриков, полупроводников и металлов)	 1) Ширина запрещенной зоны ΔE велика ($> 3{,}0$ эВ) 2) Ширина запрещенной зоны ΔE очень мала ($< 2{,}5$ эВ) 3) Самая верхняя разрешенная зона заполнена не полностью 4) Валентная зона и зона проводимости пересекаются

27. Элементы ядерной физики

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
Элементарные частицы, образующие атом	
Состав атома: **1 Электрон** (e) — элементарная частица с отрицательным элементарным зарядом **2 Нуклоны** — общее название протонов и нейтронов **3 Протон** (p) — элементарная частица с положительным элементарным зарядом (ядро атома водорода) **4 Нейтрон** (n) — электрически нейтральная частица	 Символ элемента: ${}^{M}_{Z}\mathrm{X}$ Z — *зарядовое число ядра*, равно числу протонов в ядре $Z_{\text{Я}}$ — заряд ядра, $Z_{\text{Я}} = Z_{\text{qp}}$ M — *массовое число*, равно числу нуклонов в ядре $M = Z + N$ N — число нейтронов в ядре Например: ${}^{28}_{14}\mathrm{Si}$ ***Характеристика нуклонов*** Величина / Протон (p) / Нейтрон (n) Заряд, Кл / $1{,}6\cdot10^{-19}$ / 0 Масса, кг / $1{,}6726\cdot10^{-27}$ / $1{,}6749\cdot10^{-27}$
5 Нуклиды — общее название атомов, различающихся числом протонов и нейтронов в ядре	• *Изотопы* — атомы с одинаковыми Z, но разными M • *Изобары* — атомы с одинаковыми M, но разными Z • *Изотоны* — атомы с одинаковым числом нейтронов
Радиоактивность и ядерные реакции	
6 Радиоактивность — свойство некоторых атомных ядер самопроизвольно изменять свой состав, испуская элементарные частицы, ядерные фрагменты и γ-кванты	• *Естественная радиоактивность* — радиоактивность неустойчивых изотопов, существующих в природе • *Искусственная радиоактивность* — радиоактивность изотопов, полученных с помощью ядерных реакций в научных лабораториях или на промышленных объектах (атомные электростанции) ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{30}_{15}\mathrm{p} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$; ${}^{30}_{15}\mathrm{p} \to {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + h\nu$
7 Радиоактивное излучение — самопроизвольное испускание некоторыми атомными ядрами потоков элементарных частиц, ядерных фрагментов и γ-квантов	**α-излучение** — поток α-частиц (ядер гелия) **β-излучение** —поток электронов **γ-излучение** —электромагнитное излучение с частотой 10^{20} Гц 
8 Радиоактивный распад — происходящее самопроизвольно естественное превращение некоторых ядер в другие	α-распад ${}^{M}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{M-4}_{X-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ β-распад ${}^{M}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{M}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ γ-излучение ${}^{M}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{M}_{Z}\mathrm{Y} + h\gamma\nu$

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
9 Закон радиоактивного распада — статистический закон, определяющий количество нераспавшихся ядер в выбранном интервале времени **10 Период полураспада,** τ — интервал времени, за который радиоактивность убывает в два раза	$N \approx N_0 2^{-\frac{t}{\tau}}$ • Невозможно предсказать когда распадется данное ядро, но при значительном их количестве ($N_0 >> 1$) можно определить, какое количество нераспавшихся ядер останется через заданный интервал времени 
11 Дефект массы — разность между суммой масс всех нуклонов, содержащихся в ядре, и массой ядра	$\Delta m = M_я - Z m_p - N m_n$ • Дефект массы обусловлен энергией связи ядра ΔE, которая выделяется в результате соединения нуклонов в ядра
12 Энергия связи, ΔE [Дж] — энергия, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на нуклоны	$\Delta E_{св} = \Delta m c^2$ • Менее устойчивы (имеют меньшую энергию связи) наиболее легкие и наиболее тяжелые ядра $\Delta\xi = \Delta E_{св}/M$ **Удельная энергия связи,** $\Delta\xi$ — энергия связи, приходящаяся на один нуклон
13 Активность, A [Бк] — физическая величина, характеризующая быстроту превращения радионуклидов в другие нуклиды	$A = \Delta N/\Delta t$ ▸ Активность определяется как отношение числа распадов ΔN, происходящих за интервал времени Δt, к этому интервалу • **Радионуклиды** — нестабильные радиоактивные ядра
14 Ядерные реакции — превращение атомных ядер при взаимодействии друг с другом или с элементарными частицами (включая и γ-кванты)	$X + a \rightarrow Y + b$ X и Y — ядра, соответственно, исходное и конечное a и b — частицы, соответственно, бомбардирующая и испускаемая
15 Термоядерные реакции (термоядерный синтез) — слияние легких атомных ядер в более тяжелые при сверхвысоких температурах	• Термоядерный синтез обусловлен преодолением электростатического отталкивания между исходными ядрами за счет высоких скоростей взаимодействующих ядер и за счет *туннелирования* Пример термоядерной реакции: $^2_1D + {}^3_1T \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n + 3,5\text{МэВ};$ $4\,{}^1_1p \rightarrow {}^4_2He + 2\,{}^0_{+1}e + 6,7\text{МэВ}$
16 Энергетический выход реакции — разность энергий покоя ядер до и после реакции	$\Delta E = (\sum M_i + \sum M_k)c^2$ $\sum M_i$ — сумма масс до реакции, $\sum M_k$ — сумма масс после реакции • Если $\Delta E > 0$ — экзотермическая реакция • Если $\Delta E < 0$ — эндотермическая реакция

28. Биологическое действие ионизирующих излучений (дозиметрия)

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❶ **Дозиметрия** — область ядерной физики, в которой изучаются физические величины, характеризующие действие ионизирующих излучений на различные объекты	• Действие ионизирующих излучений характеризуется энергией, выделяемой в облучаемом веществе. Эта характеристика обобщает все виды излучений • Приборы, фиксирующие ионизирующее излучение: *ионизационные камеры, счетчики Гейгера — Мюллера, камеры Вильсона, ядерные эмульсии* и др.
❷ **Ионизирующее излучение** — потоки частиц или квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации атомов или молекул этой среды	• Различают *фотонное* ионизирующее излучение (ультрафиолетовое, рентгеновское и др.) и *потоки частиц* (α-частицы, β-частицы, ионы, осколки делящихся ядер и др.)
❸ **Доза ионизирующего излучения** — физическая величина, используемая для оценки воздействия ионизирующего излучения на любые вещества и живые организмы	• Дозу излучения организм может получить от любого *радионуклида* или их смеси независимо от того находятся ли они вне организма или внутри него • Различают *поглощенную*, *эквивалентную* и *экспозиционную* дозы • **Радионуклиды** — нестабильные радиоактивные ядра
❹ **Доза излучения поглощенная**, D [Гр] — количество излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела (тканями организма)	$D = E/m$ • По величине поглощенной дозы нельзя предсказать последствия облучения, т.к., например, при одинаковой поглощенной дозе α-излучение гораздо опаснее β- или γ-излучений
❺ **Доза эквивалентная**, $D_{экв}$ [Зв] — величина, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от воздействия ионизирующего излучения произвольного состава	$D_{экв} = kD$ ▸ Эквивалентная доза определяется по поглощенной дозе умножением ее на *коэффициент качества ионизирующего излучения* k, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма $k = 1$ — рентгеновское, β- и γ-излучения $k = 3$ — нейтроны с энергией < 20 кэВ $k = 7$ — протоны с энергией > 5 МэВ $k = 10$ — нейтроны с энергией $> 0{,}1$ МэВ $k = 20$ — α-излучение
❻ **Доза эффективная эквивалентная**, $D_{эф}$ [Зв] — доза, учитывающая чувствительность к ионизирующему излучению различных частей тела или органов человека	$D_{эф} = hD_{экв} = hkD$ ▸ Эффективная эквивалентная доза определяется по эквивалентной дозе умножением ее на *коэффициент риска* h, отражающий суммарный эффект облучения для организма • Эффективная эквивалентная доза учитывает то обстоятельство, что одни части тела более чувствительны к излучению, чем другие

28. Биологическое действие ионизирующих излучений (дозиметрия) *(окончание)*

Основные определения	Рисунки, формулы, пояснения, величины
❼ **Мощность дозы ионизирующего излучения**, P: **поглощенной** [Гр/с], **эквивалентной** [Зв/с], **экспозиционной** [Р/с] — доза облучения за единицу времени	$P = D/t$ • Международной комиссией «безопасное» значение мощности эквивалентной дозы установлено равным 0,02 Зв в год для профессионалов, работающих с излучениями и проходящих регулярное медицинское обследование, и 0,005 Зв в год для остального населения
❽ **Экспозиционная доза излучения**, $D_{эксп}$ [Р] — доза ионизирующего излучения, приводящая к ионизации воздуха в результате воздействия на него фотонов	$D_{эксп} = Q/m$ ▸ Экспозиционная доза излучения равна отношению суммарного электрического заряда Q ионов одного знака, образованного ионизирующим излучением, поглощенным в некоторой массе воздуха, к массе
❾ **Естественный фон излучения** — эквивалентная доза природного ионизирующего излучения, безопосного для здоровья человека	• Источники излучения, создающего естественный фон излучения: *космическое излучение*, *излучение естественно распределенных природных радионуклеидов* в поверхностных слоях Земли, приземной атмосфере, воде, продуктах питания и организме человека
❿ **Радиоактивное загрязнение** — присутствие в окружающей среде или внутри тела человека радиоактивных веществ техногенного происхождения	• Опасным считаются загрязнения, которые могут привести к облучению индивидуальной дозой более 10 мкЗв в год
⓫ **Радиоактивные отходы** — не подлежащие дальнейшему использованию вещества или материалы в любом агрегатном состоянии	• К радиоактивным отходам относят: 1. материалы, изделия, оборудование, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные нормативными документами; 2. отработавшее ядерное топливо; 3. отработавшие свой ресурс или поврежденные радионуклидные источники; 4. извлеченные из недр и складируемые в отвалы породы, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные нормативными документами
⓬ **Внесистемные единицы** дозиметрических величин	В дозиметрии кроме единиц величин системы СИ (беккерель, грей, зиверт) широко распрстранены внесистемные единицы: кюри [Ku], единица активности изотопа $1\ Ku = 3.7 \cdot 10^{10}$ Бк, рад [рад], единица поглощения дозы 1 рад = 0.01 Гр бэр [бэр], единица эквивалентной дозы 1 бэр = 0.01 Зв рентген [р], единица экспозиционной дозы $1\ р == 2.58.10^{-4}$ Ku/кг

Примечание. В процессе перехода на единицы величин системы СИ экспозиционная доза и ее мощность подлежат изъятию из употребления.

Обобщенная таблица величин

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
α	3	Угловое ускорение, мгновенное угловое ускорение	$1/с^2$	радиан в секунду в квадрате
α	11	Краевой угол	°	градус
α	15	Температурный коэффициент сопротивления (ТКС)	1/К	кельвин в минус первой степени
α	23	Угол падения луча	°	градус
$\alpha_{ср}$	3	Угловое ускорение среднее	$1/с^2$	радиан в секунду в квадрате
β	20	Коэффициент трения	кг/с	килограмм на секунду
β	23 ❷	Угол отражения луча	°	градус
β	23 ❽	Угол преломления луча	°	градус
Г	23	Линейное увеличение линзы	—	—
δ	15	Плотность тока	$А/м^2$	ампер на метр квадратный
δ	20	Коэффициент затухания	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
δ	23	Угол отклонения луча трехгранной призмой	°	градус
Δ	23	Смещение светового луча	м	метр
$\Delta\xi$	27	Удельная энергия связи	Дж	джоуль
$\Delta\Phi$	17	Изменение магнитного потока	Вб	вебер
$\Delta\omega$	3	Приращение угловой скорости	1/с	радиан в секунду
ΔA	11	Работа, требующаяся для увеличения площади поверхности жидкости	Дж	джоуль
ΔE	27	Энергия связи	Дж	джоуль
$\Delta E_к$	4	Изменение кинетической энергии	Дж	джоуль
$\Delta E_п$	4	Изменение потенциальной энергии	Дж	джоуль
Δh	13	Перемещение поршня	м	метр
ΔI	17	Изменение силы тока	А	ампер
ΔL	5	Импульс момента силы	кг·м/с	килограмм-метр в секунду
Δl	12	Абсолютное удлинение тела	м	метр
Δl	16	Длина отрезка проводника	м	метр
Δm	27	Дефект массы	кг	килограмм

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
Δp *или* $F\Delta t$	4	Импульс силы	Н·с *или* кг·м/с	ньютон-секунда *или* килограмм-метр в секунду
ΔQ	13	Количество теплоты, полученное телом при нагреве	Дж	джоуль
ΔS	6	Приращение площади	$м^2$	метр квадратный
ΔS	11	Приращение площади поверхности жидкости	$м^2$	метр квадратный
ΔT	13	Изменение температуры	К	кельвин
Δt	2, 3, 4, 17, 19	Интервал времени	с	секунда
$\Delta \upsilon$	2, 4	Приращение скорости	м/с	метр в секунду
Δx	2, 4, 24	Приращение длины	м	метр
ε	12	Относительное удлинение тела	—	—
ε	14	Относительная диэлектрическая проницаемость среды	—	—
ε_0	14	Электрическая постоянная	Ф/м	фарад на метр
ε_a	14	Абсолютная диэлектрическая проницаемость	Ф/м	фарад на метр
η	7	Коэффициент внутреннего трения	—	—
η	4	Коэффициент полезного действия	—	—
λ	13	Удельная теплота плавления	Дж/кг	джоуль на килограмм
λ	19, 21, 26	Длина волны	м	метр
$\lambda_{кр}$	26	Длина волны красной границы фотоэффекта	м	метр
μ	9, 10	Молярная масса	кг/моль	килограмм на моль
μ	16	Относительная магнитная проницаемость среды	—	—
μ_0	4	Коэффициент трения покоя	—	—
μ_0	16	Магнитная постоянная	Гн/м	генри на метр
μ_a	16	Абсолютная магнитная проницаемость	Гн/м	генри на метр
$\mu_к$	4	Коэффициент трения качения	—	—
$\mu_{ск}$	4	Коэффициент трения скольжения	—	—
ν	9, 10, 13	Количество вещества	моль	моль

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
ν	18, 19, 21	Частота колебаний	Гц	герц
ν	26	Частота волны	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
ν_{kn}	26	Частота излучения при переходе электрона с орбиты k на орбиту n	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
$\nu_{кр}$	26	Частота красной границы фотоэффекта	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
ρ	14	Объемная плотность зарядов	$Кл/м^3$	кулон на метр кубический
ρ	7, 11	Плотность жидкости	$кг/м^3$	килограмм на метр кубический
ρ	9, 10	Плотность вещества	$кг/м^3$	килограмм на метр кубический
ρ	15	Удельное электрическое сопротивление	Ом·м	ом-метр
σ	11	Поверхностное натяжение	Н/м *или* $Дж/м^2$	ньютон на метр *или* джоуль на метр квадратный
σ	12	Механическое напряжение	Па	паскаль
σ	14	Поверхностная плотность зарядов	$Кл/м^2$	кулон на метр квадратный
τ	14	Линейная плотность зарядов	Кл/м	кулон на метр
τ	22	Период полураспада	с	секунда
Φ	16, 22	Магнитный поток (поток вектора магнитной индукции)	Вб	вебер
Φ	25	Световой поток	лм	люмен
φ	3	Угол поворота	рад	радиан
φ	10	Относительная влажность	%	%
φ	14	Потенциал электрического поля	В	вольт
φ	20	Фаза колебаний	рад	радиан
φ	21	Сдвиг фазы между током и ЭДС	рад	радиан
φ	22	Сдвиг фазы между током и напряжением	°	градус
φ_0	20	Фаза колебаний начальная	рад	радиан
ψ	22	Фаза	рад	радиан
Ω	25	Телесный угол	стр	стерадиан
ω	3, 5	Угловая скорость, мгновенная угловая скорость	1/с	радиан в секунду
ω	18, 21, 22	Циклическая (круговая) частота колебаний	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
ω_0	3	Угловая скорость начальная	1/с	радиан в секунду
ω_0	18	Циклическая (круговая) частота колебаний начальная	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
ω_0	20 ⓫	Частота движущегося излучателя	Гц	герц
ω_0	20 ❹, 21	Резонансная частота	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
$\omega_{ср}$	3	Угловая скорость средняя	1/с	радиан в секунду
A	4, 5	Работа	Дж	джоуль
A	13	Работа, совершаемая газом при расширении	Дж	джоуль
A	14	Работа по перемещению заряда	Дж	джоуль
A	15	Работа, совершаемая сторонними силами	Дж	джоуль
A	26	Активность	Бк	беккерель
$A_{вых}$	26	Работа выхода электрона	эВ	электрон-вольт
a	2, 3, 4, 6 ❷	Ускорение, мгновенное ускорение	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
a	6 ❾	Большая полуось орбиты планеты	км	километр
a	7	Расстояние между граничными слоями	м	метр
a	18	Ускорение величины (смещения, силы тока и др.)	—	—
a_τ	3	Тангенциальное ускорение	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
a_N	3	Нормальное (центростремительное) ускорение	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
$a_{ср}$	2	Среднее ускорение	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
B	16, 22	Магнитная индукция	Тл	тесла
B	23	Яркость	$кд/м^2$	кандела на метр квадратный
C	13	Теплоемкость	Дж/К	джоуль на кельвин
C	14, 21	Электрическая емкость	Ф	фарад
c	7	Коэффициент сопротивления среды	—	—
c	13	Удельная теплоемкость	Дж/(К·кг)	джоуль на кельвин-килограмм
c	26, 27	Скорость света	м/с	метр в секунду
D	23 ❹	Оптическая сила зеркала	$м^{-1}$	метр в минус первой степени
D	23 ⓰	Оптическая сила линзы	дптр	диоптрия

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
D	28	Доза излучения поглощенная	Гр	грэй
$D_{экв}$	28	Доза эквивалентная	Зв	зиверт
$D_{эксп}$	28	Доза излучения экспозиционная	Р	рентген
$D_{эф}$	28	Доза эффективная эквивалентная	Зв	зиверт
d	5	Плечо (расстояние от оси вращения до линии действия силы)	м	метр
d	14	Расстояние между пластинами конденсатора	м	метр
d	23 ❹	Расстояние от зеркала до предмета	м	метр
d	23 ❾	Толщина плоскопараллельной пластины	м	метр
d	24	Шаг дифракционной решетки	м	метр
E	4, 6	Энергия механическая	Дж	джоуль
E	5	Энергия вращения	Дж	джоуль
E	12	Модуль упругости (модуль Юнга)	Па	паскаль
E	14	Напряженность электрического поля в вакууме	В/м	вольт на метр
E	25	Освещенность	лк	люкс
E	26	Энергия	эВ	электрон-вольт
E_0	10	Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул	Дж	джоуль
E_k	26	Энергия электрона на k-й орбите	эВ	электрон-вольт
E_n	26	Энергия электрона на n-й орбите	эВ	электрон-вольт
$E_к$	4, 6	Кинетическая энергия	Дж	джоуль
$E_п$	4, 6	Потенциальная энергия	Дж	джоуль
$\mathcal{E}$	15	Электродвижущая сила (ЭДС)	В	вольт
$\mathcal{E}$	21, 22	ЭДС, вырабатываемая генератором	В	вольт
$\mathcal{E}_2$	17	ЭДС, индуцируемая во втором контуре	В	вольт
$\mathcal{E}_i$	17	ЭДС индукции	В	вольт
$\mathcal{E}_L$	17	ЭДС самоиндукции	В	вольт
$\mathcal{E}_m$	17	Амплитуда гармонически изменяющейся ЭДС индукции	В	вольт
$\mathcal{E}_m$	21, 22	Максимальное значение ЭДС	В	вольт
e	26	Заряд электрона	Кл	кулон
F	4, 5, 10, 13, 14, 16, 20	Сила	Н	ньютон
F	14	Сила взаимодействия между электрическими зарядами	Н	ньютон

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
F	23	Фокусное расстояние	м	метр
F_A	7	Выталкивающая (архимедова) сила	Н	ньютон
F_A	16	Сила Ампера	Н	ньютон
$F_и$	4	Сила инерции	Н	ньютон
$F_к$	5	Сила Кориолиса	Н	ньютон
$F_Л$	16	Сила Лоренца	Н	ньютон
$F_{МДС}$	16	Магнитодвижущая сила	А	ампер
$F_т$	4, 6	Сила тяжести	Н	ньютон
$F_{тр}$	4, 6	Сила трения	Н	ньютон
$F_{уп}$	4, 6, 12	Сила упругости	Н	ньютон
$F_{цб}$	5	Центробежная сила	Н	ньютон
$F_{цс}$	5	Центростремительная сила	Н	ньютон
f	10	Абсолютная влажность	$г/м^3$	грамм на метр кубический
f	23	Расстояние от зеркала до изображения	м	метр
g	2, 4, 6, 7, 11, 20	Ускорение свободного падения	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
H	4	Высота над поверхностью Земли	м	метр
H	16	Напряженность магнитного поля	А/м	ампер на метр
H	25	Световая экспозиция	лк·с	люкс-секунда
h	4, 6, 7 ❹, ⓭	Высота подъема тела над поверхностью отсчета	м	метр
h	7 ❿	Высота столба жидкости	м	метр
h	11	Высота жидкости в капиляре	м	метр
h	20	Высота отклонения маятника	м	метр
h	28	Коэффициент риска	—	—
I	15, 16	Сила электрического тока	А	ампер
I	21, 22	Действующее значение силы тока	А	ампер
I	25	Сила света	кд	кандела
I_m	21	Максимальное действующее значение силы тока	А	ампер
$I_{нас}$	26	Ток насыщения	А	ампер
i	21, 22	Мгновенное значение силы тока	А	ампер
i_m	21, 22	Максимальное значение силы тока	А	ампер

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
J	5	Момент инерции тела	кг·м^2	килограмм-метр квадратный
k	4	Коэффициент жесткости	—	—
k	9, 13	Постоянная Больцмана	Дж/К	джоуль на кельвин
k	20	Жесткость пружины	Н/м	ньютон на метр
k	22	Коэффициент трансформации	—	—
k	28	Коэффициент качества ионизирующего излучения	—	—
L	2, 3	Длина, путь	м	метр
L	5	Момент импульса	кг·м/с	килограмм-метр в секунду
L	13	Удельная теплота парообразования	Дж/кг	джоуль на килограмм
L	14 ⓳	Длина цилиндрического конденсатора	м	метр
L	14 ❺, 15, 16 ❽	Длина проводника	м	метр
L	16 ❸	Длина катушки индуктивности	м	метр
L	16, 21	Индуктивность (коэффициент самоиндукции)	Гн	генри
L_Θ	3	Длина окружности		
$L_{\cup AB}$	3	Длина дуги	м	метр
l	12	Длина тела после деформации	м	метр
l	17 ❼, ❽, ❾	Длина провода, коаксиального кабеля, соленоида	м	метр
l	20	Длина маятника	м	метр
l_0	12	Длина тела до деформации	м	метр
M	4	Масса Земли	кг	килограмм
M	5	Момент силы	Н·м	ньютон-метр
M	26	Массовое число (число нуклонов в ядре)	—	—
M_{max}	16	Максимальный магнитный момент	А·м^2	ампер-метр квадратный
$M_я$	26	Масса ядра	кг	килограмм
m	4, 5, 6, 13, 28 ❹	Масса тела	кг	килограмм

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
m	9	Масса вещества	кг	килограмм
m	20	Масса колебательной системы	кг	килограмм
m	28 ❽	Масса воздуха	кг	килограмм
m_0	9, 10	Масса атома (молекулы)	кг	килограмм
m_e	26	Масса электрона	кг	килограмм
m_R	9	Относительная атомная (молекулярная) масса	а.е.м.	атомная единица массы
$m_н$	26	Масса нейтрона	кг	килограмм
$m_{пр}$	5	Приведенная масса	кг	килограмм
$m_{пр}$	26	Масса протона	кг	килограмм
$m_ф$	26	Масса фотона	кг	килограмм
N	4 ❻	Сила нормального давления	Н	ньютон
N	4 ⓳, ㉑	Мощность, мгновенная мощность	Вт	ватт
N	9, 10, 13, 14	Количество частиц	—	—
N	16, 17	Число витков катушки	—	—
N	22	Число витков трансформатора	—	—
N	27 ❹	Число нейтронов в ядре	—	—
N	27 ❾	Число не распавшихся ядер через время t	—	—
N_0	26	Первоначальное число не распавшихся ядер	—	—
N_A	9	Число Авогадро ($6{,}02\,3 \cdot 10^{23}$)	моль$^{-1}$	моль в минус первой степени
$N_{ср}$	4	Средняя мощность	Вт	ватт
n	3	Число оборотов (частота вращения)	с$^{-1}$	секунда в минус первой степени
n	9, 10	Концентрация вещества	м$^{-3}$	метр в минус третьей степени
n	23	Абсолютный показатель преломления среды	—	—
n, k	26	Номера орбит вращения электрона	—	—
n_{21}	23	Относительный показатель преломления	—	—
P	4	Вес тела	Н	ньютон
P	15	Мощность электрического тока	Вт	ватт
P	22	Активная мощность	Вт	ватт

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
P	28	Мощность дозы ионизирующего излучения (поглощенной, эквивалентной, экспозиционной)	Гр/с, Зв/с, Р/с	грей в секунду, зиверт в секунду, рентген в секунду
p	4, 5, 6	Импульс тела	кг·м/с *или* н·с	килограмм-метр в секунду *или* ньютон-секунда
p	7	Давление	Па	паскаль
p	9, 10, 13	Давление газа, парциальное давление	Па	паскаль
p_0	10	Давление насыщенного водяного пара	Па	паскаль
p_0	7	Полное давление в потоке	Па	паскаль
$p_{дин}$	7	Динамическое давление в потоке	Па	паскаль
$p_{ст}$	7	Статическое давление в потоке	Па	паскаль
$p_ф$	26	Импульс фотона	кг·м/с	килограмм-метр в секунду
Q	4	Реакция опоры	Н	ньютон
Q	13	Количество теплоты	Дж	джоуль
Q	15	Теплота, выделяющаяся в проводнике	Дж	джоуль
Q	22	Реактивная мощность	вар	вольт-ампер реактивный
Q	25	Световая энергия (количество света)	лм·с	люмен-секунда
q	13	Удельная теплота сгорания топлива	Дж/кг	джоуль на килограмм
q	14, 15, 16,21,26	Электрический заряд	Кл	кулон
R	4 ❹	Радиус Земли	м (км)	метр (километр)
R	4 ❿, 6	Равнодействующая сил	Н	ньютон
R	10, 13	Молярная (универсальная) газовая постоянная	Дж/(К·моль)	джоуль на кельвин-моль
R	11	Радиус кривизны поверхности жидкости в капилляре	м	метр
R	15, 21	Электрическое сопротивление элементов электрической цепи	Ом	ом
R	22	Активное (омическое) сопротивление	Ом	ом
R	23 ❹	Радиус кривизны поверхности зеркала	м	метр
R	23 ⓰	Радиус кривизны поверхности линзы	м	метр
R	25	Светимость	лм/м^2	люмен на метр квадратный

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
R	26	Постоянная Ридберга ($3{,}29 \cdot 10^{15}$)	$с^{-1}$	секунда в минус первой степени
R_0	15	Электрическое сопротивление проводника при 20°С	Ом	ом
R_0	16	Радиус витка	м	метр
R_1	17	Радиус внутреннего проводника коаксиального кабеля	м	метр
R_2	17	Радиус внешнего проводника коаксиального кабеля	м	метр
r	3, 5	Радиус вращения тела по окружности	м	метр
r	4, 6	Расстояние между телами	м	метр
r	11	Радиус капилляра	м	метр
r	14	Расстояние между зарядами или от заряда до данной точки	м	метр
r	15	Внутреннее сопротивление источника питания	Ом	ом
r	16	Расстояние от проводника до круговой линии магнитной индукции	м	метр
r	25	Расстояние от источника света	м	метр
r_1, r_2	14	Внутренний и внешний радиусы цилиндрического конденсатора	м	метр
r_n	26	Радиус n-й орбиты вращения электрона	м	метр
S	2, 3, 4	Перемещение	м	метр
S	7, 10	Площадь	$м^2$	метр квадратный
S	7 ❾	Поверхность тела, сечение трубы	$м^2$	метр квадратный
S	7 ⓮, ⓯	Площадь соприкосновения слоев текущей жидкости	$м^2$	метр квадратный
S	12	Площадь сечения	$м^2$	метр квадратный
S	14 ❺	Площадь поверхности, содержащей заряды	$м^2$	метр квадратный
S	14 ⓳	Площадь пластины конденсатора	$м^2$	метр квадратный
S	15	Площадь сечения проводника	$м^2$	метр квадратный
S	16	Площадь витка с током	$м^2$	метр квадратный
S	17	Площадь витка катушки индуктивности	$м^2$	метр квадратный
S	22	Полная мощность	В·А	вольт-ампер
S	25	Площадь поверхности сферы	$м^2$	метр квадратный
T	3	Период вращения тела по окружности	с	секунда
T	6	Период обращения планеты вокруг Солнца	ч (сут.)	час (сутки)

Обобщенная таблица величин *(продолжение)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
T	9, 13	Температура (по шкале Кельвина)	К	кельвин
T	18	Период колебаний	с	секунда
T	19, 21	Период волны	с	секунда
t	2, 3, 21, 22, 25, 26	Время	с	секунда
t	9, 15	Температура (по шкале Цельсия)	°С	градус Цельсия
t_0	2, 3	Начальный момент времени	с	секунда
U	14, 15	Напряжение, разность потенциалов	В	вольт
U	22	Действующее значение напряжения переменного тока	В	вольт
U_0	13	Внутренняя энергия молекул идеального газа	Дж	джоуль
$U_з$	26	Запирающее напряжение	В	вольт
u	22	Мгновенное значение напряжения переменного тока	В	вольт
u_m	22	Максимальное значение напряжения переменного тока	В	вольт
υ	2...7	Скорость, мгновенная скорость, линейная скорость	м/с	метр в секунду
υ	18	Скорость изменения величины (смещения, силы тока и др.)	—	—
υ	19, 21	Фазовая скорость	м/с	метр в секунду
υ	24	Скорость распространения световой волны в веществе	м/с	метр в секунду
υ	26	Скорость частицы	м/с	метр в секунду
υ_0	2, 4	Начальная скорость	м/с	метр в секунду
υ_{12}	7	Относительная скорость слоев	м/с	метр в секунду
υ_m	20	Максимальная скорость	м/с	метр в секунду
υ_n	26	Скорость электрона на n-й орбите	м/с	метр в секунду
$\upsilon_{зв}$	20	Скорость звука	м/с	метр в секунду
$\upsilon_и$	20	Скорость перемещения источника звуковой частоты	м/с	метр в секунду
$\upsilon_{кв}$	9	Средняя квадратичная скорость молекул	м/с	метр в секунду
$\upsilon_{ср}$	2	Средняя скорость	м/с	метр в секунду
V	7, 9	Объем тела	$м^3$	метр кубический
V	9, 13	Объем	$м^3$	метр кубический
V	14	Объем, содержащий заряды	$м^3$	метр кубический

Обобщенная таблица величин *(окончание)*

Символ	Раздел	Величина	Единица величины (СИ)	
V	16	Объем однородного магнитного поля	$м^3$	метр кубический
V	25	Спектральная видность	лм/Вт	люмен на ватт
W	14, 15, 16, 20	Энергия	Дж	джоуль
W	19	Поток энергии	Вт	ватт
$W_к$	13	Кинетическая энергия	Дж	джоуль
w	14, 19	Объемная плотность энергии	$Дж/м^3$	джоуль на метр кубический
X	22	Реактивное сопротивление	Ом	ом
X_C	22	Емкостное сопротивление	Ом	ом
X_L	22	Индуктивное сопротивление	Ом	ом
x	18	Значение изменяющейся величины (смещение, сила тока и др.)	—	—
x_m	18	Амплитуда колеблющейся величины	—	—
Z	22	Полное сопротивление	Ом	ом
Z	27	Зарядовое число ядра (число протонов в ядре)	—	—
$Z_Я$	27	Заряд ядра	Кл	кулон

СОДЕРЖАНИЕ

I. МЕХАНИКА

1. Общие понятия 3
2. Кинематика поступательного движения 4
3. Кинематика вращательного и криволинейного движения 6
4. Динамика поступательного движения 8
5. Динамика вращательного движения 12
6. Основные законы механики 14
7. Механика жидкостей и газов 16
8. Элементы релятивистской механики 18

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

9. Общие понятия 20
10. Свойства газов 22
11. Свойства жидкостей 24
12. Свойства твердых тел 26
13. Теплота, энергия и законы термодинамики 28

III. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

14. Электрическое поле 30
15. Электрическое поле в проводниках. Постоянный ток 34
16. Магнитное поле 36
17. Электромагнитная индукция (ЭМИ) 38

IV. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

18. Колебания. Общие понятия 40
19. Волны. Общие понятия и основные свойства 42
20. Механические колебания и волны 44
21. Электромагнитные колебания и волны 46
22. Переменный ток 48

V. ОПТИКА

23. Геометрическая оптика 52
24. Волновая оптика 56
25. Фотометрия 58

VI. АТОМНАЯ ФИЗИКА

26. Элементы квантовой физики 60
27. Элементы ядерной физики 64
28. Биологическое действие ионизирующих излучений (дозиметрия) 66

Обобщенная таблица величин 68

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ (КОНСТАНТЫ)

Константа	Символ	Величина	Единица измерения
Электрическая постоянная	ε_0	$8.85419 \cdot 10^{-12}$	$Ф \cdot м^{-1}$
Заряд протона	q_p	$+1.60219 \cdot 10^{-19}$	Кл
Заряд электрона	e	$-1.60219 \cdot 10^{-19}$	Кл
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$Гн \cdot м^{-1}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1.67492 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя протона	m_p	$1.67251 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя электрона	m_e	$9.10956 \cdot 10^{-31}$	кг
Отношение заряда электрона к его массе	e/m	$1.7588 \cdot 10^{11}$	$Кл \cdot кг^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1.38062 \cdot 10^{-23}$	$Дж \cdot Кл^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6.6262 \cdot 10^{-34}$	Дж·с
Радиус электрона	r_e	$2.81794 \cdot 10^{15}$	м
Скорость света	c	$2.99793 \cdot 10^{8}$	$м \cdot с^{-1}$
Число Фарадея	F	$9.64867 \cdot 10^{4}$	$Кл \cdot моль^{-1}$

ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Приставка	Символ		Множитель
	Международный	Русский	
экса	E	Э	10^{18}
пета	P	П	10^{15}
тера	T	Т	10^{12}
гига	G	Г	10^{9}
мега	M	М	10^{6}
кило	k	к	10^{3}
гекто	h	г	10^{2}
дека	da	да	10

Приставка	Символ		Множитель
	Международный	Русский	
деци	d	д	10^{-1}
санти	c	с	10^{-2}
милли	m	м	10^{-3}
микро	μ	мк	10^{-6}
нано	n	н	10^{-9}
пико	p	п	10^{-12}
фемто	f	ф	10^{-15}
атто	a	а	10^{-18}

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЕДИНИЦАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

А (ампер) × Ом (ом) = В (вольт)
В (вольт) ÷ А (ампер) = Ом (ом)
В (вольт) ÷ Ом (ом) = А (ампер)
А (ампер) × В (вольт) = Вт (ватт)
$А^2$ (ампер^2) × Ом (ом) = Вт (ватт)
$В^2$ (вольт^2) ÷ Ом (ом) = Вт (ватт)
Дж/с (джоуль в секунду) = Вт (ватт)
Кл/с (кулон в секунду) = А (ампер)
А (ампер) × с (секунда) = Кл (кулон)
Ф (фарад) × В (вольт) = Кл (кулон)
Кл (кулон) ÷ В (вольт) = Ф (фарад)
Кл (кулон) ÷ Ф (фарад) = В (вольт)
В (вольт) × Кл (кулон) = Дж (джоуль)
Ф (фарад) × $В^2$ (вольт^2) = Дж (джоуль)

При подготовке этого справочника составитель опиралась на свой многолетний опыт преподавания физики в школе. Пособие успешно использовалось при работе с учениками. Таблично представленный материал обладает наглядностью, быстрее запоминается и воспроизводится, а так же позволяет легко ориентироваться при нахождении необходимой формулы, определения, единицы измерения.

В таблицы включены определения физических величин, формулировки основных законов физики, формулы, необходимые для решения задач, и единицы измерения основных физических величин в системе СИ. Определения физических величин и формулировки физических законов соответствуют научной терминологии.

Данное пособие составлено в соответствии со школьной программой для классов с углублённым изучением курса физики.

Справочник поможет школьнику эффективно подготовиться к уроку, к выпускным экзаменам, ЕГЭ (единому государственному экзамену), к сдаче вступительных экзаменов в средние специальные и высшие учебные заведения. Он будет полезен также учащимся техникумов, СПТУ, студентам первых курсов технических вузов и начинающим учителям физики.

'83 Сург Читай-город РЧ
02.10.2012 ООО "ГРАМОТА"
Физика в таблицах Универсальное справ. пос. для старшекл. и абитур. (м)
9785941200924
Номер 1649468
Код 2104160
ТБК 11-344
Цена 77 руб. 02.10.2012