

ФИЗИКА

ОСНОВНЫЕ ШКОЛЬНЫЕ ФОРМУЛЫ

2007

Сборник содержит формулы из курса общей физики, которые будут полезны учащимся старших классов школ при подготовке к олимпиадам и письменным вступительным экзаменам по физике. Все формулы изложены в компактном виде с небольшими комментариями. Сборник также содержит полезные константы и прочую информацию.

Физические константы.

Название константы.	Обозн.	Значение.	Измерение
Скорость света в вакууме	c	299 792 458	м/с
Элементарный заряд	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9,109534 \cdot 10^{-31}$	кг
Масса покоя протона	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27}$	кг
Атомная единица массы	u	$1,66057 \cdot 10^{-27}$	кг
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34}$	Дж·с
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1,054887 \cdot 10^{-34}$	Дж·с
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23}$	Дж/К
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23}$	моль ⁻¹
Газовая постоянная	R	8,31441	Дж/моль К
Постоянная Фарадея	F	$9,648456 \cdot 10^4$	Кл/моль
Атмосферное давление	P_0	101325	Па
Объем 1 моль идеального газа	V_0	22,41383	м ³ /моль
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	Гн/м
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,854188 \cdot 10^{-12}$	Ф/м
Гравитационная постоянная	G	$6,6732 \cdot 10^{-11}$	Н м ² /кг ²
Ускорение свободного падения	g	9,80665	м/с ²

Система единиц СИ.

- семь основных единиц:

метр **L**, килограмм **M**, секунда **t**, ампер **I**, кельвин **T**, моль **ν**, кандела **I**;

- две дополнительных единицы: радиан истерадиан;

Приставки СИ.

пристав.		поряд.
экса	Э	18
пета	П	15
тера	Т	12
гига	Г	9

пристав.		поряд.
мега	М	6
кило	к	3
гекто	г	2
дека	да	1

пристав.		поряд.
деци	д	-1
санти	с	-2
милли	м	-3
микро	мк	-6

пристав.		поряд.
нано	н	-9
пико	п	-12
фемто	ф	-15
атто	а	-18

Механика.

Кинематика.

Обозн.	Изм.	Смысл
ℓ	м	путь
S	м	перемещение
x	м	координата
t	с	время
v	м/с	скорость
a	м/с ²	ускорение
ω	рад/с	угловая скорость
R	м	радиус
T	с	период
ν	с ⁻¹	частота
ε	рад/с ²	угловое ускорение

Скорость и ускорение.

$$\vec{S} = \Delta \vec{r}, \quad \vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt};$$

Равномерное движение: $\vec{v} = const$

$$\vec{S} = \vec{v}t, \quad x = x_0 + vt;$$

Равноускоренное движение:

$$\vec{a} = const, \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad \vec{S} = \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$$

Вращательное движение.

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}, \quad \vec{v} = [\vec{\omega} \times \vec{R}], \quad \vec{a}_c = [\vec{\omega} \times \vec{v}], \quad \vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \quad \vec{a}_\tau = [\vec{\varepsilon} \times \vec{R}];$$

$$\text{равномерное: } \omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \nu = \frac{1}{T}, \quad v = \omega R, \quad a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R;$$

$$\text{равноускоренное: } \omega = \omega_0 + \varepsilon t, \quad \varphi = \omega t + \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad a_\tau = \varepsilon R,$$

$$v = v_0 + a_\tau t, \quad \ell = v_0 t + \frac{a_\tau t^2}{2};$$

Криволинейное движение.

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \quad \vec{a} = a_\tau \vec{e}_\tau + \omega^2 R \vec{e}_n;$$

Динамика и статика.

Обозн.	Изм.	Смысл
F	Н	сила
p	кг м/с	импульс
a	м/с ²	ускорение
m	кг	масса
v	м/с	скорость
P	Н	вес тела
μ	–	коэфф. трения
g	м/с ²	ускорение свободного падения

Обозн.	Изм.	Смысл
W, E, U	Дж	энергия
A	Дж	работа
N, P	Вт	мощность
t	с	время
J	кг м ²	момент инерции
L	кг · м ² /с	момент импульса
M	Нм	момент силы
ω	рад/с	угловая скорость

Первый закон Ньютона: если $\sum \vec{F} = 0$, то $\vec{v} = const.$

Второй закон Ньютона: $\vec{F}_p = m\vec{a}$ (при $m=const$)

в общем случае: $\vec{F}_p = m\vec{a} + \frac{dm}{dt}\vec{v}$ или в импульсной форме: $\vec{F}_p dt = d\vec{p}$,

Третий закон Ньютона: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Основной закон динамики для неинерциальных систем отчета.

$$\sum \vec{F}_{\text{исо}} + \sum \vec{F}_{\text{нисо}} = m\vec{a}$$

Силы инерции(НИСО)

- 1) Силы инерции – не силы взаимодействия
- 2) Возникают только в НИСО
- 3) Не подчиняются 3му закону Ньютона
- 4) а) если система движется поступательно, то $\vec{F}_{\text{инерц}} = -m\vec{a}$, где \vec{a} -ускорение

НИСО

б) по окружности $\vec{F}_{\text{цб}} = -m\vec{a}_{\text{ц}}$

в) если тело движется относительно НИСО со скоростью v то

$$\vec{F}_{\text{кор}} \perp \vec{v} \quad \vec{F}_{\text{кор}} \perp \vec{\omega} \quad \vec{F}_{\text{кор}} = 2[\vec{\omega} \times \vec{v}] = 2m\vec{v}\omega \sin \alpha \quad \alpha = \vec{v} \wedge \vec{\omega}$$

Направление $\vec{\omega}$ определяем по правилу буравчика: вращаем буравчик по направлению движения НИСО относительно ИСО, поступательное движение буравчика будет направление $\vec{\omega}$

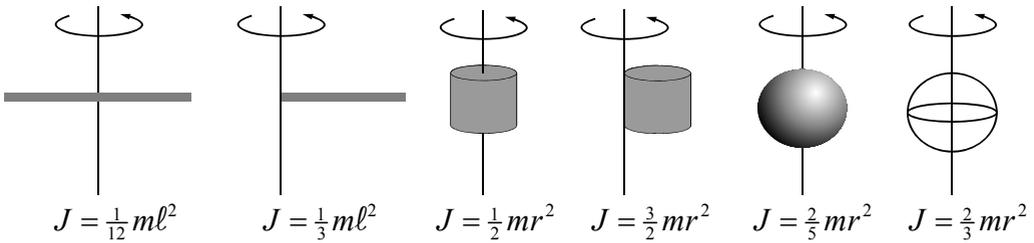
Левая рука: перпендикулярно ладони – составляющая ω (перпендикулярная v), 4палец – скорость, большой палец – сила.

Условие равновесия тел: $\sum \vec{F} = 0$ и $\sum \vec{M} = 0$

Динамика и статика вращательного движения.

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] - \text{момент силы} \quad \vec{L} = J\vec{\omega} = [\vec{r} \times \vec{p}] = mvr \sin \alpha - \text{момент импульса}$$

$$\vec{M} \Delta t = J \Delta \vec{\omega} = \Delta \vec{L}, \quad \text{где } M - \text{момент внешних сил отн. оси вращения}$$



Теорема Гюйгенса-Штейнера: $J_{O_2} = J_{O_1} + (M_1 + M_2)a^2$

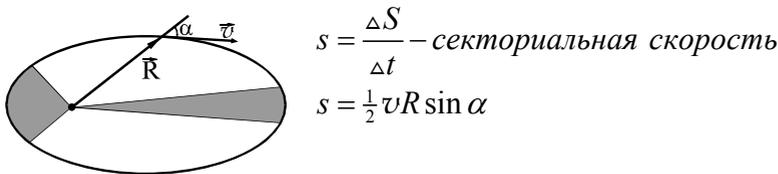


Закон всемирного тяготения.

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad W_{\text{п}} = -G \frac{Mm}{2a} \quad b = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{a}{GM}}$$

Законы Кеплера

1. Каждая планета движется по эллипсу в одном из фокусов которого находится Солнце
2. Радиус вектор планеты за равные промежутки времени заметает равные площади



3. Квадраты времен обращения относятся как кубы больших полуосей их орбит

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM_{\odot}}} R^{3/2}$$

Сила трения: $F_{\text{тр. пок. max}} = F_{\text{тр. ск.}} = \mu N$,

Деформации

$\vec{F}_{\text{упр}} = -k \Delta \vec{x}$ - закон Гука для деформированной пружины.

Закон Гука: $\sigma = E|\varepsilon|$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} - \text{относительное удлинение} \quad \sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S} - \text{механическое напряжение}$$

E — модуль Юнга (продольной упругости)

Работа. Энергия. Мощность.

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{S}) - \text{работа} \quad N = \frac{dA}{dt} - \text{мощность} \quad N = Fv - \text{мощность силы}$$

$$\eta = \frac{A_{\text{полез}}}{A_{\text{получ}}} \quad E_K = \frac{mv^2}{2} \quad E_K = \frac{mv_{\text{ц.м.}}^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} - \text{для твердого тела}$$

$$E_{II} = mgh - \text{потенциальная энергия поднятого над землей тела.}$$

$$E_{II} = \frac{kx^2}{2} - \text{потенциальная энергия пружины}$$

$$E_{\text{мех}} = E_K + E_{II} \quad A_{\text{неконс}} = \Delta E_{\text{мех}}$$

Законы сохранения.

$$\vec{p} = m\vec{v} - \text{импульс тела.}$$

Закон сохранения импульса (ЗСИ)

Импульс замкнутой системы остается величиной постоянной.

Центр масс замкнутой системы изменить свою скорость не может.

Закон сохранения импульса можно применять в реальных системах если:

- сумма внешних сил равна нулю;
- если сумма проекций внешних сил на какое-то направление равна нулю, то проекция импульса системы на это направление сохраняется;
- внешние силы действуют, но они ограничены, а их действие кратковременно и изменением импульса системы можно пренебречь;
- внешние силы ограничены, гораздо меньше внутренних и их действие кратковременно.

Теорема о движении центра масс

Центр масс движется как материальная точка, масса которой равна суммарной массе всей системы, а действующая сила – геометрической сумме всех внешних сил, действующих на систему.

$$\text{Скорость центра масс: } \vec{v}_{\text{ц.м.}} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\sum m_i}$$

Закон сохранения энергии (ЗСЭ)

Механическая энергия замкнутой консервативной системы остается постоянной. $E_{\text{мех}1} = E_{\text{мех}2}$

Закон сохранения момента импульса (ЗС МИ)

Момент импульса замкнутой системы сохраняется.

Момент импульса незамкнутой системы сохраняется в следующих случаях:

- суммарный момент внешних сил равен нулю;
- если момент внешних сил относительно некоторой оси равен нулю, то момент импульса относительно этой оси сохраняется.

Гидростатика, гидродинамика.

Обозн.	Изм.	Смысл
σ	Н/м	коэффициент поверхностного натяжения
v	м/с	скорость жидкости
S	м ²	площадь
ρ	кг/м ³	плотность жидкости

$$\rho = \frac{m}{V} \quad P = \frac{F_{\text{давл}}}{S} \quad P = \rho gh \quad (\text{давление на глубине } h).$$

Сила Архимеда: $F_A = g \rho_{\text{ж}} V_{\text{пчт}}$

Закон Паскаля: давление в одной и той же жидкости на одном уровне одинаково.

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad - \text{ (гидравлический пресс).}$$

Уравнение неразрывности (для ламинарных течений): $\rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2$

Уравнение Бернулли

$$\text{идеальный газ: } \frac{v_1^2}{2} + \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_2}{\rho_2}, \quad \text{где } \gamma = C_p / C_v$$

$$\text{жидкость: } \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + P_1 = \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + P_2$$

Уравнение импульса для потока идеального газа $S_1(P_1 + \rho_1 v_1^2) = S_2(P_2 + \rho_2 v_2^2)$

Число Рейнольдса $Re = \frac{\rho v L}{\mu} \approx \frac{R}{T}$ При $Re < 10$ можно пренебречь R по сравнению с T . И наоборот.

Сила сопротивления, турбулентная (из-за разности давления на переднюю и на заднюю стенку)

$$R = CS \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{, где } S - \text{ площадь максимального поперечного сечения; } \rho - \text{ плотность жидкости;}$$

$$v - \text{ скорость относительно потока; } C - \text{ безразмерный коэф., зависящий от формы:}$$

$$\text{для круглого диска } C = 1.1 \div 1.2; \text{ для шара } C = 0.2 \div 0.4; \text{ для капли } C \approx 0,04$$

Сила вязкого трения, ламинарная

$$T = B \mu v L \quad \text{, } \mu - \text{ вязкость (Па} \cdot \text{с); } v - \text{ скорость отн. потока; } L - \text{ характерный размер тела}$$

$$\text{(для шара - радиус); } B - \text{ безразмерный коэффициент (для шара } 6\pi)$$

Формула Стокса (для шара) $T = 6\pi \mu v r$

Течение Пуазейля $\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q = \pi r \frac{\Delta P}{8 \eta l} R^4$ (ламинарная вязкая жидкость по трубе)

Капиллярные явления

$$F_{\text{п.н.}} = \sigma l \quad W_{\text{п.н.}} = \sigma S \quad - \text{ сила и энергия поверхностного натяжения.}$$

Формула Лапласа: $\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

$$h = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g r} \quad - \text{ высота подъема жидкости в капилляре.}$$

Молекулярная физика. Термодинамика.

Обозн.	Изм.	Смысл
P	Па	давление
V	м^3	объем
T	К	температура
N	–	число молекул
n	м^{-3}	концентрация
m	кг	масса в-ва
m_0	кг	масса молекулы

Обозн.	Изм.	Смысл
μ	кг/моль	молярная масса
ν	моль	кол-во вещества
i	–	кол-во степ. своб.
U	Дж	вн. энергия газа
Q	Дж	кол-во теплоты
C	Дж/кг	теплоёмкость
η	–	КПД

Уравнение теплового баланса: $Q_{отд} = Q_{получ}$

$Q = cm\Delta T$ - теплота на нагрев (охлаждение) $Q = \lambda m$ - плавление (кристаллизация)

$Q = rm$ - парообразование (конденсация) $Q = qm$ - сгорание.

Тепловое расширение $l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$, $V = V_0(1 + \beta\Delta T)$, $\beta = 3\alpha$

Уравнение состояния.

$$n = \frac{N}{V}, \quad \rho = m_0 n, \quad \nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}, \quad \langle E_K \rangle = \frac{i}{2} kT \quad v_{\text{кг}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Длина свободного пробега: $\lambda_{\text{св}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$

$R = \sqrt{v_{\text{кг}} t \lambda}$ — среднее перемещение молекулы за время t

Основное уравнение МКТ: $P = \frac{1}{3} m_0 n \langle v^2 \rangle$

$PV = \frac{m}{\mu} RT$ - уравнение состояния (уравнение Менделеева-Клапейрона)

$P = nkT$ - уравнение состояния в форме Больцмана

Если газ одноатомный – число степеней свободы $i=3$, если двухатомный $i=5$, если трёхатомный или многоатомный $i=6$.

$T = \text{const}$	изотерма	$PV = \text{const}$	закон Бойля-Мариотта
$P = \text{const}$	изобара	$V/T = \text{const}$	закон Гей-Люсака
$V = \text{const}$	изохора	$P/T = \text{const}$	закон Шарля

Закон Дальтона: $P = \sum P_i$ (для давления смеси газов)

Влажность $\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} = \frac{P_{\text{парц}}}{P_n}$ Барометрическая формула: $P_h = P_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}$

Термодинамика.

$$A = P \Delta V \quad - \text{ работа газа.} \quad U = \frac{i}{2} \nu RT$$

Законы термодинамики

1. $\Delta Q = A + \Delta U$ (не существует вечного двигателя первого рода (т.е. с КПД > 100%))
2. нельзя тепло полностью перевести в работу (не сущ. вечного двигателя второго рода (т.е. с КПД = 100%))
3. абсолютный нуль недостижим

$$C = \frac{Q}{m \Delta T} \quad - \text{ удельная теплоёмкость} \quad C_\mu = \frac{Q}{\nu \Delta T} \quad - \text{ молярная теплоёмкость}$$

Изопроцессы

1) **изобарический** ($P = \text{const}$) $Q = A_{\text{газа}} + \Delta U$ $C_P = \frac{R}{\mu} \left(1 + \frac{i}{2}\right)$ $A = \nu R \Delta T$

$$Q = \nu R \Delta T \left(1 + \frac{i}{2}\right)$$

2) **изохорический** ($V = \text{const}$) $Q = \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$ $C_V = \frac{R}{\mu} \frac{i}{2}$ $A = 0$

3) **изотермический** ($T = \text{const}$) $A = \nu RT \ln \frac{V_1}{V_2}$ $C_T \rightarrow \infty$

4) **адиабатический** ($Q = 0$) $PV^\gamma = \text{const}$ - **уравнение Пуассона**

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad \text{а) сосуд Дьюара}$$

б) быстрое ΔV газа

5) **политропический** ($C = \text{const}$) $PV^n = \text{const}$, $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$

Цикл Карно $\eta_{\text{Карно}} = \frac{Q_{\text{получ}} - Q_{\text{отд}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$

Тепловые машины ($T_1 > T_2$)

Холодильная установка (охлаждает камеру)

$$\eta = \frac{Q_2}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \quad \text{где } Q_2 - \text{ тепло, отнятое у камеры, } A - \text{ работа внешних сил}$$

Тепловой насос (нагревает помещение)

$$\eta = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad \text{где } Q_1 - \text{ тепло, отданное помещению, } A - \text{ работа внешних сил}$$

Электричество и магнетизм.

Обозн.	Изм.	Смысл
q	Кл	заряд
E	В/м	напряжённость
φ	В	потенциал
ε	–	диэл. проницаемость
U	В	напряжение
C	Ф	ёмкость
\mathcal{I}	А	ток

Обозн.	Изм.	Смысл
j	А/м ²	плотность тока
R	Ом	сопротивление
\mathcal{E}	В	ЭДС
B	Тл	магн. индукция
H	А/м	напр-ть магн. поля
Φ	Вб	магнитный поток
L	Гн	индуктивность

Электростатика.

Закон сохранения заряда: В замкнутой системе $\sum_i q_i = const$

Закон Кулона:
$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad E = -\frac{d\varphi}{dx} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad W_{II} = \varphi q \quad A = Eq\Delta x = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Принцип суперпозиции :
$$\vec{E}_{рез} = \sum_i \vec{E}_i \quad \varphi_{рез} = \sum_k \varphi_k$$

При равновесии зарядов в проводнике, поле внутри проводника отсутствует и нескомпенсированного заряда внутри нет; силовые линии \perp поверхности проводника, независимо заряжен он или нет; все точки любого проводника обладают одинаковым потенциалом.

Теорема Гаусса: Поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность пропорционален полному заряду заключенному в объеме, охватываемом

этой поверхностью
$$\oint_S \vec{E} dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i q_i$$

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ - теорема о циркуляции.}$$

Теорема Ирншоу: Устойчивое равновесие в электростатическом поле невозможно.

Давление поля

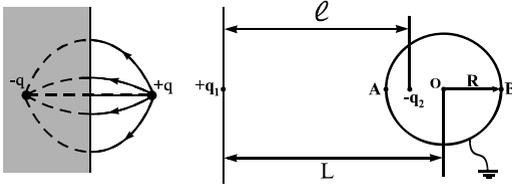
Если по одну сторону от заряженной поверхности напряженность поля равна E_1 , а по другую E_2 , то в направлении от первой области ко второй действует сила,

обусловленная давлением
$$P = \frac{\varepsilon_0}{2} (E_2^2 - E_1^2)$$

$\sigma = \frac{q}{S}$ - поверхностная плотность заряда

плоскость	$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$	$\varphi = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} x $
сфера	$E = \begin{cases} 0, & \text{при } r < R \\ k \frac{q}{r^2}, & \text{при } r \geq R \end{cases}$	$\varphi = \begin{cases} k \frac{q}{R}, & \text{при } r < R \\ k \frac{q}{r}, & \text{при } r \geq R \end{cases}$
шар	$E = \begin{cases} k \frac{qr}{R^3}, & \text{при } r < R \\ k \frac{q}{r^2}, & \text{при } r \geq R \end{cases}$	$\varphi = \begin{cases} k \frac{q(3R^2 - r^2)}{2R^3}, & \text{при } r < R \\ k \frac{q}{r}, & \text{при } r \geq R \end{cases}$

Метод электростатических изображений



Потенциалы А и В равны нулю.

Если шар не заземлен, а заряжен зарядом Q, то к рисунку добавляется заряд $q_3 = Q + q_2$ в точке О

Конденсаторы

$$q = CU \quad W_{\text{э}} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 V = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_2 + q_2 \varphi_1) \quad , \quad \text{если } \varphi_1 = -\varphi_2 \text{ то } W_{\text{п}} = \frac{CU^2}{2}$$

Плоский: $E = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon S} \quad C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$

$$C_{\text{сферический}} = 4\pi \varepsilon_0 \varepsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Последовательное соединение

$$q_{\text{общ}} = q_1 = q_2 = \dots = q_n$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Параллельное соединение

$$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Если конденсатор подключен к батарее, напряжение на нём измениться не может. Если отключен, то неизменным останется его заряд

Электродинамика. Постоянный ток.

$$\mathcal{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = envS \quad \mathcal{I} = \frac{U}{R} \text{ - закон Ома - } j = \frac{\mathcal{I}}{S} = \frac{|\vec{E}|}{\rho} \quad \mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$$

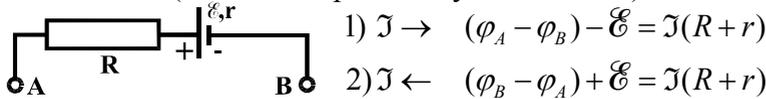
$$R = \rho \frac{\ell}{S}; \quad R = R_0(1 + \alpha \Delta T) \text{ - температурное изменение сопротивления.}$$

Параллельное соединение проводников: $U = \text{const}$, $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$, $\mathcal{I} = \sum \mathcal{I}_i$

Последовательное соединение: $U = \sum U_i$, $\mathcal{I} = \text{const}$, $R = \sum R_i$

$$Q = A = U \Delta q = \mathcal{I} U \Delta t = \mathcal{I}^2 R \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t \text{ - закон Джоуля-Ленца.}$$

Закон Ома (для неоднородного участка цепи)



Первое правило Кирхгофа: Алгебраическая сумма подходящих к узлу токов равна алгебраической сумме выходящих из узла токов

Второе правило Кирхгофа: В замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна сумме падений напряжений на каждом участке контура

Метод узловых потенциалов

Потенциал узла, который непосредственно подходит к отрицательному полюсу источника принять за 0. Составить (n-1) уравнений токов для n узлов. Каждый ток, входящий в уравнение, выразить через разность потенциалов и сопротивление этого участка. Полученные выражения подставить в исходные уравнения токов.

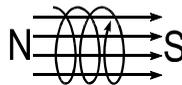
Законы электролиза.

$$m = \frac{\mu}{Z F} \mathcal{I} t, \text{ где } F = N_A e = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}} \text{ ! для 1го типа ионов}$$

Электромагнетизм.

Сила Лоренца $F_L = BqV \sin \alpha$

Сила Ампера $F_A = B\mathcal{I}\ell \sin \alpha$



$$R = \frac{mV \sin \alpha}{Bq} \quad T = \frac{2\pi m}{Bq}$$

$$B_{\text{провод}} = \mu_0 \mu \frac{\mathcal{I}}{2\pi r} \quad B_{\text{центр кольца}} = \mu_0 \mu \frac{\mathcal{I}}{2R} \quad B_{\text{катушка}} = \mu_0 \mu \mathcal{I} \frac{N}{\ell}$$

$$B = \mu_0 \mu H \quad \Phi = BS \cos \varphi \quad L = \frac{\Phi}{\mathcal{I}} \quad \mathcal{E}_i = -B\ell v \sin \alpha \text{ в движущемся проводнике}$$

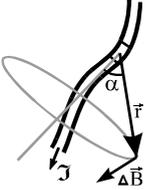
$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta \mathcal{I}}{\Delta t} \quad L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{\ell} S \quad W_{\text{маг}} = \frac{L\mathcal{I}^2}{2} = \frac{(\vec{B}_{\text{соб}} + \vec{B}_{\text{вн}})^2 S \ell}{2\mu_0}$$

Теорема взаимности

Рассмотрим два контура с токами \mathcal{I}_1 и \mathcal{I}_2 . При данном расположении контуров магнитный поток, порождаемый в первом контуре магнитным полем, которое создано током второго контура, равен $\Phi_{1,2} = L_{1,2}\mathcal{I}_2$, обратное соотношение имеет вид:

$$\Phi_{2,1} = L_{2,1}\mathcal{I}_1, \text{ причем } L_{1,2} = L_{2,1}$$

Закон Био-Савара-Лапласа



Элемент провода Δl , по которому течет ток \mathcal{I} , создает в некоторой точке среды магнитное поле, индукция которого обратно пропорциональна расстоянию r до точки наблюдения

$$\Delta B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{\mathcal{I} \Delta l \sin \alpha}{r^2}$$

Теорема о циркуляции

Рассмотрим произвольный замкнутый контур ℓ и зададим на нём направление обхода. Обозначим B_ℓ -проекцию B на направление элемента контура $\Delta \ell$. Составим сумму произведений $\sum B_\ell \Delta \ell$. Эта сумма – циркуляция вектора B по замкнутому контуру ℓ . Циркуляция вектора B по произвольному замкнутому контуру равна произведению $\mu_0 \mathcal{I}$, где \mathcal{I} -ток, пронизывающий контур, по которому берется циркуляция.

Имеет смысл рассматривать только контуры, лежащие в плоскости, перпендикулярной проводнику.

Энергия поля

$$W_{\text{э}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V$$

$$W_{\text{маг}} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} V$$

Переменный ток

$$\mathcal{I}_{\text{max}} = \frac{\mathcal{E}}{Z} \quad Z = Z_R + Z_L + Z_C - \text{полный импеданс последовательной цепи.}$$

$$\begin{matrix} \uparrow U_L \\ \mathcal{I}_L \end{matrix} \quad Z_L = iL\omega \quad \begin{matrix} \overrightarrow{\mathcal{I}_C} \\ \downarrow U_C \end{matrix} \quad Z_C = \frac{1}{i\omega C}$$

$$\mathcal{I}_{\text{действ}} = \frac{\mathcal{I}_m}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{действ}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} - \text{действующие значения.}$$

Трансформаторы

$$e = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_1 = n_1 e \quad \mathcal{E}_2 = n_2 e$$

$$\text{коэфф. трансформации } k = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} \quad \eta = \frac{U_2 \mathcal{I}_2}{U_1 \mathcal{I}_1}$$

Колебания и волны. Оптика. Акустика.

Механические и электромагнитные колебания.

$x = x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$ - уравнение гармонических колебаний.

$$v = \omega x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = -\omega^2 x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad a = -\omega^2 x \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$W = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$ - полная энергия колеблющейся точки.

Принцип Гюйгенса: Каждая точка до которой в некоторый момент времени дошла волна, становится источником вторичных сферических волн. Построив волновые поверхности этих сферических волн к интересующему нас моменту времени и проведя к ним касательную, мы получим фронт волны в этот момент времени.

Система.	Период	Цикл. частота	Уравнение
Математический маятник.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$	$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$	$\ddot{\alpha} + \frac{g}{\ell}\alpha = 0$
Пружинный маятник.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{g}}$	$\omega = \sqrt{\frac{g}{m}}$	$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$
Физический маятник.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgb}}$	$\omega = \sqrt{\frac{mgb}{J}}$	$\ddot{\alpha} + \frac{mgb}{J}\alpha = 0$
Колебательный контур.	$T = 2\pi\sqrt{LC}$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$

Сложение колебаний.

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1), \text{ при } \omega_1 = \omega_2$$

$$T = \frac{2\pi}{\Delta\omega} - \text{период пульсации.}$$

Затухающие колебания.

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f(t) \quad \Omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$Q = \frac{\pi}{\beta T} - \text{добротность} = \frac{\sqrt{mk}}{\kappa} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \kappa - \text{вязкость} \quad k - \text{жесткость}$$

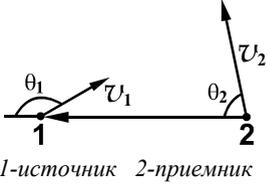
Упругие волны.

$$\text{Скорость звука в газе: } v_{\text{зв}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}, \text{ в твердом теле: } v_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$\lambda = vT, \quad v = \lambda \nu$$

фазовая \mathbf{v} и групповая \mathbf{u} скорости: $v = \frac{\omega}{k}$, $u = \frac{d\omega}{dk}$, $u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}$

Эффект Доплера (акустический)



$$\nu = \nu_0 \frac{1 + \frac{v_2}{u} \cos \theta_2}{1 + \frac{v_1}{u} \cos \theta_1}, \text{ если } v_1 \ll u \text{ и } v_2 \ll u, \text{ то}$$

$$\nu \approx \nu_0 \left(1 - \frac{v_1 - v_2}{u} \cos \theta \right) \quad \theta\text{-угол между } \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \text{ и } \vec{R}_{2,1}$$

Отражение	$\alpha_{\text{пад}} = \alpha_{\text{отр}}$	$\Delta\varphi = \begin{cases} \pi, & \text{при } c_1 < c_2 \\ 0, & \text{при } c_1 > c_2 \end{cases}$
Преломление	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$	$\Delta\varphi = 0$ $\sin \alpha_{\text{пред}} = c_1/c_2$

Оптика.

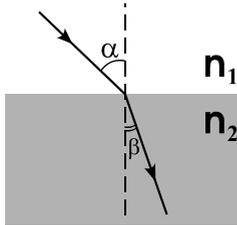
$\Delta = nx$ - оптический путь.

Принцип Ферма: Луч света, проходящий через две точки, идет между ними по такому пути, для прохождения которого требуется наименьшее время по сравнению с другими возможными путями.

$v = \frac{c}{n}$ - скорость света в среде

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ - закон преломления.

$$D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n_{\Delta}}{n_{cp}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



Формула линзы: $\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$

для сферического зеркала $F=R/2$

$\Gamma = \frac{h}{H} = \frac{f}{d}$ - увеличение линзы.

$\frac{1}{F}$ знак "+" если собирающая, "-" если рассеивающая

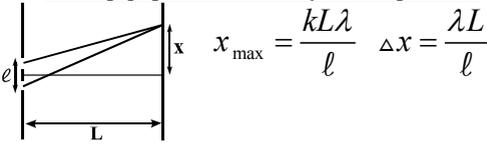
$\frac{1}{d}$ знак "-" если на линзу падает сходящийся пучок света

$\frac{1}{f}$ знак "+" если изображение действительное, "-" если мнимое

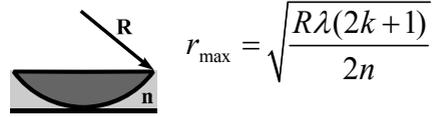
Интерференция: $\Delta_{max} = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad \Delta_{min} = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$

При отражении от оптически более плотной среды ($n_2 > n_1$) и от зеркала фаза колебаний увеличивается на π , при отражении от оптически менее плотной или при преломлении фаза не меняется.

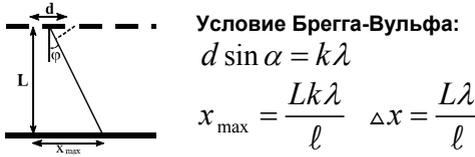
Интерференция на двух отверстиях



Кольца Ньютона



Дифракционная решетка



Теория относительности (СТО).

$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}; \quad \ell = \ell_0 \sqrt{1-v^2/c^2}; \quad p = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}; \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}};$
 $\Delta p = F \Delta t; \quad E^2 = E_0^2 + (pc)^2 \quad S^2 = c^2 t^2 - \ell^2 = inv \quad E_{кин} = E - mc^2$

Преобразования Лоренца

$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}};$
 $u_x = \frac{u'_x + v}{1 + vu'_x/c^2}; \quad u_y = \frac{u'_y \sqrt{1-v^2/c^2}}{1 + vu'_x/c^2}; \quad u_z = \frac{u'_z \sqrt{1-v^2/c^2}}{1 + vu'_x/c^2}.$

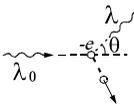
Квантовая физика.

h - постоянная Планка $E = h\nu$ - энергия фотона $p = \frac{h\nu}{c}$ - импульс фотона

Уравнение Эйнштейна

$$\frac{m\nu^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

Эффект Комптона


$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_K(1 - \cos \theta) \quad \lambda_K = \frac{h}{m_e c}$$

Атомная физика.

$$\frac{1}{\lambda} = R_\lambda \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad R_\lambda = 1.1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} - \text{постоянная Ридберга}$$

Серии: Бальмера (видимая) $n_2 = 2$ Лаймана (УФ) $n_2 = 3$ Пашена (ИК) $n_2 = 4$

Боровский постулат квантования орбит $m\nu r = \frac{h}{2\pi} n, \quad n \in \mathbb{Z}$

$$r_B = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2} \quad r = r_B n^2 \quad E = -\frac{Rch}{n^2}$$

Длина волны де Бройля: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu}$

${}^A_Z X$ — обозначение ядра при ядерных реакциях
 $A = Z + N$

Z — число протонов
 N — число нейтронов
 A — массовое число

Альфа распад: ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$

Бета распад: $\beta^- : {}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + \tilde{\nu}$

$\beta^+ : {}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + \nu$

Энергия связи ядра: $\Delta E_{\text{св}} = E_{\text{нуклонов}} - E_{\text{ядра}} = (Zm_p + Nm_n)c^2 - m_{\text{я}}c^2$

$\frac{\Delta E_{\text{св}}}{c^2} = \Delta m$ — дефект массы

Закон радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$

