

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.

| 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 мыссы | 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 |
| санتي | 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.

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

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

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

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

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.

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

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 $\vec{F}_{инерц} = -m\vec{a}$, где \vec{a} -ускорение

НИСО

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

в) если тело движется относительно НИСО со скоростью v то

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

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

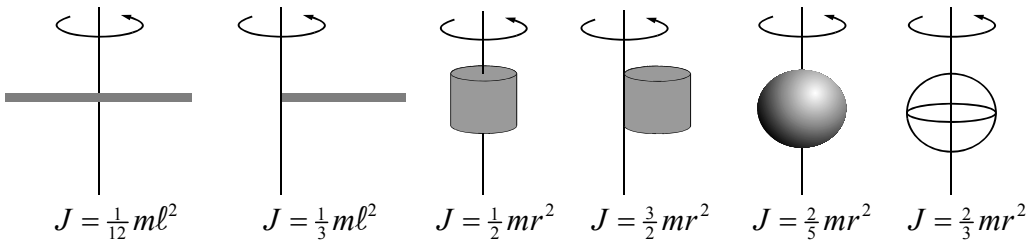
Левая рука: перпендикулярно ладони – составляющая ω (перпендикулярная v), 4палец – скорость, большой палец – сила.

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

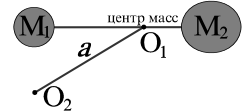
Динамика и статика вращательного движения.

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

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



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

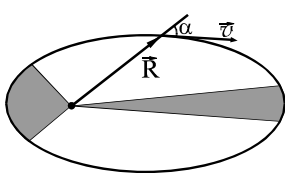


Закон всемирного тяготения.

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

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



$$s = \frac{\Delta S}{\Delta t} - \text{секториальная скорость}$$

$$s = \frac{1}{2} v R \sin \alpha$$

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

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

Закон Гука: $\sigma = E |\epsilon|$

$$\epsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} - \text{относительное удлинение}$$

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S} - \text{механическое напряжение}$$

E — модуль Юнга (продольной упругости)

Работа. Энергия. Мощность.

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

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

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

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

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

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: $F_A = g \rho_{\text{жс}} V_{\text{пчт}}$

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

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

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 $\ell = \ell_0(1 + \alpha \Delta T)$, $V = V_0(1 + \beta \Delta T)$, $\beta = 3\alpha$

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- Клайперона)

$P = nkT$ - 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: $P_h = P_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$

Термодинамика.

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

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

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

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

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 ($T = \text{const}$) $A = \nu R T \ln \frac{V_1}{V_2}$ $C_T \rightarrow \infty$

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

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

б) быстрое ΔV газа

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

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

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

Теорема Ирншоу: Устойчивое равновесие в электростатическом поле невозможно.

Давление поля

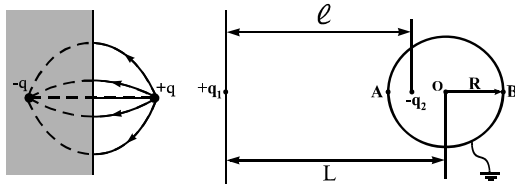
Если по одну сторону от заряженной поверхности напряженность поля равна E_1 , а по другую E_2 , то в направлении от первой области ко второй действует сила,

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.

$$\mathcal{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = envS$$

$$\mathcal{I} = \frac{U}{R} \quad \text{- закон Ома -} \quad j = \frac{\mathcal{I}}{S} = \frac{|\vec{E}|}{\rho}$$

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$$

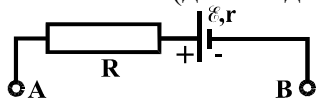
$$R = \rho \frac{\ell}{S}; \quad R = R_0(1 + \alpha \Delta T) \quad \text{- температурное изменение сопротивления.}$$

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

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

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

Закон Ома (для неоднородного участка цепи)



$$\begin{aligned} 1) \mathcal{I} \rightarrow \quad & (\varphi_A - \varphi_B) - \mathcal{E} = \mathcal{I}(R + r) \\ 2) \mathcal{I} \leftarrow \quad & (\varphi_B - \varphi_A) + \mathcal{E} = \mathcal{I}(R + r) \end{aligned}$$

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.

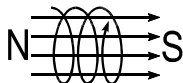
Законы электролиза.

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

Электромагнетизм.

Сила Лоренца $F_L = Bq v \sin \alpha$

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



$$R = \frac{m v \sin \alpha}{B q} \quad T = \frac{2 \pi m}{B q}$$

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

$$B_{\text{катушка}} = \mu_0 \mu \mathcal{I} \frac{N}{\ell}$$

$$B = \mu_0 \mu H \quad \Phi = B S \cos \varphi \quad L = \frac{\Phi}{\mathcal{I}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{в движущемся проводнике}} = -B \ell v \sin \alpha$$

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta \mathcal{I}}{\Delta t} \quad L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{\ell} S$$

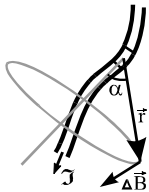
$$W_{\text{маг}} = \frac{L \mathcal{I}^2}{2} = \frac{(\vec{B}_{\text{соб}} + \vec{B}_{\text{вн}})^2 S \ell}{2 \mu_0}$$

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

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

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

Переменный ток

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

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

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

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

Эффект Доплера (акустический)

1-источник 2-приемник

$$\vartheta = \vartheta_0 \frac{1 + \frac{v_2}{u} \cos \theta_2}{1 + \frac{v_1}{u} \cos \theta_1}, \text{ если } v_1 \ll u \text{ и } v_2 \ll u, \text{ то}$$

$$\vartheta \approx \vartheta_0 \left(1 - \frac{v_1 - v_2}{u} \cos \theta \right) \quad \theta\text{-угол между } \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \text{ и } \vec{R}_{2,1}$$

| | | |
|-------------|--|--|
| 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

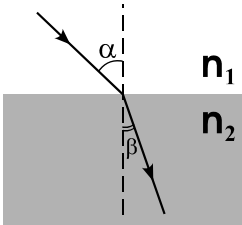
$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ - закон преломления.

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

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

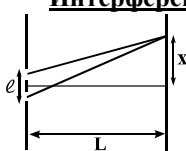
$\frac{1}{d}$ знак "-" если на линзу падает сходящийся пучок света

$\frac{1}{f}$ 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



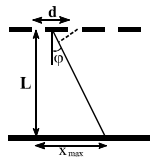
$$x_{max} = \frac{kL\lambda}{\ell} \quad \Delta x = \frac{\lambda L}{\ell}$$

Кольца Ньютона



$$r_{max} = \sqrt{\frac{R\lambda(2k+1)}{2n}}$$

Дифракционная решетка



Условие Брегга-Вульфа:

$$d \sin \alpha = k\lambda$$

$$x_{max} = \frac{Lk\lambda}{\ell} \quad \Delta x = \frac{L\lambda}{\ell}$$

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

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}};$$

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + vu'_x/c^2}; \quad u_y = \frac{u'_y \sqrt{1-v^2/c^2}}{1 + vu'_x/c^2}; \quad u_z = \frac{u'_z \sqrt{1-v^2/c^2}}{1 + vu'_x/c^2}.$$

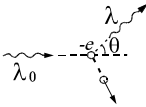
Квантовая физика.

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: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu}$

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

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

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

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

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

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

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

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

