

Учебный центр при МГТУ им. Н.Э.Баумана

ФИЗИКА



ПОСОБИЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР при
МОСКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ имени Н.Э. БАУМАНА
«ОРИЕНТИР»

**В.И. ВАСЮКОВ,
О.С. ЕРКОВИЧ, Г.В. ПОДГУЗОВ**

ФИЗИКА

**Основные формулы, законы.
Размерность, единицы измерения
физических величин**

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ

Издание пятое

Москва

2006

Васюков В.И., Еркович О.С., Подгузов Г.В. Физика. Основные формулы, законы. Размерность, единицы измерения физических величин. Справочное пособие для поступающих в вузы. М.: Ориентир, 2006. — 64 с.

Пособие предназначено для подготовительных отделений и курсов, а также для самостоятельной подготовки к вступительным экзаменам по физике. Может быть использовано в школьных физических кружках, полезно и студентам-первокурсникам, изучающим физику.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
Введение	6
Механика.....	9
Кинематика материальной точки. Основные понятия	9
Силы.....	10
Статика.....	12
Динамика материальной точки.....	13
Работа и энергия.....	14
Движение планет и искусственных спутников Земли (ИСЗ)	15
Механика жидкости	16
Элементы специальной (частной) теории относительности.....	17
Основы молекулярной физики и термодинамики.....	18
Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов.....	19
Влажность воздуха.....	20
Основы термодинамики.....	21
Изменение агрегатного состояния вещества.....	22
Жидкости.....	23
Тепловое расширение	23
Электродинамика.....	24
Электростатика.....	24
Постоянный электрический ток.....	27
Электрический ток в электролитах (законы Фарадея).....	29
Магнитное поле	29
Электромагнитная индукция.....	30
Колебания и волны	31
Механические и электромагнитные колебания.....	31
Переменный электрический ток	32
Волны.....	35
Оптика.....	37
Законы отражения и преломления света	37
Фотометрия.....	38
Интерференция света.....	39
Дифракция света.....	40
Физика атомного ядра и элементарных частиц	40
Квантовая природа излучения	40
Теория атома водорода по Бору.....	41
Радиоактивность	42
Энергия связи атомных ядер.....	43
Ядерные реакции	44

Приложения.....	45
1. Основные единицы физических величин в системе СИ.....	45
2. Производные единицы физических величин в системе СИ.....	47
3. Некоторые внесистемные единицы и их соотношение с единицами СИ.....	55
4. Астрономические величины.....	56
5. Физические постоянные.....	56
6. Физические свойства некоторых веществ.....	57
6.1. Плотность при нормальных условиях.....	57
6.2. Скорость звука в жидкостях, газах, твердых изотропных телах.....	58
6.3. Удельная теплоемкость.....	58
6.4. Модуль упругости (модуль Юнга).....	58
6.5. Температура плавления твердых тел.....	58
6.6. Температура парообразования.....	59
6.7. Удельная теплота парообразования.....	59
6.8. Удельная теплота плавления.....	59
6.9. Удельная теплота сгорания.....	59
6.10. Коэффициент теплового расширения твердых тел.....	59
6.11. Диэлектрическая проницаемость.....	59
6.12. Удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления металлов.....	60
6.13. Относительная магнитная проницаемость различных веществ.....	60
6.14. Работа выхода электронов из металла.....	60
6.15. Температура перехода в сверхпроводящее состояние некоторых металлов.....	60
6.16. Показатель преломления газов.....	61
6.17. Показатель преломления твердых тел и жидкостей.....	61
Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.....	63

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пятое издание данного пособия переработано, дополнено и полностью соответствует программе курса физики для поступающих в вузы. В пособии в концентрированной форме изложены основные законы физики.

Основной целью пособия является оказание помощи слушателям подготовительных курсов при решении задач на семинарских занятиях, а также при выполнении домашних заданий. Неоценимую помощь пособие окажет слушателям и при рассмотрении теоретических вопросов по конкретному разделу физики. Однако ошибочно было бы думать, что по этому пособию можно изучать физику. Пособие адресовано тем, кто уже знаком с физикой и обращается к нему, чтобы освежить свою память, при этом, не перегружая ее избытком фактических данных.

В предлагаемом пособии учтены современные требования к стандартизации и унификации терминологии, обозначениям и единицам измерения физических величин, а также приведены определения основных и производных единиц физических величин в системе СИ.

Справочные данные дополнены рядом ранее опущенных тем и в настоящее время охватывают все разделы физики.

В конце пособия приведены вспомогательные табличные данные физических величин, необходимых при решении задач.

Использование пособия предполагает знакомство с элементами высшей математики в объеме школьного курса.

Пособие рассчитано на слушателей подготовительных отделений и курсов вузов, школьников, учащихся ПТУ, техникумов. Оно может быть использовано абитуриентами при самостоятельной подготовке к приемным экзаменам в вузы и теми, кто интересуется физикой и занимается самообразованием.

ВВЕДЕНИЕ

Физика – наука, которая изучает свойства окружающего нас мира, строение и свойства материи, устанавливает наиболее общие фундаментальные законы взаимодействия и движения различных форм материи.

Материя – философская категория для обозначения объективной реальности, которая отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них. С точки зрения физики мир есть движущаяся материя, существующая в пространстве и во времени.

Пространство – философская категория для определения протяженности и порядка расположения одновременно существующих предметов.

Время – философская категория для определения длительности и последовательности событий в природе.

Физика оперирует с понятием «**величина**», которому придается смысл характеристики измеряемых свойств объектов материального мира.

Измеряемые качества, признаки или свойства называются **физическими величинами**.

Физические законы – устойчивые, повторяющиеся во множестве опытов связи между величинами, присущие самой природе явлений. Физические законы выражаются в виде математических соотношений между величинами.

Каждая физическая величина представляет собой произведение численного значения на единицу измерения:

физическая величина =

= численное значение × единица измерения.

Таким образом, выражение напряжение = 220 вольт означает, что измеренное напряжение составляет двухсот двадцати кратное повторение вольта.

Для представления физических величин используются специальные символы – обозначения величин (время t , работа A и т.д.). Квадратные скобки [], содержащие обозначение величины, обозначают единицу измерения величины. Например, выражение $[U] = В$ читается следующим образом: единица измерения напряжения равна вольту.¹

Фигурные скобки { }, содержащие обозначение величины, означают численное значение величины. Например, выражение $\{U\} = 220$ читается следующим образом: численное значение напряжения равно 220.

¹ Неправильно заключать в квадратные скобки единицу измерения, например [В], хотя такая запись встречается весьма часто.

Поскольку каждое значение величины представляет собой произведение численного значения на единицу измерения, для приведенного выше примера получается:

$$U = \{U\} \cdot [U] = 220 В.$$

Между численным значением и единицей измерения физической величины при написании необходимо оставлять интервал. Например: $U = 220 В$, $R = 50 Ом$, $A = 25 Дж$.

Исключение составляют обозначения единиц: градус (°), минута (') и секунда ("). Например: $\alpha = 22^{\circ}30'5''$.

Размерность физической величины устанавливает ее связь с основными величинами. Она представляет собой произведение степеней размерности основных величин.

В настоящее время в физике применяются семь основных величин, для измерения которых используются основные единицы (табл. 1), принятые в 1960 г. единой Международной системой единиц. На всех языках мира эта система получила сокращенное название **СИ**, а ее единицы называются **единицами СИ**. Например, размерность² ($\dim$) скорости определяется как

$$\frac{\text{перемещение}}{\text{время}}, \dim v = L \cdot T^{-1}.$$

Все остальные единицы Международной системы СИ называются производными единицами СИ. Производные единицы СИ представляют собой произведения степеней основных единиц, не содержащих численных коэффициентов. Более подробно о системе единиц рассказано в приложении пособия.

Таблица 1

Основные величины и единицы СИ

Величина			Единица СИ	
Наименование	Обозначение	Размерность $\dim$	Наименование	Обозначение
Длина	ℓ	L	метр	м
Время	t	T	секунда	с
Масса	m	M	килограмм	кг
Электрический ток	I	I	ампер	А
Температура	T	Θ	кельвин	К
Количество вещества	n	N	моль	моль
Сила света	I	J	кандела	кд

² Необходимо строго различать понятия «размерность» и «единица измерения». Часто единицу измерения ошибочно называют размерностью.

Единицы Международной системы при практическом использовании часто оказываются слишком большими или слишком малыми, поэтому с помощью особых приставок (табл. 2) могут быть образованы десятичные кратные и дольные единицы, если это не запрещено в отдельных случаях.

Таблица 2

Приставки производных единиц СИ

Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}
гекто	г	10^2	санتي	с	10^{-2}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
пета	П	10^{15}	фемто	ф	10^{-15}

В указанных обозначениях (табл. 1) размерность произвольной величины имеет вид $L^\alpha M^\beta T^\gamma$ (α, β и γ могут быть как положительными, так и отрицательными, в частности, они могут равняться нулю). Эта запись означает, что при увеличении единицы длины в n_1 раз единица данной величины увеличится в n_1^α раз (соответственно число, которым выражается значение величины в этих единицах, уменьшится в n_1^α раз); при увеличении единицы длины в n_2 раз единица данной величины увеличится в n_2^β раз и, наконец, при увеличении единицы длины в n_3 раз единица данной величины увеличится в n_3^γ раз.

Поскольку физические законы не зависят от выбора единиц измерения физических величин, размерности обеих частей уравнений, выражающих эти законы, должны быть одинаковы. Это условие может быть использовано, во-первых, для проверки правильности полученных физических соотношений и, во-вторых, для установления размерности физических величин.

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Основными параметрами механического движения являются:

$\vec{r}$ – радиус-вектор материальной точки;

$\Delta\vec{r}$ – элементарное перемещение материальной точки за промежуток времени Δt ;

ΔS – путь, пройденный точкой за промежуток времени Δt ;

$\vec{v}$ – скорость материальной точки.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}' = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \dim \vec{v} = L \cdot T^{-1},$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ – средняя скорость за промежуток времени } \Delta t;$$

$\vec{a}$ – ускорение материальной точки.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}' = \vec{r}'', \quad \dim \vec{a} = LT^{-2}, \quad [\vec{r}] = \text{м}, \quad [\vec{v}] = \text{м/с}, \quad [\vec{a}] = \text{м/с}^2.$$

Равномерное прямолинейное движение

$$\vec{a} = 0, \quad \vec{v} = \text{const}, \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t.$$

Равноускоренное прямолинейное движение

$$\vec{a} = \text{const}, \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \text{ и } \vec{v}_0 \parallel \vec{a}.$$

Связь отрезка пути S (модуля перемещения $\Delta\vec{r}$), пройденного телом, совершающим равноускоренное прямолинейное движение, с его скоростью:

$$v^2 = v_0^2 + 2aS.$$

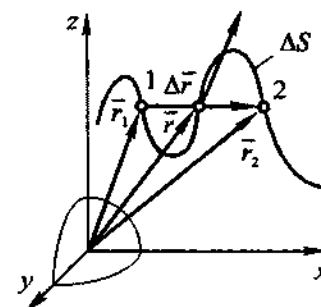
В общем случае путь – это расстояние, пройденное точкой вдоль траектории. Длина траектории l , путь S и перемещение $\Delta\vec{r}$ связаны неравенством

$$|\Delta\vec{r}| \leq l \leq S.$$

Если тело двигалось прямолинейно, не изменяя направления движения, то

$$|\Delta\vec{r}| = l = S.$$

Если направление движения (направление скорости) изменялось, и какие-то участки траектории были пройдены неоднократно, то даже при прямолинейном движении $|\Delta\vec{r}| < l < S$!



Равномерное движение по окружности

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \text{const}, \quad \omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T},$$

где $\Delta \varphi$ – изменение угла поворота за время Δt ; ω – угловая скорость, $\text{с}^{-1} = \text{рад/с}$; T – период вращения, с; ν – частота, вращения, с^{-1} .

Связь между линейной и угловой скоростями

$$v = \omega R,$$

где R – расстояние от оси вращения, v – линейная скорость.

Центростремительное (нормальное) ускорение

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \omega v.$$

Тангенциальное (касательное) ускорение

$$a_t = \varepsilon R.$$

Равноускоренное движение по окружности

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \text{const}, \quad \omega = \omega_0 + \varepsilon t, \quad \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

где ε – угловое ускорение; φ – угол поворота или угловое перемещение; φ_0 – начальное угловое перемещение; ω_0 – начальная угловая скорость.

СИЛЫ

Сила всемирного тяготения (гравитационная сила)

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad \dim F = MLT^{-2}, \quad [F] = \text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 = \text{Н},$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ – гравитационная постоянная; m_1 и m_2 – массы материальных точек; r – расстояние между точками.

Сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$, $\vec{g} = \frac{\vec{g}_0}{(1+h/R_3)^2}$, $g_0 = \frac{GM}{R_3^2}$,

где $\vec{g}$, $\vec{g}_0$ – ускорение свободного падения на высоте h от поверхности Земли и вблизи нее; R_3 – радиус Земли; M – масса Земли.

Вес тела – сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес, находясь в поле сил тяготения Земли.

Сила упругости

пружины

$$F = -kx;$$

стержня, закрепленного на одном конце и свободного на другом

$$\frac{F}{L} = E \frac{l-l_0}{l_0} = E \frac{\Delta l}{l_0};$$

здесь x – перемещение конца стержня (пружины); k – коэффициент упругости, Н/м; S – площадь поперечного сечения тела, м^2 ; E – модуль Юнга, Н/м²; $l-l_0$ – абсолютное удлинение тела, м.

Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где N – сила нормального давления; μ – коэффициент трения скольжения.

Сила Архимеда (выталкивающая сила)

$$\vec{F} = -\rho V \vec{g},$$

где ρ – плотность жидкости (газа), $\text{кг}/\text{м}^3$; V – объем вытесненной жидкости (газа), м^3 .

Сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов q_1 и q_2 в среде (закон Кулона)

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}, \quad \dim q = IT, \quad [q] = A \cdot c = \text{Кл},$$

здесь $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная; ε – диэлектрическая проницаемость среды; r – расстояние между зарядами.

Сила, действующая на электрический заряд q , помещенный в электрическое поле с напряженностью $\vec{E}$

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad \dim E = MLT^{-1}T^{-1}, \quad [q] = \text{Кл}, \quad [E] = \text{В/м}.$$

Сила электростатического взаимодействия между обкладками плоского конденсатора

$$F = \frac{q^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon S},$$

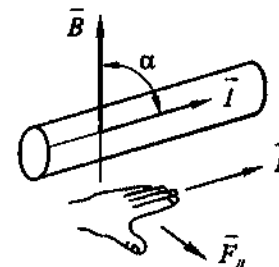
где q – заряд конденсатора, S – площадь его обкладок, ε – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками.

Сила, действующая на прямой проводник с током в однородном магнитном поле (закон Ампера)

$$F = I l B \sin \alpha,$$

где I – сила тока в проводнике, А; l – длина проводника; B – индукция магнитного поля, Тл; α – угол между направлением тока в проводнике и силовой линией индукции магнитного поля.

Направление силы Ампера определяется правилом левой руки.



Сила Лоренца

$$\vec{F} = qvB \sin \alpha, \text{ в векторной форме } \vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}],$$

где q – электрический заряд; v – скорость заряда; α – угол между скоростью $\vec{v}$ и силовой линией индукции магнитного поля $\vec{B}$.

Сила, действующая на заряд q , движущийся со скоростью $\vec{v}$ в электрическом поле с напряженностью $\vec{E}$ и магнитном поле с индуктивностью $\vec{B}$.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}]$$

Сила взаимодействия прямых бесконечно длинных проводников с током в магнитном поле

$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi r},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды; I_1 и I_2 – токи в проводниках; r – расстояние между проводниками; l – длина взаимодействующих проводников.

Момент силы относительно неподвижной точки

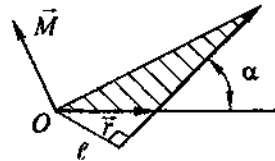
$$\vec{M} = [\vec{r}\vec{F}],$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный из неподвижной точки O в точку приложения силы $\vec{F}$.

Модуль момента силы

$$M = rF \sin \alpha = Fl, \quad [M] = \text{Н} \cdot \text{м},$$

где $l = r \sin \alpha$ – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения).



СТАТИКА

Для равновесия твердого тела, которое может совершать вращательное движение около закрепленной оси, необходимо, чтобы выполнялось условие $\sum_{i=0}^n M_i = 0$. В зависимости от того, по часовой стрелке или

против нее силы вращают твердое тело, моментам сил приписывают знаки соответственно минус или плюс.

Для равновесия твердого тела в инерциальной системе отсчета, кроме вышеприведенного условия, необходимо, чтобы равнодействующая всех приложенных к нему сил была равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

Этому уравнению эквивалентна система уравнений для проекций векторов сил на выбранные координатные оси:

$$\sum_{i=1}^n (\vec{F}_i)_x = 0, \quad \sum_{i=1}^n (\vec{F}_i)_y = 0, \quad \sum_{i=1}^n (\vec{F}_i)_z = 0.$$

Радиус-вектор $\vec{r}_c$ центра масс системы материальных точек определяется по формуле

$$\vec{r}_c = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{m},$$

где m_i – масса i -ой материальной точки; $m = \sum m_i$ – масса системы; $\vec{r}_i$ – радиус-вектор i -ой материальной точки.

Декартовы координаты центра масс равны проекциям $\vec{r}$ на координатные оси:

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{m}; \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{m}; \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{m}.$$

ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Основное уравнение динамики материальной точки (*второй закон Ньютона*)

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{p}',$$

где $\vec{p} = m\vec{v}$ – импульс материальной точки, кг·м·с⁻¹.

Импульс силы $\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$, $[\vec{F}\Delta t] = \text{Н} \cdot \text{с}$.

Движение материальной точки по окружности

$$ma_n = F_n,$$

где F_n – проекция равнодействующей приложенных к точке сил на нормаль к скорости; $a_n = \omega^2 R = \omega v = v^2/R$ – нормальное ускорение;

$$ma_t = F_t,$$

где F_t – проекция равнодействующей приложенных к точке сил на направление скорости; $a_t = \varepsilon R$ – тангенциальное (касательное) ускорение.

Гармонические колебания материальной точки

$$F = -kx = -m\omega^2 x,$$

где x – смещение (координата) материальной точки от положения равновесия; $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$ – циклическая частота.

Закон сохранения импульса для замкнутой системы

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}.$$

РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

Работа, совершаемая постоянной силой

$$A = FS \cos \alpha = \vec{F} \vec{S},$$

где α – угол между направлениями силы и перемещения.

Работа, совершаемая переменной силой на перемещении S

$$A = \int_s \vec{F} d\vec{S} = \int_s F_s dS = \int_s F \cos \alpha dS, [A] = \text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м},$$

где F_s – проекция силы на направление перемещения.

Мгновенная мощность

$$N = dA/dt \text{ или } N = \vec{F} \vec{v} = Fv \cos \alpha, [N] = \text{Дж} \cdot \text{с}^{-1} = \text{Вт}.$$

Кинетическая энергия материальной точки

$$T = mv^2/2.$$

Связь изменения кинетической энергии с работой приложенной силы

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли на высоту h ($h \ll R_3$, где R_3 – радиус Земли)

$$\Pi = mgh.$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга

$$\Pi = -Gm_1m_2/r.$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух шаров массами m_1 и m_2

$$\Pi = -Gm_1m_2/R,$$

где R – расстояние между центрами шаров.

Работа сил тяготения в поле тяготения Земли

$$A = GmM \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

где m – масса тела; M – масса Земли; r_1 и r_2 – расстояния от центра Земли до начальной и конечной точек перемещения тела.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела

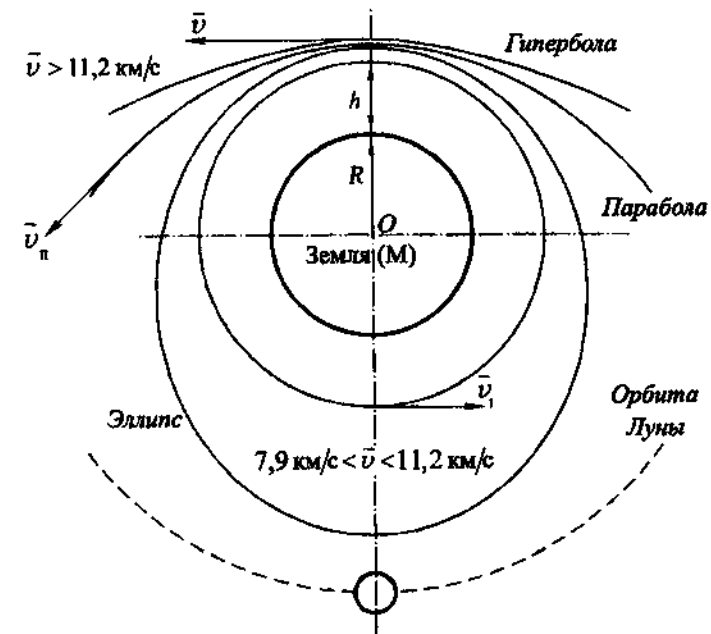
для пружины $\Pi = \frac{kx^2}{2}, \quad A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2},$

для стержня $\Pi = \frac{1}{2} \frac{ES}{l_0} (l - l_0)^2 = \frac{1}{2} \frac{ES}{l_0} \Delta l^2.$

Закон сохранения механической энергии для консервативной системы $T + \Pi = E = \text{const},$

где E – полная механическая энергия системы.

ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ И ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ (ИСЗ)



Скорость движения ИСЗ по круговой орбите на высоте h над поверхностью Земли

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}.$$

Первая космическая скорость (при $h \ll R$, так что $h \approx 0$)

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}} = 7.9 \cdot 10^3 \text{ м/с},$$

где $M = 5.96 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ – масса Земли.

Вторая космическая скорость (скорость, позволяющая преодолеть поле сил тяготения Земли)

$$v_{II} = \sqrt{2}v_1 = 11.2 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ

Гидростатическое давление столба жидкости на глубине h

$$P = \rho gh, \quad [P] = \text{Н/м}^2 = \text{Па},$$

где ρ – плотность жидкости.

Закон Архимеда

$$\vec{F}_A = -m_{\text{ж}} \vec{g},$$

где $\vec{F}_A$ – выталкивающая сила, действующая со стороны неподвижной жидкости (газа) на погруженное в нее тело; $m_{\text{ж}}$ – масса вытесненной телом жидкости.

Если жидкость однородна,

$$m_{\text{ж}} = \rho V_{\text{погр}},$$

где $V_{\text{погр}}$ – объем вытесненной телом жидкости, ρ – ее плотность.

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости

$$Sv = \text{const},$$

где S – площадь поперечного сечения трубки тока жидкости; v – скорость течения жидкости.

Уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const},$$

где P – статическое давление жидкости для определенного сечения трубки тока; v – скорость жидкости для этого же сечения; h – высота, на которой расположено сечение.

Формула Торичелли, позволяющая определить скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом широком сосуде,

$$v = \sqrt{2gh},$$

где h – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в сосуде.

Связь между уровнями и плотностями жидкостей в сообщающихся сосудах

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1},$$

где h_1 и h_2 – соответственно уровни несмешивающихся жидкостей относительно границы раздела жидкостей; ρ_1 и ρ_2 – плотности жидкостей.

Если $\rho_1 = \rho_2$, то $h_1 = h_2$, т.е. однородные жидкости устанавливаются в сообщающихся сосудах на одинаковом уровне.

ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ (ЧАСТНОЙ) ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Преобразования Лоренца

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

Предполагается, что система отсчета K' движется со скоростью v в положительном направлении оси x системы отсчета K , причем движения осей x' и x совпадают по направлению, а оси y' и y , z' и z параллельны; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения света в вакууме. При $t = t' = 0$ начала координат систем отсчета K и K' совпадают.

Релятивистское замедление времени

$$\tau' = \tau_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

где τ_0 – промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке, отсчитанный движущимися вместе с телом часами в системе отсчета K ; τ' – промежуток времени между теми же событиями, отсчитанный покоящимися часами.

Релятивистское (Лоренцево) сокращение длины

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

где l_0 – длина стержня (стержень расположен вдоль оси Ox), измеренная в системе отсчета, относительно которой стержень покоится (собственная длина); l – длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой он движется со скоростью v .

Релятивистский закон сложения скоростей

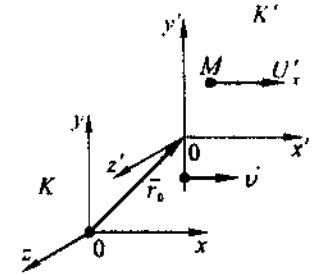
$$U_x = \frac{U'_x + v}{1 + vU'_x/c^2},$$

где U_x – проекция абсолютной скорости тела (скорости тела относительно системы K) на ось x ; U'_x – проекция относительной скорости тела (скорости тела относительно системы K') на ось x' .

Масса релятивистской частицы и релятивистский импульс

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}},$$

где m_0 – масса покоя.



Основной закон релятивистской динамики

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где $\vec{p}$ – релятивистский импульс частицы.

Полная и кинетическая энергия релятивистской частицы

$$E = mc^2 = m_0c^2 + T, \quad T = (m - m_0)c^2.$$

Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2, \quad pc = \sqrt{T(T + 2m_0c^2)}.$$

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Масса молекулы (атома)

$$m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} M_r, \quad [m_0] = \text{кг},$$

где M_r – относительная молекулярная (атомная) масса вещества;

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}},$$

где $m_{0c} = 1,995 \cdot 10^{-26}$ кг – масса атома углерода.

В настоящее время за единицу атомной массы принимают 1/12 массы атома углерода, 1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг, что практически совпадает с массой атома водорода.

Число структурных элементов N (молекул, атомов) в любом теле

$$N = \nu N_A = \frac{m N_A}{M},$$

где ν – число молей в веществе массой m ; $M = M_r \cdot 10^{-3}$ (кг/моль) – масса моля, или молярная масса вещества; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число молекул в моле, *постоянная Авогадро*.

Плотность вещества

$$\rho = \frac{m_0 N}{V} = n m_0,$$

где V – объем вещества; $n = N/V$ – концентрация частиц, м⁻³.

Если принять, что молекула (атом) имеет форму шарика, то его ра-

$$\text{диус } r = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho N_A}}.$$

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2, \quad \text{или } pV = \frac{2}{3} N \left(m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 / 2 \right) = \frac{2}{3} N \bar{E},$$

$$\text{или } pV = \frac{1}{3} N m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2 = \frac{1}{3} m \langle v_{\text{кв}} \rangle^2,$$

где p – давление газа; V – объем; $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ – средняя квадратичная скорость молекул; $\bar{E}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы; n – концентрация молекул; m_0 – масса одной молекулы; $m = N m_0$ – масса газа; N – число молекул в объеме V газа.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT,$$

где $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – *постоянная Больцмана*;

$R = 8,31$ Дж/(моль·К) – *молярная газовая постоянная*.

Скорость молекул

наиболее вероятная

$$v_{\text{в}} = \sqrt{2RT/M} = \sqrt{2kT/m_0};$$

средняя квадратичная

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{3RT/M} = \sqrt{3kT/m_0};$$

средняя арифметическая

$$\langle v \rangle = \sqrt{8RT/\pi M} = \sqrt{8kT/\pi m_0}.$$

Средняя кинетическая энергия

приходящаяся на одну степень свободы молекулы $\bar{E} = kT/2$;

приходящаяся на все степени свободы молекулы

(полная энергия молекулы) $E = ikT/2$;

поступательного движения молекулы

$$E_{\text{п}} = 3kT/2;$$

здесь i – число степеней свободы молекулы; T – термодинамическая температура, К.

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева - Клапейрона)

$$pV = mRT/M,$$

где m – масса газа.

Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс)

$$m = \text{const}, \quad T = \text{const}, \quad pV = \text{const}.$$

Закон Гей-Люссака (изобарический процесс)

$$m = \text{const}, \quad p = \text{const}, \quad V = V_0(1 + \beta t), \text{ или}$$

$$V = V_0 \beta T, \text{ или } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ или } \frac{V}{T} = \text{const}.$$

Закон Шарля (изохорный процесс)

$$m = \text{const}, \quad V = \text{const}, \quad p = p_0(1 + \alpha t_0), \text{ или}$$

$$p = p_0 \alpha T, \text{ или } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ или } \frac{p}{T} = \text{const};$$

здесь t_0 – температура по шкале Цельсия, $T = t_0 + 273$; V_0 и p_0 – соответственно объем и давление при 0°C ; $\beta = 1/273 \text{ K}^{-1}$ – коэффициент объемного расширения; $\alpha = 1/273 \text{ K}^{-1}$ – термический коэффициент давления; индексы 1 и 2 относятся к произвольным состояниям.

Закон Дальтона для давления смеси газов

$$p = \sum_{i=1}^n p_i,$$

где p_i – парциальное давление i -го компонента смеси (давление, которое создавал бы газ, входящий в состав смеси, если бы он находился в сосуде один).

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

Масса водяных паров m , содержащихся в единице объема воздуха, называется *абсолютной влажностью воздуха*:

$$\rho = m/V, \quad [\rho] = \text{кг/м}^3.$$

Температура, при которой водяные пары, находящиеся в атмосферном воздухе, становятся насыщенными, называется *точкой росы*.

Масса водяных паров, содержащихся в единице объема воздуха в состоянии насыщения (при точке росы), называется *максимальной влажностью воздуха* ρ_0 .

Отношение абсолютной влажности воздуха ρ к его максимальной влажности ρ_0 при данной температуре называется *относительной влажностью воздуха*

$$r = \rho/\rho_0, \quad r = (\rho/\rho_0) \cdot 100\%.$$

Барометрическая формула

$$p_h = p_0 e^{-\frac{Mg}{RT}(h-h_0)},$$

где p_h и p_0 – давление газа на высоте h и h_0 .

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Средняя кинетическая энергия молекулы

$$\bar{E} = \frac{ikT}{2}$$

где $i = n_{\text{пост}} + n_{\text{вращ}} + 2n_{\text{колеб}}$ – сумма поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы.

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{miRT}{2M},$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q – количество теплоты, сообщенное системе; ΔU – изменение ее внутренней энергии; A – работа системы против внешних сил.

В круговом (замкнутом) процессе $\Delta U = 0$, следовательно, $Q = A$.

Молярные теплоемкости газа при постоянном объеме и постоянном давлении

$$C_V = \frac{iR}{2}, \quad C_P = \frac{(i+2)R}{2}, \quad [C_V, C_P] = \text{Дж/(моль} \cdot \text{K)}.$$

Уравнение Майера

$$C_P = C_V + R.$$

Изменение внутренней энергии идеального газа

$$\Delta U = \frac{mC_V \Delta T}{M}.$$

Работа, совершаемая газом при изменении его объема

$$dA = p dV.$$

Полная работа при изменении объема газа

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV,$$

где V_1 и V_2 – соответственно начальный и конечный объем газа.

Работа газа

при изобарном процессе ($p = \text{const}$)

$$A = p(V_2 - V_1), \quad A = \frac{mR(T_2 - T_1)}{M};$$

при изотермическом процессе ($T = \text{const}$)

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{или} \quad A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2};$$

при адиабатном процессе ($Q = 0$)

$$A = \frac{mC_p(T_1 - T_2)}{M},$$

где T_1, T_2 – соответственно начальная и конечная температура газа.

Термический коэффициент полезного действия для кругового процесса (цикла)

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя; Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику; A – работа, совершаемая рабочим телом за цикл.

Термический коэффициент полезного действия цикла Карно (цикла, состоящего из двух изотермических и двух адиабатных процессов)

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 – температура нагревателя; T_2 – температура холодильника.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела и выделяемое им при охлаждении

$$Q = C(T_1 - T_2), \quad Q = cm(T_2 - T_1),$$

где m – масса тела; C – теплоемкость тела, Дж/К; c – удельная теплоемкость вещества, Дж/(кг·К); T_2 и T_1 – начальная и конечная температура тела.

Количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела массой m , взятого при его температуре плавления и нормальном атмосферном давлении

$$Q = \lambda m,$$

где λ – удельная теплота плавления вещества, Дж/кг.

Количество теплоты, выделяемое при кристаллизации тела массой m , также определяется по указанной выше формуле.

Количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости массой m , взятой при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении,

$$Q = rm,$$

где r – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Количество теплоты, которое выделяет пар массой m , конденсируясь при температуре кипения, определяется по той же формуле.

Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива массой m

$$Q = qm,$$

где q – удельная теплота сгорания топлива, Дж/кг.

ЖИДКОСТИ

Поверхностное натяжение

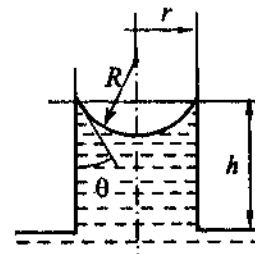
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{F}{l}, \quad [\sigma] = \text{Н/м},$$

где ΔE – поверхностная энергия, связанная с площадью ΔS поверхности плёнки; F – сила поверхностного натяжения, действующая на контур l , ограничивающий поверхность жидкости.

Высота подъема жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r},$$

где θ – краевой угол; r – радиус капилляра; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения. При $\theta \rightarrow 0$ (т. е. поверхность близка к сферической) $h = 2\sigma/\rho g r$.



ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ

Линейное расширение твердых тел

$$l_T = l_0(1 + \alpha \Delta T),$$

где l_T, l_0 – соответственно длина стержня при данной температуре T и при температуре $T_0 = 273 \text{ К}$; $\Delta T = T - T_0$ – изменение температуры; α – коэффициент линейного расширения, К^{-1} .

Объемное расширение твердых тел

$$V_T = V_0(1 + \beta \Delta T),$$

где V_T, V_0 – соответственно, объем тела при данной температуре T и при температуре $T_0 = 273 \text{ К}$; $\Delta T = T - T_0$ – изменение температуры; β – коэффициент объемного расширения, К^{-1} .

Для твердых тел выполняется соотношение $\beta = 3\alpha$.

Объемное расширение жидкости

$$V_T = V_0(1 + \beta \Delta T),$$

где β – коэффициент объемного расширения, K^{-1} .

Объемное расширение газов (закон Гей-Люссака) (изобарический процесс)

$$m = \text{const}, p = \text{const}, V_T = V_0 \beta T,$$

где V_T, V_0 – соответственно объем тела при данной температуре T и при температуре $T_0 = 273 K$; $\beta = 1/273 K^{-1}$ – коэффициент объемного расширения газа.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Закон Кулона

$$F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

где F – сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов q_1 и q_2 в среде; r – расстояние между зарядами; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная.

Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме

$$\Pi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r}.$$

Потенциальная энергия системы, состоящей из нескольких зарядов

$$\Pi = \sum_{i,j} \Pi_{ij},$$

где Π_{ij} – потенциальная энергия взаимодействия зарядов i и j ; суммирование проводится по всем различным парам частиц. Например, для четырех частиц: $\Pi = \Pi_{12} + \Pi_{13} + \Pi_{14} + \Pi_{23} + \Pi_{24} + \Pi_{34}$.

Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}, \quad \varphi = \frac{\Pi}{q'} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{A_\infty}{q'},$$

где $\vec{F}$ – сила, действующая на положительный точечный электрический заряд q' , помещенный в данную точку поля; Π – потенциальная энергия заряда q' ; A_∞ – работа сил электрического поля по перемещению заряда q' из данной точки поля за его пределы (в бесконечность).

Последним равенством можно пользоваться только в том случае, когда заряд q можно удалить из поля, т.е. перенести его в точку, где потенциальная энергия взаимодействия заряда q с зарядами, создающими поле, может считаться равной нулю. Для однородного поля ($\vec{E} = \text{const}$) его применять нельзя!

Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$d\varphi = -\vec{E} d\vec{r};$$

если поле однородно, то $\varphi(\vec{r}_2) - \varphi(\vec{r}_1) = -\vec{E}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$.

Напряженность и потенциал электростатического поля точечного заряда q на расстоянии r от заряда

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}; \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}.$$

Связь между напряженностями полей в диэлектрике $\vec{E}$ и в вакууме $\vec{E}_0$

$$\vec{E} = \epsilon \vec{E}_0, \quad [E] = \text{В/м}.$$

Принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где $\vec{E}_i$ и φ_i – соответственно напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом q_i .

Линейная, поверхностная и объемная плотности электрических зарядов

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \quad \sigma = \frac{dq}{dS}; \quad \rho = \frac{dq}{dV},$$

т.е. заряд, приходящийся, соответственно, на единицу длины, поверхности и объема;

$$[\tau] = \text{Кл/м}; \quad [\sigma] = \text{Кл/м}^2; \quad [\rho] = \text{Кл/м}^3.$$

Напряженность электростатического поля от бесконечно протяженной электрически заряженной пластины

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0\epsilon S} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

Напряженность электростатического поля в плоском конденсаторе

$$E = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon S} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon},$$

где q – электрический заряд одной пластины конденсатора.

Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU \text{ или } A_{12} = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = q \int_1^2 \vec{E}_t dl,$$

где E_t – проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$; U – электрическое напряжение между точками 1 и 2.

Емкость уединенного проводника

$$C = q/\varphi,$$

где q – заряд, сообщенный проводнику; φ – потенциал проводника.

Емкость проводящего шара

$$C = 4\pi\epsilon_0 R,$$

где R – радиус шара.

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где S – площадь каждой пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Емкость конденсаторов при последовательном и параллельном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \text{ и } C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где C_i – емкость i -го конденсатора; n – число конденсаторов.

Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Энергия взаимодействия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

где φ_i – потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд q_i , всеми зарядами, кроме i -го.

Энергия заряженного плоского конденсатора

$$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{q\Delta\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где q – заряд конденсатора; C – его емкость; $\Delta\varphi = U$ – разность потенциалов между обкладками.

Сила притяжения между двумя разноименными обкладками плоского конденсатора

$$F = \frac{q^2}{2\epsilon_0 \epsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\epsilon_0 \epsilon} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 S}{2}.$$

Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 Sd}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon U^2 S}{2d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 V}{2},$$

где S – площадь одной пластины; U – разность потенциалов между пластинами; $V = Sd$ – объем конденсатора.

Объемная плотность энергии электрического поля

$$w_3 = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Сила и плотность электрического тока

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad j = \frac{I}{S}; \quad \dim I = 1, [I] = A, \quad \dim j = L^{-2}1, [j] = A/m^2,$$

где dq – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время dt , S – площадь поперечного сечения проводника.

Плотность тока в проводнике

$$j = q_0 n \langle v \rangle,$$

где $\langle v \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике; n – концентрация зарядов, q_0 – заряд частицы – носителя заряда (в металле $q_0 = e$).

ЭДС (электродвижущая сила)

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q'},$$

где q' – единичный положительный заряд; A – работа сторонних сил по переносу заряда q от отрицательного к положительному полюсу источника.

Сопротивление (R) однородного линейного проводника, его проводимость (G) и удельная электрическая проводимость (σ) вещества проводника

$$R = \frac{\rho l}{S}; \quad G = \frac{1}{R}; \quad \sigma = \frac{1}{\rho}; \quad [R] = \text{Ом}; \quad [G] = \text{См}; \quad [\sigma] = \text{См/м};$$

здесь ρ – удельное электрическое сопротивление; S – площадь поперечного сечения проводника; l – его длина.

Сопротивление проводников при последовательном и параллельном соединении соответственно

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{и} \quad \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

где R_i – сопротивление i -го проводника; n – число проводников.

Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad [\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м},$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, K^{-1} ; ρ_0 – удельное сопротивление проводника при 273 K (0°C).

Закон Ома

для однородного участка цепи $U = IR$;

для неоднородного участка цепи $(\varphi_1 - \varphi_2) = \mathcal{E}_2 - IR$;

для замкнутой цепи $\mathcal{E} = I(R + r)$,

где U – напряжение на участке цепи; r – внутреннее сопротивление источника тока; R – сопротивление цепи (участка цепи); $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; $\mathcal{E}_2$ – алгебраическая сумма ЭДС источников тока, входящих в участок; $\mathcal{E}$ – алгебраическая сумма ЭДС всех источников тока цепи.

Последовательное соединение одинаковых элементов ЭДС батарей

$$\mathcal{E}_b = n \mathcal{E},$$

где $\mathcal{E}$ – ЭДС одного элемента, n – число элементов; внутреннее сопротивление батареи

$$r_b = nr;$$

ток в полной цепи

$$I = \frac{n \mathcal{E}}{R + rn}.$$

Параллельное соединение одинаковых элементов ЭДС батарей

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E};$$

внутреннее сопротивление батареи $r_b = r/n$;

ток в полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r/n}.$$

Работа постоянного тока за время t

$$A = IUt = I^2 Rt = U^2 t / R.$$

Мощность тока

$$P = IU = I^2 R = U^2 / R.$$

За время t в цепи постоянного тока выделяется теплота $Q = I^2 Rt$ (закон Джоуля-Ленца).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ (ЗАКОНЫ ФАРАДЕЯ)

$$m = kq; \quad k = \frac{M}{N_A e Z} = \frac{M}{F Z},$$

где m – масса вещества, выделившегося на электроде; k – электрохимический эквивалент вещества; q – электрический заряд, прошедший через электролит.

Если ток I в цепи постоянен, то $q = I \Delta t$, Δt – промежуток времени, за который заряд проходит через электролит; Z – валентность иона; $F = e N_A = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль – *постоянная Фарадея*.

Для электролитов справедлив закон Ома, как и для металлов.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Закон Ампера

$$F_A = I B \sin \alpha.$$

Сила Лоренца

$$F_L = q v B \sin \alpha.$$

Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное поле

$$M = I S B \sin \alpha = p_m B \sin \alpha,$$

где $\vec{p}_m = I S \vec{n}$ – магнитный момент контура с током;

$\vec{n}$ – нормаль к плоскости поверхности S .

Изменение магнитной индукции внешнего поля в веществе характеризуется магнитной проницаемостью вещества

$$\mu = B / B_0,$$

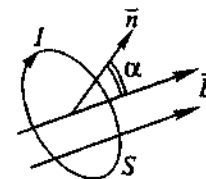
где B_0 – модуль индукции внешнего поля; B – модуль индукции общего поля – внешнего и созданного намагниченным телом.

Вещества, у которых $\mu > 1$, называются *парамагнитными*; вещества, у которых $\mu < 1$ – *диамагнитными*; вещества с $\mu \gg 1$ – *ферромагнитными*.

Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i,$$

где $\vec{B}$ – индукция результирующего магнитного поля; $\vec{B}_i$ – индукция складываемых магнитных полей.



Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi R},$$

где R – расстояние от оси проводника.

Индукция магнитного поля в центре кругового проводника с током

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R},$$

где R – радиус кривизны проводника.

Индукция магнитного поля внутри соленоида (в вакууме), имеющего N витков

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \mu_0 nI,$$

где l – длина соленоида; n – число витков на единицу длины.

Поток вектора индукции магнитного поля (магнитный поток)

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad \dim \Phi = L^2 M T^{-2} I^{-1}, \quad [\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}.$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Закон электромагнитной индукции Фарадея-Ленца

1. При изменении магнитного потока через замкнутый контур в контуре возникает ЭДС индукции, пропорциональная скорости изменения магнитного потока (закон Фарадея) в системе СИ:

$$\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt.$$

2. Направление индукционного тока таково, что создаваемое им магнитное поле компенсирует изменение магнитного потока, породившее индукционный ток (правило Ленца).

Магнитный поток, создаваемый током I в контуре с индуктивностью

$$\Phi = LI, \quad [L] = \text{Вб/А} = \text{Гн}.$$

ЭДС самоиндукции
$$E_b = -\frac{L dI}{dt}.$$

Энергия магнитного поля, создаваемая током в замкнутом контуре индуктивностью L

$$W = LI^2/2.$$

Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида

$$w_M = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}, \quad [w] = \text{Дж/м}^3.$$

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Уравнение гармонических колебаний

$$x = x_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где x – смещение колеблющейся материальной точки от положения равновесия; x_0 – амплитуда колебаний; $\omega_0 = 2\pi/T = 2\pi\nu$ – круговая (циклическая) частота, с^{-1} ; $\nu = 1/T$ – частота, Гц; T – период колебаний, с; φ_0 – начальная фаза.

Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания

$$v = \frac{dx}{dt} = -x_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = x_0 \omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} = -x_0 \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x.$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки массой m

$$K = \frac{mv^2}{2} = mx_0^2 \omega_0^2 \sin^2\left(\frac{\omega_0 t + \varphi_0}{2}\right).$$

Потенциальная энергия

$$\Pi = mx_0^2 \omega_0^2 \cos^2\left(\frac{\omega_0 t + \varphi_0}{2}\right).$$

Полная энергия
$$E = K + \Pi = \frac{mx_0^2 \omega_0^2}{2}.$$

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки массой m

$$m\ddot{x} = -kx, \quad \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где $k = m\omega_0^2$ – коэффициент квазиупругой силы.

Период колебаний пружинного маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса пружинного маятника; k – жесткость пружины.

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина маятника.

Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний электрического заряда в контуре и его решение

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0,$$

где $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ — собственная частота колебаний в контуре;

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$i = \frac{dq}{dt} = -q_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -i_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C \sin(\omega_0 t + \varphi_0)} = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Формула Томсона, устанавливающая связь между периодом T собственных колебаний в LC -контуре без активного сопротивления, индуктивностью L и емкостью контура C

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Вынужденные электрические колебания происходят в цепях под действием переменного напряжения, меняющегося с частотой $\omega = 2\pi\nu$ по синусоидальному или косинусоидальному закону

$$U = U_0 \sin \omega t \text{ или } U = U_0 \cos \omega t,$$

где U_0 — амплитуда напряжения.

Сила тока в любой момент времени (мгновенное значение тока)

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi),$$

где I_0 — амплитуда тока, а φ — разность (сдвиг) фаз между колебаниями тока и напряжения.

Активное сопротивление

Напряжение на зажимах цепи с резистором сопротивлением R меняется по закону $U = U_0 \cos \omega t$, тогда

$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_0 \cos \omega t}{R} = I_0 \cos \omega t, \quad I_0 = \frac{U_0}{R}.$$

Мгновенная мощность на участке с активным сопротивлением R .

$$P(t) = i^2 R$$

Средняя мощность $P = I_0^2 R / 2$.

Действующее значение переменного тока и напряжения, соответственно

$$I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

Средняя мощность переменного тока на участке цепи, содержащем только активное сопротивление

$$P = I_d^2 R = U_d I_d.$$

Емкостное сопротивление

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на концах цепи $U = q/C = U_0 \cos \omega t$, и заряд конденсатора меняется по закону $q = CU_0 \cos \omega t$; а ток

$$i = q' = -CU_0 \omega \sin \omega t = -CU_0 \omega \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $I_0 = CU_0 \omega$ — амплитуда тока; $U_0 = I_0 / \omega C = x_C I_0$;

$x_C = 1/\omega C$ называется **емкостным сопротивлением**.

Индуктивное сопротивление

На участке электрической цепи с малым активным сопротивлением R и большой индуктивностью L при изменении тока по гармоническому закону $i = I_0 \cos \omega t$ напряжение на концах цепи изменяется также по гармоническому закону. Таким образом, напряжение U на участке цепи можно принять равным по модулю и противоположным по знаку ЭДС самоиндукции катушки: $U_L = -E_s = -Li'$, тогда

$$U_L = -E_s = -L \omega I_0 \sin \omega t = L \omega I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_L \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

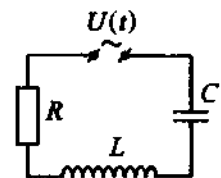
где U_L — амплитуда колебаний напряжений на катушке;

$$U_L = \omega L I_0 \text{ или } U_L = x_L I_0,$$

$x_L = \omega L$ называется **индуктивным сопротивлением**.

Закон Ома для электрической цепи переменного тока

Рассмотрим (см. рис.) цепь с активным R , емкостным x_C и индуктивным x_L сопротивлениями. Если напряжение генератора изменяется по закону $U = U_0 \sin \omega t$, то ток в цепи изменяется по закону $i = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$.



В цепи с последовательным соединением элементов ток i в каждый момент времени во всех участках цепи одинаков, а сумма мгновенных значений напряжений на сопротивлении R ($U_R = iR$), емкости C ($U_C = ix_C$) и индуктивности L ($U_L = ix_L$) равна значению приложенного напряжения $U = iZ$ (Z — полное сопротивление цепи переменного тока) в тот же момент времени:

$$U = U_R + U_C + U_L.$$

Векторная сумма векторов $\vec{U}_R, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ равна напряжению генератора: $U_z^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$,

откуда $Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$.

Сдвиг фазы φ между током и напряжением также может быть определен из векторной диаграммы:

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U_z} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Рассмотрим цепь переменного тока, содержащую параллельно соединенные активное сопротивление R , индуктивность L и емкость C .

В цепь подается переменное напряжение $U(t) = U_0 \cos \omega t$.

Напряжение на всех параллельно соединенных элементах одинаково и равно приложенному напряжению $U(t)$. Мгновенное значение тока в разветвленной цепи $I(t)$ равно алгебраической сумме токов в параллельных участках:

$$I = I_R + I_C + I_L.$$

Векторная диаграмма, соответствующая этой цепи, изображена слева. Учитывая связь между амплитудными значениями токов в различных элементах и амплитудным значением приложенного напряжения, получаем

$$U_0 = I_{0R} R = \frac{I_{0C}}{\omega C} = I_{0L} \omega L.$$

С помощью векторной диаграммы можно найти выражение для амплитуды тока:

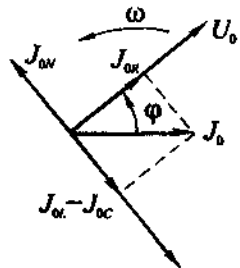
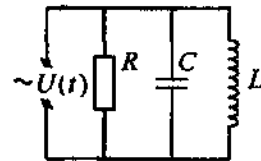
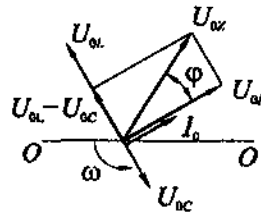
$$I_0 = U_0 \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}$$

и для сдвига по фазе между приложенным напряжением и током

$$\operatorname{tg} \varphi = R \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right).$$

Для мгновенных значений тока в отдельных ветвях цепи

$$I_R = U_0 \cos \omega t / R; \quad I_L = \frac{U_0 \cos(\omega t - \pi/2)}{\omega L}; \quad I_C = U_0 \omega C \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$



Мощность в цепи переменного тока

$$P = I_0 U_0 \cos \varphi / 2 = I_d U_d \cos \varphi,$$

где φ — сдвиг фазы между колебаниями силы тока и напряжения.

Резонанс в цепи переменного тока наступает при совпадении частоты переменного тока ω с частотой свободных колебаний ω_0 в контуре

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}, \quad T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

ВОЛНЫ

Связь длины волны λ , периода T колебаний и частоты ν

$$\lambda = \nu T; \quad \nu = \lambda \nu,$$

где ν — скорость распространения колебаний в среде (*фазовая скорость*).

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси X ,

$$\xi(x, t) = \xi_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где $\xi(x, t)$ — смещение точек среды с координатой x в момент времени t ; ξ_0 — амплитуда волны; ω — циклическая (круговая) частота; $k = 2\pi/\lambda = 2\pi/\nu T = \omega/\nu$ — волновое число; λ — длина волны; ν — фазовая скорость; T — период колебания; φ_0 — начальная фаза колебаний.

Если в некоторой области пространства происходит наложение волн одной природы, созданных двумя или более источниками, в случае совпадения частот колебаний можно наблюдать интерференцию волн.

Разность фаз колебаний, созданных двумя источниками

$$\delta\varphi = k\Delta = 2\pi\Delta/\lambda,$$

где $\Delta = x_2 - x_1$; x_1 (x_2) — расстояние между точкой наблюдения и первым (вторым) источником волн.

В точках, определяемых условием $\delta\varphi = 2\pi(x_2 - x_1)/\lambda = \pm 2m\pi$ или $(x_2 - x_1) = \pm m\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$), колебания усиливают друг друга и результирующее движение представляет собой гармоническое колебание с частотой ω и амплитудой $(\xi_{01} + \xi_{02})$.

В точках, для которых $\delta\varphi = 2\pi(x_2 - x_1)/\lambda = \pm(2m+1)\pi$ или $(x_2 - x_1) = \pm(2m+1)\lambda/2$ ($m = 0, 1, 2, \dots$), колебания ослабляют друг друга и результирующее движение является гармоническим колебанием с амплитудой $(\xi_{01} - \xi_{02})$. В частном случае, когда $\xi_{01} = \xi_{02}$, колебания в этих точках будут отсутствовать.

Частный случай интерференции наблюдается при наложении двух встречных плоских волн с одинаковой амплитудой. Возникающий в результате колебательный процесс называется *стоячей волной*.

Расстояния между соседними узлами стоячей волны

$$\Delta x_y = \lambda/2,$$

где λ – длина бегущей волны.

Расстояния между соседними пучностями

$$\Delta x_n = \lambda/2.$$

Скорость продольной волны в упругом твердом теле

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

поперечной волны

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

где ρ – плотность тела; E – модуль упругости или модуль Юнга; G – модуль сдвига.

Уравнение плоской электромагнитной волны

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где $\vec{E}_0$ и $\vec{B}_0$ – соответственно амплитуда напряженности электрического и индукции магнитного поля волны; ω – круговая частота; $k = \omega/v$ – волновое число; φ_0 – начальные фазы колебаний в точках с координатой $x = 0$.

Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}},$$

где $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме; ϵ , μ – соответственно электрическая и магнитная проницаемость среды.

Связь между абсолютным показателем преломления и диэлектрической проницаемостью вещества

$$n = \sqrt{\epsilon \mu}.$$

Для большинства прозрачных сред $\mu \approx 1$, и, следовательно, $n = \sqrt{\epsilon}$.

Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$\omega = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2 \mu_0 \mu}.$$

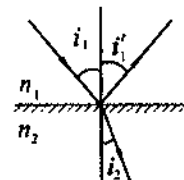
ОПТИКА

ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Закон отражения света

Луч, падающий на границу раздела сред, нормаль к поверхности раздела сред, восстановленная в точке падения луча, и отраженный луч лежат в одной плоскости. При этом угол отражения i'_1 (между отраженным лучом и нормалью к поверхности) равен углу падения i_1 (между падающим лучом и нормалью к поверхности), т.е.

$$i_1 = i'_1.$$



Закон преломления света

Луч, падающий на границу раздела сред, нормаль к поверхности раздела сред, восстановленная в точке падения луча и преломленный луч лежат в одной плоскости. При этом угол преломления i_2 (между преломленным лучом и нормалью к поверхности) связан с углом падения i_1 соотношением

$$\sin i_1 / \sin i_2 = n_{21},$$

где $n_{21} = n_2/n_1$ – относительный показатель преломления второй среды относительно первой; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды.

Предельный угол полного внутреннего отражения при распространении света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную

$$\sin i_{\text{пр}} = n_2/n_1 = n_{21}.$$

Формула сферического зеркала

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad F = \frac{R}{2},$$

где d и f – соответственно расстояние от полюса зеркала до предмета и изображения; F – фокусное расстояние зеркала; R – радиус кривизны зеркала.

Оптическая сила тонкой линзы

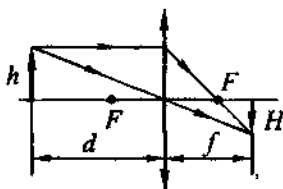
$$D = \frac{1}{F} = (n_{\text{стл}} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad [D] = \text{м}^{-1} = \text{дптр},$$

где F – фокусное расстояние линзы; $n_{\text{стл}} = n_n/n_{\text{ср}}$ – относительный показатель преломления; n_n и $n_{\text{ср}}$ – соответственно абсолютный показатель преломления линзы и окружающей среды; R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей ($R_1 > 0$ для выпуклой поверхности; $R_2 < 0$ – для вогнутой).

Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D,$$

где d и f – соответственно расстояние от оптического центра линзы до предмета и изображения.



Линейное увеличение линзы

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \left| \frac{f}{d} \right|.$$

ФОТОМЕТРИЯ

Сила света

$$I = \Phi / \omega, \dim I = \text{л}, [I] = \text{кд (кандела)},$$

где Φ – световой поток источника, $[\Phi] = \text{кд} \cdot \text{ср} = \text{лм}$; ω – телесный угол, в пределах которого это излучение распространяется, ср (стерадиан); $\dim \omega = 1$.

Полный световой поток, испускаемый изотропным точечным источником

$$\Phi = 4\pi I,$$

где I – сила света источника.

Светимость поверхности

$$R = \Phi / S, [R] = \text{лм/м}^2,$$

где Φ – световой поток, испускаемый поверхностью; S – площадь этой поверхности.

Яркость светящейся поверхности в некотором направлении

$$B_{\varphi} = I / (S \cos \varphi), [B_{\varphi}] = \text{кд/м}^2,$$

где I – сила света; S – площадь поверхности; φ – угол между нормалью к элементу поверхности и направлением наблюдения.

Освещенность поверхности

$$E = \Phi / S, [E] = \text{лм/м}^2 = \text{лк (люкс)},$$

где Φ – световой поток, падающий на поверхность; S – площадь этой поверхности.

Связь светимости (R) и яркости (B) при условии, что яркость не зависит от направления

$$R = \pi B.$$

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Скорость света в среде

$$v = c/n,$$

где c – скорость распространения света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Разность фаз двух когерентных волн

$$\delta\varphi = \frac{2\pi(L_1 - L_2)}{\lambda} = \frac{2\pi\Delta}{\lambda_0},$$

где $L = Sn$ – оптическая длина пути (S – геометрическая длина пути) световой волны в среде; n – показатель преломления этой среды; $\Delta = (L_2 - L_1)$ – оптическая разность хода двух световых волн; λ_0 – длина волны в вакууме.

Условия максимумов и минимумов интенсивности света при интерференции волн

$$\Delta_{\max} = \pm \frac{2m\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad \Delta_{\min} = \pm \frac{(2m+1)\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Ширина интерференционной полосы

$$\Delta x = \frac{l\lambda}{d},$$

где d – расстояние между двумя когерентными источниками, находящимися на расстоянии l от экрана, параллельного прямой линии, соединяющей оба источника, при условии $l \gg d$.

Условия максимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пленки, находящейся в воздухе ($n=1$)

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ или}$$

$$2dn \cos r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = \pm \frac{(2m+1)\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Условия для интерференционных минимумов отражения

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \frac{(2m+1)\lambda_0}{2}, \text{ или}$$

$$2dn \cos r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = m\lambda_0,$$

где d – толщина пленки; n – ее показатель преломления; i – угол падения; r – угол преломления.

Второе слагаемое $\lambda_0/2$ в этих формулах учитывает изменение оптической длины пути световой волны при отражении ее от среды оптически более плотной.

Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{(m-1/2)\lambda_0 R} \quad (m=0,1,2,\dots),$$

где m – номер кольца; R – радиус кривизны линзы.

Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{m\lambda_0 R} \quad (m=0,1,2,\dots).$$

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

При нормальном падении света на дифракционную решетку главные максимумы наблюдаются под углами дифракции φ , соответствующими интерференционным максимумам $d \sin \varphi = \pm m\lambda$, где d – период дифракционной решетки; $m=0,1,2,\dots$ – порядок главного максимума.

Период дифракционной решетки

$$d = 1/N_0,$$

где N_0 – число щелей, приходящихся на единицу длины решетки.

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Энергия кванта электромагнитного излучения

$$E = h\nu = hc/\lambda,$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – *постоянная Планка*.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$E = h\nu = A + T_{\max},$$

где $E = h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона из металла; $T_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

«Красная граница» фотоэффекта для данного металла

$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где λ_0 – максимальная длина волны излучения; ν_0 – минимальная частота, при которой фотоэффект еще возможен.

Масса и импульс фотона

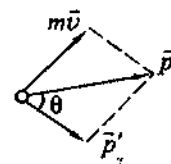
$$m_\gamma = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}, \quad p_\gamma = \frac{h\nu}{c},$$

где $h\nu$ – энергия фотона.

Изменение длины волны рентгеновского излучения при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где λ и λ_0 – длина волны, соответственно падающего и рассеянного под углом θ излучения; $\vec{p}_i$ и $\vec{p}_f$ – импульс соответственно падающего и рассеянного под углом θ фотона; $\lambda_c = h/m_0 c = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м – *комптоновская длина волны электрона*; m_0 – масса покоя электрона; $m\vec{v}$ – импульс электрона отдачи; m – масса электрона отдачи.



ТЕОРИЯ АТОМА ВОДОРОДА ПО БОРУ

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний)

Атом или атомная система может находиться только в особых стационарных (квантовых) состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия $E_1, E_2, \dots, E_n$, где $n=1,2,3,\dots$ – главное квантовое число.

Второй постулат Бора (правило частот)

При переходе атома или атомной системы из одного стационарного состояния E_k в другое с энергией E_n испускается или поглощается квант электромагнитной энергии частотой ν , причем

$$E_k - E_n = h\nu,$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – *постоянная Планка*.

Постулаты Бора дополняются **правилом квантования момента импульса**

$$m_e v r_n = n\hbar \quad (n=1,2,3,\dots),$$

где m_e – масса электрона; v – скорость электрона на орбите радиуса r_n ;

$$\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с.}$$

Радиусы орбит электрона в атоме водорода, соответствующие главному квантовому числу n ,

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} n^2 = r_1 n^2,$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – *электрический заряд электрона*.

Энергия стационарных состояний атома водорода

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{m_e e^4}{2\hbar^2 n^2} = -\frac{E_1}{n^2},$$

Энергия ионизации атома водорода численно равна энергии атома водорода при $n=1$

$$E_i = \frac{m_e e^4}{4\pi\epsilon_0} 2\hbar^2 \quad (E_i = 13,6 \text{ эВ}).$$

Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром в водородоподобном атоме

$$U(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева; r – расстояние между электроном и ядром.

Обобщенная формула Бальмера, описывающая серии линий в спектре атома водорода

$$\nu = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где ν – частота спектральных линий в спектре атома водорода; $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – *постоянная Ридберга*; k и n – номера орбит.

Набор длин волн электромагнитного излучения, испускаемого при переходе из состояний $n=2,3,4...$ в основное состояние $n=1$ называют *серией Лаймана*; из состояний $n=3,4,5...$ в состояние $n=2$ – *серией Пашена*.

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N – число не распавшихся атомов в момент времени t ; N_0 – число не распавшихся атомов в момент, принятый за начальный (при $t=0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

Число атомов, распавшихся за время t

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}).$$

Связь периода полураспада T с постоянной распада

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность изотопа)

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad [A] = \frac{\text{распад}}{\text{с}} = \text{Бк (Беккерель)}.$$

Доза излучения (поглощенная доза излучения)

$$D = \frac{\Delta W}{\Delta m}, \quad [D] = \text{Дж/кг} = \text{Гр (Грэй)},$$

где ΔW – энергия ионизирующего излучения, переданная элементу облучаемого вещества; Δm – масса этого элемента.

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Масса покоя m устойчивой системы взаимосвязанных частиц меньше суммы масс покоя $m_1 + m_2 + \dots + m_k$ тех же частиц, взятых в свободном состоянии.

Дефект массы системы частиц

$$\Delta m = (m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m.$$

Энергия связи прямо пропорциональна дефекту массы системы частиц

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m.$$

Дефект массы атомного ядра

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_a,$$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); $N = (A - Z)$ – число нейтронов в ядре; A – массовое число (число нуклонов в ядре); m_p и m_n – соответственно масса протона и нейтрона; m_a – масса ядра.

Если учесть, что $m_a = m_0 - Zm_e$, $m_p + m_e = M_{\text{H}}$, $N = (A - Z)$,

m_a – масса атома, то дефект массы ядра

$$\Delta m = Z \cdot m_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a.$$

Энергия связи ядра

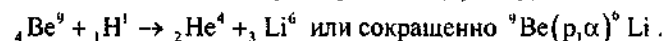
$$E_{\text{св}} = (Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a)c^2.$$

Удельная энергия связи (энергия связи на нуклон)

$$E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Символическая запись ядерной реакции (пример):



Энергия ядерной реакции

$$E = [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)]c^2,$$

где m_1 и m_2 – массы покоя ядра-мишени и бомбардирующей частицы;
($m_3 + m_4$) – сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

Если $(m_1 + m_2) > (m_3 + m_4)$, то энергия освобождается, реакция *экзотермическая*.

Если $(m_1 + m_2) < (m_3 + m_4)$, то энергия поглощается, реакция *эндотермическая*.

Энергия ядерной реакции может быть записана также в виде

$$E = (T_1 + T_2) - (T_3 + T_4),$$

где T_1 и T_2 – кинетическая энергия соответственно ядра-мишени и бомбардирующей частицы; T_3 и T_4 – кинетическая энергия соответственно вылетающей частицы и ядра-продукта реакции.

Законы сохранения при ядерных реакциях

числа нуклонов	$A_1 + A_2 = A_3 + A_4;$
заряда (электрического)	$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4;$
релятивистской полной энергии	$E_1 + E_2 = E_3 + E_4;$
импульса	$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + \vec{P}_4.$

Если общее число ядер и частиц, образовавшихся в результате реакции, больше двух, то запись соответственно дополняется.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СИ

Единицей физической величины называется условно выбранная физическая величина, имеющая тот же физический смысл, что и рассматриваемая.

Системой единиц называется совокупность единиц физических величин, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми правилами.

Основными единицами данной системы единиц называются единицы нескольких разнородных физических величин, произвольно выбранные при построении этой системы. Соответствующие физические величины называются основными величинами данной системы.

Система единиц называется *абсолютной*, если ее основными физическими величинами являются длина, масса и время.

Производными единицами называются единицы, устанавливаемые через другие единицы данной системы на основании физических законов, выражающих взаимосвязь между соответствующими физическими величинами.

Размерностью физической величины называется выражение, характеризующее связь этой физической величины с основными величинами данной системы единиц. Это выражение представляет собой одночлен в виде произведения символов основных величин в соответствующих степенях (целых или дробных, положительных или отрицательных).

Физическая величина называется *безразмерной величиной*, если в выражение ее размерности все основные величины входят в нулевой степени. Численное значение безразмерной величины не зависит от выбора системы единиц.

Как следует из таблицы 1 (с. 7) Международная система единиц СИ построена на основе системы величин L, T, M, I, Θ, N, J.

Основные единицы СИ

Метр (м) есть длина пути (l), проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299792458$ с.

$$\dim l = L, [l] = 1 \text{ м (метр)}.$$

Секунда (с) – единица времени (t) секунда равна 912631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия – 133.

$$\dim t = T, [t] = 1 \text{ с (атомная секунда)}.$$

Масса (кг) – единица массы (m); килограмм равен массе международного прототипа килограмма. Прототип килограмма изготовлен из платиноиридиевого сплава (Pt 90%, Ir 10%) в виде цилиндрической гири диаметром и высотой 39 мм; относительная погрешность сличений с прототипом эталонов-копий не превышает $2 \cdot 10^{-9}$.

$$\dim m = M, [m] = 1 \text{ кг}.$$

Ампер (А) – единица силы электрического тока (I); ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

$$\dim I = I, [I] = 1 \text{ А}.$$

Кельвин (К) – единица температуры (T); Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

$$\dim T = \Theta, [T] = 1 \text{ К}.$$

Моль (моль) – единица количества вещества (n); моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в $0,012$ кг углерода ^{12}C . При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц.

$$\dim n = N, [n] = 1 \text{ моль}.$$

Кандела (кд) – единица силы света (I); кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

$$\dim I = J, [I] = 1 \text{ кд (кандела)}.$$

Дополнительные единицы СИ

Плоский угол – радиан (рад); радиан равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Телесный угол – стерadian (ср); стерadian равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СИ

Величина		Единица		
Наименование	Определяющее уравнение	Обозначение	dim размерность	Наименование и определение
1	2	3	4	5
Пространство и время				
Площадь	$S = l^2$	м ²	L ²	Квадратный метр равен площади квадрата со сторонами, длины которых равны 1 м
Объем	$V = l^3$	м ³	L ³	Кубический метр равен объему куба с ребрами, длины которых равны 1 м
Скорость	$v = \frac{l}{t}$	м/с	LT ⁻¹	Метр в секунду равен скорости равномерного и прямолинейного движения точки, при котором она за 1 с перемещается на расстояние 1 м
Ускорение	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	м/с ²	LT ⁻²	Метр на секунду в квадрате равен ускорению прямолинейного ускоренного движения точки, при котором за время 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с
Угловая скорость	$\omega = \frac{\phi}{t}$	рад/с	T ⁻¹	Радиан на секунду равен угловой скорости равномерно вращающегося тела, все точки которого за время 1 с поворачиваются относительно оси на угол 1 рад
Угловое ускорение	$\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$	рад/с ²	T ⁻²	Радиан на секунду в квадрате равен угловому ускорению равноускоренно вращающегося тела, при котором оно за время 1 с изменяет угловую скорость на 1 рад/с

1	2	3	4	5
Периодические явления				
Частота периодического процесса	$\nu = \frac{1}{T}$	Гц	T^{-1}	Герц равен частоте периодического процесса, при которой за время 1 с совершается один цикл процесса
Механика				
Плотность	$\rho = \frac{m}{V}$	кг/м ³	$L^{-3}M$	Килограмм на кубический метр равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1 м ³ равна 1 кг
Сила	$F = ma$	Н	LMT^{-2}	Ньютон равен силе, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с ² в направлении действия силы: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$
Импульс	$p = mv$	кг·м/с	LMT^{-1}	Килограмм-метр на секунду равен импульсу материальной точки массой 1 кг, движущейся со скоростью 1 м/с
Давление	$p = \frac{F}{S}$	Па	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль равен давлению, создаваемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м ² : $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$
Работа, энергия	$A = FS$	Дж	L^2MT^{-2}	Джоуль равен работе силы 1 Н, перемещающей тело на расстояние 1 м в направлении действия силы
Мощность	$P = \frac{A}{t}$	Вт	L^2MT^{-3}	Ватт равен мощности, при которой за время 1 с совершается работа в 1 Дж: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$
Момент инерции	$J = mr^2$	кг·м ²	L^2M	Килограмм-метр в квадрате равен моменту инерции материальной точки массой 1 кг, находящейся на расстоянии 1 м от оси вращения
Момент силы	$M = Fl$	Н·м	L^2MT^{-2}	Ньютон-метр равен моменту силы, равной 1 Н, относительно точки, расположенной на расстоянии 1 м от линии действия силы

1	2	3	4	5
Момент импульса	$L = mvr$	кг·м ² /с	L^2MT^{-1}	Килограмм-метр в квадрате на секунду равен моменту импульса материальной точки, движущейся по окружности радиусом 1 м и имеющей импульс 1 кг·м/с
Градиент скорости	$\left \frac{dv}{dx} \right $	с ⁻¹	T^{-1}	Секунда в минус первой степени равна градиенту скорости, при котором скорости слоев жидкости (газа), отстоящих друг от друга на расстоянии 1 м, отличаются на 1 м/с
Динамическая вязкость	$\eta = \frac{F}{S \left \frac{dv}{dx} \right }$	Па·с	$L^{-1}MT^{-1}$	Паскаль-секунда равен динамической вязкости среды, в которой при ламинарном течении и градиенте скорости по модулю, равному 1 м/с на 1 м, возникает сила внутреннего трения 1 Н на 1 м ² поверхности касания слоев: $1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$
Кинематическая вязкость	$\nu = \frac{\eta}{\rho}$	м ² /с	L^2T^{-1}	Квадратный метр на секунду равен кинематической вязкости среды с динамической вязкостью 1 Па·с и плотностью 1 кг/м ³
Теплота				
Количество теплоты, внутренняя энергия	Q, U	Дж	L^2MT^{-2}	Джоуль равен количеству теплоты, эквивалентному работе в 1 Дж
Тепловой поток (тепловая мощность)	$P = \frac{Q}{t}$	Вт	L^2MT^{-3}	Ватт равен тепловому потоку, эквивалентному механической мощности 1 Вт
Температурный градиент	$\left \frac{dT}{dx} \right $	К/м	$L^{-1}\Theta$	Кельвин на метр равен температурному градиенту поля, в котором на участке длиной 1 м в направлении градиента температура изменяется на 1 К

1	2	3	4	5
Коэффициент теплопроводности	$\lambda = \frac{Q}{\left \frac{dT}{dx} \right }$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\text{ЛМТ}^{-3}\Theta^{-1}$	Ватт на метр-кельвин равен коэффициенту теплопроводности вещества, в котором при стационарном режиме с поверхностной плотностью теплового потока 1 Вт/м^2 устанавливается температурный градиент 1 К/м
Теплоемкость системы	$C = \frac{dQ}{dT}$	Дж/К	$\text{Л}^2\text{МТ}^{-2}\Theta^{-1}$	Джоуль на кельвин равен теплоемкости системы, температура которой повышается на 1 К при подведении к системе количества теплоты 1 Дж
Удельная теплоемкость	$c = \frac{dQ}{mdT}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\text{Л}^2\text{Т}^{-2}\Theta^{-1}$	Джоуль на килограмм-кельвин равен удельной теплоемкости вещества, имеющего при массе 1 кг теплоемкость 1 Дж/К
Молярная теплоемкость	$C_m = \frac{dQ}{\nu dT}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	$\text{Л}^2\text{МТ}^{-2} \times \times \text{Н}^{-1}\Theta^{-1}$	Джоуль на моль-кельвин равен молярной теплоемкости вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль теплоемкость 1 Дж/К
Энтропия	$dS = \frac{dQ}{T}$	Дж/К	$\text{Л}^2\text{МТ}^{-2}\Theta^{-1}$	Джоуль на кельвин равен изменению энтропии системы, которой при температуре $n\text{К}$ в изотермическом процессе сообщается количество теплоты $n\text{Дж}$
Коэффициент поверхностного натяжения	$\sigma = \frac{F}{l}$	$\frac{\text{Н}}{\text{м}} = \text{Дж/м}$	МТ^{-2}	Ньютон на метр равен коэффициенту поверхностного натяжения жидкости, создаваемого силой 1 Н , действующей на участок контура свободной поверхности длиной 1 м нормально к нему и по касательной к поверхности
Электричество и магнетизм				
Электрический заряд (количество электричества)	$Q = It$	Кл	Тл	Кулон равен электрическому заряду, проходящему через поперечное сечение проводника при токе силой 1 А за время 1 с
Объемная плотность электрического заряда	$\rho = \frac{Q}{V}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$	$\text{Л}^{-3}\text{Тл}$	Кулон на кубический метр равен объемной плотности электрического заряда, при которой в объеме 1 м^3 равномерно распределен заряд 1 Кл

1	2	3	4	5
Поверхностная плотность электрического заряда	$\sigma = \frac{Q}{S}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$	$\text{Л}^{-2}\text{Тл}$	Кулон на квадратный метр равен поверхностной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по поверхности площадью 1 м^2 , равен 1 Кл
Линейная плотность электрического заряда	$\tau = \frac{Q}{L}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{м}}$	$\text{Л}^{-1}\text{Тл}$	Кулон на метр равен линейной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по нити длиной 1 м , равен 1 Кл
Электрический потенциал	$\varphi = \frac{A}{Q}$	В	$\text{Л}^2\text{МТ}^{-3}\text{Т}^{-1}$	Вольт равен потенциалу такой точки поля, в которой заряд 1 Кл обладает потенциальной энергией 1 Дж : $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/Кл}$
Напряженность электрического поля	$E = \frac{F}{Q}$	$\frac{\text{Н/Кл}}{= \text{В/м}}$	$\text{ЛМТ}^{-3}\text{Т}^{-1}$	Ньютон на кулон равен напряженности электрического поля в точке поля, в которой на точечный электрический заряд 1 Кл поле действует с силой 1 Н . Вольт на метр равен напряженности однородного электрического поля, создаваемой разностью потенциалов 1 В между точками, находящимися на расстоянии 1 м на линии напряженности поля
Поток электрического смещения	$\Psi = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n Q_i$	Кл	Тл	Кулон равен потоку электрического смещения, связанному с суммарным свободным зарядом 1 Кл
Электрическое смещение	$D = \frac{\Psi}{S}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$	$\text{Л}^{-2}\text{Тл}$	Кулон на квадратный метр равен электрическому смещению, при котором поток электрического смещения сквозь поперечное сечение площадью 1 м^2 равен 1 Кл

1	2	3	4	5
Электрическая емкость	$C = \frac{Q}{\Phi}$	Ф	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	Фарад равен емкости такого единичного проводника, потенциал которого изменяется на 1 В при сообщении ему заряда 1 Кл
Электрический момент диполя	$P = Ql $	Кл·м	ЛТ	Кулон-метр равен электрическому моменту диполя, заряды которого, равные каждый 1 Кл, расположены на расстоянии 1 м один от другого
Поляризованность	$\vec{P} = \sum_i \frac{\vec{p}}{V}$	$\frac{Кл}{м^2}$	$L^{-1}TI$	Кулон на квадратный метр равен поляризованности диэлектрика, при которой диэлектрик объемом 1 м ³ имеет электрический момент 1 Кл·м
Плотность электрического тока	$j = \frac{I}{S}$	$\frac{А}{м^2}$	$L^{-1}I$	Ампер на квадратный метр равен плотности электрического тока силой 1 А, равномерно распределенного по поперечному сечению проводника площадью 1 м ²
Электрическое сопротивление	$R = \frac{U}{I}$	Ом	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Ом равен сопротивлению такого проводника, в котором при напряжении 1 В течет постоянный ток 1 А
Электрическая проводимость	$G = \frac{1}{R}$	См	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	Сименс равен проводимости участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом
Удельное электрическое сопротивление	$\rho = \frac{RS}{l}$	Ом·м	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	Ом-метр равен удельному электрическому сопротивлению проводника площадью поперечного сечения 1 м ² и длиной 1 м, имеющего сопротивление 1 Ом
Удельная электрическая проводимость	$\sigma = \frac{1}{\rho}$	$\frac{См}{м}$	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	Сименс на метр равен удельной электрической проводимости проводника, который при площади поперечного сечения 1 м ² и длине 1 м имеет электрическую проводимость 1 См

1	2	3	4	5
Магнитная индукция	$B = \frac{F}{Il}$	Тл	$MT^{-2}I^{-1}$	Тесла равна магнитной индукции такого однородного магнитного поля, которое действует силой 1 Н на каждый метр длины проводника, расположенного перпендикулярно направлению поля, если по этому проводнику проходит ток 1 А: $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Н}/(\text{А} \cdot \text{м})$
Магнитный поток	$\Phi = BS$	Вб	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	Вебер равен магнитному потоку, проходящему сквозь плоскую поверхность площадью 1 м ² , расположенную перпендикулярно однородному магнитному полю, индукция которого равна 1 Тл: $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$
Напряженность магнитного поля	$H = \frac{B}{\mu_0}$	$\frac{А}{м}$	$L^{-1}I$	Ампер на метр равен напряженности такого поля, магнитная индукция которого в вакууме равна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Тл
Магнитный момент контура с током	$p_m = IS$	$A \cdot m^2$	L^2I	Ампер – квадратный метр равен магнитному моменту контура площадью 1 м ² , если по нему течет ток 1 А
Индуктивность	$L = \frac{\Phi}{I}$	Гн	$L^2MT^{-2}I^2$	Генри равен индуктивности такого контура, магнитный поток самоиндукции которого при токе 1 А равен 1 Вб: $1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб}/\text{А}$
Намагниченность	$J = \sum \frac{p_m}{V}$	$\frac{А}{м}$	$L^{-1}I$	Ампер на метр равен намагниченности, при которой вещество объемом 1 м ³ имеет магнитный момент 1 А·м ²

1	2	3	4	5
Оптика				
Энергия излучения	W	Дж	L^2MT^{-2}	Джоуль равен энергии излучения, эквивалентной работе 1 Дж
Поток излучения	$\Phi_e = \frac{W}{t}$	Вт	L^2MT^{-3}	Ватт равен потоку излучения, эквивалентному механической мощности 1 Вт
Энергетическая сила (сила излучения)	$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$	$\frac{Вт}{ср}$	L^2MT^{-3}	Ватт на стерадиан равен энергетической силе света точечного источника, излучающего в телесном угле 1 ср поток излучения 1 Вт
Энергетическая яркость	$B_e = \frac{dI_e}{dS}$	$\frac{Вт}{ср \cdot м^2}$	MT^{-3}	Ватт на стерадиан - квадратный метр равен энергетической яркости равномерно излучающей плоской поверхности площадью 1 м ² в перпендикулярном ей направлении при силе излучения 1 Вт/ср
Световой поток	Φ	лм	I	Люмен равен световому потоку, испускаемому точечным источником силой света 1 кд внутри телесного угла 1 ср (при равномерности поля излучения внутри телесного угла)
Светимость	$R = \frac{\Phi}{S}$	$\frac{лм}{м^2}$	$L^{-2}J$	Люмен на квадратный метр равен светимости поверхности площадью 1 м ² , испускающей световой поток 1 лм
Яркость	$B = \frac{J}{S}$	$\frac{кд}{м^2}$	$L^{-2}J$	Кандела на квадратный метр равна яркости светящейся поверхности площадью 1 м ² при силе света 1 кд
Освещенность	$E = \frac{\Phi}{S}$	Лк	$L^{-2}J$	Люкс равен освещенности поверхности, на 1 м ² которой падает световой поток 1 лм

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

НЕКОТОРЫЕ ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ
И ИХ СООТНОШЕНИЕ С ЕДИНИЦАМИ СИ

Наименование величины, определение	Единица		Соотношение с единицами СИ
	Наименование	Обозначение	
Сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 9,81 м/с ²	килограмм-сила	КГС (кГ)	9,81 Н
Мощность такого устройства, в котором работа 75 КГС·м совершается за время 1 с	лошадиная сила	л.с.	736 Вт
Давление, которое создает сила 1 КГС на площадь 1 см ²	атмосфера техническая	атм. тех.	0,981 · 10 ⁵ Па
Давление, которое создает столб ртути высотой 760 мм	атмосфера физическая	атм. физ.	101325 Па (1 мм рт.ст. = 133 Па)
Количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 г химически чистой воды для ее нагревания от 19,5°С до 20,5°С	калория	кал	4,2 Дж
Работа, которую совершает устройство мощностью 10 ³ Вт в течение 1 ч	киловатт-час	кВт·ч	3,6 · 10 ⁶ Дж = 3,6 МДж
Энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов 1 В	электронвольт	эВ	1,6 · 10 ⁻¹⁹ В
Атомная единица массы	а.е.м.	а.е.м.	1,66 · 10 ⁻²⁷ кг
Единица длины, используемая в атомной физике и оптике	ангстрем	А	10 ⁻¹⁰ м

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Средний радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Средняя плотность Земли	5500 кг/м ³
Масса Земли	$5,96 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1,97 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,3 \cdot 10^{22}$ кг
Среднее расстояние от Луны до Земли	$3,84 \cdot 10^8$ м
Период обращения Луны вокруг Земли	27 сут 7 ч 43 мин
Средняя плотность Солнца	1400 кг/м ³
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1,49 \cdot 10^8$ км.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ*

Нормальное ускорение свободного падения	$g = 9,81$ м/с ²
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг · с ²)
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31$ Дж/(К · моль)
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль $T_0 = 273$ К, $p_0 = 101325$ Па
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Фарадея	$F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Удельный заряд электрона	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Скорость света в вакууме	$c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, $\hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

* Округленные значения.

Постоянная Ридберга	$R = 3,29 \cdot 10^{15}$ с ⁻¹
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Масса покоя протона	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2 = 939,573$ МэВ
Энергия покоя протона	$m_p c^2 = 938,279$ МэВ
Энергия покоя электрона	$m_e c^2 = 0,511$ МэВ
Энергия, соответствующая 1 а.е.м.	1 а.е.м. = 931,502 МэВ

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

6.1. Плотность при нормальных условиях

$p = 1,01 \cdot 10^5$ Па, $T = 273$ К

Вещество	Плотность $\times 10^3$, кг/м ³
<i>Твердые тела</i>	
Алюминий	2,7
Дерево	0,8
Железо	7,8
Золото	19,3
Кирпич	1,8
Лед	0,9
Медь	8,9
Олово	7,3
Никель	8,8
Свинец	11,3
Серебро	10,5
Сталь	7,8

Вещество	Плотность $\times 10^3$, кг/м ³
<i>Жидкости</i>	
Вода морская	1,03
Вода чистая	1,0
Керосин	0,8
Масло	0,9
Ртуть	13,6
Спирт	0,8
<i>Газы</i>	
Азот	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Водород	$0,089 \cdot 10^{-3}$
Воздух	$1,29 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Кислород	$1,43 \cdot 10^{-3}$
СО	$1,25 \cdot 10^{-3}$
СО ₂	$1,98 \cdot 10^{-3}$

**6.2. Скорость звука
в жидкостях, газах,
твердых изотропных телах
(при $t = 20^\circ\text{C}$)**

Вещество	Скорость звука, м/с
Вода морская	1510
Керосин	1295
Ртуть	1450
Азот	334
Водород	1320
Воздух	343
Гелий	980
Углекислый газ	267
Алюминий	5080
Железо	5170
Лед	3280
Медь	3710
Пробка	500
Резина	46
Свинец	2640
Сталь	5050
Стекло (крон)	5300
Стекло (флинт)	3490

**6.4. Модуль упругости
(модуль Юнга)**

Вещество	Модуль упругости $\times 10^{11}$, Па
Алюминий	0,7
Вольфрам	3,8
Железо	2,1
Латунь	0,9
Медь	1,2
Свинец	0,17
Сталь	2,2

6.3. Удельная теплоемкость

Вещество	Удельная теплоемкость $\times 10^3$, Дж/(кг · К)
Азот	1,05
Алюминий	0,88
Вода	4,19
Водород	14,20
Воздух	1,005
Железо	0,46
Кислород	0,92
Латунь	0,38
Лед	2,10
Медь	0,38
Олово	0,23
Свинец	0,13
Спирт	2,42
Сталь	0,46
Углекислый газ	0,83

**6.5. Температура плавления
твердых тел**

Вещество	Температура, К
Алюминий	933
Железо	1803
Латунь	1173
Лед	273
Медь	1356
Олово	505
Свинец	600
Серебро	1233

**6.6. Температура
парообразования**

Вещество	Температура, К
Вода	373
Ртуть	630
Спирт	351
Эфир	308

**6.8. Удельная теплота
плавления**

Вещество	Удельная теплота плавления $\times 10^3$, Дж/кг
Алюминий	3,90
Лед	3,35
Медь	1,80
Олово	0,58
Свинец	0,25

**6.10. Коэффициент теплового
расширения твердых тел**

Вещество	Коэффициент $\times 10^{-5}$, К ⁻¹
Алюминий	2,40
Железо	1,20
Инвар	0,15
Латунь	1,90
Медь	1,70
Свинец	2,90
Сталь	1,10
Стекло	0,90

**6.7. Удельная теплота
парообразования**

Вещество	Удельная теплота парообразования $\times 10^3$, Дж/кг
Вода	22,60
Ртуть	2,82
Спирт	9,05
Эфир	3,68

**6.9. Удельная теплота
сгорания**

Вещество	Удельная теплота сгорания $\times 10^7$, Дж/кг
Бензин	4,61
Дерево	1,26
Каменный уголь	2,93
Керосин	4,61
Нефть	4,61
Спирт	2,93

**6.11. Диэлектрическая
проницаемость**

Вещество	Диэлектрическая проницаемость
Вода	81,0
Глицерин	39,1
Керосин	2,0
Масло (трансформаторное)	2,2
Парафин	2,0
Слюда	7,0
Стекло	7,0
Эбонит	3,0

6.12. Удельное сопротивление
(при 20 °С), температурный
коэффициент сопротивления металлов

Металл	$\rho \times 10^{-8}, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\alpha \times 10^{-4}, \text{ К}^{-1}$
Алюминий	2,8	4,9
Вольфрам	5,5	4,5
Графит	390	0,8
Железо	9,8	6,2
Медь	1,75	3,9
Никель	10,0	5,0
Свинец	22,1	4,1
Ртуть	95,8	0,9
Серебро	1,6	3,6
Тантал	15,5	3,1
Цинк	5,9	3,5

6.14. Работа выхода
электронов из металла

Металл	$A, \text{ эВ}$	$A \times 10^{-19}, \text{ Дж}$
Калий	2,2	3,5
Литий	2,3	3,7
Натрий	2,5	4,0
Платина	6,3	10,1
Серебро	4,7	7,5
Цинк	4,0	6,4

6.13. Относительная магнитная
проницаемость различных
веществ (при 20 °С)

Вещество	μ/μ_0
Ферромагнетики*	
Железо	5500
Сплав Fe + Ni	25000
Сплав Ni + Fe + Cu + Cr	100000
Парамагнетики	
Алюминий	1,000023
Магний	1,000012
Титан	1,000071
Уран	1,00040
Диамагнетики	
Висмут	0,999834
Медь	0,999990
Золото	0,999964
Ртуть	0,999971

6.15. Температура перехода
в сверхпроводящее состояние
некоторых металлов

Вещество	Температура, К
Алюминий	1,2
Олово	3,7
Ртуть	4,1
Свинец	7,3
Ниобий	9,2

6.16. Показатель
преломления газов*

Газ или пар	$(n-1) \cdot 10^{-4}$
Азот	2,97
Аммиак	3,77
Ацетилен	6,06
Бензол	7,88
Водород	1,38
Водяной пар	2,57
Воздух	2,92
Гелий	0,35
Кислород	2,72
Метан	4,41
Ртуть	9,33
Селен	8,95
Сернистый ангидрид	7,37
Сероуглерод	6,19
Теллур	9,91
Углекислый газ	4,50
Хлороформ	14,55
Цинк	20,50
Четыреххлористый углерод	17,63

6.17. Показатель преломления
твердых тел и жидкостей
(при 15 °С, для D-линии натрия,
относительно воздуха)

Вещество	n
Твердые тела	
Алмаз	2,417
Лед	1,31
Сахар	1,56
Слюда	1,56–1,60
Стекло	1,5
Топаз	1,63
Жидкости	
Анилин	1,586
Бензол	1,504
Вода (20 °С)	1,333
Глицерин	1,47
Канадский бальзам	1,53
Серная кислота	1,43
Сероуглерод	1,632
Скипидар	1,47
Спирт метиловый	1,33
Спирт этиловый	1,362
Хлороформ	1,449
Эфир этиловый	1,354
Масла	
Гвоздичное	1,532
Кедровое	1,516
Кричное	1,601
Оливковое	1,46
Парафиновое	1,44

* Максимальные значения; реальные значения зависят от приложенного поля.

* Относятся к длине волны, соответствующей желтой линии натрия (D), температуре (0 °С) и нормальному давлению (101325 Па); по формуле $(n-1)/\rho = \text{const}$ (для данного газа) можно рассчитать показатель преломления n для других плотностей ρ .

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА																			
I												VII		VIII					
1	H	2	He											9	F	10	Ne		
1	1.00797 ВОДОРОД	4.003 гелий											9	18.998 ФТОР	20.183 НЕОН				
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne											
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar											
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac-(Lr)	Ku	(Ns)														
* ЛАНТАНОИДЫ																			
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
138.91 ЛАНТАН	140.12 ЦЕРИЙ	140.91 ПРИСМЕРИЙ	144.2 НЕОДИМ	145 ПРОМЕТИЙ	150.4 СМАЙТ	151.96 ЕВРОПИЙ	157.2 ГАДОЛИНИЙ	158.93 ТЕРБИЙ	162.5 ДИСПРОСИЙ	164.93 ГЕОЛАНДИЙ	167.26 ЭРБИЙ	168.93 ТУЛЬИЙ	173.05 ИТТЕРБИЙ	175.05 ЛУЦИЙ					
* АКТИНОИДЫ																			
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)					
227 АКТИНИЙ	232.04 ТОРИЙ	231.04 ПРОТАКТИНИЙ	238.02 УРАН	237.04 НЕПТУНИЙ	244 ПУТОНИЙ	243 АМЕРИЦИЙ	247 КЮРИЙ	247 БЕРКЛИЙ	251 КАЛИФОРНИЙ	254 ЭЙЗЕНСТАЙН	257 ФЕРМИЙ	258 МЕНДЕЛЕВИЙ	259 НОБЕЛИЙ	261 ЛОРЕНЦИЙ					



Периодический закон открыт
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году

Атомный номер
Относительная
атомная масса

Учебное издание

*Васюков Владимир Иванович
Еркович Ольга Станиславовна
Подгузов Геннадий Васильевич*

ФИЗИКА

**Основные формулы, законы.
Размерность, единицы измерения
физических величин**

Справочное пособие для поступающих в вузы

*Редактор Бойцова Н.Г.
Корректор Максимова О.К.
Художник Черных П.И.
Компьютерная верстка Семенов И.А.*

Подписано в печать 10.05.2006 г. Формат 60х84/16. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 5,3.

Учебный центр «Ориентир» при МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

www.bmstu-orientir.ru