



ISBN 5-7107-4458-1



9 785710 744581

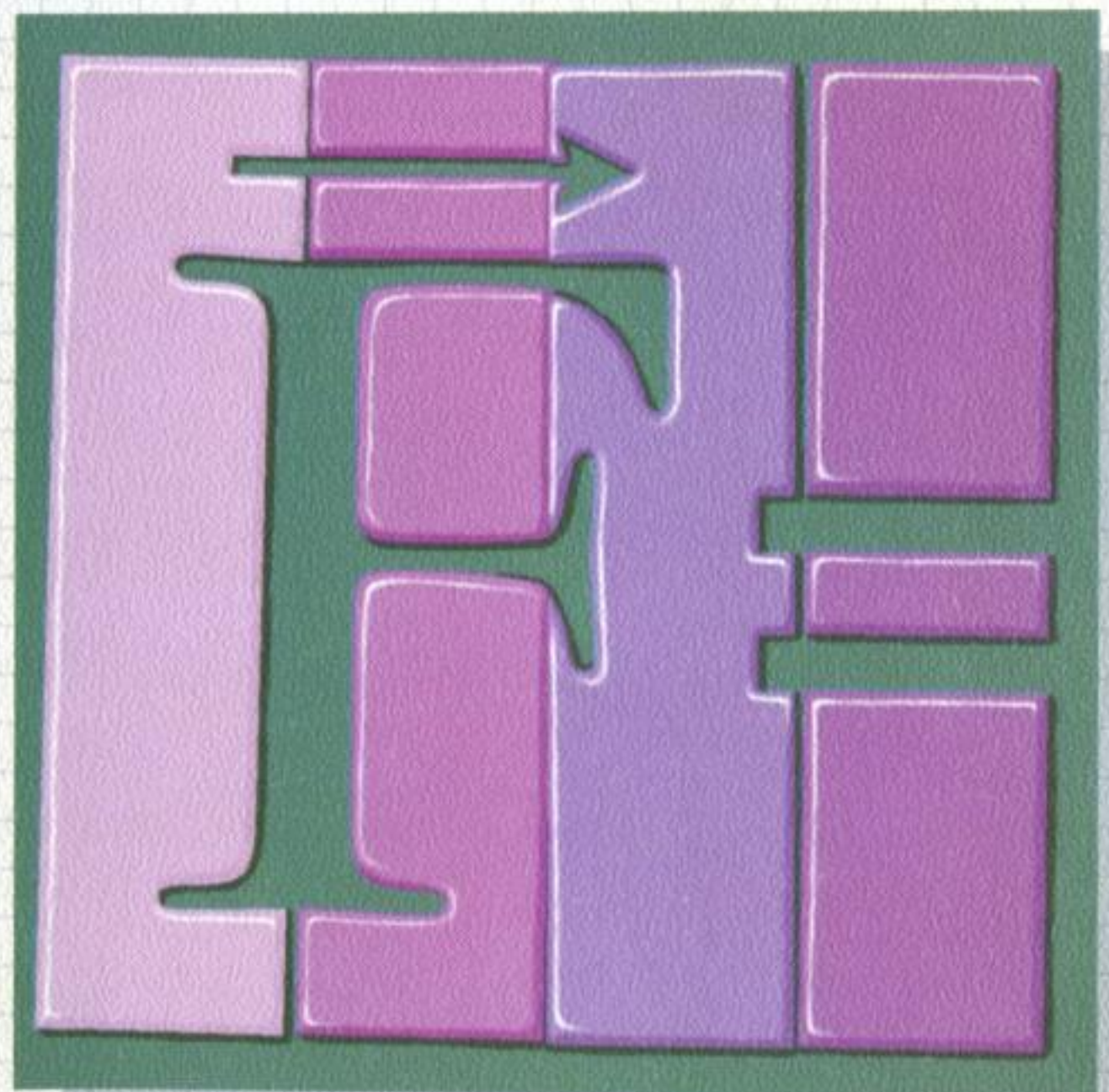
Физика формулах

ФИЗИКА

(В. Ф. О. Р. М. У. Л. А. Х)

7-11

К Л А С С Ы



« Д Р О Ф А »

Ф И З И К А

В Ф О Р М У Л А Х

К Л А С С Ы

7·11

*Справочное
пособие*



Автор-составитель
В.А.Ильин

5-е издание, стереотипное



ДРОФА
Москва · 2001

УДК 373.167.1:53(085)

ББК 22.3я2

Ф50

Физика в формулах. 7—11 кл.: Справочное
Ф50 пособие / Авт.-сост. В. А. Ильин. — 5-е изд.,
стереотип. — М.: Дрофа, 2001. — 64 с.

ISBN 5—7107—4458—1

Справочное пособие содержит основные формулы и определения по всем разделам физики в соответствии с программой для общеобразовательных учебных заведений.

Пособие адресовано учащимся 7—11 классов школ, колледжей, лицеев, техникумов, а также абитуриентам.

УДК 373.167.1:53(085)

ББК 22.3я2

Учебное издание

ФИЗИКА В ФОРМУЛАХ

7—11 классы

Справочное пособие

Автор-составитель *Ильин Вадим Алексеевич*

Ответственный редактор *Е. Н. Тихонова*

Редактор *Л. А. Панюшкина*

Оформление *А. В. Кузнецов*

Компьютерная верстка *А. Е. Косых*

Технический редактор *Н. И. Герасимова*

Корректор *Т. К. Остроумова*

Изд. лиц. № 061622 от 07.10.97.

Подписано к печати 15.08.01. Формат 84×108^{1/32}.

Бумага типографская. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,7. Тираж 10 000 экз. Заказ № 808.

ООО «Дрофа». 127018, Москва, Суцевский вал, 49.

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа»
обращаться по адресу: 127018, Москва, Суцевский вал, 49.

Тел.: (095) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (095) 795-05-52.

Торговый дом «Школьник».

109172, Москва, ул. Малые Каменщики, д. 6, стр. 1А.

Тел.: (095) 911-70-24, 912-15-16, 912-45-76.

ОАО «Типография «Новости».

107005, Москва, ул. Ф. Энгельса, 46.

ISBN 5—7107—4458—1

© ООО «Дрофа», 1997

Предисловие

Справочник «Физика в формулах» адресован учащимся 7—11 классов общеобразовательных учебных заведений, колледжей, лицеев и техникумов, абитуриентам, готовящимся к экзаменам, а также тем, кто изучает физику самостоятельно.

Наряду с пониманием физических явлений и процессов при изучении физики обязательным является знание формулировок ее основных законов и умение пользоваться их математическим выражением, то есть формулами. Фактически эти знания — тот фундамент, на котором строится все здание физики. Для многих людей, деятельность которых непосредственно не связана с физикой, именно определения и формулы надолго остаются в памяти после учебы в школе. Помочь школьнику в овладении формулировками и описывающими их формулами — цель данной книги.

При составлении справочника за основу взята стандартная программа по физике для общеобразовательных учебных заведений.

Пособие построено по тематическому признаку и делится на разделы: механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм, электромагнитные волны и оптика, квантовая физика и элементы теории относительности. Ряд разделов включает материал, изучаемый на первой ступени обучения (7, 8 и 9 классы) и на второй (10—11 классы).

Автор выражает признательность канд. пед. наук Е. Б. Петровой за помощь, оказанную на всех этапах подготовки книги.

I. Механика

7 класс

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ И ВЕЛИЧИНАХ

Масса. Масса m — скалярная физическая величина, характеризующая свойство тел притягиваться к Земле и к другим телам.

Масса тела — постоянная величина.

Единица массы — 1 килограмм (кг).

Плотность. Плотностью ρ называется отношение массы m тела к занимаемому им объему V :

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Единица плотности — 1 кг/м³.

Сила. Сила \vec{F} — физическая величина, характеризующая действие тел друг на друга и являющаяся мерой их взаимодействия. Сила — векторная величина; вектор силы характеризуется модулем (числовым значением) F , точкой приложения и направлением.

Единица силы — 1 ньютон (Н).

Сила тяжести. Сила тяжести — сила, с которой тела притягиваются к Земле. Она направлена к центру Земли и, следовательно, перпендикулярна к ее поверхности:

$$F_T = mg.$$

Давление. Давление p — скалярная физическая величина, равная отношению силы F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности S :

$$p = \frac{F}{S}.$$

Единица давления — 1 паскаль (Па) = 1 Н/м².

Работа. Работа A — скалярная физическая величина, равная произведению силы F на расстояние s , пройденное телом под действием этой силы:

$$A = Fs.$$

Единица работы — 1 джоуль (Дж) = 1 Н·м.

Энергия. Энергия E — скалярная физическая величина, характеризующая любое движение и любое взаимодействие и определяющая способность тела совершать работу.

Единица энергии, как и работы, — 1 Дж.

ГИДРОСТАТИКА

Закон Паскаля. Давление в покоящейся жидкости или газе передается по всем направлениям одинаково.

Давление столба жидкости. Столб жидкости (или газа) создает давление, обусловленное весом этого столба:

$$p = p_a + \rho gh,$$

$p_a = 10^5$ Па — атмосферное давление, ρ — плотность жидкости (или газа), h — высота столба. Давление не зависит от формы столба, а определяется только его высотой.

Закон Архимеда. На тело, погруженное в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила F_A , направленная вертикально вверх и численно равная весу вытесненной жидкости (или газа):

$$F_A = \rho gV,$$

ρ — плотность жидкости (газа), V — объем тела. F_A называют также силой Архимеда.

Условия плавания тел:

$mg > F_A$ — тело тонет,

$mg = F_A$ — тело плавает,

$mg < F_A$ — тело всплывает.

9 класс

КИНЕМАТИКА

Движение. Механическим движением тела называют изменение с течением времени его положения в пространстве.

Система отсчета. Связанные с телом отсчета систему координат и часы называют системой отсчета.

Материальная точка. Тело, размерами которого можно пренебречь при описании его механического движения, называется материальной точкой. Строго говоря, все законы механики справедливы для материальных точек.

Траектория. Линия, вдоль которой перемещается тело, называется траекторией. По виду траектории движения разделяются на два типа — прямолинейное и криволинейное.

Путь и перемещение. Путь — скалярная величина, равная расстоянию, пройденному телом вдоль траектории движения. Перемещение — вектор, соединяющий начальную и конечную точки пути.

Скорость. Скоростью \bar{v} называют векторную физическую величину, характеризующую быстроту и направление перемещения тела. Для равномерного движения скорость равна отношению перемещения ко времени, за которое оно произошло:

$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t}.$$

Единица скорости — 1 м/с.

Уравнение движения. Уравнение движения — зависимость перемещения от времени. Для равномерного прямолинейного движения уравнение движения имеет вид

$$\bar{s} = \bar{v}t.$$

Мгновенная скорость. Мгновенная скорость — отношение очень малого перемещения к промежутку времени, за который оно произошло:

$$\bar{v} = \frac{\Delta \bar{s}}{\Delta t}.$$

Средняя скорость:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Ускорение. Ускорением \bar{a} называют векторную физическую величину, характеризующую быстроту изменения скорости движения. При равнопеременном движении ускорение равно отношению изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло:

$$\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

Направление \bar{a} совпадает с направлением $\Delta \bar{v}$.

Единица ускорения — 1 м/с².

Мгновенная скорость при равнопеременном движении:

$$v = v_0 + at.$$

Путь тела при равнопеременном движении. Уравнение движения:

$$s = v_0t + \frac{at^2}{2}.$$

Если тело покоилось, то есть $v_0 = 0$, то

$$s = \frac{at^2}{2}.$$

При свободном падении тел в поле силы тяжести Земли

$$a = g = 9,8 \text{ м/с}^2,$$

g — ускорение свободного падения, а уравнение движения имеет вид

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПО ОКРУЖНОСТИ

Частота обращения:

$$\nu = \frac{N}{t},$$

N — число оборотов, совершенных за время t .

Единица частоты обращения — 1 оборот в секунду (1 с^{-1}).

Период обращения. Время одного оборота по окружности называется периодом вращения T :

$$T = \frac{t}{N}.$$

Единица периода обращения — 1 с.

Связь между частотой и периодом:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}.$$

Угловая скорость ω :

$$\omega = \frac{\varphi}{t},$$

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

φ — угловое перемещение тела.

Линейная скорость. Линейная скорость v тела при равномерном движении по окружности, оставаясь по-

стоянной по модулю, непрерывно изменяется по направлению и всегда направлена по касательной к траектории движения:

$$v = \frac{2\pi R}{T}; \quad v = 2\pi R\nu.$$

R — радиус обращения (радиус окружности).

Связь между линейной и угловой скоростями:

$$v = \omega R; \quad \omega = \frac{v}{R}.$$

Центростремительное ускорение. Ускорение $\bar{a}_{\text{ц.с.}}$ тела, равномерно движущегося по окружности, постоянно по модулю и всегда направлено к центру обращения. Его модуль равен частному от деления квадрата линейной скорости на радиус обращения:

$$a_{\text{ц.с.}} = \frac{v^2}{R}.$$

ДИНАМИКА

Масса в динамике. Масса m в динамике может рассматриваться как мера инертности тела, то есть его способности сохранять скорость неизменной до тех пор, пока на него не действуют другие тела.

Первый закон Ньютона (закон инерции). Всякое тело сохраняет свое первоначальное состояние относительного покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не подействуют другие тела.

Инерциальные системы отсчета. Системы отсчета, в которых справедлив закон инерции, называются инерциальными.

Второй закон Ньютона. Произведение массы тела на ускорение равно действующей на это тело силе. Векторы силы и ускорения имеют одинаковые направления:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Второй закон Ньютона справедлив только в инерциальных системах.

Ускорение, сообщаемое телу в результате одновременного действия нескольких сил, равно ускорению, которое сообщает ему их равнодействующая:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n.$$

Третий закон Ньютона. Силы, с которыми два взаимодействующих тела действуют друг на друга, направлены по одной прямой, равны по модулю и противоположны по направлению:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Центростремительная сила. Сила, с которой связь действует на тело при его движении по окружности, направленная к центру вращения, называется центростремительной силой:

$$F_{\text{ц.с.}} = ma_{\text{ц.с.}} = \frac{mv^2}{R}.$$

Закон Гука. Абсолютное удлинение Δl стержня при упругой деформации прямо пропорционально приложенной силе:

$$\Delta l = -\frac{F_{\text{упр}}}{k},$$

$F_{\text{упр}}$ — сила упругости, k — жесткость материала стержня.

Силой упругости называют силу, возникающую в деформируемом теле. Она пропорциональна абсолютной величине деформации и направлена противоположно деформирующей силе.

Принцип относительности Галилея. Все инерциальные системы отсчета равноправны, поэтому законы механики записываются в них одинаково. В них неизменны время, масса тела, ускорение и сила. Траектория и скорость перемещения в различных инерциальных системах различны.

Закон всемирного тяготения. Два тела притягиваются друг к другу по соединяющей их прямой с силой, прямо пропорциональной массам тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

G — гравитационная постоянная (фундаментальная физическая постоянная); $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

Равенство инертной и гравитационной масс. Массу можно определить как скалярную физическую величину, характеризующую одновременно как инертные, так и гравитационные свойства тел и являющуюся мерой обоих этих свойств.

Вес. Силу \vec{P} , с которой тело вследствие его притяжения к Земле действует на горизонтальную опору или подвес, препятствующие его свободному падению, называют весом. Вес — сила, приложенная к опоре, а не к телу:

$$P = mg,$$

m — масса тела, g — ускорение свободного падения.

Единица веса — 1 Н.

Первая космическая скорость. Минимальная скорость v_1 , которую нужно сообщить телу, чтобы вывести его на круговую орбиту вокруг Земли:

$$v_1 = \sqrt{gR_3} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с},$$

R_3 — радиус Земли.

Вторая космическая скорость. Минимальная скорость v_2 , которую нужно сообщить телу, чтобы вывести его из сферы притяжения Земли:

$$v_2 = \sqrt{2gR_3} = 11,2 \cdot 10^3 \text{ м/с.}$$

Сила трения. Сила, которая возникает на поверхности двух соприкасающихся тел, если они перемещаются друг относительно друга, называется силой трения. Сила трения, проявляющаяся при отсутствии относительного движения тел, называется силой трения покоя:

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

μ — коэффициент трения зависит от материалов и состояний трущихся поверхностей, а также от видов движения (скольжение, качение, покой и т.п.), N — сила нормального давления.

Сила сопротивления среды. Для малых скоростей

$$F_{\text{сопр}} = kv,$$

v — скорость движения, k — коэффициент сопротивления среды, зависящий от ее свойств, а также от формы, размеров и состояния поверхности движущегося тела. Для больших скоростей

$$F_{\text{сопр}} = kv^2.$$

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Импульс тела (количество движения). Импульс тела \vec{p} — векторная физическая величина, являющаяся мерой механического движения и равная произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Единица импульса — 1 кг · м/с.

Замкнутая система. Замкнутой (изолированной) системой называют совокупность тел, взаимодействующих только между собой и не взаимодействующих с телами, не входящими в эту систему.

Закон сохранения импульса. Векторная сумма импульсов тел замкнутой системы остается неизменной при любых взаимодействиях этих тел друг с другом:

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

Упругий удар:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2,$$

m_1, m_2 — массы сталкивающихся тел, \vec{v}_1, \vec{v}_2 — их скорости до столкновения, \vec{v}'_1, \vec{v}'_2 — скорости после столкновения.

Работа:

$$A = Fs \cos \alpha,$$

α — угол между векторами силы и перемещения.

Энергия. Универсальная количественная мера различных форм движения материи, в том числе и механического движения. (См. также с. 5.)

Консервативные силы. Силы, работа которых не зависит от формы пути, называются консервативными; в противном случае силы неконсервативны (например, силы трения).

Кинетическая энергия. Кинетическая энергия E_k — энергия, которой обладают движущиеся тела:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Потенциальная энергия. Потенциальная энергия $E_{\text{п}}$ — энергия взаимодействия тел, зависящая от их взаимного расположения.

Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести Земли равна

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

h — высота тела над Землей, g — ускорение свободного падения.

Работа как мера изменения энергии:

$$A = \pm \Delta E.$$

Примеры:

$$A = E_{\text{к}_1} - E_{\text{к}_2} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}.$$

$$A = E_{\text{п}_1} - E_{\text{п}_2} = mgh_1 - mgh_2.$$

Закон сохранения и превращения энергии. Энергия не создается и не уничтожается, она может лишь переходить из одной формы в другую. Возможен обмен энергией между различными видами материи — веществом и полем.

Полная механическая энергия и закон сохранения энергии в механике. Полной механической энергией E системы называют сумму ее кинетической и потенциальной энергий. Полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют лишь консервативные силы, сохраняется:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \text{const.}$$

Мощность. Мощностью P называют скалярную величину, характеризующую скорость преобразования энергии из одного вида в другой. Она измеряется отношением преобразованной энергии (совершенной работы) к

промежутку времени, за который это преобразование произошло:

$$P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{A}{t}.$$

Единица мощности — 1 ватт (Вт) = 1 Дж/с.

При равномерном движении мощность

$$P = Fv.$$

Коэффициент полезного действия (КПД). Коэффициент полезного действия η равен отношению полезно преобразованной энергии (работы) ко всей затраченной энергии (совершенной работе):

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A}.$$

КПД обычно выражают в процентах:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A} \cdot 100\%.$$

Всегда $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$).

ГИДРОАЭРОДИНАМИКА

Уравнение непрерывности. Для несжимаемой жидкости выполняется соотношение

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

v — скорость течения, S — площадь сечения потока.

Скорость течения жидкости в трубе переменного сечения обратно пропорциональна площади поперечного сечения трубы:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Закон Бернулли. Давление текущей жидкости (газа) больше там, где скорость течения меньше, и, наоборот, меньше там, где скорость течения больше:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2), \text{ или } p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const},$$

p — статическое давление, $\frac{\rho v^2}{2}$ — скоростной (динамический) напор.

Скорость истечения жидкости из сосуда (формула Торричелли). Скорость истечения жидкости из достаточно большого сосуда через малое отверстие равна

$$v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)},$$

h_1 — высота жидкости в сосуде, h_2 — высота расположения отверстия, из которого истечет жидкость ($h_1 > h_2$).

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Период. Периодом T называется промежуток времени, в течение которого система совершает одно полное колебание:

$$T = \frac{t}{N},$$

N — число полных колебаний за время t .

Частота. Частота ν — число колебаний в единицу времени:

$$\nu = \frac{N}{t}, \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Единица частоты — 1 герц (Гц) = 1 с⁻¹.

Циклическая частота:

$$\omega = 2\pi\nu.$$

Уравнение гармонического колебания:

$$x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

x — смещение тела от положения равновесия. X_m — амплитуда, то есть максимальное смещение, $(\omega t + \varphi_0)$ — фаза колебания, φ_0 — его начальная фаза.

Скорость. При $\varphi_0 = 0$:

$$v = -\omega X_m \sin \omega t.$$

Ускорение. При $\varphi_0 = 0$:

$$a = -\omega^2 X_m \cos \omega t.$$

Свободные колебания. Свободными называются колебания, возникающие в механической системе (осцилляторе) при единичном отклонении ее от положения равновесия, имеющие собственную частоту ω_0 , задаваемую только параметрами системы, и затухающие со временем из-за наличия трения.

Математический маятник. Частота:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

l — длина маятника, g — ускорение свободного падения.

Период:

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

Максимальную кинетическую энергию маятник имеет в момент прохождения положения равновесия:

$$E_{k\ m} = \frac{mv_m^2}{2}.$$

Пружинный маятник. Частота:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

k — жесткость пружины, m — масса груза.

Период:

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

Максимальную потенциальную энергию маятник имеет при максимальном смещении:

$$E_{\text{п max}} = \frac{kX_m^2}{2}.$$

Вынужденные колебания. Вынужденными называют колебания, возникающие в колебательной системе (осцилляторе) под действием периодически меняющейся внешней силы.

Резонанс. Резонанс — резкое увеличение амплитуды X_m вынужденных колебаний при совпадении частоты ω вынуждающей силы с частотой ω_0 собственных колебаний системы (осциллятора).

Волны. Волны — это колебания вещества (механические) или поля (электромагнитные), распространяющиеся в пространстве с течением времени.

Скорость волны. Скорость распространения волны v — скорость передачи энергии колебания. При этом частицы среды колеблются около положения равновесия, а не движутся с волной.

Длина волны λ — расстояние, на которое распространяется колебание за один период:

$$\lambda = vT, \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Единица длины волны — 1 метр (м).

Частота волны:

$$\nu = \frac{v}{\lambda}.$$

Единица частоты волны — 1 Гц.

ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИКИ

Момент силы. Моментом силы \vec{M} называется векторная величина, равная произведению силы \vec{F} , приложенной к любой точке тела, имеющего ось вращения, на плечо d :

$$\vec{M} = \vec{F}d.$$

d — кратчайшее расстояние от центра вращения до линии действия силы.

Единица момента силы — 1 Н · м.

Равновесие тела. Равновесием в механике называют такое состояние тела, при котором оно покоится относительно выбранной инерциальной системы отсчета.

Условие равновесия. Алгебраическая сумма моментов сил, действующих на тело, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n F_i d_i = 0.$$

Потенциальная энергия и равновесие. Механическая система тел, будучи предоставлена самой себе, занимает такое положение, при котором ее потенциальная энергия минимальна:

$$E_{\text{равн.п}} = E_{\text{п min}}.$$

II. Молекулярная физика и термодинамика

8 класс

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЯХ

Масса и размеры молекул. Средний диаметр молекулы $\approx 3 \cdot 10^{-10}$ м.

Средний объем пространства, занимаемого молекулой $\approx 2,7 \cdot 10^{-29}$ м³.

Средняя масса молекулы $\approx 2,4 \cdot 10^{-26}$ кг.

Идеальный газ. Идеальным называют газ, молекулы которого можно считать материальными точками и взаимодействие которых друг с другом осуществляется только путем столкновений.

Теплообмен. Теплообмен — процесс обмена внутренней энергией соприкасающихся тел, имеющих разные температуры. Энергия, переданная телом или системой тел в процессе теплообмена, есть количество теплоты Q :

$$Q = \Delta U.$$

Нагревание и охлаждение. Нагревание и охлаждение возникают благодаря получению одним телом количества теплоты $Q_{\text{нагр}}$ и потери другим количества теплоты $Q_{\text{охл}}$. В замкнутой системе

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{охл}}.$$

Количество теплоты:

$$Q = mc(t_2 - t_1) = mc \Delta t,$$

m — масса тела, Δt — изменение температуры при нагревании (охлаждении), c — удельная теплоемкость — энергия, необходимая для нагревания тела массой в 1 кг на 1 °С (на один кельвин).

Единица удельной теплоемкости — 1 Дж/(кг · К).

Плавление и кристаллизация:

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{крист}} = \lambda \cdot m,$$

λ — удельная теплота плавления, измеряется в Дж/кг.

Парообразование и конденсация:

$$Q_{\text{пар}} = Q_{\text{конд}} = r \cdot m,$$

r — удельная теплота парообразования, измеряется в Дж/кг.

Сгорание:

$$Q_{\text{сгор}} = k \cdot m,$$

k — удельная теплота сгорания (теплотворная способность), измеряется в Дж/кг.

Внутренняя энергия и работа. Внутренняя энергия тела может изменяться не только за счет теплопередачи, но и за счет совершения работы:

$$A = \pm \Delta U.$$

Работа, совершаемая самой системой, положительна, внешними силами — отрицательна.

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2},$$

p — давление, n — концентрация молекул, $\overline{v^2}$ — средняя квадратичная скорость молекул, m_0 — масса молекулы.

Температура. Температурой называется скалярная физическая величина, характеризующая интенсивность теплового движения молекул изолированной системы при тепловом равновесии и пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

Температурные шкалы. Шкала Цельсия: единица температуры — 1 градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Температура замерзания воды $t = 0^{\circ}\text{C}$; температура кипения воды $t = 100^{\circ}\text{C}$.

Шкала Кельвина: единица температуры — 1 кельвин (К).

Так как единица температуры по абсолютной шкале 1 К выбрана равной единице температуры по шкале Цельсия 1°C , то при любой температуре t по Цельсию значение температуры T , по абсолютной шкале, выше на 273 градуса:

$$T = 273 + t.$$

Связь температуры газа с кинетической энергией движения его молекул:

$$E_k = \frac{3}{2} kT,$$

k — постоянная Больцмана (фундаментальная физическая постоянная); $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Давление газа:

$$p = nkT.$$

Уравнение состояния идеального газа:

$$\frac{pV}{T} = kN,$$

$N = n \cdot V$ — общее число молекул.

Уравнение Клапейрона—Менделеева:

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R.$$

m — масса газа, M — масса 1 моля газа, R — универсальная газовая постоянная:

$$R = kN_A = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

N_A — постоянная Авогадро (фундаментальная физическая постоянная); $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ — число молекул в 1 моле вещества.

Изотермический процесс. Закон Бойля—Мариотта. При постоянной температуре T и постоянной массе m газа произведение его давления на объем есть величина постоянная:

$$pV = \text{const};$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2;$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Изобарный процесс. Закон Гей-Люссака. Объем данной массы газа при постоянном давлении зависит от температуры по линейному закону:

$$V = V_0(1 + \alpha t),$$

V_0 — исходный объем, α — изобарный коэффициент расширения, одинаковый для всех газов ($\alpha \approx 1/273 \text{ K}^{-1}$).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Изохорный процесс. Закон Шарля. Давление данной массы газа при постоянном объеме зависит от температуры по линейному закону:

$$p = p_0(1 + \alpha t),$$

p_0 — исходное давление, α — температурный коэффициент давления, одинаковый для всех газов ($\alpha \approx 1/273 \text{ K}^{-1}$).

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ, ЖИДКОСТИ, ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Реальный газ. В отличие от идеального, молекулы реального газа имеют конечные размеры и взаимодействуют друг с другом.

Насыщенный пар. Газ, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью, называют насыщенным паром этой жидкости.

Точка росы. Температуру, при которой пар (газ) переходит в состояние насыщения, называют точкой росы.

Влажность воздуха. Относительной влажностью воздуха φ называют выраженное в процентах отношение давления p водяного пара, содержащегося в воздухе,

к давлению p_H насыщенного пара при данной температуре:

$$\varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%.$$

Объемное расширение жидкости:

$$V = V_0(1 + \beta t),$$

β — коэффициент объемного расширения, измеряемый в K^{-1} .

Поверхностное натяжение. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ численно равен силе, с которой поверхностный слой жидкости действует на единицу длины того или иного контура на поверхности по касательной к этой поверхности:

$$\sigma = \frac{F}{l},$$

F — сила поверхностного натяжения; σ измеряется в Н/м.

Капиллярные явления. Высота h поднятия (опускания) жидкости в капилляре прямо пропорциональна коэффициенту поверхностного натяжения σ и обратно пропорциональна радиусу капилляра r :

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

r — радиус капилляра, ρ — плотность жидкости. Если жидкость смачивает стенки капилляра, $h > 0$, в противоположном случае $h < 0$. ($h = 0$ — высота уровня жидкости в сосуде, в которую погружен капилляр.)

Закон Гука:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{ES} = \frac{\sigma}{E},$$

$\Delta l/l$ — относительное удлинение стержня, S — площадь поперечного сечения стержня, F — сила упругости, $\sigma = F/S$ — механическое напряжение, E — модуль упругости (модуль Юнга).

Линейное расширение твердого тела:

$$l = l_0(1 + \alpha t),$$

α — коэффициент линейного расширения твердого тела, измеряемый в K^{-1} .

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Внутренняя энергия идеального газа. Внутренняя энергия $U_{и.г.}$ идеального газа есть кинетическая энергия движения молекул:

$$U_{и.г.} = \frac{3}{2} NkT.$$

Внутренняя энергия идеального газа — это функция состояния. Она зависит только от состояния газа, а не от пути, по которому он приведен в данное состояние.

Внутренняя энергия реальных газов. Внутренняя энергия реальных газов зависит от температуры, объема и структуры его молекул:

$$U_{р.г.} = \frac{3}{2} NkT + E_{вращ} + E_{колеб} + E_{п}.$$

Внутренняя энергия реального газа включает кинетическую энергию поступательного, вращательного $E_{вращ}$ и колебательного $E_{колеб}$ движения молекул, а также потенциальную энергию $E_{п}$ их взаимодействия.

Первый закон термодинамики (первое начало термодинамики). Закон сохранения энергии в применении к тепловым явлениям называют первым законом (началом) термодинамики.

Основная формулировка первого закона термодинамики. Количество теплоты, сообщенное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы над внешними телами:

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

Другая формулировка первого закона термодинамики. Нельзя осуществить вечный двигатель первого рода.

Первый закон термодинамики и термодинамические процессы.

Изохорный процесс:

$$V = \text{const}; \quad Q_V = \Delta U.$$

Изобарный процесс:

$$p = \text{const}; \quad Q_p = \Delta U + A,$$

при этом

$$A = p \Delta V.$$

Если газ расширяется, то $\Delta V > 0$, $A > 0$.
Если газ сжимается, то $\Delta V < 0$, $A < 0$.

Изотермический процесс:

$$T = \text{const}; \quad Q_T = A.$$

Адиабатный процесс. Адиабатным называется процесс, при котором система не получает и не отдает энергию посредством теплопередачи, то есть

$$Q_{ад} = 0, \quad A = -\Delta U.$$

В этом случае работа

$$A_{\text{ад}} = \frac{3}{2} Nk(T_1 - T_2).$$

Направленность тепловых процессов. Внутренняя энергия тела ни при каких условиях не может целиком превратиться в другие виды энергии. Это определяет направление протекания процессов в природе.

Второй закон термодинамики. Внутренняя энергия не может самопроизвольно переходить от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой.

Другая формулировка второго закона термодинамики. Вечный двигатель второго рода невозможен.

КПД теплового двигателя:

$$\eta = \frac{A}{Q}.$$

КПД реального теплового двигателя равен

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < 1.$$

Q_1 — количество теплоты, отнятое у нагревателя, Q_2 — количество теплоты, переданное холодильнику.

Идеальный тепловой двигатель. Цикл Карно. При использовании цикла Карно, включающего два изотермических и два адиабатных процесса, достигается максимальный КПД теплового двигателя

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

T_1 — температура нагревателя, T_2 — температура холодильника (T_1 и T_2 — в кельвинах).

III. Электричество и магнетизм

8 класс

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

Электрическое поле. Наэлектризованные тела образуют вокруг себя особую субстанцию — электрическое поле, через которое они действуют на другие наэлектризованные тела (на электрический заряд).

Электрический заряд. Электрический заряд делим. Наименьшим отрицательным зарядом обладает электрон; e — квант электрического заряда (*фундаментальная физическая постоянная*), равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (кулон).

Электрический заряд в проводниках. Электрические заряды располагаются на поверхности проводника. Электрического поля внутри проводника нет.

Электрический ток в металлах. Электрический ток в металлах есть упорядоченное движение свободных электронов под действием электрического поля.

НЕКОТОРЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Напряжение. Напряжением U называют физическую величину, равную отношению работы A электрического поля по перемещению электрического заряда на данном участке цепи к величине q этого заряда:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Единица напряжения — 1 вольт (В).

Сила тока. Сила тока I — электрический заряд, протекающий в единицу времени через поперечное сечение проводника:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Единица силы тока — 1 ампер (А).

Сопротивление. Сопротивлением R называют свойство проводника ограничивать силу тока, протекающего по нему.

Единица сопротивления — 1 ом (Ом) = 1 В/А.

Удельное сопротивление. Удельное сопротивление ρ определяет электрические свойства материала, из которого изготовлен проводник; сопротивление провода зависит от его длины и площади поперечного сечения:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{RS}{l}.$$

Единица удельного сопротивления — 1 Ом · м.

Закон Ома для участка цепи. Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на этом участке и обратно пропорциональна его сопротивлению R :

$$I = \frac{U}{R}.$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Сила тока в цепи последовательно соединенных проводников:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_N.$$

Напряжение в цепи последовательно соединенных проводников:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_N.$$

Сопротивление цепи последовательно соединенных проводников:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N.$$

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Сила тока при параллельном соединении проводников:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N.$$

Напряжение при параллельном соединении проводников:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_N.$$

Сопротивление параллельно соединенных проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}.$$

Работа электрического тока:

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

В технике работу электрического тока принято измерять в ватт-секундах; 1 Вт · с — это работа тока силой в 1 А на участке цепи с напряжением 1 В в течение 1 с (1 Вт · с = 1 Дж).

Мощность электрического тока:

$$P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Единица мощности — 1 ватт (Вт) = 1 А · В.

Тепловое действие тока. Закон Джоуля—Ленца. Количество теплоты Q , выделившейся в проводнике, равно произведению квадрата силы тока, протекающего через него, на сопротивление проводника и время прохождения тока:

$$Q = I^2Rt.$$

Магнитное поле тока. Магнитное поле создается движущимися зарядами, т.е. током, и действует только на движущиеся заряды. Линии магнитного поля замкнуты; в случае прямого тока они имеют вид концентрических окружностей, охватывающих ток.

Правило буравчика. Направление магнитных линий определяется по правилу буравчика: если буравчик вкручивается по направлению тока, то вращение его ручки дает направление магнитных линий поля, создаваемого этим током.

Магнитное поле катушки:

$$B \sim \mu \frac{In}{d},$$

μ — магнитная проницаемость сердечника катушки, характеризующая его магнитные свойства (если сердечник отсутствует, то $\mu = 1$), I — сила тока, протекающего через катушку, n — число витков, d — длина катушки.

Электромагнитная индукция. Физическая сущность явления электромагнитной индукции состоит в том, что при изменении магнитного поля возникает индукционный ток, пропорциональный скорости этого изменения.

Электромагнитное поле. Вокруг проводников с током одновременно существуют связанные друг с другом магнитное и электрическое поля, называемые электромагнитным полем.

Скорость электромагнитных волн. Скорость электромагнитных волн в вакууме c — самая большая из всех возможных скоростей передачи сигналов (c — фундаментальная физическая постоянная):

$$c \approx 300\,000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Конденсатор и емкость. Свойство конденсатора накапливать на своих пластинах электрические заряды характеризуется емкостью C :

$$C = \frac{q}{U},$$

q — заряд, U — напряжение на пластинах конденсатора.

Единица емкости — 1 фарад (Ф) = 1 Кл/В.

Катушка и индуктивность. Свойство катушки накапливать в себе энергию магнитного поля характеризуется индуктивностью L .

Единица индуктивности — 1 генри (Гн).

Колебательный контур. Электрическая цепь, состоящая из конденсатора емкости C и катушки индуктивности L , называется колебательным контуром.

Собственная частота колебаний в контуре:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Период:

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

10 класс

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Закон сохранения заряда. Алгебраическая сумма электрических зарядов q в замкнутой системе остается постоянной:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const.}$$

Заряды на поверхности проводника. Электрический заряд, приходящийся на единицу поверхности проводника, называется поверхностной плотностью заряда σ :

$$\sigma = \frac{q}{S}.$$

Закон Кулона. Два неподвижных точечных заряда, находящихся в вакууме, взаимодействуют с силами, направленными по соединяющей их прямой, пропор-

циональными произведению этих зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}.$$

k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц измерения.

В СИ закон Кулона записывается в виде

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R^2},$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2,$$

ϵ_0 — электрическая постоянная (фундаментальная физическая постоянная), $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл} / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$.

Единица электрического заряда — 1 кулон (Кл).

Напряженность электрического поля. Напряженностью \vec{E} электрического поля называют векторную физическую величину, являющуюся силовой характеристикой поля в данной точке. Напряженность равна отношению силы, с которой поле действует на пробный заряд q , к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

Единица напряженности — 1 Н/Кл.

Напряженность поля точечного заряда:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}.$$

Принцип суперпозиции. Напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей каждого из них:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i.$$

Электрическое поле бесконечной проводящей плоскости:

$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon},$$

σ — поверхностная плотность зарядов, ϵ — диэлектрическая проницаемость вещества.

Поле двух разноименно заряженных проводящих плоскостей:

$$E_{2\text{пл}} = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon} = 2E_{\text{пл}}.$$

Электрическое поле точечного заряда в диэлектриках:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2},$$

Закон Кулона в диэлектриках:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}.$$

Работа электростатического поля. Работа по перемещению заряда между двумя точками в электростатическом поле не зависит от формы траектории и определяется лишь положениями этих точек. Другими словами: работа электростатического поля при перемещении заряда по замкнутому контуру равна нулю. Такое поле называется потенциальным.

Разность потенциалов. Разность потенциалов — скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой электрического поля.

Разность потенциалов, или напряжение, $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ есть отношение работы поля по перемещению пробного заряда между двумя точками к величине этого заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q}.$$

Единица разности потенциалов — 1 вольт (В) = 1 Дж/Кл.

Соотношение между напряженностью поля и разностью потенциалов:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l} = \frac{U}{l},$$

l — расстояние между точками поля.

Емкость плоского конденсатора:

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

S — площадь пластин, d — расстояние между ними.

Емкость шара радиуса R :

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Емкость батареи последовательно соединенных конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}.$$

Емкость батареи параллельно соединенных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N.$$

Энергия поля в конденсаторе:

$$E_p = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

$$E_p = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 V.$$

V — объем пространства, занятого полем.

ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электродвижущая сила (ЭДС). ЭДС — скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой источника тока. Электродвижущая сила \mathcal{E} есть отношение работы сторонних сил по перемещению заряда по замкнутой цепи к величине этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{Q}.$$

Напряжение. На участке цепи, не содержащем источника, напряжение равно разности потенциалов (см. с. 29):

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Закон Ома для полной цепи. Сила тока равна отношению ЭДС источника к полному сопротивлению цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

R — сопротивление внешней цепи, r — внутреннее сопротивление самого источника.

КПД в электрической цепи:

$$\eta = \frac{R}{R + r},$$

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}}.$$

Взаимодействие токов. Силу взаимодействия токов в двух прямолинейных проводниках можно записать в виде

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

l — длина проводников, R — расстояние между ними, μ_0 — магнитная постоянная (фундаментальная физическая постоянная), равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А².

Отметим, что

$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}.$$

Взаимодействие токов в среде:

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

μ — относительная магнитная проницаемость среды.

Классификация магнитных сред:

$\mu = 1$ (вакуум); $\mu < 1$ (диамагнетики); $\mu > 1$ (парамагнетики); $\mu \gg 1$ (ферромагнетики).

Магнитная индукция. Магнитная индукция \vec{B} — векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля:

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{Il}.$$

Единица магнитной индукции — 1 тесла (Тл) = 1 Н/(А · м) = 1 кг/(А · с²).

Закон Ампера. Магнитное поле действует на проводник с током с силой, равной

$$F = BIl \sin \left(\hat{B} \vec{I} \right).$$

Эта сила называется силой Ампера.

Магнитный поток Φ :

$$\Phi = B \cdot S.$$

B — индукция магнитного поля, S — площадь поверхности.

Единица магнитного потока — 1 вебер (Вб) = 1 Тл · м² = 1 кг · м²/(А · с²).

Магнитное поле прямого тока:

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

Принцип суперпозиции магнитных полей:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i.$$

Сила Лоренца. Силой Лоренца F_L называют силу, с которой магнитное поле действует на движущийся заряд:

$$F_L = Bqv \sin \alpha,$$

q — заряд, v — скорость движения заряда (заряженной частицы), α — угол между вектором скорости и вектором индукции.

Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. В однородном магнитном поле заряженная частица движется по круговой траектории, радиус которой

$$R = \frac{mv}{Bq}.$$

Период ее обращения:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}.$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Классическая теория проводимости металлов. Свободные электроны в металлах ведут себя как молекулы идеального газа; в процессе хаотического движения они неупруго сталкиваются с ионами кристаллической решетки, отдавая им всю кинетическую энергию.

Зависимость удельного сопротивления металлов от температуры:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

ρ_0 — удельное сопротивление при $t = 0$ °С, α — температурный коэффициент сопротивления.

Природа тока в жидкостях. Электрический ток в растворах (расплавах) электролитов — направленное движение положительных и отрицательных ионов. Сопротивление электролитов падает с повышением температуры из-за увеличения числа ионов в растворе. Для электролитов справедлив закон Ома.

Законы электролиза (законы Фарадея).

Первый закон Фарадея. Масса вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна общему заряду, прошедшему через электролит:

$$m = kq = kIt.$$

Второй закон Фарадея:

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n},$$

$F = 9,648 \cdot 10^4$ Кл/моль — постоянная Фарадея (*фундаментальная физическая постоянная*), M — молярная масса, n — валентность вещества, в растворе (расплаве) которого происходит электролиз.

Объединенный закон электролиза:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} q = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It.$$

Несамостоятельный разряд в газах. Электрический ток в газе, существующий только при наличии постоянно действующего ионизатора, характерен для самостоятельного разряда.

Самостоятельный разряд в газах. Самостоятельный разряд происходит в газе при отсутствии постоянно действующего ионизатора. Его виды: тлеющий, дуговой, коронный.

11 класс

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Правило Ленца. Индукционный ток всегда противодействует причине, вызвавшей его.

Вихревой характер индукционного электрического поля. Линии напряженности индукционного электрического поля замкнуты; такое поле называется вихревым.

ЭДС индукции. Отношение работы A , совершаемой индукционным электрическим полем при перемещении электрического заряда по замкнутому контуру, к величине этого заряда называется электродвижущей силой индукции:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \frac{A}{q}.$$

Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции в контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность контура, а вызываемый ею ток противодействует изменению указанного потока:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Энергия магнитного поля катушки:

$$E_{\text{м}} = \frac{LI^2}{2}.$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Гармонические колебания. Гармонические колебания происходят по синусоидальному (косинусоидальному) закону и характеризуются тремя величинами: частотой (периодом), амплитудой и фазой:

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Их определение дано на с. 17.

Свободные колебания. Свободные колебания не затухают, следовательно, они возникают в системах без потерь (трения, сопротивления и т.п.).

Колебательный контур. См. с. 33.

Преобразование энергии в колебательном контуре:

$$E = E_{\text{э}} + E_{\text{м}} = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \text{const.}$$

Частота собственных колебаний контура:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Уравнения колебаний заряда и силы тока:

$$q = Q_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Затухающие колебания. Колебания в системах с трением (сопротивлением) затухают и не являются гармоническими. Скорость затухания зависит от величины трения (сопротивления).

Автоколебания. Гармонические колебания, возникающие в системе под действием неперiodической силы и длящиеся сколь угодно долго, называют автоколебаниями. К ним применимы все понятия, которые описывают гармонические колебания.

Вынужденные электромагнитные колебания. Вынужденными называют электромагнитные колебания в системе, возникающие под действием периодически меняющегося напряжения.

Переменный ток. Переменный ток — это вынужденные электромагнитные колебания. Промышленная частота переменного тока $\nu = 50$ Гц.

Мощность переменного тока:

$$P = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi,$$

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности, φ — угол между направлениями тока и напряжения.

Действующие (эффективные) значения:

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{эф}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

$$P_{\text{эф}} = I_{\text{эф}} U_{\text{эф}} \cos \varphi.$$

Активное сопротивление. Активным сопротивлением в цепи переменного тока называют сопротивление, на котором вся подводимая электромагнитная энергия необратимо преобразуется в другие виды энергии.

В цепи с активным сопротивлением

$$P_{\text{эф}} = I_{\text{эф}} U_{\text{эф}} = I_{\text{эф}}^2 R.$$

Закон Джоуля—Ленца для переменного тока:

$$A = I_{\text{эф}}^2 R t.$$

Емкостное сопротивление. Емкостным сопротивлением X_C называют сопротивление, оказываемое переменному току электрическим полем конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{C\omega}.$$

Индуктивное сопротивление. Индуктивным сопротивлением X_L называют сопротивление, оказываемое переменному току индукционным электрическим полем катушки:

$$X_L = L\omega.$$

На емкостном и индуктивном сопротивлениях нет необратимых потерь энергии.

Фазовые соотношения в цепи переменного тока.

Ток на активном сопротивлении:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Ток на емкостном сопротивлении:

$$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Ток на индуктивном сопротивлении:

$$i = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Полное сопротивление цепи переменного тока:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Трансформатор. Соотношение токов в первичной $I_{\text{перв}}$ и вторичной $I_{\text{втор}}$ обмотках трансформатора без потерь обратно соотношению соответствующих напряжений:

$$\frac{I_{\text{перв}}}{I_{\text{втор}}} = \frac{U_{\text{втор}}}{U_{\text{перв}}}.$$

Резонанс в последовательном и параллельном контурах. Резонанс в последовательном и параллельном контурах наступает при выполнении условия $X_L = X_C$. При этом

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0.$$

IV. Электромагнитные волны. Оптика

11 класс

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ВОЛН

Энергия электромагнитной волны. Поверхностная плотность I потока энергии волн равна энергии E , переносимой в единицу времени через поверхность S , расположенную перпендикулярно направлению распространения волн:

$$I = \frac{E}{St}.$$

Фронт волны — геометрическое место точек, до которых дошли колебания к моменту времени t .

Волновая поверхность. Геометрическое место точек, имеющее одну и ту же фазу (синфазная поверхность).

Луч. Направление распространения волны перпендикулярно ее фронту.

Фазовая скорость — скорость распространения фазы колебания.

Скорость света в среде:

$$v = \frac{c}{\epsilon_0 \mu_0},$$

c — скорость света в вакууме, ϵ_0 — электрическая постоянная, μ_0 — магнитная постоянная (c , ϵ_0 , μ_0 — фундаментальные физические постоянные).

Скорость света в среде v всегда меньше скорости света в вакууме c .

Импульс электромагнитной волны:

$$p = \frac{\Delta E}{c}.$$

Закон отражения волн. Угол отражения волны равен углу ее падения, и оба они лежат в одной и той же плоскости.

Законы преломления волн. Угол падения и преломления волны лежат в одной плоскости. Отношения синусов углов падения и преломления для двух данных сред есть величина постоянная. Ее называют относительным показателем преломления n_{21} :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21},$$

i — угол падения, r — угол преломления, v_1 и v_2 — фазовые скорости волн в первой и второй средах соответственно.

Показатель преломления. Относительный показатель преломления равен отношению фазовых скоростей в первой и второй средах.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v} = n,$$

Если первой средой является вакуум, то показатель преломления называют абсолютным.

Относительный показатель преломления двух веществ есть отношение абсолютных показателей преломления этих веществ:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Полное внутреннее отражение. Явление полного внутреннего отражения наблюдается при переходе волны из оптически более плотной среды в оптически менее плотную. Оно характеризуется предельным углом падения $i_{\text{пр}}$, который определяется из соотношения

$$\sin i_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Луч переходит из среды в воздух ($n_2 = 1$) при

$$\sin i_{\text{пр}} = \frac{1}{n_1}.$$

Линза. Формула тонкой линзы:

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

F — фокусное расстояние линзы, d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от линзы до изображения.

Оптическая сила линзы D — величина, обратная фокусному расстоянию:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Единица оптической силы — 1 диоптрия (дптр) = 1 м⁻¹.

Собирающая линза имеет положительную оптическую силу, рассеивающая — отрицательную.

Лупа. Лупа — линза для получения увеличенного изображения малых объектов. Увеличение лупы

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{L}{F},$$

L — расстояние наилучшего зрения, равное 25 см при нормальном зрении, F — фокусное расстояние лупы.

Сферическое зеркало. Формула сферического зеркала имеет вид

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

R — радиус кривизны зеркала, d — расстояние от зеркала до предмета, f — расстояние от зеркала до изображения.

Микроскоп. Микроскоп — оптический прибор для рассматривания малых объектов, состоящий из окуляра (линзы, обращенной к глазу) и объектива (линзы, обращенной к объекту). Видимое увеличение микроскопа

$$\Gamma_{\text{м}} = \frac{\Delta \cdot L}{f_1 f_2},$$

f_1 и f_2 — фокусные расстояния объектива и окуляра соответственно, Δ — расстояние от заднего фокуса окуляра до переднего фокуса объектива, L — расстояние наилучшего зрения.

Зрительная труба (телескоп). Телескоп предназначен для рассматривания удаленных объектов. Видимое увеличение зрительной трубы (телескопа)

$$\Gamma_{\text{т}} = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}},$$

$f_{\text{об}}$ и $f_{\text{ок}}$ — фокусные расстояния объектива и окуляра соответственно.

Когерентные волны. Когерентными волнами называют волны одинаковой частоты, разность фаз между которыми не меняется со временем.

Интерференция волн. Интерференция волн — явление, при котором в зависимости от соотношения фаз нескольких взаимодействующих когерентных волн происходит взаимное усиление или ослабление их интенсивности (образуется интерференционная картина).

Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda,$$

$k = 0, 1, 2, \dots$, Δ — оптическая разность хода двух лучей, λ — длина волны.

Условие максимального ослабления света при интерференции:

$$\Delta = \pm(2k + 1) \cdot \lambda / 2.$$

Принцип Гюйгенса—Френеля. Каждая точка среды, до которой дошла световая волна, становится источником вторичных волн; новый фронт волны образуется в результате интерференции вторичных волн.

Дифракция волн. Дифракция — явление огибания волнами встречных препятствий.

Угол дифракции. Угол φ , соответствующий максимуму дифракционной картины при дифракции на узкой щели, находится из условия

$$d \cdot \sin \varphi = (2k + 1) \cdot \lambda / 2,$$

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$, d — ширина щели.

Дисперсия волн. Дисперсией волн называют зависимость их фазовой скорости и, следовательно, показателя преломления от частоты:

$$v = f(v); \quad n = f(v).$$

Поляризация волн. Плоскость поляризации. Поляризация волн — фиксация колебаний векторов \vec{E} и \vec{B} световой волны в определенных плоскостях. Плоскость, проходящую через вектор напряженности волны и направление ее распространения, называют плоскостью поляризации.

V. Квантовая физика и элементы теории относительности

11 класс

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Принцип относительности. Любые физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета. См. также с. 9.

Постулат о постоянстве скорости света. Во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме является предельной и не зависит от скорости движения источника и наблюдателя.

Релятивистская кинематика. При движении с релятивистской, то есть близкой к c , скоростью v длина отрезка сокращается:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

l_0 — длина отрезка в покоящейся системе отсчета, $\beta = \frac{v}{c}$.

При движении с релятивистской скоростью интервалы времени увеличиваются:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

Δt_0 — интервал времени в покоящейся системе отсчета.

Релятивистская динамика. При движении с релятивистской скоростью v масса растет:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

m_0 — масса покоя тела.

Релятивистская кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \beta^2}\right).$$

Связь массы и энергии:

$$E = mc^2.$$

Масса и энергия — две взаимосвязанные характеристики любого физического объекта. Энергия покоя (собственная энергия) тела равна

$$E_0 = m_0 c^2.$$

ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

Гипотеза Планка. Атомы излучают энергию не непрерывно, а порциями (квантами), энергия которых пропорциональна частоте колебаний:

$$E = h\nu.$$

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка (фундаментальная физическая постоянная).

Фотоны. Фотоны — отдельные порции (кванты) электромагнитного излучения, обладающие энергией $E = h\nu$. Фотон существует только в движении со скоростью света, массы покоя у него нет. Релятивистская масса фотона:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

Импульс фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c}.$$

Фотоэффект. Фотоэффектом называется эмиссия электронов из вещества под действием света.

Законы фотоэффекта (законы Столетова).

1. Фототок насыщения (следовательно, и число вырываемых светом фотоэлектронов) пропорционален световому потоку.

2. Минимальная кинетическая энергия фотоэлектронов пропорциональна частоте света и зависит только от нее.

3. Для каждого вещества существует минимальная частота фотоэффекта $\nu_{кр}$ (красная граница), ниже которой он уже не наблюдается. Она определяется как

$$\nu_{кр} = \frac{A_{вых}}{h},$$

$$\lambda_{кр} = \frac{ch}{A_{вых}},$$

$A_{вых}$ — работа выхода электронов из данного материала.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{mv^2}{2},$$

$h\nu$ — энергия фотона, $\frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия фотоэлектрона.

Запирающее напряжение при фотоэффекте:

$$U_3 = \frac{mv^2}{2e},$$

e — заряд электрона.

Эффект Комптона. Эффект Комптона состоит в том, что в спектре рентгеновского излучения, рассеиваемого легкими веществами, появляется компонента с большей длиной волны λ_1 , которая определяется из соотношения

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda = 2\lambda_k \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

λ — исходная длина волны, θ — угол рассеяния, $\lambda_k = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м — комптоновская длина волны, одинаковая для всех веществ.

Эффект Комптона подтверждает наличие импульса у фотона.

Корпускулярно-волновой дуализм. Электромагнитное излучение обладает одновременно корпускулярными и волновыми свойствами, которые не исключают, а дополняют друг друга.

СТРОЕНИЕ АТОМА

Формула Бальмера—Ридберга. Частоты спектральных линий атома водорода записываются как

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

$n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 2, 3, \dots$; $m > n$, R — постоянная Ридберга.

Постулаты Бора.

1. **Постулат стационарных состояний.** Существуют стационарные состояния атома, находясь в которых он не излучает энергию. В каждом из этих состояний атом обладает дискретным набором энергий: $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$.

2. **Правило частот.** Энергия излучается или поглощается атомом при переходе из одного стационарного состояния в другое порциями (квантами). Их частоты определяются как

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h}.$$

3. **Правило квантования орбит.** Возможен лишь дискретный ряд орбит, по которым электроны движутся с определенными скоростями.

Волны де Бройля. Любые частицы и атомы обладают волновыми свойствами и могут быть описаны с помощью соотношений, установленных ранее для фотонов. При этом длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

частота волны де Бройля

$$\nu = \frac{E}{h}.$$

Корпускулярно-волновой дуализм тел. Любые материальные тела обладают как корпускулярными, так и волновыми свойствами. Важность последних возрастает по мере уменьшения массы и размеров объектов до микроскопических значений.

АТОМНОЕ ЯДРО

Состав ядра. Ядро состоит из протонов (частиц с положительным зарядом) и нейтронов (нейтральных частиц). Число протонов Z определяет заряд ядра $+Ze$. Число A — массовое число:

$$A = Z + N,$$

N — число нейтронов.

Обозначение ядер:

$${}^A_Z X,$$

X — символ химического элемента (например, ${}^4_2\text{He}$).

Энергия связи и дефект массы. Энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на составляющие его протоны и нейтроны, называется энергией связи $E_{\text{св}}$.

Масса ядра меньше суммарной массы составляющих его частиц на величину

$$\Delta m = \frac{E_{\text{св}}}{c^2}.$$

Это свойство называется дефектом массы.

Радиоактивность. Явление самопроизвольного распада ядер с испусканием частиц и образованием нового ядра называется естественной радиоактивностью.

Закон радиоактивного распада:

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

N — оставшееся количество ядер в момент времени t ,
 N_0 — начальное число ядер в момент времени $t = 0$,
 λ — постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада. Время, за которое распадается половина первоначального числа ядер, называется периодом полураспада T :

$$T = \ln 2 / \lambda.$$

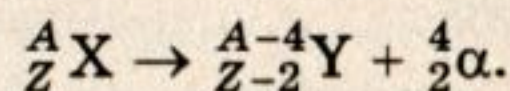
Активность радиоактивного источника:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t},$$

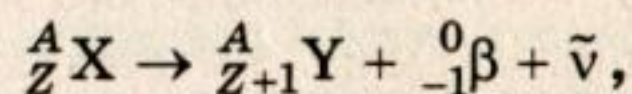
ΔN — количество распавшихся ядер за время Δt .

Единица активности — 1 беккерель (Бк) = 1 расп/с.

Правило смещения при α -распаде. α -распад — радиоактивный распад с испусканием α -частицы — ядра гелия ($\alpha = {}^4_2\text{He}$):

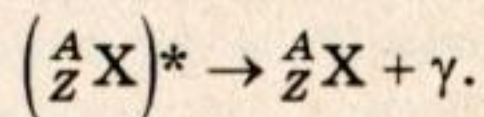


Правило смещения при β -распаде. β -распад — радиоактивный распад с испусканием β -частицы — электрона ($\beta = {}^0_{-1}e$):



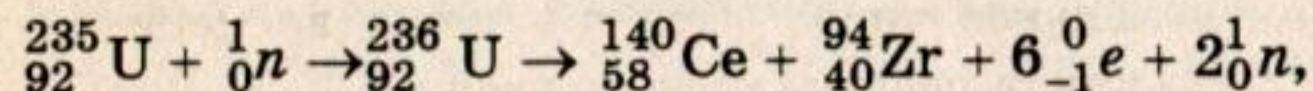
$\tilde{\nu}$ — нейтрино, нейтральная частица, не имеющая массы покоя.

Ядерное гамма-излучение. γ -излучением — электромагнитным излучением с малой длиной волны сопровождаются многие ядерные процессы, имеющие в своей основе переход ядер из возбужденного состояния в нормальное, который не обязательно сопровождается распадом ядер:



Звездочкой отмечено ядро в возбужденном состоянии.

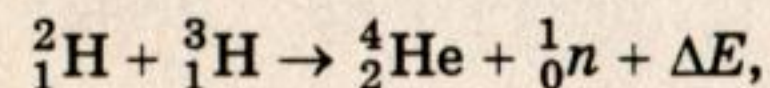
Реакция деления ядра урана:



1_0n — нейтрон, нейтральная частица.

Энергия, выделяющаяся при делении одного ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$, составляет $208 \text{ МэВ} = 2,08 \cdot 10^8 \text{ эВ}$ (электрон-вольт). На один нуклон (протон или нейтрон) приходится $0,9 \text{ МэВ}$.

Реакция синтеза легких ядер. Примером такой реакции может служить реакция



${}^2_1\text{H}$ — ядро дейтерия (тяжелого водорода), ${}^3_1\text{H}$ — ядро трития (сверхтяжелого водорода).

Энергия, выделяющаяся при образовании ядра гелия, $\Delta E = 26 \text{ МэВ} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ эВ}$. На один нуклон приходится $\approx 6 \text{ МэВ}$.

Величины, характеризующие биологическое действие излучения. Дозой поглощенного излучения D называют отношение энергии излучения, поглощенной телом человека, к его массе:

$$D = \frac{\Delta E}{m}.$$

Единица поглощенной дозы — 1 грэй (Гр) = 1 Дж/кг.

Экспозиционной дозой излучения ЭДИ называют отношение суммарного заряда ионов, образовавшихся под действием излучения, к массе тела:

$$\text{ЭДИ} = \frac{Q}{m}.$$

На практике используется единица 1 рентген (Р);
 $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

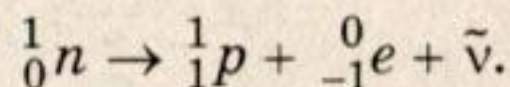
Эквивалентной дозой поглощенного излучения $D_{\text{ЭКВ}}$ называют произведение дозы поглощенного излучения D на коэффициент биологической эффективности $K_{\text{БЭ}}$:

$$D_{\text{ЭКВ}} = DK_{\text{БЭ}}.$$

Единица эквивалентной дозы — 1 зиверт (Зв). 1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Гр при $K_{\text{БЭ}} = 1$. На практике используется также единица 1 бэр = 0,01 Зв.

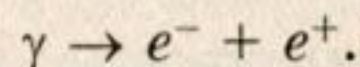
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Распад нейтрона:

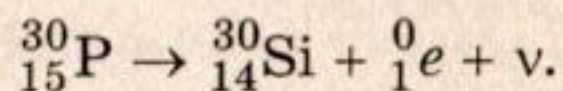


Время жизни нейтрона $\sim 1000 \text{ с}$.

Античастицы, позитрон. Большинство элементарных частиц имеет аналоги, отличающиеся знаком заряда, называемые античастицами. Позитрон — «антиэлектрон» имеет положительный заряд. Он рождается в реакции



Пример ядерной реакции с рождением позитрона — распад радиоактивного ядра фосфора:



Кварки. Элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии (протоны, нейтроны и их античастицы), структурно состоят из еще более «элементарных» частиц с дробным зарядом (кварков) и незаряженных (глюонов). Кварки и глюоны — следующий уровень строения вещества: молекулы \rightarrow атомы \rightarrow ядра \rightarrow элементарные частицы \rightarrow кварки, глюоны и электроны.

Механика

ФОРМУЛЫ

Равномерное движение

$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t}; \quad \bar{s} = \bar{v}t.$$

$$\bar{v}_1 = \frac{\Delta \bar{s}}{\Delta t}; \quad v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Прямолинейное равнопеременное движение

$$\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

$$v = v_0 + at; \quad s = v_0t + \frac{at^2}{2}; \quad s = \frac{at^2}{2}.$$

Равномерное движение по окружности

$$T = \frac{t}{N}; \quad v = \frac{l}{T}; \quad T = \frac{l}{v}.$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = 2\pi v.$$

$$v = \frac{2\pi R}{T}; \quad v = 2\pi Rv.$$

$$v = \omega R; \quad \omega = \frac{v}{R}.$$

Второй закон Ньютона

$$\bar{F} = m\bar{a}; \quad \bar{a} = \frac{\bar{F}}{m}.$$

Третий закон Ньютона

$$\bar{F}_1 = -\bar{F}_2.$$

Закон всемирного тяготения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Закон Гука

$$\Delta l = -\frac{F_{\text{упр}}}{k}.$$

Сила трения

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Центростремительная сила

$$F_{\text{ц.с.}} = ma_{\text{ц.с.}} = \frac{mv^2}{R}.$$

Сила сопротивления среды

$$F_{\text{сопр}} = kv.$$

ФОРМУЛЫ	
Импульс	Закон сохранения импульса
$\bar{p} = m\bar{v}.$	$\sum_{i=1}^n \bar{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \bar{v}_i = \text{const};$ $m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = m_1 \bar{v}'_1 + m_2 \bar{v}'_2.$
Механическая работа	Мощность
$A = Fs \cos \alpha.$	$P = \frac{A}{t}.$
Кинетическая энергия	Потенциальная энергия
$E_k = \frac{mv^2}{2}.$	$E_{\text{п}} = mgh.$
Закон сохранения энергии в механике	Коэффициент полезного действия
$E = E_k + E_{\text{п}} = \text{const}.$	$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A}.$
Закон Архимеда	Закон Бернулли
$F_A = \rho g V.$	$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}.$
Частота колебаний	Уравнение колебаний
$\nu = \frac{1}{T}; \omega = 2\pi\nu.$	$x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0).$
Математический маятник	Пружинный маятник
$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}; T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}; T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$
Длина волны	Момент силы
$\lambda = \nu T; \lambda = \frac{v}{\nu}; \nu = \frac{v}{\lambda}.$	$\bar{M} = \bar{F}d.$

Молекулярная физика и термодинамика

ФОРМУЛЫ	
Основное уравнение идеального газа	
$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}.$	
Давление газа	Кинетическая энергия молекул
$p = nkT.$	$E_k = \frac{3}{2} kT.$
Уравнение состояния идеального газа	Уравнение Клапейрона—Менделеева
$\frac{pV}{T} = kN.$	$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R.$
Законы идеального газа	
$pV = \text{const};$	$V = V_0(1 + \alpha t);$
$p = p_0(1 + \alpha t);$	
$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$
$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$	
Поверхностное натяжение	Высота подъема жидкости в капилляре
$\sigma = \frac{F}{l}.$	$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$
Внутренняя энергия идеального газа	Первый закон термодинамики
$U_{\text{и.г.}} = \frac{3}{2} NkT.$	$Q = \Delta U + A.$
КПД теплового двигателя	Теплообмен
$\eta = \frac{A}{Q}; \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1};$	$Q = mc \Delta t;$
$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$	$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{крист}} = \lambda \cdot m;$
	$Q_{\text{пар}} = Q_{\text{конд}} = r \cdot m;$
	$Q_{\text{сгор}} = k \cdot m.$

Электричество и магнетизм

ФОРМУЛЫ		
Закон сохранения заряда	Закон Кулона	
$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const.}$	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R^2}.$	
Напряженность поля точечного заряда	Напряженность поля бесконечной проводящей плоскости	
$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}.$	$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$	
Напряженность поля двух разноименно заряженных плоскостей	Электрическое поле в диэлектриках	
$E_{2\text{пл}} = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon} = 2E_{\text{пл}}.$	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}.$	
Закон Кулона в диэлектриках	Напряжение и разность потенциалов	
$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}.$	$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q}; \quad E = \frac{U}{l}.$	
Емкость	Емкость плоского конденсатора	Емкость шара
$C = \frac{q}{U}.$	$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}.$	$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$
Емкость батареи конденсаторов		
$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}$	при последовательном соединении	
$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$	при параллельном соединении	

ФОРМУЛЫ	
Сила тока	Удельное сопротивление
$I = \frac{q}{t}.$	$R = \rho \frac{l}{S}; \quad \rho = \frac{RS}{l}.$
Закон Ома для участка цепи	
$I = \frac{U}{R}.$	
Параллельное соединение проводников	Последовательное соединение проводников
$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N;$	$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_N;$
$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_N; \quad U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_N;$	
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}. \quad R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N.$	
Работа электрического тока	Мощность электрического тока
$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t.$	$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$
Закон Джоуля—Ленца	
$Q = I^2 Rt.$	
Закон Ома для полной цепи	
$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$	
Взаимодействие токов в вакууме	Взаимодействие токов в среде
$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi R}.$	$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi R}.$

Электромагнитные волны. Оптика. Квантовые явления

ФОРМУЛЫ	
<p>Магнитная индукция</p> $\vec{B} = \frac{\vec{F}}{Il}$	<p>Закон Ампера</p> $F = BIl \sin \left(\hat{B} \hat{I} \right)$
<p>Магнитное поле прямого тока</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$	<p>Сила Лоренца</p> $F_{\text{Л}} = Bqv \sin \alpha$
<p>Законы Фарадея</p>	
$m = kq = kIt;$	$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n};$
$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It.$	
<p>Закон электромагнитной индукции</p> $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	<p>ЭДС самоиндукции</p> $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
<p>Гармонические колебания в электрических цепях</p>	
$q = Q_m \cos(\omega t + \varphi_0);$	
$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0);$	
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; \quad T = 2\pi\sqrt{LC}.$	
<p>Емкостное сопротивление</p> $X_C = \frac{1}{C\omega}$	<p>Индуктивное сопротивление</p> $X_L = L\omega$
<p>Полное сопротивление цепи переменного тока</p> $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	

ФОРМУЛЫ	
<p>Закон преломления</p> $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$	<p>Формула тонкой линзы</p> $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$
<p>Энергия, масса и импульс фотона</p>	
$E = h\nu; \quad m = \frac{h\nu}{c^2}; \quad p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$	
<p>Связь массы и энергии</p> $E = mc^2$	<p>Фотоэффект</p> $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$
<p>Частоты спектральных линий</p> $\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	<p>Волны де Бройля</p> $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
<p>Закон радиоактивного распада</p> $N = N_0 e^{-\lambda t}$	<p>Период полураспада</p> $T = \ln 2 / \lambda$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. Механика	4
II. Молекулярная физика и термодинамика	20
III. Электричество и магнетизм	29
IV. Электромагнитные волны. Оптика	45
V. Квантовая физика и элементы теории относительности	49
Таблицы	57