

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Основные законы и формулы

1 Уравнение гармонических колебаний некоторой физической величины ψ

или
$$\psi = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$
$$\psi = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

2 Циклическая частота колебаний

$$\omega = 2\pi\nu \quad \text{или} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

3 Период гармонических колебаний:

а) пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}$$

б) математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

в) физического маятника с моментом инерции I относительно оси колебаний, расположенной на расстоянии a от центра тяжести маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mga}}$$

г) колебательного контура

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

4 Полная энергия гармонических колебаний:

а) материальной точки

$$W = \frac{1}{2}mA^2\omega_0^2$$

б) колебательного контура

$$W = \frac{1}{2}LA^2\omega_0^2$$

5 Коэффициент затухания колебаний:

а) механических, в среде с коэффициентом сопротивления r

$$\beta = r/2m$$

б) электромагнитных

$$\beta = R/2L$$

6 Циклическая частота затухающих колебаний

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

7 Уравнение затухающих колебаний

$$\psi = \psi_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

8 Амплитуда затухающих колебаний

$$A = \Psi_0 e^{-\beta t}$$

9 Логарифмический декремент затухания

$$\theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$$

10 Сопротивление в цепи переменного тока:

а) индуктивное

$$X_L = L\omega$$

б) ёмкостное

$$X_C = 1/C\omega$$

в) реактивное

$$X = L\omega - 1/C\omega$$

г) полное (импеданс)

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}$$

11 Эффективный ток

$$I_{\text{эф}} = I_o / \sqrt{2}$$

12 Эффективное напряжение

$$U_{\text{эф}} = U_o / \sqrt{2}$$

13 Закон Ома для переменного тока

$$I_{\text{эф}} = U_{\text{эф}} / \sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}$$

14 Уравнение плоской гармонической волны

$$\begin{aligned} & \xi(x, t) = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \\ \text{или} & \xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx) \end{aligned}$$

15 Волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{или} \quad k = \frac{\omega}{v}$$

16 Длина волны

$$\lambda = vT \quad \text{или} \quad \lambda = v/\nu$$

17 Скорость электромагнитных волн в среде с электрической ε и магнитной μ проницаемостями

$$v = c / \sqrt{\varepsilon\mu}$$

18 Связь между напряженностями электрического E и магнитного H полей электромагнитной волны

$$\varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2$$

Примеры решения задач

Задача 1. Математический маятник массой 20г колеблется с амплитудой 5см. Максимальная скорость маятника равна 15,7 см/с. Определить линейную частоту, период и циклическую частоту колебаний, длину нити, полную энергию и максимальное ускорение маятника.

Дано:

$$m=20\text{г}=2\cdot 10^{-2}\text{кг}$$

$$A=5\text{см}=0,05\text{м}$$

$$v_{\max}=15,7\text{см/с}=15,7\cdot 10^{-2}\text{м/с}$$

Решение: Уравнение гармонических колебаний маятника имеет вид:

$$x=A \sin (\omega t+\varphi_0),$$

v -? T -? ω -? l -? W -? a_{\max} -?

где x - смещение маятника от положения равновесия; A - амплитуда колебаний; ω - циклическая частота; φ_0 - начальная фаза

колебаний.

Скорость колебаний маятника

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$v=v_{\max}$ при $\cos(\omega t+\varphi_0)=1$, следовательно:

$$v_{\max}=A\omega,$$

откуда

$$\omega = \frac{v_{\max}}{A} \quad (6.1)$$

$$[\omega]=\frac{m/c}{m} = \frac{1}{c}$$

Подставим в формулу (6.1) числовые значения из условия задачи и рассчитаем ω

$$\omega=15,7\cdot 10^{-2}/(5\cdot 10^{-2})=3,14 \text{ с}^{-1}$$

Найдем период T и линейную частоту ν :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (6.2)$$

$$T = \frac{2\cdot 3,14}{3,14} = 2 \text{ с}; \quad \nu = \frac{1}{2} \text{ с}^{-1}=0,5\text{Гц}.$$

Длину маятника найдем из формулы периода колебаний математического маятника

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

следовательно

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}, \quad (6.3)$$

где g -ускорение свободного падения.

Проверим единицы в формуле (6.3) и произведём расчеты:

$$[l] = \text{с}^2 \cdot \text{м} / \text{с}^2 = \text{м}$$

$$l = \frac{2^2 \cdot 9,8}{4 \cdot 3,14^2} \approx 1 \text{ м}$$

Полная энергия маятника определяется по формуле:

$$W = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \quad (6.4)$$

$$[W] = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot (\text{с}^{-1})^2 = \text{Дж}$$

Произведём расчеты по формуле (6.4):

$$W = 2 \cdot 10^{-2} (5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3,14^2 / 2 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Ускорение маятника

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$a = a_{\max}$ при $\sin(\omega t + \varphi_0) = 1$, следовательно

$$|a_{\max}| = A\omega^2 \quad (6.5)$$

Проверим единицы a_{\max} по формуле (6.5):

$$[a] = \text{м} \cdot \frac{1}{\text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Подставим в формулу (6.5) числовые значения и произведём расчеты

$$a_{\max} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14^2 \approx 0,5 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $\nu = 0,5$ Гц; $T = 2$ с; $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$; $l \approx 1$ м; $W = 2,5 \cdot 10^{-4}$ Дж; $a_{\max} \approx 0,5 \text{ м/с}^2$.

Задача 2. Частица массой $m=0,01\text{кг}$ совершает гармонические колебания с периодом $T=2\text{с}$. Полная энергия колеблющейся точки $W=0,1\text{мДж}$. Определить амплитуду A колебаний и наибольшее значение силы F_{\max} , действующей на частицу.

Дано:

$$m=0,01\text{кг}$$

$$T=2\text{с}$$

$$W=0,1\text{мДж}=0,1\cdot 10^{-3}\text{Дж}$$

$A=? F_{\max}=?$

Решение: Для определения амплитуды колебаний воспользуемся выражением полной энергии частицы:

$$W = \frac{1}{2}mA^2\omega^2,$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Отсюда амплитуда колебаний

$$A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2W}{m}}. \quad (6.6)$$

Т.к. частица совершает гармонические колебания, то сила, действующая на нее, является квазиупругой и, следовательно, может быть выражена соотношением

$$F = -kx,$$

где k - коэффициент квазиупругой силы; x - смещение колеблющейся точки. Максимальной сила будет при максимальном смещении x_{\max} , равном амплитуде:

$$F_{\max} = kA. \quad (6.7)$$

Коэффициент k выразим через период колебаний:

$$k = m\omega^2 = \frac{m \cdot 4\pi^2}{T^2}. \quad (6.8)$$

Подставив выражения k и A в формулу (6.7) и производя упрощения, получим

$$F_{\max} = 2\pi \frac{\sqrt{2mW}}{T}. \quad (6.9)$$

Проверим единицы амплитуды A и максимальной силы F_{\max} по формулам (6.6) и (6.9):

$$[A] = \frac{\text{с} \cdot \text{Дж}^{1/2}}{\text{кг}^{1/2}} = \frac{\text{с} \cdot \text{кг}^{1/2} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{кг}^{1/2}} = \text{м}$$

$$[F_{\max}] = \kappa z^{1/2} \cdot Джc^{1/2} \cdot c^{-1} = \frac{\kappa z^{1/2} \cdot \kappa z^{1/2} \cdot M}{c \cdot c} = \frac{\kappa z \cdot M}{c^2} = H$$

Полученные единицы соответствуют определяемым величинам, следовательно формулы (6.6) и (6.9) верны.

Подставим в формулы (6.6) и (6.9) числовые значения и произведём вычисления:

$$A = \frac{2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} \cdot M = 0,045 M = 45 \text{ мм};$$

$$F_{\max} = 2 \cdot 3,14 \frac{\sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4}}}{2} H = 4,44 \cdot 10^{-3} H = 4,44 \text{ мН}.$$

Ответ: $A = 45 \text{ мм}; F_{\max} = 4,44 \text{ мН}.$

Задача 3. Разность потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется со временем по закону $U = 100 \sin 1000\pi t$. Емкость конденсатора $0,5 \text{ мкФ}$. Определить период собственных колебаний, индуктивность, энергию контура и максимальную силу тока, текущего по катушке индуктивности.

Дано:

$$U = 100 \sin 1000\pi t$$

$$C = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$T - ? \quad L - ? \quad W - ? \quad I_{\max} - ?$$

Решение: Напряжение на конденсаторе изменяется по гармоническому закону

$$U = U_0 \sin \omega_0 t, \quad (6.10)$$

где U_0 - амплитудное (максимальное) значение

напряжения на обкладках конденсатора; ω_0 – собственная циклическая частота колебаний, которая связана с периодом соотношением

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (6.11)$$

Из сравнения формулы (6.10) с выражением для U по условию задачи следует, что $\omega_0 = 1000\pi$. Отсюда находим

$$T = \frac{2\pi}{1000\pi c^{-1}} = 0,002 \text{ с}.$$

Период собственных колебаний в контуре определяется по формуле Томсона

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

откуда

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C};$$

$$L = \frac{4 \cdot 10^{-6} c^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \Phi} = 0,2 \text{ Гн.}$$

Полная энергия контура W – это сумма электрической $W_e = \frac{CU^2}{2}$ и магнитной $W_m = \frac{LI^2}{2}$ энергий и равна максимальной энергии поля конденсатора

$$W = W_{e\max} = \frac{CU_{\max}^2}{2} \quad (6.12)$$

или максимальной энергии катушки индуктивности

$$W = W_{m\max} = \frac{LI_{\max}^2}{2}. \quad (6.13)$$

Определим W по формуле (6.12):

$$W = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 2,5 \text{ мДж.}$$

Зная полную энергию, можно определить максимальную силу тока, протекающего по катушке индуктивности, с помощью формулы (6.13):

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{2W}{L}};$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = 0,15 \text{ А.}$$

Ответ: $T=0,002\text{с}$, $L=0,2\text{Гн}$, $W=2,5\text{мДж}$, $I_{\max}=0,15\text{А}$.

Задача 4. Амплитуда колебаний математического маятника длиной $l=1\text{м}$ за время $t=10\text{мин}$ уменьшилось в 2 раза. Определить логарифмический декремент затухания θ .

Дано:
 $l=1\text{м}$
 $t=10\text{мин}=600\text{с}$

$$\frac{A_0}{A} = 2$$

θ ?

Решение: Амплитуда затухающих колебаний описывается формулой

$$A = A_0 e^{-\beta t}, \quad (6.14)$$

где A_0 – начальная амплитуда колебаний, β – коэффициент затухания.

Из формулы (6.14) имеем:

$$\frac{A_0}{A} = e^{\beta t}, \quad \ln \frac{A_0}{A} = \beta t, \\ \beta = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{t} \quad (6.15)$$

Логарифмический декремент затухания θ связан с коэффициентом затухания β соотношением:

$$\theta = \beta T, \quad (6.16)$$

где T-период колебаний. Для математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6.17)$$

Подставив выражения (6.15) и (6.17) в формулу (6.16), получим окончательную формулу для логарифмического декремента затухания:

$$\theta = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{t} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6.18)$$

Подставим числовые значения и произведём вычисления:

$$\theta = \frac{\ln 2}{600} \cdot 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1}{9,8}} = 2,31 \cdot 10^{-3}.$$

Ответ: $\theta = 2,31 \cdot 10^{-3}$.

Задача 5. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью $L=1,2$ мГн и конденсатора переменной электроёмкости от $C_1=12$ пФ до $C_2=80$ пФ. Определить диапазон длин электромагнитных волн, которые могут вызвать резонанс в этом контуре. Активное сопротивление контура принять равным нулю.

Дано:

$$L=1,2 \text{ мГн} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C_1=12 \text{ пФ} = 12 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$C_2=80 \text{ пФ} = 80 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$R=0$$

$$\lambda_1 - ? \lambda_2 - ?$$

Решение: Длина электромагнитной волны, которая может вызвать резонанс в контуре, связана с периодом T колебаний контура соотношением:

$$\lambda = cT,$$

где c- скорость электромагнитных волн.

Период колебаний в свою очередь, связан с

индуктивностью L катушки и электроёмкостью C конденсатора формулой Томсона :

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

Следовательно

$$\lambda = c \cdot 2\pi\sqrt{LC}. \quad (6.19)$$

Согласно условию задачи, индуктивность контура неизменна, а электроёмкость контура может меняться в пределах от C_1 до C_2 . Этим значениям электроёмкости соответствуют длины волн λ_1 и λ_2 , определяющие диапазон длин волн, которые могут вызвать резонанс:

$$\lambda_1 = c \cdot 2\pi\sqrt{LC_1}; \quad \lambda_2 = c \cdot 2\pi\sqrt{LC_2}. \quad (6.20)$$

Проверим единицы длины волны λ в соответствии с формулой (6.19):

$$[\lambda] = \text{м} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Гн}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{Ф}^{\frac{1}{2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \left(\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\text{Кл}}{\text{В}}\right)^{\frac{1}{2}} = \text{м}$$

Подставим числовые значения в формулы (6.20) и произведём расчёты:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-12}} = 226 \text{ м.} \\ \lambda_2 &= 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^{-12}} = 585 \text{ м.} \end{aligned}$$

Ответ: $\lambda_1=226$ м, $\lambda_2=585$ м.

Задача 6. Плоская электромагнитная волна распространяется в среде ($\varepsilon=9$) и описывается уравнением $H=2\cos 2\pi(2 \cdot 10^7 t - 0,2x)$. Определить период и частоту колебаний, длину волны и скорость её распространения, магнитную проницаемость среды.

Дано:

$$\varepsilon=9$$

$$H=2\cos 2\pi(2 \cdot 10^7 t - 0,2x)$$

$$T-? \quad \lambda-? \quad \nu-? \quad \mu-? \quad \nu-?$$

Решение: Уравнение плоской электромагнитной волны в общем виде:

$$H=H_m \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right), \quad (6.21)$$

где H_m – амплитуда колебаний вектора напряженности магнитного поля; T – период колебаний; λ – длина волны; t – время; x – координата. Сравнив уравнение (6.21) с уравнением в условии задачи, получим:

$$\frac{1}{T} = 2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}, \quad \frac{1}{\lambda} = 0,2 \text{ м}^{-1},$$

следовательно:

$$T = \frac{1}{2 \cdot 10^7} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}; \quad \lambda = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ м}.$$

Длина волны, частота, период и скорость волны связаны соотношениями:

$$v = \frac{\lambda}{T}; \quad v = \frac{1}{T}$$

Тогда

$$v = 5 / (5 \cdot 10^{-8}) = 10^8 \text{ м/с}; \quad v = 1 / (5 \cdot 10^{-8}) = 2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}.$$

Скорость электромагнитных волн связана с характеристиками среды ε и μ соотношением

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \quad (6.22)$$

где ε и μ - электрическая и магнитная проницаемости среды; c - скорость света в вакууме. Из формулы (6.22) получим

$$\mu = \frac{c^2}{\varepsilon v^2}.$$
$$\mu = \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{9 \cdot (10^8)^2} = 1$$

Ответ: $T = 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}; \quad \lambda = 5 \text{ м}; \quad v = 10^8 \text{ м/с}; \quad v = 2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}; \quad \mu = 1.$

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Таблица 1. Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	6,67·10 ⁻¹¹ м ³ /(кг·с ²)
Число Авогадро	N_A	6,02·10 ²³ моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	1,38·10 ⁻²³ Дж/К
Элементарный заряд	e	1,60·10 ⁻¹⁹ Кл
Скорость света в вакууме	c	3,00·10 ⁸ м/с
Масса покоя электрона	m_e	9,1·10 ⁻³¹ кг
Масса покоя протона	m_p	1,67·10 ⁻²⁷ кг
Нормальные условия: давление	P	1,01·10 ⁵ Па
температура	T	273 К
Электрическая постоянная	ϵ_0	8,85·10 ⁻¹² Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	4π·10 ⁻⁷ Гн/м
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	5,67·10 ⁻⁸ $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$
Постоянная Вина (первый закон)	b	2,9 ·10 ⁻³ м·К
Постоянная Вина (второй закон)	c	1,3 ·10 ⁻⁵ Вт/(м ³ ·К ⁵)
Постоянная Планка	h	6,63·10 ⁻³⁴ Дж·с
	\hbar	1,05·10 ⁻³⁴ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	1,1·10 ⁷ м ⁻¹
	R'	3,3·10 ¹⁵ с ⁻¹
Энергия ионизации атома водорода	E_i	2,18·10 ⁻¹⁸ Дж (13,6эВ)
Атомная единица массы	$1a.e.m$	1,660·10 ⁻²⁷ кг
Радиус Бора	a_0	0,529·10 ⁻¹⁰ м
Модуль Юнга для стали	E	0,2 ТПа

Таблица 2. Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³
Алюминий	2,70·10 ³	Железо	7,88·10 ³	Свинец	11,3·10 ³
Барий	3,50·10 ³	Литий	0,53·10 ³	Серебро	10,5·10 ³
Ванадий	6,02·10 ³	Медь	8,93·10 ³	Цезий	1,90·10 ³
Висмут	9,80·10 ³	Никель	8,90·10 ³	Цинк	7,15·10 ³
Латунь	8,4·10 ³	Сталь	7,70·10 ³	Фарфор	2,3·10 ³

Таблица 3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность кг/м ³	Жидкость	Плотность кг/м ³
Вода (при 4 °С)	1,00·10 ³	Сероуглерод	1,26·10 ³
Глицерин	1,26·10 ³	Спирт	0,80·10 ³
Ртуть	13,6·10 ³	Касторовое масло	0,9·10 ³
Машинное масло	0,9·10 ³	Нефть	0,85·10 ³

Таблица 4. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность кг/м ³	Газ	Плотность кг/м ³
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43
Воздух	1,29	Азот	1,25

Таблица 5. Эффективный диаметр молекул, динамическая вязкость и теплопроводность газов при нормальных условиях

Вещество	Эффективный диаметр d·10 ¹⁰ , м	Динамическая вязкость η, мкПа·с	Теплопроводность α, мВт/(м·К)
Азот	0,38	16,6	24,3
Аргон	0,35	21,5	16,2
Водород	0,28	8,66	168
Воздух	0,27	17,2	24,1
Гелий	0,22	18,9	142
Кислород	0,29	19,8	24,4
Пары воды	0,30	8,32	15,8

Таблица 6. Динамическая вязкость η жидкостей при 20 °С

Вещество	Динамическая вязкость η, мПа·с	Вещество	Динамическая вязкость η, мПа·с
Вода	1,00	Масло машинное	100
Глицерин	1480	Ртуть	1,58
Масло касторовое	987		

Таблица 7. Молярные массы некоторых газов

Газ	Молярная масса $\mu \cdot 10^3$, кг/моль	Газ	Молярная масса $\mu \cdot 10^3$, кг/моль
Гелий	4	Углерод	24
Аргон	40	Азот	28
Неон	20	Воздух	29
Водород	2	Пары воды	18
Кислород	32		

Таблица 8. Удельная теплоемкость

Вещество	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·К)	Вещество	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·К)
Вода	4190	Нихром	220
Лед	2100	свинец	126

Таблица 9. Удельная теплота плавления

Вещество	Удельная теплота плавления λ , Дж/кг
Лед	$33,5 \cdot 10^4$
Свинец	$2,3 \cdot 10^4$

Таблица 10. Удельная теплота парообразования

Вещество	Удельная теплота парообразования r , Дж/кг
Вода	$22,5 \cdot 10^5$
Эфир	$6,68 \cdot 10^5$

Таблица 11. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Парафин	2,0	Вода	81
Стекло	7,0	Масло трансформаторное	2,2

Таблица 12. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление металлов, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление металлов, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Медь	$1,72 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Никелин	$4 \cdot 10^{-7}$		

Таблица 13. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50

Таблица 14. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный мезон π -	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

Таблица 15. Работа выхода электронов

Металл	Дж	эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Таблица 16. Относительные атомные массы (атомные веса) A и порядковые номера Z некоторых элементов

Элемент	Химический символ	A	Z
Азот	N	14	7
Алюминий	Al	27	13
Водород	H	1	1
Вольфрам	W	184	74
Гелий	He	4	2
Железо	Fe	56	26
Золото	Au	197	79
Калий	K	39	19
Кальций	Ca	40	20
Кислород	O	16	8
Магний	Mg	24	12
Марганец	Mn	55	25
Медь	Cu	64	29
Молибден	Mo	96	42
Натрий	Na	23	11
Никель	Ni	59	28
Платина	Pt	195	78
Сера	S	32	16
Серебро	Ag	108	47
Уран	U	238	92
Углерод	C	12	6
Хлор	Cl	35	17

Таблица 17. Периоды полураспада радиоактивных изотопов.

Изотоп	Символ	Период полураспада
Магний	${}_{12}\text{Mg}^{27}$	10 мин
Фосфор	${}_{15}\text{P}^{32}$	14,3 суток
Кобальт	${}_{27}\text{Co}^{60}$	5,3 года
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	27 лет
Йод	${}_{53}\text{I}^{131}$	8 суток
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	10 суток
Торий	${}_{90}\text{Th}^{229}$	$7 \cdot 10^3$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{238}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{219}$	10^{-3} сек
	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	$1,62 \cdot 10^3$ лет

Таблица 18. Массы нейтрона и некоторых атомов

Изотоп	Символ	Масса (а.е.м)
Нейтрон	${}_0n^1$	1,00867
Водород	${}_1H^1$	1,00783
	${}_1H^2$	2,01410
	${}_1H^3$	3,01605
Гелий	${}_2He^3$	3,01603
	${}_2He^4$	4,00260
Литий	${}_3Li^6$	6,01513
	${}_3Li^7$	7,01601
Бериллий	${}_4Be^7$	7,01693
	${}_4Be^9$	9,01219
Бор	${}_5B^{10}$	10,01294
	${}_5B^{11}$	11,00930
Углерод	${}_6C^{12}$	12,00000
	${}_6C^{13}$	13,00335
	${}_6C^{14}$	14,00324
Азот	${}_7N^{14}$	14,00307
Кислород	${}_8O^{16}$	15,99491
	${}_8O^{17}$	16,99913
Магний	${}_{12}Mg^{23}$	22,99414

Таблица 19. внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с единицами СИ, их связь с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	Название	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	$1\text{т} = 10^3 \text{ кг}$
	атомная единица массы	а.е.м.	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Время	минута	мин	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$
	час	ч	$1\text{ч} = 3600 \text{ с}$
	сутки	сут	$1 \text{ сут} = 86400 \text{ с}$
	год	год	$1 \text{ год} = 365,25 \text{ сут} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$
Работа, энергия	электрон -вольт	эВ	$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Таблица 20. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Таблица 21. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение	
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санتي	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}