Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика»

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам
для студентов специальности 1-27 01 01
«Экономика и организация производства»
заочной формы обучения

Гомель 2006

УДК 535(075.8)
ББК 22.3я73
Ф51

*Рекомендовано научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого*

Авторы-составители: *П. А. Хило*, *Н. И. Кабаев*, *Е. С. Петрова*, *П. Д. Петрашенко*

Рецензент: канд. техн. наук, зав. каф. «Промышленная электроника» ГГТУ им. П. О. Сухого
Б. А. Верига

Физика : метод. указания к контрол. работам для студентов специальности 1-27 01 01
Ф51 «Экономика и организация производства» заоч. формы обучения / авт.-сост.: П. А. Хило, Н. И. Кабаев, Е. С. Петрова, П. Д. Петрашенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 41 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: http://gstu.local/lib. – Загл. с титул. экрана.

Методические указания содержат 90 задач по разделам «Механика. Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика. Атомная и ядерная физика». В каждом разделе имеются краткие теоретические сведения и примеры решения задач.

Для студентов экономических специальностей.

УДК 535(075.8)
ББК 22.3я73

Введение

В данное практическое руководство включены контрольные задания по курсу «Физика». Структура заданий контрольной работы состоит из следующих разделов физики: «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электростатика», «Постоянный ток» «Электромагнетизм», «Оптика». «Атомная и ядерная физика». Определение варианта задания проводится в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки (шифра студента).

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. На титульном листе указать номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр, домашний адрес;
2. Условия задачи переписывать полностью, без сокращений, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в одну систему (СИ);
3. Для пояснения решения задачи, где это нужно, аккуратно сделать чертеж;
4. Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями;
5. Все задачи, как правило, решать до конца в общем виде, а численные значения подставлять в окончательную формулу, выражающую неизвестную физическую величину, через известные данные;
6. Проверить размерность полученных величин в расчетной формуле;
7. Указать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач;

Контрольные работы, представленные без соблюдения указанных правил, а также работы, выполненные не по своему варианту, зачитываться не будут.

При отсылке работы на повторное рецензирование обязательно представить работу с первой рецензией.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№ варианта	Номера задач								
0	1	11	30	37	41	48	70	80	82
1	2	12	29	38	42	49	69	78	84
2	3	13	28	39	43	50	68	76	86
3	4	14	27	40	44	60	67	74	88
4	5	15	26	31	45	59	66	79	90
5	6	16	25	32	51	58	65	77	81
6	7	17	24	33	52	54	61	75	83
7	8	18	23	34	53	55	62	73	85
8	9	19	22	35	46	56	63	71	87
9	10	20	21	36	47	57	64	72	89

М Е Х А Н И К А

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Скорость мгновенная $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ или $v = \frac{ds}{dt}$

Ускорение:

мгновенное $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$

тангенциальное $a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$

нормальное $a_n = \frac{v^2}{r}$

полное $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$

Скорость угловая $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$

Ускорение угловое $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

Уравнение равнопеременного вращательного движения

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$$

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности

$$s = \varphi r, \quad v = \omega r$$

$$a_\tau = \varepsilon r, \quad a_n = \omega^2 r$$

Второй закон Ньютона для поступательного движения $\vec{F} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}$

То же, при $m = const$ $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$

Импульс материальной точки массы m, движущейся со скоростью $\vec{v}$ $\vec{p} = m\vec{v}$

Закон сохранения импульса для изолированной системы тел $\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = const$

Работа переменной силы на пути s $A = \int_s F\cos\alpha\, ds$

Мощность	$N = \frac{dA}{dt} = Fv\cos\alpha$
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия тела, находящегося в однородном поле тяжести	$\Pi = mgh$
Кинетическая энергия тела	$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$
Закон сохранения механической энергии	$E = T + \Pi = const$
Момент инерции материальной точки	$J = mr^2$
Момент инерции некоторых тел массой m:	
– полого и сплошного цилиндров (или диска) радиуса R относительно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра	$J_{пол} = mR^2$ $J_{спл} = \frac{1}{2}mR^2$
– шара радиуса R относительно оси вращения, проходящей через центр масс шара	$J_0 = \frac{2}{5}mR^2$
– тонкого стержня длиной l, если ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через центр масс стержня	$J_0 = \frac{1}{12}ml^2$
– то же, но ось вращения проходит через один из концов стержня	$J_0 = \frac{1}{3}ml^2$
– тела относительно произвольной оси (теорема Штейнера)	$J = J_0 + md^2$
Момент импульса	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
Момент силы	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$
Основное уравнение динамики вращательного движения	$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J\omega)}{dt}$
То же, при $J = const$	$\vec{M} = \frac{Jd\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon}$
Закон сохранения момента импульса для изолированной системы	$\sum_{i=1}^{n} J_i\vec{\omega}_i = const$

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$T = \frac{J\omega^2}{2}$$

Уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$A = cos(\omega t + \varphi)$$

x – смещение;
A – амплитуда колебаний;
ω – угловая или циклическая частота;
φ – начальная фаза.

Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания

$$v = -A\omega\, sin(\omega t + \varphi)$$
$$a = -A\omega^2\, cos(\omega t + \varphi)$$

Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

– амплитуда результирующего колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\, cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

– начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = arctg\,\frac{A_1\, sin\,\varphi_1 + A_2\, sin\,\varphi_2}{A_1\, cos\,\varphi_1 + A_2\, cos\,\varphi_2}$$

Примеры решения задач

Пример 1. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где A=10 рад, B=20 рад/с, C= –2 рад/с^2. Найти модуль полного ускорения точки, находящейся на расстоянии r=0,1 м от оси вращения, для момента времени t=4 с.

Дано: $\varphi = A + Bt + Ct^2$; A=10 рад; B=20 рад/с; C= –2 рад/с^2;
r=0,1 м; t=4 с.

Найти: $|\vec{a}|$.

Р е ш е н и е. Полное ускорение a точки, движущейся по кривой линии, может быть найдено как геометрическая сумма тангенциального ускорения a_τ, направленного по касательной к траектории, и нормального ускорения a_n, направленного к центру кривизны траектории (рис.1):

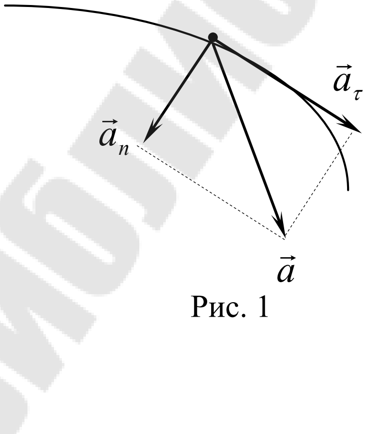

Рис. 1

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

Так как векторы $\vec{a}_\tau$ и $\vec{a}_n$ взаимно перпендикулярны, то модуль ускорения

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \, . \tag{1}$$

Модули тангенциального и нормального ускорения точки вращающегося тела выражаются формулами

$$a_\tau = \varepsilon r \, , \qquad a_n = \omega^2 r \, ,$$

где ω – модуль угловой скорости тела; ε – модуль его углового ускорения.

Подставляя выражения a_τ и a_n в формулу (1), находим

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} = r\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \, . \tag{2}$$

Угловую скорость ω найдем, взяв первую производную угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct \, .$$

В момент времени t=4 с модуль угловой скорости

$$\omega = [20 + 2(-2)4] \text{ рад/с} = 4 \text{ рад/с}.$$

Угловое ускорение найдем, взяв первую производную от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = d\omega / dt = 2C = -4 \text{ рад/с}^2.$$

Подставляя значения ω, ε и r в формулу (2), получаем

$$a = 0{,}1\sqrt{(-4)^2 + 4^2} \text{ м/с}^2 = 1{,}65 \text{ м/с}^2.$$

Пример 2. Тело массой m_1=1 кг ударяется о неподвижное тело массой m_2=4 кг. Считая удар центральным и абсолютно упругим, найти, какую часть энергии передает первое тело второму при ударе.

Дано: m_1=1 кг; m_2=4 кг; v_2=0.

Найти: T_2/T_1.

Р е ш е н и е. Поскольку удар абсолютно упругий, выполняется закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \, , \tag{1}$$

где v_1, v_2, u_1, u_2 – скорости тел соответственно до и после удара.

Кинетическая энергия второго тела до удара была равна нулю. После удара изменение энергии второго тела $\Delta T_2 = T_2$, где T_2 – кинетическая энергия второго тела после удара. По определению,

$$T_2 = \frac{m_2 u_2^2}{2} , \quad T_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \, .$$

Так как удар центральный, то выполняется закон сохранения импульса

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \, . \tag{2}$$

Поскольку v_2=0, выражения (1) и (2) примут вид

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \qquad m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2 . \tag{3}$$

Решая систему уравнений (3), определим

$$u_2 = \frac{2 m_1 v_1}{m_1 + m_2} .$$

Кинетическая энергия второго тела после удара

$$T_2 = \frac{m_2 u_2^2}{2} = \frac{2 m_2 m_1^2 v_1^2}{\left(m_1 + m_2\right)^2} .$$

Определим часть энергии, которую передаст первое тело при ударе:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{4 m_1 m_2}{\left(m_1 + m_2\right)^2} ;$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 4}{\left(1 + 4\right)} = 0{,}64 .$$

Пример 3. Диск массой 2 кг, радиусом 10 см вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр с частотой 600 мин$^{-1}$. Через 20 с под действием тормозящего момента диск остановился. Считая массу диска равномерно распределенной, найти тормозящий момент и число оборотов, которое сделает диск до полной остановки.

Дано: ω=0; m=2 кг; n=600 мин$^{-1}$=10 с$^{-1}$; Δt=20 с; R=0,1 м.

Найти: M; N.

Р е ш е н и е. Для определения тормозящего момента M сил, действующих на тело, нужно применить основное уравнение динамики вращательного движения:

$$J\Delta\omega = M\Delta t , \tag{1}$$

где J – момент инерции диска относительно оси, проходящей через центр масс; $\Delta\omega$ – изменение угловой скорости за промежуток времени Δt.

По условию задачи, $\Delta\omega = -\omega_0$, где ω_0 – начальная угловая скорость, так как конечная угловая скорость ω=0. Выразим начальную угловую скорость через частоту вращения диска, тогда $\omega_0 = 2\pi n$ и $\Delta\omega = -2\pi n$. Момент инерции диска $J = mR^2/2$, где m – масса диска; R – его радиус. Тогда формула (1) примет вид - $2\pi n m R^2/2 = M\Delta t$, откуда

$$M = -\pi n m R^2/\Delta t, \qquad M = -3{,}14\cdot 10\cdot 2\cdot 0{,}01/20 = -3{,}1\cdot 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Угол поворота, т.е. угловой путь φ, за время вращения диска до остановки может быть определен по формуле для равнозамедленного вращения:

$$\varphi = \omega_0 \Delta t - \varepsilon \Delta t^2 / 2 , \tag{2}$$

где ε – угловое ускорение. По условию задачи, $\omega = \omega_0 - \varepsilon\Delta t$, ω=0, $\varepsilon\Delta t = \omega_0$. Тогда [см. (2)]

$$\varphi = \omega_0 \Delta t - \omega_0 \Delta t / 2 = \omega_0 \Delta t / 2 .$$

Так как $\varphi=2\pi N$, $\omega_0=2\pi n$, то число полных оборотов

$$N = n\Delta t / 2 ; \ N=10\cdot 20/2=100.$$

Пример 4. Частица массой m=0,01 кг совершает гармонические колебания с периодом T=2 с. Полная энергия колеблющейся частицы E=0,1 мДж. Определить амплитуду A колебаний и наибольшее значение силы F_{max}, действующей на частицу.

Дано: m=0,01 кг; T=2 с; E=0,1 мДж.

Найти: A; F_{max}.

Р е ш е н и е. Для определения амплитуды колебаний воспользуемся выражением полной энергии частицы:

$$E = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 ,$$

где $\omega = 2\pi/T$. Отсюда амплитуда

$$A = \frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{2E}{m}} . \qquad (1)$$

Так как 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:

$$F_{max} = kA . \qquad (2)$$

Коэффициент k выразим через период колебаний:

$$k = m\omega^2 = m \cdot 4\pi^2 / T^2 . \qquad (3)$$

Подставив выражения (1) и (3) в (2) и произведя упрощения, получим

$$F_{max} = 2\pi \sqrt{2mE} / T .$$

Произведем вычисления:

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

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

Варианты задач

1. Точка движется по окружности радиусом R=4 м. Закон ее движения выражается уравнением $s=A+Bt^2$, где A=8 м, B= –2 м/с^2. Определить момент времени t, когда нормальное ускорение a_n, точки равно 9 м/с^2. Найти скорость v, тангенциальное a_τ и полное a ускорения точки в тот же момент времени t.
2. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением a_τ=0,7 м/с^2. Определить полное ускорение a точки на участке кривой с радиусом кривизны R=5 м, если точка движется на этом участке со скоростью 3 м/с.
3. Колесо, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости ω=30 рад/с через n=10 об после начала вращения. Найти угловое ускорение колеса.
4. Колесо, вращаясь равнозамедленно, при торможении уменьшило свою скорость за 1 мин с 400 об/мин до 200 об/мин. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных им за это время.
5. Точка движется по окружности R=5 см с постоянным тангенциальным ускорением. Найти тангенциальное ускорение точки, если известно, что к концу пятого оборота после начала движения линейная скорость точки стала v=80 см/с.
6. Поезд массой $m=5\cdot 10^7$ кг после прекращения тяги паровоза под действием силы-трения в 10^5 Н останавливается через 1 мин. С какой скоростью двигался поезд?
7. Маховик, момент инерции которого равен J=70 кг·м^2, вращается с постоянной угловой скоростью ω=30 рад/с. Найти тормозящий момент, под действием которого маховик останавливается через 30 с.
8. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha=30^0$ с плоскостью горизонта, имеет длину 1,5 м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с той плоскости за время t=1 с. Определить коэффициент трения μ тела о плоскость.
9. Найти работу A подъема груза по наклонной плоскости длиной l=3 м, если масса груза m=70 кг, угол наклона $\alpha=30^0$, коэффициент трения k=0,01 и груз движется с ускорением a=2 м/с^2.
10. При горизонтальном полете со скоростью v=250 м/с снаряд массой m=8 кг разорвался на две части. Большая часть массой m_1=6 кг получила скорость v_1=400 м/с в направлении полета снаряда. Определить модуль и направление скорости v_2 меньшей части снаряда.
11. Шар массой m=2 кг движется со скоростью v=3 м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой m_1=6 кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

12. Шар массой m=5 кг движется со скоростью v=6 м/с и сталкивается с шаром массой m_1=7 кг, который движется ему навстречу со скоростью v_1=2 м/с. Определить скорость v' и v_1' шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
13. Шар и сплошной цилиндр имеют одинаковую массу m=6 кг каждый и катятся с одинаковой скоростью v=10 м/с. Найти кинетические энергии этих тел.
14. Сплошной шар скатывается по наклонной плоскости, длина которой l=10 м и угол наклона $\alpha=30^0$. Определить скорость шара в конце наклонной плоскости.
15. Сначала диск, а потом обруч скатываются с наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha=60^0$ с горизонтом. Чему равны их ускорения?
16. Определить период T, частоту ν и начальную фазу φ колебаний, заданных уравнением $x=A\sin\omega(t+\tau)$, где $\omega=2{,}5\pi$ с$^{-1}$, τ=0,4 с.
17. Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудой A_1=10 см и A_2=6 см складываются в одно колебание с амплитудой A=14 см. Найти разность фаз $\Delta\varphi$ складываемых колебаний.
18. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение x_{max} точки равно 10 см, наибольшая скорость x_{max}=100 см/с^2. Найти циклическую частоту ω колебаний и максимальное ускорение x_{max} точки.
19. Найти возвращающую силу F в момент t=1 с и полную энергию E материальной точки, совершающей колебания по закону $x=A\cos\omega t$, где A=8 см; $\omega=2\pi/3$ с$^{-1}$. Масса m материальной точки равна 10 г.
20. Тонкий обруч, повешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус R обруча равен 30 см. Вычислить период T колебаний обруча.

М О Л Е К У Л Я Р Н А Я   Ф И З И К А

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Количество вещества
$$\upsilon = \frac{N}{N_A} \quad \text{или} \quad \upsilon = \frac{m}{M}$$

Уравнение Клайперона – Менделеева (уравнение состояния идеального газа)
$$pV = (m/M)RT$$

Закон Дальтона
$$p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n$$

Концентрация молекул
$$n = N/V = N_A\rho/M$$

Уравнение молекулярно-кинетической теории газов
$$p = \frac{1}{3}nm_0\langle v_{кв}\rangle^2 = \frac{2}{3}n\langle\varepsilon_{пост}\rangle = nkT$$

Средняя кинетическая энергия молекулы
$$\langle\varepsilon\rangle = \frac{i}{2}kT$$

Внутренняя энергия идеального газа
$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}RT$$

Скорости молекул:

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

средняя арифметическая
$$\langle v\rangle = \sqrt{8kT/(\pi m_0)} = \sqrt{8RT/(\pi M)}$$

Распределение молекул в потенциальном поле сил (распределение Больцмана)
$$n = n_0\, exp\left(-\frac{E_п}{kT}\right)$$

Барометрическая формула
$$p = p_0\, exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right)$$

Теплоемкость молярная:

изохорная
$$C_v = \frac{i}{2}R \qquad C_v = c_v M$$

изобарная
$$C_p = \frac{(i+2)}{2}R \qquad C_p = c_p M$$

Первое начало термодинамики
$$\delta Q = dU + \delta A$$
$$dU = (m/M)C_v dT, \quad dA = pdV$$

Работа расширения газа при процессе:
адиабатном

$$A=\frac{m}{M}C_p\left(T_1-T_2\right)=\frac{m}{M}\frac{RT_1}{\left(\gamma-1\right)}\times$$
$$\times\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]=\frac{p_1V_1}{\left(\gamma-1\right)}\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}\right.$$

$\gamma=\frac{C_p}{C_v}$ - показатель адиабаты

изобарном

$$A=p\left(V_2-V_1\right)=\frac{m}{M}R\left(T_2-T_1\right)$$

изотермическом

$$A=\frac{m}{M}RT\,ln\frac{V_2}{V_1}=\frac{m}{M}RT\,ln\frac{p_1}{p_2}$$

Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатном процессе

$$pV^{\gamma}=const\,,\ \ TV^{\gamma-1}=const\,,$$
$$T^{\gamma}p^{1-\gamma}=const$$

Коэффициент полезного действия цикла Карно

$$\eta=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\frac{T_1-T_2}{T_1}$$

Изменение энтропии

$$\Delta S=S_2-S_1=\int_1^2\frac{dQ}{T}$$

Примеры решения задач

Пример 1. Чему равны средние кинетические энергии поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 4 кг кислорода при температуре 200 К?

Дано: m=4 кг; T=200 К; M=32·10^{-3} кг/моль.

Найти: $\left\langle E_{пост}\right\rangle$; $\left\langle E_{вр}\right\rangle$.

Р е ш е н и е. Считаем кислород идеальным газом. Молекула кислорода – двухатомная, связь между атомами считаем жесткой, тогда число степеней свободы молекулы кислорода равно 5. В среднем на одну степень свободы приходится энергия $\left\langle \varepsilon_i\right\rangle=\frac{1}{2}kT$, где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура. Поступательному движению приписывается три (i=3), а вращательному две (i=2) степени свободы. Тогда энергия одной молекулы

$$\left\langle \varepsilon_{пост}\right\rangle=\frac{3}{2}kT\,,\ \ \left\langle \varepsilon_{вр}\right\rangle=kT\,.$$

Число молекул, содержащихся в массе газа, $N = \upsilon N_A = (m/M)N_A$, где m – масса кислорода; M – его молярная масса; υ - число молей; N_A – постоянная Авогадро. Тогда средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул кислорода

$$\langle E_{пост} \rangle = \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT, \tag{1}$$

где $R = kN_A$ - молярная газовая постоянная.

Средняя кинетическая энергия вращательного движения молекул кислорода

$$\langle E_{вр} \rangle = \frac{m}{M} RT. \tag{2}$$

Подставляя числовые значения в формулы (1) и (2), имеем

$$\langle E_{пост} \rangle = \frac{3 \cdot 4 \cdot 8{,}31 \cdot 200}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} = 3{,}12 \cdot 10^5 \text{ Дж};$$

$$\langle E_{вр} \rangle = \frac{4 \cdot 8{,}31 \cdot 200}{32 \cdot 10^{-3}} = 2{,}08 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Пример 2. Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении от 300 до 310 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Дано: m=320 г =$32 \cdot 10^{-2}$ кг; T_1=300 К; T_2=310 К.

Найти: Q; ΔU; A.

Р е ш е н и е. Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при постоянном давлении,

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) = \frac{m}{M} C_p (T_2 - T_1). \tag{1}$$

Здесь c_p и $C_p = Mc_p$ - удельная и молярная теплоемкости газа при постоянном давлении; $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса кислорода. Для всех двухатомных газов (с жесткой связью)

$$C_p = \frac{7}{2} R; \quad C_p = \frac{7}{2} \cdot 8{,}31 = 29{,}1 \text{ Дж/(моль·К)}.$$

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{m}{M} C_v (T_2 - T_1), \tag{2}$$

где C_v - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме. Для всех двухатомных газов (с жесткой связью)

$$C_v = \frac{5}{2} R; \quad C_v = \frac{5}{2} \cdot 8{,}31 = 20{,}8 \text{ Дж/(моль·К)}.$$

Работа расширения газа при изобарном процессе $A = p\Delta V$, где $\Delta V = V_2 - V_1$ - изменение объема газа, которое можно найти из уравнения Клайперона – Менделеева. При изобарном процессе

$$pV_1 = \frac{m}{M}RT_1, \qquad (3) \qquad\qquad pV_2 = \frac{m}{M}RT_2. \qquad (4)$$

Почленным вычитанием выражения (4) из (3) находим

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1),$$

следовательно,

$$A = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1). \qquad (5)$$

Подставляя числовые значения в формулы (1), (2) и (5), получаем:

$$Q = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 29{,}1 \cdot (310 - 300) = 2910 \text{ Дж};$$

$$\Delta U = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 20{,}8 \cdot (310 - 300) = 2080 \text{ Дж};$$

$$A = \frac{32 \cdot 10^{-2}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8{,}31 \cdot (310 - 300) = 830 \text{ Дж}.$$

Пример 3. Кислород массой m=2 кг занимает объем V_1=1 м^3 и находится под давлением p_1=0,2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема V_2=3 м^3, а затем при постоянном объеме до давления p_3=0,5 МПа. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа, совершенную им работу A и теплоту Q, переданную газу.

Дано: m=2 кг; V_1=1 м^3; p_1=0,2 МПа; V_2=3 м^3; p_3=0,5 МПа.

Найти: ΔU; A; Q.

Р е ш е н и е. Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = c_v m\Delta T = \frac{i}{2}\frac{R}{M}m\Delta T, \qquad (1)$$

где i – число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода i=5); $\Delta T = T_3 - T_1$ – разность температур газа в конечном (третьем) и начальном состояниях.

Начальную и конечную температуру газа найдем из уравнения Менделеева – Клайперона $pV = (m/M)RT$, откуда

$$T = pVM/(mR).$$

Работа расширения газа при постоянном давлении выражается формулой

$$A_1 = \frac{m_1}{MR\Delta T}.$$

Работа газа, нагреваемого при постоянном объеме, равна нулю:

$$A_2 = 0.$$

Следовательно, полная работа, совершаемая газом,

$$A = A_1 + A_2 = A_1.$$

Согласно первому началу термодинамики, теплота Q, переданная газу, равна сумме изменения внутренней энергии ΔU и работы A:

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

Произведем вычисления, учтя, что для кислорода M=$32\cdot10^{-3}$ кг/моль:

$$T_1 = \frac{2\cdot10^5\cdot1\cdot32\cdot10^{-3}}{2\cdot8{,}31} = 385\,\text{К};$$

$$T_2 = \frac{2\cdot10^5\cdot3\cdot32\cdot10^{-3}}{2\cdot8{,}31} = 1155\,\text{К};$$

$$T_3 = \frac{5\cdot10^5\cdot3\cdot32\cdot10^{-3}}{2\cdot8{,}31} = 2887\,\text{К};$$

$$A_1 = \frac{8{,}31\cdot2\cdot(2887-385)}{32\cdot10^{-3}} = 0{,}400\cdot10^6 = 0{,}4\,\text{МДж};$$

$$A = A_1 = 0{,}4\,\text{МДж};$$

$$\Delta U = \frac{5}{2}\frac{8{,}31\cdot2\cdot(2887-385)}{32\cdot10^{-3}} = 3{,}24\cdot10^6 = 3{,}24\,\text{МДж};$$

$$Q = (3{,}24+0{,}4) = 3{,}64\,\text{МДж}.$$

Пример 4. Температура нагревателя тепловой машины 450 К. Температура холодильника 300 К. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, и полную мощность машины, если нагреватель ежесекундно передает ей 1525 Дж теплоты.

Дано: T_1=450 К; T_2=300 К; Q=1525 Дж; t=1 с.

Найти: η; N.

Р е ш е н и е. КПД машины

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{A}{Q}. \tag{1}$$

Из выражения (1) находим

$$A = \eta Q = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1}\right)Q.$$

Произведем вычисления:

$$\eta = \frac{450-300}{450} = 0{,}33; \quad A = 0{,}33\cdot1525\,\text{Дж}.$$

Эта работа совершается за 1 с, следовательно, полная мощность машины

$$N = \frac{A}{t}; \quad N = \frac{508}{1} = 508\,\text{Вт}.$$

Пример 5. Горячая вода некоторой массы отдает теплоту холодной воде такой же массы и температуры их становятся одинаковыми. Показать, что энтропия при этом увеличивается.

Р е ш е н и е. Пусть температура горячей воды T_1, холодной T_2, а температура смеси Θ. Определим температуру смеси, исходя из уравнения теплового баланса:

$$mc(T_1 - \Theta) = mc(\Theta - T_2) \text{ или } T_1 - \Theta = \Theta - T_2,$$

откуда
$$\Theta = \frac{T_1 + T_2}{2}. \qquad (1)$$

Изменение энтропии, происходящее при охлаждении горячей воды,

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{\Theta} \frac{cmdT}{T} = cm\,ln\frac{\Theta}{T_1}.$$

Изменение энтропии, происходящее при нагревании холодной воды,

$$\Delta S_2 = \int_{T_2}^{\Theta} \frac{cmdT}{T} = cm\,ln\frac{\Theta}{T_2}.$$

Изменение энтропии системы

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = cm\,ln\frac{\Theta}{T_1} + cm\,ln\frac{\Theta}{T_2} = cm\,ln\frac{\Theta^2}{T_1 T_2}$$

или с учетом соотношения (1)

$$\Delta S = cm\,ln\frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2},$$

так как $(T_1 + T_2)^2 > 4T_1 T_2$, то $\Delta S > 0$.

Варианты задач

21. Какой объем занимает смесь газов – азота массой m_1=2 кг и гелия m_2=0,5 кг при давлении p=10^5 Па и температуре 400 К?
22. Колба вместимостью V=5 л содержит некоторый газ массой m=0,8 г под давлением p=200 кПа. Определить среднюю квадратичную скорость $\bar{v}_{кв}$ молекул газа.
23. Количество вещества гелия υ=2 моль, температура T=150 К. определить суммарную кинетическую энергию $E_к$ поступательного движения всех молекул этого газа.

24. Найти работу и изменение внутренней энергии при адиабатном расширении m=0,7 кг воздуха, его объем увеличился в пять раз. Начальная температура T=290 К.
25. При нагревании 0,7 кмоль кислорода было передано $Q=10^3$ Дж теплоты. Определить работу расширения при постоянном давлении.
26. Азот, занимающий объем V=10 л и находящийся под давлением $p=10^5$ Па, адиабатически сжат до объема V=3 л. Найти работу сжатия и изменения внутренней энергии азота.
27. Водород при давлении $p=10^6$ Па и температуре T=300 К имел объем $V_1=80$ м^3. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа при его адиабатическом расширении до объема $V_2=130$ м^3.
28. За счет Q=1 кДж теплоты, получаемого от нагревателя, машина, работающая по циклу Карно, совершает работу А=0,5 кДж. Температура нагревателя T_1=600 К. Определить температуру холодильника T_2?
29. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу Q=300 кДж. Температура нагревателя T_1=400 К, холодильника 300 К. Определить количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.
30. Объем гелия, масса которого 1 кг, увеличился в четыре раза: а) изотермически; б) адиабатно. Каково изменение энтропии в этих случаях?

Э Л Е К Т Р О С Т А Т И К А

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

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

Напряженность электрического поля
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Напряженность поля:

– точечного заряда
$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$$

– между двумя равномерно и разноименно заряженными бесконечными параллельными плоскостями
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

Напряженность поля, создаваемого металлической заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от ее центра:

– на поверхности сферы ($r=R$)
$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}$$

– вне сферы ($r>R$)
$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$$

Работа перемещения заряда в электрическом поле из точки 1 в точку 2
$$A = q\int_1^2 E_l dl\,; \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Потенциал поля, создаваемого точечным зарядом
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$$

Связь потенциала с напряженностью поля
$$E_l = -\frac{d\varphi}{dl}\,; \quad E = -grad\varphi$$

Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора
$$F = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S}{2} = \frac{q^2}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}$$

Электроемкость:

уединенного проводника
$$C = \frac{q}{\varphi}$$

плоского конденсатора $C=\frac{q}{U}$; $C=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

Электроемкость батареи конденсаторов, соединенных

параллельно $C=C_1+C_2+\ldots+C_n$

последовательно $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\ldots+\frac{1}{C_n}$

Энергия поля:

заряженного проводника $W_Э=\frac{C\varphi^2}{2}=\frac{q^2}{2c}=\frac{q\varphi}{2}$

заряженного конденсатора $W_Э=\frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_0 E^2 V$

Сила тока $I=\frac{dq}{dt}$

Закон Ома для замкнутой (полной) цепи $I=\frac{\varepsilon}{R+r}$

Закон Ома в дифференциальной форме $j=\gamma E=\frac{E}{\rho}$

Закон Джоуля – Ленца $q=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t$

Сопротивление однородного проводника $R=\frac{\rho l}{S}$

Зависимость удельного сопротивления от температуры $\rho=\rho_0(1+\alpha t)$

Работа тока $A=IUt=I^2Rt=U^2t/R$

Полная мощность, выделяющаяся в цепи $N=I\varepsilon=\varepsilon^2/(R+r)$

Примеры решения задач

Пример 1. Два точечных заряда, находясь в воздухе (ε=1) на расстоянии r_1=20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии r_2 нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия?

Дано: ε=1; r_1=20 см.

Найти: r_2.

Р е ш е н и е. Согласно закону Кулона два точечных заряда в воздухе взаимодействуют с силой $F = \dfrac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_1 r_1^2}$ - (1), а в масле с такой же силой $F = \dfrac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_2 r_2^2}$ - (2). Приравняв правые части уравнений (1) и (2), найдем $r_2 = \sqrt{\dfrac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} r_1$. Диэлектрическая проницаемость воздуха $\varepsilon_1 = 1$, диэлектрическая проницаемость масла $\varepsilon_2 = 5$. Подставив числовые значения, получим $r_2 = 8{,}94$ см.

Пример 2. Разность потенциалов между точками A и B равна $U = 6$ В. Емкость первого конденсатора $C_1 = 2$ мкФ и емкость второго конденсатора $C_2 = 4$ мкФ. Найти заряды q_1 и q_2 и разности потенциалов U_1 и U_2 на обкладках каждого конденсатора.

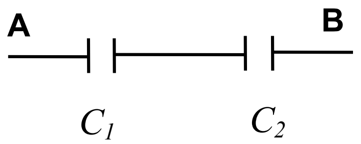

Рис. 2

Дано: $U = 6$ В; $C_1 = 2$ мкФ; $C_2 = 4$ мкФ.

Найти: q_1 и q_2; U_1 и U_2.

Р е ш е н и е. При последовательном соединении на всех пластинах конденсатора (рис. 2) будет одинаковый по модулю заряд, т.е. $q_1 = q_2$. При этом $q_1 = C_1 U_1$, а $q_2 = C_2 U_2$. Падение напряжения на участке AB равно $U = U_1 + U_2$, отсюда $U_1 = U - U_2$. Тогда $C_1(U - U_2) = C_2 U_2$, откуда $U_2 = \dfrac{C_1 U}{C_2 + C_1} = 2$ В; $U_1 = U - U_2 = 4$ В; $q_1 = q_2 = C_1 U_1 = 8$ мкКл.

Пример 3. ЭДС батареи равна 20 В. КПД батареи составляет 0,8 при силе тока 4 А. Чему равно внутреннее сопротивление батареи?

Дано: $\varepsilon = 20$ В; $\eta = 0{,}8$; $I = 4$ А.

Найти: r.

Р е ш е н и е. КПД источника тока η равен отношению падения напряжения во внешней цепи к его ЭДС:
$$\eta = \frac{RI}{\varepsilon}, \tag{1}$$
откуда
$$R = \eta\varepsilon / I. \tag{2}$$

Используя выражение закона Ома для замкнутой цепи $I = \varepsilon/(R + r)$, получаем
$$\eta = \frac{R}{R + r}. \tag{3}$$

Подставляя (2) в (3) и выполнив преобразования, находим

$$r = \frac{\varepsilon(1-\eta)}{I}; \quad r = \frac{20 \cdot (1-0{,}8)}{4} = 1 \text{ Ом.}$$

Варианты задач

31. Точечные заряды q_1=20 мкКл и q_2= - 10 мкКл находятся на расстоянии d=15 см друг от друга. Определить напряженность электрического поля E в точке, удаленной от первого заряда на расстоянии r_1=30 см, а от второго на r_2=20 см.
32. Два точечных заряда q_1=5 нКл и q_2=2 нКл находятся на расстоянии d=60 см друг от друга. Какую работу необходимо совершить внешним силам, чтобы уменьшить расстояние между зарядами вдвое?
33. Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала U=20 В, сливаются в одну. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?
34. Пылинка массой m=7 нг, несущая на себе N=10 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов U=1 МВ. Какова кинетическая энергия $E_к$ пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?
35. Конденсаторы емкостью C_1=5 мкФ и C_2=10 мкФ и C_3=15 мкФ соединены последовательно и находятся под напряжением U=900 В. Определить напряжение и заряд на каждом из конденсаторов.
36. Какую работу совершают силы поля, если одноименные заряды q_1=3 и q_2=7 нКл, находившиеся на расстоянии 10 см, разошлись до расстояния 20 см?
37. Определить разность потенциалов и заряд на каждом из конденсаторов емкостью C_1=2 и C_2=3 мкФ, если они присоединены к источнику постоянного напряжения U=12 В. Определить емкость второго конденсатора и напряжение на каждом конденсаторе, если заряд батареи q=50 мкКл.
38. Разность потенциалов между обкладками плоского воздушного конденсатора U=2 кВ, зазор d=2 см, заряд на каждой обкладке q=1 нКл. Определить силу притяжения обкладок и энергию конденсатора.
39. Плотность тока в проводнике равна 4 МА/м^2 при напряжении 500 В на его концах. Определить удельное сопротивление проводника, если его длина l=700 м.
40. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление R=10 Ом. Масса медной проволоки m=2 кг. Сколько метров проволоки и какого диаметра d намотано на катушке?
41. ЭДС батареи ε=100 В, внутреннее сопротивление r=5 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность P=120 Вт. Определить силу тока I в цепи, напряжение U, под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление.

42. Аккумулятор с ЭДС ε=12 В заряжается от сети постоянного тока с напряжением U=20 В. Определить напряжение на клеммах аккумулятора, если его внутреннее сопротивление r=5 Ом.
43. Определит ЭДС аккумуляторной батареи, ток короткого замыкания которой 20 А, если при включении к ней сопротивления R=5 Ом сила тока в цепи равна 5 А.
44. Две электрические лампочки включены в сеть параллельно. Сопротивление первой лампочки 400 Ом, сопротивление второй 200 Ом. Какая из лампочек поглощает большую мощность?
45. Элемент, ЭДС которого равна ε=6 В, дает максимальную силу тока I=5 А. Найти количество теплоты, которое выделяется во внешнем сопротивлении за t=1 мин.

Э Л Е К Т Р О М А Г Н Е Т И З М

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью магнитного поля $\vec{H}$:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

μ - магнитная проницаемость среды,

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\,\dfrac{Гн}{м}$ - магнитная постоянная

Закон Био-Савара-Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I\left[d\vec{l}\times\vec{r}\right]}{4\pi r^3}$$

Модуль $\left|d\vec{B}\right| = dB$

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I\,sin\,\alpha}{4\pi r^2}\,dl$$

Магнитная индукция в центре кругового тока

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

I - сила тока, R-радиус кругового тока

Магнитная индукция:

- поля, созданного бесконечно длинным прямым проводником с током

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

r - расстояние от оси провода до точки в которой определяется магнитная индукция

- поля, созданного отрезком проводника с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r}(cos\,\alpha_1 - cos\,\alpha_2)$$

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

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

α - угол между вектором магнитной индукцией $\vec{B}$ и перпендикуляром к контуру

Магнитный момент контура с током

$$p_m = IS,$$

I - сила тока, S - площадь контура

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (Закон Ампера)

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

l - длина провода, α - угол между направлением тока и вектором магнитной индукции $\vec{B}$

Сила Лоренца — $F = q v B \sin\alpha$,
q - заряд частицы, v - скорость частицы, α - угол между вектором скорости $\vec{v}$ и вектором магнитной индукцией $\vec{B}$

Радиус окружности при движении заряженной частицы в магнитном поле — $R = \dfrac{m v}{q B}$

Магнитный поток однородного магнитного поля — $\Phi = B S \cos\alpha$,
S - площадь контура, α - угол между нормалью к контуру и вектором магнитной индукцией $\vec{B}$

Работа по перемещению контура с током в магнитном поле — $A = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$

Основной закон электромагнитной индукции — $\varepsilon_i = -\dfrac{d\Phi}{dt}$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью $\vec{v}$ в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$ — $U = B l v \sin\alpha$,
l - длина провода, α - угол между вектором скорости $\vec{v}$ и вектором магнитной индукцией $\vec{B}$

ЭДС самоиндукции — $\varepsilon = -L\dfrac{dI}{dt}$,
L - индуктивность: $L = \mu\mu_0 n^2 l S$,
n - плотность намотки, т.е. отношение числа витков N к длине соленоида l: $n = \dfrac{N}{l}$

Поток сцеплениея соленоида — $\Psi = LI$

Энергия магнитного поля — $W = \dfrac{LI^2}{2}$

Примеры решения задач

Пример 1. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл стал двигаться по окружности радиуса 5 см. Определить кинетическую энергию электрона.

Дано: B=0,2 Тл; R=5 см.

Найти: $E_к$.

Р е ш е н и е. Электрон движется по окружности в магнитном поле, если он влетает в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. В этом случае сила Лоренца $F = qvB$. По второму закону Ньютона $F = ma_{цс}$, где $a_{цс} = \dfrac{v^2}{R}$ - центростремительное (нормальное ускорение).

Тогда $qvB = m\dfrac{v^2}{R}$, откуда находим скорость электрона: $v = \dfrac{qBR}{m}$.

Кинетическая энергия электрона

$E_к = \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{mq^2B^2R^2}{2m^2} = \dfrac{q^2B^2R^2}{2m}$. Заряд электрона q = 1,6·10^{-19} Кл.

Вычисления: $E_к = \dfrac{(1.6\cdot 10^{-19})^2\cdot 4\cdot 10^{-2}\cdot 25\cdot 10^{-4}}{2\cdot 9.1\cdot 10^{-31}} = 1.4\cdot 10^{-6}$ Дж .

Пример 2. Рамка из провода сопротивлением R = 0,04 Ом равномерно вращается в магнитном поле с индукцией 0,6 Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Площадь рамки 200 см^2. Определить заряд, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0 до 45^o.

Дано: B=0,6 Тл; R=0,04 Ом; S=200 см^2;

α_1=0^o; α_2=45^o.

Найти: Δq.

Р е ш е н и е. При изменении магнитного потока в контуре возникает ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Возникающая ЭДС вызовет в рамке ток $I = \dfrac{\varepsilon_i}{R}$.

Тогда $IR = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Сила тока I равна $I = \dfrac{dq}{dt}$, следовательно $R\dfrac{\Delta q}{\Delta t} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ и

$$\Delta q = -\frac{\Delta\Phi}{R},\ \Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1).$$

$$\Delta q = -\frac{BS}{R}(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) = \frac{0.6\cdot 2\cdot 10^{-2}}{4\cdot 10^{-2}}(\cos 0 - \cos 45^\circ) = 0.3(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) = 0.21\text{Кл}$$

Варианты задач

46. Напряженность магнитного поля H=100 А/м. Вычислить магнитную индукцию B этого поля в вакууме.

47. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи I_1=10 А и I_2=15 А. Расстояние между проводами A=10 см. Определить напряженность H магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на r_1=8 см и от второго на r_2=6 см.
48. В однородном магнитном поле с индукцией B=0,01 Тл помещен прямой проводник длиной l=20 см (подводящие провода находятся вне поля). Определить силу F, действующую на проводник, если по нему течет ток I=50 А, а угол φ между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30^0.
49. Рамка с током I=5 А содержит N=20 витков тонкого провода. Определить магнитный момент p_m рамки с током, если ее площадь S=10 см^2.
50. По витку радиусом R=10 см течет ток I=50 А. Виток помещен в однородное магнитное поле (B=0,2 Тл). Определить момент силы M, действующей на виток, если плоскость витка составляет угол $\varphi=60^0$ с линиями индукции.
51. Протон влетел в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и описал дугу радиусом R=10 см. Определить скорость v протона, если магнитная индукция B=1 Тл.
52. Кольцо радиусом R=10 см находится в однородном магнитном поле (B=0,318 Тл). Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол $\varphi=30^0$. Вычислить магнитный поток Φ, пронизывающий кольцо.
53. Проводник длиной l=1 м движется со скоростью v=5 м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить магнитную индукцию B, если на концах проводника возникает разность потенциалов U=0,02 В.
54. Рамка площадью S=50 см^2, содержащая N=100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле (B=40 мТл). Определить максимальную ЭДС индукции ε_{max}, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой n=960 об/мин.
55. По двум параллельным проводам длиной l=3 м каждый текут одинаковые токи I=500 А. Расстояние d между проводами равно 10 см. Определить силу F взаимодействия проводов.
56. Короткая катушка площадью поперечного сечения S=250 см^2, содержащая N=500 витков провода, по которому течет ток I=5 А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью H=1000 А/м. Найти: 1) магнитный момент p_m катушки; 2) вращающийся момент M, действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi=30^0$ с линиями поля.
57. Плоский контур площадью S=20 см^2 находится в однородном магнитном поле (B=0,03 Тл). Определить магнитный поток Φ, пронизывающий

контур, если плоскость его составляет угол φ=60^0 с направлением линий индукций.

58. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд Q=50 мкКл. Определить изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра R=10 Ом.
59. Соленоид сечением S=10 см^2 содержит N=10^3 витков. При силе тока I=5 А магнитная индукция B поля внутри соленоида равна 0,05 Тл. Определить индуктивность L соленоида.
60. По катушке индуктивностью L=8 мкГн течет ток I=6 А. Определить среднее значение ЭДС $\langle\varepsilon_S\rangle$ самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится практически до нуля за время Δt=5 мс.

ОПТИКА. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Условие интерференционного максимума

$\Delta = \pm m\lambda$ ($m = 0,1,2\ldots$),
λ - длина волны в вакууме, Δ – оптическая разность хода

Условие интерференционного минимума

$$\Delta = \pm(2m-1)\frac{\lambda}{2},$$
(m = 1, 2…)

Оптическая разность хода в интерференции Юнга

$$\Delta = \frac{xd}{L},$$
x - координатат точки экрана, d - расстояние между источниками, L - расстояние до экрана.

Ширина интерференционных полос в опыте Юнга

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$$

Оптическая разность хода в тонких пленках в отраженном свете

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - sin^2 i} \pm \frac{\lambda}{2},$$
d – толщина пленки, n - показатель преломления среды, i – угол падения

Радиусы светлых и темных колец Ньютона в проходящем (или темных и светлых – в отраженном)

$$r_m = \sqrt{m\lambda R},$$
(m = 1, 2…)

$$r_m = \sqrt{(2m-1)\frac{\lambda}{2}R},$$
(m = 1, 2…)

Радиус k-ой зоны Френеля для сферической волны

$$r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}k\lambda},$$
(k = 1, 2…)
a - расстояние от источника до фронта волны, b - расстояние от фронта волны до экрана

Радиус k-ой зоны Френеля для плоской волны

$$r_k = \sqrt{bk\lambda},$$
(k = 1, 2…)

Условие максимума интенсивности при дифракции плоской волны на одной щели	$$b\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2},$$ ($k = 1, 2\ldots$), b - ширина щели, φ - угол дифракции
Условие минимумов интенсивности при дифракции на щели	$$b\sin\varphi = k\lambda,$$ ($k = 1, 2\ldots$)
Условие главных максимумов при дифракции на дифракцонной решетке	$$d\sin\varphi = \pm k\lambda,$$ ($k = 0, 1, 2\ldots$), d - период решетки, φ - угол дифракции
Закон Малюса	$$I = I_0 \cos^2\alpha,$$ I - интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через поляризатор, I_0 - интенсивность плоскополярзованного света, падающего на поляризатор, α - угол между вектором напряженности электрического поля $\vec{E}$ и осью поляризатора
Степень поляризации	$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}},$$ I_{max}, I_{min} - максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого поляризатором
Закон Стефана-Больцмана	$$R = \sigma T^4,$$ R - энергетическая светимость, T - абсолютная температура, σ - постоянная Стефана-Больцмана
Закон Вина	$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$ λ_{max} - длина волны, на которую приходится максимум испускательной способности, b - постоянная Вина

Закон Брюстера	$tgi_{бр} = \dfrac{n_2}{n_1}$
Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта	$h\nu = A + T_{max}$, $h\nu$ - энергия кванта, A - работа выхода электрона из металла, T_{max} - максимальная кинетическая энергия электрона
Красная граница фотоэффекта	$\nu_{min} = \dfrac{A}{h}$, h - постоянная Планка
Задерживающий потенциал	$eU_з = T_{пах} = \dfrac{mv_{пах}^2}{2}$
Закон радиоактивного распада	$N = N_0\, exp[-\lambda t]$, N - число нераспавшихся ядер к моменту времени «t», N_0 – первоначальное число ядер, λ - постоянная распада, $\lambda = \dfrac{ln2}{T}$, T - период полураспада числа ядер, распавшихся за время t
Активность изотопа	$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - exp[-\lambda t])$

Примеры решения задач

Пример 1. На пленку с показателем преломления $n = 1{,}5$ падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 5.5\cdot10^{-7}$м. Отраженный свет имеет наибольшую интенсивность. Какова минимальная толщина пленки?

Дано: $n = 1{,}5$; $\lambda = 5.5\cdot10^{-7}$м.

Найти: d.

Р е ш е н и е. Если угол падения света $i = 0^0$, то угол отражения также равен нулю, оптическая разность хода равна $\Delta = 2dn - \dfrac{\lambda}{2}$. Условие интерференционного максимума запишется как $\Delta = m\lambda = 2dn - \dfrac{\lambda}{2}$.

Минимальная толщина пленки будет, если $m = 0$, тогда

$$2dn = \frac{\lambda}{2} \text{ и } d = \frac{\lambda}{4n}.$$

$$d = \frac{5.5 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 1.5} = 0.9 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Пример 2. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 4м от точечного источника (λ = 5·10^{-7} м). Посередине между экраном и источником находится диафрагма с круглым отверстием. При каком радиусе диафрагмы на экране будет наиболее темно?

Дано: λ = 5·10^{-7} м; k = 2 и $a = b$ =2 м.

Найти: r.

Р е ш е н и е: Минимум интенсивности света на экране будет иметь место, если на диафрагме укладываются четное число зон Френеля (k = 2). Поэтому в формуле $r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}k\lambda}$, k = 2 и $a = b$ =2 м.

Тогда $r_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{2+2} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = \sqrt{10^{-6}} = 1$ мм.

Пример 3. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре черного тела (λ_{max} = 5.8·10^{-7} м). Определить энергетическую светимость.

Дано: λ_{max} = 5,8·10^{-7} м.

Найти: R.

Р е ш е н и е. Энергетическая светимость $R = \sigma T^4$, σ- постоянная Стефана-Больцмана: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{сК}^4}$, T – абсолютная температура по закону Вина.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}. \quad \text{Точка } T = \frac{b}{\lambda_{max}}.$$

Откуда $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м·к.

$$R = \sigma\left(\frac{b}{\lambda_{max}}\right)^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}}\right)^4 = 3{,}5 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

Пример 4. Определить начальную активность магния ^{27}Mg массой m=0,2·10^{-6} кг.

Дано: ^{27}Mg массой m=0,2·10^{-6} кг.

Найти: A.

Р е ш е н и е. По определению $A = +\lambda N_0$,

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A,$$

где λ – постоянная распада $\lambda = \frac{ln 2}{T}$;

μ – молярная масса $\mu = 27 \cdot 10^{-3}$ кг/моль;
N_A – число Аагадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$.

Тогда

$$A = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{ln 2}{600} = 5 \cdot 10^5 \text{ Бк}.$$

Варианты задач

61. На мыльную пленку с показателем преломления 1,33 падает по нормали монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Отраженный свет в результате интерференции имеет наибольшую яркость. Какова минимальная толщина пленки?
62. Радиус второго темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 0,4 нм. Определить радиус кривизны линзы, если она освещается светом с длиной волны 640 нм.
63. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец равны 4,0 и 4,38 мм. Радиус кривизны линзы 6,4 м. Найти порядковые номера колец и длину волны света.
64. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы 15 м. Найти длину волны, если наблюдение проводится в отраженном свете.
65. Найти расстояние между третьим и шестнадцатым темными кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и двадцатым темными кольцами равно 4,8 мм. Наблюдение ведется в отраженном свете.
66. Расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной 1 см укладывается десять темных полос. Длина волны 700 нм.
67. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0,8 мм. На каком расстоянии от щелей следует расположить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 2 мм? Длина волны 400 нм.
68. Радиус четвертой зоны Френеля для плоской волны равен 3 мм. Определить радиус шестой зоны Френеля.
69. Плоская световая волна длиной 700 нм падает нормально на диафрагму с отверстием радиксом 1,4 мм. Определить расстояние от диафрагмы до

трех наиболее удаленных от нее точек, в которых наблюдаются минимумы интенсивности.

70. Вычислить радиус пятой зоны Френеля, если расстояние от точечного источника света до волновой поверхности равно 1 м, расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения также равно 1 м. Длина волны 500 нм.
71. Вычислить радиус пятой зоны Френеля для плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1 м. Длина волны 500 нм.
72. На щель шириной 0,05 мм падает нормально пучок света длиной волны 600 нм. Найти угол между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.
73. На дифракционную решетку падает нормально свет. При этом угол дифракции для линии 650 нм во втором порядке равен 45^0. Определить угол дифракции для линии 500 нм в третьем порядке.
74. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления 30^0?
75. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась в 4 раза. Поглощением света пренебречь.
76. Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, проходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями света пренебречь.
77. Угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45^0. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60^0.
78. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,25. Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.
79. В частично поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 2 раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации света.
80. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?
81. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость поверхности тела.
82. Вычислить энергию, излучаемую за одну минуту с площади в 1 $см^2$ абсолютно черного тела, температура которого 1000 К.

83. Определить температуру и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения проходит на длину волны 500 нм.
84. Определить температуру и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны 700 нм.
85. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длиной волны $3{,}5\cdot10^{-7}$ м и $5{,}4\cdot10^{-7}$ м обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в 2 раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
86. Определить работу выхода электрона из металла, если известно, что фотоэлектроны вырываемые с поверхности металла светом с некоторой частотой, полностью задерживаются обратным потенциалом 6,6 В, а вырываемые светом с частотой $4{,}6\cdot10^{15}$ 1/с – потенциалом в 2,5 раза больше первого. Чему равна частота света в первом случае?
87. Красная граница фотоэффекта для алюминия соответствует длина волны 332 нм. Какова работа выхода электрона для этого металла? Найти длину световой волны, при которой величина задерживающего потенциала 1 В.
88. На поверхности металла падает монохроматическое излучение с длиной волны 0,1 мкм. Красная граница фотоэффекта 0,3 мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?
89. Определить активность 1 г радия ^{226}Ra, если его период полураспада равен 1622 года.
90. Определить массу полония ^{210}Po, активность которого 1 Бк.

Приложения

Таблица 1

Значения некоторых физических постоянных

Постоянные	Значения
Скорость света в вакууме	$c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с
Число Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Заряд электрона	$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Постоянная Планка	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2 · К^4)
Постоянная в законе Вина	$b = 2{,}89 \cdot 10^{-3}$ м · К
Радиус первой боровской орбиты	$a_o = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м
Атомная единица массы	$1 а.е.м. = 1{,}660 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Молярная газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж/(К · моль)

Таблица 2

Работа выхода электронов

Металл	***A***, Дж	***A***, эВ
Калий	$3{,}5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3{,}7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3{,}4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7{,}5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3{,}2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6{,}4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Таблица 3

Относительные атомные массы (округленные значения) A_r
и порядковые номера Z некоторых элементов.

Элемент	Символ	A_r	Z	Элемент	Символ	A_r	Z
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Углерод	C	12	6
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

Таблица 4

Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	${}^{1}_{0}n$	1,00867	Бериллий	${}^{7}_{4}Be$	7,01693
Водород	${}^{1}_{1}H$	1,00783		${}^{9}_{4}Be$	9,01219
	${}^{2}_{1}H$	2,01410	Бор	${}^{10}_{5}B$	10,01294
	${}^{3}_{1}H$	3,01605		${}^{11}_{5}B$	11,00930
Гелий	${}^{3}_{2}He$	3,01603	Углерод	${}^{14}_{6}C$	12,00000
	${}^{4}_{2}He$	4,00260		${}^{13}_{6}C$	13,00335
Литий	${}^{6}_{3}Li$	6,01513		${}^{14}_{6}C$	14,00324
	${}^{7}_{3}Li$	7,01601	Азот	${}^{14}_{7}N$	14,00307
			Кислород	${}^{16}_{8}O$	15,99491
				${}^{17}_{8}O$	16,99913

Таблица 5

Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}^{225}_{89}Ac$	10 суток
Иод	${}^{131}_{53}I$	8 суток
Кобальт	${}^{60}_{27}Co$	5,3 года
Магний	${}^{27}_{12}Mg$	10 минут
Радий	${}^{226}_{86}Ra$	1620 лет
Радон	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 суток
Стронций	${}^{90}_{38}Sr$	27 лет
Фосфор	${}^{32}_{15}P$	14,3 суток
Церий	${}^{144}_{58}Ce$	285 суток

Таблица 6

Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	$\boldsymbol{m_o}$		$\boldsymbol{E_o}$	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9{,}11\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot10^{-10}$	939
α-частица	$6{,}64\cdot10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot10^{-10}$	3733
Нейтральный π-мезон	$2{,}41\cdot10^{-28}$	0,14498	$2{,}16\cdot10^{-11}$	135

Таблица 7

Множители и их наименование

Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение
10^{18}	Экса	Э	10^{-1}	Деци	д
10^{15}	Пета	П	10^{-2}	Санти	с
10^{12}	Тера	Т	10^{-3}	Милли	м
10^{9}	Гига	Г	10^{-6}	Микро	мк
10^{6}	Мега	М	10^{-9}	Нано	н
10^{3}	Кило	к	10^{-12}	Пико	п
10^{2}	Гекто	г	10^{-15}	Фемто	ф
10^{1}	Дека	да	10^{-18}	Атто	а

Содержание

ФИЗИКА

Методические указания к контрольным работам для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства» заочной формы обучения

Авторы-составители: **Хило** Петр Анатольевич
Кабаев Николай Ильич
Петрова Елена Сергеевна
Петрашенко Петр Дмитриевич

Подписано в печать 04.10.06.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,08.
Изд. № 124.
E-mail: ic@gstu.gomel.by
http://www.gstu.gomel.by

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.