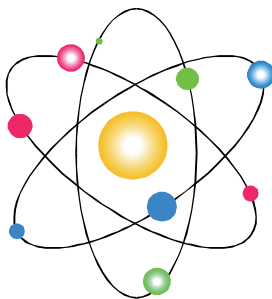


ФИЗИКА

ЧАСТЬ 1

Рабочая тетрадь для практической индивидуальной
работы студентов I курса дневного отделения



НОВОСИБИРСК
2017

УДК 53(076.5)
Ф 503

Составитель *Н.Ю. Березин*

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.В. Христофоров*,
д-р техн. наук, профессор *А.А. Величко*

Работа подготовлена на кафедре общей физики

© Новосибирский государственный
технический университет, 2017

*Должны мы, чтоб к мудрости вечной добраться,
Что нам так заманчиво брезжит,
Опять и опять, и опять ошибаться,
Но реже и реже, и реже.*

Пит Хейн. Груки

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс лекций «Физика» играет важную роль в формировании профессионального мышления будущих инженеров. Он закладывает тот фундамент исходных знаний по физике, отталкиваясь от которого студенты могут осваивать впоследствии дисциплины общего профессионального и специального профиля.

В курсе лекций студенты получают общее представление о физике как науке, об истории ее развития, своей будущей практической профессиональной деятельности, о теоретических направлениях в физике, учатся ориентироваться в этой системе знаний.

В разработке преследовались следующие цели.

1. Помощь студентам в усвоении лекционного материала:

- выделение и проработка наиболее важных вопросов, рассматриваемых в лекционном курсе;
- структурирование пройденного материала.

2. Помощь преподавателю в контроле за усвоением данной дисциплины.

КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Каждый студент должен выполнить определенное количество заданий в рабочей тетради и сдать ее преподавателю к контрольным неделям. Результат работы влияет на количество баллов, полученных студентом на контрольной неделе.

Успешность выполнения студентом заданий рабочей тетради учитывается в отметке о зачете по окончании лекционного курса.

Оценочный лист студента

Вид деятельности	Количество баллов
Практика № 1	
Практика № 2	
Практика № 3	
Практика № 4	
Практика № 5	
Практика № 6	
Практика № 7	
Практика № 8	
Практика № 9	
Лабораторная работа № 1	
Лабораторная работа № 3	
Лабораторная работа № 6	
Лабораторная работа № 10	
Контрольная работа	

Окончание таблицы

Вид деятельности	Количество баллов
РГЗ задача № 1	
РГЗ задача № 2	
РГЗ задача № 3	
РГЗ задача № 4	
РГЗ задача № 5	
РГЗ задача № 6	
РГЗ задача № 7	
РГЗ задача № 8	
Суммарный балл в семестре	
ЭКЗАМЕН	
ИТОГО	

До экзамена допускается студент, набравший по каждому виду деятельности минимальный балл:

- контрольная работа – 20 баллов;
- практика (одно занятие) – 50 баллов;
- лабораторная работа – 100 баллов;
- расчетно-графическое задание (одна задача) – 5 баллов.

Критерии оценки при выполнении контрольной работы

Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, некоторые виды заданий выполнены с ошибками, оценка составляет 20 баллов. Студент дает определение основных понятий.

Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы

недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки, оценка составляет 35 баллов. Студент формулирует основные гипотезы, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, решает задачу по известным алгоритмам.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному, оценка составляет 50 баллов. Студент проводит сравнительный анализ понятий, теорий, подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения.

Критерии оценки работы студента на практическом занятии

Студент выполнил работу в полном объеме (решение 10 задач) с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок – 100 баллов.

Студент выполнил работу в неполном объеме (решение 5 задач) с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок – 50 баллов.

Критерии оценки при выполнении лабораторных работ

Каждая лабораторная работа оценивается в 200 баллов с дискретизацией в 10 баллов: **max 100 баллов – защита работы и 100 баллов – протокол.**

Защита – минимум 50 баллов (вопросы первого уровня), максимум 100 баллов (вопросы третьего уровня). Защита лабораторной работы включает в себя устные ответы на вопросы из методических пособий с вопросами для защиты.

Оценка протокола:

- 1) общее оформление,
- 2) таблица измерений,
- 3) обработка результатов,
- 4) графики,
- 5) вывод.

Каждый пункт оценивается в 20 баллов. **Протокол сдан, если по каждому из пунктов студент набрал не менее 10 баллов.**

Сдать протокол измерений и защитить лабораторную работу допускается до следующего занятия включительно, иначе студент получает **минимальный балл по каждому из видов контроля.**

Оформление протокола

Формат – А4. Заготовка может быть выполнена в печатной форме. **Экспериментальные данные, графики, расчеты и выводы допускаются оформлять только в рукописной форме!**

Критерии оценки при выполнении расчетно-графического задания

Расчетно-графическая работа выполняется на стандартных листах формата А4 (210 × 297 мм), пишется от руки (крупным разборчивым подчерком) или печатается на компьютере. Листы должны быть скреплены в отдельную папку и пронумерованы. Сокращения слов, кроме общепринятых (кг, м²), не допускается. Изложение каждой задачи расчетно-графической работы начинается с новой страницы, обязательно приводится текст задачи, заголовки выделяются. Шрифт – Times New Roman, размер – 14, интервал – 1,5.

Работу следует оформить аккуратно. Для замечаний преподавателя в работе на каждой пронумерованной странице следует оставить поля.

Титульный лист должен быть оформлен стандартным образом (см. образец).

Образец оформления титульного листа расчетно-графической работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФГБОУ ВО

Кафедра общей физики

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА
по дисциплине «Общая физика»

Номер варианта _____

Номера заданий _____

Выполнил: Ф.И.О. студента _____

Форма обучения (дневная / заочная) _____

Факультет _____

Специальность _____

Группа _____

Проверил: Ф.И.О. преподавателя _____

Оценка _____

НОВОСИБИРСК

20__

Общая оценка по защите расчетно-графической работы студента (8 задач) определяется с учетом его теоретической подготовки, качества выполнения и оформления работы.

Защита расчетно-графической работы оценивается по 80-балльной системе. Оценка выставляется после положительной оценки, полученной в результате проверки преподавателем, и устной защиты.

Результат 80 баллов выставляется студенту, который знает общие положения основного материала, грамотно его излагает и правильно применяет теоретические сведения.

Результат 40 баллов выставляется студенту, который не знает значительной части теоретического материала, допускает существенные ошибки.

Критерии оценки при выполнении итогового теста (экзамен)

Количество правильно полученных ответов при выполнении итогового теста соответствует количеству баллов.

Удачные обозначения обладают
тонченностью и будят мысль,
порой делая это, кажется, почти
так же, как искусный учитель.

Бертран Рассел

ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ, И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

<i>Основные физические величины</i>			
Длина	l , м	Сила света	J , кд (кандела)
Масса	m , кг	Сила электрического тока	I , А
Время	t , с	Количество вещества	ν , моль
Термодинамическая температура	T , К		
<i>Дополнительные физические величины</i>			
Плоский угол	α , ф, рад	Телесный угол	Ω , ср (стерадиан)
<i>Производные физические величины</i>			
Давление	P , Па	Скорость	v , м · с ⁻¹
Импульс	p , кг · м · с ⁻¹	Скорость угловая	ω , рад · с ⁻¹
Коэффициент жесткости	k , Н · м ⁻¹	Скорость центра инер- ции	v_c , м · с ⁻¹
Коэффициент трения	μ	Ускорение	a , м · с ⁻²
Модуль Юнга	E , Па	Ускорение нормальное	a_n , м · с ⁻²
Момент импульса	L , кг · м ² · с ⁻¹	Ускорение свободного падения	g , м · с ⁻²

Окончание таблицы

Момент инерции	$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	Ускорение тангенциальное	$a_t, \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Момент силы	$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	Ускорение угловое	$\varepsilon, \text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность	$N, \text{Вт}$	Частота	$\nu, \text{Гц}$
Напряжение упругое	$\sigma, \text{Па}$	Частота круговая	$\omega, \text{с}^{-1}$
Период колебаний	$T, \text{с}$	Энергия кинетическая	$E_k, \text{Дж}$
Плотность	$\rho, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Энергия покоя	$E_0, \text{Дж}$
Площадь	$S, \text{м}^2$	Энергия полная	$E, \text{Дж}$
Работа	$A, \text{Дж}$	Энергия потенциальная	$E_{\text{п}}, \text{Дж}$
Сила	$F, \text{Н}$	Объемная плотность энергии	$w, \text{Дж} \cdot \text{м}^{-3}$

Греческий алфавит

А α – альфа	Н η – эта	Ν ν – ню	Τ τ – тау
Β β – бета	Θ θ – тэта	Ξ ξ – кси	Υ υ – ипсилон
Γ γ – гамма	Ι ι – йота	Ο ο – омикрон	Φ φ – фи
Δ δ – дельта	Κ κ – каппа	Π π – пи	Χ χ – хи
ε ε – эпсилон	Λ λ – ламбда	Ρ ρ – ро	Ψ ψ – пси
Ζ ζ – дзета	Μ μ – мю	Σ σ – сигма	Ω ω – омега

**Приставки и множители десятичных кратных
и дольных единиц международной системы СИ**

экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	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}

Фундаментальные физические константы

Абсолютный ноль температуры	$t = -273,15^{\circ}\text{C}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Заряд α -частицы	$q = 2e = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 12,5663706144 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Магнитный момент протона	$\mu_p = 1,4106171 \cdot 10^{-26} \text{ Дж/Тл}$
Магнитный момент электрона	$\mu_e = 9,28483 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Масса α -частицы	$m_\alpha = 6,644 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Ридберга	$R_H = 1,097 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях	$V_0 = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Ускорение свободного падения	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Нормальные условия:	
Атмосферное давление	$p_0 = 101325 \text{ Н/м}^2$
Температура	$T \cong 273 \text{ К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Вина	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Фарадея	$F = 96,48456 \cdot 10^3 \text{ Кл/моль}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Элементарный заряд	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Удельный заряд электрона	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8,85418783 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

Окончание таблицы

Электрон-вольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Удельная теплоёмкость воды	$c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
Удельная теплота плавления льда	$\lambda = 333,7 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$
Удельная теплота парообразования воды	$r = 2,256 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$
Масса Земли	$M_3 = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Земли	$R_3 = 6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Солнца	$M_C = 1,9891 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$R_C = 6,955 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Луны	$M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Радиус Луны	$R_L = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$

**ФОРМУЛЫ ПО РАЗДЕЛУ «МЕХАНИКА.
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.
ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА.
ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА»**

Скорость и ускорение

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Равномерное движение

$$v = \text{const}, \quad S = vt, \quad x = x_0 + v_x t.$$

Равнопеременное движение

$$a = \text{const}.$$

$$\text{Ускорение } a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}, \quad a_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2S_x}.$$

$$\text{Путь } S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}, \quad v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Скорость $v_x = \sqrt{v_{0x}^2 + 2a_x S_x}$.

Координата тела $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

Криволинейное движение

$$\vec{v} = v_\tau \vec{e}_\tau, \quad \vec{a} = a_\tau \vec{e}_\tau + \frac{v^2}{R} \vec{e}_n, \quad \vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

где $a_n = \frac{v^2}{R}$ – нормальная составляющая ускорения; $a_\tau = \frac{dv_\tau}{dt}$ – тангенциальная составляющая ускорения; $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$ – полное ускорение при криволинейном движении.

Вращательное движение

Угловая скорость $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$.

Угловое ускорение $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$.

Угловая скорость для равномерного вращательного движения

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

где T – период вращения; n – частота вращения $\left(n = \frac{N}{t}, N \right.$ – число оборотов, совершаемых телом за время t).

Связь между модулями линейных и угловых кинематических характеристик

$$dr = R d\varphi, \quad v = R\omega, \quad a_\tau = R\varepsilon, \quad a_n = \omega^2 R,$$

где dr – малый путь, пройденный точкой по дуге окружности радиусом R ; v – линейная скорость.

Первый закон Ньютона утверждает, что существуют инерциальные системы отсчета.

Второй закон Ньютона

Уравнение движения тела переменной массы (уравнение Мещерского) $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$, $\sum \vec{F} = m\vec{a} + \frac{dm}{dt}\vec{v}$, где $\frac{dm}{dt}\vec{v}$ – реактивная сила; \vec{v} – скорость истечения газов из ракеты при $m = \text{const} \rightarrow \sum \vec{F} = m\vec{a}$.

Третий закон Ньютона

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Основной закон динамики для неинерциальных систем отсчета

$$m\vec{a} = m\vec{a}_0 + \vec{F}_{\text{инерц}},$$

где \vec{a} – ускорение в неинерциальной; \vec{a}_0 – в инерциальной системе отсчета; $\vec{F}_{\text{инерц}}$ – силы инерции; $\vec{F}_{\text{инерц}} = \vec{F}_{\text{и}} + \vec{F}_{\text{ц}} + \vec{F}_{\text{к}}$, $\vec{F}_{\text{и}}$ – силы инерции, проявляющиеся при поступательном движении системы отсчета с ускорением \vec{a}_0 ($\vec{F}_{\text{и}} = -m\vec{a}_0$), $\vec{F}_{\text{ц}}$ – центробежные силы инерции (силы инерции, действующие во вращающейся системе отсчета на тела, удаленные от оси вращения на конечное расстояние R) ($\vec{F}_{\text{ц}} = -m\omega^2 R$); $\vec{F}_{\text{к}}$ – кориолисова сила инерции (силы инерции, действующие на тело, движущееся со скоростью \vec{v}' во вращающейся системе отсчета ($\vec{F}_{\text{к}} = 2m[\vec{v}'\omega]$)).

Закон всемирного тяготения (для материальных точек)

Сила гравитационного притяжения (взаимодействующие массы покоятся или движутся с малой (нерелятивистской) скоростью)

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

Ускорение свободного падения на планете $g = G \frac{m_{\text{планеты}}}{R^2_{\text{планеты}}}$.

Вес тела

Вес тела в покое $P = mg$.

Опора вместе с телом движется с ускорением, направленным вверх: $P = m(g + a)$.

Опора вместе с телом движется с ускорением, направленным вниз: $P = m(g - a)$.

Вес малого тела в верхней точке (движение по окружности в вертикальной плоскости) $P = m \left(g - \frac{v^2}{r} \right)$.

Вес малого тела в нижней точке (движение по окружности в вертикальной плоскости) $P = m \left(g + \frac{v^2}{r} \right)$.

Сила трения скольжения

Сила трения скольжения $|\vec{F}| = \mu |\vec{N}|$, где μ – коэффициент трения.

Закон Гука (для случая, когда $x \ll l$, где l – длина недеформированной пружины)

Сила упругости $F_{\text{упр}} = -kx$, где k – жесткость пружины; x – деформация пружины.

Механическое напряжение при упругой деформации стержень $\sigma = \frac{F}{s}$, где F – растягивающая (сжимающая) сила; s – площадь поперечного сечения стержня.

Относительное продольное растяжение (сжатие) $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, где Δl – изменение длины тела при растяжении (сжатии); l_0 – длина тела до деформации.

Относительное поперечное растяжение (сжатие) $\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d_0}$, где Δd – изменение диаметра стержня при растяжении (сжатии); d_0 – диаметр стержня.

Связь между относительным поперечным растяжением (сжатием) и относительным продольным растяжением (сжатием) $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \mu$, где μ – коэффициент Пуассона.

Закон Гука для продольного растяжения (сжатия) $\sigma = E\varepsilon$, где E – модуль Юнга.

Потенциальная энергия упругорастянутого (сжатого) стержня $W_{\text{кин}} = V \frac{E\varepsilon^2}{2}$, где V – объем тела.

Динамика и статика вращательного движения

Момент импульса $L_z = I_z \omega_z$.

Момент силы $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$, $\vec{M} = I\vec{\varepsilon} + \vec{\omega} \frac{dI}{dt}$.

Закон сохранения момента импульса системы тел: если суммарный момент всех внешних сил равен нулю, то \vec{L} сохраняется.

Модуль момента силы $M = Fl$, где l – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и той точкой, относительно которой определяется момент силы).

Теорема Штейнера $I = I_0 + mb^2$, где I_0 – момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс; I – момент инерции относительно оси, параллельной первой, отстоящей на расстоянии b .

Система	Ось	I
Точка по окружности	Ось симметрии	mR^2
Стержень	Через середину	$1/12 mR^2$
Стержень	Через конец	$1/3 mR^2$
Шар	Через центр шара	$2/5 mR^2$
Сфера	Через центр сферы	$2/3 mR^2$
Кольцо или тонкостенный цилиндр	Ось симметрии	mR^2
Диск, сплошной цилиндр	Ось симметрии	$1/2 mR^2$

Условия равновесия тел $\sum \vec{M} = 0$, $\sum \vec{F} = 0$.

Закон сохранения импульса

Импульс тела $\vec{p} = m\vec{v}$.

Закон сохранения импульса системы тел $\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$ при условии $\sum \vec{F}_{\text{внешн}} = 0$.

Связь импульса результирующей постоянной силы с приращением импульса системы $\vec{F}t = \Delta \vec{p}$.

Потенциальная и кинетическая энергия. Мощность

Работа силы F $A = \vec{F} \cdot \vec{S}$.

Мощность $N = \frac{dA}{dt}$.

Кинетическая энергия при поступательном движении $E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$.

Кинетическая энергия плоского движения

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

Потенциальная энергия поднятого над землей тела $E_p = mgh$.

Потенциальная энергия упругодеформированного тела $E_p = \frac{kx^2}{2}$.

Закон сохранения механической энергии (для консервативной системы)

$$E_{\text{кин}} + E_p = \text{const}.$$

МОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Количество вещества

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

где N – число структурных элементов (молекул, атомов, ионов), составляющих тело; N_A – постоянная Авогадро.

Молярная масса вещества

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

где m – масса однородного тела; ν – количество вещества.

Связь молярной массы M с относительной молекулярной массой M_r вещества

$$M = M_r k,$$

где $k = 10^{-3}$ кг/моль .

Уравнение состояния идеальных газов (уравнение Клапейрона–Менделеева)

$$pV = \frac{m}{M}RT, \quad \text{или} \quad pV = \nu RT,$$

где m – масса газа; M – его молярная масса; R – молярная газовая постоянная; T – термодинамическая температура; ν – количество вещества.

Закон Дальтона

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_k,$$

где p – давление смеси газов; p_i – парциальное давление i -го компонента смеси; k – число компонентов смеси.

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ

Концентрация частиц (молекул, атомов) однородной системы

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

где V – объем системы.

Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \langle v_{\text{KB}} \rangle^2,$$

где m_0 – масса молекулы газа; n – концентрация молекул; $\langle v_{\text{KB}} \rangle$ – средняя квадратичная скорость молекул.

Средняя кинетическая энергия:

- *приходящаяся на одну степень свободы молекулы*

$$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT;$$

- *приходящаяся на все степени свободы молекулы (полная энергия молекулы)*

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT;$$

- *поступательного движения молекулы*

$$\langle \varepsilon_{\text{п}} \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; i – число степеней свободы молекулы;

- *вращательного движения молекулы*

$$\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle = \frac{i-3}{2} kT.$$

Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT.$$

Скорость молекул:

- *средняя квадратичная*

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

- *средняя арифметическая*

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

- *наиболее вероятная*

$$v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}},$$

где m_0 – масса одной молекулы.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Связь между молярной (C_m) и удельной (c) теплоемкостью газа

$$C_m = cM,$$

где M – молярная масса.

Молярные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении для идеального газа:

$$C_V = \frac{iR}{2}; \quad C_p = \frac{(i+2)R}{2},$$

где i – число степеней свободы; R – молярная газовая постоянная.

Удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении для идеального газа:

$$c_V = \frac{iR}{2M}; \quad c_p = \frac{(i+2)R}{2M}.$$

Уравнение Майера

$$C_p - C_V = R.$$

Показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}.$$

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = N \cdot \langle \varepsilon \rangle = \nu \cdot C_V \cdot T,$$

где $\langle \varepsilon \rangle$ – средняя кинетическая энергия молекулы; N – число молекул газа; ν – количество вещества.

Работа, связанная с изменением объема газа, в общем случае вычисляется по формуле

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

где V_1 – начальный объем газа; V_2 – его конечный объем.

Работа газа:

- *при изобарическом процессе ($p = \text{const}$)*

$$A = p(V_2 - V_1);$$

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

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$$

- *при адиабатическом процессе*

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

где T – начальная температура газа; T_2 – его конечная температура.

Уравнение Пуассона (уравнение газового состояния при адиабатическом процессе)

$$pV^\gamma = \text{const}.$$

Связь между начальным и конечным значением газа при адиабатическом процессе

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Первое начало термодинамики в общем случае

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

где Q – количество теплоты, сообщенное газу; ΔU – изменение его внутренней энергии; A – работа, совершаемая газом против внешних сил.

Первое начало термодинамики:

- при изобарическом процессе

$$Q = \Delta U + A = \frac{m}{M} C_V \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{m}{M} C_p \Delta T;$$

- при изохорическом процессе ($A = 0$)

$$Q = \Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T;$$

- при изотермическом процессе ($\Delta U = 0$)

$$Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$$

- при адиабатическом процессе ($Q = 0$)

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta T.$$

Термический коэффициент полезного действия (КПД) цикла в общем случае

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

где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом (газом) от нагревателя; Q_2 – количество теплоты, переданное рабочим телом охладителю.

КПД цикла Карно

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

где T_1 – температура нагревателя; T_2 – температура охладителя.

Изменение энтропии при равновесном процессе

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

Здесь A и B – пределы интегрирования, соответствующие начальному и конечному состоянию системы.

Формула Больцмана

$$S = k \ln W,$$

где S – энтропия системы; W – термодинамическая вероятность ее состояния; k – постоянная Больцмана.

Распределение Больцмана (распределение частиц в силовом поле)

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}},$$

где n – концентрация частиц; U – их потенциальная энергия; n_0 – концентрация частиц в точках поля, где $U = 0$; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; e – основание натуральных логарифмов.

Барометрическая формула (распределение давления в однородном поле силы тяжести)

$$p = p_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}, \quad \text{или} \quad p = p_0 e^{-\frac{Mgz}{RT}},$$

где p – давление газа; m – масса частицы; M – молярная масса; z – координата (высота) точки по отношению к уровню, принятому за нулевой; p_0 – давление на этом уровне; g – ускорение свободного падения; R – молярная газовая постоянная.

Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi d^2 n},$$

где d – эффективный диаметр молекулы; n – концентрация молекул.

Диффузия (коэффициент диффузии)

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle \lambda \rangle,$$

где $\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул; $\langle \lambda \rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул газа.

Динамическая вязкость (коэффициент динамической вязкости)

$$\eta = \frac{\rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle}{3},$$

где ρ – плотность газа (жидкости); $\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул; $\langle \lambda \rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул газа.

Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) газа

$$K = \frac{c_V \rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle}{3},$$

где c_V – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме; ρ – плотность газа; $\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул; $\langle \lambda \rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул газа.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Закон Кулона для вакуума

$$F_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная.

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

$$\left. \begin{array}{l} \vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i \\ \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i \end{array} \right\} \text{ принцип суперпозиции .}$$

Поток вектора напряженности через площадку S $\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$.

Теорема Гаусса для вакуума $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_{\text{внутр}}}{\epsilon_0}$.

Теорема о циркуляции $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$.

Потенциал $\varphi = \frac{W}{q}$; $\varphi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$.

Напряженность поля на расстоянии r от источника поля:

- *точечного заряда*

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

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды;

- *бесконечно длинной заряженной нити с линейной плотностью заряда τ*

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r};$$

• равномерно заряженной бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда σ

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon};$$

• между двумя разноименно заряженными плоскостями с одинаковыми по модулю σ

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}.$$

Работа электростатического поля по перемещению заряда

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Связь между напряженностью и разностью потенциалов для однородного поля $U = E\Delta d$.

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

Емкость конденсатора $C = \frac{q}{U}$.

Емкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$.

Энергия заряженного конденсатора

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

Емкость заряженного шара $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r$.

Емкость сферического конденсатора

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}.$$

$C_{\text{паралл}} = \sum C_i$
 $\frac{1}{C_{\text{послед}}} = \sum \frac{1}{C_i}$ } батарея конденсаторов.

Дипольный момент $\vec{p} = q\vec{d}$.

Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}, P = \chi \varepsilon_0 E,$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость; $\varepsilon = 1 + \chi$; где ε – диэлектрическая проницаемость.

Теорема Гаусса для диэлектриков $\oint \varepsilon E ds = \frac{\sum q_{\text{своб}}}{\varepsilon_0}$.

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{q}{\Delta t} \\ I = qnSv \end{array} \right\} \text{сила тока.}$$

Плотность тока $j = \frac{I}{S} = qnv$.

Закон Ома для однородного участка цепи $I = \frac{U}{R}$.

Закон Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где R – сопротивление внешней цепи; r – внутреннее сопротивление источника.

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

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

Температурное изменение сопротивления $R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$.

$$\text{ЭДС } \varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

Работа сторонних сил $A_{\text{ст}} = \varepsilon I \Delta t$.

Сила тока короткого замыкания $I_{\text{кор.зам}} = \frac{\varepsilon}{r}$.

Закон Джоуля–Ленца

$$Q = A = IU\Delta t = I^2 R\Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t,$$

где A – работа, совершаемая силами электростатического поля и сторонними силами; U – напряжение на участке цепи (определяется как работа, совершаемая электростатическим и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда).

$$\text{Мощность тока } P = \frac{dA}{dt} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме

$$\omega = \gamma E^2 = \frac{E^2}{\rho} = jE,$$

где ω – удельная тепловая мощность тока; $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – удельная электрическая проводимость вещества; ρ – удельное электрическое сопротивление

Правило Кирхгофа для узлов $\sum I_i = 0$.

Правило Кирхгофа для контуров $\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_k$.

Последовательное соединение проводников:

$$I = \text{const}, U = \sum_{i=1}^N U_i, R = \sum R_i.$$

Параллельное соединение:

$$I = \sum I_i, U = \text{const}, \frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}.$$

**КОНСПЕКТЫ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ,
ЗАПОЛНЯЮТСЯ СТУДЕНТАМИ ВМЕСТЕ
С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ НА ЗАНЯТИЯХ**

Занятие 1 «Кинематика. Динамика. Законы сохранения»

Занятие 2 «Кинематика и динамика вращательного движения. Закон сохранения момента импульса»

Занятие 3 «Релятивистская кинематика. Преобразования Лоренца. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы»

Занятие 4 «МКТ. Основные понятия»

Занятие 5 «Распределения. Первое начало термодинамики»

Занятие 6 «Циклы. Явления переноса»

Занятие 7 «Напряженность электрического поля. Электрический диполь. Потенциал электрического поля. Теорема Гаусса»

Занятие 8 «Диэлектрики в электрическом поле. Проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля»

Занятие 9 «Законы Ома. Работа и мощность тока»

ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Записать все данные (с их единицами) и искомые в задаче величины.

2. Записать все данные задачи в СИ.

3. Сделать чертеж, схему или рисунок с обозначением данных задачи (в зависимости от условий задачи).

4. Установить, какие физические законы отвечают содержанию данной задачи.

5. Решить задачу в общем виде (получить «рабочую формулу»), т. е. выразить искомую величину через заданные в задаче.

При изучении движения точки (поступательного движения твердого тела) необходимо:

а) выбрать систему отсчета, относительно которой изучается движение;

б) связать с ней систему координат;

в) записать закон движения точки в векторном виде;

г) перейти к скалярной записи уравнений движения в проекциях на выбранные оси;

д) записать начальные данные и дополнительные условия рассматриваемого движения;

е) решить полученную систему уравнений и проанализировать ответ;

ж) если в движении участвует несколько тел, то удобно выбрать общие для всех начала отсчета перемещения и времени.

При изучении вращения тела вокруг неподвижной оси надо перейти к угловым характеристикам движения (угловому перемещению, угловой скорости, угловому ускорению), так как они одинаковы для всех точек тела, в то время как линейные характеристики различны.

6. Произвести вычисления.

7. Желательно произвести проверку единиц величин, подставив их в «рабочую формулу». Полученная единица должна совпадать с единицей искомой в задаче величины.

ЗАНЯТИЕ 1

«Кинематика. Динамика. Законы сохранения»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 2

**«Кинематика и динамика вращательного движения.
Закон сохранения момента импульса»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 3

**«Релятивистская кинематика. Преобразования Лоренца.
Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 4

«МКТ. Основные понятия»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 5

«Распределения. Первое начало термодинамики»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 6

«Циклы. Явления переноса»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 7

**«Напряженность электрического поля. Электрический диполь.
Потенциал электрического поля. Теорема Гаусса»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 8

**«Диэлектрики в электрическом поле. Проводники
в электрическом поле. Энергия электрического поля»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 9

«Законы Ома. Работа и мощность тока»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

**Рейтинг – лист
ФБ (физика – 1 часть)**

Название модуля	Вид контроля	Сроки контроля	Максимальное число баллов	Минимальное число баллов	Экзамен
Механика	Контрольная работа «20–50»		50	20	Тест итоговый 60 заданий
	РГЗ «5–10»	семестр	$3 \cdot 10 = 30$	$3 \cdot 5 = 15$	
	Практическое занятие «50–100»	семестр	$3 \cdot 100 = 300$	$3 \cdot 50 = 150$	
	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$2 \cdot 200 = 400$	$2 \cdot 100 = 200$	
	РГЗ «5–10»	семестр	$1 \cdot 10 = 10$	$1 \cdot 5 = 5$	
	Практическое занятие «50–100»	семестр	$3 \cdot 100 = 300$	$3 \cdot 50 = 150$	
Термодинамика и статистическая физика	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$1 \cdot 200 = 200$	$1 \cdot 100 = 100$	
	РГЗ «5–10»	семестр	$4 \cdot 10 = 40$	$4 \cdot 5 = 20$	
	Практическое занятие «50–100»	семестр	$3 \cdot 100 = 300$	$3 \cdot 50 = 150$	
Электроstatica и постоянный ток	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$1 \cdot 200 = 200$	$1 \cdot 100 = 100$	
	РГЗ «5–10»	семестр	$4 \cdot 10 = 40$	$4 \cdot 5 = 20$	
Всего			$1830 \cdot 0,0325 = 60$	$910 \cdot 0,0325 = 30$	$60 \cdot 0,665 = 40$

СОДЕРЖАНИЕ РГЗ ПО ФИЗИКЕ, 1 СЕМЕСТР

Содержание		Номера задач
1	Кинематика поступательного и вращательного движения материальной точки	101–110
2	Импульс и энергия материальной точки. Закон сохранения импульса и энергии. Работа.	111–120
3	Вращательное движение твердого тела. Закон сохранения момента импульса	121–130
4	Молекулярная физика и термодинамика	131–140
5	Закон Кулона. Напряженность. Суперпозиция полей	141–150
6	Потенциал, разность потенциалов. Работа перемещения зарядов в электростатическом поле	151–160
7	Электрическая емкость. Конденсаторы	161–170
8	Постоянный ток	171–180

Таблица вариантов задач к РГЗ по физике, 1 семестр

Вариант	Номера задач							
	110	120	130	140	150	160	170	180
0	110	120	130	140	150	160	170	180
1	101	111	121	131	141	151	161	171
2	102	112	122	132	142	152	162	172
3	103	113	123	133	143	153	163	173
4	104	114	124	134	144	154	164	174
5	105	115	125	135	145	155	165	175
6	106	116	126	136	146	156	166	176
7	107	117	127	137	147	157	167	177
8	108	118	128	138	148	158	168	178
9	109	119	129	139	149	159	169	179

ЗАДАЧИ

101. Материальная точка движется прямолинейно. Уравнение движения имеет вид $x = At + Bt^3$, где $A = 3,0 \text{ м/с}$, $B = 6,0 \text{ см/с}^3$. Найти скорость и ускорение точки в момент времени $t_1 = 0$ и $t_2 = 3,0 \text{ с}$. Каково среднее значение скорости за первые $3,0 \text{ с}$ движения?

102. Уравнение движения материальной точки вдоль оси OX имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2,0 \text{ м}$, $B = 1,0 \text{ м/с}$, $C = -0,50 \text{ м/с}^3$. Найти координату x , скорость v_x и ускорение a_x в момент времени $t = 2,0 \text{ с}$.

103. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10 \text{ рад}$, $B = -20 \text{ рад/с}$, $C = -20 \text{ рад/с}^2$. Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии $R = 0,10 \text{ м}$ от оси вращения, в момент времени $t = 4,0 \text{ с}$.

104. По прямой линии движутся две материальные точки согласно уравнениям: $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$ и $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $A_1 = 10 \text{ м}$, $B_1 = 1,0 \text{ м/с}$, $C_1 = -2,0 \text{ м/с}^2$, $A_2 = 3,0 \text{ м}$, $B_2 = 2,0 \text{ м/с}$, $C_2 = 0,20 \text{ м/с}^2$. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Найти ускорения a_1 и a_2 этих точек в момент времени $t = 3,0 \text{ с}$.

105. Определить полное ускорение a в момент времени $t = 3,0 \text{ с}$ точки, находящейся на ободе колеса радиусом $R = 0,50 \text{ м}$, вращающегося согласно уравнению $\varphi = At + Bt^3$, где $A = 2,0 \text{ рад/с}$, $B = 0,20 \text{ рад/с}^3$.

106. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = At - Bt^2$, где $A = 10$ рад/с, $B = 2,0$ рад/с². Через какое время тело остановится и сколько оборотов сделает до остановки?

107. Сколько оборотов сделало тело за время, в течение которого частота увеличилась от $5,0$ с⁻¹ до 20 с⁻¹? Угловое ускорение равно $2,0$ с⁻².

108. Тело вращается равноускоренно с начальной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с и угловым ускорением $\varepsilon = 2,0$ рад/с². Сколько оборотов сделает тело за время $\Delta t = 10$ с от начала движения?

109. Диск радиусом $R = 10$ см, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0,50$ рад/с². Каковы были тангенциальное a_t , нормальное a_n и полное a ускорения точек, лежащих на ободе диска, в конце второй секунды после начала вращения?

110. Движение материальной точки описывается уравнением $S = At^3 + Bt^2$, где $A = 2,0$ м/с³, $B = 3,0$ м/с². Найти скорость и ускорение точки в момент времени $t = 2,0$ с и среднюю скорость за первые две секунды движения.

111. Шарик массой $m = 100$ г, летевший со скоростью $v_X = 5,0$ см/с под углом 60° к плоскости стенки, упруго ударился о нее и отскочил с той же (по модулю) скоростью. Определить импульс силы, полученный стенкой.

112. Масса железнодорожной платформы вместе с жестко закрепленным на ней орудием $M = 2,0 \cdot 10^4$ кг. Орудие выстреливает под углом 60° к линии горизонта в направлении пути. Какую скорость U приобретет платформа вследствие отдачи, если масса снаряда $m = 50$ кг и он вылетает из ствола орудия со скоростью $v = 500$ м/с?

113. Снаряд, летевший горизонтально со скоростью $v_0 = 500 \text{ м/с}$, разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 20 % от общей массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью $v_1 = 200 \text{ м/с}$. Определить скорость v_2 большего осколка.

114. Человек массой $m_1 = 60 \text{ кг}$, бегущий со скоростью $v_1 = 8,0 \text{ км/ч}$, догоняет тележку массой $m_2 = 80 \text{ кг}$, движущуюся со скоростью $v_2 = 2,9 \text{ км/ч}$, и вскакивает на нее. С какой скоростью U_1 станет двигаться тележка? С какой скоростью U_2 будет двигаться тележка, если человек бежал ей навстречу?

115. Стальной шарик массой $m = 20 \text{ г}$, падая с высоты $h_1 = 1,00 \text{ м}$ на стальную плиту, отскакивает от нее на высоту $h_2 = 0,81 \text{ м}$. Найти количество тепла, выделившегося при ударе, и долю от первоначальной энергии, потерянную шариком.

116. Шар массой $m_1 = 3,0 \text{ кг}$ движется со скоростью $v_1 = 2,0 \text{ м/с}$ и сталкивается с покоящимся шаром массой $m_2 = 5,0 \text{ кг}$. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

117. Шар массой $m_1 = 4,0 \text{ кг}$ движется со скоростью $v_1 = 5,0 \text{ м/с}$ и сталкивается с шаром массой $m_2 = 6,0 \text{ кг}$, который движется ему навстречу со скоростью $v_2 = 2,0 \text{ м/с}$. Определить скорости U_1 и U_2 шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

118. Конькобежец массой $m_1 = 70 \text{ кг}$, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой $m_2 = 3,0 \text{ кг}$ со скоростью $v_2 = 8,0 \text{ м/с}$. Найти, на какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения коньков об лед $\mu = 0,020$.

119. Вагон массой $m = 1,6 \cdot 10^4$ кг, двигавшийся со скоростью $v = 0,60$ м/с, налетев на пружинный буфер, остановился, сжав пружины на $\Delta L = 8,0$ см. Найти общую жесткость k пружин буфера.

120. Шар массой $m_1 = 0,20$ кг, движущийся со скоростью $v_1 = 10$ м/с, ударяет неподвижный шар массой $m_2 = 0,80$ кг. Удар прямой, абсолютно упругий. Каковы будут скорости шаров после удара?

121. На вал диаметром $D = 20$ см намотан шнур, к которому привязан груз массой $m = 0,20$ кг. Опускаясь равноускоренно, груз прошел путь $S = 1,60$ м за $4,0$ с. Определить момент инерции маховика.

122. Маховик в виде сплошного диска равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно поверхности диска. Под действием тормозящего момента $M = 0,60$ Н·м маховик останавливается, сделав $N = 10$ оборотов. С какой частотой вращался диск, если его масса $m = 1,5$ кг, а радиус $R = 0,10$ м?

123. Тонкостенный цилиндр, масса которого $m = 12$ кг, а диаметр $D = 30$ см, вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4,0$ рад, $B = -2,0$ рад/с, $C = 0,20$ рад/с³. Определить действующий на цилиндр момент сил в момент времени $t = 3,0$ с.

124. Определить момент силы, который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $n = 12$ с⁻¹, чтобы он остановился в течение времени $\Delta t = 8,0$ с. Диаметр блока $D = 30$ см. Массу блока $m = 6,0$ кг считать равномерно распределенной по ободу.

125. Маховик, момент инерции которого $J = 40$ кг·м², начал вращаться равноускоренно из состояния покоя под действием момента сил $M = 20$ Н·м. Равноускоренное движение продолжалось в

течение $t = 10$ с . Определить кинетическую энергию, приобретенную маховиком.

126. Стержень вращается вокруг оси, проходящей через его середину, согласно уравнению $\varphi = At + Bt^3$, где $A = 2,0$ рад/с, $B = 0,20$ рад/с³. Определить вращающий момент, действующий на стержень через $t = 2,0$ с после начала вращения, если момент инерции стержня $J = 0,048$ кг·м².

127. На обод маховика диаметром $D = 60$ см намотан шнур, к которому привязан груз массой $m = 2,0$ кг . Определить момент инерции маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием груза, за время $t = 3,0$ с приобрел угловую скорость $\omega = 9,0$ рад/с .

128. Платформа в виде однородного диска радиусом $R = 1,0$ м и массой $M = 240$ кг вращается по инерции с частотой $n = 60$ об / мин . На краю платформы стоит человек, масса которого $m = 80$ кг . С какой частотой будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Какую работу совершит при этом человек? Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.



129. На краю скамьи Жуковского (см. рисунок) диаметром $D = 0,80$ м и массой $m_1 = 6,0$ кг стоит человек массой $m_2 = 60$ кг . С какой угловой скоростью начнет вращаться скамья, если человек поймает летящий на него мяч массой $m = 0,50$ кг ? Траектория мяча горизонтальна и проходит на расстоянии $r = 0,40$ м от оси скамьи. Скорость мяча $v = 5,0$ м / с .

130. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руках стержень вертикально по оси вращения. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 4,0$ рад/с . С какой угловой скоростью ω_2 будет вращаться скамья с человеком, если повернуть стержень так,

чтобы он занял горизонтальное положение? Какую работу при этом совершает человек? Суммарный момент инерции человека и скамьи $J = 5,0 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Длина стержня $L = 1,8 \text{ м}$, масса $m = 6,0 \text{ кг}$. Считать, что центр масс стержня с человеком находится на оси платформы.

131. Определить концентрацию молекул n кислорода, находящегося в сосуде вместимостью $V = 2,0 \text{ л}$. Количество вещества кислорода составляет $\nu = 0,20$ моль.

132. Сколько молекул содержит $1,0 \text{ г}$ водяного пара?

133. В сосуде вместимостью $V = 40 \text{ л}$ находится кислород при температуре $T = 300 \text{ К}$. Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta P = 100 \text{ кПа}$. Определить массу израсходованного кислорода. Процесс считать изотермическим.

134. В сосуде емкостью $V = 50 \text{ л}$ находится азот при температуре $t = 17^\circ \text{С}$. Вследствие утечки газа давление уменьшилось на 80 кПа . Определить массу газа, вышедшего из баллона. Температуру считать неизменной.

135. Определить массу газа в баллоне емкостью 90 л при температуре 295 К и давлении $5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, если его плотность при нормальных условиях $1,3 \text{ кг} / \text{м}^3$.

136. Объем водорода при изотермическом расширении ($T = 300 \text{ К}$) увеличился в $n = 3$ раза. Определить работу, совершенную газом, и теплоту, полученную им при этом. Масса водорода равна $m = 200 \text{ г}$.

137. $2,0 \text{ кг}$ азота охлаждают при постоянном давлении от 400 К до 300 К . Определить изменение внутренней энергии, работу и количество выделенной теплоты.

138. Кислород массой $m = 250$ г, имевший температуру $T_1 = 200$ К, был адиабатически сжат. При этом была совершена работа $A = 25$ кДж. Определить конечную температуру газа.

139. При изотермическом сжатии давление азота массой $m = 2,0$ кг было увеличено от $P_1 = 50$ кПа до $P_2 = 0,50$ МПа. Определить изменение энтропии газа.

140. Азот массой $m = 0,10$ кг был изобарически нагрет от $T_1 = 200$ К до $T_2 = 400$ К. Определить работу, совершенную газом, полученную им при этом теплоту и изменение внутренней энергии газа.

141. Два одинаковых положительных заряда $q = 1,0 \cdot 10^{-7}$ Кл находятся в воздухе на расстоянии $L = 8,0$ см друг от друга. Определить напряженность электростатического поля: а) в точке О, находящейся на середине отрезка, соединяющего заряды; б) в точке А, расположенной на расстоянии $r = 5,0$ см от каждого заряда.

142. Два положительных точечных заряда q и $9q$ закреплены на расстоянии $L = 100$ см. Где между ними, какой по величине и знаку заряд надо поместить, чтобы он находился в устойчивом равновесии?

143. Отрицательный заряд $q_1 = -5q$ и положительный $q_2 = +2q$ закреплены на расстоянии r друг от друга. Где на линии, соединяющей заряды, следует поместить заряд Q , чтобы он находился в равновесии?

144. Два отрицательно заряженных шарика, расположенных на расстоянии $L = 4,8$ мкм, взаимодействуют с силой $F = 3,6 \cdot 10^{-10}$ Н. Найти число «избыточных» электронов на каждом шарике считая их заряды равными. Шариками принять за материальные точки.

145. Два равных по величине положительных заряда $q_1 = q_2 = 3,0 \cdot 10^{-9}$ Кл расположены в вершинах острых углов равнобедренного

прямоугольного треугольника на расстоянии $L = 2,0$ см. Определить, с какой силой оба заряда действуют на третий заряд $q_3 = +1,0 \cdot 10^{-9}$ Кл, находящийся в вершине прямого угла треугольника. Ответ поясните рисунком.

146. Три одинаковых заряда $q_1 = q_2 = q_3 = 2,0$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10,0$ см. Определить силу F , действующую на один из этих зарядов.

147. В вершинах квадрата со стороной a находятся одинаковые положительные заряды $+q$. Какой заряд Q необходимо поместить в центр квадрата, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии?

148. Определить напряженность электростатического поля в центре шестиугольника со стороной a , в вершинах которого расположены: а) равные заряды одного знака; б) заряды, равные по модулю, но чередующиеся по знаку.

149. В вершинах шестиугольника расположены точечные заряды $q, 2q, 3q, 4q, 5q, 6q$ ($q = 0,10$ мкКл). Найти силу, действующую на точечный заряд q , лежащий в центре шестиугольника. Ответ поясните рисунком.

150. Два шарика массой $m = 1,0$ г каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити $L = 10$ см. Какие одинаковые заряды необходимо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол $\alpha = 60^\circ$?

151. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10$ см. Он заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 300$ нКл/м. Какую работу необходимо совершить, чтобы перенести заряд $q = 5,0$ нКл из центра кольца в точку А, расположенную на оси кольца на расстоянии $L = 20$ см от его центра?

152. Положительные заряды $q_1 = 3,0$ мкКл и $q_2 = 20$ нКл находятся в вакууме на расстоянии $L_1 = 1,5$ м друг от друга. Определить работу,

которую необходимо совершить, чтобы сблизить заряды до расстояния $L_2 = 1,0$ м .

153. Поле образовано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 10$ нКл/м² . Определить разность потенциалов двух точек поля, отстоящих от плоскости на расстояния $r_1 = 5,0$ см и $r_2 = 10$ см .

154. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10$ см . Он заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 800$ нКл/м . Определить потенциал φ в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $h = 10$ см от его центра.

155. На расстоянии $r_1 = 4,0$ см от бесконечно длинной заряженной нити находится точечный заряд $q = 0,66$ нКл . Под действием поля заряд приближается к нити до расстояния $r_2 = 2,0$ см . При этом совершается работа $A = 50 \cdot 10^{-7}$ Дж . Найти линейную плотность заряда τ на нити.

156. Тонкий стержень согнут в полукольцо. Стержень заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 133$ нКл/м . Какую работу необходимо совершить, чтобы перенести заряд $q = 6,7$ нКл из центра кольца в бесконечность?

157. Равномерно заряженная бесконечно протяженная плоскость с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4,0 \cdot 10^{-5}$ Кл/м² и точечный заряд $q = 1,0 \cdot 10^{-8}$ Кл находятся на расстоянии $L_1 = 50$ см . Какую работу необходимо совершить, чтобы сблизить их до расстояния $L_2 = 20$ см?

158. На тонком кольце радиусом $R = 10$ см равномерно распределен заряд $q = 2,0$ мкКл . Какую наименьшую скорость необходимо сообщить находящемуся в центре кольца маленькому шарикку массой

$m = 10$ мг с зарядом $q_0 = -3,0$ нКл, чтобы он мог удалиться из центра кольца на бесконечность?

159. В однородное электрическое поле напряженностью $E = 200$ В/м влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $v_0 = 2,0 \cdot 10^6$ м/с. Определить расстояние L , которое пройдет электрон до точки, где его скорость будет равна половине начальной.

160. Шарик массой $m = 0,20$ г и зарядом $q = +10$ нКл перемещается из одной точки поля с потенциалом $\phi_1 = 5,0 \cdot 10^3$ В в другую с потенциалом $\phi_2 = 0$. Найти скорость шарика в первой точке, если во второй точке она стала равной $v_2 = 1,0$ м/с.

161. Найти работу, которую нужно затратить, чтобы вынуть диэлектрик из плоского конденсатора, если напряжение на обкладках поддерживается постоянным и равным $U = 500$ В. Площадь каждой пластины $S = 50$ см², расстояние между пластинами $d = 0,50$ см, а диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\epsilon = 2,0$.

162. Найти работу, которую нужно затратить, чтобы вынуть диэлектрик из плоского конденсатора, если заряд на обкладках поддерживается постоянным и равным $q = 6,0$ мкК. Площадь каждой пластины $S = 100$ см², расстояние между пластинами $d = 0,30$ см, а диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\epsilon = 2,0$.

163. Найти работу, которую нужно затратить, чтобы увеличить расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора, заряженного разноименными зарядами $|q| = 0,20$ мкКл, на величину $\Delta x = 0,20$ мм. Площадь каждой пластины конденсатора $S = 400$ см².

164. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами плоского вакуумного конденсатора с площадью

пластин $S = 100 \text{ см}^2$ каждая от расстояния $x_1 = 0,010 \text{ м}$ до расстояния $x_2 = 0,020 \text{ м}$? Напряжение между пластинами поддерживается постоянным и равным $U = 220 \text{ В}$.

165. Площадь каждой пластины плоского воздушного конденсатора $S = 0,10 \text{ м}^2$, расстояние между ними $d = 5,0 \text{ мм}$. Какое напряжение было приложено к пластинам, если известно, что при разряде конденсатора выделилось $Q = 4,19 \text{ мДж}$ тепла?

166. Плоский конденсатор, заполненный жидким диэлектриком с проницаемостью $\varepsilon = 3,0$, зарядили, затратив при этом энергию $W_1 = 10 \text{ мкДж}$. Затем конденсатор отсоединили от источника, слили диэлектрик и разрядили. Определить энергию W_2 , которая выделилась при разрядке.

167. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком и на его пластины подано некоторое напряжение. Его энергия при этом $W = 70 \text{ мкДж}$. После того как конденсатор отключили от источника напряжения, диэлектрик вынули из конденсатора. Найти диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если работа, которая была совершена против сил электрического поля, $A = 20 \text{ мкДж}$.

168. Обкладки конденсатора с неизвестной емкостью C_1 , заряженного до напряжения $U_1 = 80 \text{ В}$, соединяют с обкладками конденсатора емкостью $C_2 = 60 \text{ мкФ}$, заряженного до напряжения $U_2 = 16 \text{ В}$. Определите емкость C_1 , если напряжение на конденсаторах после их соединения $U' = 20 \text{ В}$. Конденсаторы соединяются обкладками, имеющими одноименные заряды.

169. Обкладки конденсатора с неизвестной емкостью C_1 , заряженного до напряжения $U_1 = 80 \text{ В}$, соединяют с обкладками конденсатора емкостью $C_2 = 60 \text{ мкФ}$, заряженного до напряжения $U_2 = 16 \text{ В}$. Опре-

делить емкость C_1 , если напряжение на конденсаторах после их соединения $U' = 20$ В. Конденсаторы соединяются обкладками, имеющими разноименные заряды.

170. Конденсатор емкостью $C_1 = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 10$ В. Определить заряд на обкладках этого конденсатора после того как параллельно ему был подключен другой, не заряженный, конденсатор емкостью $C_2 = 20$ мкФ.

171. Элемент сначала замкнут на внешнее сопротивление $R_1 = 2,0$ Ом, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 0,50$ Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих случаев мощность, развиваемая во внешней цепи, одинакова и равна $P_1 = P_2 = 2,54$ Вт.

172. Внешняя цепь постоянного тока потребляет мощность $P = 0,75$ Вт. Определить силу тока в цепи, если ЭДС источника $E = 2,0$ В, а внутреннее сопротивление $r = 1,0$ Ом.

173. К батарее, ЭДС которой $E = 2,0$ В и внутреннее сопротивление $r = 0,50$ Ом, присоединили проводник. Исследуйте, при каком сопротивлении проводника мощность, выделяемая в нем, максимальна. Найдите эту мощность.

174. Максимальная сила тока генератора равна $I_{\max} = 3,0$ А, ЭДС генератора равна $E = 6,0$ В. Найдите наибольшее количество теплоты, которое может быть выделено на внешнем сопротивлении за $\Delta t = 1,0$ с.

175. Наибольшая мощность, которая может выделяться во внешней цепи некоторого источника, $P_{\max} = 9,0$ Вт. Сила тока при этом $I = 3,0$ А. Найти ЭДС E и внутреннее сопротивление r этого источника.

176. ЭДС батареи равна $E = 18$ В. КПД батареи равен $\eta = 0,90$ при силе тока $I = 4,5$ А. Чему равно внутреннее сопротивление батарей?

177. На концах проводника длиной $L = 6,0$ м поддерживается разность потенциалов $U = 120$ В. Каково удельное сопротивление проводника, если плотность тока в нем $j = 5,0 \cdot 10^{-8}$ А/м² ?

178. Между точками с постоянной разностью потенциалов $U = 100$ В включили сопротивление $R = 2,0$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показания вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда сопротивление заменили на другое, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить второе сопротивление.

179. К источнику с ЭДС $E = 12,0$ В присоединена нагрузка. Напряжение на нагрузке $U = 8,0$ В. Определить КПД источника.

180. ЭДС батареи $E = 12,0$ В. При силе тока $I = 4,0$ А КПД батареи $\eta = 0,60$. Определить внутреннее сопротивление батареи.

Кроме семинарских занятий студенты выполняют лабораторные работы. Методические указания к выполнению лабораторных работ студенты берут в библиотеке или в лабораториях в электронном виде на занятиях, или на сайте кафедры общей физики. Формы отчета работ приведены в лабораториях на стендах. Далее приводятся рекомендуемые таблицы измерений при выполнении лабораторных работ (студент вправе использовать и свои таблицы).

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

N	m	$x_{\text{нач}}$	$x_{\text{кон}}$	x	\bar{x}	S_x	Δx	\bar{v}	$\frac{1}{\sqrt{m}}$	Δv
	кг	м	м	м	м		м	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\text{кг}^{-\frac{1}{2}}$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$
1										
2										
3										
4										
5										
1					–	–	–			–
1					–	–	–			–

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

N	m	x	t	ε	m_0	$M_{\text{сопр}}$
	кг	м	с	$\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	кг	Н · м
1						
2						
3						

N	m	x	t	\bar{t}	$\bar{t} - t_i$	$(\bar{t} - t_i)^2$	Δt	\bar{I}	ΔI
	кг	м	с	с	с	с^2	с	кг · м ²	кг · м ²
1									
2									
3									
4									
5									

N	m	m_1	r	t	x	$I_{\text{теор}}$	$I_{\text{эксп}}$
	кг	кг	м	с	м	кг · м ²	кг · м ²
1							
2							
3							

**График выполнения лабораторных работ
ФБ (гпп) 1 курс**

<i>1 занятие</i>	<i>2 занятие</i>	<i>3 занятие</i>	<i>4 занятие</i>
Лабораторная работа № 1	Лабораторная работа № 3	Лабораторная работа № 6	Лабораторная работа № 10
Измерение скорости пули с помощью баллистического маятника	Определение момента инерции маятника Обербека	Определение показателя адиабаты методом Клемана и Дезорма	Исследование электростатического поля

Литература:

- Механика и термодинамика, Новосибирск 2012, № 4240 шифр 53 М 55 (лабораторные работы 1, 3, 6)
- Электричество и магнетизм, Новосибирск 2012, № 4231 шифр 53 Э 454 (лабораторная работа 10)
- Механика и электростатика, Новосибирск 2011. Вопросы для защиты лабораторных работ по физике, № 4092 шифр 53 М 55 (лабораторные работы 1, 3, 10)
- Вопросы для самоконтроля знаний по физике, часть 1, Новосибирск 2014, № 4343 шифр 53 В 748 (механика, электростатика)

ВОПРОСЫ НА ЭКЗАМЕН

1. Кинематика материальной точки. Векторный и координатный способы описания движения.
2. Кинематические характеристики движения материальной точки. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения.
3. Кинематика вращательного движения твердого тела.
4. Связь между кинематическими характеристиками поступательного и вращательного движения.
5. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона.
6. Преобразования Галилея. Следствия преобразований Галилея. Принцип относительности Галилея.
7. Закон сохранения импульса. Центр масс системы материальных точек.
8. Работа силы. Мощность.
9. Консервативные (потенциальные) силы. Потенциальная энергия системы материальных точек. Связь силы и потенциальной энергии.
10. Кинетическая энергия системы материальных точек.
11. Закон сохранения механической энергии системы материальных точек.
12. Момент импульса частицы. Момент силы.
13. Закон сохранения момента импульса системы материальных точек.
14. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Момент инерции.
15. Теорема Штейнера.
16. Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Работа внешних сил при вращении твердого тела вокруг неподвижной оси.
17. Основные представления дорелятивистской физики, ее противоречия.

18. Постулаты Эйнштейна. Синхронизация часов, соотношения между событиями.
19. Замедление времени и сокращение длины.
20. Преобразования Лоренца.
21. Следствия преобразований Лоренца.
22. Релятивистский импульс. Закон взаимосвязи массы и энергии.
23. Уравнение состояния идеального газа.
24. Первое начало термодинамики.
25. Теплоемкость.
26. Изопродессы в идеальном газе.
27. Энтропия.
28. Второе начало термодинамики.
29. Цикл Карно.
30. Термодинамические потенциалы.
31. Уравнение кинетической теории газов.
32. Энергия молекул газа.
33. Распределение Максвелла.
34. Распределение Больцмана.
35. Функция распределения Максвелла–Больцмана.
36. Электрическое поле. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.
37. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции.
38. Работа электростатических сил. Теорема о циркуляции вектора напряженности.
39. Потенциальная энергия. Потенциал электростатического поля. Связь между напряженностью и потенциалом поля.
40. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского–Гаусса для электростатического поля в вакууме.
41. Применение теоремы Гаусса к расчету электростатических полей (сфера, шар).
42. Применение теоремы Гаусса к расчету электростатических полей (полый цилиндр, сплошной цилиндр).
43. Применение теоремы Гаусса к расчету электростатических полей (плоскость, две плоскости).
44. Диполь в электрическом поле. Неполярные и полярные диэлектрики.
45. Поляризация диэлектриков. Типы поляризации. Вектор поляризации.

46. Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрической среде. Вектор электрического смещения.
47. Условия для электростатического поля на границе раздела двух изотропных диэлектрических сред.
48. Распределение зарядов в проводнике. Напряженность и электрическое смещение вблизи поверхности проводника.
49. Электрическая емкость уединенного проводника.
50. Взаимная электрическая емкость двух проводников. Конденсаторы. Параллельное и последовательное соединения конденсаторов.
51. Энергия системы точечных зарядов. Энергия заряженного уединенного конденсатора.
52. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.
53. Электрический ток. Сила и плотность тока.
54. Сторонние силы. Электродвижущая сила и напряжение.
55. Закон Ома. Сопротивление проводников.
56. Работа и мощность тока. Закон Джоуля–Ленца.
57. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Правила Кирхгофа.

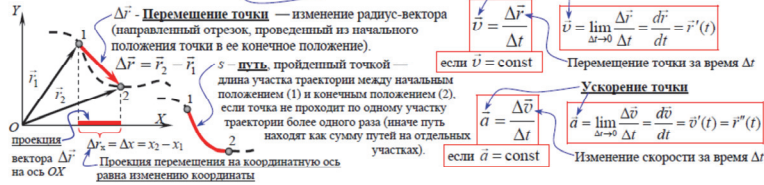
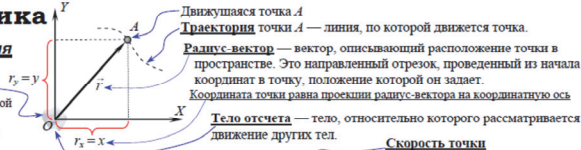
ПРИЛОЖЕНИЯ

Листы Опорного Сигнала (ЛОС)

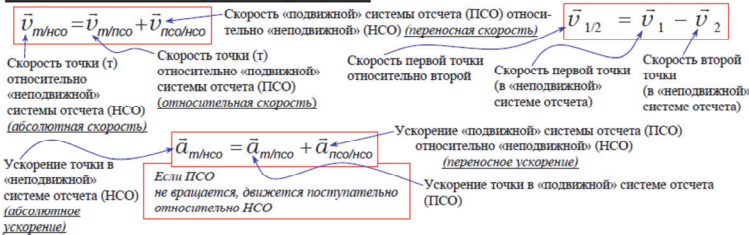
I. Кинематика

1. Основные понятия

Система отсчета — совокупность тела отсчета, системы координат, связанной с телом отсчета, и часов неподвижных относительно тела отсчета.



2. Законы сложения скоростей и ускорений



3. Нормальное и тангенциальное ускорения



4. Типы движений

4.1. Равномерное движение — движение, при котором точка за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути (Вектор скорости не изменяется по модулю, но может меняться по направлению)
 $(v = \text{const})$
 $s = v \cdot t$

Модуль скорости
 Путь, пройденный точкой за время t

4.1.1 Равномерное прямолинейное движение — движение, при котором точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. (Вектор скорости не меняется ни по модулю, ни по направлению)
 $(\vec{v} = \text{const})$
 $(a = 0)$
 $s = v \cdot t$
 $x = x_0 + v_x \cdot t$

Проекция вектора скорости на координатную ось
 Координата точки в начальный момент $t = 0$
 Координата точки в момент t

4.1.2 Равномерное движение по окружности

равномерное вращение — движение твердого тела, при котором любая его точка движется по окружности, причем, центры всех этих окружностей лежат на одной прямой перпендикулярной плоскости вращения, и за любые равные промежутки времени тело поворачивается на одинаковые углы.)

$(\omega = \text{const})$
 $s = v \cdot t$
 $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ — Угол, на который тело поворачивается за время Δt (угол измеряется в радианах)

ω — **Угловая скорость** (измеряется в рад/с)

$v = \omega \cdot R$ — R — Радиус окружности, по которой движется точка

$T = \frac{t}{N}$ — **Т- Период вращения** — время, за которое происходит один полный оборот.

$v = \frac{1}{T}$ — **ν - частота вращения** — число, оборотов, происходящих за единицу времени (за 1 секунду). Измеряется в герцах. 1 Гц = 1 оборот/с

При равномерном движении по окружности точка обладает ускорением, которое в любой момент направлено к центру этой окружности. Такое ускорение называется **ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНЫМ**

$a_{ц} = \frac{v^2}{R}$ — v — скорость движения точки
 R — радиус окружности, по которой движется точка

4.2 Движение с постоянным ускорением

$(\vec{a} = \text{const})$
 При $\vec{a} = \text{const}$: $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ → $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$

численно $\pm \int_{\text{под график } v_x(t)} = \Delta x$

+ - площадь выше оси t
 - - площадь ниже оси t

$\Delta\vec{r} = \frac{\vec{v} + \vec{v}_0}{2} \cdot t$

v_x, v_y - проекции скорости в момент t
 $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$
 $v_y = v_{0y} + a_y \cdot t$
 a_x, a_y - проекции ускорения

v_{0x}, v_{0y} - проекции начальной скорости (т. е. скорости в момент $t = 0$)

$\Delta x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$
 $\Delta y = \frac{v_y + v_{0y}}{2} \cdot t$
 $\Delta x, \Delta y$ - изменение координат

x, y - конечные координаты (координаты в момент t)

$x = x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}$
 $y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{a_y \cdot t^2}{2}$

$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$

x_0, y_0 - начальные координаты (координаты в момент $t = 0$)

Форма траектории при движении с постоянным ускорением:

Прямой траектория (\vec{a} и \vec{v} параллельны)

Параболическая траектория (\vec{a} и \vec{v} не параллельны)

4.2.1 Равноускоренное движение $\vec{a} \uparrow \vec{v}$

$v = v_0 + a \cdot t$
 $2a \cdot s = v^2 - v_0^2$

$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$
 $s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$

4.2.2 Равнозамедленное движение $\vec{a} \uparrow \vec{v}$

$v = v_0 - a \cdot t$
 $2a \cdot s = v_0^2 - v^2$

$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$
 $s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$

$t \leq t_{\text{ост}} = v_0/a$



4.3 Гармоническое движение $x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$, $v_x = -A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$, $a_x = -A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$

x — координата колеблющегося тела (смещение от равновесного положения); ω — **циклическая частота** колебаний;

A — **амплитуда** колебаний (максимальное смещение)

$\varphi = \omega t + \varphi_0$ — **фаза** колебаний, φ_0 — **начальная фаза**.

$v_m = A \cdot \omega$ — **максимальная скорость**
 $a_m = A \cdot \omega^2$ — **максимальное ускорение**
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — **период колебаний** (время одного полного колебания)

II. Динамика

1. Второй закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

В инерциальных системах отсчета (ИСО)

ИСО — системы отсчета, относительно которых любая материальная точка, свободная от действия сил, не имеет ускорения.

Инерциальной может приближенно считаться:

- Система отсчета, связанная с поверхностью Земли (если не требуется учитывать вращение Земли и силы притяжения к Солнцу и планетам)
- Система отсчета, с центром в центре Земли, оси которой направлены на звезды (если надо учесть вращение Земли вокруг своей оси, но вращение вокруг Солнца и притяжение к Солнцу и планетам можно не учитывать).
- Система отсчета, с центром в центре Солнца, оси которой направлены на звезды (если можно не учитывать вращение солнечной системы вокруг ядра галактики и притяжение к другим звездам).

2. Теорема о движении центра масс

$$M_{\text{сист}} \vec{a}_{\text{ц.м.}} = \vec{F}_1^{\text{внеш}} + \vec{F}_2^{\text{внеш}} + \vec{F}_3^{\text{внеш}} + \dots$$

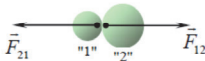
В ИСО

Внешние силы — силы, действующие на тела, входящие в систему, со стороны тел, не входящих в эту систему.

3. Третий закон Ньютона

Если одно тело (1) действует на другое тело (2) силой (\vec{F}_{12}), то

второе тело (2) обязательно действует на первое (1) такой силой \vec{F}_{21} , что →



$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

$M_{\text{сист}}$ — масса системы материальных точек (масса тела или системы тел),

$\vec{a}_{\text{ц.м.}}$ — ускорение центра масс этой системы,

$\vec{F}_1^{\text{внеш}} + \vec{F}_2^{\text{внеш}} + \dots$ — сумма внешних сил, действующих на эту систему.

- $\vec{F}_{21} = \vec{F}_{12}$
- $\vec{F}_{21} \uparrow \downarrow \vec{F}_{12}$
- \vec{F}_{21} и \vec{F}_{12} — лежат на одной прямой
- \vec{F}_{21} и \vec{F}_{12} — имеют одну природу: например, если \vec{F}_{12} - сила трения, то \vec{F}_{21} тоже сила трения.

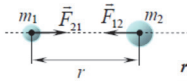
4. Силы, которые могут действовать на тело, можно разделить на две группы:

Силы, действующие на тело со стороны тел, **соприкасающихся** с ним (действие через контакт).

Силы, действующие на тело со стороны тел, **не соприкасающихся** с ним (действие через силовые поля: гравитационное, электрическое или магнитное) — гравитационная, электрическая или магнитная сила.

5. Гравитационная сила

$$F_{\text{Грав}} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



$F_{21} = F_{12} = F_{\text{Грав}}$ — сила гравитационного притяжения между двумя **материальными точками** или однородными шарами (сферами), массы которых m_1 и m_2 .

r — расстояние между этими материальными точками, или **центрами** шаров (сфер).

γ — измеряется в специальных экспериментах, очень важная величина (фундаментальная константа)

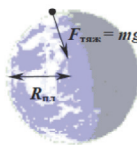
γ — гравитационная постоянная $\gamma \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2/\text{кг}^2$

m , в телами, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.

$$F_{\text{тяж}} \approx F_{\text{Гравнаповерхн.}} = \gamma \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2} \cdot m = gm$$

g — ускорение свободного падения на поверхности планеты

$$g = \gamma \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2}$$



$F_{\text{тяж}} = mg \approx F_{\text{Грав. на поверхн.}}$

Первая космическая скорость — скорость спутника, который вращается вокруг планеты по круговой орбите минимального возможного радиуса $r \approx R_{\text{пл}}$

Для такого спутника по II закону Ньютона: $ma = F_{\text{тяж}}$

Ускорение спутника — центростремительное ускорение (т. к. он равномерно движется по окружности) $a = a_c = v^2/r$, сила тяжести $F_{\text{тяж}} = mg$. Учитывая, что $r \approx R_{\text{пл}}$, получим:

$$m \frac{v^2}{R_{\text{пл}}} = mg \Rightarrow v_1 = \sqrt{gR_{\text{пл}}}$$

Вес тела — сила, с которой это тело, благодаря наличию у него массы, давит на подставку, на которой лежит, или действует на подвес, на котором висит.

Перегрузка — превышение весом величины mg . Возникает в ракетах, лифтах и пр. при движении с ускорением, направленным вверх.

Невесомость — состояние, в котором вес равен нулю (т. е. тело не давит на подставку). Невесомость может возникать не только при отсутствии гравитационной силы, но и в лифтах, самолетах, космических кораблях и пр., движущихся с $\vec{a} = \vec{g}$.

6. Силы, действующие через контакт (со стороны прикасающихся тел)

6.1. Если к телу прикасается **твердая поверхность**, то со стороны этой поверхности на тело могут действовать две силы:



Эта сила **мешает телу "пройти" сквозь поверхность**" (т.е. ограничивает область возможного движения тела). По своей природе она является силой упругости.

Сила нормальной реакции **действует всегда**, когда между телом и поверхностью есть контакт.

Сила трения $\vec{F}_{тр}$

$\vec{F}_{тр}$ - направлена **всегда параллельно** поверхности, со стороны которой действует (по касательной к поверхности, если поверхность не плоская).

Эта сила **мешает телу скользить** по поверхности (иногда делает скольжение совсем невозможным).

По своей природе она является результатом взаимного притяжения молекул тела и поверхности, а также зацепления микронеровностей тела и поверхности.

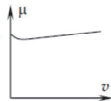
Сила трения может отсутствовать: $F_{тр} = 0$, если

1. В задаче указано, что "поверхность гладкая".
2. Тело "не стремится скользить", т.е. оно не скользило бы по поверхности даже, если бы поверхность вдруг стала абсолютно гладкой и скользкой.

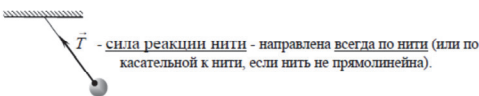
$$F_{тр} = \mu N \quad \text{Если происходит скольжение}$$

$$F_{тр} \leq \mu N \quad \text{Если нет скольжения}$$

μ - коэффициент трения между телом и поверхностью. Он зависит от материала, степени шероховатости тела и поверхности, а также от скорости тела относительно поверхности v . (см. график)



6.2. Если к телу прикреплена **нерастяжимая натянутая нить** (трос, веревка и т.п.), то со стороны этой нити на тело действует **сила реакции нити** (сила натяжения нити)

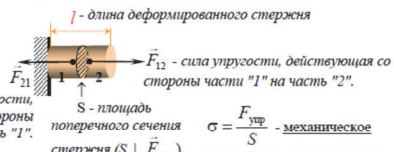
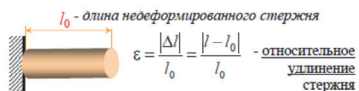
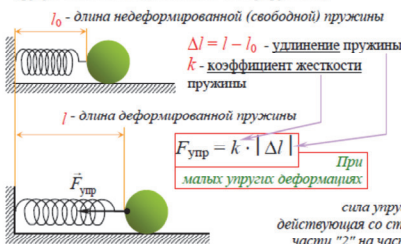


T - сила, действующая на оттокот со стороны веревки, прикрепленной к нему.

Если мысленно разделить нить на две части, то сила реакции будет действовать со стороны одной части нити на другую часть этой нити. (В этом случае чаще употребляют название "сила натяжения нити".)

Деформация считается упругой, если после прекращения действия деформирующих сил тело возвращается к начальной форме

6.3. Если к телу прикасается **упруго деформированное тело** (пружина, упругий стержень, резиновый шнур и т.п.), то со стороны упруго деформированного тела действует **сила упругости** ($\vec{F}_{упр}$) на тела, мешающие ему вернуться в недеформированное состояние. (Если мысленно расщеп деформированное тело на части, то со стороны одной части на другую тоже может действовать сила упругости.)



Из закона Гука:

$$\frac{F_{упр}}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0} \Rightarrow F_{упр} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l|$$

Значит, для упругого стержня $F_{упр} = k \cdot |\Delta l|$, где $k = ES/l_0$ - коэффициент жесткости упругого стержня.

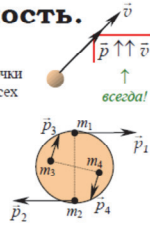
Закон Гука: $\sigma = E \cdot \epsilon$ При малых упругих деформациях E - модуль упругости (модуль Юнга) материала стержня.

III. Законы сохранения. Работа и мощность.

- Импульс материальной точки** $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ m - масса материальной точки
 \vec{v} - скорость этой материальной точки
- Импульс системы материальных точек** равен векторной сумме импульсов всех точек, входящих в эту систему.

$$\vec{p}_{\text{сист}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$$

Пример: импульс однородного диска, вращающегося вокруг неподвижной оси, проходящей через центр
 $\vec{p}_{\text{диск}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 + \dots + \vec{p}_n = 0$



3. Теорема об изменении импульса материальной точки

$$\Delta \vec{p} = \sum \vec{F} \cdot \Delta t$$

$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ - изменение импульса материальной точки.
 $\sum \vec{F}$ - сумма всех сил, действующих на материальную точку.

$$\sum \vec{F} = \text{const}$$

Δt - время действия сил.

$\vec{F} \cdot \Delta t$ - импульс силы.

Выводится из II закона Ньютона: $m\vec{a} = \sum \vec{F}$. Если $\sum \vec{F} = \text{const}$, то $\vec{a} = \text{const}$ и

$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ Подставив в уравнение \uparrow , домножив обе части на Δt , получим ...

4. Теорема об изменении импульса системы материальных точек

$$\text{Из п. 2: } \Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2 + \dots + \Delta \vec{p}_n = \sum \vec{F} \Delta t; \quad \sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{\text{внеш}} + \sum \vec{F}_{\text{внутр}} = \sum \vec{F}_{\text{внеш}} + 0$$

$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
 $\sum \vec{F}$ - сумма всех сил, действующих на все мат. точки системы

Из п. 3: $\Delta \vec{p}_1 = \sum \vec{F}_1 \Delta t$, $\Delta \vec{p}_2 = \sum \vec{F}_2 \Delta t$, ... $\sum \vec{F}_{\text{внеш}}$ - сумма внешних сил, действующих на все мат. точки системы

$\sum \vec{F}_{\text{внутр}}$ - сумма внутренних сил, действующих на все мат. точки системы

$\sum \vec{F}_{\text{внутр}} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \dots + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} + \dots + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} + \dots = 0$ - по III закону Ньютона $\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$, $\vec{F}_{13} + \vec{F}_{31} = 0$, ...

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \sum \vec{F}_{\text{внеш}} \cdot \Delta t$$

$\sum \vec{F}_{\text{внеш}}$ - сумма внешних сил, действующих на все мат. точки системы

$$\sum \vec{F}_{\text{внеш}} = \text{const}$$

Δt - время, в течение которого действовали силы.

$\Delta \vec{p}_{\text{сист}}$ - изменение импульса системы материальных точек за время Δt

5. Закон сохранения импульса:

$$\vec{p}'_{\text{сист}} = \vec{p}''_{\text{сист}}$$

Если, 1) $\sum \vec{F}_{\text{внеш}} = 0$

2) $\Delta t \approx 0$ - при быстрых взаимодействиях (взрывы, выстрелы, соударения), если внешние силы не возрастают до больших значений и остаются малы по сравнению с внутренними силами.

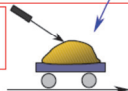
Импульс системы материальных точек сохраняется, если

- Сумма внешних сил, действующих на эту систему равна нулю.
- Время действия внешних сил мало так, что импульс системы не успевает существенно измениться - выстрелы, взрывы, соударения, при которых внешние силы малы по сравнению с внутренними силами.

Кроме того,

- сохраняется проекция импульса на ту координатную ось, к которой перпендикулярна сумма внешних сил.

$$p'_{\text{сист}x} = p''_{\text{сист}x}, \text{ если } \sum \vec{F}_{\text{внеш}} \perp OX$$



6. Работа силы

Единица измерения работы в СИ
Джк = Н·м

$$A_{\vec{F}} = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \cdot |\Delta \vec{r}| \cdot \cos \alpha$$

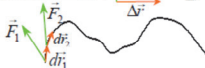
$A_{\vec{F}}$ - работа силы \vec{F}

$\Delta \vec{r}$ - перемещение материальной точки, на которую действует сила \vec{F} .

$A > 0$, если α - острый угол.

$A < 0$, если α - тупой угол.

$A = 0$, если $\alpha = 90^\circ$.



Чтобы найти работу не постоянной силы над точкой, которая движется по произвольной траектории, надо мысленно разбить движение на такие малые перемещения $d\vec{r}_1, d\vec{r}_2, \dots$, чтобы на каждом из них с достаточной точностью можно было бы считать движение

прямолинейным, а силу постоянной. Тогда $A = \vec{F}_1 d\vec{r}_1 + \vec{F}_2 d\vec{r}_2 + \dots$

7. Мощность

Единица измерения мощности в СИ
 $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$

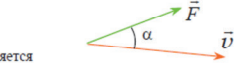
$$N = \frac{A}{t}$$

$N = \text{const}$

Работа, совершенная за время t .

Если мощность не постоянна, то вычисляется **средняя мощность**:

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{t}$$



$$N = \frac{\vec{F}d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$N = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

8. Механическая энергия

$$E_{\text{мех}} = E_k + E_p$$

Потенциальная энергия — этой энергией обладают тела, на которые действуют **консервативные силы**: $F_{\text{грав}}$ ($F_{\text{тяж}}$), $F_{\text{упр}}$, $F_{\text{электр}}$.
 Консервативны, если они неизменны во времени для каждого положения, или являются внутренними для системы.

Силы, работа которых над системой при ее перемещении зависит **только от начального и конечного положений** этой системы. Работа консервативных сил не зависит от того, каким способом (по какой траектории) система была переведена из начального положения в конечное.

Основное свойство консервативных сил: **работа консервативных сил над системой, совершившей движение по замкнутой траектории** (когда конечное положение совпадает с начальным), равна **нулю**.

Потенциальная энергия — это такая функция от расположения системы, убыв которой при перемещении системы равна работе консервативных сил на этом перемещении. $(E_{p1} - E_{p2}) = A_{\text{конс}(1-2)}$

Чтобы вычислить конкретное значение E_p , договариваются в каком положении системы "О" считать $E_p(O) = 0$. Тогда в произвольном положении "М" потенциальная энергия системы $E_p(M) = A_{\text{конс} M-O}$

Кинетическая энергия

Этой энергией обладают движущиеся тела.

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

$$E_{\text{ксист}} = E_{k1} + E_{k2} + \dots$$

Кинетическая энергия материальных точек.

Кинетическая энергия

материальной точки массой m , движущейся со скоростью v .

Теорема о кинетической

энергии: $\Delta E_k = A_{\text{всех сил}}$ — Работа всех сил, действующих в системе.

Изменение кинетической энергии системы

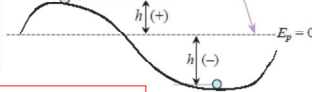
9. Теорема о механической энергии

$$\Delta E_{\text{мех}} = \Delta E_k + \Delta E_p = A_{\text{всех сил}} - A_{\text{неконс сил}} = A_{\text{неконс сил}}$$

$$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{неконс}}$$

$$E_{p(\text{тяж})} = \pm mgh_{\text{центра масс над нулевым уровнем}}$$

$$E_p^{\text{упр}} = \frac{k\Delta l^2}{2}$$



10. Закон сохранения механической энергии

Механическая энергия системы материальных точек сохраняется, если в системе совершают работу только консервативные силы ($A_{\text{нек}} = 0$)

$$E'_{\text{мех}} = E''_{\text{мех}}$$

Если $A_{\text{неконс}} = 0$

11. Диссипативные силы

— неконсервативные силы, работа которых сопровождается **выделением**

$F_{\text{трения скольжения}}$; $F_{\text{сопр. жидк. и г.}}$; $F_{\text{неупруг. взаимод.}}$

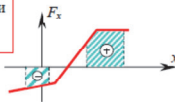
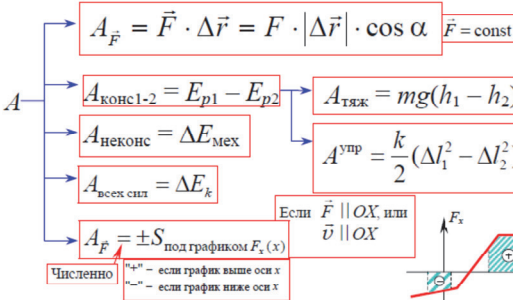
тепла.

$A_{\text{внутр. дисс}} = -Q$ — не зависит от системы отсчета

$$E'_{\text{мех}} - E''_{\text{мех}} = Q$$

Если $A_{\text{неконс}} = A_{\text{внутр. дисс}}$.

12. Методы вычисления работы



13. Средняя по времени сила

$$\vec{F}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{p}_{\text{сист}}}{\Delta t}$$

Средняя по времени сумма внешних сил, действующих на систему материальных точек

Изменение импульса системы за время Δt

IV. Статика и гидростатика

1. Для равновесия *твердого тела* или системы тел необходимо одновременное выполнение двух условий:

1 условие равновесия: Сумма *внешних сил*, действующих на систему, должна быть равна нулю.

$$\vec{F}_1^{\text{внеш}} + \vec{F}_2^{\text{внеш}} + \dots = 0$$

Твердым телом называется тело, расстояние между любыми двумя точками которого не изменяется с течением времени (или меняется пренебрежимо мало).

Внешними называются силы, действующие на тела, входящие в систему, со стороны тел, не входящих в эту систему.

II условие равновесия: Сумма *моментов* внешних сил, действующих на систему, должна быть равна нулю относительно *любой* оси вращения.

$$M_{\vec{F}_1^{\text{внеш}}} + M_{\vec{F}_2^{\text{внеш}}} + \dots = 0$$

2. **Вращающим моментом** силы относительно оси вращения называется взятое со знаком «+» или «-» произведение модуля этой силы на ее плечо. **Плечом силы** называется длина перпендикуляра, проведенного из оси вращения на линию действия этой силы

$$M_{\vec{F}} = +F \cdot d_{\vec{F}}$$

Знак «+» берется, если сила \vec{F} стремится повернуть тело *против часовой стрелки*, знак «-» — если *по часовой*.



Замечание. Приведено здесь определение вращающего момента справедливо лишь для сил, лежащих в плоскости перпендикулярной оси вращения.

Момент этой силы — отрицательное число: $M_F < 0$

Единица измерения M в СИ: 1 Н·м

3. Не всегда одновременное выполнение I и II условий равновесия гарантирует неподвижность механической системы. Покой системы невозможен в положениях **неустойчивого равновесия** (т.е. в таких положениях, любое бесконечно малое смещение из которых приводит к тому, что сумма внешних сил (или их моментов) стремится еще больше удалить систему от равновесного положения). Реальными могут быть только положения **устойчивого равновесия** (т.е. такие положения, любое бесконечно малое смещение из которых приводит к тому, что сумма внешних сил (или их моментов) стремится вернуть систему обратно в равновесное положение) и положения **безразличного равновесия** (т.е. положения, при бесконечно малых смещениях из которых сумма внешних сил и их моментов остается равна нулю).

4. **Центром масс** системы материальных точек m_1, m_2, \dots, m_N называется геометрическая точка (C), координаты которой определяются формулами:

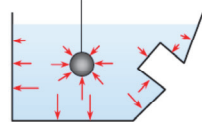
$$x_C = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_N x_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N}; \quad y_C = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_N y_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N}; \quad z_C = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots + m_N z_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N}$$

Центр тяжести (т.е. точка приложения равнодействующей силы тяжести) совпадает с центром масс системы, если эта система находится в однородном гравитационном поле (или напряженность поля тяготения меняется в пределах системы незначительно)

5. **Сила гидростатического давления** — сила, с которой *(т.е. жидкость неподвижна относительно стенок сосуда)* покоящаяся жидкость действует на погруженные в нее тела, стенки и дно сосуда, в котором жидкость находится (без учета поверхностного натяжения).

По своей природе эта сила является **силой объемной упругости**. Она возникает, если жидкость сжата (например, прижата силой тяготения к внутренней поверхности неподвижного сосуда) и зависит от степени сжатия.

Сила гидростатического давления всегда направлена перпендикулярно к той поверхности, на которую она действует (поскольку сила объемной упругости не может иметь составляющей параллельной поверхности, деформированного тела, а упругостью формы жидкость не обладает)



6. **Давлением жидкости** на плоскую поверхность называется отношение силы гидростатического давления, действующей на эту поверхность, к площади поверхности (при условии, что сила распределена по поверхности равномерно).

$$p = \frac{F_{\text{гидр. давл.}}}{S}$$

- поверхность плоская
- давление одинаково во всех точках поверхности

Если сила давления неравномерно распределена по поверхности, то можно вычислить **среднее давление** или **давление в данной точке поверхности**

$$p = \frac{dF_{\text{гидр. давл.}}}{dS}$$

Сила гидростатического давления, действующая на бесконечно малую площадку dS (эта площадь dS мала на столько, что площадку можно с достаточной точностью считать плоской и изменением давления в пределах dS можно пренебречь)

$$p_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{гидр. давл.}}}{S}$$

поверхность плоская

Единица измерения давления в СИ: 1 Па = 1 Н/м².

7. Давление в какой-либо точке жидкости — это давление на воображаемую бесконечно малую площадку, на которой лежит эта точка. Причем, можно доказать, что **давление в данной точке жидкости не зависит от ориентации той воображаемой бесконечно малой площадки, на которую производится это давление.**



$$p_A = p_1 = p_2 = p_3$$

Давление в точке жидкости A

$$F_{\text{давл. на стену}} = p_{\text{ср}} \cdot S = p_A + p_B \cdot S$$



8. В однородной покоящейся жидкости — жидкость неподвижна относительно стенок сосуда (не течет), а сосуд не имеет ускорения в ИСО

давления в точках, лежащих в одной горизонтальной плоскости (на одном уровне), одинаковы.

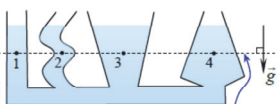
плотность жидкости ρ одинакова во всех ее точках

Открытая в атмосферу, свободная поверхность жидкости горизонтальна.

т. к. во всех ее точках давление одинаково и равно атмосферному.

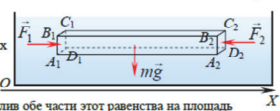
$p_1 = p_2 = p_3 = p_4$

горизонтальная плоскость — плоскость, перпендикулярная вектору \vec{g}



Док-во: Мысленно выделим в жидкости прямоугольный параллелепипед $A_1B_1C_1D_1A_2B_2C_2D_2$. Площадь $A_1B_1C_1D_1$ так мала, что во всех ее точках давление одинаково. Сторона A_1A_2 горизонтальна. Выделенный объем жидкости находится в равновесии, поэтому сумма всех действующих на него сил равна нулю: $m\vec{g} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_{бок} = 0$ (Сила $\vec{F}_{бок}$ — сумма сил гидростатического давления на боковые поверхности $A_1B_1B_2A_2, B_1C_1C_2B_2, C_1D_1D_2C_2, D_1A_1A_2D_2$)

В проекциях на горизонтальную ось Ox это уравнение имеет вид $F_1 - F_2 = 0 \Rightarrow F_1 = F_2$. Разделив обе части этого равенства на площадь $A_1B_1C_1D_1$, получим что давления на площадки $A_1B_1C_1D_1$ и $A_2B_2C_2D_2$ равны: $p_1 = p_2$.



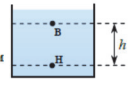
9. В однородной покоящейся жидкости давления в точках, лежащих на разных горизонтальных уровнях, отличаются на $p_H - p_B = \rho gh$

давление в точке, лежащей на более низком уровне

давление в точке, лежащей на более высоком уровне

g — ускорение свободного падения

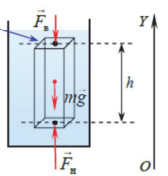
h — расстояние между верхним и нижним уровнями



Док-во: Мысленно выделим в жидкости прямоугольный параллелепипед с горизонтальными основаниями. Выделенный объем жидкости находится в равновесии, поэтому сумма всех действующих на него сил равна нулю: $m\vec{g} + \vec{F}_H + \vec{F}_B + \vec{F}_{бок} = 0$ (Сила $\vec{F}_{бок}$ — сумма сил гидростатического давления на боковые вертикальные поверхности.)

В проекциях на вертикальную ось Oy это уравнение имеет вид: $-mg + F_H - F_B = 0 \Rightarrow F_H - F_B = mg = \rho Shg$ (здесь масса выделенного объема жидкости m представлена как произведение ее плотности ρ на объем $V = Sh$)

Разделив обе части этого равенства на площадь основания S , получим: $p_H - p_B = \rho gh$.



10. Архимедова сила — выталкивающая (подъемная) сила, действующая на тело, погруженное в жидкость или газ. Архимедова сила есть сумма всех сил гидростатического давления, действующих на тело, погруженное в жидкость или газ (кроме тех случаев, когда тело плотно прижато к дну или стенке сосуда так, что жидкость (газ) не проникает между телом и дном (стенкой) — в этих случаях суммарную силу гидростатического давления не называют архимедовой силой)

$\vec{F}_{Арх} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N$

$F_{Арх} = m_{выт} \cdot g$ — ускорение свободного падения

$F_{Арх} = \rho_{ж} \cdot V_{погр} \cdot g$ — плотность среды (жидкости или газа), в которую погружено тело

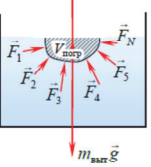
$m_{выт}$ — масса «вытесненной» жидкости — масса такой же жидкости, как вокруг тела, которая уместилась бы в объеме погруженной части тела $V_{погр}$

Док-во: Сумма сил гидростатического давления $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = \vec{F}_{Арх}$, действующих на объем $V_{погр}$ не зависит от того, какое вещество

находится внутри этого объема ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ — силы упругости, они зависят от деформации жидкости, окружающей объем $V_{погр}$, а не от содержимого этого объема). Мысленно выделим в покоящейся жидкости объем, совпадающий с $V_{погр}$ по форме и расположению (рисунком 10.2). На него будут действовать точно такие же силы гидростатического давления $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$, как и на объем погруженной части тела $V_{погр}$. Выделенный в жидкости объем находится в равновесии, значит,

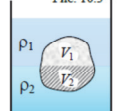
$\vec{F}_{Арх} + m_{выт}\vec{g} = 0 \Rightarrow F_{Арх} = m_{выт} \cdot g$, что и требовалось доказать.

(В этом доказательстве считается, что атмосферного давления нет. Чтобы учесть его наличие, можно рассматривать тело на рисунке 10.1, как плавающее на границе раздела двух сред — жидкости (ρ_2) и воздуха (ρ_1))

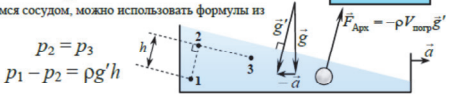


Если тело плавает на границе нескольких сред, плотностями ρ_1, ρ_2, \dots (На рис. 10.3 пример, когда сред две), то масса вытесненной жидкости $m_{выт}$ находится как сумма $m_{выт} = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots$ (V_1 — объем той части тела, которая погружена в первую среду, V_2 — объем той части тела, которая погружена во вторую среду, и т. д.)

Архимедова сила в этом случае равна $F_{Арх} = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots)g$



11. Если сосуд с жидкостью движется с ускорением \vec{a} в ИСО, то в системе отсчета, связанной с сосудом, на каждую точку этой жидкости вместе с силой тяжести $m\vec{g}$ действует сила инерции $\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}$. Если жидкость неподвижна относительно сосуда, то в системе отсчета, связанной с движущимся сосудом, можно использовать формулы из пунктов 9 и 10, заменяя в них \vec{g} на $\vec{g}' = \vec{g} - \vec{a}$.



V. Тепловые явления

1. Уравнение Менделеева-Клапейрона

Для идеального газа $pV = \nu RT$

Абсолютная температура $T = (t^{\circ}\text{C} + 273)\text{K}$

Универсальная газовая постоянная $R \approx 8.31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$

Количество вещества — число моль газа. 1 моль — группа из $\approx 6.02 \cdot 10^{23}$ молекул.

Число Авогадро $N_A \approx 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Число молекул газа $\nu = \frac{N}{N_A}$

Число молекул в 1 моль

Масса газа $\nu = \frac{m}{M}$

Масса 1 моль газа — молярная масса

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$

М $\approx 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ → 8 ↓ 15,9994 O Кислород

Давление газа (в Па) $1 \text{ атм} \approx 10^5 \text{ Па} \approx 760 \text{ мм.рт.ст.}$

Объем газа (в м^3) $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$

$k = R/N_A \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ — постоянная Больцмана

$pV = \frac{NRT}{N_A}$

разделим обе части на V : $p = \frac{N}{V} kT$

$n = N/V$ — концентрация газа — число молекул в 1 м^3 .

$p = nkT$

разделим обе части на V : $pV = \frac{m}{M} RT$

$p = \frac{\rho RT}{M}$

2. Закон Дальтона

$P_{\text{смеси}} = P_1 + P_2 + \dots$

Парциальное давление первого из газов, входящих в смесь, — т. е. давление, которое создавал бы этот газ, если бы он один занимал весь объем смеси.

Давление смеси нереагирующих газов. $P_1 = \frac{\nu_1 RT_{\text{смеси}}}{V_{\text{смеси}}}$

Для идеального газа $p = \frac{\rho}{M} RT$

3. Основное уравнение МКТ

$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$\bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{m_0 v_1^2 + m_0 v_2^2 + \dots + m_0 v_N^2}{N} = \frac{m_0}{2} \left(\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \right) = \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2}$

Средняя квадратичная скорость

$v_{\text{кв}} = \sqrt{v^2}$

Для идеального газа $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k^{\text{пост}} = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2$

Плотность газа ρ

Масса 1 моль $m_0 = \frac{M}{N_A}$

Число молекул в 1 моль

Масса одной молекулы

4. Газовые законы

Из $pV = \nu RT$ следует, что если $\nu = \text{const}$, то $\frac{pV}{T} = \text{const}$

$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

$\nu = \text{const}$, газ идеальный

$\nu = \text{const}$, $T = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Изотермический процесс. график - изотерма.

$\nu = \text{const}$, $p = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Изобарный процесс. график - изобара

$\nu = \text{const}$, $V = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Изохорный процесс. график - изохора

5. Первый закон термодинамики

Количество теплоты, полученное ($Q > 0$) или отданное ($Q < 0$) системой. (Энергия, полученная или отданная системой в процессе теплопередачи, т. е. при обмене энергиями между молекулами — на микроскопическом уровне.)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = C\Delta T$$

Теплоемкость тела (системы)

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \Rightarrow Q = cm\Delta T$$

Удельная теплоемкость вещества

$$C_M = \frac{Q}{\nu\Delta T} \Rightarrow Q = C_M\nu\Delta T$$

Молярная теплоемкость вещества

При $V = \text{const}$: $C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T}$

При $p = \text{const}$:

$$C_p = \frac{\Delta U + A}{\Delta T} > C_V$$

$$Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$$

Работа газа

$$A_{\text{газа}} = -A_{\text{над газом}}$$

$$V = \text{const}$$

$$A_{\text{газа}} = 0$$

$$p = \text{const}$$

$$A_{\text{газа}} = p\Delta V = \nu R\Delta T$$

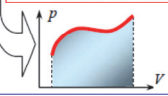
$$v = \text{const}$$

численно

$$A_{\text{газа}} = \pm S_{\text{под}} \text{ граф. } p(V)$$

"+" — если газ расширяется

"-" — если газ сжимается



Изменение внутренней энергии системы

$U = E_{\text{к тепл}} + E_{\text{р взаим}}$

Внутренняя энергия

Кинетическая энергия хаотического движения молекул.

Потенциальная энергия взаимодействия молекул друг с другом.

В идеальном газе $E_{\text{к тепл}} \gg E_{\text{р взаим}}$, поэтому

$$U = E_{\text{к тепл}} = \frac{i}{2} pV = \frac{i}{2} \nu RT$$

$i = 3$ для одноатомных газов (He, Ne, Ar, ...)

$i = 5$ для двухатомных газов ($\text{H}_2, \text{N}_2, \text{O}_2, \text{воздух}, \dots$)

$i = 6$ для многоатомных газов (пары $\text{H}_2\text{O}, \dots$)

$$\Delta U = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{i}{2} \nu R\Delta T$$

Для идеального газа

$$\Delta U = C_V \Delta T = c_V m \Delta T = C_{M_V} \nu \Delta T$$

6. Адиабатический процесс

$$Q = 0 \Rightarrow A_{\text{газа}} = -\Delta U$$

В теплоизолированной системе или при быстрых процессах

При адиабатическом расширении ($A_{\text{газа}} > 0$) газ охлаждается ($\Delta U < 0$)

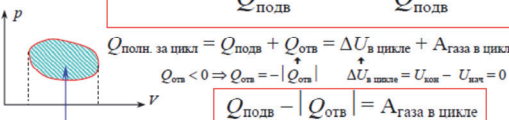
При адиабатическом сжатии ($A_{\text{газа}} < 0$) газ нагревается ($\Delta U > 0$)

Адиабата — гипербола, идущая более "круто" чем изотермы (с ростом V убывает T).



7. КПД циклического процесса (теплового двигателя)

$$\eta_{\text{цикла}} = \frac{A_{\text{газа в цикле}}}{Q_{\text{подв}}} = \frac{Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{отв}}|}{Q_{\text{подв}}}$$



$$Q_{\text{полн. за цикл}} = Q_{\text{подв}} + Q_{\text{отв}} = \Delta U_{\text{в цикле}} + A_{\text{газа в цикле}}$$

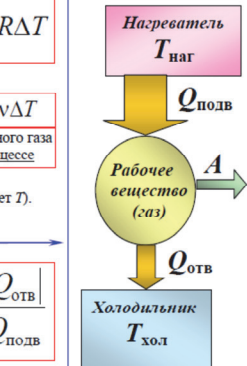
$$Q_{\text{отв}} < 0 \Rightarrow Q_{\text{отв}} = -|Q_{\text{отв}}|, \Delta U_{\text{в цикле}} = U_{\text{кон}} - U_{\text{нач}} = 0$$

$$Q_{\text{подв}} - |Q_{\text{отв}}| = A_{\text{газа в цикле}}$$

$$A_{\text{газа в цикле}} = \pm S_{\text{внутри цикла } p(V)}$$

численно

"+" — если цикл идет "по часовой стрелке"
 "-" — если цикл идет "против часовой стрелки"



$$\eta_{\text{идеал}} = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно — максимальный теоретически возможный КПД при данных $T_{\text{наг}}$ и $T_{\text{хол}}$.

6. Насыщенный пар



газ, дальнейшее изотермическое сжатие или изохорное охлаждение которого приводит к превращению части этого газа в жидкость (при наличии центров конденсации).

газ, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, т. е. в состоянии, когда число молекул, переходящих из газа в жидкость равно числу молекул, переходящих обратно за то же время.

Реальные изотермы: область I — вода

область II — вода в равновесии с насыщенным паром

область III — газ

$T_{\text{кр}}$ — критическая температура, при $T > T_{\text{кр}}$ газ никаким сжатием нельзя перевести в жидкость.

Условие кипения: $p_{\text{нас}} = p_{\text{изотермы}} \approx p_{\text{атм}}$

Для воды $p_{\text{нас}}(100^\circ\text{C}) \approx 10^5$ Па

Давление насыщенного пара (а также его плотность) однозначно определяется температурой и больше ни от чего не зависит (ни от объема, ни от массы пара).

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{p_{\text{пара в воздухе}}}{p_{\text{нас. пара при данной } T}} = \frac{p_{\text{пара в воздухе}}}{p_{\text{нас. пара при данной } T}} (\times 100 \%)$$

VI. Электростатика

1. Закон Кулона

Сила взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2

$$F_{эл} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

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

$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная

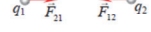
r — расстояние между зарядами q_1 и q_2

Точечными считаются заряженные тела, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.

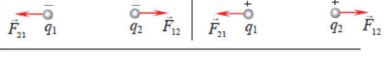
ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды q_1 и q_2 (полагается, что среда — безграничный, однородный диэлектрик)

$$\epsilon_{возд} \approx \epsilon_{вакуума} = 1$$

Заряды противоположных знаков ("разноименные") притягиваются друг к другу.



Заряды одинаковых знаков ("одноименные") отталкиваются друг от друга.



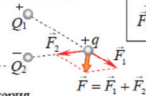
2. Принцип суперпозиции

Если на заряд q действуют несколько зарядов Q_1, Q_2, \dots , то:

$$\vec{F}_{на q} = \vec{F}_{на q}(Q_1) + \vec{F}_{на q}(Q_2) + \dots$$

Сила, действующая на заряд q со стороны системы зарядов Q_1, Q_2, \dots

Сила, которая действовала бы на заряд q со стороны заряда Q_1 , в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots



3. Электрическое поле

— особая материя, возникающая вокруг любых электрических зарядов и действующая электрической силой на любые электрические заряды, попавшие в это поле.

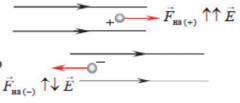
Характеристики электрического поля

\vec{E} — напряженность электрического поля — силовая характеристика поля. Напряженность численно равна силе, которая действовала бы на единицу пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$\vec{F}_{эл на q} = q\vec{E}$$

Электрическая сила, действующая на точечный заряд q со стороны электрического поля.

Напряженность электрического поля, создаваемого в той точке, где находится заряд q , всеми остальными зарядами (кроме q).



Φ — потенциал электрического поля — энергетическая характеристика поля. Потенциал численно равен потенциальной энергии, которую имела бы единица пробного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$W = q \cdot \Phi \Rightarrow A_{1-2}^{эл. над q} = q(\Phi_1 - \Phi_2)$$

Потенциальная энергия заряда q , который находится в точке, где все остальные заряды (кроме q) создают потенциал Φ .

$$A_{1-2}^{эл. над q} = q(\Phi_1 - \Phi_2)$$

Работа электрических сил над зарядом q при его перемещении из точки с потенциалом Φ_1 в точку с потенциалом Φ_2 (потенциалы Φ_1 и Φ_2 создаются всеми зарядами, кроме q)

3.1. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного одним точечным зарядом Q



$$E_M = k \frac{|Q|}{\epsilon r_M^2}$$

Напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q .

$$\Phi_M = k \frac{Q}{\epsilon r_M}$$

Потенциал электрического поля, созданного точечным зарядом Q в точке M , расположенной на расстоянии r_M от Q .

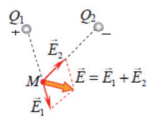
$$\Phi = 0 \text{ на } \infty$$

3.2. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного системой точечных зарядов Q1, Q2, ...

$$\vec{E}_M = \vec{E}_M(Q_1) + \vec{E}_M(Q_2) + \dots$$

Напряженность электрического поля, созданного системой точечных зарядов Q_1, Q_2, \dots в точке M

Напряженность электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 , в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots

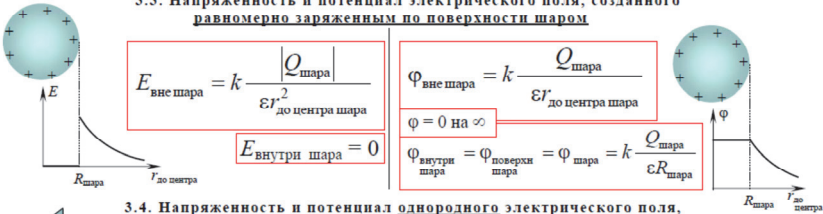


$$\Phi_M = \Phi_M(Q_1) + \Phi_M(Q_2) + \dots$$

Потенциал электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_1 , в отсутствие остальных зарядов Q_2, Q_3, \dots в точке M

Потенциал электрического поля, которое создавал бы в точке M заряд Q_2 , в отсутствие остальных зарядов Q_1, Q_3, \dots

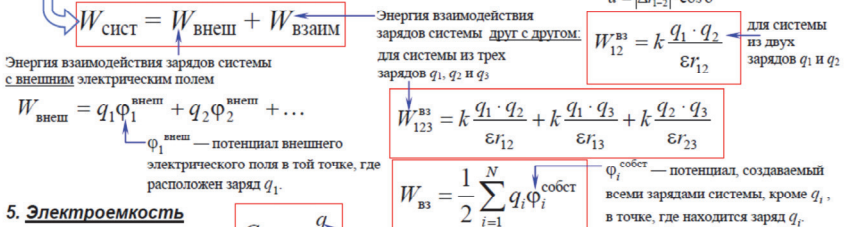
3.3. Напряженность и потенциал электрического поля, созданного равномерно заряженным по поверхности шаром



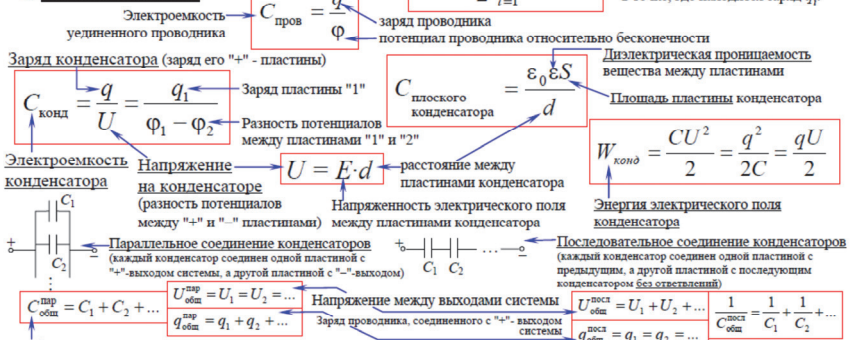
3.4. Напряженность и потенциал однородного электрического поля, (созанного равномерно заряженной плоскостью или плоским конденсатором)



4. Потенциальная энергия системы электрических зарядов



5. Электроемкость



6. Свойства проводника в электрическом поле



VII. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

1. Упорядоченная скорость

Обычно заряженные частицы в веществе движутся беспорядочно — "хаотично". Среди направлений движения этих частиц нет преимущественного — все направления встречается одинаково часто, поэтому через любое сечение проводника проходит в обе стороны в среднем одинаковое число носителей. Среднее значение вектора скорости заряженных частиц при таком движении в любой момент равно нулю: $\vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N} = 0$. Но если, продолжая беспорядочное движение, вся эта масса хаотически движущихся носителей начинает смещаться в какую-либо сторону (это называется "дрейф"), то такое движение считается упорядоченным и образует электрический ток. В этом случае среднее значение вектора скорости уже не равно нулю и называется

скоростью упорядоченного движения носителей: $\vec{v}_{уп} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N}$. $\vec{v}_{уп}$ направлена туда, куда смещается масса

хаотично движущихся частиц - в сторону дрейфа. Можно представить себе ток в проводе так: цилиндрический сосуд, заполненный хаотически движущимися носителями тока, медленно (по сравнению со скоростями теплового движения носителей) перемещается. Скорость сосуда в этой модели - $\vec{v}_{уп}$. Если сосуд мысленно расщепить неподвижной плоскостью $\perp \vec{v}_{уп}$, то через эту плоскость будет переноситься заряд.

2. Сила тока

Модуль силы тока

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

Модуль заряда, перенесенного через поперечное сечение проводника за время t .

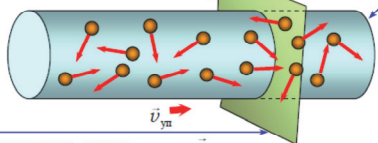
$$I = \text{const}$$

Единица измерения силы тока в СИ:
1 А = 1 Кл/с

Если сила тока меняется ($I \neq \text{const}$), то вычисляют мгновенные значения силы тока (для каждого момента):

$$I = \frac{dq}{dt} = q'(t)$$

dq - заряд, перенесенный через поперечное сечение проводника за такое малое время dt , за которое сила тока не успевает существенно измениться.



3. Плотность тока

— вектор \vec{j} , направление которого совпадает с направлением, в котором переносится положительный заряд:
 $\vec{j} \uparrow \vec{v}_{уп(+)}; \vec{j} \downarrow \vec{v}_{уп(-)}$

Скорость упорядоченного движения носителей тока
Концентрация носителей тока

$$\vec{j} = q_0 n \vec{v}_{уп}$$

Заряд одного носителя.

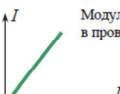
Напряжение (разность потенциалов) между концами проводника $U = \phi_1 - \phi_2$. (если ток течет от точки 1 к точке 2).

Модуль вектора \vec{j}
 $j = \frac{I}{S}$ — сила тока через поперечное сечение S
во всех точках сечения S одинаковы \vec{j}

Площадь поперечного сечения провода
 S
 l — длина провода

Единица измерения сопротивления в СИ: 1 Ом = 1 В/А
Единица измерения удельного сопротивления в СИ: 1 Ом·м

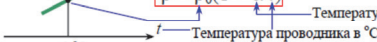
4. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС



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

Модуль силы тока в проводнике

Сопротивление проводника
Удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод
 $\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t)$



Температурный коэффициент сопротивления металла

5. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС

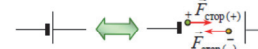
$$I \cdot R = \phi_1 - \phi_2 + \mathcal{E}$$



Сила тока, текущего по участку 1-2
Полное сопротивление участка 1-2
Суммарная ЭДС на участке 1-2

$I > 0$, если ток $\uparrow \uparrow$ обходу 1-2
 $I < 0$, если ток $\downarrow \downarrow$ обходу 1-2

$\mathcal{E} > 0$, если источник направляет ток $\uparrow \uparrow$ обходу 1-2
 $\mathcal{E} < 0$, если источник направляет ток $\downarrow \downarrow$ обходу 1-2



ЭДС источника (электродвижущая сила)
 $\mathcal{E} = \frac{A_{1,2}^{\text{стор}}}{q}$

6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи

$$I = \frac{\sum \mathcal{E}}{R_{\text{полн}}}$$

Сила тока, текущего через каждый элемент цепи

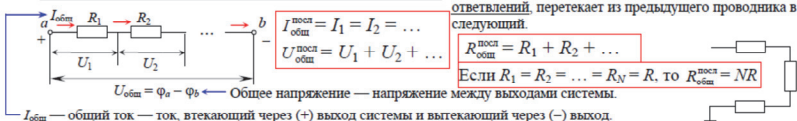
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Суммарная ЭДС цепи
Полное (суммарное) сопротивление цепи



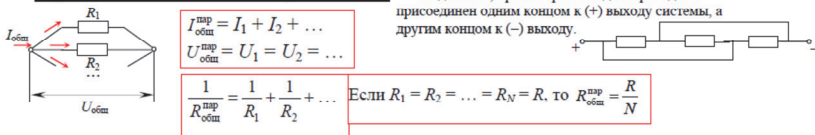
Работа сторонних сил источника над зарядом q при его перемещении через источник в направлении обхода 1-2
Внутреннее сопротивление источника

7. Последовательное соединение проводников



$R_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{I_{\text{общ}}}$ — общее сопротивление — сопротивление резистора, который можно включить один вместо всей системы между ее выходами, при этом $I_{\text{общ}}$ и $U_{\text{общ}}$ не изменятся.

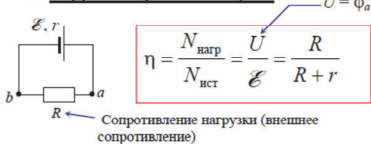
8. Параллельное соединение проводников



9. Работа и мощность электрического тока



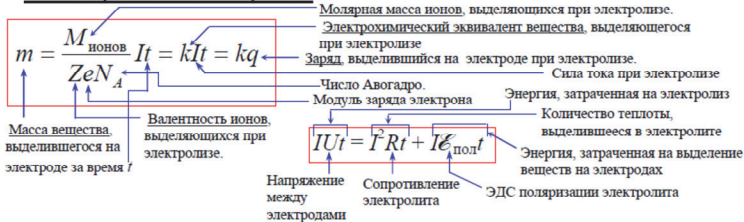
10. КПД электрической цепи



11. Условие выделения максимальной мощности на нагрузке:

При данных значениях r и \mathcal{E} , максимальная мощность выделяется при условии, что $R = r$

12. Закон Фарадея для электролиза



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Контроль самостоятельной работы студента	4
Критерии оценки при выполнении контрольной работы.....	5
Критерии оценки работы студента на практическом занятии	6
Критерии оценки при выполнении лабораторных работ	6
Критерии оценки при выполнении расчетно-графического задания	7
Критерии оценки при выполнении итогового теста (экзамен)	9
Обозначения физических величин, используемых в рабочей тетради, и единицы их измерения	10
Формулы по разделу «Механика. Молекулярная физика. Термодинамика. Электростатика. Законы постоянного тока»	13
Молекулярное строение вещества. Законы идеальных газов	18
Молекулярно-кинетическая теория газов.....	19
Физические основы термодинамики.....	21
Электростатика. Законы постоянного тока	26
Конспекты семинарских занятий, заполняются студентами вместе с преподавателем на занятиях	30
Порядок решения задач.....	31
Содержание РГЗ по физике, 1 семестр	123

Задачи.....	124
Лабораторная работа № 1. Измерение скорости пули с помощью баллистического маятника.....	137
Лабораторная работа № 2. Определение момента инерции маятника Обербека	138
Вопросы на экзамен.....	140
Приложения.....	143

ФИЗИКА

ЧАСТЬ 1

Рабочая тетрадь

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*

Корректор *И.Е. Семенова*

Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 27.11.2017. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Тираж 50 экз.

Уч.-изд. л. 37,2. Печ. л. 20,0. Изд. № 246. Заказ № 1511. Цена договорная

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20