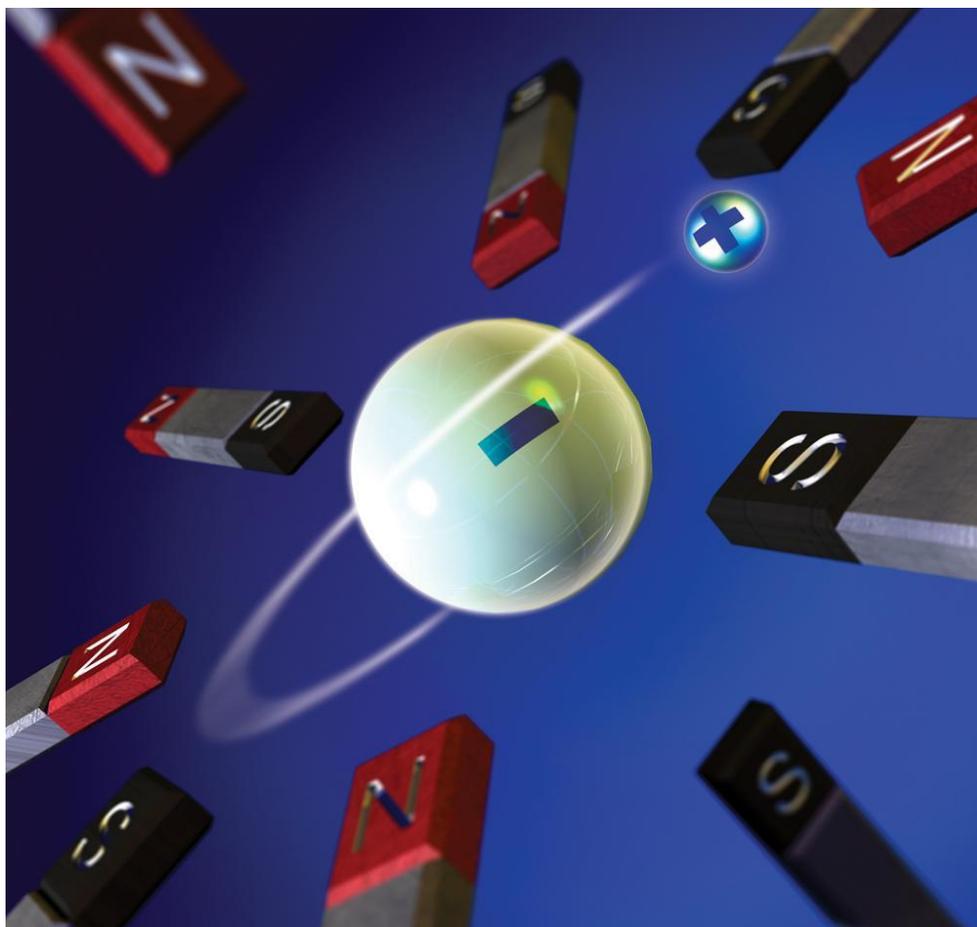


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Любая С. И., Афанасьев М. А.,  
Копылова О. С., Кисюк В. А.**

# **СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ**



**35.03.04 – АГРОНОМИЯ (бакалавр)**

**Ставрополь  
2017**

УДК 53(076)  
ББК 22.3я73  
Л 93

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры общей и теоретической физики

А. Я. Симоновский

ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский Федеральный университет  
Институт математики и естественных наук

Кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры общей и теоретической физики

В. К. Крахоткина

ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский Федеральный университет  
Институт математики и естественных наук

Печатается по рекомендации  
методической комиссии  
Электроэнергетического факультета  
(протокол № 5 от 16 января 2017 г.)

**Любая С. И., Афанасьев М. А., Копылова О. С., Кисюк В. А.** Сборник задач по физике. – Ставрополь:, 2017. – 102с.

Предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлению:35.03.04 – Агрономия (бакалавр).

УДК 53(076)  
ББК 22.3я73

© С.И. Любая, М.А. Афанасьев, О.С. Копылова, В.А. Кисюк.  
© Ставропольский государственный аграрный университет, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Методика решения задач.....	7
Алгоритм решения задач.....	7
Примеры решения задач.....	9
Указания к выполнению расчетно-графических работ.....	16
Пример оформления титульного листа.....	17
Задачи .....	18
<i>Приложение 1</i> Перечень основных таблиц физических величин.....	58
<i>Приложение 2</i> Некоторые физические формулы.....	63
<i>Приложение 3</i> Глоссарий.....	75
Литература.....	100

## Введение

Решение физических задач является необходимой практической основой при изучении курса физики. В гротескной формулировке это утверждение выглядит как афоризм: «Физика – это задачи!», что способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, обуславливающие то или иное явление, отвлекаясь от случайных и несущественных деталей. Благодаря этому решение задач приближается к модели научного физического исследования.

При изучении студентами основного курса физики в вузе базой являются знания, полученные ими в школе. Изучение физики включает три основных компонента: освоение теории, овладение методами физического экспериментирования, приобретение навыков решения задач. Каждый компонент этой системы необходим и важен, все они взаимосвязаны. Однако, овладевая методами постановки, решения физических задач, учащийся получает уникальную возможность проверить глубину понимания смысла физических понятий, принципов, законов, оценить и развить умения и навыки практического применения знаний. Решение задач это один из надежных способов углубления понимания физических теорий. Как известно, человек по-настоящему овладевает тем, что он умеет применять.

Воспитательное воздействие задач заключается в том, что они являются действенным средством воспитания трудолюбия, настойчивости, воли и характера учащихся. Решение задач – нелегкий труд, требующий большого напряжения сил, он может нести с собой и творческую радость успехов, любовь к предмету и горечь разочарований, неверие в свои силы, потерю интереса к физике. Решение задач – чуткий барометр, по которому преподаватель может постоянно следить за успехами и настроением студентов и эффективностью своей учебно-воспитательной работы.

## 1. Цель дисциплины

Целями освоения дисциплины физика являются: освоение знаний о механических, тепловых, электромагнитных и квантовых явлениях; величинах, характеризующих эти явления; законах, которым они подчиняются; методах научного познания природы.

Овладение умениями проводить наблюдения природных явлений, описывать и обобщать результаты наблюдений, использовать простые измерительные приборы; применять полученные знания для объяснения принципов действия технических устройств; для решения физических задач.

Развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в ходе решения физических задач и выполнения лабораторных работ; способности к самостоятельному приобретению новых знаний в соответствии с жизненными потребностями и интересами.

Воспитание убежденности в необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОПОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Содержание компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОК-7	способность к и самоорганизации самообразованию	Знать: необходимые условия для своего развития
		Уметь: определить цели и задачи самообразования; условия саморазвития
		Владеть: навыками оценивания уровня саморазвития
ОПК-2	способность использовать основные законы естественных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать: основные законы физики, методы экспериментального исследования
		Уметь: применять на практике основные законы физики для использования в разных видах профессиональной деятельности, для обработки результатов физического эксперимента
		Владеть: навыками оценивания результатов своей профессиональной деятельности в соответствии с основными законами физики

## 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.В.ОД. 2 «Физика» является дисциплиной вариативной части цикла обязательных дисциплин ФГОС ВО.

Изучение дисциплины осуществляется:

- студентами очной формы обучения - в 1 семестре;
- студентами заочной формы обучения - на 1 курсе.
- Для освоения дисциплины «Физика» студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения дисциплин «математика, физика, химия (школьный курс)».
- Освоение дисциплины «Физика» является необходимой основой для последующего изучения следующих дисциплин:

история;  
иностраный язык;  
информатика;  
математика;  
агрометеорология;  
генетика;  
физиология и биохимия растений;  
основы научных исследований в агрономии;  
химия неорганическая и аналитическая;  
химия органическая;  
химия физическая и коллоидная;  
русский язык и культура речи;  
экология;  
экология агроландшафтов;  
стандартизация и сертификация продукции растениеводства;  
стандартизация и сертификация овощных, плодовых культур и винограда;  
лесомелиорация;  
основы лесоводства  
основы сельскохозяйственного производства;  
луговодство  
грибоводство;  
пчеловодство.

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Алгоритм решения задач

Любая задача характеризуется необходимостью преобразования некоторой исходной ситуации в ситуацию, называемую решением. При этом обычно бывают известны признаки исходной ситуации (условие задачи) и признаки ситуации – решения (что требуется). Искомым же является содержание процесса преобразования одной ситуации в другую.

Если задача сформулирована, то процесс решения определяется поиском или реализацией последовательного ряда средств решения: метода, способа, алгоритма и осуществление решения по данному алгоритму. Существует большое количество типов задач, множество классификаций их по различным основаниям. По способу выражения условия физические задачи делятся на четыре основных вида: текстовые, экспериментальные, графические и задачи – рисунки. Каждый из них, в свою очередь, разделяется на количественные (или расчетные) и качественные (или задачи – вопросы). В то же время основные виды задач можно разделить по степени трудности на легкие и трудные, тренировочные и творческие задачи и другие типы.

При решении задач – вопросов требуется (без выполнения расчетов) объяснить то или иное физическое явление или предсказать, как оно будет протекать в определенных условиях. Отсутствие вычислений при решении таких задач позволяет сосредоточить внимание на физической сущности. Необходимость обоснования ответов на поставленные вопросы приучает рассуждать, помогает глубже осознать сущность физических законов. К этим задачам тесно примыкают задачи – рисунки. В них требуется устно дать ответ на вопрос или изобразить новый рисунок, являющийся ответом на вопрос задачи. Решение таких задач способствует воспитанию внимания, наблюдательности и развитию графической грамотности.

После получения ответа задачи его нужно проверить. Во-первых, нужно обратить внимание на реальность ответа. В некоторых случаях при решении задачи студент получает результаты, явно несоответствующие условию задачи, а иногда противоречащие здравому смыслу. Происходит это оттого, что в процессе вычислений он теряет связь с конкретным условием задачи. При этом нелепость ошибочно полученного результата остается вне поля его зрения. Во-вторых, правильность решения задачи можно проверить, выполнив операции с наименованиями единиц физических величин и сравнив ответ с тем наименованием, которое должно получиться в задаче.

Например, мы определили формулу для определения осадки корабля:

$$[h] = \frac{P}{g \cdot S \cdot \rho}.$$

Для проверки решения вместо букв необходимо подставить единицы физических величин:

$$[h] = \frac{H}{\frac{H}{кг} \cdot \frac{кг}{м^3} \cdot м^2} = м.$$

В результате получим единицу измерения «м» (метр), т.е. наименование единицы длины, что и соответствует условию задачи. Если же получаем наименование, не соответствующее искомой величине, то это свидетельствует о неправильности решения задачи.

## Примеры решения задач

**Задача 1.** Кинематическое уравнение движения точки вдоль оси  $X$  имеет вид  $x = 2 + t - 0,5t^2$ . Найти координату, скорость и ускорение точки в момент времени  $t = 2$  с.

Дано:	Решение:
$x = 2 + 2t - 0,5t^2$	Скорость есть первая производная от координаты по
$t = 2$ с	времени $v = \frac{dx}{dt} = 1 - 0,15t^2$ .
$x - ?$	Ускорение первая производная от скорости по времени
$v - ?$	
$a - ?$	
$a = -0,3t$ .	

Подставляя численные значения, получим:

$$x = 2 + 2 - 0,5 \cdot 8 = 0$$

$$v = 1 - 0,15 \cdot 4 = 4 \text{ (м/с)}$$

$$a = -0,3 \cdot 2 = -0,6 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Ответ:  $x = 0$ ,  $v = 4$  м/с,  $a = -0,6$  (м/с<sup>2</sup>).

**Задача 2.** Движение точки по окружности радиуса  $0,1$  м описывается уравнением  $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$ . Для момента времени  $t = 2$  с определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки.

Дано:	Решение:
$\varphi = 10 + 12t - 2t^2$	По определению угловая скорость есть первая
$R = 0,1$ м	производная от угла поворота по времени
$t = 4$ с	$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 12 - 4t$ .
$a_\tau - ?$	Угловое ускорение производная от угловой скорости
$a_n - ?$	
$a - ?$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -4$ .

Тангенциальное ускорение связано с угловым ускорением  $a_\tau = \varepsilon \cdot R$ , а нормальное ускорение  $a_n = \omega^2 \cdot R$ .

$$\text{Полное ускорение точки } a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

Подставляя численные значения найдем:

$$a_\tau = -4 \cdot 0,1 = -0,4 \text{ (м/с}^2\text{)}, a_n = (12 - 16)^2 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

$$a = \sqrt{2,56 + 0,16} = 1,65 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

$$\text{Ответ: } a_\tau = -0,4 \text{ м/с}^2, a_n = 1,6 \text{ м/с}^2, a = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

**Задача 3.** Наклонная плоскость длиной 2 м образует угол  $25^\circ$  с горизонтом. Тело, двигаясь равноускоренно, соскальзывает с этой плоскости за 2 с. Определить коэффициент трения тела о плоскость.

Дано:

$$l = 2 \text{ м}$$

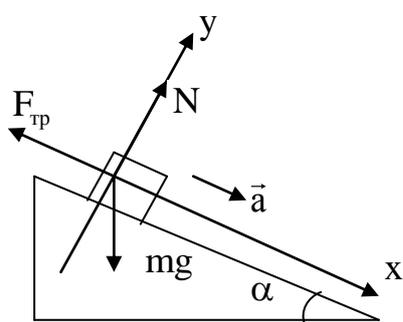
$$\alpha = 25^\circ$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$v_0 = 0$$

$$\mu - ?$$

Решение:



На тело действуют сила тяжести  $mg$ , сила реакции опоры  $N$ , сила трения  $F_{\text{тр}}$ . По второму закону Ньютона

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$$

В проекции на оси координат получим

$$ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}$$

$$0 = N - mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Решая полученную систему уравнений, найдем ускорение тела

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

При равноускоренном движении без начальной скорости  $l = \frac{a \cdot t^2}{2}$

или  $l = \frac{g \cdot t^2 \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{2}$ . Отсюда  $\mu = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2l}{g \cdot t^2 \cdot \cos \alpha}$ . Подставляя

численные значения найдем  $\mu = 0,466 - \frac{2 \cdot 2}{10 \cdot 4 \cdot 0,9} = 0,35$ .

Ответ:  $\mu = 0,35$ .

**Задача 4.** В баллоне объемом 25 л находится водород при температуре 290 К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне уменьшилось на 0,4 МПа. Определить массу израсходованного водорода

Дано:

$$V = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$T = 290 \text{ К}$$

$$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$\Delta p = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\Delta m = ?$$

Решение:

Массу израсходованного водорода можно найти по формуле  $\Delta m = m_1 - m_2$ . Массу водорода в баллоне можно найти из уравнения Менделеева – Клапейрона

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T} \text{ и тогда}$$

$$\Delta m = \frac{p_1 \cdot V \cdot M}{R \cdot T} - \frac{p_2 \cdot V \cdot M}{R \cdot T} = \frac{V \cdot M}{R \cdot T} \cdot \Delta p. \text{ После вычислений найдем}$$

$$\Delta m = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^5}{8,31 \cdot 290} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}.$$

Ответ:  $\Delta m = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ .

**Задача 5.** Кислород при неизменном давлении 80 кПа нагревается так, что его объем увеличивается от 1 м<sup>3</sup> до 5 м<sup>3</sup>. Определить: изменение внутренней энергии кислорода; работу совершенную им и количество теплоты, переданного газу.

Дано:	Решение:
$p = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$	Работа газа при изобарическом расширении
$V_1 = 1 \text{ м}^3$	определяется по формуле $A = p(V_2 - V_1)$ .
$V_2 = 5 \text{ м}^3$	Изменение внутренней энергии
$A - ?$	$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R(T_2 - T_1)$ . Выражая температуру газа из
$? U - ?$	уравнения Менделеева-Клапейрона $T = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot m}$
$Q - ?$	

получим,  $\Delta U = \frac{i}{2} \cdot p \cdot (V_2 - V_1)$ . Разделив полученные равенства, найдем

$$\frac{A}{\Delta U} = \frac{2}{i} \Rightarrow \Delta U = \frac{i \cdot A}{2}. \text{ Из первого начала термодинамики } Q = \Delta U + A$$

$$\text{будем иметь } Q = \frac{i+2}{2} \cdot A.$$

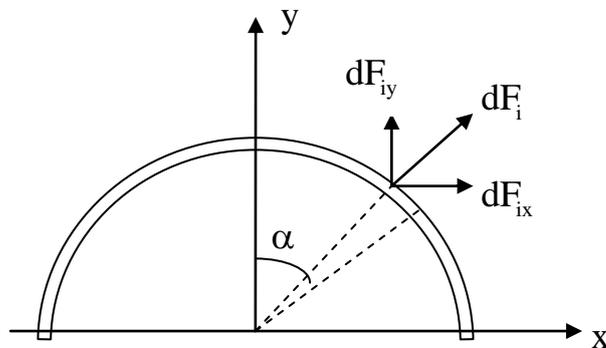
$$\text{Ответ: } A = 8 \cdot 10^5 \cdot 4 = 32 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}, \quad \Delta U = 32 \cdot 2,5 \cdot 10^5 = 80 \cdot 10^5 \text{ (Дж)},$$

$$Q = 112 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

**Задача 6.** По тонкому проводу в виде кольца радиусом 20 см течет ток 100 А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией 0,02 Тл. Определить силу, растягивающую кольцо.

Дано:	Решение:
$R = 0,2 \text{ м}$	Рассечем кольцо
$I = 100 \text{ А}$	на две равные части и
$B = 0,02 \text{ Тл}$	найдем силу,
$F - ?$	действующую на одну
	из них. Выделим на
	проводе элемент длиной $d\ell = R \cdot d\alpha$ .

На этот элемент по закону Ампера будет действовать сила



$$d\vec{F}_i = B \cdot I \cdot d\ell = B \cdot I \cdot R \cdot d\alpha.$$

И тогда можно утверждать, что  $\vec{F} = \sum d\vec{F}_i$ .

Разложим вектор  $d\vec{F}_i$  на составляющие  $dF_{ix}$  и  $dF_{iy}$  и тогда в силу симметрии задачи, можно утверждать, что  $\sum d\vec{F}_{ix} = 0$  и  $\vec{F} = \sum d\vec{F}_{iy}$ . Так как все составляющие  $d\vec{F}_{iy}$  направлены в одну сторону, то геометрическое сложение можно заменить алгебраическим и тогда

$$F = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} B \cdot I \cdot R \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha \Rightarrow F = B \cdot I \cdot R \left( \cos\frac{\pi}{2} - \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right) = 2B \cdot I \cdot R.$$

Вычисляя, найдем  $B = 2 \cdot 0,02 \cdot 100 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ (Н)}$ .

Ответ:  $F = 0,8 \text{ Н}$ .

**Задача 7.** Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 400 В, попадает в однородное магнитное поле с индукцией 0,01 Тл. Определить: радиус окружности, по которой будет двигаться электрон; период обращения электрона. Вектор скорости электрона перпендикулярен линиям индукции магнитного поля.

<p>Дано:</p> <p><math>e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}</math></p> <p><math>m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}</math></p> <p><math>U = 400 \text{ В}</math></p> <p><math>B = 0,01 \text{ Тл}</math></p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p><math>R - ?</math></p> <p><math>T - ?</math></p>	<p>Решение:</p> <p>На электрон, движущийся в магнитном поле, будет действовать сила Лоренца <math>F = e \cdot v \cdot B</math>, но по второму закону Ньютона <math>F = ma = \frac{mv^2}{R}</math> и, тогда,</p> $\frac{mv^2}{R} = e \cdot v \cdot B \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{e \cdot B}.$
---	---

Кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов, определяется равенством  $\frac{mv^2}{2} = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e \cdot U}{m}}$  и тогда

$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m \cdot U}{e}}$ . Для определения периода обращения воспользуемся

формулой  $t = \frac{S}{v}$  и, следовательно,  $T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot m}{e \cdot B}$ .

Вычисляя, найдем  $R = \frac{1}{0,01} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 400}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ м},$

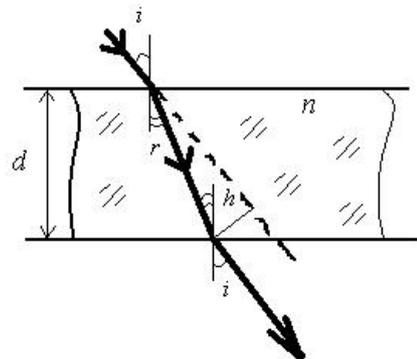
$T = \frac{6,28 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2}} = 3,57 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}.$

Ответ:  $R = 6,75 \text{ мм}, T = 3,57 \text{ нс}.$

**Задача 8.** Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку ( $n = 1,6$ ) под углом  $i = 45^\circ$ . Определить толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещен относительно продолжения падающего луча на расстояние  $h = 2 \text{ см}.$

Дано:	СИ	Решение:
$n = 1,6$	0,02 м	
$i = 45^\circ$		
$h = 2 \text{ см}$		
$d = ?$		

Вышедший из пластинки луч будет параллелен падающему (ход лучей показан на рис.). Из рисунка следует, что



$$\frac{d}{\cos r} = \frac{h}{\sin(i - r)},$$

откуда  $d = \frac{h \cos r}{\sin(i - r)} = \frac{h \cos r}{\sin i \cos i - \cos i \sin r} \cdot (1)$

Согласно закону преломления,  $\frac{\sin i}{\sin r} = n$ , откуда  $\sin r = \frac{\sin i}{n}$ . Подставив это

значение в формулу (1), а также выразив косинус угла через синус, найдем искомую толщину пластинки:

$$d = \frac{h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\sin i (\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \sqrt{1 - \sin^2 i})}$$

Ответ:  $d = 5,58$  см.

**Задача 9.** Определить разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, если наименьшая толщина кристаллической пластинки в четверть волны для  $\lambda_0 = 530$  нм составляет 13,3 мкм.

Дано: $\lambda_0 = 530$ нм $d_{\min} = 13,3$ мкм <hr style="width: 100%;"/> $n_0 - n_e = ?$	СИ $5,3 \cdot 10^{-7}$ м $1,33 \cdot 10^{-5}$ м	Решение:  Пластинкой в четверть волны называется вырезанная параллельно оптической оси пластинка, для которой оптическая разность хода
--	---	--

$$\Delta = (n_0 - n_e)d = \pm \left( m + \frac{1}{4} \right) \lambda_0, \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

причем знак плюс соответствует отрицательным кристаллам, минус – положительным. При прохождении через эту пластинку в направлении, перпендикулярном оптической оси, обыкновенный и необыкновенный лучи, не изменяя своего направления, приобретают разность хода, равную  $\frac{\lambda}{4}$ . Минимальная толщина пластинки в четверть волны соответствует

$$m = 0. \text{ Тогда } d_{\min} (n_0 - n_e) = \frac{\lambda}{4}, \text{ откуда } n_0 - n_e = \frac{\lambda_0}{4d_{\min}}.$$

Ответ:  $n_0 - n_e = 0,01$ .

## **Указания к выполнению расчетно-графических работ**

Каждый студент выполняет одну расчетно-графическую работу. Задачи должны иметь те номера, под которыми они стоят в бланке задания. Условия задач необходимо переписывать полностью и каждую задачу начинать с новой страницы. Работы выполнять чернилами синего цвета. Решение задач должно быть кратко обосновано с использованием законов и положений физики. При необходимости решение следует пояснять чертежом, выполненным карандашом с помощью циркуля и линейки. Обозначения на чертеже и в решении должны соответствовать и подробно поясняться.

Как правило, задачи решаются в общем виде, числовые значения подставляются только в окончательную формулу. Если расчетная формула не выражает общеизвестный физический закон, ее необходимо вывести, поясняя все физические величины. Вычисления необходимо производить в системе СИ. В конце работы перечисляется используемая литература с обязательным указанием авторов учебников и год их издания.

Во время экзаменационной сессии при собеседовании по расчетно-графической работе вам предложат пояснить ход решения задач, физический смысл встречающихся в решениях величин, применяемые при вычислениях единицы и пр. Неудовлетворительные ответы на вопросы влияют на исход зачета и допуск к экзамену. Получив проверенную работу (как допущенную, так и не допущенную к собеседованию), студент обязан тщательно изучить все замечания и внести исправления. Тетрадь с выполненной контрольной работой остается на кафедре и хранится в течение 3 лет.

## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

ФГБОУ ВО  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКИ

# РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

Вариант №

Выполнил: студент \_\_\_ группы \_\_\_ курса  
\_\_\_\_\_ факультета

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Проверил: \_\_\_\_\_

Ставрополь 20\_\_ г.

## ЗАДАЧИ

### Вариант 1

1. Движение материальной точки задано уравнениями:  $y = 1 + 2t$ ,  $x = 2 + t$ .  
Написать уравнение траектории  $y = y(x)$  и построить траекторию на плоскости  $XOY$ . Указать положения точки при  $t = 0$ , направление и скорость движения.
2. Трактор, сила тяги которого на крюке 15 кН, сообщает прицепу ускорение  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Определить ускорение, при котором тому же прицепу будет сообщено тяговое усилие 60 кН.
3. Дальность полёта тела, брошенного в горизонтальном направлении со скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$ , равна высоте бросания. Определить высоту  $h$ , с которой было брошено тело.
4. Найти диаметр молекул водорода, если для водорода при нормальных условиях длина свободного пробега молекул  $l = 112 \text{ нм}$ .
5. Термопара, сопротивление которой 6 см позволяет определить минимальное изменение температуры  $0,006 \text{ град}$ . Найти сопротивление гальванометра чувствительностью  $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ а}$ , подключенного к термопаре. Постоянная термопары  $0,05 \text{ мВ/град}$ .
6. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом с диэлектрической проницаемостью равной 7. Расстояние между пластинами 5 мм, разность потенциалов 1000 В. Определить: 1) напряженность электрического поля в стекле, 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора, 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.
7. Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора магнитной индукции, индукцию и напряженность магнитного поля на оси тороида без сердечника, если по обмотке тороида, содержащей 200 витков, протекает ток 2 А. Внешний диаметр тороида 60 см, внутренний диаметр 40 см.

8. Какую наибольшую мощность можно получить от генератора с напряжением 200 В и внутренним сопротивлением 30 Ом? Какую мощность можно получить, если КПД того же генератора 80%? Если максимально допустимый ток составляет 0,1 от тока короткого замыкания, то какую наибольшую мощность можно получить от генератора, не опасаясь его порчи?
9. Лампа, в которой светящимся телом служит раскаленный шарик диаметром 3 мм дает силу света 85 Кд. Найти яркость лампы, если сферическая колба лампы сделана: а) из прозрачного стекла, б) из матового стекла. Диаметр колбы лампы 6 см.
10. Освещенность плоской поверхности при угле падения световых лучей 60° равна 50 лк. Определить освещенность этой поверхности при угле падения лучей 30°.

### Вариант 2

1. При аварийном торможении автомобиль, движущийся со скоростью 72 км/ч, остановился через 5 с. Найти тормозной путь автомобиля. Построить график зависимости пути от скорости  $s = f(v_0)$ .
2. Деревянный брусок массой 2 кг тянут равномерно по деревянной доске, расположенной горизонтально, с помощью пружины с жесткостью 100 Н/м. Коэффициент трения равен 0,3. Найти удлинение пружины.
3. Две пружины жесткостью  $k_1=1$  кН/м и  $k_2= 3$  кН/м скреплены параллельно. Определить потенциальную энергию данной системы при абсолютной деформации  $\Delta l = 5$  см.
4. Найти температуру газа при давлении 100 кПа и концентрации молекул  $10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Построить график зависимости давления от концентрации  $p = f(n)$ .
5. Электродвижущая сила батареи равна 6 В и создает максимальный ток 3 А. Найти наибольшее количество теплоты, которое может быть выделено во внешнем сопротивлении в единицу времени.

6. Найти падение потенциала на медном проводе ( удельное сопротивление  $\approx 1,78 \cdot 10^{-6}$  Ом·см) длиной 500 м и диаметром 2 мм, если ток в нем 2 А.
7. Элемент, имеющий ЭДС 1,1 В и внутреннее сопротивление 1 Ом, замкнут на внешнее сопротивление 9 Ом. Найти ток в цепи, падение потенциала во внешней цепи и падение потенциала внутри элемента. С каким КПД работает элемент?
8. Обмотка тороида, имеющего стальной сердечник с узким вакуумным зазором, содержит 1000 витков. По обмотке течет ток 1 А. При какой длине вакуумного зазора индукция магнитного поля в нем будет равна 0,5 Тл? Длина тороида по средней линии равна 1 м.
9. Лист бумаги площадью  $300 \text{ см}^2$ , освещается лампой с силой света 100 Кд, причем на лист падает 0,05 часть всего посылаемого лампой света. Найти освещенность листа бумаги.
10. Докажите, что если монохроматический пучок света падает на грань призмы с показателем преломления  $n$  под малым углом, то при малом преломляющем угле  $A$  призмы угол отклонения  $\varphi$  лучей не зависит от угла падения и равен  $A(n-1)$ .

### Вариант 3

1. Поезд через 10 с после начала движения приобретает скорость 0,6 м/с. Определить время от начала движения, при котором скорость поезда станет равна 3 м/с.
2. Найти удлинение буксирного троса с жесткостью 100 кН/м при буксировке автомобиля массой 2 т с ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Трением пренебречь. Построить график зависимости удлинения троса от ускорения:  $\Delta l = f(a)$ .
3. Из колодца глубиной 10 м поднимают ведро с водой массой 8 кг на тросе, каждый метр которого имеет массу 400 г. Определить работу, которая совершается в результате подъёма.

4. В баллоне вместимостью 10 л находится газ при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ . Вследствие утечки газа давление в баллоне понизилось на 4,2 кПа. Определить количество молекул, которое вышло из баллона, если температура осталась неизменной.
5. Обмотка соленоида состоит из  $N$  витков медной проволоки, поперечное сечение которой  $1\text{ мм}^2$ . Длина соленоида 25 см, его сопротивление 0,2 Ом. Найти индуктивность соленоида.
6. Два точечных заряда величинами  $+7,5 \cdot 10^{-9}$  Кл и  $-14,7 \cdot 10^{-9}$  Кл расположены на расстоянии 5 см. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и 4 см от отрицательного заряда.
7. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму правильного шестиугольника. Во сколько раз изменилась индукция магнитного поля в центре контура?
8. Сила тока в цепи с индуктивностью 1 Гн в течение 0,69 с уменьшается до 0,001 первоначального значения. Определить сопротивление цепи.
9. На дно сосуда, наполненного водой до высоты 0,1 м, помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший диаметр должна иметь эта пластинка чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды.
10. Над центром круглого стола диаметром 2 м на высоте 2 м висит лампа силой света 200 Кд. Определить освещенность стола на его краях.

#### Вариант 4

1. Скорость поезда за 20 с уменьшилась с 72 до 54 км/ч. Написать формулу зависимости скорости от времени  $v_x(t)$  и построить график этой зависимости.

2. Определить время аварийного торможения для остановки автобуса, который двигался со скоростью 12 м/с. Принять коэффициент трения равным 0,4 в условиях торможения.
3. Стационарный искусственный спутник движется по окружности в плоскости земного экватора, оставаясь все время над одним и тем же пунктом земной поверхности. Определить угловую скорость спутника и радиус его орбиты.
4. Определить количество вещества содержащегося в газе, если при давлении 200 кПа и температуре  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  его объём равен 40 л. Построить график зависимости количества вещества от давления  $\nu = f(p)$ .
5. В плоском горизонтально расположенном конденсаторе заряженная капелька ртути находится в равновесии при напряженности электрического поля 60 КВ/н. Заряд капли  $2,4 \cdot 10^{-9}$  СГС. Найти радиус капли R.
6. Электростатическое поле создается сферой радиусом 5 см, равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $1 \cdot 10^{-9}$  Кл/м<sup>2</sup>. Определить разность потенциалов между двумя точками, находящимися на расстояниях 10 см и 15 см от центра сферы.
7. На стальное кольцо намотано в один слой 500 витков провода. Средний диаметр кольца 25 см. Определить индукцию магнитного поля встали при силе тока в обмотке равной 2,5 А.
8. Рамка площадью 200 см<sup>2</sup> равномерно вращается с частотой  $10\text{ с}^{-1}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией 0,2 Тл. Каково среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется от нуля до максимального значения?
9. При прохождении света через слой 10% раствора сахара толщиной 15 см плоскость концентрации поворачивается на угол  $13^{\circ}$ . В другом растворе в

слое толщиной 12 см площадь поляризации повернулась на угол  $7,2^\circ$ .  
Найти концентрацию второго раствора сахара.

10. Какую освещенность создает лампа силой света 120 Кд на расстоянии 2м? Считать лампу точечным источником света.

### Вариант 5

1. При скорости  $v_1 = 15 \text{ км/ч}$  тормозной путь автомобиля равен  $s_1 = 1,5 \text{ м}$ .  
Определить тормозной путь  $s_2$  при скорости  $v_2 = 90 \text{ км/ч}$ . Считать, что ускорение в обоих случаях одно и то же.

2. На горизонтальной дороге автомобиль делает поворот радиусом 6 м.  
Определить наибольшую скорость, которую может развить автомобиль, чтобы его не занесло, если коэффициент трения скольжения колёс о дорогу равен 0,4. Также рассчитать аналогичную скорость для зимних условий, когда коэффициент трения станет меньше в 4 раза.

3. Шар массой 2 кг движется со скоростью 3 м/с и сталкивается с шаром массой 1 кг, движущимся со скоростью 4 м/с. Определить скорость шаров после прямого центрального удара. Удар считать абсолютно упругим.

4. Найти массу природного горючего газа объёмом  $64 \text{ м}^3$ , считая, что объём указан при нормальных условиях. Молярную массу природного горючего газа считать равной молярной массе метана ( $\text{CH}_4$ ). Построить график зависимости массы вещества от давления  $m = f(p)$ .

5. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложено разность потенциалов 500 В. Площадь пластин  $200 \text{ см}^2$ , расстояние между ними 1,5 мм. Пластины раздвинули до расстояния 15 мм. Найти энергии конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник тока перед раздвижением: 1) отключался, 2) не отключался.

6. Вольтметр включен в цепь последовательно с сопротивлением  $R_1$  и показал напряжение 198 В, а при включении последовательно с сопротивлением  $R_2 = 2R_1$  напряжение 180 В. Определить сопротивление  $R_1$  и напряжение в сети, если сопротивление вольтметра 900 Ом.

7. В однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл движется протон по винтовой линии с радиусом 10 см и шагом 60 см. Определить кинетическую энергию протона.
8. Электромагнит изготовлен в виде тороида со средней длиной 51 см и имеет вакуумный зазор длиной 2 мм. Обмотка тороида равномерно распределена по его длине. Во сколько раз уменьшится индукция магнитного поля в зазоре, если его длину увеличить в три раза. Магнитная проницаемость сердечника равна 800 и считается постоянной.
9. Горизонтальный луч света падает на вертикально расположенное зеркало. Зеркало затем поворачивают на угол  $\alpha$  около вертикальной оси. На какой угол  $\beta$  повернется отраженный луч.
10. На расстоянии 5 м от источника света находится квадрат со стороной 10 см, поставленный перпендикулярно падающим лучам. Какой световой поток падает на этот квадрат, если сила света источника равна 800 Кд.

### Вариант 6

1. Скорость точек рабочей поверхности наждачного круга диаметром 300 мм не должна превышать  $v = 35 \text{ м/с}$ . Определить, допустима ли установка круга на вал электродвигателя, рассчитав скорость для условий, в которых совершается 2800 об/мин. Построить график зависимости  $v = f(\omega)$ .
2. Найти потенциальную и кинетическую энергию тела массой 3 кг, падающего свободно с высоты 5 м, на расстоянии 2 м от поверхности Земли.
3. Шар массой 6 кг движется со скоростью 2 м/с и сталкивается с шаром массой 4 кг который движется со скоростью 5 м/с. Найти скорость шаров после прямого центрального удара. Шары считать абсолютно упругими.
4. Сосуд емкостью 4 л содержит 0,6 г некоторого газа под давлением 0,2 МПа. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа.

5. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $2 \cdot 10^6$  Тл, двигается по круговой орбите радиусом 15 см. Определить магнитный момент эквивалентного кругового тока.
6. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии 4 мм от него. Какая сила действует на электрон, если по проводнику пустить ток 5 А?
7. Найти напряженность магнитного поля на оси кругового контура на расстоянии 3 см от его плоскости. Радиус контура 4 см, ток в контуре 2 А.
8. В плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого 5 мм вдвигают стеклянную пластину с постоянной скоростью 50 мм/сек. Ширина пластины 4,5 мм. Электродвижущая сила батареи, подключенной к конденсатору 220 В. Диэлектрическая постоянная стекла пластины равна 7. Определить силу тока в цепи батареи.
9. Найти освещенность на поверхности Земли, создаваемую нормально падающими лучами Солнца. расстояние от Земли до Солнца 150 мил. км. Яркость Солнца  $1,2 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>, его радиус  $6,96 \cdot 10^5$  км.
10. Определите длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядка составляет  $12^\circ$ .

### Вариант 7

1. Одним из простейших механизмов, используемых на строительных работах является лебёдка. Определить частоту вращения барабана лебёдки  $n$  диаметром 16 см при подъёме груза со скоростью 0,4 м/с. Построить график зависимости  $n = f(v)$ .
2. На нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены грузы массами 0,3 кг и 0,34 кг. За 2 с после начала движения каждый прошёл

путь 1,2 м. Определить ускорение свободного падения, исходя из данных опыта.

3. Автомобиль массой 10 т движется с выключенными двигателями под уклон по дороге, составляющей с горизонтом угол, равный  $4^\circ$ . Найти работу силы тяжести на пути 100 м.

4. Воздух объёмом  $1,45 \text{ м}^3$ , находящийся при температуре  $20^\circ\text{C}$  и давлении 100 кПа, превратили в жидкое состояние. Определить объём, который займёт жидкий воздух, если его плотность  $861 \text{ кг/м}^3$ ). Построить график зависимости объёма воздуха от температуры  $V = f(T)$ .

5. Элемент, имеющий ЭДС 1,1 В и внутреннее сопротивление 1 Ом, замкнут на внешнее сопротивление 9 см. Найти ток в цепи, падение потенциала во внешней цепи и падение потенциала внутри элемента. С каким КПД работает элемент?

6. С какой силой на единицу площади отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости? Поверхностная плотность заряда на плоскостях  $0,3 \text{ мКл/м}^2$ .

7. Чугунное кольцо имеет воздушный зазор длиной 5 мм. Длина средней линии кольца равна 1 м. Сколько витков содержит обмотка на кольце, если при силе тока 4 А индукция магнитного поля в воздушном зазоре равна  $0,5 \text{ Тл}$ ?

8. По обмотке длинного соленоида со стальным сердечником течет ток 2 А. Определить объемную плотность энергии магнитного поля в сердечнике, если число витков на каждом сантиметре длины соленоида равна  $7 \text{ см}^{-1}$ .

9. Спираль электрической лампочки с силой света 1000 Кд заключена в матовую сферическую колбу диаметром 20 см. Найти световой поток, излучаемый этим источником света, его светимость и яркость. Найти освещенность, светимость и яркость экрана, на который падает 10% указанного светового потока источника света. Коэффициент отражения

света поверхностью экрана равен 80%, площадь экрана  $0,25 \text{ м}^2$ . Считать, что поверхность рассеивает свет по закону Ламберта.

10. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$  падает на длинную прямоугольную щель шириной  $a = 12 \text{ мкм}$  под углом  $\alpha_0 = 45^\circ$  к ее нормали. Определите угловое положение первых минимумов, расположенных по обе стороны центрального френгофорова максимума.

### Вариант 8

1. Период вращения молотильного барабана комбайна «Нива» диаметром 600 мм равен 0,046 с. Определить скорость точек, лежащих на ободе барабана, и их центростремительное ускорение. Построить график зависимости скорости от периода  $v = f(T)$ .

2. Автомобиль движется по мосту. Определить с какой скоростью он должен проходить середину выпуклого моста радиусом 40 м, чтобы центростремительное ускорение равнялось ускорению свободного падения. Построить график зависимости скорости от радиуса  $v = f(R)$ .

3. Максимальная сила натяжения, которую выдерживает трос, не разрываясь, равна 15 кН. Определить предельное ускорение при подъеме груза массой 500 кг, при котором возникнет аварийная ситуация.

4. При изотермическом расширении водорода массой 1 г, объем газа увеличился в два раза. Определить работу  $A$  расширения совершенную газом, если температура газа  $T = 300 \text{ К}$ . Определить теплоту  $Q$ .

5. Катушка длиной 20 см и диаметром 3 см имеет 400 витков. По катушке идет ток 2 А. Найти индуктивность катушки и магнитный поток пронизывающий площадь ее поперечного сечения.

6. Определите напряженность электрического поля в алюминиевом проводнике объемом  $10 \text{ см}^3$ , если при прохождении по нему постоянного тока за время 5 мин выделилось количество теплоты 2,3 Кдж. Удельное сопротивление алюминия  $26 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

7. Поток магнитной индукции сквозь поперечное сечение соленоида (без сердечника) равен  $1 \cdot 10^{-6}$  Вб. Длина соленоида 12,5 см. Определите магнитный момент соленоида.
8. Две параллельные металлические пластины площадью  $S$  каждая имеют заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Вычислить поверхностную плотность зарядов, пренебрегая эффектом стекания их с краев пластины.
9. Линза с фокусным расстоянием 16 см дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми 6 см. Найти полное расстояние от предмета до экрана.
10. Над центром круглого стола диаметром 2 м на высоте 2 м висит лампа силой света 200 Кд. Определить освещенность стола на его краях.

### Вариант 9

1. Рабочее колесо турбины Красноярской ГЭС имеет диаметр 7,5 м и вращается с частотой 93,8 об/мин. Определить центростремительное ускорение концов лопаток турбины. Построить график зависимости  $a = f(\omega)$ .
2. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч и при этом частота вращения колеса  $8 \text{ с}^{-1}$ . Найти центростремительное ускорение точек колеса автомобиля, соприкасающихся с дорогой.
3. Камень брошен вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Определить высоту, на которой имеющаяся кинетическая энергия камня будет равна потенциальной энергии.
4. Определить удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  смеси газов, содержащей гелий массой 10 г и водород массой 10 г.
5. Какой силы ток течет по обмотке якоря мотора электровоза, развивающего силу тяги 400 кГ, если напряжение на концах обмотки 500 В, скорость электровоза 36 км/час? КПД мотора 92%.
6. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено слюдой с диэлектрической проницаемостью 7. Площадь пластин

конденсатора составляет  $50 \text{ см}^2$ . Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюде, если пластины конденсатора притягивают друг друга с силой  $0,001 \text{ Н}$ .

7. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора  $100 \text{ см}^2$  и расстояние между ними  $5 \text{ мм}$ . Найти, какая разность потенциалов была приложена к пластинам конденсатора, если известно, что при разряде конденсатора выделилось  $4,19 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$  тепла.

8. По тонкому проводу, изогнутому в виде шестиугольника со стороной  $10$  течет ток  $40 \text{ А}$ . Определить индукцию магнитного поля в центре шестиугольника.

9. На плоскопараллельную стеклянную пластину с оптическим показателем преломления  $1,5$  и толщиной  $5 \text{ см}$  падает под углом  $30^\circ$  луч света. Определить боковое смещение луча, прошедшего сквозь эту пластинку.

10. Дифракция наблюдается на расстоянии  $l$  от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный диск диаметром  $5 \text{ мм}$ . Определите расстояние  $l$ , если диск закрывает только центральную зону Френеля.

### Вариант 10

1. Порожний грузовой автомобиль массой  $4 \text{ т}$  начал движение с ускорением  $0,3 \text{ м/с}^2$ . Определить массу груза, принятого автомобилем, если при той же силе тяги он трогается с места с ускорением  $0,2 \text{ м/с}^2$ .

2. Найти наименьший радиус дуги для поворота автомашины, движущейся по горизонтальной дороге со скоростью  $36 \text{ км/ч}$ , если коэффициент скольжения колёс о дорогу  $0,25$ .

3. Скорость свободно падающего тела массой  $4 \text{ кг}$  на некотором пути увеличилась с  $22 \text{ м/с}$  до  $8 \text{ м/с}$ . Найти работу силы тяжести на этом пути.

4. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находятся водород массой 6 г и гелий массой 12 г. Определите: 1) давление  $p$ ; 2) молярную массу газовой смеси  $M$  в сосуде, если температура смеси  $T = 300 \text{ K}$ .
5. Согласно теории Бора, электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите радиусом  $52,8 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ . Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого электроном в центре круговой орбиты.
6. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечно длинной нитью с линейной плотностью заряда  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}$ . Какую скорость получит электрон под действием поля, приблизившись к нити с расстояния 1 см до расстояния 0,5 см?
7. Полусфера равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ . Определить напряженность поля в центре основания полусферы.
8. Сопротивления стальной проволоки в два раза больше, чем медной. В которой из проволок будет выделяться больше тепла: а) при параллельном, б) при последовательном включении в цепь постоянного напряжения.
9. В полдень во время весеннего и осеннего равноденствия Солнце стоит на экваторе в зените. Во сколько раз в это время освещенность поверхности Земли на экваторе больше освещенности поверхности Земли в Санкт-Петербурге, широта которого  $60^\circ$ .
10. Определить световой поток, излучаемый точечным источником света внутрь телесного угла, равного 0,4 ср, если сила света источника 100 Кд.

### Вариант 11

1. Под действием некоторой силы тележка, двигаясь из состояния покоя, прошла путь 40 см. Когда на тележку положили груз массой 200 г, то под действием той же силы за то же время тележка прошла из состояния покоя путь 20 см. Определить массу тележки. Построить график зависимости ускорения от массы  $a = f(m)$ .

2. Наклонная плоскость расположена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. При каких значениях коэффициента трения  $\mu$  втаскивать по ней груз труднее, чем поднимать его вертикально? Движение считать равномерным.
3. Вагон массой 40 т движется со скоростью 0,1 м/с. При полном торможении вагона буферные пружины сжимаются на  $\Delta l = 10$  см. Определить максимальную силу сжатия буферных пружин и продолжительность торможения.
4. Найти объём баллона, в который помещается газ, количество которого составляет 50 моль. При этом максимальная температура 360 К, а давление не превышает 6 МПа. Построить график зависимости количества вещества от давления  $\nu = f(p)$ .
5. Два шарика зарядами  $6,66 \cdot 10^{-9}$  Кл и  $13,33 \cdot 10^{-9}$  Кл находятся на расстоянии 40 см. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 25 см?
6. В магнитном поле, индукция которого 0,05 Тл вращается стержень длиной 1 м с угловой скоростью 20 рад/с. Ось вращения проходит через конец стержня и параллельно магнитному полю. Найти ЭДС индукции, возникающую на концах стержня.
7. Ламповый реостат состоит из тяги электрических лампочек сопротивлением по 350 Ом, включенных параллельно. Найти сопротивление реостата, когда: а) горят все лампочки, б) вывинчиваются одна, две, три, четыре лампочки.
8. Параллельно активному сопротивлению R включены последовательно соединенные емкость C и индуктивность L. Используя символический метод определить полное сопротивление Z и сдвиг фаз  $\text{tg } \varphi$  между током и напряжением.
9. Определить, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два «николя», расположенных так, что угол между их главными плоскостями равен  $60^\circ$ , а в каждом из «николей» теряется 8% интенсивности падающего на него света.

10. Точечный источник света ( $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ) расположен на расстоянии  $a = 1 \text{ м}$  перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра  $d = 2 \text{ мм}$ . Определите расстояние  $b$  от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает три зоны Френеля.

### Вариант 12

1. Две пружины равной длины, скреплённые одними концами, растягивают за свободные концы руками. Пружина с жёсткостью  $100 \text{ Н/м}$  удлинилась на  $5 \text{ см}$ . Определить жёсткость второй пружины, если её удлинение составляет  $1 \text{ см}$ . Построить график зависимости жёсткости пружины от удлинения  $k = f(l)$ .

2. Тело свободно падает с высоты  $80 \text{ м}$ . Определить перемещение тела в последнюю секунду. Построить график зависимости высоты падения от времени  $h = f(t)$ .

3. Автомобиль массой  $2 \text{ т}$  затормозил и остановился, пройдя путь  $50 \text{ м}$ . Найти работу силы трения и изменение кинетической энергии автомобиля, если дорога горизонтальна, и коэффициент трения равен  $0,4$ .

4. Сосуд емкостью  $0,01 \text{ м}^3$  содержит азот массой  $7 \text{ г}$  и водород массой  $1 \text{ г}$  при температуре  $T = 280 \text{ К}$ . Определить давление смеси газов.

5. Сколько витков на хромовой проволоке диаметром  $1 \text{ мм}$  надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом  $2,5 \text{ см}$ , чтобы получить печь сопротивлением  $40 \text{ см}$ ?

6. Две концентрические проводящие сферы радиусами  $20 \text{ см}$  и  $50 \text{ см}$  заряжены соответственно одинаковыми зарядами по  $1 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ . Определить энергию электростатического поля, заключенного поля, заключенного между этими сферами.

7. Сила тока в проводнике сопротивлением  $50 \text{ Ом}$  равномерно растёт от  $0$  до  $3 \text{ А}$ , за время  $6 \text{ сек}$ . Определить количество теплоты, выделившейся в проводнике за это время.

8. Вольтметр, соединённый последовательно с сопротивлением 10000 Ом, показывает напряжение 75 В, а соединённый последовательно с неизвестным сопротивлением 15 В. Определить это сопротивление, если внешнее напряжение 120 В.
9. В день весеннего равноденствия на Северной Земле Солнце стоит в полдень под углом  $10^\circ$  к горизонту. Во сколько раз освещённость площадки, поставленной вертикально будет больше освещённости горизонтальной площадки.
10. Освещённость плоской поверхности при угле падения световых лучей  $60^\circ$  равна 50 лк. Определить освещённость этой поверхности при угле падения лучей  $30^\circ$ .

### Вариант 13

1. Тело за последние 2 с прошло 60 м. Определить общее время падения тела. Построить график зависимости высоты падения от времени  $h = f(t)$ .
2. Камень бросают вертикально вниз с моста высотой 20 м. Определить начальную скорость, которую необходимо сообщить камню, чтобы он достиг поверхности воды через 1 с. Построить график зависимости высоты падения от времени  $h = f(t)$ .
3. Мяч массой 100 г, летевший со скоростью 20 м/с, ударился о горизонтальную плоскость. Угол падения (угол между направлением скорости и перпендикуляром к плоскости) равен  $60^\circ$ . Найти изменение импульса, если удар абсолютно упругий, а угол отражения равен углу падения.
4. Газ, совершающий цикл Карно, получает от нагревателя теплоту  $Q = 42$  кДж. Какую работу совершает газ, если абсолютная температура  $T_1$  нагревателя в три раза выше, чем температура  $T_2$  охладителя?
6. По прямому горизонтально расположенному проводу протекает ток 10 А. Под ним на расстоянии 1,5 см находится параллельный ему

алюминиевый провод, по которому пропускают ток 1,5 А. Определить, чему равна площадь поперечного сечения алюминиевого проводника, при которой он будет удерживаться незакрепленным. Плотность алюминия  $2,7 \text{ г/см}^3$ .

7. Определите суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной 500 м, по которому течет ток 20 А.

8. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром  $d = 10 \text{ см}$  равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = 2 \text{ мкКл/м}^2$ . Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии 12 см.

9. Горизонтальный луч света падает на вертикально расположенное зеркало. Зеркало поворачивается на угол  $\alpha$  около вертикальной оси. На какой угол повернется отраженный луч?

10. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ , падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы  $R = 4 \text{ м}$ . Определите показатель преломления жидкости, если радиус второго светлого кольца  $r = 1,8 \text{ мм}$ .

#### Вариант 14

1. Автобус, масса которого с полной нагрузкой равна 60 т, трогается с места с ускорением  $0,7 \text{ м/с}^2$ . Найти силу тяги, если коэффициент сопротивления движению равен 0,03.

2. На шнуре, перекинутом через неподвижный блок, помещены грузы массами 0,3 кг и 0,2 кг. Определить ускорение движения грузов. Кроме того, найти силу натяжения шнура во время движения.

3. Диск радиусом 20 см и массой 5 кг вращается с частотой 8 об/с. При торможении он остановился через 4 с. Определить тормозящий момент М.

4. Газ совершает цикл Карно. Работа изотермического расширения газа  $A = 5$  Дж. Определить работу изотермического сжатия, если термический КПД цикла равен 0,2.
5. Свободные заряды равномерно распределены с объемной плотностью  $5 \cdot 10^{-9}$  Кл/м<sup>3</sup> по шару радиусом 10 см из однородного изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью равной 5. Определить напряженность электростатического поля на расстояниях 5 см и 15 см от центра шара.
6. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 10 А. Определить, пользуясь теоремой циркуляции вектора магнитной индукции, магнитную индукцию в точке, расположенной на расстоянии 10 см от проводника.
7. Плоский конденсатор находится во внешнем однородном электрическом поле с напряженностью  $E = 10^3$  В/м, перпендикулярном пластинам. Площадь пластин  $10^{-2}$  м<sup>2</sup>. Определить заряды на каждой из пластин, если конденсатор замкнуть проводником накоротко.
8. Активное сопротивление 10 Ом и индуктивность 0,05 Гн соединены параллельно и включены в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. Во сколько раз ток в индуктивности меньше тока в неразветвленной части цепи?
9. Определить расстояние от двояковыпуклой линзы предмета, при котором расстояние от предмета до действительного изображения будет минимальным.
10. Над центром круглого стола диаметром 2 м на высоте 2 м висит лампа силой света 200 Кд. Определить освещенность стола на его краях.

### Вариант 15

1. Автомобиль «Жигули» массой 1 т, трогаясь с места, достигает скорости 30 м/с через 20 с. Найти силу тяги, если коэффициент сопротивления равен 0.05.

2. Камень шлифовального станка имеет на рабочей поверхности скорость 30 м/с. Обрабатываемая деталь прижимается к камню с силой 100 Н, коэффициент трения 0,2. Определить механическую мощность двигателя станка.
3. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек. На какой угол повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и обойдя ее вернется в исходную точку? Масса платформы 240 кг, масса человека 60 кг. Момент инерции человека рассчитывать, как для материальной точки.
4. Средняя длина свободного пробега молекул кислорода при нормальных условиях  $\langle l \rangle = 10^{-5}$  см. Вычислить среднюю арифметическую скорость  $\langle v \rangle$  молекул и среднее число соударений  $\langle z \rangle$  молекул в секунду.
5. Элемент, сопротивления и амперметр соединены последовательно. Элемент имеет ЭДС 2В и внутреннее сопротивление 0,4 Ом. Амперметр показывает ток 1 А. С каким КПД работает элемент?
6. Найти силу притяжения между ядром атома водорода и электроном. Радиус атома равен  $5 \cdot 10^{-11}$  м. Заряд ядра равен по модулю и противоположен по знаку заряду электрона.
7. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 3000 В. Пространство между пластинами заполнено парафином толщиной 5 мм с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 2$ . Определить напряжённость поля в парафине, диэлектрическую восприимчивость парафина и плотность связанных зарядов на его поверхности.
8. Две электроплитки соединены параллельно и потребляют мощность  $N$ . Какую мощность они будут потреблять, включённые последовательно, если одна из них потребляет мощность  $N_1$ ?
9. Спираль электрической лампочки с силой света 1000 Кд заключена в матовую сферическую колбу диаметром 20 см. Найти световой поток, излучаемый этим источником света его светимость и яркость.

10. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления  $n = 1,33$  под углом  $i = 45^\circ$  падает параллельный пучок белого света. Определите, при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый цвет ( $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ ).

### Вариант 16

1. Электровоз при начале движения с места железнодорожного состава развивает максимальную силу тяги 650 кН. Определить ускорение, которое он сообщит составу массой 3250 т, если коэффициент сопротивления движению равен 0,03.

2. Груз, подвешенный на нити длиной  $l = 60 \text{ см}$ , двигаясь равномерно, описывает в горизонтальной плоскости окружность. Определить скорость движения груза, если во время его движения нить образует с вертикалью постоянный угол  $\alpha = 30^\circ$ .

3. Плот массой 140 кг и длиной 3 м плавает на воде. На плоту находится человек, масса которого 70 кг. С какой наименьшей скоростью и под каким углом к плоскости горизонта должен прыгнуть человек вдоль плота, чтобы попасть на его противоположный край?

4. В баллоне находится газ при температуре  $15^\circ\text{C}$ . Определить кратное уменьшение давления газа, если 40% его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на  $8^\circ\text{C}$ . Построить график зависимости температуры газа от давления  $T = f(p)$ .

5. Сколько витков имеет катушка, индуктивность которой равна 1 мГн, если при токе 1 А магнитный поток сквозь катушку  $2 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$ ?

6. Электростатическое поле создается шаром радиусом 10 см, равномерно заряженным с объемной плотностью  $20 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^3$ . Определить разность потенциалов между точками, находящимися внутри шара на расстояниях 2 см и 8 см от его центра.

7. Определить число витков в обмотке тороида при которой в узком вакуумном зазоре длиной 3,6 мм магнитная индукция будет равна 1,4 Тл. Длина тороида по средней линии равна 0,8 м. Сила тока 28 А. Сердечник – сталь.

8. Индукция магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от 0,5 Тл до 1 Тл. Найти, во сколько раз изменилась объемная плотность энергии магнитного поля.

9. Докажите, что в том случае, когда яркость источника не зависит от направления, светимость  $R$  и яркость  $B$  связаны соотношением  $R = \pi B$ .

10. Какую освещенность создает лампа силой света 120 Кд на расстоянии 2м? Считать лампу точечным источником света.

### Вариант 17

1. Троллейбус массой 10 т, трогаясь с места, приобрёл на пути 50 м скорость 10 м/с. Найти коэффициент сопротивления, если сила тяги равна 14 кН.

2. Определить величину силы, которую нужно приложить для подъёма вагонетки массой 600 кг по эстакаде с углом наклона  $20^\circ$ . Движение считать равномерным, а коэффициент сопротивления движению равен 0,05.

3. Парашютист массой 80 кг отделился от неподвижно висящего вертолётa, и пролетев до раскрытия парашюта 200 м, приобрёл скорость 50 м/с. Найти работу силы сопротивления воздуха на этом пути.

4. Баллон емкостью 50 л заполнен кислородом. Температура водорода  $T = 300$  К. Когда часть кислорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на 200 кПа. Определить массу израсходованного кислорода. Процесс считать изотермическим.

5. Обмотка катушки из медной проволоки при  $14^\circ$  С имеет сопротивление 10 Ом. после пропускания тока сопротивление обмотки

стало равным 12,2 Ом. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди равен  $4,15 \times 10^{-3} \frac{1}{K}$ .

6. Разность потенциалов между точками, а и В равна 9 В. Имеются два проводника с сопротивлением 5 Ом и 3 Ом. найти количество теплоты, выделяющаяся в каждом проводнике в единицу времени, если проводники между точки А и В соединены: а) последовательно, б) параллельно.

7. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре  $14^{\circ}\text{C}$  имеет сопротивление 10 Ом. После пропускания тока сопротивление обмотки стало равно 12,2 Ом. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди равен  $4,15 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

8. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи 1000 А. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

9. Определить световой поток, излучаемый точечным источником света внутрь телесного угла, равного 0,4 ср, если сила света источника 100 Кд.

10. Расстояние от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана соответственно равно  $a = 30 \text{ см}$  и  $b = 1,5 \text{ м}$ . Бипризма стеклянная ( $n = 1,5$ ) с преломляющим углом  $\beta = 20'$ . Определите длину волны света, если ширина интерференционных полос  $\Delta x = 0,65 \text{ мм}$ .

### Вариант 18

1. Конькобежец движется со скоростью 10 м/с по окружности радиусом 30 м. Под каким углом к горизонту он должен наклониться, чтобы сохранить равновесие? Построить график зависимости угла наклона от скорости  $\alpha = f(v)$ .

2. Определить максимальную скорость, с которой может ехать мотоциклист по горизонтальной плоскости, описывая дугу радиусом 100 м. Найти также угол от вертикального положения, на который он отклонится, учитывая то, что коэффициент трения резины о почву составляет 0,4.
3. Две материальные точки движутся согласно уравнениям  $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$  и  $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$ , где  $A_1 = 10$  м,  $B_1 = 32$  м/с,  $C_1 = -3$  м/с,  $A_2 = 5$  м,  $B_2 = 5$  м/с. В какой момент времени скорости этих точек одинаковы? Чему равны скорости и ускорения точек в этот момент?
4. Определить среднюю кинетическую энергию одной молекулы водяного пара при температуре  $T = 300$  К.
5. Во сколько раз сила гравитационного притяжения между двумя протонами меньше силы их электростатического отталкивания? Заряд протона равен по модулю и противоположен по знаку заряду электрона.
6. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. по проводникам текут токи, равны 5 А в противоположных направлениях. Найти модуль и направление напряженности магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от каждого проводника.
6. В плоском вакуумном конденсаторе во взвешенном состоянии находится капелька ртути. Первоначальная разность потенциалов, приложенная к конденсатору, составляла 1200 В. Затем она внезапно уменьшилась до 1115 В. За какое время капелька достигнет нижней пластины, если она первоначально находилась посередине между пластинами конденсатора, расстояние между которыми 0,5 см?
8. Элемент с ЭДС равной 2 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом замкнут на внешнее сопротивление. Найти падение потенциала внутри элемента при силе тока в цепи 0,25 А и внешнее сопротивление  $R$  цепи при этих условиях?

9. В опыте Юнга расстояние между щелями  $d = 1\text{ мм}$ , а расстояние  $l$  от щелей до экрана равно  $3\text{ м}$ . Определите: 1) положение первой светлой полосы; 2) положение третьей темной полосы, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,5\text{ мкм}$ .

10. На расстоянии  $5\text{ м}$  от источника света находится квадрат со стороной  $10\text{ см}$ , поставленный перпендикулярно падающим лучам. Какой световой поток падает на этот квадрат, если сила света источника равна  $800\text{ Кд}$ .

### Вариант 19

1. Поезд массой  $2000\text{ т}$ , двигаясь прямолинейно, увеличил скорость от  $36\text{ км/ч}$  до  $72\text{ км/ч}$ . Найти изменение импульса поезда.

2. Материальная точка массой  $0,1\text{ г}$  колеблется согласно уравнению  $x = A \sin \omega t$  где  $A = 5\text{ см}$ ,  $\omega = 20\text{ с}^{-1}$ . Определить максимальное значение возвращающей силы и кинетической энергии точки.

3. Боек свайного молота массой  $0,6\text{ т}$  падает с некоторой высоты на сваю массой  $150\text{ кг}$ . Найти КПД бойка, считая удар неупругим. Полезной считать энергию, пошедшую на углубление сваи.

4. В цилиндре дизельного двигателя автомобиля КамАЗ-5320 температура воздуха в начале такта сжатия была  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Найти температуру воздуха в конце такта, если его объём уменьшается в  $17$  раз, а давление возрастает в  $50$  раз.

5. Определите линейную плотность бесконечно длинной заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда  $1 \cdot 10^{-9}\text{ Кл}$  с расстояния  $5\text{ см}$  до расстояния  $2\text{ см}$  в направлении, перпендикулярном нити, равна  $50\text{ мкДж}$ .

6. Поток вектора напряженности электрического поля через плоскую поверхность пластины, равномерно заряженную с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ , равен  $N$ . Определить силу, действующую на пластину в направлении, перпендикулярном ее плоскости.

7. В однородное магнитное поле с индукцией  $0,1 \text{ Тл}$  помещена квадратная рамка площадью  $25 \text{ см}^2$ . Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $60^\circ$ . Определите вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток  $1 \text{ А}$ .

8. Плоский конденсатор, длина пластин которого много больше расстояния между ними, присоединен к источнику постоянного напряжения. Докажите, что напряженность электрического поля внутри конденсатора не изменится, если пространство между обкладками заполнить диэлектриком.

9. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ , падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы  $R = 4 \text{ м}$ . Определите показатель преломления жидкости, если радиус второго светлого кольца  $r = 1,8 \text{ мм}$ .

10. В день весеннего равноденствия на Северной Земле Солнце стоит в полдень под углом  $10^\circ$  к горизонту. Во сколько раз освещенность площадки, поставленной вертикально будет больше освещенности горизонтальной площадки.

### Вариант 20

1. Вагон массой  $20 \text{ т}$ , движущийся со скоростью  $0,3 \text{ м/с}$ , нагоняет вагон массой  $30 \text{ т}$ , движущийся со скоростью  $0,2 \text{ м/с}$ . Определить скорость вагонов после того, как сработает автосцепка.

2. Шарик массой  $200 \text{ г}$  ударился о стенку со скоростью  $10 \text{ м/с}$  и отскочил от нее с такой же скоростью. Определить импульс, полученный стенкой, если до удара шарик двигался под углом  $30^\circ$  к плоскости стенки.

3. В цилиндре под поршнем находится водород массой  $0,02 \text{ кг}$  при температуре  $T = 300 \text{ К}$ . Водород сначала расширился в  $5$  раз, а затем был

сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в 5 раз. Найти температуру  $T$  в конце адиабатического расширения и полную работу  $A$ , совершенную газом. Изобразить процесс графически.

4. Молекулы двухатомного газа при некоторых условиях частично распадаются на отдельные атомы. Определить, сколько процентов молекул распалось, если отношение теплоемкостей такого газа  $C_p/C_v = 1,5$ .

5. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на нитях так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда  $4 \cdot 10^{-7}$  Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол  $60$  градусов. Найти массу шарика, если расстояние от точки подвеса до центра каждого из шариков равно  $20$  см.

6. Расстояние между двумя точечными зарядами  $q_1 = 22,5 \cdot 10^{-6}$  Кл и  $q_2 = -44 \cdot 10^{-6}$  Кл равно  $5$  см. Найти напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии  $3$  см от положительного заряда и  $4$  см от отрицательного заряда.

7. Найти объёмную плотность энергии электрического поля в точке, находящейся на расстоянии  $2$  см от поверхности заряженного шара радиусом в  $1$  см. Поверхностная плотность заряда на шаре  $5 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>, диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon = 2$ . Вычислить ёмкость и полную энергию шара.

8. Плоский конденсатор, состоящий из двух пластин, имеет изолирующий слой толщиной  $0,2$  мм. Определить плотность связанных зарядов на поверхности изолирующего слоя, если конденсатор заряжен до  $600$  В, а диэлектрическая восприимчивость изолирующего слоя равна  $0,5$ .

9. Определить расстояние от двояковыпуклой линзы предмета, при котором расстояние от предмета до действительного изображения будет минимальным.

10. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления  $n = 1,33$  под углом  $i = 45^\circ$  падает параллельный пучок белого света. Определите,

при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый цвет ( $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ ).

### Вариант 21

1. Строитель совершает работу при поднятии груза массой 2 кг на высоту 1 м с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$ . Определить величину выполненной работы.
2. На скамейке Жуковского сидит человек и держит в руках стержень, расположенный вертикально по оси вращения скамейки. Скамейка с человеком вращается с угловой скоростью  $\omega_1 = 1 \text{ рад/с}$ . С какой угловой скоростью будет вращаться скамейка с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамейки  $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Длина стержня 2,4 м, его масса 8 кг. Считать, что центр тяжести стержня с человеком находится на оси платформы.
3. Точка движется по прямой согласно уравнению  $x = At + Bt^2$ , где  $A = 6 \text{ м/с}$ ,  $B = 0,125 \text{ м/с}^3$ . Определить среднюю скорость точки в интервале времени от  $t_1 = 2 \text{ с}$  до  $t_2 = 6 \text{ с}$ .
4. В баллоне емкостью 11,2 литра находится водород при нормальных условиях. После того как в баллон было дополнительно введено некоторое количество гелия, давление в баллоне возросло до 0,15 МПа, а температура не изменилась. Определить массу гелия, введенного в баллон.
5. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на двух нитях так, что их поверхности соприкасаются. Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы натяжение нитей стало равно 0,098 Н? Расстояние от точки подвеса до центра каждого шарика равно 10 см. Масса шарика  $5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ .
6. В точках  $A$  и  $B$  помещены заряды  $q_A = -5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$  и  $q_B = +20 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ . Найти на прямой, проходящей через эти заряды, ближайшую к точке  $A$  точку  $C$ , в которой напряженность поля равна нулю.  $AB = 10 \text{ см}$ .

7. Протон с кинетической энергией 1 МэВ влетел в однородное магнитное поле с индукцией 1 Тл, перпендикулярно линиям индукции. Какова должна быть протяженность поля в направлении, по которому летел протон, чтобы оно изменило направление движения протона на противоположное?
8. Проводник в виде тонкого полукольца радиусом 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл. По проводнику течет ток 10 А. Найти силу, действующую на проводник, если плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.
9. В полдень во время весеннего и осеннего равноденствия Солнце стоит на экваторе в зените. Во сколько раз в это время освещенность поверхности Земли на экваторе больше освещенности поверхности Земли в Санкт-Петербурге, широта которого  $60^\circ$ .
10. Точечный источник света ( $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ) расположен на расстоянии  $a = 1 \text{ м}$  перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра  $d = 2 \text{ мм}$ . Определите расстояние  $b$  от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает три зоны Френеля.

## Вариант 22

1. Груз массой 400 кг втаскивается по плоскости с углом наклона  $30^\circ$  на высоту 2 м при коэффициенте трения 0,3. Определить работу, которую надо совершить, прикладывая силу совпадающую по направлению с перемещением.
2. Абсолютно упругий шар массой 1,8 кг сталкивается с покоящимся упругим шаром большей массы. В результате центрального прямого удара шар потерял 36% кинетической энергии. Определить массу большего шара.

3. Материальная точка движется прямолинейно. Уравнение движения имеет вид  $x = At + Bt^2$ , где  $A = 3$  м/с,  $B = 0,06$  м/с<sup>2</sup>. Найти скорость и ускорение точки в моменты времени  $t_1 = 0$  и  $t_2 = 3$  с. Каковы средние значения скорости и ускорения за первые 3 секунды движения.
4. Некоторый газ находится под давлением 700 кПа при температуре 308 К. Определить относительную молекулярную массу газа  $M$ , если плотность газа  $= 12,2$  кг/м<sup>3</sup>.
5. Четыре маленьких заряженных шарика соединены тонкими нитями так, что система зарядов образует ромб с острым углом  $\alpha$ . Определить отношение зарядов соседних шариков.
6. Две альфа - частицы летят из бесконечности навстречу друг другу со скоростями  $V_1$  и  $V_2$ . На какое минимальное расстояние они смогут сблизиться и как будут после этого двигаться?
7. Аккумулятор подключён один раз к внешней цепи с сопротивлением  $R_1$ , а другой с  $R_2$ . Количество теплоты, выделяющееся во внешней цепи в единицу времени одинаково. Определить внутреннее сопротивление аккумулятора.
8. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами 30 и 40 см течет ток 60 А. Определить индукцию магнитного поля в центре прямоугольника.
9. Определить световой поток, излучаемый точечным источником света внутрь телесного угла, равного 0,4 ср, если сила света источника 100 Кд.
10. Расстояние от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана соответственно равно  $a = 30$  см и  $b = 1,5$  м. Бипризма стеклянная ( $n = 1,5$ ) с преломляющим углом  $\beta = 20'$ . Определите длину волны света, если ширина интерференционных полос  $\Delta x = 0,65$  мм.

### Вариант 23

1. Шарик массой 100 г свободно падает с высоты 1 м на стальную плиту и подпрыгивает на высоту 0,5 м. Определить импульс  $p$  (по величине и направлению), сообщенный плитой шарiku.
2. Однородный диск радиусом 30 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Определить период колебаний диска.
3. Определить скорость распространения волн в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на 10 см, равна 600. Частота колебаний 25 Гц.
4. Вычислить плотность кислорода, находящегося в баллоне под давлением 1 МПа при температуре  $T=300$  К.
5. Кольцо из тонкой проволоки разрывается, если на нем находится заряд  $q$ . При какой величине заряда разорвется кольцо, если диаметр кольца и диаметр проволоки увеличить в два раза?
6. Две бесконечные параллельные проводящие пластины заряжены так, что поверхностная плотность зарядов первой пластины  $\sigma_1$ , а второй  $\sigma_2$ . Определить заряды на каждой поверхности пластин.
7. Конденсатор емкостью 20 мкФ и активное сопротивление 150 Ом включены последовательно в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. Во сколько раз напряжение на конденсаторе меньше напряжения приложенного к цепи?
8. Индуктивность 2,26 мГн и активное сопротивление  $R$  включены параллельно в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Найти сопротивление  $R$ , если известно, что сдвиг фаз между током и напряжением равен  $60^\circ$ .
9. Докажите, что в том случае, когда яркость источника не зависит от направления, светимость  $R$  и яркость  $B$  связаны соотношением  $R = \pi B$ .

10. Какую освещенность создает лампа силой света 120 Кд на расстоянии 2 м? Считать лампу точечным источником света.

### Вариант 24

1. На спокойной воде пруда находится лодка длиной 4 м, расположенная перпендикулярно берегу. На корме лодки стоит человек. Масса лодки с человеком  $M = 240$  кг, масса человека 60 кг. Человек перешел с кормы на нос лодки. На сколько переместилась при этом относительно берега человек и лодка.

2. Определить скорость распространения волн в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на 10 см, равна 600. Частота колебаний 25 Гц.

3. Через неподвижный блок массой 0,2 кг перекинут шнур, к концам которого подвешены грузы массами 0,3 кг и 0,5 кг. Определить силу натяжения шнура по обе стороны блока во время движения грузов, если массу блока можно считать равномерно распределенной по ободу.

4. Найти число молей и число молекул, содержащихся в объеме равном  $1 \text{ см}^3$  воды при температуре  $t = 40 \text{ C}$ .

5. Какой заряд необходимо сообщить мыльному пузырю радиусом 6 мм, чтобы он стал раздуваться? Коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки равен  $40 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

6. Две длинные прямые нити параллельны друг другу и находятся на расстоянии  $R = 10$  см друг от друга. На них равномерно распределены заряды с линейными плотностями  $\tau_1 = 0,7 \text{ мкКл/м}$  и  $\tau_2 = 10 \text{ мкКл/м}$ . Определить напряженность поля в точке, удаленной от первой нити на расстоянии 4 см, а от второй на расстоянии 8 см.

7. Два аккумулятора с ЭДС 1,5 В и 2 В и внутренними сопротивлениями 0,15 Ом, 0,3 Ом соединены параллельно. Определить ток в батарее и напряжение на её зажимах.

8. Магнитная индукция поля между полюсами генератора равна  $0,8$  Тл. Ротор имеет  $100$  витков площадью  $400 \text{ см}^2$ . Определить частоту вращения ротора, если максимальное значение ЭДС индукции равно  $200$  В.
9. Найти освещенность на поверхности Земли, создаваемую нормально падающими лучами Солнца. расстояние от Земли до Солнца  $150$  мил. км. Яркость Солнца  $1,2 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>, его радиус  $6,96 \cdot 10^5$  км.
10. Определите длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку, имеющую  $300$  штрихов на  $1$  мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядка составляет  $12^\circ$ .

### Вариант 25

1. Гиря, положенная на верхний конец спиральной пружины, сжимает ее на  $2$  мм. На сколько сожмет пружину та же гиря, упавшая на конец пружины с высоты  $5$  м.
2. Стержень длиной  $40$  см колеблется около оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его верхний конец. Определить период колебаний такого маятника.
3. Диск радиусом  $0,2$  м вращается согласно уравнению  $\varphi = A + Bt + Ct^3$ , где  $A = 3$  рад,  $B = 1$  рад/с,  $C = 0,1$  рад/с<sup>3</sup>. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точек на окружности диска и момент времени  $t = 10$  с.
4. При адиабатическом сжатии кислорода массой  $1$  кг совершена работа  $A = 100$  кДж. Какова конечная температура газа, если до сжатия кислород находился при температуре  $T_1 = 300$  К?
5. Незаряженный металлический цилиндр вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Определить напряженность  $E$  электрического поля цилиндра на расстоянии  $R$  от его оси. Заряд и масса электрона равны соответственно  $q$  и  $m$ .

6. Три одинаковых заряда по  $0,7 \text{ мкКл}$  каждый, расположены в вершинах прямоугольного треугольника с катетами  $30$  и  $60 \text{ см}$ . Вычислить напряженность электрического поля, создаваемого всеми зарядами в точке пересечения гипотенузы с перпендикуляром, опущенным на нее из вершины прямого угла.
7. Проволочное кольцо радиусом  $10 \text{ см}$  лежит на столе. Какой заряд протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца  $1 \text{ Ом}$ . Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна  $50 \text{ мкТл}$ .
8. Обмотка тороида с немагнитным сердечником имеет  $10$  витков на каждый сантиметр длины. Определить объемную плотность энергии магнитного поля, если по обмотке течет ток  $16 \text{ А}$ .
9. Лист бумаги площадью  $300 \text{ см}^2$ , освещается лампой с силой света  $100 \text{ Кд}$ , причем на лист падает  $0,05$  часть всего посылаемого лампой света. Найти освещенность листа бумаги.
10. Докажите, что если монохроматический пучок света падает на грань призмы с показателем преломления  $n$  под малым углом, то при малом преломляющем угле  $A$  призмы угол отклонения  $\varphi$  лучей не зависит от угла падения и равен  $A(n-1)$ .

### Вариант 26

1. Материальная точка участвует одновременно в двух колебаниях, проходящих вдоль одной прямой и выражаемых уравнениями:  $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $x_2 = A_2 \cos \omega_2 t$ , где  $A_1 = 1 \text{ см}$ ,  $A_2 = 2 \text{ см}$ ,  $\omega_1 = \omega_2 = 1 \text{ с}^{-1}$ . Найти амплитуду сложного движения, его частоту и начальную фазу. Написать уравнение движения.
2. Шарик массой  $200 \text{ г}$  ударился о стенку со скоростью  $10 \text{ м/с}$  и отскочил от нее с такой же скоростью. Определить импульс, полученный стенкой, если до удара шарик двигался под углом  $30^\circ$  к плоскости стенки.

3. Тонкий стержень длиной 40 см и массой 0,6 кг вращается около оси проходящей через середину стержня перпендикулярно его длине. Уравнение вращения стержня  $\varphi = At + Bt^3$ , где  $A = 1$  рад/с,  $B = 0,1$  рад/с<sup>3</sup>. Определить вращающий момент  $M$  в момент времени  $t = 2$  с.
4. Давление воздуха в автомобильной камере при температуре  $-13$  °С было 160 кПа (избыточное над атмосферным). Определить получившееся давление, если в результате длительного движения автомобиля воздух в камере нагрелся до  $37$  °С.
5. Плоский конденсатор состоит из двух пластин, разделенных стеклом с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ . Какое давление производят пластины на стекло перед пробоем, если напряженность электрического поля в этом случае  $E = 50 \cdot 10^6$  В/м?
6. К бесконечной равномерно заряженной вертикальной плоскости подвесили на нити одноименно заряженный шарик массой 100 мг и зарядом 0,5 мкКл. Определить поверхностную плотность заряда на плоскости, если натяжение нити, на которой висит шарик, равняется 1 мН.
7. Используя символический метод определить полное сопротивление  $Z$  и сдвиг фаз  $\text{tg } \varphi$  между током и напряжением при последовательном соединении активного сопротивления  $R$  и индуктивности  $L$ .
8. Катушка с активным сопротивлением 20 Ом и индуктивностью 0,11 Гн включена в цепь переменного тока напряжением 127 В и частотой 50 Гц. Найти мощность, потребляемую катушкой.
9. Определить расстояние от двояковыпуклой линзы предмета, при котором расстояние от предмета до действительного изображения будет минимальным.
10. Над центром круглого стола диаметром 2 м на высоте 2 м висит лампа силой света 200 Кд. Определить освещенность стола на его краях.

## Вариант 27

1. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид  $x = A \sin \omega t$ ,  $A = 5$  см,  $\omega = 2$  с<sup>-1</sup>. В момент, когда на точку действовала вращающая сила 5 мН, точка обладала потенциальной энергией 0,1 мДж. Найти этот момент времени и соответствующую ему фазу колебания.
2. Метеорит массой 10 кг падает из бесконечности на поверхность Земли. Определить работу, которую совершают при этом силы гравитационного поля Земли.
3. Сплошной однородный диск катится по горизонтальной плоскости со скоростью 10 м/с. Какое расстояние пройдет диск до остановки, если его предоставить самому себе. Коэффициент трения при движении диска равен 0,02.
4. Удельные теплоемкости некоторого газа:  $C_v = 10,4$  кДж/(кг\*К) и  $C_p = 14,6$  кДж/(кг\*К). Определить киломолярные теплоемкости.
5. Две плоские пластины площадью  $300$  см<sup>3</sup> каждая, имеющие равные заряды, притягиваются в керосине с силой 0,26 Н. Считая, что расстояние между пластинами мало, определить величины находящихся на них зарядов.
6. По тонкому кольцу радиуса  $R = 8$  см равномерно распределен заряд 50 нКл. Определить напряженность поля в точке на оси кольца, удаленной на расстоянии 15 см от центра кольца.
7. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 0,2 мкФ и катушки с индуктивностью  $5,07 \cdot 10^{-3}$  Гн. При каком логарифмическом декременте затухания напряжение на конденсаторе за  $10^{-3}$  с уменьшится в 3 раза? Чему при этом равно сопротивление контура?
8. Параллельно конденсатору емкостью  $C$  подключена катушка индуктивности с активным сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$ . Используя символический метод определить полное сопротивление  $Z$  и сдвиг фаз  $\text{tg } \varphi$  между током и напряжением.

9. Найти освещенность на поверхности Земли, создаваемую нормально падающими лучами Солнца. расстояние от Земли до Солнца 150 мил. км. Яркость Солнца  $1,2 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>, его радиус  $6,96 \cdot 10^5$  км.
10. Докажите, что если монохроматический пучок света падает на грань призмы с показателем преломления  $n$  под малым углом, то при малом преломляющем угле  $A$  призмы угол отклонения  $\varphi$  лучей не зависит от угла падения и равен  $A(n-1)$ .

### Вариант 28

1. Определить силу прижимающую друг к другу две стеклянные пластины размерами 10 x 10 см, расположенные параллельно друг другу, если расстояние между пластинками 0,02 мм и пространство между ними заполнено водой. Считать мениск вогнутым с диаметром равным расстоянию между пластинами.
2. Период обращения искусственного спутника Земли равен 2 ч. Считая орбиту спутника круговой, найти на какой высоте над поверхностью Земли движется спутник.
3. Воздушный пузырек радиусом  $r = 2$  мкм находится у самой поверхности воды. Определить давление  $P$  под которым находится воздух в пузырьке, если атмосферное давление равно  $P_0 = 0,1$  МПа.
4. Найти диаметр молекул водорода, если для водорода при нормальных условиях длина свободного пробега молекул  $l = 112$  нм.
5. Какой заряд переносится за 10 с, если 1) ток равномерно возрастает от 0 до 3 А; 2) ток убывает от 20 А до 0, при этом за каждые 0,01 с он убывает вдвое?
6. Металлический шар радиуса 15 см поместили в поток протонов с плотностью тока 1 мкА/см<sup>2</sup>. За какое время его потенциал достигнет значения 220 В?

7. Элемент, сопротивление и амперметр включены в цепь последовательно. Элемент имеет ЭДС 2 В и внутреннее сопротивление  $r = 0,4$  Ом. Амперметр показывает ток  $I = 1$  А. Определить, с каким КПД работает элемент.
8. В контуре, добротность которого 50 и собственная частота колебаний 5,5 кГц, возникают затухающие колебания. Через сколько времени энергия, запасенная в контуре, уменьшится в два раза?
9. В полдень во время весеннего и осеннего равноденствия Солнце стоит на экваторе в зените. Во сколько раз в это время освещенность поверхности Земли на экваторе больше освещенности поверхности Земли в Санкт-Петербурге, широта которого  $60^\circ$ .
10. Определить световой поток, излучаемый точечным источником света внутрь телесного угла, равного 0,4 ср, если сила света источника 100 Кд.

### Вариант 29

1. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями:  $x = A_1 \cos \omega_1 t$  и  $y = A_2 \sin \omega_2 t$ , где  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 3$  см,  $\omega_1 = 2\omega_2$ . Найти уравнение траектории точки и построить ее на чертеже. Показать направление движения точки.
2. Материальная точка совершает колебания по закону синуса. Наибольшее смещение точки  $A = 20$  см, наибольшая скорость 40 см/с. Написать уравнение колебаний и найти максимальное ускорение точки.
3. Совершая цикл Карно, газ отдал охладителю  $2/3$  своей теплоты, полученной от нагревателя. Определить температуру охладителя, если температура нагревателя 425 К.
4. Баллон емкостью 30 л содержит смесь водорода и гелия при температуре  $T = 300$  К и давлении 0,8 Мга. Масса смеси 24 г. Определить массу водорода  $m_1$  и массу гелия  $m_2$ .

5. Заряд величиной 0,2 Кл удален от заряда 0,6 Кл на расстояние 25 м. Определить потенциал поля в точке, находящейся на середине отрезка, соединяющего заряды.
6. Определить разность потенциалов между вершиной и основанием Эйфелевой башни высотой 350 м, образующейся из-за вращения Земли. Широта Парижа  $45^\circ$ .
7. Последовательно соединены равных сопротивлений. Во сколько раз изменится сопротивление цепи, если их соединить параллельно?
8. Плоский контур с током 5 А свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл. Площадь контура  $100 \text{ см}^2$ . Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол  $40^\circ$ . Определить совершенную при этом работу.
9. Определите длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядка составляет  $12^\circ$ .
10. Определить световой поток, излучаемый точечным источником света внутри телесного угла, равного 0,4 ср, если сила света источника 100 Кд.

### Вариант 30

1. Материальная точка массой 0,1 г колеблется согласно уравнению  $x = A \sin \omega t$  где  $A = 5 \text{ см}$ ,  $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$ . Определить максимальное значение возвращающей силы и кинетической энергии точки.
2. На скамейке Жуковского сидит человек и держит в руках стержень, расположенный вертикально по оси вращения скамейки. Скамейка с человеком вращается с угловой скоростью  $\omega_1 = 1 \text{ рад/с}$ . С какой угловой скоростью будет вращаться скамейка с человеком, если повернуть стержень так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный

момент инерции человека и скамейки  $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Длина стержня  $2,4 \text{ м}$ , его масса  $8 \text{ кг}$ . Считать, что центр тяжести стержня с человеком находится на оси платформы.

3. На сколько давление  $F$  воздуха внутри мыльного пузыря больше атмосферного давления  $P_0$ , если диаметр пузыря  $D = 5 \text{ мм}$ .

4. Определить массу одного атома водорода и число атомов, содержащихся в одном грамме водорода.

5. Электрон, движущийся со скоростью  $50 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора. Расстояние между пластинами  $0,3 \text{ см}$ , длина  $1 \text{ см}$ . К конденсатору приложено напряжение  $60 \text{ В}$ . На сколько увеличится скорость электрона на выходе из конденсатора по сравнению с начальной скоростью?

6. Первоначально плоский воздушный конденсатор с зазором между обкладками в  $1 \text{ см}$  был заряжен до  $300 \text{ В}$ . Затем, отключив конденсатор от источника, в него внесли пластину с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 5$  и толщиной в половину зазора. Найти напряженность электростатического поля в обоих случаях.

7. Имеется некоторое число одинаковых сопротивлений  $10 \text{ Ом}$ . Сколько потребуется сопротивлений и как их нужно соединить (нарисуйте схему), чтобы эквивалентное сопротивление было равно  $6 \text{ Ом}$ ?

8. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с индукцией  $0,2 \text{ Тл}$ , стал двигаться по окружности радиусом  $5 \text{ см}$ . Определить магнитный момент эквивалентного кругового тока.

9. Горизонтальный луч света падает на вертикально расположенное зеркало. Зеркало затем поворачивают на угол  $\alpha$  около вертикальной оси. На какой угол  $\beta$  повернется отраженный луч.

10. На расстоянии  $5 \text{ м}$  от источника света находится квадрат со стороной  $10 \text{ см}$ , поставленный перпендикулярно падающим лучам. Какой световой поток падает на этот квадрат, если сила света источника равна  $800 \text{ Кд}$ .

Перечень основных таблиц физических величин

Основные и дополнительные единицы СИ

Величина	Наименование	Обозначение
Основные		
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура		
Сила света	кельвин	К
Количество вещества	кандела	кд
	моль	моль
Дополнительные		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср

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

Множитель	Приставка		
	Наименование	Обозначение	
		Русское	Международное
$10^{18}$	экса	Э	E
$10^{15}$	пета	П	P
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гига	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кило	к	k
$10^2$	гекто	г	h
$10^1$	дека	да	da
$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	милли	м	m
$10^{-6}$	микро	мк	μ
$10^{-9}$	нано	н	n
$10^{-12}$	пико	п	p
$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^{-18}$	атто	а	a

### Основные физические константы

Скорость света в вакууме	$c=299792458$ м/с
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31$ Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	$e = 1,601892 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Удельный заряд электрона	$e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Масса покоя протона	$m_p = 1,007276470$ а.е.м.
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,008665012$ а.е.м.
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$ Ф/м $\approx 8,84$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м $\approx 12,57 \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )
Постоянная смещения Вина	$b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Число «пи»	$\pi = 3,14159\dots$
Основание натуральных логарифмов	$e = 2,71828\dots$
Связь десятичного и натурального логарифмов	$\ln a \approx 2,3 \lg a; \quad \lg a \approx 0,43 \ln a$

### Греческий алфавит

Печатная буква	Название	Печатная буква	Название
Αα	альфа	Νν	ню
Ββ	бета	Ξξ	кси
Γγ	гамма	Οο	омикрон
Δδ	дельта	Ππ	пи
Εε	эпсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзета	Σσς	сигма
Ηη	эта	Ττ	тау
Θθ	тэта	Υυ	ипсилон
Ιι	йота	Φφ	фи
Κκ	каппа	Χχ	хи
Λλ	лямбда	Ψψ	пси
Μμ	мю	Ωω	омега

### Плотность вещества, кг/м<sup>3</sup> (t = 20 °С)

Алюминий	2700	Керосин	820
Бензин	680-720	Глицерин	1284
Никель	8900	Лед при 0°С	917
Железо	7870	Масло касторовое	960
Олово	7300	Спирт этиловый	789
Вода при 4°С	1000	Медь	8930
Воздух при нормальных условиях	1,29	Сталь	7700-7900
Дерево сухое:	600-800	Ртуть	13546
		Свинец	11342
Дуб	700-1000		
Тополь	300-500		

Удельное электрическое сопротивление при 20<sup>0</sup> С, Ом·м

Алюминий	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Кровь	1,66
Жидкость спинномозговая	0,55	Ртуть	$0,958 \cdot 10^{-6}$
Кожа сухая	$10^5$	Спирт этиловый	$10^4 \cdot 10^{-5}$
Ткань мозговая и нервная	14,3	Ткань жировая	33,3
Ткань мышечная	2	Вода	$10^3 \cdot 10^{-4}$

Работа выхода электронов из металлов

Калий	2,2эВ	$3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж
Литий	2,3эВ	$3,7 \cdot 10^{-19}$ Дж
Натрий	2,5эВ	$4,9 \cdot 10^{-19}$ Дж
Платина	6,3 эВ	$10,1 \cdot 10^{-19}$ Дж
Серебро	4,7эВ	$7,5 \cdot 10^{-19}$ Дж
Цинк	4,0эВ	$6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж

Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m <sub>0</sub>		E <sub>0</sub>	
	кг	а. е. м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00065	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,5 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939

Значение интервала длин волн для основных цветов видимого спектра, нм

Красный	760-620
Оранжевый	620-590
Желтый	590-560
Зеленый	560-500
Голубой	500-480
Синий	480-450
Фиолетовый	450-380

Предельный угол внутреннего отражения, град

Вода	49
Глицерин	43
Этиловый спирт	47

Данные относятся к оптической границе указанная среда – воздух

Единицы физических величин СИ, имеющие собственные наименования

Длина	$l$	метр	м
Масса	$m$	килограмм	кг
Время	$t$	секунда	с
Плоский угол	$\varphi, \alpha$	радиан	рад
Телесный угол	$\varphi, \alpha$	стерадиан	ср
Сила, вес	$F, P$	ньютон	Н
Давление	$p$	паскаль	Па
Напряжение (механическое)	$\sigma$	паскаль	Па
Модуль упругости	$E$	паскаль	Па
Работа, энергия	$A, W, E$	джоуль	Дж
Мощность	$N, P$	ватт	Вт
Частота колебаний	$\nu, f$	герц	Гц
Термодинамическая температура	$T$	кельвин	К
Теплота, количество теплоты	$Q$	джоуль	Дж
Количество вещества	$\nu$	моль	моль
Электрический заряд	$q$	кулон	Кл
Сила тока	$I$	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение	$\varphi, U$	вольт	В
Электрическая емкость	$C$	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	$R$	ом	Ом
Электрическая проводимость	$G$	сименс	См
Магнитная индукция	$B$	тесла	Тл
Магнитный поток	$\Phi$	вебер	Вб
Индуктивность	$L$	генри	Гн
Сила света	$E$	канделла	Кд
Световой поток	$\Phi$	люмен	Лм
Освещенность	$\Omega$	люкс	Люкс
Поток излучения	$\Phi$	ватт	Вт
Поглощенная доза излучения (доза излучения)	$D$	грей	Гр

Показатель преломления ( $n$ )

Алмаз	2,417
Вода	1,333
Водород	1,000138
Воздух	1,000292
Кислород	1,000272
Лед	1,31
Оксид углерода	1,000334
Сахар	1,56
Этиловый спирт	1,362
Стекло:	
легкий крон	1,51
тяжелый флинт	1,77
Углекислый газ	1,000450

Данные относятся к желтой линии  $D$  натрия ( $\lambda = 589,3 \text{ нм}$ )

Фотометрические величины

	Наименование величины	Определяющее уравнение	Единица измерения
1	Световой поток	$\Phi = \int I d\Omega$	лм – “люмен”
2	Сила света точечного источника	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$	кд=лм/ср – “кандела” или “люмен” на “стерадиан”
3	Светимость протяженного источника	$R = \frac{d\Phi}{dS}$	лм/м <sup>2</sup> – “люмен” на “квадратный метр”
4	Яркость протяженного источника света	$B = \frac{I}{S} = \left( \frac{d\Phi}{d\Omega} \right) \cdot \frac{1}{S}$	кд/м <sup>2</sup> – “кандела” на “квадратный метр”
5	Освещенность поверхности	$E = \frac{d\Phi}{dS}$	лк=лм/м <sup>2</sup> – “люкс” или “люмен” на “квадратный метр”

## Приложение 2

### Некоторые физические формулы

Скорость при прямолинейном равномерном движении  $\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}$

Формула сложения скоростей  $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$

Ускорение тела  $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$

Конечная скорость при прямолинейном равноускоренном движении

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении через

начальную скорость  $S_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$

Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении через

начальную и конечную скорость  $S_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$

Конечная координата при прямолинейном равноускоренном движении

(уравнение движения тела)  $x = x_0 + S_x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$

Угловая скорость (рад/с)  $\omega = \varphi/t = 2\pi/T = 2\pi\nu$

Центростремительное ускорение  $a_u = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = v\omega$

Второй закон Ньютона  $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$

Сила тяжести  $F_T = mg$

Закон всемирного тяготения  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Абсолютное удлинение  $|\Delta \vec{x}| = \Delta l = |l - l_0|$

Относительное удлинение  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

Закон Гука  $\vec{F}_{упр} = -k \Delta x$

Механическое напряжение  $\sigma = \frac{F}{S}$

Импульс тела  $\vec{p} = m\vec{v}$

Механическая работа  $A = FS \cos \alpha$

Мощность  $N = \frac{A}{t} = Fv \cos \alpha$

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

Потенциальная энергия поднятого над Землёй тела  $E_p = mgh$

Момент силы  $M = Fl$

Молярная масса  $M = m_0 N_A$

Количество вещества  $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$

Уравнение Клаузиуса. Основное уравнение МКТ  $P = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$

Связь давления со средней кинетической энергией. Основное уравнение

МКТ  $P = \frac{2}{3} n \bar{E}$

Температура-мера средней кинетической энергии. Формула Больцмана

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Давление через концентрацию и температуру  $p = nkT$

Средняя квадратичная скорость  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

Уравнение состояния идеального газа. (Уравнение Менделеева –

Клапейрона)  $pV = \frac{m}{M} RT$

Уравнение Клапейрона, (объединенный газовый закон)  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

Изотермический процесс  $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Изобарный процесс  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Изохорный процесс  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

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

Работа газа  $A_{г} = p \Delta V$

Работа внешних сил  $A_{вн} = -p \Delta V$

Количество теплоты при изменении температуры тела

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t$$

Молярная теплоемкость  $C = \frac{Q}{\nu \Delta t} = Mc$

Молярная теплоёмкость газа при постоянном объёме  $C_V = \frac{i}{2} R$

Молярная теплоёмкость газа при постоянном давлении  $C_p = \frac{i+2}{2} R$

Уравнение Майера  $C_p = C_V + R$

КПД теплового процесса  $\eta = \frac{Q_{\text{полез.}}}{Q_{\text{затр.}}} \cdot 100\%$

Первый закон термодинамики  $U_k = U_o \pm A \pm Q$   
 $\Delta U = \pm A \pm Q$

КПД идеальной тепловой машины. Формула Карно  $\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$

Закон Кулона  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

Закон сохранения электрического  $\sum_i q_i = \text{const}$

Напряженность электрического поля:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ , от точечного заряда  $E = k \frac{q}{r^2}$ .

Принцип суперпозиции  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$ .

Для равномерно заряженной плоскости  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .

Поле между двумя разноимённо заряженными пластинами  $E = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}$ .

Поток вектора напряженности  $\Phi = \int_S E_n \cdot dS$ .

Теорема Гаусса в вакууме для электростатики  $\Phi = \sum_{i=1}^N \Phi_i = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{\epsilon_0} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\epsilon_0}$ .

Потенциал электрического поля в данной точке  $\varphi = k \frac{q}{r} = \frac{A}{q}$ .

Потенциальная энергия заряда  $U = q \cdot \varphi$ .

Циркуляция вектора напряженности  $C_E = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint_L E_n dl$ .

Для работы сил поля по замкнутому контуру в электростатике  $\oint_L E \cdot dl = 0$ .

Напряжённость и потенциал связаны

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right) = -\text{grad}\varphi = -\nabla\varphi.$$

и для однородного электрического поля  $E = -\frac{\Delta\varphi}{d}$ .

Электрический момент диполя  $\vec{p} = q \cdot \vec{l}$ .

Момент пары сил  $\vec{F}$ , действующих на диполь:

$$M = F \cdot l \cdot \sin\alpha = |q| \cdot E \cdot l \cdot \sin\alpha = p \cdot E \cdot \sin\alpha.$$

Потенциальная энергия диполя  $U = -p \cdot E \cdot \cos \alpha$ .

Вектор поляризованности  $\vec{P}_V = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$ .

Вектор электрического смещения  $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$  и  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ .

Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике:

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} dS = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i \quad \text{или} \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_i = \int_V \rho_q dV.$$

Ёмкость проводника  $C = \frac{q}{\phi}$ .

Ёмкость плоского конденсатора  $C_{пл} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot S}{d}$ .

Ёмкость при параллельном соединении конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad \text{или} \quad C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

Ёмкость при последовательном соединении конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad \text{или} \quad \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Энергия системы неподвижных точечных зарядов  $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \phi_{ki}$ .

Энергия заряженного конденсатора  $W = \frac{C \cdot (\Delta \phi)^2}{2} = \frac{q \cdot \Delta \phi}{2} = \frac{q^2}{2C}$ .

Объёмная плотность энергии электростатического поля

$$w = W/V = \epsilon_0 \epsilon E^2 / 2 = E \cdot D / 2.$$

Сила электрического тока  $I = \frac{dq}{dt}$ .

Вектор плотности электрического тока  $\vec{j} = \frac{dI}{dS}$ .

Электродвижущая сила источника тока:  $\mathcal{E} = \oint E_{cm} \cdot dl$ .

Напряжение между двумя точками электрической цепи:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}.$$

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

Закон Ома в дифференциальной форме  $\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}$ .

Закон Ома для неоднородного участка цепи  $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E}_{12}}{R}$ .

Сопротивления соединённые последовательно  $R_{\text{послед}} = \sum_{i=1}^n R_i$ .

Сопротивления соединённые параллельно  $\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$ .

Работа электрического тока  $A = \int_0^t U \cdot I \cdot dt = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} t$ .

Мощность постоянного тока  $P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$ .

Закон Джоуля - Ленца  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ .

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме  $w = j \cdot E = \gamma \cdot E^2$ .

КПД источника тока  $\eta = \frac{P_a}{P} = \frac{U}{\mathcal{E}}$ .

Первое правило Кирхгофа:  $\sum_{k=1}^n I_k = 0$ .

Второе правило Кирхгофа:  $\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i$ .

Вектор магнитной индукции  $B = \frac{F_{\text{max}}}{I \cdot \Delta l}$ .

Принцип суперпозиции для магнитного поля  $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$ .

Теорема Гаусса для магнитного поля  $\Phi_B = \oint \vec{B} d\vec{S} = 0$ .

Связь индукции магнитного поля  $\vec{B}$  с напряженностью  $\vec{H}$ :  $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$ .

Закон Био – Савара – Лапласа  $dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \varphi}{r^2}$ .

Магнитное поле в центре кругового проводника с током  $B_0 = \mu_0 \frac{I}{2R}$ .

Закон полного тока  $\oint \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^m I_k$ .

Индукция магнитного поля внутри соленоида  $B = \mu_0 nI$ .

Индукция магнитного поля внутри тороида  $B = \mu_0 nI \cdot \frac{R}{r}$ .

Сила Ампера  $\vec{F} = I[\vec{l}\vec{B}]$ .

Сила Лоренца  $\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}]$ .

Вектор магнитного момента контура  $\vec{p} = I \cdot S$ .

Вращающий момент, действующий на контур с током

$$M = pB \sin \alpha = [\vec{p}\vec{B}].$$

Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле

$$A = I \cdot \Delta\Phi.$$

Орбитальный магнитный момент  $\vec{p}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}$ .

Вектором намагничения или намагниченностью  $\vec{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{\Delta V} \vec{p}_m, = \frac{\vec{P}}{V}$ .

Магнитная индукция намагниченного вещества  $\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$ .

Закон полного тока для магнетика  $\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 \sum_k I_{k_{\text{макро}}} + \mu_0 \sum_i I_{i_{\text{микро}}}$  и

$$\oint \vec{H}d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^m I_{k_{\text{макро}}}.$$

Закон Кюри для восприимчивости парамагнитного вещества  $\chi_m = C/T$ .

Закон Фарадея для электромагнитной индукции:  $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ . или см.

$$\oint \vec{E}_B d\vec{l} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}.$$

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

$$\text{ЭДС взаимной индукции } \varepsilon_{i1} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt}.$$

$$\text{Энергия магнитного поля } W = \frac{LI^2}{2}.$$

$$\text{Плотность энергии магнитного поля } w = \frac{W}{V} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{HB}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}.$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле  $A = I \cdot \Delta\Phi$ .

$$\text{Закон электромагнитной индукции Фарадея: } \oint \vec{E}_B d\vec{l} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}.$$

$$\text{Теорема Гаусса для магнитного поля: } \oint \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

$$\text{Обобщенный закон полного тока: } \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_s (\vec{j}_{np} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}.$$

$$\text{Теорема Остроградского – Гаусса: } \oint_s \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_i = \int_v \rho_q dV.$$

Материальные уравнения в теории Максвелла  $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$ ,  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ ,  $\vec{j}_{np} = \gamma \vec{E}$ .

Волновые уравнения переменного электромагнитного поля

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}.$$

Уравнения плоской бегущей электромагнитной волны

$$\vec{E}(x,t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad \text{и} \quad \vec{H}(x,t) = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi).$$

$$\text{Фазовая скорость } v = c / \sqrt{\varepsilon \mu}.$$

Напряжённости электрического и магнитного полей **волны** связаны

$$\text{соотношением } \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H.$$

Объемная плотность энергии электрического и магнитного полей:

$$w = \sqrt{\epsilon\epsilon_0} \cdot \sqrt{\mu\mu_0} \cdot E \cdot H.$$

Вектор Умова – Пойнтинга для электромагнитной волны  $\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}]$ .

Импульс электромагнитного излучения  $\vec{p} = \frac{W}{c}$ .

Переменный электрический ток  $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ , или  $i = I_m \cos(\omega t + \varphi_1)$ .

Переменное напряжение  $u = U_m \cos \omega t$ .

Действующим (эффективным) значением переменного тока  $I = I_{\text{эфф}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ .

Закон Ома для цепи переменного тока  $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$ .

Среднее значение мощности переменного тока

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

Закон преломления света  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ .

Предельный угол полного отражения  $\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{1}{n}$ .

Общая формула линзы:  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ .

Формула тонкой линзы  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ .

Оптической силой линзы  $D = \frac{1}{F}$ .

Линейное увеличение линзы  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ .

Условие интерференционного **максимума**  $\Delta = \pm m \lambda_0$ .

Условием интерференционного **минимума**  $\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$ .

Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отражённого от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \lambda_0/2 = m\lambda_0.$$

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \lambda_0/2 = (2m + 1)\lambda_0/2.$$

Радиусы **светлых** колец Ньютона в отражённом свете (- тёмных в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{(m - 1/2)\lambda_0 R}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Радиусы **тёмных** колец Ньютона в отражённом свете (- светлых в проходящем свете)

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

Радиус внешней границы  $m$ -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{abm\lambda}{a+b}}.$$

Условие дифракционного минимума имеет вид  $a \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda$ .

Дифракционный максимум определяется:  $a \cdot \sin \varphi = (2m + 1) \cdot \lambda/2$ .

**Главные максимумы** для дифракционной решётки  $d \cdot \sin \varphi = \pm m \cdot \lambda$ .

**Главные минимумы** для дифракционной решётки  $a \cdot \sin \varphi = \pm m \cdot \lambda$ .

Степенью поляризации света  $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ .

Закон Малюса для поляризованного света  $I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$ .

Как показал Брюстер  $\text{tg}(i_B) = n_2/n_1 = n_{21}$ .

Закону Кирхгофа для теплового излучения:  $\frac{R_{\nu, T}}{A_{\nu, T}} = f(\nu, T) = r_{\nu, T}$ .

Формула Планка для теплового излучения:  $r_{\lambda, T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/kT\lambda) - 1}$ .

Закон Стефана – Больцмана  $R_T = \sigma \cdot T^4$ .

Закон смещения Вина  $\lambda_{\max} = b/T$ .

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта  $h\nu = A_{\text{вых}} + m_e \nu_{\max}^2 / 2$ .

Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = hc/A_{\text{вых}}$ .

Давление света  $p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho)$ .

Эффект Комптона  $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2} = \lambda_c(1 - \cos\theta)$ .

Сложение скоростей в специальной теории относительности:

$$v = \frac{v' + v_0}{1 + (v_0 v')/c^2}.$$

Релятивистский импульс  $\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ .

Закон взаимосвязи массы и энергии  $E = W_{кин} + E_0 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = m_r c^2$ .

Фотон с энергией  $E = h\nu$  обладает импульсом  $p = E/c = h\nu/c = h/\lambda$ .

Первый постулат Бора, *постулат стационарных состояний*  $m v_n r_n = n\hbar$ .

Второй постулат Бора, *постулат квантования энергии*  $h\nu = E_m - E_n$ .

Радиус  $n$ -й стационарной орбиты электрона:  $r_n = n^2 \frac{h^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{m_e Z e^2}$ .

Энергия электрона в водородоподобной системе

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

Энергия атома водорода  $E_{z=1} = -\frac{13,6}{n^2}$ , эВ.

Формула Бальмера - Ридберга для атома водорода

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R_\nu \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Гипотеза де Бройля  $\lambda_\Phi = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v}$ .

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$$

Соотношение неопределённостей  $\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar/2$ , а также  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ .

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar/2$$

Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний:  $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = E\psi$ .

Собственные значения энергии для одномерной потенциальной ямы

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2.$$

Собственные функции для одномерной потенциальной ямы

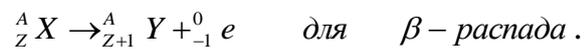
$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{\pi n}{L} x\right).$$

$$\text{Энергия связи ядра } E_{св} = [Zm_H + (A-Z)m_n - m]c^2.$$

$$\text{Дефект массы ядра } \Delta m = [Zm_p + (A-Z)m_n] - m.$$

$$\text{Закон радиоактивного распада } N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Правила смещения:



## ГЛОССАРИЙ

**Абсолютно твердое тело** – система материальных точек, расстояние между которыми не изменяются в данной задаче. Абсолютно твердое тело обладает только поступательными и вращательными степенями свободы.

**Вес тела** – сила, с которой тело, находящееся в силовом (гравитационном) поле, действует на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес. Значит, вес приложен к опоре, к подвесу, но не к телу.

**Вращательное движение вокруг оси** – движение, при котором траектории всех точек тела являются окружностями с центрами, расположенными на одной прямой (оси вращения), и лежащими в плоскостях, перпендикулярных этой прямой.

**Второй закон Ньютона** – физический закон, в соответствии с которым ускорение, приобретаемое материальной точкой в инерциальной системе отсчета, прямо пропорционально действующей на тело (равнодействующей) силе, обратно пропорционально массе тела, и направлено в сторону действия силы. В такой форме закон применим только для тел, масса которых при движении не меняется. Более общая формулировка второго закона Ньютона гласит: скорость изменения импульса тела прямо пропорциональна действующей силе  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ .

**Движение материальной точки по окружности** – движение материальной точки, когда траекторией точки является окружность. Это простейший случай криволинейного движения.

**Закон сохранения момента импульса** – физический закон, в соответствии с которым момент импульса замкнутой системы относительно любой неподвижной точки не изменяется со временем. Закон сохранения момента импульса есть проявление изотропности пространства.

**Закон сохранения электрического заряда** – физический закон, в соответствии с которым в замкнутой системе взаимодействующих тел

алгебраическая сумма электрических зарядов (полный электрический заряд) остается неизменной при всех взаимодействиях

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

**Замкнутая система** в механике — это совокупность физических тел, у которых взаимодействия с внешними телами отсутствуют или скомпенсированы.

**Импульс** — произведение массы (точечного) тела на скорость в конкретной системе отсчета. Импульс механической системы равен векторной сумме импульсов всех частей системы. В системе СИ единицей импульса является килограмм-метр в секунду.

**Инерция** — явление сохранения скорости прямолинейного равномерного движения или состояния покоя при компенсации внешних воздействий. Инерция присуща всем материальным объектам в одинаковой степени. Движение по инерции — движение тела, происходящее без внешних воздействий.

**Инертность** — свойство материальных объектов приобретать разные ускорения при одинаковых внешних воздействиях со стороны других тел. Мерой инертности тела в поступательном движении является его *масса*, а при вращательном движении — *момент инерции*.

**Инерциальная система отсчета**—система отсчета, в которой тело находится в покое или движется равномерно и прямолинейно до тех пор, пока на него не действуют другие тела или это действие скомпенсировано. Смысл *первого закона Ньютона* в утверждении существования таких систем отсчета.

**Динамика** — раздел механики, изучающий влияние взаимодействий между телами на их *механическое движение*. Динамика отвечает на вопрос: почему движется тело? Это причинная часть механики.

**Кинематика** — раздел механики, изучающий геометрические свойства движения тел без учета их масс и действующих на них сил. Кинематика исследует способы описания движений и связей между величинами,

характеризующими эти движения. Кинематика отвечает на вопрос: как движется тело?

**Кинетическая энергия** – энергия механической системы, зависящая от скоростей ее точек. Если тело массы  $m$  движется со скоростью  $v$ , то его кинетическая энергия равна  $mv^2/2$ .

**Колебания** – это периодически повторяющиеся движения. Колебания, описываемые законом синуса  $x = A \sin(\omega t + \varphi)$  или косинуса  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ , называются гармоническими. Величина, стоящая под знаком гармонической функции  $(\omega t + \varphi)$ , называется фазой;  $\omega$  называется круговой (или циклической) частотой;  $\varphi$  – начальной фазой. Колебания разной природы описываются математически совершенно одинаково.

**Линейная скорость** – скорость отдельной точки вращающегося тела, зависящая от угловой скорости и расстояния от точки до оси вращения. Линейная скорость материальной точки численно равна расстоянию, которое точка проходит в единицу времени.

**Масса** – мера инертных и гравитационных свойств тела. Масса не зависит от скорости. Измеряется в [кг].

**Математический маятник** – механическая колебательная система, состоящая из материальной точки, подвешенной на тонкой, невесомой и нерастяжимой нити или на невесомом стержне в поле сил тяжести. Период малых колебаний математического маятника не зависит от амплитуды и определяется по формуле.

**Материальной точкой** называется тело, размеры и форма которого в данной задаче не существенны. Материальную точку часто называют телом.

**Мгновенная скорость** – предел средней скорости за бесконечно малый промежуток времени. Мгновенная скорость направлена по касательной в

данной точке траектории  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$ .

**Мгновенная угловая скорость** – предел, к которому стремится средняя

угловая скорость при бесконечном уменьшении промежутка времени. Мгновенную угловую скорость можно найти, таким образом, как

производную от угла поворота по времени  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \vec{\omega}$ .

**Механика** – основной раздел физики; наука о механическом движении материальных тел и происходящих взаимодействиях между ними. В результате взаимодействия изменяются скорости тел или тела деформируются. Механика подразделяется на *статику*, *кинематику* и *динамику*.

**Работа** в механике есть мера изменения полной механической энергии систем. Элементарная работа определяется как скалярное произведение *силы* на элементарное *перемещение*  $A = F \cdot S$ . Измеряется в [Дж].

**Момент инерции** – скалярная величина, характеризующая распределение масс в теле, и являющаяся мерой инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела относительно заданной оси вращения равен сумме произведений элементарных масс всех малых частей (материальных точек) тела на квадраты их расстояний до рассматриваемой

$$I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$$

оси

**Момент инерции материальной точки относительно оси** – произведение массы материальной точки на квадрат ее расстояния до оси  $I = m_i \cdot r_i^2$ .

**Момент инерции тела относительно оси** – сумма моментов инерции

$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

составляющих тело частиц

**Неинерциальная система отсчета** – система отсчета, в которой не выполняется первый закон Ньютона. Неинерциальная система отсчета движется с ускорением относительно некоторой *инерциальной системы отсчета*. Важным классом неинерциальных систем являются вращающиеся системы отсчета.

**Нормальное ускорение** – составляющая ускорения, направленная вдоль нормали к траектории движения в данной точке. Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению  $a_n = \frac{v^2}{r}$ .

**Первый закон Ньютона** (открыт Галилеем) – *физический закон*, в соответствии с которым материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного движения до тех пор, пока внешние воздействия не изменят это состояния.

**Перемещением** называется вектор, проведенный из начальной в конечную точку *траектории*. В случае прямолинейной траектории модуль вектора перемещения равен пройденному пути.

**Потенциальная энергия** – часть *механической энергии* тела, зависящая от взаимного расположения ее частей и от их положений во внешнем *силовом поле*. Численно потенциальная энергия системы в данном состоянии равна работе, которую произведут действующие на систему силы при переходе системы из этого положения в то, где потенциальная энергия условно принимается равной нулю.

**Равномерное вращательное движение** – движение, при котором углы поворота материальной точки за любые равные промежутки времени одинаковы.

**Равномерное движение** – движение, при котором за любые равные промежутки времени материальная точка проходит одинаковые пути.

Равномерное прямолинейное движение – то же самое, что и *Равномерное движение*, если траектория тела – прямая линия.

**Равномерное движение материальной точки по окружности** –

движение материальной точки по окружности, при котором модуль ее скорости не меняется. Меняется только направление скорости. При таком движении материальная точка обладает центростремительным ускорением. Центростремительное ускорение – частный случай *нормального ускорения*. **Сила** – мера механического действия на материальную точку или тело других тел или полей. Сила вызывает изменение *скорости* тела или его деформацию. В механике различают силы, возникающие при непосредственном контакте тел или на расстоянии посредством создаваемых телами полей. Можно показать, что на микроскопическом уровне все силы (например, сила упругости) обусловлены полями. Сила – векторная величина, поэтому в каждый момент времени она характеризуется числовым значением, направлением и точкой приложения. В механике природа сил не рассматривается. Единица силы в СИ – 1 Ньютон.

**Силы инерции** – фиктивные силы, которые вводятся в *неинерциальных системах отсчета*, чтобы *второй закон Ньютона* можно было распространить на неинерциальные системы отсчета. Например, во вращающихся системах отсчета появляются центробежная сила и сила Кориолиса.

**Система отсчета** – *тело отсчета*, система координат, связанная с телом отсчета, и часы (прибор для измерения времени движения с указанием на начало его отсчета). Система отсчета используется для определения положения в пространстве физических объектов в различные моменты времени. Различают *инерциальные* и *неинерциальные системы отсчета*.

**Среднее угловое ускорение** – физическая величина, численно равная отношению приращения угловой скорости к промежутку времени, за который это приращение произошло 
$$\langle \omega \rangle = \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} .$$

**Средняя угловая скорость** – отношение угла поворота радиуса любой точки вращающегося тела к промежутку времени, за который совершился

этот поворот  $(\vec{\varepsilon}) = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$ .

**Статика** - раздел механики, изучающий условия равновесия материальных точек или их системы, находящихся под действием сил.

**Тангенциальное ускорение** – составляющая ускорения, направленная вдоль касательной к траектории движения в данной точке. Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по модулю  $a_{\tau} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

**Тело отсчета** – тело, относительно которого рассматривается движение всех остальных тел.

**Теорема Штейнера** – соотношение для расчета момента инерции тела относительно произвольной оси, если известен момент инерции  $I_0$  относительно оси, проходящей через центр масс тела. Момент инерции тела относительно оси, параллельной оси, проходящей через центр масс тела и отстоящей от нее на расстояние  $d$ , определяется по формуле  $I_0 + md^2$ , где  $m$  - масса тела.

**Траекторией** называется воображаемая линия, описываемая телом при движении. В зависимости от формы траектории движения бывают криволинейные и прямолинейные. Примеры криволинейного движения: движение тела, брошенного под углом к горизонту (траектория – парабола), движение материальной точки по окружности.

**Трение** – явление сопротивления тел относительно перемещению. Возникает между двумя телами в плоскости соприкосновения их поверхностей и сопровождается диссипацией (рассеиванием) энергии.

**Механическая энергия** системы, в которой есть трение, может только уменьшаться. Наука, изучающая трение, называется трибологией. Опытным путем установлено, что максимальная сила трения покоя и сила трения скольжения не зависит от площади соприкосновения тел и пропорциональна силе нормального давления, прижимающей поверхности друг к другу. Коэффициент пропорциональности при этом называется коэффициентом трения (покоя или скольжения).

**Третий закон Ньютона**– физический закон, в соответствии с которым силы взаимодействия двух материальных точек равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки. Как и прочие законы Ньютона, третий закон справедлив только для *инерциальных систем отсчета*. Краткая формулировка третьего закона: действие равно противодействию.

**Ускорение свободно падающего тела**– ускорение, с которым движется тело под действием силы тяготения. Ускорение свободного падения одинаково для всех тел, независимо от их *массы*. На Земле ускорение свободно падающего тела зависит от высоты над уровнем моря и от географической широты и направления к центру Земли. На широте  $45^0$  и на уровне моря ускорение свободно падающего тела  $g = 9.80665 \text{ м/с}^2$ . В учебных задачах обычно полагают  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

**Физический маятник**–*абсолютно твердое тело*, имеющее ось вращения. В поле тяготения физический маятник может совершать колебания около положения равновесия, при этом *массу* системы нельзя считать сосредоточенной в одной точке. Период колебаний физического маятника зависит от *момента инерции* тела и от расстояния от оси вращения до *центра масс*.

**Центр масс** – точка тела (или системы тел), которая движется так, как если бы в ней была сосредоточена вся масса тела (системы) и если бы к ней были приложены все внешние силы, действующие на систему. Другое название этой точки – *центр инерции*. Система отсчета, связанная с центром масс, называется Ц-системой или системой центра масс. В такой системе удобно решать задачи, если нас не интересует движение системы в целом, а только относительное движение ее частиц.

**Энергия** – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Основные виды энергии: механическая, внутренняя, электромагнитная, химическая, гравитационная, ядерная.

Одни виды энергии могут превращаться в другие в строго определенных количествах.

**Диэлектрик** – вещество, обладающее низкой удельной электрической проводимостью. Идеальный диэлектрик вообще не проводит ток, его проводимость равна нулю. К диэлектрикам относятся пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики, электреты и др.

**Доменами** называют области спонтанной (самопроизвольной) намагниченности в ферромагнетике. Размеры доменов порядка 1 мкм. См. также Ферромагнетизм.

**Закон Ампера** устанавливает связь силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, с силой тока и индукцией магнитного поля:  $dF = I B dl \sin \alpha$ , где  $I$  – сила тока,  $B$  – индукция магнитного поля,  $dl$  – длина элементарного участка проводника. Направление вектора  $dF$  определяется с помощью правила левой руки.

**Закон Био-Савара-Лапласа** позволяет рассчитать напряженность магнитного поля тока любой конфигурации путем интегрирования выражения:  $dH = I [dl, r] / 4\pi r^3$ , где  $dH$  – напряженность магнитного поля, создаваемого элементом тока  $dl$ ,  $r$  – радиус-вектор, проведенный от элемента тока в точку, в которой рассчитывается напряженность поля.

**Закон Кулона** – основной закон электростатики, выражающий зависимость силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов от расстояния между ними. Два неподвижных точечных заряда взаимодействуют с силой прямо пропорциональной произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и зависящей от диэлектрической проницаемости среды, в которой находятся заряды (Кулон, 1785). Закон Кулона подтверждается опытом вплоть до расстояний

порядка  $10^{-15}$  м (размеры ядра атома) 
$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} .$$

**Закон Джоуля-Ленца** позволяет найти количество теплоты, выделяющееся в проводнике при протекании электрического тока:

количество теплоты прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ .

**Закон Ома** для участка цепи связывает силу тока с разностью потенциалов на концах проводника и сопротивлением проводника:  $I = (\varphi_1 - \varphi_2)/R$ . Закон Ома для замкнутой (полной) цепи связывает электродвижущую силу источника с полным сопротивлением цепи:  $I = E/(R_n + R_0)$ . Здесь  $R_n$  и  $R_0$  – соответственно сопротивление нагрузки и внутреннее сопротивление источника.

**Закон электромагнитной индукции** – ЭДС индукции в замкнутом контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром. Электронный механизм закона электромагнитной индукции состоит в том, что переменное магнитное поле порождает (индуцирует) вихревое электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Открыт Фарадеем (1831). В обобщенном виде закон входит в систему уравнений Максвелла.

**Зонная теория твердого тела** – квантовая теория энергетического спектра электронов в кристалле. Согласно зонной теории этот спектр состоит из чередующихся зон (полос) разрешенных и запрещенных энергий. Зонная теория хорошо объясняет ряд явлений, в частности разный механизм электропроводности металлов, диэлектриков и полупроводников.

**Индуктивность** – физическая величина, характеризующая связь между скоростью изменения тока в проводнике (катушке) и возникающей при этом ЭДС самоиндукции. Индуктивность проводника (катушки) зависит от его размеров и формы, числа витков, а также от материала магнитопровода. Единицей индуктивности в СИ является 1 Генри.

**Источник тока** – источник электрической энергии, в котором действуют сторонние силы, разделяющие электрические заряды. Источник тока характеризуется электродвижущей силой и внутренним сопротивлением. Источниками тока являются гальванические элементы, аккумуляторы,

машины постоянного тока и др.

**Конденсатор**— элемент электрической цепи, предназначенный для использования его в различных электро- и радиотехнических схемах. Конденсатор состоит из двух или проводников (обкладок), разделенных слоем диэлектрика. Толщина диэлектрика обычно мала по сравнению с размерами проводников. В зависимости от формы обкладок конденсаторы бывают плоские, цилиндрические, сферические и др. По типу диэлектрика различают воздушные, бумажные, слюдяные, керамические и др. конденсаторы.

**Контактной разностью потенциалов** называется разность потенциалов, возникающая при контакте двух разнородных металлов. Открыл явление итальянский ученый Вольты (1797).

**Магнитное поле** – одна из сторон единого электромагнитного поля. Магнитное поле создается движущимися зарядами (током проводимости) и переменным электрическим полем (током смещения). Действует магнитное поле только на движущиеся заряды.

**Магнитным моментом** называется векторная величина, модуль которой равен произведению силы электрического тока в контуре на площадь обтекаемую этим током. Направление магнитного момента связано с направлением тока правилом буравчика.

**Магнитный поток** (или поток вектора  $B$ ) – это поток  $\Phi_B$  вектора магнитной индукции через какую-либо поверхность. В случае однородного магнитного поля и плоской поверхности  $\Phi_B = BS \cos \alpha$ , где  $B$  – индукция магнитного поля,  $S$  – площадь поверхности,  $\alpha$  – угол между вектором  $B$  и нормалью к поверхности.

**Парамагнетизмом** называется свойство веществ (парамагнетиков) намагничиваться в направлении силовых линий внешнего магнитного поля. Атомы парамагнетиков имеют отличный от нуля магнитный момент и ведут себя в магнитном поле подобно микроскопическим магнитным стрелкам.

**Потенциал электростатического поля  $\varphi$**  – энергетическая характеристика поля. Определяется как величина, измеряемая работой сил поля по переносу единичного положительно заряда из данной точки в другую, фиксированную точку. В качестве фиксированной часто берут бесконечно удаленную точку. Другими словами, потенциал электростатического поля равен потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в эту точку. Единица потенциала в СИ 1 Вольт.

**Правило Ленца**– правило, определяющее направление индукционных токов, возникающих при электромагнитной индукции. Согласно правилу Ленца индукционный ток всегда имеет такое направление, что его собственный магнитный поток компенсирует изменения внешнего магнитного потока, вызвавшего этот ток. Правило Ленца есть следствие закона сохранения энергии. Э.Х.Ленц (1804-1865) - русский физик.

**Полупроводниками** называется класс веществ, занимающих по своей способности проводить *электрический ток* промежуточное положение между *металлами* и *диэлектриками*. С точки зрения зонной теории твердого тела вещество относится к полупроводникам, если ширина запрещенной зоны, отделяющей валентную зону от зоны проводимости, меньше 2 эВ.

**Постоянным** называется *электрический ток*, не меняющийся с течением времени. В случае постоянного тока при определении силы тока  $I = \Delta q / \Delta t$  можно брать любой промежуток времени  $\Delta t$ .

**Правила Кирхгофа** применяются для расчета сложных (разветвленных) цепей постоянного тока. Метод комплексных токов позволяет распространить эти правила для расчета цепей переменного тока.

**Проводниками** называются вещества, содержащие в достаточной концентрации свободные *заряды*. К проводникам относятся металлы, ионизированные газы, водные растворы *электролитов* и расплавы солей. В *электрическом поле* свободные заряды перераспределяются так, что

*напряженность* электрического поля внутри проводника оказывается равна нулю, а *потенциал* проводника всюду одинаков.

**Самоиндукция** – явление возникновения *электродвижущей силы* в проводнике (катушке) при изменении протекающего в ней *электрического тока*. Величина и знак ЭДС самоиндукции определяются *законом электромагнитной индукции*.

**Явление сверхпроводимости** открыл голландский физик Камерлинг-Оннес (1911): сопротивление ртути при температуре, близкой к абсолютному нулю, скачком уменьшалось до нуля. В дальнейшем сверхпроводимость была обнаружена и у других металлов и сплавов (свинец, олово, железо и др.). Сверхпроводимость, как и электрическое сопротивление, объясняется взаимодействием коллективизированных электронов металла с кристаллической решеткой. В 1986 году обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость, теория которой находится в стадии разработки.

**Силой Лоренца** называется сила, действующая на *заряд* в *электрическом и магнитном поле* (электрическая и магнитная сила Лоренца):  $F = q\{E + [v, B]\}$ . Первое слагаемое в последнем выражении называется электрической, а второе – магнитной силой Лоренца.

**Силой тока** называется величина, измеряемая *зарядом*, протекающим через поперечное сечение проводника в одну секунду. Единица силы тока в СИ: 1 Ампер – четвертая основная единица этой системы (наряду с метром, килограммом и секундой).

**Стационарным** называется *электрическое поле*, существующее в проводнике с током и обуславливающее перенос энергии в цепях постоянного тока. Заряды при протекании тока непрерывно перемещаются, но распределение их остается неизменным. Поэтому стационарное поле, подобно электростатическому, является потенциальным.

**Точечный электрический заряд** – заряженное тело, размерами которого можно пренебречь в условиях конкретной задачи.

**Трансформатором** называется устройство для преобразования переменного тока и напряжения. Принцип действия основан на *законе электромагнитной индукции*.

**Удельное сопротивление** величина, характеризующая способность вещества проводить *электрический ток*, и численно равная сопротивлению проводника длиной в 1 метр и площадью поперечного сечения 1 м<sup>2</sup>. Удельное сопротивление зависит от температуры. У металлов оно растет с ростом температуры, у полупроводников и водных растворов электролитов – уменьшается.

**Ферромагнетизмом** называется свойство некоторых веществ (ферромагнетиков) спонтанно намагничиваться. *Магнитные моменты* атомов ферромагнетика в пределах микроскопических областей (*доменов*) спонтанно ориентируются параллельно друг другу. Процесс намагничивания можно рассматривать как процесс ориентации магнитных моментов доменов вдоль силовых линий *магнитного поля*. При выключении магнитного поля ферромагнетик остается намагниченным (остаточная намагниченность). Ферромагнетизм наблюдается только при условии, что температура не превышает так называемую температуру (или точку) Кюри. Самые известные ферромагнетики – железо, кобальт и никель.

**Электризация тела**– сообщение *электрических зарядов* телу или наведение зарядов на нем. На микроскопическом уровне электризация сопровождается переходом очень небольшого числа электронов от одного тела к другому.

**Электрический диполь**– система двух точечный зарядов одинаковых по абсолютной величине и противоположных по знаку, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. На диполь, находящийся в электрическом поле, действует пара сил, стремящихся установить его вдоль силовых линий. Молекулы многих веществ по своим свойствам подобны электрическому диполю.

**Электрический заряд**– физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в *электромагнитное взаимодействие* и определяющая значения сил и энергий при таких взаимодействиях. Электрическим зарядам приписывают положительный или отрицательный знак. Единица заряда в системе СИ – 1 Кл (кулон).

**Электрический ток** – это направленное (упорядоченное) движение *электрических зарядов*. Различают ток проводимости (движение заряженных микрочастиц движутся внутри макроскопического тела), конвекционный ток (движение заряженных макроскопических тел или частиц, например, частиц пыли) и ток в вакууме (пучки электронов или ионов в вакууме).

**Электродвижущая сила**– характеристика источника энергии в электрической цепи. Электродвижущая сила измеряется отношением работы *сторонних сил* по перемещению заряда вдоль цепи к значению этого заряда. Можно сказать, что ЭДС есть удельная работа сторонних сил. ЭДС, как и *потенциал*, измеряется в вольтах.

**Электродинамика**– раздел физики, изучающий свойства *электромагнитного поля* и его взаимодействие с *зарядами*, связь электрических и магнитных явлений, а также *электрический ток*. Различают *классическую*, релятивистскую и *квантовую* электродинамики. Основой классической электродинамики являются уравнения Максвелла.

**Электролитами** называются вещества (соли, кислоты, основания), водные растворы которых проводят электрически ток. Молекулы электролитов под действием полярных молекул воды диссоциируют – распадаются на противоположно заряженные ионы.

**Электромагнитное поле** - особая форма существования материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между покоящимися или движущимися *электрическими зарядами*

**Электромагнитная волна** – это свободное (оторвавшееся от токов и зарядов) переменное *электромагнитное поле*. Существование

электромагнитных волн вытекает из *уравнений Максвелла*. Переменные электрическое и магнитное поле могут отрываться от породивших их токов и зарядов и, поддерживая друг друга, распространяться в пространстве со скоростью света. Поэтому говорят, что Максвелл предсказал существование электромагнитных волн. Герц получил эти волны экспериментально, а Попов построил первый радиоприемник.

**Электростатика** – раздел *электродинамики*, изучающий поле неподвижных зарядов и их взаимодействие. Основу электростатики составляет *закон Кулона*.

**Элементарный электрический заряд** – наименьший положительный или отрицательный электрический заряд, равный по абсолютному значению заряду электрона. Заряд любого тела или частицы есть величина, кратная элементарному заряду. Частицы с дробным зарядом в свободном состоянии не наблюдаются.

**Энергия**, запасенная в *магнитном поле* катушки, равна  $W = LI^2/2$ , где  $I$  – сила тока,  $L$  – индуктивность катушки (ср. с формулой кинетической энергии!).

Энергия, запасенная в электрическом поле *конденсатора*, равна  $W = CU^2/2$ , где  $U$  – напряжение на конденсаторе,  $C$  – емкость конденсатора.

**Абсолютный показатель преломления света** – отношение скорости света в вакууме к фазовой скорости света в данной среде. Абсолютный показатель преломления света показывает во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в данной среде.

**Видимое излучение** – электромагнитное излучение, вызывающее зрительное ощущение и занимающее участок спектра от 380 до 780 нм. Световые излучения различных частот воспринимаются человеком как разные цвета.

**Геометрическая оптика** – раздел оптики, в котором изучаются законы распространения света в прозрачных средах, основанные на представлении

о световых лучах. Основными законами геометрической оптики являются:  
- закон прямолинейного распространения света; - закон независимых световых пучков; - закон отражения; - закон преломления.

**Волновая оптика** – раздел оптики, изучающий явления, в которых проявляется волновые свойства света.

**Двойное лучепреломление** – раздвоение светового луча при прохождении через оптически анизотропную среду, возникающее вследствие зависимости показателя преломления света от его поляризации. В одноосном двоякопреломляющем кристалле, например, в кристалле исландского шпата, падающий луч света расщепляется на два луча, обыкновенный и необыкновенный, имеющие разные показатели преломления и поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

**Дифракционная решетка** – оптическое устройство, имеющее большое число щелей, разделенных непрозрачными промежутками, на которых происходит дифракция света. Обычно дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа параллельных штрихов одинаковой ширины, нанесенных на прозрачную или отражающую поверхность на одинаковом расстоянии друг от друга. Дифракционная решетка является основным элементом многих спектральных приборов.

**Дифракция света** – отклонение от законов геометрической оптики, выражающееся в огибании светом малых препятствий. Дифракция наблюдается при распространении света в среде с резко выраженными неоднородностями.

**Закон Малюса** – физический закон, согласно которому интенсивность световой волны, прошедшей поляризатор и анализатор, пропорциональна квадрату косинуса угла между плоскостями главных сечений поляризатора и анализатора  $I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha$ .

**Закон независимых световых пучков** – постулат геометрической оптики, в соответствии с которым: Распространение всякого светового пучка в

среде не зависит от того, есть ли в этой среде другие пучки света или нет.

**Закон отражения света** – закон, определяющий взаимное расположение при зеркальном отражении падающего и отраженного лучей, а также перпендикуляра, восстановленного к границе раздела двух сред в точке падения: -1- оба луча и перпендикуляр лежат в одной плоскости; -2- угол падения равен углу отражения.

**Закон преломления света** – один из законов геометрической оптики, согласно которому падающий луч, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред и равная относительному показателю преломления второй среды по отношению к первой.

**Закон прямолинейного распространения света** – постулат геометрической оптики, в соответствии с которым в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Закон прямолинейного распространения света является следствием *принципа Ферма*.

**Излучательностью** называется полная мощность (на всех частотах и по всем направлениям) излучения с единицы поверхности нагретого тела. Излучательность зависит от температуры тела и от коэффициента поглощения его поверхности. Старые названия этой величины – энергетическая светимость или лучеиспускательная способность.

**Интерференция света** – оптическое явление, возникающее при сложении двух или нескольких когерентных световых волн, линейно поляризованных в одной плоскости. Интерференция представляет собой устойчивую во времени картину усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

**Источник света** – излучатель электромагнитной энергии в видимой части спектра. Источники света подразделяются на естественные (Солнце, Луна и т. д.) и искусственные (лампы накаливания, газоразрядные лампы и др.).

**Квантовая оптика** – раздел оптики, изучающий явления, в которых обнаруживаются квантовые свойства электромагнитного излучения (света). Это *тепловое излучение, фотоэффект, эффект Комптона* и др.

**Лазеры** (от от первых букв англ. фразы Light amplification by stimulated emission of radiation) – квантовые генераторы света, принцип действия которых основан на явлении вынужденного (стимулированного) излучения. Излучение лазеров поляризовано, обладает монохроматичностью, большой мощностью в узком спектральном диапазоне и малой расходимостью светового пучка. Находят широкое применение в технике и экспериментальной физике.

**Оптика** – раздел физики, в котором изучаются закономерности оптических явлений, природа света и его взаимодействия с веществом.

**Относительный показатель преломления света** – отношение фазовой скорости света в первой среде к фазовой скорости света во второй среде. Численно относительный показатель преломления света равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления.

**Период дифракционной решетки** – расстояние между серединами двух соседних щелей дифракционной решетки. Другое название – шаг или постоянная решетки.

**Показатель преломления света** – мера оптической плотности среды, равная отношению *скорости света* в вакууме к скорости света в среде. Показатель преломления света зависит от частоты света и от параметров состояния среды. Различают абсолютные и относительные показатели преломления.

**Поляризатор** – прибор, предназначенный для получения полностью или частично поляризованного света. Поляризатор можно использовать в качестве *анализатора* поляризованного излучения.

**Поляризация света** – ориентация векторов напряженности электрического поля и магнитной индукции световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу. Обычно поляризация возникает при

отражении и преломлении света, а также при распространении света в анизотропной среде. Различают линейную, круговую и эллиптическую поляризацию света.

**Преломление света** – явление, заключающееся в изменении направления распространения световой волны при переходе из одной среды в другую, отличающуюся *показателем преломления света*.

**Термином «свет»** обозначают не только *видимый свет*, но и электромагнитное излучение других диапазонов (инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, *рентгеновские лучи*). Таким образом, этот термин используется как синоним выражения «электромагнитное излучение».

**Скорость света в вакууме**– скорость распространения света в вакууме  $c = 299'792'458$  м/с. Скорость света в вакууме - предельная скорость распространения любых физических взаимодействий.

**Тепловое излучение** – это электромагнитное излучение нагретых тел. Законы теплового излучения объясняет *квантовая теория* М. Планка (1900).

Черным называется идеализированное тело, поглощающее всю падающую на его поверхность энергию. Устаревшее название черного тела – абсолютно черное тело. Реальные тела не являются черными; поверхность, хорошо поглощающая свет в видимом диапазоне, может плохо поглощать в инфракрасном.

**Электрон** – мельчайшая отрицательно заряженная частица, входящая в состав атомов.

**Адиабатическим** называется процесс, происходящий в условиях теплоизоляции (без теплообмена со *средой*).

**Вакуумом** называется состояние разрежения, когда соударения молекул друг с другом немногочисленны по сравнению с соударениями со стенками сосуда. Степень разрежения зависит от соотношения среднего свободного пробега и линейных размеров сосуда.

**Внутренним трением** называется возникновение силы трения между слоями жидкости или газа, движущимися с разными скоростями. Причиной внутреннего трения является хаотическое тепловое движение. См. также *Явления переноса*.

**Внутренней энергией** ( $U$ ) называется общий запас энергии системы за вычетом кинетической энергии системы как целого и потенциальной энергии системы как целого во внешнем потенциальном поле. Внутренняя энергия *идеального газа* равна суммарной кинетической энергии молекул.

**Закон Бойля-Мариотта** утверждает, что для данной массы газа, при постоянной температуре, произведение давления на объем есть величина постоянная:  $pV = \text{const}$ .

Закон Гей-Люссака утверждает, что для данной массы газа, при постоянном давлении, объем газа прямо пропорционален абсолютной температуре:  $(V_1/V_2) = (T_1/T_2)$ .

**Закон Гука** выражает линейную зависимость между напряжениями и малыми деформациями в упругой среде. Английский ученый Р.Гук обнаружил (1660), что при растяжении стержня длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $S$  удлинение стержня  $\Delta l$  пропорционально растягивающей силе  $F$ . Еще одна форма записи закона Гука:  $\sigma = E\varepsilon$ , где  $\sigma = F/S$  – нормальное напряжение в поперечном сечении,  $\varepsilon = \Delta l/l$  – относительное удлинение стержня. Коэффициент пропорциональности  $E$  называется модулем Юнга.

**Закон Дальтона** гласит: давление смеси химически не взаимодействующих газов равно сумме *парциальных давлений* отдельных компонентов.

**Закон Дюлонга и Пти** утверждает, что атомная теплоемкость химически простого кристаллического твердого тела одинакова для всех таких тел, не зависит от температуры и равна  $c_a = 3R$ , где  $R = 8,31 \cdot 10^3$  Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная. При низких температурах закон перестает выполняться, а при  $T \rightarrow 0$   $c_a \rightarrow 0$ . Объяснить указанное

затруднение удалось квантовой теории теплоемкости (Эйнштейн, 1907; Дебай, 1914).

**Идеальным газом** называют систему, свойства которой описываются уравнением Клапейрона-Менделеева  $pV = (m/\mu)RT$ , где  $p$  – давление,  $V$  – объем,  $T$  – температура,  $m$  – масса,  $\mu$  – масса одного киломоля,  $R = 8,31 \cdot 10^3$  Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная. С точки зрения молекулярно-кинетической теории идеальный газ – это газ, молекулы которого имеют нулевой собственный объем и не взаимодействуют на расстоянии. Реальный газ при условиях, близких к нормальным, можно приближенно считать идеальным.

**Изобарическим** называется процесс, происходящий при постоянном давлении ( $p = \text{const}$ ).

**Изотермическим** называется процесс, происходящий при постоянной температуре ( $T = \text{const}$ ).

**Изохорическим** называется процесс, происходящий при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ).

**Количество теплоты** – это энергия, полученная (или отданная) системой при *теплообмене*. По аналогии с выражением для элементарной работы  $\delta A = pdV$  можно записать для элементарного количества теплоты:  $\delta Q = TdS$ . *Температура* здесь играет роль термической «силы», а *энтропия* – термической «координаты».

**Коэффициент поверхностного натяжения**  $\alpha$  определяется как отношение силы поверхностного натяжения, действующей на контур, ограничивающий свободную поверхность жидкости, к длине этого контура.

### **Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)**

МКТ – теория тепловых явлений, основанная на представлении о мельчайших частицах вещества – атомах и молекулах. Современное название МКТ – статистическая физика. См. также *Основные положения молекулярно-кинетической теории*.

**Нормальными называются условия**, когда система (например, газ) находится при давлении  $p = 1,013 \cdot 10^5$  Па (760 мм рт. ст.) и температуре  $T = 273$  К ( $0^\circ\text{C}$ ).

**Основные положения МКТ:**

- все тела состоят из мельчайших частиц, атомов и молекул;
- частицы эти находятся в состоянии непрерывного хаотического движения, называемого тепловым;
- между частицами имеются силы притяжения и отталкивания;
- движение каждой частицы подчиняется законам классической механики.

**Первое начало термодинамики** – закон сохранения энергии, записанный в чрезвычайно общей форме, включающий изменение энергии за счет *теплообмена*. В стандартных обозначениях:  $\Delta Q = \Delta U + A$  – количество теплоты, сообщаемое системе ( $\Delta Q$ ), идет на повышение внутренней энергии системы ( $\Delta U$ ) и на совершение работы ( $A$ ). Закон сохранения механической энергии – частный случай первого начала термодинамики.

**Работой** называется макрофизический способ изменения *внутренней энергии системы*, сопровождающийся макроскопическим движением. Ср.: *Теплообмен*. Энергия, которую система получает (или отдает) при этом процессе, называется так же работой ( $A$ ).

**Теплоемкостью тела** (системы) называется *количество теплоты*, необходимое для нагревания тела (*системы*) на один кельвин. Если расчет ведется на один килограмм, теплоемкость называется удельной, если на один (кило)моль – (кило)молярной.

**Теплопроводностью** называется процесс выравнивания температур при соприкосновении тел (твердых, жидких или газообразных), имеющих разную температуру. Теплопроводность объясняется переходом энергии от более нагретых к менее нагретым областям при отсутствии (если это газ или жидкость) перемешивания или *конвекции*. См. также *Явления переноса*.

**Термодинамика** – наука о самых разнообразных процессах и

сопровождающих их энергетических превращениях. Термодинамика относится к области макрофизики, она отвлекается от подразумеваемого молекулярного строения вещества и учитывает лишь поведение *системы* в целом. Делится на *термостатику* и собственно термодинамику.

**Термодинамическим процессом** называется изменение *координат состояния* системы при наличии разности *потенциалов системы и среды*.

**Третье начало термодинамики** утверждает, что *энтропия* системы при абсолютном нуле температуры равна нулю (теорема Нернста, 1906).

Уравнение Клапейрона-Менделеева – уравнение состояния *идеального газа*:  $pV = (m/\mu)RT$ , где  $p$  – давление,  $V$  – объем,  $T$  – температура,  $m$  – масса,  $\mu$  – масса одного киломоля,  $R = 8,31 \cdot 10^3$  Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

**Уравнение Майера** связывает молярные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме:  $C_p - C_v = R$ , где  $R = 8,31 \cdot 10^3$  Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

**Уравнения Пуассона** связывают попарно давление, объем и температуру при *адиабатическом процессе*:  $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ ,  $pV^\gamma = \text{const}$ ,  $T^\gamma/p^{\gamma-1} = \text{const}$ . Здесь  $\gamma = c_p/c_v$  – отношение газовых теплоемкостей.

**Энтропией** называется *функция состояния* системы, дифференциал которой равен отношению элементарного количества теплоты, полученного системой в элементарном обратимом процессе, к температуре. При неравновесном теплообмене в изолированной системе энтропия системы возрастает.

### Учебно-методическое обеспечение дисциплины

1. ЭБС «Znanium» Ильющонок, А.В. Физика: учеб. пособие / А.В. Ильющонок [и др.]. – Москва: Минск: ИНФРА-М: Новое знание, 2013. – 600 с. – (Гр. Республики Беларусь).
2. ЭБС «Znanium» Хавруняк, В.Г. Курс физики: учеб. пособие / В. Г. Хавруняк. – Москва: ИНФРА-М: Новое знание, 2014. – 400 с. – (Гр. НМС).
3. ЭБС «Znanium» Кузнецов, С.И. Физика: Механика. Механические колебания и волны. Термодинамика.: учеб. пособие / С.И. Кузнецов. – 4-е изд.; испр. и доп. - Москва: Вузовский учебник: ИНФРА-М: Вузовский вестник, 2014. – 248 с. – (Гр. НМС).
4. Трофимова, Т.И. Физика: учебник для студентов вузов по техническим направлениям подготовки /Т.И.Трофимова, - М.: Академия, 2012. – 320 с. – (Высшее профессиональное образование. Бакалавриат).
5. Трофимова, Т.И. Курс физики. Задачи и решения: учебное пособие для студентов вузов по техническим направлениям и специальностям / Т.И.Трофимова, А.В.Фирсов – 4-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 592 с. -(Высшее профессиональное образование. Бакалавриат.Гр.).
6. Крахоткин, В. И. Механика и молекулярная физика : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110300 - Агроинженерия / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2006. - 208 с. - (Гр. МСХ РФ).
7. Крахоткин, В. И. Электричество и магнетизм : учеб. пособие для студентов вузов по спо направлению 110300 - Агроинженерия / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2006. - 220 с. - (Гр. МСХ РФ).
8. Стародубцева, Г. П. Оптика и строение атома : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110300 - "Агроинженерия" / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2007. - 172 с. - (Гр. МСХ РФ).
9. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. - 8-е изд., перераб. и испр. - М. : ОНИКС; Мир и Образование, 2008. - 1056с. : ил.
10. <http://class-fizika.narod.ru/snacom1.htm>

11. <http://interfizika.narod.ru>
12. <http://urok1.edusite.ru>
13. <http://markx.narod.ru/pic/>
14. <http://www.virtulab.net/>
15. <http://physics.ru/>
16. <http://www.all-fizika.com/>

Для заметок

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ  
35.03.04 – АГРОНОМИЯ (бакалавр)

Подп. в печать 18.01.2017 г. Бумага офсетная. Формат 60/84 1/16.

Зак.№57. Печ. лист 6,5. Тираж 100 экз.

Цех оперативной полиграфии ФГБНУ ВНИИОК

Г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15

