

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Естественнонаучный институт

Кафедра физика

Утверждено на заседании кафедры  
«Физики»

« 31 » 08 2020 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой

 Р.Н.Ростовцев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРОВЕДЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)  
«ФИЗИКА»**

**основной профессиональной образовательной программы высшего  
образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки (специальности)  
**09.03.04 Программная инженерия**

с направленностью (профилем) (со специализацией)  
**Мобильные и веб-приложения**


Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 090304-03-21

Тула 2021 г.

## Разработчик(и) методических указаний

Шуваева Ольга Вячеславовна, доцент, к.т.н.  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине физика и порядок её выполнения.....	стр.4
2. Примеры тестовых заданий текущих аттестационных процедур и экзаменов	
2А. Тестовые задания для проверки полученных знаний.....	5
2Б. Задания, проверяющие владение изученным учебным материалом.....	57
3. Порядок оформления и примеры условий домашних заданий.....	63
4. Темы курса физики для выполнения рефератов.....	65
5. Порядок оформления рефератов.....	70
6. Библиографический список учебной литературы, рекомендованной для самостоятельного изучения .....	72

## 1. Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине “Физика” и порядок её выполнения

Сокращение объёма аудиторных занятий при изучении дисциплины “Физика” в ТулГУ, привело к тому, что в учебных планах большинства специальностей и направлений подготовки от 50% до 70% времени, отводимого на изучение этой дисциплины, предназначено для самостоятельной внеаудиторной работы студентов. Целью этой работы являются:

--- закрепление знаний и навыков, полученных студентами при изучении дисциплины «Физика» на аудиторных занятиях;  
 --- задача научиться самостоятельно работать с учебной литературой и ресурсами Интернета, самостоятельно находить и обрабатывать необходимую информацию, оценивать её пригодность и делать выводы о её полезности;  
 --- самостоятельная подготовка ко всем контрольным и аттестационным процедурам, предусмотренным рабочей программой специальности.

Самостоятельная работа является неотъемлемой частью выполнения учебного плана студента при изучении курса физики. Невыполнение в срок мероприятий по самостоятельной работе, предусмотренных рабочей программой, считается невыполнением учебного плана и ведет к не допуску студента к экзамену.

Самостоятельная работа выполняется с привлечением всех информационных возможностей (библиотека ТулГУ – учебная, монографическая, периодическая литература, электронные средства информации – Inet, другое).

В первую очередь, рабочая программа предусматривает выполнение студентом трёх следующих основных видов самостоятельной внеаудиторной работы в течение семестра:

1) подготовка к выполнению работ лабораторного практикума, предполагающая самостоятельное изучение теоретических основ исследуемых в работах физических процессов. Часто такое изучение студенту приходится проводить до того, как соответствующий учебный материал будет изложен при чтении лекций;

2) подготовка к выполнению двух контрольных работ, включающих решение задач по общим для всех направлений обучения темам. Подробно рассмотреть все возможные разновидности таких задач во время небольшого числа аудиторных практических занятий не удаётся. Поэтому студент должен иметь образцы таких задач и примеры их решений для самостоятельного ознакомления и подготовки к контрольным работам;

3) подготовка к выполнению текущих аттестационных процедур рубежного контроля и к прохождению промежуточной аттестации в виде экзамена или зачёта. Эти мероприятия проходят в форме выполнения тестовых заданий, включающих и более простые задания, проверяющие умения и навыки студентов, и более сложные тесты, проверяющие уровень владения изученным материалом. Для самостоятельной подготовки к текущим аттестациям и к экзамену студент должен ознакомиться с примерами таких тестов.

Весь теоретический материал для подготовки и сдачи лабораторных работ по физике, выполнение которой предусмотрено рабочей программой, студент может найти в следующих учебных пособиях, разработанных на кафедре физики:

--- Колмаков Ю. Н., Кажарская С.Е., Якунова Е.В. Механика. Молекулярная физика: руководство к проведению самостоятельной работы студентов: учебн. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2020.— 208 с. — ISBN 978–5–7679–4250–3.

--- Колмаков Ю. Н., Кажарская С.Е. Физика. Электромагнетизм: руководство к проведению самостоятельной работы студентов: учебн. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2017.— 156 с. — ISBN 978–5–7679–33915–2.

--- Колмаков Ю. Н., Кажарская С.Е., Якунова Е.В. Оптика. Основы квантовой физики: руководство к проведению самостоятельной работы студентов: учебн. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2019.— 208 с. — ISBN 978–5–7679–4250–3.

В этих же пособиях приведены примеры задач, которые студент может получить во время шести контрольных работ в течение 2-4 семестра обучения дисциплине “Физика”, а также образцы их решения. Во время аудиторных практических занятий и, главным образом, во время самостоятельной подготовки к выполнению контрольных работ студент обязан ознакомиться с условиями этих типовых задач, понять их содержание и методы решения.

Для подготовки к текущим аттестационным процедурам рубежного контроля в течение каждого семестра и к экзаменам или зачетам по физике студент должен самостоятельно ознакомиться с примерами тестовых заданий и овладеть теоретическим материалом, необходимым для их выполнения. Примеры таких заданий, проверяющих полученные знания и умения, приведены в следующем разделе 2А. Задания для проверки владения изученным материалом – в разделе 2Б.

В случае отсутствия на контрольных мероприятиях по уважительной причине (болезнь, и т.п.) студенту может быть предложено или выполнить индивидуальные домашние задания в виде задач, или подготовить и в указанный срок сдать самостоятельно выполненный реферат по предложенным преподавателем темам физики.

Порядок выполнения и примеры индивидуальных домашних заданий приведены в разделе 3.

Порядок выполнения и оформления реферата, а также примеры тем приведены в разделах 4-5.

Список рекомендованной для самостоятельного изучения учебной литературы приведен в разделе 3. Конспект лекций по дисциплине “Физика”, а также другие учебные пособия для изучения курса физики, предназначенные для студентов ТулГУ, размещены на сайте кафедры физики ТулГУ <http://physics.tsu.tula.ru/>. Здесь же студент может найти файлы указанных выше пособий для самостоятельной подготовки, а также все материалы для подготовки к выполнению и к сдаче теоретических основ всех лабораторных работ, материалы для подготовки к контрольным работам и к аттестационным процедурам.

## 2. Примеры тестовых заданий текущих аттестационных процедур и экзаменов

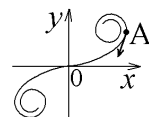
### 2А. Тестовые задания для проверки полученных знаний

В этом разделе приводятся примеры тестовых заданий, предлагаемых студентам в процессе тестирования при проведении двух текущих аттестаций в течение семестра, а также во время экзамена или зачета. Тестовые вопросы разбиты по темам, соответствующим порядку изучения учебного материала. Формулировка тестовых заданий, проверяющих приобретенные умения и навыки, предусматривает выбор ответа, но эти же задания могут быть предложены на экзамене (зачете) без вариантов ответа.

Для ответа на данные тесты необходимо иметь представления об основных явлениях и законах механики, молекулярной физики и основ термодинамики. Для этого необходимо ознакомиться с этими законами и формулами физики в любом учебном пособии или на лекционных занятиях. Предполагается, что при подготовке студент будет самостоятельно искать правильный ответ, но для контроля правильные ответы можно найти в пособиях для проведения самостоятельной работы, перечисленных в разделе 1.

#### 1. Кинематика криволинейного поступательного движения

**1.1.** На рисунке изображена плоская кривая, называемая клотоидой (спиралью Корню). Точка А движется вдоль этой кривой в направлении, указанном стрелкой, с постоянной по величине скоростью. При этом величина её полного ускорения:

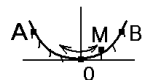


- а) равна нулю; б) постоянна и не равна нулю; в) увеличивается; г) уменьшается;

**1.2.** Частица движется по криволинейной траектории с постоянной по величине (модулю) скорости, а величина её ускорения уменьшается со временем. При этом (выберите ответ):

- а) эти условия невозможны;  
б) растет величина нормального ускорения частицы; в) радиус кривизны траектории увеличивается;  
г) величина нормального ускорения частицы не изменяется; д) радиус кривизны траектории уменьшается;

**1.3.** Материальная точка М без трения скользит в поле силы тяжести по гладким стенкам сферической симметричной ямы (А и В - наивысшие точки подъема). При этом величина полного ускорения точки М (укажите правильный ответ):



- а) равна нулю в точке В; б) равна нулю в нижней точке траектории О; в) равна ускорению свободного падения  $g$  во всех точках траектории; г) не равна нулю и не равна  $g$ ;

**1.4.** Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $\vec{v}_0$ . Его траектория в поле тяжести изображена на рисунке. Сопротивления воздуха нет. Величина нормального ускорения  $a_n$  на участке А-В-С:

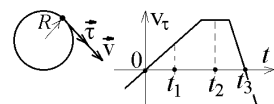


- а) уменьшается; б) увеличивается; в) не изменяется;

**1.5.** Материальная точка движется по криволинейной траектории, причем в некоторый момент времени величина её скорости равна  $v = 2$  м/с, величина тангенциального ускорения равна  $a_\tau = 1$  м/с<sup>2</sup>, величина радиуса кривизны траектории равна  $R = 4$  м. Величина полного ускорения точки в данный момент времени равна:

- а) 0; б) 2 м/с<sup>2</sup>; в)  $\sqrt{3}$  м/с<sup>2</sup>; г)  $\sqrt{2}$  м/с<sup>2</sup>; д)  $\sqrt{5}$  м/с<sup>2</sup>; е)  $\sqrt{6}$  м/с<sup>2</sup>;

**1.6.** Частица движется по окружности радиуса  $R$  с переменной скоростью. Временной график зависимости проекции  $v_\tau$  этой скорости на касательное к траектории направление  $\vec{\tau}$  показан на рисунке. В какой из указанных на рисунке моментов времени величина полного ускорения частицы  $a$  равна нулю?



- а) при  $t = 0$ ; б) при  $t_1$ ; в) при  $t_2$ ; г) при  $t_3$ ; д) при 0 и  $t_3$ ; е)  $a \neq 0$ ;

**1.7.** Материальная точка движется вдоль криволинейной траектории, причем величина (модуль) скорости этой точки меняется со временем  $t$  по закону  $v(t) = 2t^2 - 6t + 4$ , м/с. В какой момент времени  $t$  вектор полного ускорения точки будет перпендикулярен траектории?

- а) 1 с или 2 с; б) 1,5 с; в) 3 с; г) 4 с; д) 0 с; е) никогда;

**1.8.** Материальная точка начинает двигаться по круговой траектории с постоянным по величине тангенциальным ускорением  $a_\tau = \text{const}$ . При этом величина тангенса  $\text{tg } \theta$  угла между вектором  $\vec{v}$  скорости точки и вектором её полного ускорения  $\vec{a}$  будет изменяться со временем по закону:



- а)  $\sim \frac{1}{t}$ ; б)  $\sim t^2$ ; в)  $\sim t$ ; г)  $\sim \frac{1}{t^3}$ ; д)  $\sim \frac{1}{t^2}$ ; е)  $\sim t^3$ ; ж)  $\text{tg } \theta = \text{const}$ ;

**1.9.** Точка начинает двигаться по криволинейной траектории, причем и тангенциальное, и нормальное ускорение точки возрастают со временем  $t$  по линейному закону:  $a_\tau = \text{const} \cdot t$ ,  $a_n = \text{const} \cdot t$ . По какому закону будет изменяться со временем радиус кривизны  $R$  траектории?

- а)  $R \sim 1/t$ ; б)  $R \sim t^2$ ; в)  $R \sim t$ ; г)  $R \sim 1/t^2$ ; д)  $R \sim t^3$ ;

**1.10.** Материальная точка начинает двигаться по круговой траектории с радиусом  $R$ , причем величина её полного ускорения возрастает со временем  $t$  по закону,  $a = \sqrt{\alpha + \beta t^4}$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные величины. Как будет зависеть от времени  $t$  величина скорости точки?

- а)  $v = \text{const} \cdot \sqrt{t}$ ; б)  $v = \text{const} \cdot t^2$ ; в)  $v = \text{const} \cdot t$ ; г)  $v = \text{const}$ ;

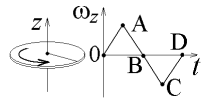
**1.11.** Частица движется по криволинейной траектории со скоростью, величина которой уменьшается со временем  $t$  по закону  $v(t) = A/t$ . При этом радиус кривизны траектории в месте нахождения частицы возрастает со временем  $t$  по закону  $R(t) = B \cdot t^2$ . Здесь  $A$  и  $B$  – постоянные величины. Что с течением времени происходит с величиной полного ускорения частицы? Она: а) увеличивается; б) не изменяется; в) уменьшается; г) для ответа недостаточно данных;

## 2. Кинематика вращательного движения

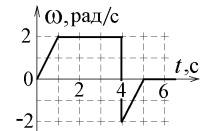
**2.1.** Частица движется вдоль окружности с радиусом 1 м в соответствии с уравнением  $\varphi(t) = 2\pi(t^3 - 12t^2 + 12t - 24)$ , где  $\varphi$  – угол в радианах,  $t$  – время в секундах. Отношение величин её нормального и тангенциального ускорений  $a_n/a_\tau$  в момент  $t = 1$  с равно: а) 0; б)  $2\pi$ ; в)  $3\pi$ ; г)  $6\pi$ ; д)  $9\pi$ ; е)  $18\pi$ ; ж)  $36\pi$ ;

**2.2.** Частица движется вдоль окружности в соответствии с уравнением  $\varphi(t) = 2\pi(t^2 - 6t + 12)$ , где  $\varphi$  – угол в радианах,  $t$  – время в секундах. Если в момент  $t = 6$  с величина скорости частицы равна 1 м/с, то радиус окружности (в метрах) равен: а)  $1/\pi$ ; б)  $1/2\pi$ ; в)  $1/4\pi$ ; г)  $1/8\pi$ ; д)  $1/12\pi$ ;

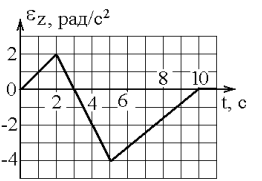
**2.3.** Диск вращается вокруг оси  $z$ , изменяя проекцию угловой скорости, как показано на рисунке. На каком участке графика зависимости  $\omega_z(t)$  и вектор угловой скорости  $\vec{\omega}$ , и вектор углового ускорения  $\vec{\epsilon}$  направлены по оси  $z$ ? а) 0-A; б) A-B; в) B-C; г) C-D;



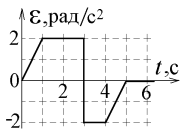
**2.4.** Диск вращается вокруг закрепленной оси с угловой скоростью, зависимость проекции которой на ось вращения от времени  $t$  показана на рисунке. На какой угол повернется диск за время  $0 \leq t \leq 6$  с? а) 0 рад; б) 1 рад; в) 2 рад; г) 3 рад; д) 4 рад; е) 5 рад; ж) 6 рад; з) 7 рад; и) нет правильного ответа;



**2.5.** Тело начинает вращаться из состояния покоя вокруг оси  $z$  с угловым ускорением, проекция которого изменяется со временем, как показано на графике справа. В какой момент времени угловая скорость вращения тела достигнет максимальной величины? а) 2 с; б) 3 с; в) 5 с; г) 10 с;



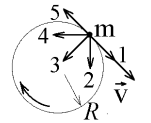
**2.6.** Тело начинает вращаться без начальной скорости вокруг закрепленной оси. Зависимость проекции углового ускорения на ось вращения от времени  $t$  показана на рисунке слева. Какой будет величина угловой скорости вращения тела в момент времени  $t = 4$  с? а) 1 рад/с; б) 2 рад/с; в) 3 рад/с; г) 4 рад/с; д) 5 рад/с;



**2.7.** Материальная точка начинает вращаться по круговой траектории без начальной скорости вокруг закрепленной оси с постоянным угловым ускорением  $\epsilon$ , и имеет в некоторый момент времени угловую скорость вращения, равную  $\omega$ . Чему в этот момент времени равно отношение  $v/a$  скорости  $v$  точки к величине её полного ускорения  $a$ ?

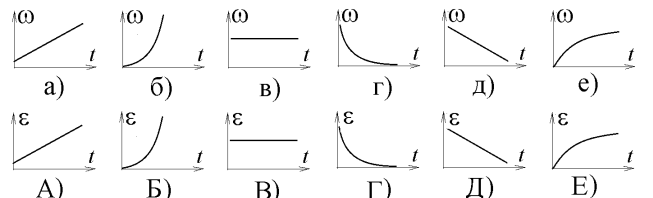
- а)  $\frac{\omega}{\sqrt{\epsilon^2 + \omega^4}}$ ; б)  $\frac{\sqrt{\epsilon^2 + \omega^4}}{\omega^2}$ ; в)  $\frac{\sqrt{\epsilon^2 + \omega^2}}{\epsilon}$ ; г)  $\frac{\epsilon}{\sqrt{\epsilon^2 + \omega^4}}$ ; д)  $\frac{\sqrt{\epsilon^2 + \omega^4}}{\omega}$ ;

**2.8.** Точка  $m$  начала вращаться по окружности радиуса  $R$ , двигаясь по часовой стрелке. Проекция её угловой скорости на ось вращения меняется со временем  $t$  по закону  $\omega(t) = \alpha t - \beta t^2$ , где  $\alpha = 2$  рад/с<sup>2</sup>,  $\beta = 1$  рад/с<sup>3</sup>. Укажите направления вектора ускорения  $\vec{a}$  точки в моменты времени  $t_1 = 1$  с и  $t_2 = 2$  с:



- а) 2 и 4; б) 3 и 2; в) 3 и 4; г) 4 и 2; д) 3 и 5;

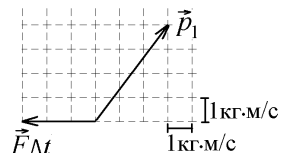
**2.9.** Величина угла поворота диска вокруг закрепленной оси вращения зависит от времени  $t$  по закону  $\varphi(t) = \alpha t - \beta t^2$ , где  $\alpha$  – положительная, а  $\beta$  – отрицательная константы. Укажите правильные графики временной зависимости проекции угловой скорости  $\omega$  и углового ускорения  $\epsilon$  на ось вращения:



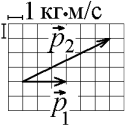
## 3. Динамика поступательного движения и закон сохранения импульса

**3.1.** На тело, имевшее импульс  $\vec{p}_1$ , в течение короткого времени  $\Delta t$  действовал импульс силы  $\vec{F}\Delta t$  (см. рисунок). Чему стала равна после этого величина импульса тела?

- а) 7 кг·м/с; б) 3 кг·м/с; в) 2 кг·м/с; г) 4 кг·м/с; д) 5 кг·м/с;

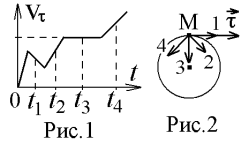


**3.2.** Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{p}_1$  в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар со средней силой 42,4 Н. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{p}_2$  (масштаб указан на рисунке). Время удара равно: а) 0,2 с; б) 0,3 с; в) 0,01 с; г) 0,02 с; д) 0,1 с;



**3.3.** Материальная точка М движется по окружности со скоростью  $\vec{v}$ . На рис.1 показан график зависимости проекции скорости  $v_\tau$  на касательное к окружности направление  $\vec{\tau}$ . На рис.2 укажите направление силы, действующей на точку М в момент времени  $t_1$ :

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

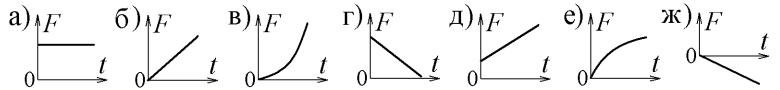


**3.4.** Материальная точка М движется по параболе в указанном на рис.1 направлении. График изменения со временем величины её скорости приведен на рис.2. На рис.1 показано положение точки М в момент времени  $t_2$ . Укажите на этом рисунке направление силы, действующей на точку М в момент времени  $t_2$ :

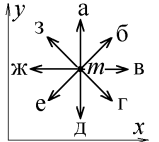
- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



**3.5.** Вектор импульса частицы изменяется со временем  $t$  по закону  $\vec{p} = \vec{i}\alpha t^{3/2}$ , где  $\vec{i}$  – орт декартовой системы координат,  $\alpha$  – положительная константа. Укажите правильный график временной зависимости модуля (величины) силы, действующей на частицу:

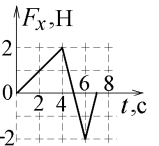


**3.6.** Импульс частицы с массой  $m$ , находящейся в момент времени  $t = 1$  с в точке с координатами  $x=y=1$  м, меняется со временем по закону  $\vec{p} = \vec{i}\alpha t^3 + \vec{j}\beta t^3$ , где  $\vec{i}, \vec{j}$  – орты декартовой системы координат  $\alpha = -1$  кг·м/с<sup>4</sup>,  $\beta = +1$  кг·м/с<sup>4</sup>. Укажите на рисунке правильное направление вектора силы  $\vec{F}$ , действующей на частицу в момент времени  $t = 1$  с.

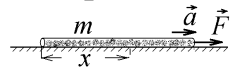


**3.7.** Зависимость от времени проекции на ось  $x$  силы, действующей на физическое тело, показана на рисунке. В начальный момент времени  $t_0 = 0$  проекция импульса тела на ось  $x$  была равна нулю. В момент  $t = 7$  с она будет равна:

- а) 1 кг·м/с; б) 2 кг·м/с; в) 3 кг·м/с; г) 4 кг·м/с; д) 4 кг·м/с; е) 6 кг·м/с;



**3.8.** Массивный шнур тянут с силой  $\vec{F}$ , и он движется без трения по горизонтальной плоскости с ускорением  $\vec{a}$ . При этом в сечении, находящемся на указанном на рисунке расстоянии  $x$  от противоположного конца шнура, сила натяжения шнура: а) одинакова при любом  $x$ ; б) уменьшается с увеличением  $x$ ; в) возрастает с увеличением  $x$ ; г) для ответа надо знать величины  $m$  и  $a$ ;

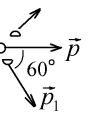


**3.9.** После столкновения двух пластилиновых шаров, имеющих одинаковые массы  $m$ , и летевших во взаимно перпендикулярных направлениях с одинаковыми по величине скоростями, величина импульса слипшихся шаров оказалась равной  $p$ . Величина скорости каждого из шаров до столкновения была равна:

- а)  $\frac{p}{2m}$ ; б)  $\frac{2p}{m}$ ; в)  $\frac{\sqrt{3}p}{2m}$ ; г)  $\frac{\sqrt{2}p}{m}$ ; д)  $\frac{p}{m}$ ; е)  $\frac{p}{\sqrt{2}m}$ ;



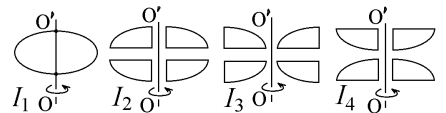
**3.10.** Снаряд разрывается на два осколка. Первый летит под углом  $60^\circ$  к направлению движения снаряда, а величина его импульса равна величине импульса снаряда до разрыва:  $|\vec{p}_1| = |\vec{p}|$ . При этом величина импульса второго осколка равна: а) 0; б)  $p$ ; в)  $2p$ ; г)  $p/2$ ; д)  $p \sin 60^\circ$ ; е)  $p \cos 60^\circ$ ;



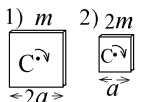
#### 4. Вычисление моментов инерции

**4.1.** Взяли четыре одинаковые тонкие металлические пластинки, имеющие вид эллипса. Три пластинки разрезали на четыре одинаковые части, которые отодвинули на одинаковые расстояния друг от друга и расставили симметрично относительно оси  $OO'$  (см. рисунок). Укажите правильное соотношение между моментами инерции этих деталей относительно оси  $OO'$ :

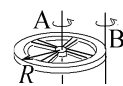
- а)  $I_1 < I_2 < I_4 < I_3$ ; б)  $I_1 < I_2 = I_4 < I_3$ ; в)  $I_1 > I_2 = I_4 > I_3$ ;



**4.2.** Две тонкие квадратные пластинки вращаются вокруг перпендикулярных к их плоскостям осей, проходящих через центры С. Пластика (1) имеет массу  $m$  и длину стороны  $2a$ . Пластика (2) имеет массу  $2m$  и длину стороны  $a$ . Укажите соотношение между моментами инерции пластинок относительно данных осей: а)  $I_1 > I_2$ ; б)  $I_1 = I_2$ ; в)  $I_1 < I_2$ ;



**4.3.** Колесо с радиусом  $R = 2$  м может вращаться либо вокруг оси симметрии А, проходящей через его центр, либо вокруг параллельной оси В, проходящей через край колеса. Моменты инерции колеса относительно этих осей равны  $I_A = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  и  $I_B = 12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  соответственно. Чему равна масса  $m$  колеса?



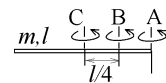
- а) 0,5 кг; б) 1 кг; в) 2 кг; г) 2,5 кг; д) 4 кг; е) 5 кг;

**4.4.** Цилиндр массы  $m$ , радиуса  $R$  и высотой  $h$  может вращаться вокруг оси А, параллельной оси симметрии цилиндра и проходящей через его боковую поверхность (см. рисунок). Массу  $m$  цилиндра уменьшили в 4 раза, а его радиус  $R$  и высоту  $h$  увеличили в 4 раза. Во сколько раз увеличился момент инерции данного тела относительно оси А?



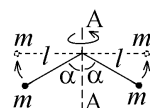
- а) не изменился; б) в 2 раза; в) в 4 раза; г) в 8 раз; д) в 16 раз; е) в 32 раза;

**4.5.** Ось С проходит перпендикулярно тонкому стержню массы  $m$  и длины  $l$  через его центр масс, а параллельная ось А – через край стержня. Момент инерции относительно параллельной оси В, проходящей посередине между осями С и А будет равен:



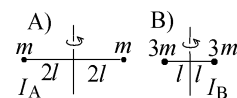
- а)  $\frac{7}{24} ml^2$ ; б)  $\frac{5}{24} ml^2$ ; в)  $\frac{3}{8} ml^2$ ; г)  $\frac{5}{16} ml^2$ ; д)  $\frac{3}{16} ml^2$ ; е)  $\frac{7}{48} ml^2$ ;

**4.6.** Два одинаковых крохотных шарика массы  $m$  каждый были подвешены в одной точке на двух невесомых нитях длины  $l$  и вращались вокруг вертикальной оси АА, проходящей через точку подвеса. При этом нити отклонялись на угол  $\alpha = 60^\circ$  от вертикали (см. рисунок). Угловую скорость вращения увеличили до такой величины, что нити приняли практически горизонтальное положение. При этом момент инерции шариков относительно оси АА увеличился:



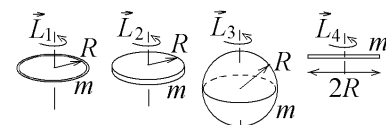
- а) в 3 раза; б) в  $3/2$  раз; в) в  $\frac{4}{3}$  раз; г) в  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  раз; д) в 4 раза; е) в  $\frac{8}{\sqrt{3}}$  раз; ж) в  $\frac{8}{3}$  раз;

**4.7.** Две системы из крохотных шариков, размерами которых можно пренебречь, вращаются вокруг осей, как показано на рисунке. Массы шариков и их удаления от оси указаны на рисунке. Отношение моментов инерции  $I_A/I_B$  равно:



- а)  $1/4$ ; б)  $1/2$ ; в)  $3/4$ ; г) 1; д)  $4/3$ ; е) 2; ж) 4;

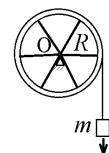
**4.8.** Тонкий обруч, диск, шар с одинаковыми радиусами  $R$  и тонкий стержень длины  $2R$  имеют одинаковые массы  $m$  и вращаются вокруг осей симметрии, проходящих через центры масс с одинаковыми угловыми скоростями. Расставьте величины моментов импульса этих тел (см. рисунок) в порядке возрастания:



- а)  $L_4 < L_3 < L_2 < L_1$ ; б)  $L_1 < L_3 < L_2 < L_4$ ; в)  $L_4 < L_2 < L_3 < L_1$ ;  
г)  $L_1 < L_4 < L_2 < L_3$ ; д)  $L_1 < L_2 < L_3 < L_4$ ; е)  $L_2 < L_3 < L_4 < L_1$ ;

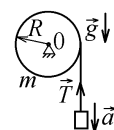
## 5. Динамика вращательного движения

**5.1.** Шкив радиуса  $R$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии, проходящей через его центр О. К намотанной на шкив нити прикреплен груз массы  $m$ , падающий под действием силы тяжести  $mg$ . Момент инерции шкива равен  $I = 3mR^2$ . Запишите уравнение динамики вращательного движения для шкива и уравнение динамики поступательного движения для груза. Каким будет вытекающее из этих уравнений выражение для силы натяжения нити?



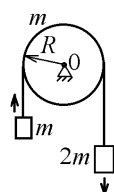
- а)  $T = mg/2$ ; б)  $T = mg/4$ ; в)  $T = 2mg/3$ ; г)  $T = 3mg/4$ ;

**5.2.** Цилиндр массы  $m$  и радиуса  $R$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. К нити, намотанной на цилиндр, прикреплен груз падающий вниз под действием силы тяжести. Сила натяжения нити, на которой висит груз, равна  $T = mg/3$ , где  $g$  – ускорение свободного падения. С помощью уравнений динамики определите, каким может быть ускорение  $a$  груза:



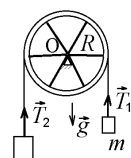
- а)  $g$ ; б)  $\frac{g}{2}$ ; в)  $\frac{g}{3}$ ; г)  $\frac{2g}{3}$ ; д)  $\frac{3g}{4}$ ; е)  $\frac{2g}{5}$ ; ж)  $\frac{3g}{5}$ ; з)  $\frac{4g}{5}$ ;

**5.3.** Цилиндр массы  $m$  и радиуса  $R$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. К концам перекинутой через цилиндр и не проскальзывающей нити прикреплены грузы с массами  $m$  и  $2m$ , движущиеся под действием силы тяжести. Силы натяжения нити различаются с разных сторон цилиндра на величину  $\Delta T$ . Нить не проскальзывает по поверхности цилиндра. Величина ускорения груза  $m$  будет равна:



- а)  $a = \frac{\Delta T}{m}$ ; б)  $a = \frac{\Delta T}{2m}$ ; в)  $a = \frac{\Delta T}{3m}$ ; г)  $a = \frac{3\Delta T}{m}$ ; д)  $a = \frac{2\Delta T}{m}$ ;

**5.4.** Шкив радиуса  $R$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. Через шкив перекинута не проскальзывающая по шкиву нить, к концам которой подвешены грузы. Масса меньшего груза равна  $m$ , а нить тянет его с силой  $T_1 = 5mg/4$ , где  $g$  – ускорение свободного падения. Сила натяжения нити, действующая на второй груз равна  $T_2 = 2mg$ . Записав уравнения динамики враща-

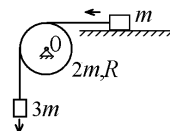


тельного и поступательного движения, получите с их помощью выражение момента инерции  $I$  шкива, и укажите ответ:

- а)  $I = 3mR^2/2$ ; б)  $I = 5mR^2/2$ ; в)  $I = mR^2/3$ ; г)  $I = 3mR^2$ ;

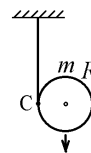
**5.5.** Цилиндр массы  $2m$  и радиуса  $R$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии  $O$ . К концам нити, перекинутой через цилиндр, прикреплены грузы с массами  $3m$  и  $m$ . Левый груз  $3m$ , висающий на нити, движется вниз с ускорением  $a$  под действием силы тяжести, а правый груз  $m$  скользит без трения по горизонтальной плоскости. Укажите правильное выражение разности сил натяжения нити с разных сторон цилиндра:

- а)  $T_2 - T_1 = ma$ ; б)  $T_2 - T_1 = 2ma$ ; в)  $T_2 - T_1 = ma/2$ ; г)  $T_2 - T_1 = 3ma$ ;



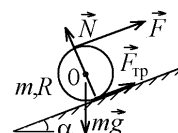
**5.6.** Цилиндр массы  $m$  и радиуса  $R$  прикреплен за намотанную нить к потолку и падает под действием силы тяжести. Определите величину ускорения  $a$  цилиндра из уравнения динамики его вращательного движения относительно горизонтальной оси, проходящей через точку  $C$  (см. рисунок) и укажите правильный ответ:

- а)  $a = g/3$ ; б)  $a = g/2$ ; в)  $a = 2g/3$ ; г)  $a = g/6$ ; д)  $a = 3g/4$ ; е)  $a = g/4$ ;



**5.7.** Вдоль наклонной плоскости, образующей угол  $\alpha$  с горизонтом, тянут с силой  $F$  за тонкую намотанную нить цилиндр массы  $m$  и радиуса  $R$ . Цилиндр катится без проскальзывания. На него действует сила тяжести  $mg$ , сила трения  $F_{тр}$  и сила реакции  $N$  со стороны плоскости. Укажите выражение для углового ускорения цилиндра относительно его горизонтальной оси симметрии  $O$ .

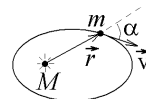
- а)  $\epsilon = \frac{2(F - F_{тр})}{mR}$ ; б)  $\epsilon = \frac{F}{mR}$ ; в)  $\epsilon = \frac{F - F_{тр}}{mR}$ ; г)  $\epsilon = \frac{F + F_{тр}}{mR}$ ;



## 6. Закон сохранения момента импульса

**6.1.** Планета массой  $m$  движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится звезда массы  $M$ .  $\vec{r}$  – радиус-вектор планеты (см. рисунок). Укажите **неправильное** утверждение:

- а) вектор момента импульса планеты относительно центра звезды перпендикулярен вектору  $\vec{r}$  и лежит в плоскости орбиты; б) момент силы тяготения, действующей на планету (относительно центра звезды), равен нулю; в) в точке наименьшего удаления планеты от звезды величина скорости движения планеты по орбите максимальна; г) величина момента импульса планеты относительно центра звезды определяется выражением  $L = mvr \sin \alpha$ ;

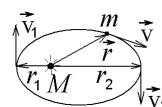


**6.2.** Небольшой метеорит массы  $m$  движется по прямой линии мимо планеты  $\Pi$  и пролетает мимо неё на минимальном расстоянии  $R$  от центра планеты. В точке  $A$ , указанной на рисунке, величина момента импульса метеорита относительно центра планеты равна  $L$ . Чему равна при этом величина скорости метеорита?

- а)  $\frac{L}{mR \cos \alpha}$ ; б)  $\frac{mR \sin \alpha}{L}$ ; в)  $\frac{L}{mR}$ ; г)  $\frac{mR \cos \alpha}{L}$ ; д)  $\frac{L}{m}$ ; е)  $\frac{L}{mR \tan \alpha}$ ;



**6.3.** Планета массой  $m$  движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится звезда массы  $M$ .  $\vec{r}$  – радиус-вектор планеты. Величины скорости планеты в наиболее удаленной и наиболее близкой к звезде точке орбиты равны  $v_2 = 24$  км/с и  $v_1 = 36$  км/с соответственно (см. рисунок). Отношение  $r_1/r_2$  равно: а) 0,667; б) 1,225; в) 0,8165; г) 1,5; д) 0,75; е) 1,33;



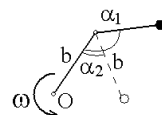
**6.4.** Спутник массы  $m$  движется по круговой траектории радиуса  $R$  вокруг планеты  $\Pi$  под действием силы гравитационного притяжения  $\vec{F}$ . При этом величина момента импульса спутника пропорциональна:

- а)  $1/R^3$ ; б)  $1/R^2$ ; в)  $1/\sqrt{R^3}$ ; г)  $1/R$ ; д)  $R^3$ ; е)  $\sqrt{R}$ ; ж)  $\sqrt{R^3}$ ;



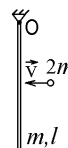
**6.5.** Два невесомых стержня длины  $b$  соединены под углом  $\alpha_1 = 120^\circ$  и вращаются без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси  $O$  с угловой скоростью  $\omega$ . На конце одного из стержней прикреплен очень маленький массивный шарик. В некоторый момент угол между стержнями самопроизвольно уменьшился до  $\alpha_2 = 60^\circ$ . С какой угловой скоростью стала вращаться такая система?

- а)  $2\omega$ ; б)  $\frac{\omega}{3}$ ; в)  $\frac{\omega}{2}$ ; г)  $\frac{2\omega}{3}$ ; д)  $3\omega$ ; е)  $\omega$ ; ж)  $\frac{4\omega}{3}$ ; з)  $\frac{3\omega}{2}$ ;

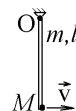


**6.6.** В неподвижно висающий тонкий стержень с массой  $m$  и длиной  $l$ , который может вращаться вокруг оси  $O$ , проходящей через точку подвеса на краю стержня, врезается летевший горизонтально со скоростью  $\vec{v}$  пластилиновый шарик, имеющий вдвое большую массу  $2m$ , и прилипает к центральной точке стержня. Рассчитайте на основании приведенных данных их общую угловую скорость сразу после удара и укажите ответ:

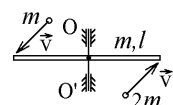
- а)  $\frac{3v}{2l}$ ; б)  $\frac{3v}{4l}$ ; в)  $\frac{2v}{3l}$ ; г)  $\frac{3v}{5l}$ ; д)  $\frac{6v}{5l}$ ; е)  $\frac{7v}{6l}$ ; ж)  $\frac{6v}{7l}$ ; з)  $\frac{12v}{7l}$ ;



**6.7.** В нижней точке неподвижно висевшего тонкого стержня массы  $m$  и длины  $l$  сидел жук массы  $M$ . Чему будет равна величина угловой скорости вращения стержня вокруг горизонтальной оси  $O$ , проходящей через точку подвеса на другом конце стержня, сразу после того, как жук улетит со скоростью  $\vec{v}$  в горизонтальном направлении (см. рисунок)? а)  $\frac{Mv}{ml^2}$ ; б)  $\frac{3Mv}{ml}$ ; в)  $\frac{ml^2}{3Mv}$ ; г)  $\frac{12Mv}{ml}$ ; д)  $\frac{12Mv}{ml^2}$ ; е)  $\frac{Mv}{ml}$ ; ж)  $\frac{ml^2}{Mv}$ ;

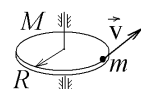


**6.8.** Покоящийся стержень массы  $m$  и длины  $l$  способен вращаться вокруг перпендикулярной закрепленной оси  $OO'$ , проходящей через его центр. В противоположные края стержня одновременно врезаются маленькие пластилиновые шарики, летевшие навстречу друг другу с одинаковыми по величине скоростями  $\vec{v}$  перпендикулярно как к стержню, так и к оси вращения. Один из шариков имел ту же массу  $m$ , а другой – вдвое большую массу  $2m$ . Шарики прилипают к стержню. Рассчитайте на основании приведенных данных угловую скорость стержня с прилипшими шариками сразу после удара и укажите ответ:



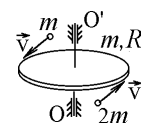
- а)  $\frac{v}{l}$ ; б)  $\frac{2v}{3l}$ ; в)  $\frac{3v}{2l}$ ; г)  $\frac{3v}{8l}$ ; д)  $\frac{5v}{6l}$ ; е)  $\frac{6v}{5l}$ ; ж)  $\frac{9v}{5l}$ ; з)  $\frac{7v}{12l}$ ;

**6.9.** На ободе неподвижного диска массы  $M$  и радиуса  $R$  сидел жук массы  $m$ . Диск может вращаться без трения вокруг закрепленной оси симметрии (см. рисунок), причем момент инерции диска относительно этой оси равен  $I$ . Чему будет равна величина угловой скорости вращения диска после того, как жук улетит со скоростью  $\vec{v}$ , направленной по касательной к ободу диска?



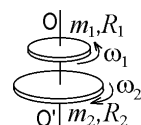
- а)  $\frac{Mv}{I}$ ; б)  $\frac{MvR^2}{I}$ ; в)  $\frac{mvR^2}{I}$ ; г)  $\frac{mv}{I}$ ; д)  $\frac{MvR}{I}$ ; е)  $\frac{mvR}{I}$ ;

**6.10.** В покоящийся диск массы  $m$  и радиуса  $R$ , способный вращаться вокруг закрепленной оси симметрии  $OO'$ , одновременно врезаются два маленьких пластилиновых шарика, один из которых имеет такую же массу  $m$ , а второй – вдвое большую массу  $2m$ . Шарики летят по касательным к ободу диска с одинаковыми по величине скоростями  $\vec{v}$  и прилипают к ободу. Рассчитайте угловую скорость диска с прилипшими шариками сразу после удара и укажите ответ:



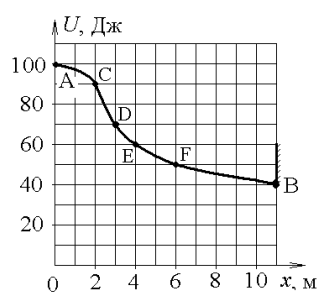
- а)  $\frac{v}{2R}$ ; б)  $\frac{v}{R}$ ; в)  $\frac{2v}{R}$ ; г)  $\frac{4v}{R}$ ; д)  $\frac{3v}{2R}$ ; е)  $\frac{2v}{3R}$ ; ж)  $\frac{7v}{6R}$ ; з)  $\frac{6v}{7R}$ ;

**6.11.** Два диска могут вращаться вокруг общей вертикальной оси. Верхний диск с массой  $m_1$  и радиусом  $R_1$  вращался с угловой скоростью  $\omega_1 = \omega$  и упал на нижний диск, вращавшийся в противоположную сторону с той же угловой скоростью  $\omega_2 = \omega$ , и имевший массу  $m_2 = 2m_1$  и радиус  $R_2 = 2R_1$ . Диски слипаются. Рассчитайте на основании приведенных данных их общую угловую скорость и укажите ответ:



- а)  $\omega$ ; б)  $\frac{7\omega}{9}$ ; в)  $\frac{5\omega}{9}$ ; г)  $\frac{9\omega}{5}$ ; д)  $\frac{\omega}{9}$ ; е)  $\frac{3\omega}{5}$ ; ж)  $\frac{7\omega}{5}$ ; з)  $\frac{5\omega}{3}$ ;

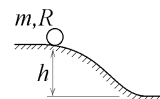
## 7. Механическая энергия и закон её сохранения и изменения. Работа силы и момента силы



а) обруч; б) диск; в) шар; г) все три тела после скатывания имеют одинаковую скорость;

**7.1.** Небольшая шайба начала движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки А. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы от координаты  $x$  изображена на графике  $U(x)$ . В точке В при столкновении со стенкой выделилось 40 Дж тепла и шайба отскочила назад. Шайба остановится в точке ... а) С; б) Е; в) D; г) F;

**7.2.** С горки с одинаковой высоты  $h$  без проскальзывания скатывается или обруч (тонкое кольцо), или диск (цилиндр), или шар, имеющие одинаковые массы  $m$  и радиусы  $R$ . Какое из этих тел, первоначально покоившихся на вершине горки, будет иметь у её подножия **наибольшую** скорость?



**7.3.** По горизонтальной поверхности без проскальзывания с одинаковой скоростью катятся шар и цилиндр с одинаковыми массами  $m$  и радиусами  $R$ . Отношение кинетической энергии цилиндра к кинетической энергии шара равно:

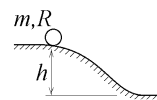
- а) 2; б)  $\frac{1}{2}$ ; в)  $\frac{7}{10}$ ; г)  $\frac{15}{14}$ ; д)  $\frac{3}{4}$ ; е)  $\frac{3}{2}$ ; ж)  $\frac{10}{7}$ ; з)  $\frac{2}{3}$ ; и)  $\frac{5}{2}$ ; к) 2;

**7.4.** По горизонтальной поверхности катится диск (цилиндр), имеющий массу  $m$  и радиус  $R$ . С какой минимальной скоростью  $v$  должен катиться без проскальзывания диск, чтобы перекатиться через горку высоты  $h$  ( $g$  – ускорение свободного падения)?

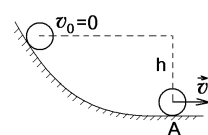


- а)  $\sqrt{\frac{3gh}{2}}$ ; б)  $\sqrt{2gh}$ ; в)  $\sqrt{\frac{4gh}{3}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ ; д)  $\sqrt{\frac{2gh}{3}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{3gh}{4}}$ ;

**7.5.** С горки высоты  $h$  без проскальзывания скатывается шар массы  $m$  и радиуса  $R$ , первоначально покоившийся на вершине горки. Если  $g$  – ускорение свободного падения, то у подножия горки катящийся шар имеет скорость  $v$ , равную: а)  $\sqrt{\frac{5gh}{7}}$ ; б)  $\sqrt{2gh}$ ; в)  $\sqrt{\frac{7gh}{10}}$ ; г)  $\sqrt{gh}$ ; д)  $\sqrt{\frac{10gh}{7}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ ;

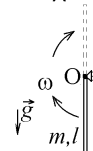


**7.6.** Цилиндр с массой  $m = 0,3$  кг и с радиусом  $R = 0,5$  м без начальной скорости и без проскальзывания скатывается с высоты  $h = 1$  м.  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. В нижней точке А кинетическая энергия его поступательного движения равна: а) 1 Дж; б) 1,5 Дж; в) 0,5 Дж; г) 2 Дж; д) 3 Дж; е) 2,5 Дж;

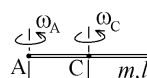


**7.7.** Тонкий стержень массы  $m$  и длины  $l$  может без трения вращаться вокруг закрепленной оси подвеса О, проходящей через его край. Сначала стержень покоился в вертикальном положении. С какой минимальной угловой скоростью  $\omega$  надо толкнуть стержень влево, чтобы он повернулся на  $180^\circ$  и поднялся в вертикальное положение, указанное на рисунке ( $g$  – ускорение свободного падения)?

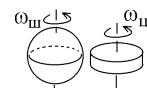
- а)  $\sqrt{\frac{g}{l}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{6g}{l}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{g}{3l}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{2g}{l}}$ ; д)  $\sqrt{\frac{g}{6l}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{3g}{l}}$ ; ж)  $\sqrt{\frac{g}{2l}}$ ;



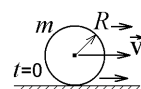
**7.8.** Тонкий стержень массы  $m$  и длины  $l$  сначала вращался с кинетической энергией  $E_A$  и угловой скоростью  $\omega_A$  вокруг закрепленной оси А, проходящей через его край, а затем начал вращаться с кинетической энергией  $E_C$  и угловой скоростью  $\omega_C$  вокруг закрепленной оси С, проходящей через его центр. Оси перпендикулярны к стержню (см. рисунок). Указать правильное отношение энергий  $E_A/E_C$ , если  $\omega_C = 4\omega_A$ : а) 0,25; б) 0,333; в) 0,5; г) 0,75; д) 1; е) 2; ж) 3; з) 4;



**7.9.** Шар и цилиндр имеют одинаковые массы и радиусы и вращаются вокруг закрепленных осей симметрии, проходящих через их центры. При этом кинетическая энергия шара в 2 раза больше кинетической энергии цилиндра. Во сколько раз угловая скорость вращения шара  $\omega_{ш}$  больше угловой скорости вращения цилиндра  $\omega_{ц}$ ? а) в 2 раза; б) в  $\sqrt{5/2}$  раза; в) в  $\sqrt{5/2}$  раз; г) в 3 раза; д) они равны;



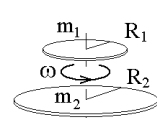
**7.10.** В начальный момент времени  $t = 0$  тонкий обруч с массой  $m = 0,1$  кг и с радиусом  $R = 0,5$  м не вращается, а поступательно скользит по горизонтальной поверхности с кинетической энергией 1200 Дж. Под действием силы трения он начал катиться без проскальзывания с кинетической энергией вращательного движения 300 Дж. Сила трения совершила работу: а) 300 Дж; б) 600 Дж; в) 500 Дж; г) 400 Дж; д) 200 Дж;



**7.11.** Цилиндр с массой  $m$  и с радиусом  $R$  катится без проскальзывания и имеет в начальный момент времени кинетическую энергию 1800 Дж. Момент сил трения совершил работу 600 Дж. Кинетическая энергия поступательного движения цилиндра, продолжающего катиться без проскальзывания, стала после этого равна: а) 1200 Дж; б) 800 Дж; в) 400 Дж; г) 600 Дж;



**7.12.** Чтобы раскрутить диск массы  $m_1$  и радиуса  $R_1$  вокруг своей оси до угловой скорости  $\omega$ , необходимо совершить работу  $A_1$ . Какую работу надо совершить, чтобы раскрутить до той же угловой скорости диск массы  $m_2 = 2m_1$  и радиуса  $R_2 = 2R_1$ ? Трением пренебречь. а)  $A_2 = A_1/8$ ; б)  $A_2 = A_1/2$ ; в)  $A_2 = 8A_1$ ; г)  $A_2 = 2A_1$ ; д)  $A_2 = A_1/4$ ;



## 8. Собственные механические колебания

**8.1.** Тонкий стержень массы  $3m$  и длины  $l$  может совершать незатухающие колебания вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей через край стержня. В центре стержня прикреплен маленький грузик массы  $m$ . Рассчитайте на основании этих данных величину периода малых колебаний такого маятника и укажите правильный ответ ( $g$  – ускорение свободного падения): а)  $2\pi\sqrt{\frac{2l}{3g}}$ ; б)  $2\pi\sqrt{\frac{3l}{4g}}$ ; в)  $2\pi\sqrt{\frac{7l}{12g}}$ ; г)  $2\pi\sqrt{\frac{5l}{8g}}$ ;

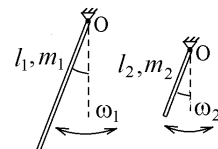


**8.2.** Тонкий диск массы  $m$  и радиуса  $R$  совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей перпендикулярной к плоскости диска на расстоянии  $x = R/2$  от его центра. Рассчитайте на основании этих данных величину периода малых колебаний такого маятника и укажите правильный ответ

( $g$  – ускорение свободного падения): а)  $2\pi\sqrt{\frac{2R}{3g}}$ ; б)  $2\pi\sqrt{\frac{3R}{2g}}$ ; в)  $2\pi\sqrt{\frac{R}{4g}}$ ; г)  $2\pi\sqrt{\frac{3R}{4g}}$ ; д)  $2\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$ ; е)  $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ ;

**8.3.** Два тонких стержня совершают незатухающие гармонические колебания вокруг горизонтальных осей подвеса О, проходящих через их край. Их длины и массы связаны соотношениями  $l_1 = 2l_2$ ,  $m_1 = 4m_2$ . Отношение частот их колебаний  $\omega_1/\omega_2$  равно:

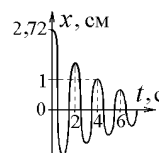
- а) 8; б) 4; в) 2; г)  $\sqrt{2}$ ; д) 1; е)  $1/\sqrt{2}$ ; ж)  $1/2$ ; з)  $1/4$ ; и)  $1/8$ ;



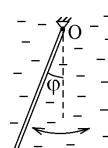
**8.4.** Маленький грузик совершает затухающие собственные колебания. Зависимость координаты грузика от времени  $t$  имеет вид  $x(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi)$ , а график этой зависимости показан на рисунке.

Логарифмический декремент затухания таких колебаний равен:

- а) 0,25; б) 0,5; в) 0,333; г) 0,167; д) 1; е) 0,667;

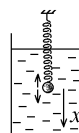


**8.5.** Стержень, подвешенный за верхний край, совершает малые колебания в вязкой жидкости, причем угол его отклонения от положения равновесия меняется со временем  $t$  по закону  $\varphi(t) = Ae^{-at} \cos(bt)$ , где  $b = a/3$ . Если жидкость убрать, то циклическая частота  $\omega_0$  незатухающих малых колебаний такого маятника будет равна: а)  $\sqrt{17}a/4$ ; б)  $\sqrt{10}a/3$ ; в)  $\sqrt{3}a$ ; г)  $\sqrt{5}a/2$ ; д)  $\sqrt{8}a$ ;



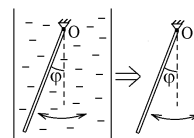
**8.6.** Координата  $x$  грузика на пружинке, совершающего собственные затухающие колебания в вязкой среде, меняется со временем  $t$  по закону  $x(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi)$ , где  $\beta = 4\omega_0/5$ ,  $\omega_0$  – циклическая частота собственных незатухающих колебаний этого маятника в воздухе. Во сколько раз изменится период  $T$  затухающих колебаний, если коэффициент затухания колебаний  $\beta$  уменьшить в  $4/3 = 1,33$  раз (определите и укажите ответ)?

- а) не изменится; б) увеличится в 1,33 раза; в) уменьшится в 1,2 раз; г) уменьшится в 1,33 раз; д) увеличится в 1,2 раз;

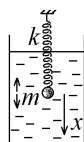


**8.7.** Физический маятник совершал собственные колебания в вязкой жидкости с циклической частотой  $3 \text{ с}^{-1}$ . Затем жидкость убрали, и маятник стал колебаться без затухания с частотой  $5 \text{ с}^{-1}$ . Чему был равен коэффициент затухания  $\beta$  собственных колебаний маятника в данной жидкости?

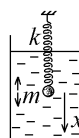
- а)  $1 \text{ с}^{-1}$ ; б)  $4 \text{ с}^{-1}$ ; в)  $5 \text{ с}^{-1}$ ; г)  $3 \text{ с}^{-1}$ ; д)  $\sqrt{6} \text{ с}^{-1}$ ; е)  $\sqrt{2} \text{ с}^{-1}$ ; ж)  $2 \text{ с}^{-1}$ ;



**8.8.** Маленький грузик массы  $m$  на пружинке с жёсткостью  $k$  совершал вертикальные собственные затухающие колебания в вязкой среде. Массу грузика  $m$  увеличили в 4 раза. Как надо изменить коэффициент затухания колебаний, чтобы их период увеличился в 2 раза? а) увеличить в 4 раза; б) увеличить в 2 раза; в) увеличить в  $\sqrt{2}$  раз; г) уменьшить в 4 раза; д) уменьшить в 2 раза; е) уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз;



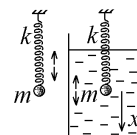
**8.9.** Маленький грузик с массой  $m = 0,1 \text{ кг}$  на пружинке с жёсткостью  $k = 2,5 \text{ Н/м}$  совершает вертикальные собственные колебания в вязкой жидкости. Коэффициент затухания таких колебаний  $\beta = 3 \text{ с}^{-1}$ . Во сколько раз надо увеличить коэффициент затухания  $\beta$ , увеличивая вязкость жидкости, чтобы частота собственных колебаний грузика уменьшилась в два раза? а) в 2 раза; б) в  $\sqrt{7}$  раз; в) в  $\frac{\sqrt{7}}{2}$  раз; г) в  $\frac{3}{\sqrt{7}}$  раз;



- д) в  $\frac{\sqrt{7}}{3}$  раз; е) для уменьшения частоты надо уменьшить вязкость жидкости;

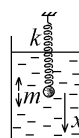
**8.10.** Маленький грузик массы  $m$  на пружинке с жёсткостью  $k$  совершал незатухающие собственные колебания с циклической частотой  $\omega_0 = 2 \text{ с}^{-1}$  в воздухе. Затем его поместили в вязкую жидкость, и он стал колебаться с коэффициентом затухания колебаний, равным  $\beta = 1 \text{ с}^{-1}$ . Во сколько раз надо уменьшить жесткость пружинки  $k$ , чтобы колебания грузика в этой вязкой жидкости прекратились?

- а) в 2 раза; б) в 4 раза; в) в 1,33 раз; г) в 1,67 раз; д) в 1,5 раз; е) в 3 раза; ж) колебания происходят при любом значении  $\beta$ ;



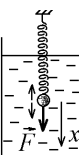
**8.11.** Маленький грузик массы  $m$  на пружинке с жёсткостью  $k$  совершает собственные вертикальные колебания в вязкой жидкости. Жесткость пружинки и вязкость жидкости изменили таким образом, что коэффициент затухания колебаний  $\beta$  увеличился в 2 раза, а логарифмический декремент затухания колебаний увеличился в 4 раза. Что при этом произошло с периодом колебаний? Он:

- а) увеличился в 8 раз; б) увеличился в 4 раза; в) увеличился в 2 раза; г) не изменился;

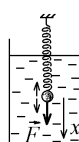


## 9. Вынужденные механические колебания

**9.1.** Грузик на пружинке совершал собственные малые вертикальные затухающие колебания в вязкой жидкости, а его смещение  $x$  от положения равновесия менялось со временем  $t$  по закону  $x(t) = Ae^{-at} \cos(bt)$ , причем  $b = 3a$ . Затем на грузик начали действовать внешней силой, меняющейся со временем по гармоническому закону:  $F_x(t) = F_0 \cos(\omega t)$ . На основании этих данных рассчитайте величину циклической частоты  $\omega$  силы в тех случаях, когда 1) максимальна амплитуда смещения грузика из положения равновесия, и 2) максимальна амплитуда его скорости (резонанс). Укажите ответы: а)  $a$ ; б)  $\sqrt{2}a$ ; в)  $2a$ ; г)  $\sqrt{3}a$ ; д)  $\sqrt{5}a$ ; е)  $\sqrt{8}a$ ; ж)  $\sqrt{10}a$ ;

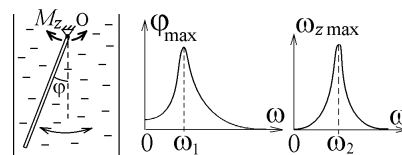


**9.2.** Пружинный маятник совершает вертикальные колебания в вязкой жидкости под действием внешней силы, меняющейся со временем по закону  $F = F_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . Когда период  $T = 2\pi/\omega$  этой силы равен  $T = T_1$ , наблюдается резонанс амплитуды скорости маятника. При величине периода  $T = T_2$  наблюдается резонанс амплитуды смещения  $x$  маятника. Укажите значение, которое может принимать отношение  $T_1/T_2$  этих



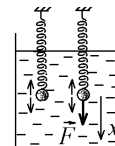
периодов: а) 1; б) 0; в) 9/8; г) 8/9; д)  $\infty$ ;

**9.3.** Физический маятник совершает в вязкой жидкости вынужденные колебания вокруг горизонтальной оси подвеса  $Oz$  под действием внешнего момента сил, проекция которого на ось вращения меняется со временем по гармоническому закону  $M_z = M_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . Зависимость амплитуды отклонения маятника от положения равновесия  $\Phi_{\max}$  и амплитуды его угловой скорости  $\omega_{z \max}$  от частоты  $\omega$  показаны на рисунке. Какой может быть величина отношения  $\omega_2/\omega_1$  частот, указанных на этом рисунке?



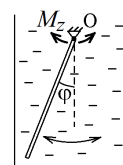
а)  $e^1 = 2,72$ ; б) 2; в) 0,9; г) 1; д) 1,1; е) 0; ж)  $\infty$ ;

**9.4.** Пружинный маятник совершал собственные затухающие колебания с циклической частотой  $\omega_1$  в вязкой жидкости. Когда на него стали действовать внешней силой, направленной вертикально и меняющейся со временем по гармоническому закону  $F = F_0 \cos(\omega t + \alpha)$ , то при частоте этой силы, равной  $\omega = \omega_2$  амплитуда скорости маятника приняла наибольшее возможное (резонансное) значение. Резонанс амплитуды смещения  $x$  этого маятника возникает при частоте  $\omega$  внешней силы, равной:



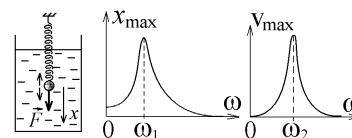
а)  $\sqrt{\omega_2^2 - 2\omega_1^2}$ ; б)  $\sqrt{2\omega_1^2 + \omega_2^2}$ ; в)  $\sqrt{\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2}}$ ; г)  $\sqrt{2\omega_1^2 - \omega_2^2}$ ;

**9.5.** Физический маятник совершает вынужденные колебания вокруг горизонтальной оси подвеса  $Oz$  в вязкой жидкости под действием внешнего момента сил, проекция которого на ось вращения меняется со временем по гармоническому закону  $M_z = M_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . Когда циклическая частота равна  $\omega = \omega_1$ , наблюдается резонанс угловой скорости маятника, а при частоте  $\omega = \omega_2$  наблюдается резонанс амплитуды отклонения  $\phi$  маятника от положения равновесия. Укажите формулу для расчета циклической частоты собственных затухающих колебаний этого маятника при отсутствии внешнего момента сил:



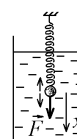
а)  $\sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2)/2}$ ; б)  $\sqrt{\omega_2^2 - 2\omega_1^2}$ ; в)  $\sqrt{(\omega_2^2 - \omega_1^2)/2}$ ; г)  $\sqrt{2\omega_1^2 - \omega_2^2}$ ;

**9.6.** Грузик массы  $m$  на пружинке с коэффициентом жёсткости  $k$  совершает вертикальные колебания в вязкой жидкости под действием внешней силы, меняющейся со временем с циклической частотой  $\omega$  по гармоническому закону  $F = F_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . Зависимость амплитуды смещения  $x_{\max}$  и амплитуды скорости  $v_{\max}$  такого маятника от частоты  $\omega$  показаны на рисунке, где  $\omega_1 = 1 \text{ с}^{-1}$ . Коэффициент затухания собственных колебаний грузика в такой жидкости равен  $\beta = 2 \text{ с}^{-1}$ . Определите и укажите величину частоты  $\omega_2$ :

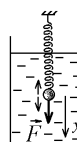


а)  $0,5 \text{ с}^{-1}$ ; б)  $1 \text{ с}^{-1}$ ; в)  $1,41 \text{ с}^{-1}$ ; г)  $1,73 \text{ с}^{-1}$ ; д)  $2 \text{ с}^{-1}$ ; е)  $3 \text{ с}^{-1}$ ;

**9.7.** Грузик массы  $m = 0,1 \text{ кг}$  на пружинке с коэффициентом жёсткости  $k = 3,6 \text{ Н/м}$  совершает вертикальные колебания в вязкой жидкости под действием внешней силы, меняющейся со временем с циклической частотой  $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$  по гармоническому закону  $F = F_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . При каком значении коэффициента затухания  $\beta$  собственных колебаний этого пружинного маятника в данной жидкости амплитуда его смещения  $x$  при вынужденных колебаниях будет максимальной? а)  $1 \text{ с}^{-1}$ ; б)  $1,41 \text{ с}^{-1}$ ; в)  $2 \text{ с}^{-1}$ ; г)  $6 \text{ с}^{-1}$ ; д)  $3 \text{ с}^{-1}$ ; е)  $4 \text{ с}^{-1}$ ; ж)  $8 \text{ с}^{-1}$ ;



**9.8.** Коэффициент затухания вертикальных собственных колебаний грузика массы  $m$  на пружинке с коэффициентом жесткости  $k$  в некоторой жидкости равен  $\beta$ . При некоторой циклической частоте  $\omega$  внешней силы, действующей на грузик и меняющейся по гармоническому закону, наблюдается резонанс амплитуды смещения  $x$  вынужденных колебаний такого пружинного маятника. Вязкость жидкости изменили, уменьшив коэффициент затухания  $\beta$  в 2 раза. Как надо изменить параметры  $m$  и  $k$ , чтобы резонанс амплитуды смещения грузика наблюдался при вдвое меньшей частоте  $\omega' = \omega/2$ ? Выберите и укажите ответ:



а) уменьшить и  $k$ , и  $m$  в 2 раза; б) уменьшить  $m$  в 2 раза,  $k$  не менять; в) уменьшить  $k$  в 2 раза,  $m$  не менять; г) уменьшить и  $k$ , и  $m$  в 4 раза; д) уменьшить  $k$  в 4 раза,  $m$  не менять;

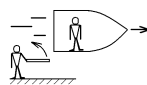
## 10. Специальная теория относительности

**10.1.** Ракета с космонавтом  $X$  летит мимо наблюдателя  $Y$  на неподвижной планете со скоростью  $v = 0,8 \cdot c$ , где  $c$  - скорость света в вакууме. Космонавт  $X$  нажимает на кнопку радиопередатчика в течение 60 секунд по часам ракеты. По часам наблюдателя  $Y$  этот процесс длится в течение интервала времени:

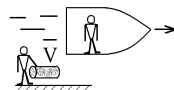
а) 36 с; б) 100 с; в) 60 с; г) 48 с; д) 75 с; е) 64 с; ж) 30 с;

**10.2.** На расстоянии  $l = 10^9$  км от Земли была испущена частица, летящая со скоростью  $v$ , время жизни которой равно  $\tau = 10^{-9}$  с (спустя это время частица распадается). Может ли частица долететь до Земли не распавшись ( $c$  – скорость света в вакууме)? а) да, если  $\frac{l}{v} > \tau / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ; б) да, если  $\frac{l}{v} < \tau / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ; в) нет, ни при каких обстоятельствах; г) да, при любом значении  $v$ ;

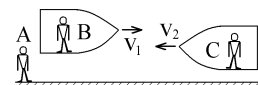
**10.3.** Мимо неподвижного наблюдателя на Земле с большой скоростью, равной  $2 \cdot 10^8$  м/с, пролетает ракета. Человек на Земле держал стержень длины  $l$  параллельно движению ракеты и повернул его на  $90^\circ$ , направив перпендикулярно движению ракеты. Для космонавта в ракете длина стержня после этого будет равна ( $c$  – скорость света в вакууме): а)  $l / \sqrt{1 - v^2/c^2}$  б)  $l \cdot (1 - \sqrt{1 - v^2/c^2})$ ; в)  $l \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ; г)  $l$ ;



**10.4.** Мимо неподвижного наблюдателя на Земле с большой скоростью, равной  $v = 2 \cdot 10^8$  м/с, пролетает ракета. Человек на Земле держит заполненный водой цилиндр с объемом  $V$ , основание которого перпендикулярно скорости ракеты. Для космонавта в ракете объем воды в цилиндре будет равен ( $c$  – скорость света в вакууме): а)  $V \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ; б)  $V / (1 - \sqrt{1 - v^2/c^2})$ ; в)  $V$ ; г)  $V / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ;

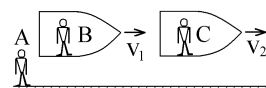


**10.5.** Две ракеты с космонавтами В и С движутся в противоположных направлениях относительно неподвижного наблюдателя А со скоростями, сравнимыми со скоростью света  $c$ . Космонавт В удаляется от наблюдателя А со скоростью  $v_1$ , а космонавт С приближается к космонавту В со скоростью  $v_2$ . При этом величина скорости космонавта С относительно наблюдателя



А равна: а)  $\frac{v_1 + v_2}{1 - v_1 v_2 / c^2}$ ; б)  $v_1 - v_2$ ; в)  $\frac{v_1 - v_2}{1 - v_1 v_2 / c^2}$ ; г)  $\frac{v_1 - v_2}{\sqrt{1 - v_1^2 / c^2}}$ ;

**10.6.** Две ракеты с космонавтами В и С движутся в одном направлении. Космонавт В удаляется от наблюдателя А со скоростью  $v_1 = c/2$ , а космонавт С удаляется от космонавта В со скоростью  $v_2 = c/2$ , где  $c$  – скорость света в вакууме. При этом величина скорости космонавта С относительно наблюдателя А равна: а)  $c$ ; б)  $c/\sqrt{2}$ ; в)  $2c/3$ ; г)  $c/2$ ; д)  $4c/5$ ; е)  $2c/\sqrt{5}$ ;



**10.7.** Первая релятивистская частица летит со скоростью  $v_1 = 0,8 \cdot c$ , а вторая частица, имеющая ту же массу, – со скоростью  $v_2 = 0,6 \cdot c$ , где  $c$  – скорость света. Во сколько раз величина релятивистской полной энергии  $E_1$  первой частицы больше величины релятивистской полной энергии  $E_2$  второй частицы?

а) в  $\frac{3}{2}$  раз; б) в  $\frac{4}{3}$  раз; в) в  $\sqrt{\frac{4}{3}}$  раз; г) в  $\frac{9}{4}$  раз; д) в  $\sqrt{\frac{3}{2}}$  раз

**10.8.** Релятивистская полная энергия частицы, летящей с огромной скоростью, равна  $E = 8 \cdot 10^{-24}$  Дж. Её кинетическая энергия равна  $E_{\text{кин}} = 6 \cdot 10^{-24}$  Дж. Во сколько раз энергия покоя данной частицы меньше её кинетической энергии? а) в 2 раза; б) в 3 раза; в) в 4 раза; г) в 6 раза; д) в 8 раз;

**10.9.** Энергия покоя некоторой частицы равна  $E_{\text{пок}} = 2 \cdot 10^{-24}$  Дж. Время жизни от момента рождения до момента распада этой частицы, если она покоится, равно  $\Delta t = 2$  мкс. Когда частица движется в лабораторной системе отсчета со скоростью, близкой к скорости света, то её релятивистская полная энергия равна  $E = 8 \cdot 10^{-24}$  Дж. Сколько времени от момента рождения до момента распада просуществует летящая частица по часам неподвижного наблюдателя в лабораторной системе отсчета? а) 1 мкс; б) 2 мкс; в) 4 мкс; г) 8 мкс; д) 16 мкс; е) 32 мкс;

**10.10.**  $p$  – величина релятивистского импульса тела, летящего со скоростью, близкой к скорости света  $c$ . Известно, что  $cp = 2$  Дж, а энергия покоя этого тела  $E_{\text{пок}} = 1$  Дж. Чему равна величина релятивистской полной энергии летящего тела? а) 1 Дж; б)  $\sqrt{2}$  Дж; в)  $\sqrt{3}$  Дж; г) 2 Дж; д)  $\sqrt{5}$  Дж; е) 3 Дж;

**10.11.** Частица с нулевой массой (фотон) имеет импульс, равный  $6 \cdot 10^{-16}$  кг·м/с, скорость света в вакууме  $3 \cdot 10^8$  м/с. Полная энергия этой частицы равна: а) 0; б)  $1,8 \cdot 10^{-7}$  Дж; в)  $2 \cdot 10^{-24}$  Дж; г)  $5,4 \cdot 10^{-31}$  Дж;

## 11. Уравнение состояния идеального газа

**11.1.** Идеальный газ имеет температуру  $T$ . Концентрация молекул этого газа (число молекул в единице объема) равна  $n$ . Давление такого газа можно вычислить по формуле ( $N_A$  – число Авогадро,  $R$  – универсальная газовая постоянная): а)  $\frac{N_A T}{R n}$ ; б)  $\frac{R T}{N_A n}$ ; в)  $\frac{N_A n T}{R}$ ; г)  $\frac{N_A n}{R T}$ ; д)  $\frac{R n}{N_A T}$ ; е)  $\frac{R n T}{N_A}$ ;

**11.2.** Из баллона со сжатым идеальным газом выпустили половину массы газа. Как необходимо изменить абсолютную температуру оставшегося в сосуде газа, чтобы его давление уменьшилось в 4 раза?

- а) увеличить в 8 раз; б) увеличить в 4 раза; в) увеличить в 2 раза;  
г) не менять; д) уменьшить в 2 раза; е) уменьшить в 4 раза;

**11.3.** Когда из сосуда выпустили некоторое количество идеального газа, давление (в Па) в нем упало на 40%, а температура (в К) на 20%. Какую часть газа выпустили?

- а) 50%; б) 30%; в) 25%; г) 48%; д) 33,3 е) другой ответ;

**11.4.** Определите, как изменится температура идеального газа, если увеличить его давление в 4 раз в таком процессе, при котором соотношение между давлением и объемом газа  $pV^2 = \text{const}$ :

- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза;

**11.5.** Как изменится давление идеального газа, если уменьшить его температуру в 4 раз в таком процессе, при котором соотношение между температурой и объемом газа  $TV^2 = \text{const}$ ?

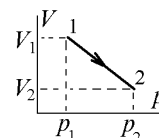
- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; г) уменьшится в 2 раза; е) уменьшится в 8 раз;

**11.6.** Как изменится объем идеального газа, если уменьшить его давление в 2 раза в таком процессе, при котором соотношение между температурой и давлением газа  $p^2/T = \text{const}$ ?

- а) увеличится в 8 раз; б) увеличится в 4 раза; в) увеличится в 2 раза;  
г) не изменится; д) уменьшится в 2 раза; е) уменьшится в 4 раза;

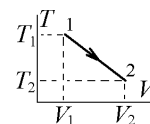
**11.7.** Идеальный газ совершает процесс  $1 \rightarrow 2$ , изображенный на диаграмме  $V-p$ , где  $p_2 = 2p_1$ ,  $V_1 = 4V_2$ . Что происходит с величиной температуры  $T$  газа при таком процессе? Она:

- а) уменьшается в 8 раз; б) уменьшается в 4 раза; в) уменьшается в 2 раза; г) не изменяется;  
д) увеличивается в 2 раза; е) увеличивается в 4 раза; ж) увеличивается в 8 раз;



**11.8.** Идеальный газ совершает процесс  $1 \rightarrow 2$ , изображенный на диаграмме  $T-V$  (температура-объем), где  $V_2 = 2V_1$ ,  $T_1 = 2T_2$ . Что происходит с величиной давления  $p$  газа при таком процессе? Оно:

- а) уменьшается в 4 раза; б) уменьшается в 2 раза; в) не изменяется;  
г) увеличивается в 2 раза; д) увеличивается в 4 раза;



**11.9.** Имеются 2 сосуда с объемами  $V_1=2V$  и  $V_2=V$ . В первом находится 4 кмоль, а во втором - 1 кмоль газа. Если давление в обоих сосудах одинаковое, то каково соотношение температур этих газов?

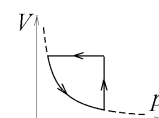
- а)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$ ; б)  $\frac{T_1}{T_2} = 2$ ; в)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2}{3}$ ; г)  $\frac{T_1}{T_2} = 8$ ; д)  $\frac{T_2}{T_1} = 8$ ; е)  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{2}{3}$ ;

## 12. Изопроцессы идеального газа

**12.1.** На рисунке изображена зависимость температуры от давления для данной массы газа. Процессы идут в направлении, указанном стрелками. Перечисляются следующие процессы: 1) изобарическое нагревание; 2) изобарическое охлаждение; 3) изохорическое увеличение давления; 4) изохорическое уменьшение давления; 5) изотермическое сжатие газа; 6) изотермическое расширение газа. Укажите, какие процессы из перечисленных изображены на рисунке: а) 1, 2, 4; б) 1, 2, 3; в) 1, 3, 4; г) 1, 2, 5; д) 1, 2, 6; е) 3, 4, 5; ж) 3, 4, 6; з) 2, 3, 4;

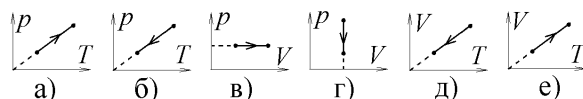


**12.2.** На рисунке изображена зависимость объема данной массы газа от его давления. Процессы идут в направлении, указанном стрелками. Перечисляются следующие процессы: 1) изобарическое нагревание; 2) изобарическое охлаждение; 3) изохорическое нагревание; 4) изохорическое охлаждение; 5) изотермическое сжатие газа; 6) изотермическое расширение газа. Укажите, какие процессы из перечисленных изображены на рисунке:



- а) 2, 3, 5; б) 2, 3, 6; в) 2, 4, 5; г) 1, 4, 5; д) 2, 3, 6; е) 1, 4, 6; ж) 2, 4, 6; з) 1, 3, 6;

**12.3.** Укажите график, характеризующий равновесное изобарическое охлаждение идеального газа:



**12.4.** При изотермическом сжатии объем идеального газа уменьшился на 1 л. При этом его давление возросло на 20%. На сколько процентов увеличилось бы давление, если бы объем был уменьшен на 2 л: а) на 30%? б) на 40%? в) на 50%? г) на 60%?

**12.5.** Газ расширили изотермически так, что его объем, первоначально равный  $V$ , увеличился на величину  $\Delta V$ , а давление уменьшилось на величину  $\Delta p$ . Каким был первоначальное давление газа?

- а)  $p = \frac{V \Delta p}{\Delta V}$ ; б)  $p = \frac{(V - \Delta V) \Delta p}{\Delta V}$ ; в)  $p = \frac{(V + \Delta V) \Delta p}{V}$ ; г)  $p = \frac{(V + \Delta V) \Delta p}{\Delta V}$ ;

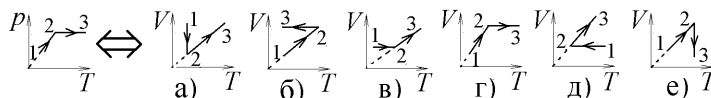
**12.6.** Давление газа адиабатно уменьшают. Как изменяются при этом температура  $T$  и объём  $V$  газа?

- а) и  $T$ , и  $V$  увеличиваются; б)  $T$  увеличивается,  $V$  уменьшается; в)  $T$  уменьшается,  $V$  увеличивается;  
г) и  $T$ , и  $V$  уменьшаются; д)  $V$  не меняется,  $T$  увеличивается; е)  $V$  не меняется,  $T$  уменьшается;

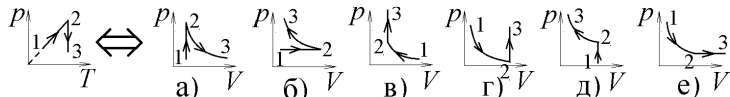
**12.7.** При изобарном охлаждении идеального газа от начальной температуры 300 К его плотность увеличилась вдвое. На какую величину изменилась температура газа?

- а) уменьшилась на 150 К; б) увеличилась на 150 К; в) увеличилась на 300 К; г) не изменилась;

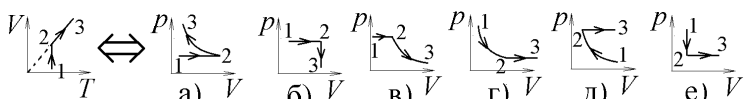
**12.8.** На графике слева изображены процессы изменения состояния идеального газа в координатах  $p$ - $T$ . Укажите график этих же процессов с учетом их направления на рисунке справа в координатах  $V$ - $T$ :



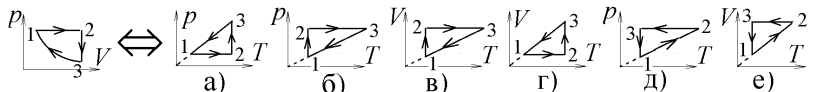
**12.9.** На графике слева изображены процессы изменения состояния идеального газа в координатах  $p$ - $T$ . Укажите график этих же процессов с учетом их направления на рисунке справа в координатах  $p$ - $V$ :



**12.10.** На графике слева изображены процессы изменения состояния идеального газа в координатах  $V$ - $T$ . Укажите график этих же процессов с учетом их направления на рисунке справа в координатах  $p$ - $V$ :



**12.11.** На рисунке слева на диаграмме  $p$ - $V$  изображен циклический процесс, состоящий из изобары, изохоры и изотермы. Укажите правильный рисунок этого цикла на диаграмме  $p$ - $T$ , или на диаграмме  $V$ - $T$ :



### 13. Первое начало термодинамики

**13.1.** Вначале идеальный газ имел давление  $p_1$ , объём  $V_1$ , а его внутренняя энергия была равна  $U_1$ . Некоторый процесс приводит этот газ в состояние с давлением  $p_2 = p_1/3$  и с объёмом  $V_2 = 2V_1$ . На какую величину  $\Delta U$  изменяется внутренняя энергия газа при этом процессе? а)  $\Delta U = +\frac{U_1}{2}$ ; б)  $\Delta U = -\frac{U_1}{2}$ ; в)  $\Delta U = +\frac{U_1}{3}$ ; г)  $\Delta U = -\frac{U_1}{3}$ ; д)  $\Delta U = 0$ ;

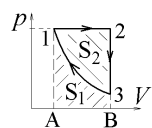
**13.2.** Внутренняя энергия гелия (He), находящегося в сосуде с объёмом  $V$  под давлением  $p$  с температурой  $T$ , определяется выражением: а)  $U = pV$ ; б)  $U = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} RT$ ; в)  $U = \frac{5}{2} pV$ ; г)  $U = 3 \frac{m}{\mu} RT$ ; д)  $U = \frac{3}{2} pV$ ;

**13.3.** В процессе расширения газ совершает над внешними телами работу  $A = 6$  кДж, причем газ при этом отдаёт этим телам теплоту  $\Delta Q = 2$  кДж. Чему равно изменение внутренней энергии газа? а) +6 кДж; б) +4 кДж; в) +2 кДж; г) -2 кДж; д) -4 кДж; е) -8 кДж;

**13.4.** В процессе нагревания газа его внутренняя энергия изменяется на величину 6 кДж, а внешние тела при этом сжимают газ, совершая над ним работу 2 кДж. При этом газ .... в виде тепла энергию...: а) получает  $\Delta Q = 8$  Дж; б) получает  $\Delta Q = 4$  Дж; в) отдаёт  $\Delta Q = 2$  Дж; г) отдаёт  $\Delta Q = 4$  Дж; д) отдаёт  $\Delta Q = 6$  Дж; е) отдаёт  $\Delta Q = 8$  кДж;

**13.5.** Идеальный газ совершает циклический процесс 1-2-3-1, показанный на диаграмме  $p$ - $V$ , где процесс 3-1 – адиабатический. Площадь  $S_2$  фигуры 1-2-3 равна 10 Дж. На участке 3-1 внутренняя энергия газа увеличилась на 15 Дж. На участке 1-2 газ совершил работу...

- а) 5 Дж; б) 10 Дж; в) 15 Дж; г) 25 Дж; д) другой ответ;



**13.6.** При изотермическом процессе объём 1 моля идеального газа увеличился в 2 раза. При этом газ получил теплоту  $\Delta Q = \frac{5}{2} RT \ln 2$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура. Каким может быть данный газ? а) водородом  $H_2$ ; б) углекислым газом  $CO_2$ ; в) аммиаком  $NH_3$ ; г) гелием He; д) данное условие невозможно;

**13.7.** Давление 1 моля некоторого идеального газа, имевшего объём  $V$ , изохорически увеличилось на  $\Delta p$ . При этом данная масса газа получила теплоту  $\Delta Q = \frac{5}{2} V \Delta p$ . Каким может быть данный газ? а) водородом  $H_2$ ; б) гелием He; в) метаном  $CH_4$ ; г) данное условие невозможно;

**13.8.** Давление 1 моля трехатомного идеального газа, имевшего объём  $V$ , изохорически увеличилось на  $\Delta p$ . При этом данная масса газа получила тепло: а)  $\Delta Q = \frac{3}{2} p \Delta V$ ; б)  $\Delta Q = p \Delta V$ ; в)  $\Delta Q = 3 p \Delta V$ ; г)  $\Delta Q = \frac{5}{2} p \Delta V$ ;

**13.9.** В процессе изобарного нагрева некоторый идеальный газ получил теплоту  $Q$  и совершил работу  $A$ , причем  $Q/A = 5/2$ . Каким может быть данный газ?

- а) водородом  $H_2$ ; б) гелием  $He$ ; в) углекислым газом  $CO_2$ ; г) данное условие невозможно;

**13.10.** Объем 1 моля некоторого идеального газа изобарически (при давлении  $p$ ) увеличился на  $\Delta V$ . При этом данная масса газа получила теплоту  $\Delta Q = 4p\Delta V$ . Каким может быть данный газ?

- а) азотом  $N_2$ ; б) углекислым газом  $CO_2$ ; в) гелием  $He$ ; г) данное условие невозможно;

**13.11.** При изобарном нагреве гелий ( $He$ ) получил теплоту  $Q$ , а его внутренняя энергия возросла на величину  $\Delta U$ . При этом отношение  $Q/\Delta U$  равно: а) 1; б)  $3/2$ ; в)  $4/3$ ; г)  $5/2$ ; д)  $5/3$ ; е)  $5/4$ ; ж)  $7/5$ ; з) другой ответ;

**13.12.** Укажите, как изменяется внутренняя энергия газа при 1) изобарном сжатии и 2) адиабатном повышении давления: а) увеличивается в обоих случаях; б) уменьшается в обоих случаях; в) уменьшается в первом и увеличивается во втором случае; г) увеличивается в первом и уменьшается во втором случае;

**13.13.** При протекании адиабатического процесса 1 моль углекислого газа ( $CO_2$ ) совершил над внешними телами работу  $A$ . На какую величину  $\Delta T$  изменилась при этом температура газа ( $R$  – универсальная газовая постоянная)?

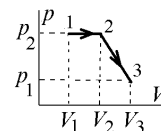
- а) возросла на  $\Delta T = 2A/3R$ ; б) уменьшилась на  $\Delta T = 3A/2R$ ; в) уменьшилась на  $\Delta T = A/3R$ ; д) возросла на  $\Delta T = A/3R$ ; е) уменьшилась на  $\Delta T = 2A/3R$ ;

**13.14.** При адиабатном нагреве углекислый газ ( $CO_2$ ) совершает работу  $A$ , а его внутренняя энергия возрастает на величину  $\Delta U$ . При этом отношение  $\Delta U/A$  равно:

- а) 0; б) 1; в)  $-3$ ; г) 3; д)  $-4/3$ ; е)  $-1$ ; ж)  $4/3$ ; з)  $\infty$ ;

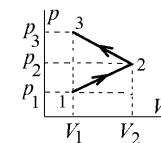
**13.15.** Идеальный газ совершает процесс  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , изображенный на диаграмме, где  $p_2 = 2p_1$ ,  $V_2 = 2V_1$ ,  $V_3 = 3V_1$ ,  $p_1 = 10^5$  Па,  $V_1 = 1$  литр. При этом внутренняя энергия газа возрастает на величину 250 Дж. Какое количество теплоты получает газ за время процесса  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ?

- а) 400 Дж; б) 450 Дж; в) 500 Дж; г) 550 Дж; д) 600 Дж; е) 650 Дж;



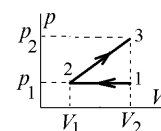
**13.16.** Идеальный газ совершает процесс  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , изображенный на диаграмме, где  $p_2 = 2p_1$ ,  $p_3 = 3p_1$ ,  $V_2 = 2V_1$ ,  $p_1 = 10^5$  Па,  $V_1 = 1$  литр. При этом внутренняя энергия газа возрастает на величину 500 Дж. Какое количество теплоты получает газ в течение процессов  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ?

- а) 100 Дж; б) 200 Дж; в) 300 Дж; г) 400 Дж; д) 500 Дж; е) 600 Дж;



**13.17.** Идеальный газ совершает процесс  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ , изображенный на диаграмме, где  $p_2 = 3p_1$ ,  $V_2 = 4V_1$ ,  $p_1 = 10^5$  Па,  $V_1 = 1$  литр. При этом внутренняя энергия газа возрастает на величину 2400 Дж. Какое количество теплоты получает газ за время процесса  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ?

- а) 2500 Дж; б) 2700 Дж; в) 2800 Дж; г) 3000 Дж; д) 3200 Дж;



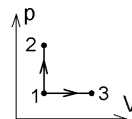
#### 14. Теплоемкость

**14.1.** Гелий ( $He$ ), нагреваясь, совершает политропический процесс, молярная теплоемкость которого равна  $C = 4R/3$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная. Используя 1-е начало термодинамики, определите, как изменяется объем газа в таком процессе: а)  $\Delta V > 0$ ; б)  $\Delta V < 0$ ; в)  $\Delta V = 0$ ; г) такой процесс невозможен в принципе;

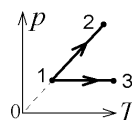
**14.2.** Молярная теплоемкость изобарного процесса, совершаемого некоторым идеальным газом равна  $2,5R$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная. Такой газ может быть (укажите все правильные ответы):

- а) углекислым газом  $CO_2$ ; б) кислородом  $O_2$ ; в) азотом  $N_2$ ; г) метаном  $CH_4$ ; д) водородом  $H_2$ ; е) гелием  $He$ ;

**14.3.** Молярные теплоемкости водорода ( $H_2$ ) в процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 3$  равны  $C_1$  и  $C_2$  соответственно. Их отношение  $C_2/C_1$  равно: а)  $\frac{3}{5}$ ; б)  $\frac{3}{7}$ ; в)  $\frac{7}{5}$ ; г)  $\frac{4}{3}$ ; д)  $\frac{7}{3}$ ; е)  $\frac{5}{7}$ ; ж)  $\frac{5}{3}$ ; з)  $\frac{3}{4}$ ;

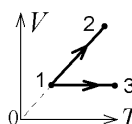


**14.4.** Молярные теплоемкости гелия ( $He$ ) в процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 3$ , указанных на рисунке, равны  $C_1$  и  $C_2$  соответственно. Определив тип процессов, определите правильную величину отношения  $(C_2 - C_1)/C_1$ : а)  $\frac{1}{4}$ ; б)  $\frac{2}{5}$ ; в)  $\frac{1}{5}$ ; г)  $\frac{3}{5}$ ; д)  $\frac{1}{3}$ ; е)  $\frac{2}{3}$ ; ж)  $\frac{1}{7}$ ; з)  $\frac{2}{7}$ ;

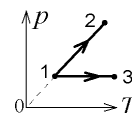


**14.5.** Молярные теплоемкости идеального газа в процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 3$ , указанных на рисунке, равны  $C_1$  и  $C_2$  соответственно. Их отношение  $C_2/C_1 = 0,75$ . Таким газом может быть:

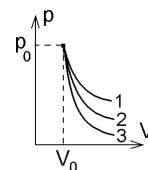
- а) азот  $N_2$ ; б) метан  $CH_4$ ; в) гелий  $He$ ; г) это условие невозможно;



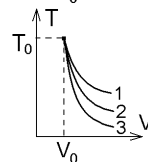
**14.6.** Молярные теплоемкости идеального газа в процессах  $1 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 3$  равны  $C_1$  и  $C_2$  соответственно. Их разность  $C_2 - C_1$  имеет наибольшую величину: а) для одноатомного газа; б) для двухатомного газа; в) для трехатомного газа; г) для любого газа эта разность одинакова;



**14.7.** Три идеальных газа – одноатомный, двухатомный и многоатомный – имеют одинаковое начальное давление  $p_0$  и объем  $V_0$  и совершают процесс адиабатического расширения. Кривые этих процессов показаны на  $p-V$  – диаграмме. Расширению многоатомного газа соответствует кривая: а) 1; б) 2; в) 3; г) при адиабатическом расширении  $p$  должно расти, и приведенные графики неверны;



**14.8.** Три идеальных газа – одноатомный, двухатомный и многоатомный – имеют одинаковые начальные температуру  $T_0$  и объем  $V_0$  и совершают процесс адиабатического расширения. Кривые этих процессов показаны на  $T-V$  – диаграмме. Расширению одноатомного газа соответствует кривая: а) 1; б) 2; в) 3; г) при адиабатическом расширении температура  $T$  должна расти, и поэтому приведенные графики неверны;

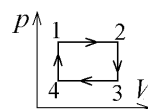


**14.9.** Показатель адиабаты для некоторого идеального газа равен  $\gamma = 1,33$ . Такой газ может быть (укажите все правильные ответы):

а) углекислым газом  $\text{CO}_2$ ; б) гелием  $\text{He}$ ; в) азотом  $\text{N}_2$ ; г) кислородом  $\text{O}_2$ ; д) метаном  $\text{CH}_4$ ; е) водородом  $\text{H}_2$ ;

## 15. Второе начало термодинамики. Энтропия

**15.1.** Цикл тепловой машины включает две изобары 1-2 и 3-4 и две изохоры 2-3 и 4-1. Как изменится энтропия рабочего тела за один цикл работы тепловой машины? а) возрастет; б) уменьшится; в) не изменится; г) результат зависит от значений термодинамических параметров  $p$  и  $V$ ;



**15.2.** Укажите формулу для вычисления приращения энтропии идеального газа при изотермическом сжатии: а)  $\int \frac{dU}{T}$ ; б)  $-\int p dV$ ; в)  $\int \frac{V C_p dT}{T}$ ; г)  $\int \frac{V C_v dT}{T}$ ; д)  $\int \frac{p dV}{T}$ ;

**15.3.** Изменение энтропии при изотермическом сжатии идеального газа определяется формулой  $dS = \frac{pdV}{T} < 0$ .

Это не противоречит формулировке II начала термодинамики  $dS \geq 0$  потому что:

а) приведенная формула неверна; б) при изотермическом сжатии газ должен получать тепло  $\delta Q$ , что увеличивает его энтропию на  $\delta Q/T$ ; в) формулировка  $dS \geq 0$  не применима к идеальному газу; г) при изотермическом сжатии газ не является замкнутой системой; д) формулировка II начала термодинамики не действует при изотермических процессах;

**15.4.** Реальная тепловая машина с необратимым процессом передачи тепла использует нагреватель с температурой 800 К и холодильник с температурой 200 К. Каким не может быть КПД **реальной** тепловой машины при таких условиях: а) 33,3%; б) 50%; в) 60%; г) 66,7%; д) 75%;

**15.5.** Первоначально водяной пар находился при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Затем его А) сконденсировали в воду при температуре  $100^\circ\text{C}$ , Б) полученную воду охладили до температуры  $0^\circ\text{C}$ , В) охлажденную воду превратили в лёд при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Как изменялась энтропия  $S$  данного вещества в результате этих процессов?

а) А – не изменялась, Б – уменьшалась, В – не изменялась; б) А – возрастала, Б – уменьшалась, В – возрастала; в) А – возрастала, Б – возрастала, В – возрастала; г) А – не изменялась, Б – возрастала, В – не изменялась; д) А – уменьшалась, Б – уменьшалась, В – уменьшалась;

**15.6.** Какие из приведенных ниже утверждений относятся ко второму началу термодинамики (укажите два правильных ответа)?

а) Изменение энтропии идеального газа при получении им теплоты  $\delta Q$  равно  $dS = \delta Q/T$ ; б) Энтропия идеального газа должна возрастать при его изотермическом расширении; в) КПД цикла Карно равен  $(T_H - T_X)/T_H \times 100\%$ , где  $T_H$  и  $T_X$  – температуры “нагревателя” и “холодильника”; г) При переходе системы из неравновесного в равновесное состояние её энтропия должна увеличиваться; д) В процессах, происходящих в замкнутой системе, энтропия убывать не может; е) Невозможен вечный двигатель, производящий работу без получения теплоты (энергии) от внешних тел;

**15.7.** Какие из приведенных ниже утверждений относятся ко второму началу термодинамики (укажите два правильных ответа)?

а) Энтропия всех тел в состоянии равновесия стремится к нулю по мере приближения температуры к нулю Кельвина; б) Энтропия – это функция состояния, которая не зависит от процесса, с помощью которого система пришла в это состояние; в) Энтропия термодинамической системы максимальна, если эта система находится в равновесном состоянии; г) Обратный циклический процесс возможен, если внешние тела совершают работу над рабочим телом тепловой машины; д) Не существует циклического процесса, КПД которого был бы больше КПД прямого цикла, состоящего из двух изотерм и двух адиабат; е) Энтропия идеального газа должна убывать при его изобарическом охлаждении;

**15.8.** Какие из приведенных ниже утверждений относятся ко второму началу термодинамики (укажите два правильных ответа)?

- а) Энтропия идеального газа должна возрастать при его изобарическом нагревании; б) В результате циклического процесса энтропия рабочего тела любой тепловой машины не изменяется; в) Одним из результатов происходящих в термодинамической системе процессов может быть передача теплоты от холодного тела к нагретому; г) Единственным результатом процессов, протекающих в термодинамической системе, не может быть передача теплоты от более нагретого тела к менее нагретому; д) Изменение энтропии идеального газа при получении им теплоты  $\delta Q$  равно  $dS = \delta Q/T$ ; е) Работа, произведенная за цикл рабочим телом тепловой машины, всегда меньше полученной за цикл извне теплоты;

**15.9.** Укажите *неверное* утверждение:

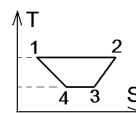
- а) Энтропия идеального газа возрастает при его изотермическом расширении; б) Имеется единственный обратимый процесс передачи теплоты от нагревателя к рабочему телу тепловой машины; в) Энтропия идеального газа после совершения им прямого циклического процесса увеличивается; г) Энтропия – это функция состояния, которая не зависит от процесса, с помощью которого система пришла в это состояние; д) Энтропия термодинамической системы максимальна, если эта система находится в равновесном состоянии;

**15.10.** Укажите *неверное* утверждение:

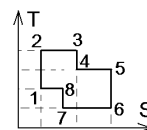
- а) Энтропия идеального газа не меняется при его адиабатическом охлаждении; б) Невозможен циклический процесс, приводящий к превращению в работу всей полученной от внешних тел теплоты; в) Для необратимого термодинамического процесса не применима формула изменения энтропии  $dS = \delta Q/T$ ; г) КПД циклического процесса из двух адиабат и двух изобар, совершаемый рабочим телом тепловой машины, меньше максимально возможного при циклическом процессе КПД; д) Энтропия идеального газа убывает при его адиабатическом сжатии;

## 16. КПД тепловых машин, циклические процессы

**16.1.** На рисунке представлен прямой цикл тепловой машины в координатах  $T-S$ , где  $T$  – термодинамическая температура,  $S$  – энтропия. Укажите участки, на которых теплота поступает в рабочее тело машины от нагревателя, и участки, где теплота отдается холодильнику:

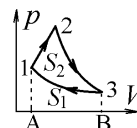


**16.2.** На рисунке представлен прямой цикл тепловой машины в координатах  $T-S$ , где  $T$  – температура,  $S$  – энтропия. Укажите участки, на которых теплота поступает ( $\uparrow$ ) в рабочее тело машины от нагревателя, и участки, где теплота отдается ( $\downarrow$ ) холодильнику:



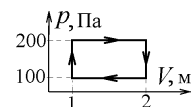
- а) 12, 78 –  $\uparrow$ ; 34, 56 –  $\downarrow$ ; б) 12, 23, 34, 45 –  $\uparrow$ ; 56, 67, 78, 81 –  $\downarrow$ ;  
в) 23, 45 –  $\uparrow$ ; 67, 81 –  $\downarrow$ ; г) 12, 23, 45, 78 –  $\uparrow$ ; 34, 56, 67, 81 –  $\downarrow$ ;

**16.3.** Идеальный газ совершает циклический процесс 1-2-3-1, изображённый на рисунке, где процесс 2-3 – адиабатический, а 3-1 – изотермический. Площадь  $S_2$  фигуры 1-2-3 равна 10 Дж, а площадь  $S_1$  фигуры 1-3-В-А равна 15 Дж. Коэффициент полезного действия (КПД) такого цикла равен:

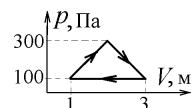


- а) 20%; б) 25%; в) 30%; г) 40%; д) 50%; е) 75%;

**16.4.** Совершая циклический процесс, изображенный на рисунке, рабочее тело за один цикл отдает холодильнику количество теплоты  $Q = 100$  Дж. Какое количество теплоты получает рабочее тело за один цикл от нагревателя? а) 200 Дж; б) 300 Дж; в) 400 Дж; г) 600 Дж; д) 800 Дж;

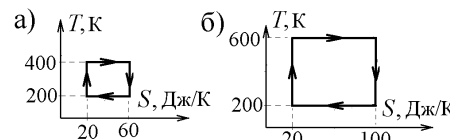


**16.5.** Определить КПД цикла, изображенного на рисунке, если рабочее тело получает от нагревателя за один цикл количество теплоты  $Q_H = 1000$  Дж:



- а) 10%; б) 20%; в) 25%; г) 30%; д) 40%;

**16.6.** На диаграмме  $T$  (температура) –  $S$  (энтропия) показаны два циклических процесса. Отношение  $\eta_a/\eta_b$  величины КПД левого цикла (а) к величине КПД правого цикла (б) равно:



- а) 1/4; б) 1/2; в) 2/3; г) 3/4; д) 1; е) 4/3; ж) 3/2; з) 2; и) 4;

**16.7.** КПД цикла Карно, который совершал идеальный газ, был равен 50%. Температуру нагревателя увеличили в 2 раза, а температуру холодильника уменьшили в 2 раза. Чему стал равен новый КПД цикла Карно?

- а)  $\frac{1}{3} \times 100\%$ ; б)  $\frac{5}{8} \times 100\%$ ; в)  $\frac{3}{4} \times 100\%$ ; г)  $\frac{7}{8} \times 100\%$ ;

**16.8.** Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в 3 раза выше температуры холодильника. Газ передал холодильнику количество теплоты  $Q = 3$  кДж. Какую работу совершил газ?

- а) 1 кДж; б) 2 кДж; в) 3 кДж; г) 4 кДж; д) 6 кДж; е) 9 кДж;

**16.9.** Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в 5 раз выше температуры холодильника. Газ совершил работу  $A = 20$  кДж. Какое количество теплоты получил газ от нагревателя?

- а) 25 кДж; б) 30 кДж; в) 40 кДж; г) 50 кДж; д) 60 кДж; е) 75 кДж;

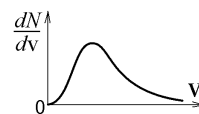
**16.10.** Идеальный газ совершает цикл Карно. Газ получил от нагревателя 3 кДж теплоты и совершил работу 1 кДж. Чему равно отношение  $T_H/T_X$  температур нагревателя и холодильника?

- а) 1,2; б) 1,25; в) 1,33; г) 1,5; д) 1,67; е) 2; ж) другой ответ;

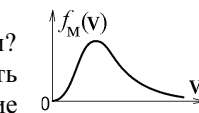
### 17. Распределение Максвелла

**17.1.** На рисунке представлен график зависимости функции  $dN/dv$  от величины скорости  $v$  молекул идеального газа, где  $dN$  – число молекул газа, имеющих скорости в интервале от  $v$  до  $v + dv$ . Если температуру  $T$  газа увеличить в 2 раза, то площадь под этим графиком.....:

- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза;  
в) увеличится в 1,414 раз; г) уменьшится в 2 раза; ж) не изменится;



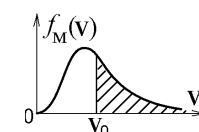
**17.2.** На рисунке представлен при температуре  $T$  график функции распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей. Какие из следующих утверждений являются правильными? А) если повысить  $T$ , то максимум кривой сместится влево, а высота его увеличится; Б) если повысить  $T$ , то максимум кривой сместится вправо, а высота его уменьшится; В) с изменением  $T$  положение максимума и его высота не изменятся; Г) площадь под кривой графика уменьшается с ростом  $T$ ; Д) площадь под кривой графика увеличивается с ростом  $T$ ; Е) площадь под кривой графика не зависит от  $T$ ;



Ответы: а) А, Г; б) А, Е; в) А, Д; г) Б, Д; д) Б, Е; е) В, Е;

**17.3.** На рисунке представлен график распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей. Заштрихованная на графике площадь равна (укажите правильный ответ):

- а) концентрации молекул газа, имеющих скорость  $v_0$ ;  
б) числу молекул газа в единице объема со скоростями  $v \geq v_0$ ;  
в) функции распределения Максвелла молекул со скоростями  $v \geq v_0$ ;  
г) вероятности того, что молекулы имеют скорость  $v_0$ ;  
д) вероятности того, что молекулы имеют скорости  $v \geq v_0$ ;



**17.4.**  $f_M(v)$  – функция распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей.  $N$  – число молекул газа. Вероятность того, что величина скорости молекулы газа находится в интервале  $v_1 \leq v \leq v_2$ , равна:

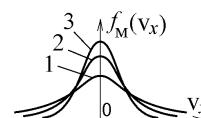
- а)  $f_M(v_2) - f_M(v_1)$ ; б)  $\int_{v_1}^{v_2} f_M(v) dv$ ; в)  $\frac{1}{N} \int_{v_1}^{v_2} f_M(v) dv$ ; г)  $\frac{1}{v_2 - v_1} \int_{v_1}^{v_2} f_M(v) dv$ ; д)  $\frac{1}{N} (f_M(v_2) - f_M(v_1))$ ;

**17.5.** Известно, что  $dN$  – число молекул идеального газа со скоростями от  $v$  до  $v + dv$ .  $m$  – масса молекулы;  $T$  – температура газа,  $k$  – постоянная Больцмана. Что должно происходить с величиной  $dN$  при уменьшении величины скорости  $v$  при неизменном малом интервале  $dv$  (укажите верный ответ):

- а) увеличивается при  $v < \sqrt{2kT/m}$ ; б) уменьшается при  $v > \sqrt{2kT/m}$ ; в) уменьшается при  $v < \sqrt{2kT/m}$ ;  
г) не изменяется; д)  $dN$  может как увеличиваться, так и уменьшаться;

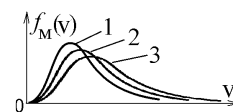
**17.6.** На рисунке представлены графики функции распределения молекул по проекции скоростей на ось  $x$  для трёх различных идеальных газов (водорода, водяного пара и кислорода) при одинаковой температуре. Какой из графиков соответствует распределению Максвелла для кислорода:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) при одинаковой температуре графики должны совпадать;



**17.7.** На рисунке представлены графики функции распределения молекул по величинам скоростей для трёх различных идеальных газов (водорода, кислорода и азота) при одинаковой температуре. Укажите график, соответствующий распределению Максвелла для водорода:

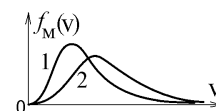
- а) 1; б) 2; в) 3; г) при одинаковой температуре графики должны совпадать;



**17.8.** На рисунке приведены два графика функции распределения Максвелла по величинам скоростей молекул для одного и того же идеального газа при разных температурах.  $T$  – температура газа,  $v_{KB}$  – средняя квадратичная скорость молекул газа. Приведены следующие соотношения:

- А)  $T_2 < T_1$ ; Б)  $T_2 = T_1$ ; В)  $T_2 > T_1$ ; Г)  $v_{KB2} < v_{KB1}$ ; Д)  $v_{KB2} = v_{KB1}$ ; Е)  $v_{KB2} > v_{KB1}$ . Какие из них верны?

Ответы: а) А, Г; б) В, Е; в) В, Д; г) А, Е; д) Б, Е; е) А, Г;



**17.9.** Величина функции распределения Максвелла  $f_M(v)$  молекул идеального газа по величинам скоростей равна  $4 \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \cdot \exp(-1)$ , если значение скорости  $v$  совпадает с:

- а) наиболее вероятной скоростью молекул газа; б) средней скоростью молекул газа; в) средней квадратичной скоростью молекул газа; г) такое значение функции распределения Максвелла невозможно;

**17.10.** Величину (модуль) среднего импульса  $\langle p \rangle$  молекулы идеального газа надо вычислять по формуле ( $m$  – масса молекулы;  $T$  – температура газа,  $k$  – постоянная Больцмана,  $v$  – скорости молекул):

- а)  $4\pi m \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) \cdot v^3 dv$ ; б)  $4\pi \sqrt{\frac{m^3}{2\pi kT}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) \cdot v dv$ ;  
 в)  $4\pi m \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$ ; г)  $4\pi m \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) \cdot v dv$ ; д) другая формула;

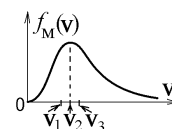
**17.11.** Приходящуюся на одну степень свободы величину средней кинетической энергии  $\langle mv_x^2/2 \rangle$  молекулы идеального газа, имеющей массу  $m$ , надо вычислять по формуле ( $T$  – температура газа,  $k$  – постоянная Больцмана,  $v_x$  – проекции скоростей молекул): а)  $\sqrt{\frac{m^3}{8\pi kT}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) v_x^2 dv_x$ ; б)  $2\pi m \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_{-\infty}^\infty \exp(v_x^2) \cdot v_x^2 dv_x$ ;

- в)  $\sqrt{\frac{m^3}{8\pi kT}} \int_{-\infty}^\infty \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) \cdot v_x^4 dv_x$ ; г)  $\sqrt{\frac{m^3}{8\pi kT}} \int_{-\infty}^\infty \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) \cdot v_x^2 dv_x$ ; д) другая формула;

## 18. Средние скорости и энергии молекул газа

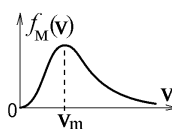
**18.1.** На рисунке представлен график функции распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей ( $\mu$  – молярная масса газа;  $T$  – температура,  $R$  – универсальная газовая постоянная). При этом величина скорости  $v_1$  может быть равна:

- а)  $\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{4RT}{\pi\mu}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ ; д)  $\sqrt{\frac{\pi RT}{\mu}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{9RT}{\pi\mu}}$ ;



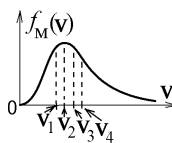
**18.2.** На рисунке представлен график функции распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей. При уменьшении температуры этого газа в четыре раза величина скорости  $v_m$ , соответствующая максимуму этого графика:

- а) не изменится; б) увеличится в 4 раза; в) увеличится в 2 раза; г) уменьшится в 1,41 раз; д) уменьшится в 2 раза; е) другой ответ;



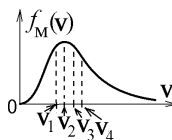
**18.3.** На рисунке представлен график функции распределения Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей. Среди отмеченных на нем скоростей  $v_i$  имеются величины средней, средней квадратичной и наиболее вероятной скорости молекул газа. Безразмерное отношение  $v_3 \cdot v_4 / (v_2)^2$

- равно: а)  $\sqrt{\frac{8\pi}{3}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{8}{\pi}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{8}{9\pi}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{16}{9\pi}}$ ; д)  $\sqrt{\frac{3\pi}{16}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{6}{\pi}}$ ;



**18.4.** Среди отмеченных на графике функции распределения Максвелла молекул газа по величинам скоростей значений  $v_i$  имеются величины средней, средней квадратичной и наиболее вероятной скорости молекул газа. Отношение скоростей  $v_3/v_4$  равно:

- а)  $\sqrt{\frac{\pi}{3}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{3}{2\pi}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{\pi}{4}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{3}{4}}$ ; д)  $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ; е)  $\sqrt{\frac{2}{\pi}}$ ; ж)  $\sqrt{\frac{8}{3\pi}}$ ;



**18.5.** Средняя квадратичная скорость молекул идеального газа равна  $v_0$ . Как надо изменить термодинамическую температуру  $T$  газа, чтобы величина средней скорости его молекул стала равной  $v_0$ ?

- а) увеличить в 2 раза; б) увеличить в  $6/\pi$  раз; в) увеличить в  $3\pi/8$  раз; г) увеличить в  $4/\pi$  раз; д) уменьшить в  $6/\pi$  раз; е) уменьшить в  $3\pi/8$  раз; и) уменьшить в  $4/\pi$  раз; к) уменьшить в 2 раза;

**18.6.** С некоторым идеальным газом происходит процесс адиабатического сжатия. При этом величина наиболее вероятной скорости его молекул...

- а) увеличивается; б) не изменяется; в) уменьшается; г) данных в условии недостаточно для ответа;

**18.7.** Давление идеального газа уменьшилось в 2 раза, а наиболее вероятная скорость его молекул увеличилась в 4 раза. Как изменилась величина концентрации молекул этого газа?

- а) увеличилась в 4 раза; б) увеличилась в 2 раза; в) не изменилась; г) уменьшилась в 2 раза; д) уменьшилась в 4 раза; е) другой ответ;

**18.8.** Концентрация молекул идеального газа уменьшилась в 2 раза, а его давление увеличилось в 2 раза. Как изменится величина средней скорости молекул этого газа?

- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз; в) не изменится; г) увеличится в 2 раза; д) уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз; е) уменьшится в 2 раза; ж) уменьшится в 4 раза; з) другой ответ;

**18.9.** Каким выражением определяется средняя кинетическая энергия вращательного движения одной молекулы водорода, являющегося идеальным двухатомным газом ( $m$  – масса молекулы,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $\langle v \rangle$  – средняя скорость молекул газа)?

- а)  $m\langle v \rangle^2$ ; б)  $\frac{kT}{2}$ ; в)  $\frac{3kT}{2}$ ; г)  $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$ ; д)  $3kT$ ; е)  $\frac{5kT}{2}$ ; ж)  $kT$ ;

**18.10.** Какую долю средней кинетической энергии молекулы водорода  $H_2$  составляет средняя энергия ее поступательного движения? а) 100%; б) 20%; в) 40%; г) 50%; д) 60%; е) другой ответ;

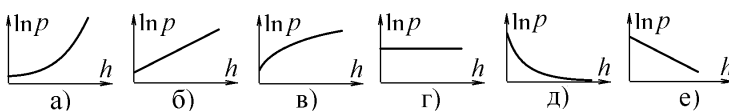
**18.11.** Чему равна сумма модулей (величин) скоростей всех молекул 1 моля одноатомного идеального газа ( $m$  – масса молекулы,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $N_{\text{Ав}}$  – число Авогадро,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\mu$  – молярная масса газа)? а)  $N_{\text{Ав}}\sqrt{\frac{8RT}{\pi m}}$ ; б)  $N_{\text{Ав}}\sqrt{\frac{8kT}{\pi \mu}}$ ; в)  $N_{\text{Ав}}\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ ; г)  $N_{\text{Ав}}\sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$ ;

## 19. Распределение Больцмана

**19.1.** Равновесная атмосфера с температурой  $T$  состоит из газа, молекула которого имеет массу  $m$ . Давление такого газа уменьшится в 2 раза, если подняться на высоту ( $k$  – постоянная Больцмана,  $g$  – ускорение свободного падения):

- а)  $h = \frac{mg}{kT \ln 2}$ ; б)  $h = \frac{kT}{mg} \exp(2)$ ; в)  $h = \frac{2kT}{mg}$ ; г)  $h = \frac{kT}{mg} \ln 2$ ; д)  $h = \frac{kT}{mg}$ ;

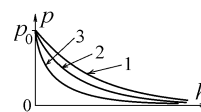
**19.2.** Логарифм  $\ln p$  давления газа, образующего атмосферу с одинаковой во всех точках температурой, зависит от высоты  $h$  над поверхностью планеты следующим образом (укажите правильный график):



**19.3.** Высота  $h$  над поверхностью моря, на которой давление воздуха в 2 раза меньше, чем на уровне моря, будет меняться с увеличением температуры  $T$  атмосферы по закону:

- а)  $h = \text{const}/T$ ; б)  $h = \text{const} \cdot T$ ; в)  $h = \text{const}/\sqrt{T}$ ; г)  $h = \text{const} \cdot \sqrt{T}$ ; д) эта высота не меняется с ростом  $T$ ;

**19.4.** На поверхности планеты со статической равновесной атмосферой, в которой отсутствует перемешивание газов за счёт конвекции, и которая подчиняется распределению Больцмана, одинаковы парциальные давления  $p_0$  следующих газов: А – азота  $N_2$ , Б – водорода  $H_2$ , В – аммиака  $NH_3$ . На рисунке представлены графики зависимости их давления  $p$  от высоты  $h$  над поверхностью планеты. Укажите соответствие этих графиков и газов.



- а) 1А 2Б 3В; б) 1А 3Б 2В; в) 2А 1Б 3В; г) 2А 3Б 1В; д) 3А 1Б 2В;

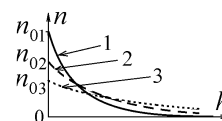
**19.5.** Какое утверждение, касающееся равновесного состояния атмосферы, *не согласуется* с распределением Больцмана?

- а) на малых высотах относительная вероятность встретить лёгкую частицу меньше, чем тяжёлую;...б) с ростом температуры вероятность встретить частицу на большой высоте увеличивается;...в) при температуре  $T = 0$  К все молекулы расположились бы плотным слоем на поверхности Земли; г) при исчезновении поля гравитации Земля потеряла бы свою атмосферу; д) на больших высотах вероятность встретить лёгкую частицу меньше, чем тяжёлую;

**19.6.** На некоторой высоте над поверхностью планеты со статической равновесной атмосферой, в которой отсутствует перемешивание газов за счёт конвекции, и которая подчиняется распределению Больцмана, одинаковы парциальные давления следующих газов: водорода  $H_2$ , кислорода  $O_2$ , водяного пара  $H_2O$  и углекислого газа  $CO_2$ . Укажите правильное соотношение между парциальными давлениями этих газов вблизи поверхности планеты:

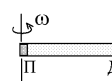
- а)  $p_{CO_2} > p_{H_2O} > p_{O_2} > p_{H_2}$ ; б)  $p_{H_2} > p_{O_2} > p_{CO_2} > p_{H_2O}$ ; в)  $p_{H_2} > p_{O_2} > p_{H_2O} > p_{CO_2}$ ; г)  $p_{CO_2} > p_{O_2} > p_{H_2O} > p_{H_2}$ ; д)  $p_{CO_2} = p_{O_2} = p_{H_2O} = p_{H_2}$ ;

**19.7.** На рисунке представлены графики зависимости концентрации молекул одного и того же идеального газа от высоты  $h$  над поверхностью некоторой планеты при разных температурах. Укажите график, соответствующий наименьшей температуре. Считать, что ускорение свободного падения и температура атмосферы с высотой не меняются:



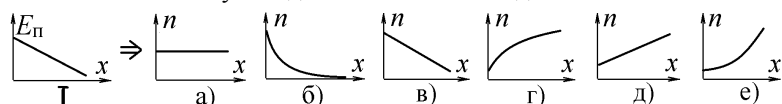
Ответы: а) 1; б) 2; в) 3; г) недостаточно данных;

**19.8.** Закрытую пробирку, в которой находится водород, вращают с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси, проходящей через пробку П. Концентрация молекул газа в пробирке зависит от расстояния  $r$  до оси вращения по закону ( $m$  – масса молекулы водорода,  $k$  – постоянная Больцмана):



- а)  $n = \text{const}$ ; б)  $n = n_0 \frac{m \omega^2 r^2}{2kT}$ ; в)  $n = n_0 \exp\left(\frac{m \omega^2 r^2}{2kT}\right)$ ; г)  $n = n_0 \exp\left(-\frac{m \omega^2 r^2}{2kT}\right)$ ;

**19.9.** Молекулы идеального газа находятся в поле внешних сил. График зависимости потенциальной энергии



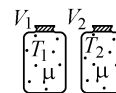
$E_{\text{п}}$  молекулы от координаты  $x$  представлен на левом рисунке I. Укажите правильный график зависимости концентрации  $n$  молекул газа от координаты  $x$  (температура газа всюду одинакова).

## 20. Частота столкновения молекул со стенкой. Средняя длина свободного пробега

**20.1.** Газ находится в закрытом сосуде. Как надо изменить температуру  $T$ , чтобы число соударений молекул с одним и тем же участком стенки за один и тот же интервал времени уменьшилось в 2 раза?

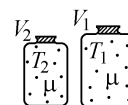
- а) уменьшить в 16 раз; б) уменьшить в 4 раза; в) уменьшить в 2 раза; г) уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз;  
д) увеличить в 2 раза; е) увеличить в 4 раза;

**20.2.** В двух закрытых сосудах с одинаковым объемом  $V_1 = V_2$  при разных температурах  $T_1 = 4T_2$  находится разное количество водорода с молярной массой  $\mu = 2$  г/моль. В левом сосуде – 8 молей, в правом сосуде – 1 моль. Определить отношение  $\Delta N_1 / \Delta N_2$  числа соударений молекул с участком стенки сосудов площадью  $\Delta S$  за одинаковое время  $\Delta t$  в этих сосудах:



- а) 256; б) 16; в) 4; г) 2; д) 1; е) 1/2; ж) 1/4; з) 1/16; и) 1/256;

**20.3.** В двух закрытых сосудах с разным объемом  $V_1 = 4V_2$  при одинаковых температурах  $T_1 = T_2$  находится по 1 моль водорода с молярной массой  $\mu = 2$  г/моль. Чему равно отношение  $\Delta N_1 / \Delta N_2$  числа соударений молекул с одинаковым участком стенки сосудов площадью  $\Delta S$  за одинаковое время  $\Delta t$  в этих сосудах?



- а) 16; б) 4; в) 2; г) 1; д) 1/2; е) 1/4; ж) 1/16; з) другой ответ;

**20.4.** Идеальный газ совершает процесс, при котором величина частоты соударений его молекул со стенкой сосуда не изменяется. Уравнение такого процесса имеет вид:

- а)  $V\sqrt{T} = \text{const}$ ; б)  $V/\sqrt{T} = \text{const}$ ; в)  $VT = \text{const}$ ; г)  $V/T = \text{const}$ ;

**20.5.** После изотермического сжатия идеального газа в 4 раза число соударений его молекул о единицу поверхности стенки сосуда за единицу времени:

- а) уменьшилось в 2 раза; б) увеличилось в 2 раза;  
в) уменьшилось в 4 раза; г) увеличилось в 4 раза; д) не изменилось;

**20.6.** Газ находится в сосуде, объём которого может изменяться. При температуре 400 К число соударений молекул газа с участком стенки сосуда с площадью  $\Delta S$  за время  $\Delta t$  было равно  $4 \cdot 10^{23}$ . Какой должна стать температура газа при изобарическом процессе, чтобы число соударений молекул с этим же участком  $\Delta S$  за то же самое время  $\Delta t$  стало равным  $8 \cdot 10^{23}$ ?

- а) 100 К; б) 200 К; в) 800 К; г) 1600 К; д) другой ответ;

**20.7.** Укажите правильное утверждение, относящееся к средней длине свободного пробега молекул газа. Она:

- а) уменьшается при расширении газа; б) прямо пропорциональна давлению газа при постоянной температуре; в) обратно пропорциональна плотности газа; г) обратно пропорциональна температуре при постоянном давлении; г) возрастает с увеличением эффективного диаметра молекул;

**20.8.** Как изменится длина свободного пробега молекул газа, если его объём адиабатически увеличить в 2 раза

( $\gamma$  – показатель адиабаты)?

- а) увеличится в  $2^\gamma$  раз; б) уменьшится в  $2^\gamma$  раз; в) уменьшится в 2 раза; г) увеличится в 2 раза;

**20.9.** Газ совершает изотермический процесс, при котором средняя длина свободного пробега молекул газа уменьшается в 2 раза. При этом давление газа:

- а) уменьшается в 4 раза; б) уменьшается в 2 раза;

- в) увеличивается в 2 раза; г) увеличивается в 4 раза; д) практически не изменяется;

**20.10.** В результате некоторого процесса давление  $p$  газа уменьшилось в 4 раза, а температура  $T$  увеличилась в 2 раза. При этом средняя длина свободного пробега молекулы газа:

- а) увеличилась в 8 раз; б) увеличилась в 4 раза; в) увеличилась в 2 раза; г) почти не изменилась;  
д) уменьшилась в 2 раза; е) уменьшилась в 4 раза; ж) уменьшилась в 8 раз; з) уменьшилась в 16 раз;

**20.11.** Газ совершает процесс, при котором величина средней длины свободного пробега его молекул практически не изменяется. Уравнение такого процесса имеет вид:

- а)  $p = \text{const}/V$ ; б)  $p = \text{const}/T$ ; в)  $p = \text{const} \cdot T$ ; г)  $T = \text{const}/V$ ;

## 21. Явления переноса

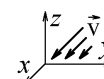
**21.1.** Перенос импульса направленного движения газа происходит в направлении вектора  $\vec{n} = \vec{i} + \vec{j}$ . Скорость потока газа направлена вдоль вектора  $\vec{n}' = \vec{j} - \vec{i}$  (где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы (орты) декартовой системы координат). Градиент величины этой скорости направлен вдоль вектора:

- а)  $\vec{i} + \vec{j}$ ; б)  $\vec{i} - \vec{j}$ ; в)  $\vec{j} - \vec{i}$ ; г)  $-\vec{i} - \vec{j}$ ;

**21.2.** В потоке газа, направленном вдоль оси  $x$ , величина скорости газа растет в отрицательном направлении оси  $y$ . Перенос импульса направленного движения газа происходит:

- а) вдоль оси  $x$ ;

- б) против оси  $x$ ; в) вдоль оси  $y$ ; г) против оси  $y$ ; д) вдоль оси  $z$ ; е) против оси  $z$ ;



**21.3.** Наибольшее возрастание концентрации молекул газа происходит в направлении вектора  $\vec{n} = \vec{j} - \vec{i}$ , где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы (орты) декартовой системы координат. Это приводит к переносу массы газа в направлении вектора: а)  $\vec{i} + \vec{j}$ ; б)  $\vec{i} - \vec{j}$ ; в)  $\vec{j} - \vec{i}$ ; г)  $-\vec{i} - \vec{j}$ ; д)  $\vec{k}$ ; е)  $-\vec{k}$ ;

**21.4.** Коэффициент динамической вязкости газов  $\eta$  зависит от давления газа  $p$  как: а)  $\eta \sim p$ ; б)  $\eta \sim \sqrt{p}$ ; в)  $\eta \sim 1/p$ ; г)  $\eta \sim 1/\sqrt{p}$ ; д)  $\eta$  практически не зависит от  $p$ ;

**21.5.** Газ совершает процесс изохорического охлаждения, при котором его температура  $T$  уменьшается в 4 раза. После этого коэффициент динамической вязкости  $\eta$  газа: а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза; ж) практически не изменится;

**21.6.** Для какого из приведенных газов с одинаковой температурой коэффициент динамической вязкости имеет **наименьшую** величину (учесть, что эффективные диаметры молекул газов имеют приблизительно одну величину)? а) гелия He; б) водорода  $H_2$ ; в) кислорода  $O_2$ ; г) водяного пара  $H_2O$ ; д) углекислого газа  $CO_2$ ;

**21.7.** Некоторый газ совершает процесс, при котором его коэффициент диффузии в атмосфере не меняется. Уравнением такого процесса будет ( $T$  – температура,  $p$  – давление атмосферы):

а)  $T = \text{const}$ ; б)  $T^{3/2} = \text{const} \cdot p$ ; в)  $T = \text{const} \cdot p^2$ ; г)  $p = \text{const} \cdot T^2$ ; д)  $p = \text{const} \cdot T$ ; е)  $T = \text{const} \cdot p^{3/2}$ ; ж) нет правильной зависимости;

**21.8.** Смесь газов совершает процесс изотермического сжатия, при котором давление  $p$  увеличивается в 4 раза. После этого коэффициенты диффузии газов  $D$  газов: а) не изменятся; б) увеличатся в 16 раз; в) увеличатся в 4 раза; г) увеличатся в 2 раза; д) уменьшатся в 2 раза; е) уменьшатся в 4 раза; ж) уменьшатся в 8 раз;

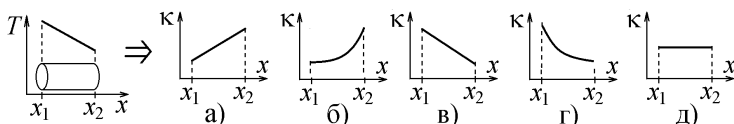
**21.9.** Газ совершает процесс изотермического сжатия, при котором его давление  $p$  уменьшается в 4 раза. После этого коэффициент теплопроводности  $\kappa$  газа: а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза; ж) практически не изменится;

**21.10.** Для какого из приведенных газов коэффициент теплопроводности имеет при одинаковой температуре **наименьшую** величину? а) гелия He; б) углекислого газа  $CO_2$ ; в) водорода  $H_2$ ; г) метана  $CH_4$ ; д) водяного пара  $H_2O$ ;

**21.11.** Концы цилиндрического стержня, материал которого имеет постоянный, не зависящий от температуры коэффициент теплопроводности  $\kappa$ , поддерживают при разности температур  $\Delta T = T_1 - T_2 > 0$ . Площадь поперечного сечения стержня равна  $S$ , а его длина равна  $l$ . Как изменится величина потока тепла  $J_Q$ , переносимого по стержню, если одновременно увеличить разность температур  $\Delta T$  в 2 раза и уменьшить длину стержня  $l$  в 2 раза?

а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза; е) другой ответ;

**21.12.** Как показано на левом рисунке, температура цилиндрического стержня линейно убывает с расстоянием  $x$  вдоль его оси. Укажите правильный график зависимости величины коэффициента теплопроводности  $\kappa$  материала стержня от расстояния  $x$ :



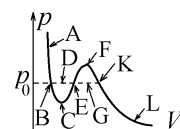
## 22. Реальный газ. Фазовые превращения

**22.1.** Укажите **правильное** утверждение:

а) уравнение Ван-дер-Ваальса при любой температуре  $T$  соответствует только газообразному состоянию реальной среды; б) уравнение Ван-дер-Ваальса описывает все три агрегатные состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное; в) согласно уравнению Ван-дер-Ваальса реальная среда будет находиться только в газообразном состоянии при температуре  $T$ , большей критической; г) с уменьшением температуры  $T$  изотерма Ван-дер-Ваальса приближается к изотерме идеального газа; д) при очень низких температурах  $T$ , близких к 0 К, уравнение Ван-дер-Ваальса описывает идеальный газ;

**22.2.** На диаграмме  $p$ - $V$  изображена зависимость давления среды от объема, соответствующая уравнению Ван-дер-Ваальса при постоянной температуре ( $p_0 = 1$  атм). Укажите участок, соответствующий состоянию переохлажденного газа:

а) AB; б) BC; в) BDE; г) FK; д) EGK; е) KL;



**22.3.** Может ли химически чистое вещество (например,  $H_2O$ ), находящееся в закрытом сосуде в условиях термодинамического равновесия при одной температуре находиться сразу в трех агрегатных состояниях (твердом, жидком и газообразном)?

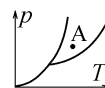
а) не может ни при каких условиях; б) может при любых значениях температуры и давления;



в) может при определенной температуре и любой величине давления; г) может при определенном давлении и любой величине температуры; д) может только при единственных значениях как давления, так и температуры;

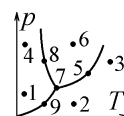
**22.4.** На рисунке приведена  $p$ - $T$  диаграмма состояний химически чистого вещества с кривыми раздела твердой, жидкой и газообразной фаз. Какому состоянию соответствует точка А на этой диаграмме?

а) твердая фаза; б) жидкая фаза; в) газообразная фаза; г) точка кипения; д) точка плавления; е) точка сублимации (превращения твердого состояния в газообразное); ж) нет правильного ответа;



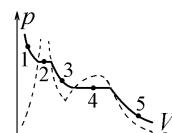
**22.5.** На рисунке приведена диаграмма состояний вещества  $H_2O$  с кривыми раздела твердой, жидкой и газообразной фаз. Какая точка (или точки) на диаграмме соответствует конденсации водяного пара при температуре кипения?

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8; и) 9; к) 2 и 3; л) 1 и 4;



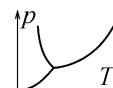
**22.6.** На фазовой диаграмме  $p$ - $V$  изображена изотерма для чистого вещества  $H_2O$  в состоянии термодинамического равновесия (пунктирными линиями указаны границы раздела газообразной, жидкой и твердой фаз). Укажите точку, соответствующую состоянию, при котором лёд плавает в воде:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) такая точка на изотерме не отмечена;

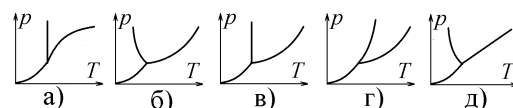


**22.7.** На рисунке приведена  $p$ - $T$  диаграмма состояний аномального вещества (оксида водорода) с кривыми раздела твердой, жидкой и газообразной фаз. Что происходит с температурой плавления этого вещества при повышении давления? Она:

а) уменьшается; б) не изменяется; в) увеличивается; г) для ответа недостаточно данных;

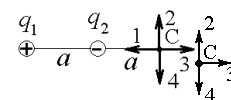


**22.8.** Температура плавления нормального вещества (двуокиси углерода) увеличивается с ростом давления  $p$ . Укажите правильную диаграмму состояний с кривыми раздела твердой, жидкой и газообразной фаз для этого вещества.

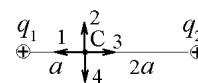


### 23. Напряженность электростатического поля

**23.1.** Электрическое поле создано точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ . Если  $q_1 = +9q$ ,  $q_2 = -2q$ , а расстояния от заряда  $q_1$  до заряда  $q_2$  и от заряда  $q_2$  до точки С равны  $a$ , то вектор напряженности поля в точке С ориентирован в направлении:

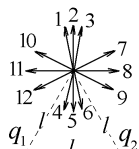


**23.2.** Электрическое поле создано точечными зарядами  $q_1 = +q$  и  $q_2 = +4q$ . Вектор напряженности поля в точке С, находящейся на расстоянии  $a$  от заряда  $q_1$  и на расстоянии  $2a$  от заряда  $q_2$ , ориентирован в направлении:



**23.3.** Положительный точечный заряд  $q_1 = +q$  и отрицательный точечный заряд  $q_2 = -2q$  находятся в двух вершинах равностороннего треугольника с длиной стороны  $l$ . Указать направление вектора напряженности  $\vec{E}$  созданного ими электрического поля в третьей вершине этого треугольника:

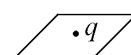
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8; и) 9; к) 10; л) 11; м) 12;



### 24. Теорема Гаусса для электростатического поля

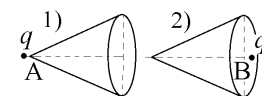
**24.1.** Точечный заряд  $q$  находится на бесконечной плоскости. Чему равен поток вектора напряженности электростатического поля, созданного этим зарядом, через данную плоскость:

а) 0; б)  $q/\epsilon_0$ ; в)  $q/2\epsilon_0$ ; г)  $\infty$ ;



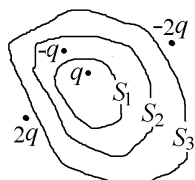
**24.2.** Частица с зарядом  $q$  находится вне конуса: в случае “1” – вблизи вершины конуса А; в случае “2” – вблизи центра его основания В (см. рисунок). Что можно сказать о величине потока вектора электрической индукции  $\vec{D}$  через боковую поверхность?

а) она больше в первом случае; б) она больше во втором случае; в) в обоих случаях потоки одинаковы; г) для ответа не хватает данных;



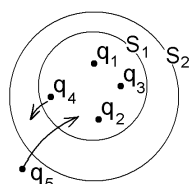
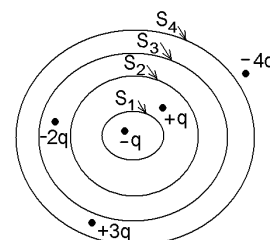
**24.3.** Дана система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности  $S_1, S_2, S_3$ . Поток вектора напряженности электрического поля равен нулю сквозь...

а) поверхности  $S_2$  и  $S_3$ ; б) поверхность  $S_3$ ; в) поверхность  $S_2$ ; г) поверхность  $S_1$ ;



**24.4.** Дана система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности  $S_1, S_2, S_3$  и  $S_4$ . Через какую поверхность поток вектора напряженности электростатического поля, созданного этими зарядами, равен  $-2q/\epsilon_0$ ?

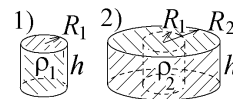
а)  $S_1$ ; б)  $S_2$ ; в)  $S_3$ ; г)  $S_4$ ;



**24.5.** На рисунке слева показаны две замкнутые поверхности  $S_1$  и  $S_2$  и положение точечных зарядов  $q_1 = +1$  мкКл,  $q_2 = -2$  мкКл,  $q_3 = +3$  мкКл,  $q_4 = -4$  мкКл и  $q_5 = +4$  мкКл, которые создают электростатическое поле с индукцией  $\vec{D}$ . Потоки вектора  $\vec{D}$  через замкнутые поверхности  $S_1$  и  $S_2$  равны, соответственно,  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Заряды  $q_4$  и  $q_5$  переместили в новые положения, указанные стрелками. При этом отношение  $\Phi_1/\Phi_2$ :

- а) увеличилось в 2 раза; б) увеличилось в 3 раза; в) поменяло знак;  
г) уменьшилось в 3 раза и поменяло знак; д) не изменилось;

**24.6.** Внутри цилиндрической поверхности с радиусом  $R_1 = R$  находится равномерно распределенный с плотностью  $\rho_1$  электрический заряд  $q$ . Такой же заряд  $q$  с плотностью  $\rho_2$  распределен внутри второй цилиндрической поверхности с радиусом  $R_2 = 3R$ .  $\Phi_1$  – поток вектора напряженности электрического поля через поверхность радиуса  $R_1$  на рис.1, а  $\Phi_2$  – такой же поток через поверхность того же радиуса  $R_1$ , на рис.2. Высота  $h$  цилиндров одинакова. Чему равно отношение  $\Phi_1/\Phi_2$ ?



- а) 81; б) 27; в) 9; г) 3; д) 1;

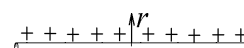
**24.7.** Даны формулы для вычисления напряженности электростатического поля:

А)  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$ ; Б)  $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$ ; В)  $E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}$ ; Г)  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$ . Укажите их соответствие с источником поля:

- 1) равномерно заряженная длинная нить; 2) равномерно заряженная бесконечная плоскость;  
3) область внутри равномерно заряженного шара; 4) область вне равномерно заряженного шара:

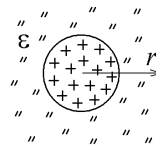
Ответы: а) 1А, 2Б, 3В, 4Г; б) 1Б, 2А, 3Г, 4В; в) 1Б, 2А, 3В, 4Г; г) 1Б, 2А, 3Г, 4В;

**24.8.** По бесконечно длинному и очень тонкому цилиндрическому прямому проводу с одинаковой во всех точках плотностью  $\rho = \text{const}$  распределен электрический заряд. На расстоянии  $r$  от оси провода величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E$ . Если измерить величину напряженности поля на расстоянии  $2r$  от оси провода, то она окажется равной:



- а)  $E/4$ ; б)  $E/2$ ; в)  $E$ ; г)  $2E$ ; д)  $4E$ ;

**24.9.** По объему шара с равномерной плотностью  $\rho = \text{const}$  распределен электрический заряд. Шар окружен бесконечной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ . На расстоянии  $r$  от центра шара (за его пределами) величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E$ . Если убрать диэлектрик, то поле с вдвое меньшей величиной напряженности  $E/2$  будет наблюдаться в вакууме за пределами шара на следующем расстоянии от его центра:



- а)  $r/8$ ; б)  $r/4$ ; в)  $r/2$ ; г)  $r$ ; д)  $2r$ ; е)  $4r$ ; ж)  $8r$ ; з) другой ответ;

**24.10.** По практически бесконечной плоской поверхности очень толстой металлической пластины, фрагмент которой показан на рисунке, равномерно с поверхностной плотностью  $\sigma$  распределен положительный электрический заряд. На расстоянии  $r_1$  с одной стороны поверхности величина напряженности электрического поля, созданного этим зарядом, равна  $E_1$ . На расстоянии  $r_2 = 2r_1$  с другой стороны поверхности величина напряженности равна  $E_2$ .  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная. Разность величин (модулей) напряженностей  $E_2 - E_1$  равна:

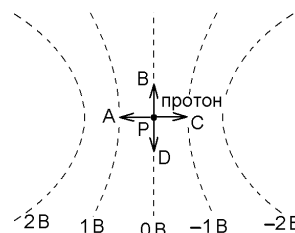


- а)  $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ; б)  $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ; в)  $\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ ; г)  $-\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ; д)  $-\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ; е)  $-\frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ ; ж) 0;

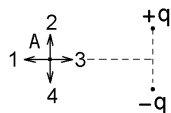
## 25. Потенциал электростатического поля. Работа по перемещению заряда

**25.1.** На рисунке справа показаны эквипотенциальные линии электростатического поля и значения потенциала на них. Свободный протон, покоившийся первоначально в точке  $P$ :

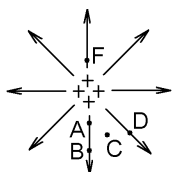
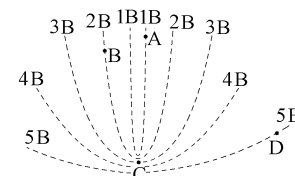
- а) начнет двигаться в направлении  $A$ ; б) начнет двигаться в направлении  $C$ ;  
в) начнет двигаться в направлении  $B$  или  $D$ ;  
г) останется неподвижным в точке  $P$  с потенциалом  $0$  В;



**25.2.** Система из двух точечных зарядов, создает электрическое поле. Укажите направление вектора градиента потенциала этого поля в точке  $A$ : а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



**25.3.** На рисунке справа показана картина эквипотенциальных линий электростатического поля и значения потенциала на них. Отмечены точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Укажите точку, в которой величина напряженности поля будет наименьшей: а)  $A$ ; б)  $B$ ; в)  $C$ ; г)  $D$ ;

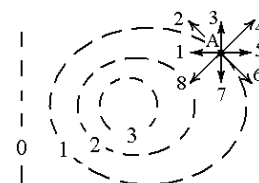


**25.4.** Силовые линии электростатического поля расходятся в радиальных направлениях. Величина разности потенциалов в этом поле имеет наименьшее значение между следующими точками:

- а)  $A$  и  $B$ ; б)  $A$  и  $C$ ; в)  $A$  и  $D$ ; г)  $A$  и  $F$ ;

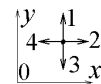
**25.5.** На рисунке штриховыми линиями показаны эквипотенциальные линии системы зарядов и значения потенциала на них (в вольтах). Вектор напряженности электрического поля в точке  $A$  ориентирован в направлении:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8;

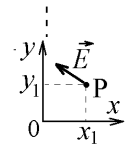


**25.6.** Создано электростатическое поле, потенциал которого описывается функцией  $\varphi = -4y^2$ . Куда направлен вектор напряженности электрического поля в точке, показанной на рисунке?

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

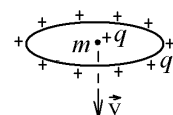


**25.7.** Вектор напряженности  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $P(x_1, y_1)$  направлен под некоторым углом к оси  $y$  (см. рисунок). Какая зависимость потенциала электрического поля от координат может соответствовать такому направлению  $\vec{E}$ ?



- а)  $\varphi = 3x^2 - 2y^2$ ; б)  $\varphi = 3x^2 + 2y^2$ ; в)  $\varphi = 3x^2$ ; г)  $\varphi = 2y^2 - 3x^2$ ;

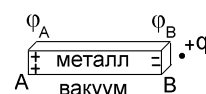
**25.8.** По закрепленному кольцу распределен электрический заряд  $+q$ . В его центре первоначально покоилась свободная частица с массой  $m$  и таким же по величине и знаку зарядом  $+q$ . Удалившись под действием электрических сил на бесконечное расстояние, частица приобретает скорость, равную  $v$ . Каким будет выражение для расчета радиуса  $R$  кольца?



- а)  $\frac{4\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ; б)  $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0mv^2}$ ; в)  $\frac{2\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ; г)  $\frac{q^2}{2\pi\epsilon_0mv^2}$ ; д)  $\frac{\pi\epsilon_0}{mq^2v^2}$ ;

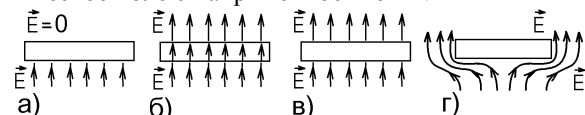
## 26. Проводники в электростатическом поле

**26.1.** К концу "В" первоначально незаряженного металлического стержня поднесли положительный точечный заряд  $+q$ , после чего на стержне появился индуцированный заряд (см. рисунок). Каким станет соотношение между потенциалами противоположных концов стержня:

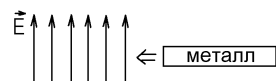


- а)  $\varphi_A < \varphi_B$ ; б)  $\varphi_A > \varphi_B$ ; в)  $\varphi_A = \varphi_B$ ; г) все индуцированные заряды должны иметь один знак;

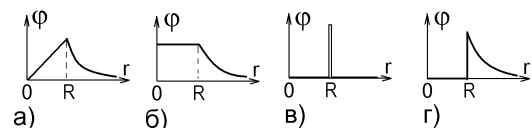
**26.2.** Небольшую плоскую металлическую пластинку внесли в однородное электростатическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$ .



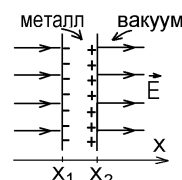
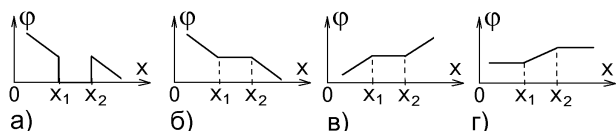
Укажите, какой станет после этого картина силовых линий электрического поля?



**26.3.** Заряд  $q$  поместили на уединённый металлический шар радиуса  $R$ . Укажите правильный график зависимости величины потенциала электрического поля от расстояния  $r$  до центра шара:



**26.4.** Металлическая пластинка внесена в однородное электрическое поле с напряжённостью  $\vec{E}$ , и на ней появляется индуцированный электрический заряд, показанный на рисунке. Каким будет график зависимости величины потенциала в зависимости от координаты  $x$ ?

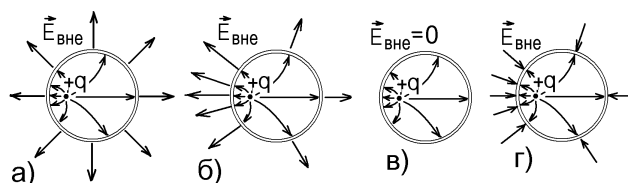


**26.5.** Положительный заряд  $+q$  поместили на уединённый металлический шар радиуса  $R$ , окруженный бесконечной однородной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_O$  в точке  $A$  на поверхности шара (на шаре) и в точке  $O$  его центра

- будет равна: а)  $+\frac{q}{4\pi\epsilon_0R}$ ; б)  $+\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0R}$ ; в) 0; г)  $-\frac{q}{4\pi\epsilon_0R^2}$ ; д)  $-\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0R^2}$ ;



**26.6.** Внутри первоначально незаряженной полой металлической сферы поместили точечный положительный электрический заряд, сместив его из центра сферы, как показано на рисунках. Укажите правильную картину силовых линий электрического поля в вакууме внутри и вне сферы:



## 27. Электрическое поле в диэлектриках. Граничные условия

**27.1.** Для электронной поляризации диэлектрика характерно (выберите все правильные утверждения):

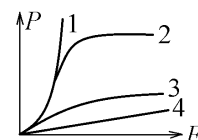
- а) влияние теплового движения молекул на степень поляризации диэлектрика; б) смещение подрешетки положительных ионов по направлению вектора напряженности внешнего электрического поля, а отрицательных – против поля; в) ориентирующее действие внешнего электрического поля на собственные дипольные моменты молекул; г) возникновение у молекул индуцированного дипольного момента при помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле;

**27.2.** На рисунке представлены графики, схематически отражающие характер зависимости поляризованности  $P$  от напряженности поля  $E$ . Сегнетоэлектрикам соответствует зависимость:

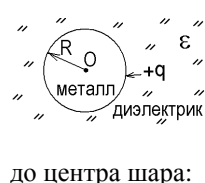
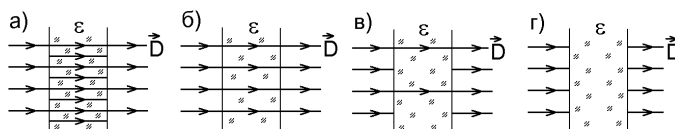
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

Диэлектрикам соответствует зависимость:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

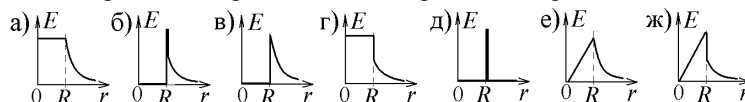


**27.3.** Плоский слой диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon > 1$  поместили в вакууме перпендикулярно к линиям индукции  $\vec{D}$  внешнего однородного электростатического поля. Укажите правильную картину линий  $\vec{D}$  электрического поля внутри диэлектрика:



до центра шара:

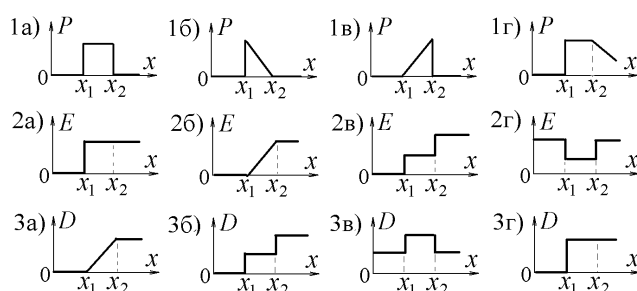
**27.4.** Положительный заряд  $+q$  поместили на уединенный металлический шар радиуса  $R$ , окруженный бесконечной однородной диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Каким будет график зависимости величины напряженности электрического поля от расстояния  $r$



величины

- 1) вектора поляризованности  $\vec{P}$ ;
- 2) вектора напряженности  $\vec{E}$ ;
- 3) вектора электрической индукции  $\vec{D}$ ?

**27.5.** На плоской поверхности металла, по которой распределен электрический заряд с поверхностной плотностью  $\sigma$ , лежит плоский слой однородного идеального диэлектрика (см. рисунок слева). Какими будут в этом случае графики зависимости



**27.6.** На рисунке показаны линии вектора электрической индукции  $\vec{D}$  на плоской границе двух диэлектрических сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1 = 3$  и  $\epsilon_2 = 2$ . Проекция этого вектора на касательное к границе направление  $\vec{\tau}$  с разных сторон от границы равны  $D_{1\tau}$  и  $D_{2\tau}$ . Чему равна величина  $D_{2\tau}$ , если  $D_{1\tau} = 6$  мкТл/м<sup>2</sup>?

а) 1 мкТл/м<sup>2</sup>; б) 1,5 мкТл/м<sup>2</sup>; в) 4 мкТл/м<sup>2</sup>; г) 6 мкТл/м<sup>2</sup>; д) 9 мкТл/м<sup>2</sup>;



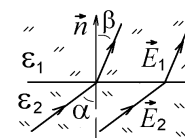
**27.7.** На рисунке показаны линии вектора напряженности  $\vec{E}$  на плоской границе двух диэлектрических сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ . Эти линии образуют углы  $\alpha$  и  $\beta$  с нормалью к границе. Выберите правильное соотношение:

а)  $\epsilon_1 \cos \alpha = \epsilon_2 \cos \beta$ ;

б)  $\epsilon_2 \cos \alpha = \epsilon_1 \cos \beta$ ;

в)  $\epsilon_1 \tan \alpha = \epsilon_2 \tan \beta$ ;

г)  $\epsilon_2 \tan \alpha = \epsilon_1 \tan \beta$ ;



## 28. Конденсаторы. Энергия электрического поля. Теорема о циркуляции вектора $\vec{E}$

**28.1.** Чему равно отношение  $C_1/C_2$  ёмкости  $C_1$  уединённого металлического шара с радиусом  $R_1 = 4R$  к ёмкости  $C_2$  уединённого металлического шара с радиусом  $R_2 = R$ ?

а) 0,0625; б) 0,25; в) 0,5; г) 1; д) 2; е) 4; ж) 16;

**28.2.** Плоский конденсатор с площадью обкладки  $S$  заполнен диэлектриком с проницаемостью  $\epsilon$  и заряжен. Поверхностная плотность заряда на обкладке равна  $\sigma$ . Какой формулой определяется сила, действующая на каждую пластину-обкладку конденсатора?

а)  $F = \epsilon \epsilon_0 \sigma^2 S$ ; б)  $F = \frac{\sigma^2 S}{\epsilon \epsilon_0}$ ; в)  $F = \frac{\sigma^2 S}{2 \epsilon \epsilon_0}$ ; г)  $F = \frac{\epsilon \epsilon_0 \sigma^2 S}{2}$ ;



**28.3.** Присоединенный к источнику постоянного напряжения плоский конденсатор имеет энергию  $W$ . Если пространство между обкладками заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , то энергия конденсатора станет равна: а)  $W$ ; б)  $\epsilon W$ ; в)  $(\epsilon-1)W$ ; г)  $W/\epsilon$ ;

**28.4.** Из конденсатора, подключенного к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , убирают заполняющий его диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=2$ . Что при этом происходит с ёмкостью  $C$  и с энергией  $W$  конденсатора?

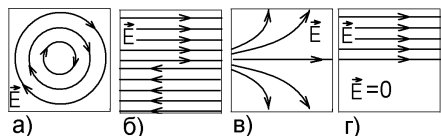
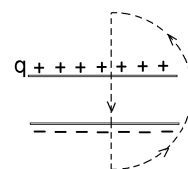
а)  $C$  уменьшается, а  $W$  увеличивается в 2 раза; б) и  $C$ , и  $W$  уменьшаются в 2 раза;

в)  $C$  увеличивается, а  $W$  уменьшается в 2 раза; г)  $C$  уменьшается в 2 раза, а  $W$  не изменяется;



**28.5.** Электрическое поле создано зарядом  $q$ , помещённым на пластины плоского конденсатора. Что можно сказать о величине интеграла  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{r}$  от напряжённости этого поля по замкнутому контуру, показанному на рисунке штриховой линией?

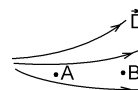
- а)  $\oint \vec{E} d\vec{r} > 0$ ; б)  $\oint \vec{E} d\vec{r} < 0$ ; в)  $\oint \vec{E} d\vec{r} = 0$ ; г)  $\oint \vec{E} d\vec{r} = \infty$ ; д) недостаточно данных;



**28.6.** На рисунках слева приведены картины силовых линий для фрагментов некоторых электрических полей. Какой из приведенных фрагментов **может** соответствовать электростатическому полю (использовать теорему о циркуляции)?

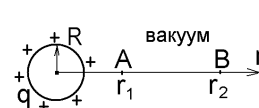
**28.7.** На рисунке показаны линии вектора  $\vec{D}$  электрической индукции электростатического поля. Каково соотношение между плотностью энергии  $w$  такого поля в точках А и В?

- а)  $w_A > w_B$ ; б)  $w_A = w_B$ ; в)  $w_A < w_B$ ; г) недостаточно данных;



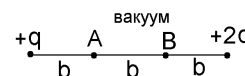
**28.8.** На металлический уединённый шар радиуса  $R$  поместили заряд  $q$ . Во сколько раз плотность энергии электростатического поля в точке В на расстоянии  $r_2 = 3R$  от центра шара меньше плотности энергии поля в точке А на расстоянии  $r_1 = 2R$  от центра шара?

- а) в 1,5 раза; б) в 2 раза; в) в 2,25 раз; г) в 4 раза; д) в 5,0625 раз;



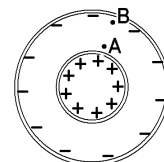
**28.9.** Электрическое поле создано двумя одинаковыми по знаку зарядами  $+q$  и  $+2q$ . Каким будет соотношение между плотностью энергии  $w_A$  этого поля в точках А и В? Расстояния от заряда  $+q$  до точки А, от точки А до точки В и от точки В до заряда  $+2q$  одинаковы и равны  $b$  (см. рисунок).

- а)  $w_A > w_B$ ; б)  $w_A = w_B$ ; в)  $w_A < w_B$ ; г) недостаточно данных;



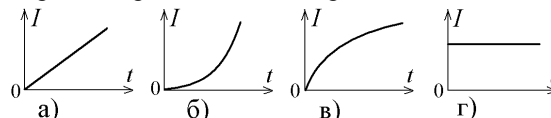
**28.10.** Две металлические тонкостенные сферы образуют заряженный воздушный сферический конденсатор (см. рисунок). Как соотносятся между собой плотности энергии  $w$  электрического поля в точках А и В внутри такого конденсатора?

- а)  $w_A > w_B$ ; б)  $w_A = w_B$ ; в)  $w_A < w_B$ ; г) недостаточно данных;



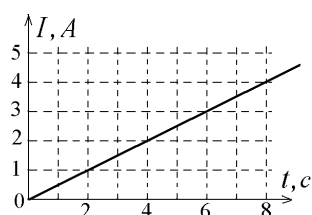
## 29. Квазистационарный ток. Законы Ома и Джоуля-Ленца

**29.1.** Величина электрического заряда  $q$ , протекающего через поперечное сечение проводника, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рис.1. Укажите зависимость от времени величины тока  $I$ , текущего по проводнику:



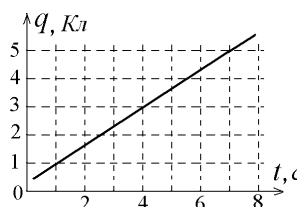
**29.2.** Величина электрического заряда, переносимого через поперечное сечение проводника, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рисунке справа. Чему в момент времени  $t = 4$  с равна величина тока  $I$ , текущего по проводнику?

- а) 0,5 А; б) 0,667 А; в) 0,75 А; г) 1,5 А; д) 1,667 А; е) 2 А;



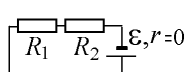
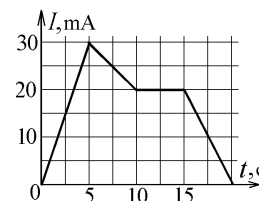
**29.3.** Величина электрического тока, текущего по проводнику, меняется со временем  $t$  по закону, изображённому на рисунке слева. Чему равна величина электрического заряда, протекающего через поперечное сечение проводника за интервал времени  $0 \leq t \leq 6$  с?

- а) 0,5 Кл; б) 0,75 Кл; в) 9 Кл; г) 2 Кл; д) 18 Кл; е) 16 Кл;



**29.4.** На рисунке справа показана зависимость силы тока, протекающего в проводнике от времени. Заряд, протекающий по проводнику за интервал времени  $0 \leq t \leq 15$  с равен:

- а) 200 мКл; б) 300 мКл; в) 400 мКл; г) 150 мКл;

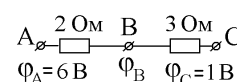


**29.5.** Если значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  со схемы на рисунке слева увеличить вдвое, то разность потенциалов на концах сопротивления  $R_1$ :

- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза;

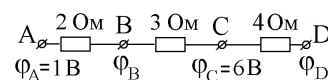
**29.6.** В замкнутой электрической цепи имеется участок, состоящий из двух резисторов, соединённых последовательно. В точках соединения резисторов А и С известны потенциалы  $\Phi_A$  и  $\Phi_C$  (см. рисунок). Укажите значение потенциала  $\Phi_B$  в точке В:

- а) 7,5 В; б) 0 В; в) 4 В; г) 3 В; д) 2 В;



**29.7.** В замкнутой цепи существует участок, состоящий из трех резисторов, соединенных последовательно. В точках соединения резисторов А и С известны потенциалы  $\varphi_A$  и  $\varphi_C$  (см. рисунок). Укажите значение разности потенциалов  $\varphi_D - \varphi_B$  в точках D и B:

- а) 5 В; б) 7 В; в) -7 В; г) -5 В; д) 1 В; е) -5 В;



**29.8.** По однородному проводу переменного сечения течет постоянный электрический ток  $I$ . Что можно сказать о соотношении между объемными плотностями тепловой мощности  $P_A$  и  $P_B$  в точке А и в точке В?

- а)  $P_A > P_B$ ; б)  $P_A < P_B$ ; в)  $P_A = P_B$ ;



**29.9.** Ток  $I$ , текущий по проводнику меняется со временем  $t$  по закону, изображенному на рис.1. По какому закону будет меняться со временем  $t$  величина джоулева тепла  $Q$ , выделяющегося в проводнике?

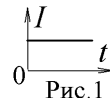
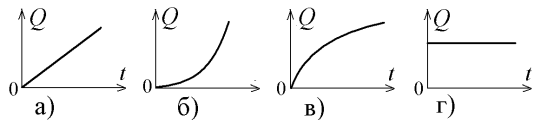


Рис. 1

**29.10.** Величина джоулева тепла, выделившегося в проводнике с сопротивлением 3 Ом, возрастает со временем  $t$  по закону  $Q = 4t^3$  (время  $t$  в этой формуле измеряется в секундах, а тепло  $Q$  – в джоулях). Чему в момент времени  $t = 2$  с равна величина тока  $I$ , текущего по проводнику?

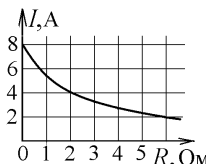
**29.11.** Реостат с общим сопротивлением  $R_{\text{общ}} = 2$  Ом подключен к источнику тока с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. Движок реостата перемещают влево (см. рисунок). Максимальная тепловая мощность будет выделяться в реостате при ...

- а) крайнем правом положении движка; б) среднем положении движка;  
в) крайнем левом положении движка; г) при любом положении движка;



**29.12\*.** К источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом подключили реостат. На графике дана зависимость силы тока в реостате от его сопротивления. Максимальная тепловая мощность, которая выделяется в реостате, равна:

- а) 20 Вт; б) 50 Вт; в) 36 Вт; г) 32 Вт;



**29.13.** По двум однородным цилиндрам одинакового сечения, но разной длины, изготовленным из одинакового материала, течет постоянный ток. Каким будет соотношение между величинами напряженностей электрического поля в цилиндре А и в цилиндре В?

- а)  $E_A < E_B$ ; б)  $E_A = E_B$ ; в)  $E_A > E_B$ ;  
г) для ответа надо знать соотношение между длиной и площадью цилиндра;

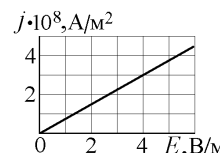
**29.14.** Два однородных сплошных цилиндра А и В из одинакового материала подключены параллельно к источнику постоянного напряжения  $U$ . Что можно сказать о соотношении между величинами напряженностей электрического поля в этих цилиндрах?

- а)  $E_A = E_B$ ; б)  $E_A < E_B$ ; в)  $E_A > E_B$ ;  
г) для ответа надо знать точное соотношение между длиной и площадью цилиндра;



**29.15.** На графике представлена зависимость плотности тока в проводнике от напряженности электрического поля. Удельное сопротивление проводника в единицах  $\text{Ом} \cdot \text{м}$  равно:

- а)  $0,75 \cdot 10^{-8}$ ; б)  $3 \cdot 10^{-8}$ ; в)  $1,33 \cdot 10^{-8}$ ; г)  $1,5 \cdot 10^{-8}$ ;



**29.16.** Удельное сопротивление проводника  $\rho = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , концентрация электронов проводимости в нем  $n = 5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , величина заряда электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ . При напряженности электрического поля  $E = 3,2 \text{ В/м}$  скорость упорядоченного движения (дрейфа) электронов в проводнике (в мм/с) равна:

- а) 1; б) 0,25; в) 0,5; г) 2;

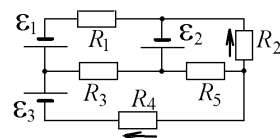
**29.17.** Вдоль цилиндрического провода радиуса  $r$ , участок которого длины  $L$  имеет сопротивление  $R$ , действует стороннее электрическое поле с напряженностью  $E$ . Чему равна плотность тока, вызванного этим полем?

- а)  $j = \frac{\pi r^2 RE}{L}$ ; б)  $j = \frac{\pi r^2 E}{RL}$ ; в)  $j = \frac{EL}{\pi r^2 R}$ ; г)  $j = \frac{\pi r^2 R}{EL}$ ; д)  $j = \frac{LR}{\pi r^2 E}$ ;

### 30. Разветвленные электрические цепи. Правила Кирхгофа

**30.1.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 20 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3 = 30 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Определите направление и силу тока, протекающего через резистор  $R_3$ , если через резистор  $R_4$  протекает ток 2 А справа налево, а через резистор  $R_2$  протекает ток 2 А снизу вверх.

- а) 1 А, налево; б) 1 А, направо; в) 0,5 А, направо; г) 0,5 А, налево;  
д) 1,5 А, направо; е) 1,5 А, налево; ж) ток равен нулю;








**30.2.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_1 = R_4 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_1 = 70 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 50 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Найдите подходящий замкнутый контур цепи и определите величину ЭДС  $\mathcal{E}_2$ , если через резистор  $R_4$  протекает ток  $2 \text{ А}$  справа налево, а через резистор  $R_1$  протекает ток  $1 \text{ А}$  тоже справа налево.

- а)  $90 \text{ В}$ ; б)  $100 \text{ В}$ ; в)  $45 \text{ В}$ ; г)  $60 \text{ В}$ ; д)  $120 \text{ В}$ ; е)  $30 \text{ В}$ ;

**30.3.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 5 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 25 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 10 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Определите величину сопротивления резистора  $R_3$ , если через него протекает ток  $0,5 \text{ А}$  справа налево, через резистор  $R_4$  протекает ток  $1 \text{ А}$  также справа налево, а через резистор  $R_2$  течет ток  $3 \text{ А}$  снизу вверх.

- а)  $5 \text{ Ом}$ ; б)  $2 \text{ Ом}$ ; в)  $4 \text{ Ом}$ ; г)  $10 \text{ Ом}$ ; д)  $6 \text{ Ом}$ ; е)  $3 \text{ Ом}$ ;

**30.4.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 20 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_4 = 15 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Какова величина ЭДС источника тока  $\mathcal{E}_2$  и его расположение в цепи, если через резистор  $R_3$  протекает ток  $0,5 \text{ А}$  справа налево, а через источник тока  $\mathcal{E}_4$  также справа налево течет ток  $0,5 \text{ А}$ ?

- а) ,  $10 \text{ В}$ ; б) ,  $10 \text{ В}$ ; в) ,  $5 \text{ В}$ ; г) ,  $5 \text{ В}$ ; д) ,  $15 \text{ В}$ ;

**30.5.** В электрической схеме, показанной на рисунке,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 25 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_3 = 20 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока равны нулю. Чему равно сопротивление резистора  $R_2$ , если через резистор  $R_3$  протекает ток  $0,5 \text{ А}$  справа налево, а через источник тока  $\mathcal{E}_4$  слева направо течет ток  $1 \text{ А}$ ?

- а)  $25 \text{ Ом}$ ; б)  $20 \text{ Ом}$ ; в)  $15 \text{ Ом}$ ; г)  $10 \text{ Ом}$ ; д)  $5 \text{ Ом}$ ;

**30.6.** На рисунке слева показана часть электрической схемы, для которой известны некоторые параметры.  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ . Оба источника тока имеют одинаковые внутренние сопротивления. Потенциалы  $\varphi_1 = 3 \text{ В}$ ,  $\varphi_3 = 7 \text{ В}$ . Сила тока через сопротивление  $R_1$  равна  $I_1 = 1 \text{ А}$ . Чему равна сила тока через сопротивление  $R_3$ ?

- а)  $0,8 \text{ А}$ ; б)  $8 \text{ А}$ ; в)  $0 \text{ А}$ ; г) нельзя рассчитать, т.к. не хватает данных;

**30.7.** Показана часть электрической схемы, для которой известны следующие параметры:  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_1 = 3 \text{ В}$ . Внутренние сопротивления источников тока  $r = 1 \text{ Ом}$  одинаковы. Направление текущих по проводникам токов указаны стрелками, и они равны  $I_1 = 1 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2 \text{ А}$ ,  $I_3 = 0,5 \text{ А}$ . Чему равна величина разности потенциалов  $\varphi_2 - \varphi_1$ ?

- а)  $0,8 \text{ А}$ ; б)  $8 \text{ А}$ ; в)  $0 \text{ А}$ ; г) нельзя рассчитать, т.к. не хватает данных;

### 31. Расчет магнитных полей. Теорема Био-Савара-Лапласа

**31.1.** По двум параллельным прямым бесконечным проводникам текут токи одинаковой величины так, как показано на рисунке. В точке  $O$  на одинаковом расстоянии  $b$  от обоих проводников эти токи создают магнитное поле с напряжённостью  $H$ . Чему равна величина каждого из токов?

- а)  $I = bH$ ; б)  $I = 2bH$ ; в)  $I = 2\pi bH$ ; г)  $I = \pi bH$ ; д)  $I = 2\pi bH$ ; е) определить нельзя, так как в этой точке  $H = 0$ ;

**31.2.** На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с одинаковыми токами, причем  $I_1 = 2I_2$ . На каком участке может находиться точка, в которой индукция магнитного поля этих токов равна нулю?

- а)  $a$ ; б)  $b$ ; в)  $c$ ; г)  $d$ ;

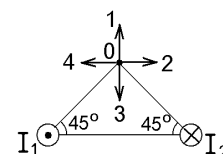
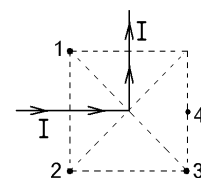
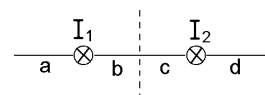
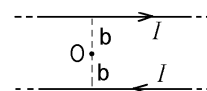
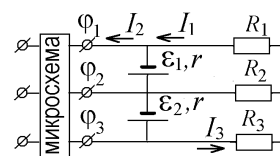
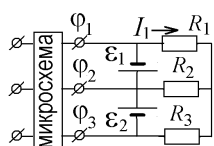
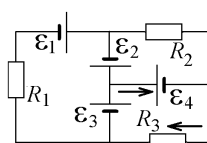
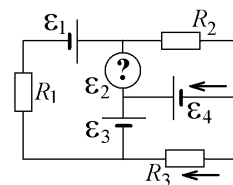
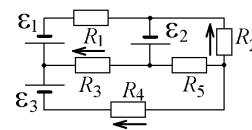
**31.3.** Длинный проводник с током  $I$  согнут под прямым углом (см. рисунок справа). Индукция  $\vec{B}$  магнитного поля, созданного этим током, имеет наибольшую величину в следующей из точек, указанных на рисунке: а) в точке 1; б) в точке 2; в) в точке 3; г) в точке 4;

**31.4.** На расстоянии  $r_1 = 6 \text{ м}$  от бесконечного прямого проводника с током  $I$  величина индукции магнитного поля, созданного этим током, равна  $B_1 = 3 \text{ мкТл}$ . На каком расстоянии от проводника величина индукции будет равна  $B_2 = 4 \text{ мкТл}$ ?

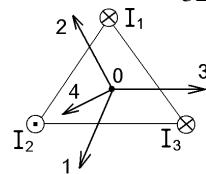
- а)  $0,5 \text{ м}$ ; б)  $2 \text{ м}$ ; в)  $4,5 \text{ м}$ ; г)  $16 \text{ м}$ ; д)  $24 \text{ м}$ ;

**31.5.** Два параллельных прямолинейных длинных проводника с текущими в противоположные стороны токами одинаковой величины  $|I_1| = |I_2|$  направлены перпендикулярно к плоскости рисунка. Индукция  $\vec{B}$  магнитного поля этих токов в точке  $O$  имеет направление:

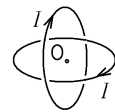
- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;



**31.6.** На рисунке изображены сечения трех параллельных прямолинейных длинных проводников с разнонаправленными токами одинаковой величины  $|I_1| = |I_2| = |I_3|$ . Расстояния между проводниками одинаковы, и в точке О, равноудаленной от всех проводников, каждый из токов создает магнитное поле, величина индукции которого равна  $B$ . Вектор индукции суммарного магнитного поля всех токов в точке О имеет направление: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

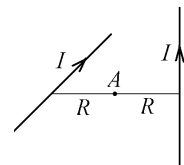


**31.7.** По двум круговым взаимно перпендикулярным виткам одинакового радиуса  $R$  текут одинаковые по величине токи  $I$  (см. рисунок). В их общем центре О токи создают магнитное поле с индукцией  $B$ . Чему равна величина радиуса  $R$ ?



- а)  $R = \frac{\mu_0 I}{B}$ ; б)  $R = \sqrt{2} \frac{\mu_0 I}{2B}$ ; в)  $R = \frac{\mu_0 I}{2B}$ ; г)  $R = \sqrt{2} \frac{\mu_0 I}{B}$ ; д)  $R = 2 \frac{\mu_0 I}{B}$ ;

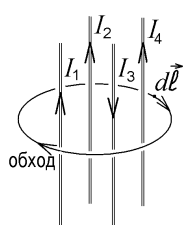
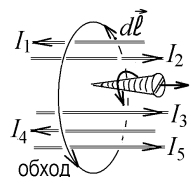
**31.8.** Два бесконечных прямых проводника взаимно перпендикулярны. По проводникам текут токи одинаковой величины. Наименьшее расстояние между проводниками равно  $2R$  (см. рисунок). В точке А посередине этого отрезка токи создают магнитное поле с напряжённостью  $H$ . Чему равна величина каждого из токов? а)  $I = \pi R H$ ; б)  $I = \sqrt{2} \pi R H$ ; в)  $I = 2 \pi R H$ ; г)  $I = \pi R H / 2$ ;



### 32. Теорема о циркуляции для магнитного поля

**32.1.** На рисунке показано направление обхода замкнутого контура и направление токов  $I_1, I_2, I_3, I_4$  и  $I_5$ , текущих по проводникам. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$ ; б)  $-I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5$ ; в)  $-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5$ ; г)  $I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5$ ;

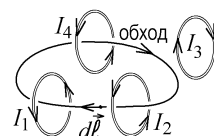


**32.2.** Замкнутый контур охватывает проводники с токами  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$ . Направление обхода контура и направления токов показаны на рисунке слева. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ; б)  $-I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ; в)  $I_1 + I_2 - I_3 + I_4$ ; г)  $-I_1 - I_2 + I_3 - I_4$ ;

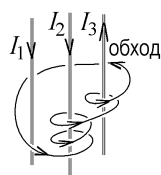
**32.3.** Имеется замкнутый контур и проводники с токами  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$ . Направление обхода контура и направления токов показаны на рисунке справа. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 - I_2 + I_4$ ; б)  $-I_1 + I_2 - I_4$ ; в)  $I_1 + I_2 - I_4$ ; г)  $-I_1 - I_2 + I_4$ ; д)  $I_1 + I_2 + I_3 - I_4$ ; е)  $I_1 + I_2 - I_3 - I_4$ ;



**32.4.** Замкнутый контур может охватывать прямые проводники с токами  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$ . Такой контур, направление его обхода и направления токов указаны на рисунке. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ; б)  $-I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ; в)  $I_1 - 3I_2 - 2I_3 - I_4$ ; г)  $-I_1 + 3I_2 + 2I_3 + I_4$ ; д)  $I_1 - 3I_2 - 2I_3$ ;



**32.5.** Замкнутый контур охватывает прямые проводники с токами  $I_1, I_2$  и  $I_3$ . Направление обхода контура и направления токов указаны на рисунке слева. Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ?

- а)  $I_1 + I_2 - I_3$ ; б)  $-I_1 - I_2 + I_3$ ; в)  $I_1 + 3I_2 - 2I_3$ ; г)  $-I_1 - 3I_2 + 2I_3$ ; д)  $I_1 + 3I_2 - I_3$ ;

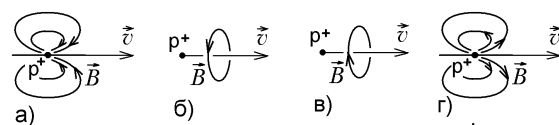


**32.6.** Чему равна циркуляция вектора индукции магнитного поля по замкнутому контуру, делённая на магнитную постоянную  $\oint \vec{B} d\vec{l} / \mu_0$ ? Направление обхода контура и охватываемые им токи  $I_1, I_2, I_3$  и  $I_4$  показаны на рисунке.

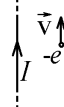
- а)  $I_1 - I_2 - I_3 - I_4$ ; б)  $-I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ ; в)  $I_1 - I_2 - 2I_3 - 2I_4$ ; г)  $-I_1 + I_2 + 2I_3 + 2I_4$ ;

### 33. Движение заряженной частицы в постоянном электромагнитном поле Магнитное поле движущейся заряженной частицы

**33.1.** Протон движется вдоль прямой линии со скоростью  $v$ . Укажите правильный вид линии индукции магнитного поля, которое создаётся при его движении:

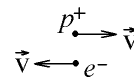


**33.2.** В некоторый момент времени электрон движется параллельно бесконечному прямому проводнику с током  $I$ . Выберите правильные утверждения: а) нормальное ускорение электрона постоянно; б) в указанном положении на электрон действует сила Лоренца, направленная вправо; в) в точке нахождения электрона вектор магнитной индукции направлен перпендикулярно плоскости рисунка "от нас"; г) кинетическая энергия электрона остается постоянной; д) траектория движения электрона – окружность;



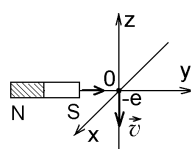
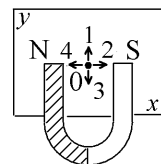
**33.3.** Электрон и протон движутся на небольшом расстоянии друг от друга параллельно в разные стороны. Что можно сказать о направлении магнитной силы между ними?

- а) эта сила равна нулю; б) она притягивает частицы друг к другу; в) она отталкивает частицы друг от друга; г) дать ответ нельзя, так как не задана величина расстояния между электронами;



**33.4.** Светящееся пятно, образованное сфокусированным лучом на экране  $xu$  осциллографа, находилось в точке 0. К пятну, как показано на рисунке, подносят подковообразный магнит. Укажите в какую сторону сместится светящееся пятно:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

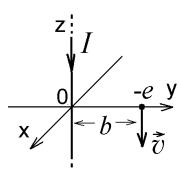
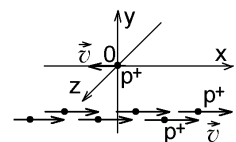


**33.5.** Пучок электронов движется со скоростью  $v$  против оси  $z$ . К этому пучку подносят вдоль оси  $y$  постоянный магнит (см. рисунок слева). Куда будут смещаться в результате взаимодействия с полем магнита электроны, пролетающие через начало координат 0:

- а) вдоль оси  $x$ ; б) против оси  $x$ ; в) вдоль оси  $y$ ; г) против оси  $y$ ; д) вдоль оси  $z$ ; е) против оси  $z$ ;

**33.6.** Однородный пучок протонов, летящих со скоростью  $v$  в направлении оси  $x$ , находится в плоскости  $xu$ . В какую сторону этот пучок будет отклонять протон, движущийся против оси  $x$  и находящийся в начале координат 0 (см. рисунок справа)?

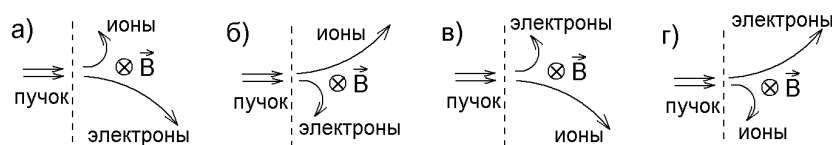
- а) вдоль оси  $y$ ; б) против оси  $y$ ; в) вдоль оси  $z$ ; г) против оси  $z$ ;



**33.7.** Ток  $I$  в прямом проводнике течёт против оси  $z$ . Электрон с зарядом  $-e$ , находится на оси  $y$  на расстоянии  $b$  от начала координат 0 и движется со скоростью  $v$  в том же направлении. Найти проекцию на ось  $y$  магнитной силы, действующей на электрон со стороны тока?

- а)  $F_y = \frac{\mu_0 e I v}{2b}$ ; б)  $F_y = -\frac{\mu_0 e I v}{2b}$ ; в)  $F_y = \frac{\mu_0 e I v}{2\pi b}$ ; г)  $F_y = -\frac{\mu_0 e I v}{2\pi b}$ ; д)  $F_y = 0$ ;

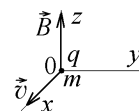
**33.8.** Смешанный пучок электронов и положительно заряженных ионов водорода, движущихся в плоскости рисунка с одинаковой скоростью, влетает в перпендикулярное магнитное поле, индукция которого направлена за плоскость рисунка. Выберите правильный рисунок траекторий движения частиц в этом поле:



**33.9.** В циклотроне и положительные, и отрицательные ионы вращаются в перпендикулярном магнитном поле  $\vec{B}$  по круговым траекториям одинакового радиуса. Величины заряда ионов одинаковы. Чему равно отношение массы положительного иона к массе отрицательного иона, если величина скорости положительного иона в 4 раза меньше величины скорости отрицательного иона? а) 16; б) 4; в) 0,0625; г) 0,25; д) нет правильного ответа;

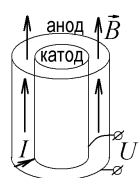
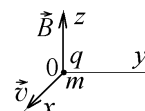
**33.10.** Линии индукции однородного магнитного поля направлены вдоль оси  $z$ . Частица с удельным зарядом  $q/m$  в начальный момент вылетает из начала координат 0 со скоростью  $v$ , направленной вдоль оси  $x$ , а затем в первый раз возвращается в точку 0 спустя время  $\Delta t$ . Какая формула при этом правильно задаёт величину индукции  $B$  магнитного поля?

- а)  $B = \frac{q\Delta t}{2m}$ ; б)  $B = \frac{2q\Delta t}{m}$ ; в)  $B = \frac{\pi m}{2q\Delta t}$ ; г)  $B = \frac{\pi m}{q\Delta t}$ ; д)  $B = \frac{2\pi m}{q\Delta t}$ ;

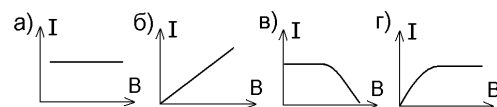


**33.11.** Линии индукции  $\vec{B}$  однородного магнитного поля направлены вдоль оси  $z$ . Частица с удельным зарядом  $q/m$  в начальный момент вылетает из начала координат 0 со скоростью  $v$ , направленной вдоль оси  $x$ . Какая формула правильно задаёт величину  $\Delta r$  максимального удаления частицы от точки 0?

- а)  $\Delta r = \frac{qv}{2mB}$ ; б)  $\Delta r = \frac{qv}{mB}$ ; в)  $\Delta r = \frac{2qv}{mB}$ ; г)  $\Delta r = \frac{mv}{2qB}$ ; д)  $\Delta r = \frac{2mv}{qB}$ ;



**33.12.** В пространстве между коаксиальными длинными цилиндрическими катодом и анодом создано однородное магнитное поле  $\vec{B}$ , параллельное их оси. Между анодом и катодом приложено прямое напряжение  $U$ , приводящее к появлению анодного тока  $I$  в цепи. Укажите правильный график зависимости этого тока от величины магнитного поля  $B$ :

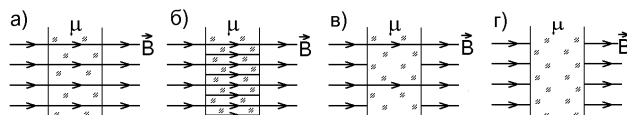


## 34. Магнитное поле в магнетиках

**34.1.**  $\vec{B}$  – вектор индукции магнитного поля в веществе.  $\vec{H}$  – напряженность внешнего магнитного поля. Вещество является однородным, изотропным парамагнетиком, если магнитная восприимчивость ...

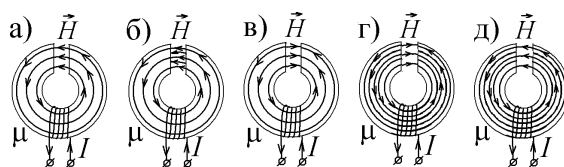
- а)  $\ll 1$  и  $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{H}$ ; б)  $\ll 1$  и  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{H}$ ; в)  $\gg 1$  и  $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{H}$ ; д)  $\gg 1$  и  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{H}$ ;

**34.2.** Плоский слой магнетика с магнитной проницаемостью  $\mu > 1$  расположен в вакууме перпендикулярно к линиям индукции  $\vec{B}$  внешнего однородного постоянного магнитного

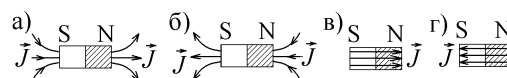


поля. Выберите правильную картину линий  $\vec{B}$  магнитного поля внутри магнетика:

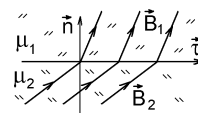
**34.3.** Записывающая головка магнитофона имеет вид тороидального сердечника из материала с магнитной проницаемостью  $\mu > 1$ , в которой сделана прорезь. Ток  $I$ , текущий по обмотке, навитой на сердечник, создает в нем магнитное поле с линиями напряженности  $\vec{H}$ . Укажите рисунок с правильной картиной линий  $\vec{H}$ :



**34.4.** Укажите рисунок с правильным направлением линий вектора намагниченности  $\vec{J}$  для постоянного магнита, находящегося в вакууме:

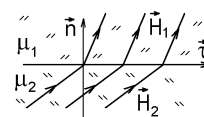


**34.5.** На рисунке показаны линии вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1 = 3$  и  $\mu_2 = 2$ . Проекция  $\vec{B}$  на нормальное к границе направление с разных сторон от границы равны  $B_{1n}$  и  $B_{2n}$ . Токи проводимости на границе сред отсутствуют. Чему равна величина  $B_{1n}$ , если  $B_{2n} = 6$  Тл?



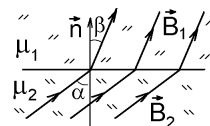
- а) 1 Тл; б) 1,5 Тл; в) 4 Тл; г) 6 Тл; д) 9 Тл; е) другой ответ;

**34.6.** На рисунке показаны линии вектора напряженности  $\vec{H}$  магнитного поля на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Проекция этого вектора на нормальное направление  $\vec{n}$  к границе с разных сторон от границы равны  $H_{1n} = 6$  А/м и  $H_{2n} = 4$  А/м. Токи проводимости на границе сред отсутствуют. Чему равна величина  $\mu_1$ , если  $\mu_2 = 2$ ?



- а) 1; б) 1,33; в) 1,5; г) 3; д) 12; е) другой ответ;

**34.7.** На рисунке показаны линии вектора индукции  $\vec{B}$  магнитного поля на плоской границе двух однородных магнетиков с магнитными проницаемостями  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Эти линии образуют углы  $\alpha$  и  $\beta$  с нормалью к границе. Выберите правильное утверждение:



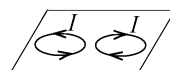
- а)  $\mu_1 \cos \alpha = \mu_2 \cos \beta$ ; б)  $\mu_2 \cos \alpha = \mu_1 \cos \beta$ ; в)  $\mu_1 \tan \alpha = \mu_2 \tan \beta$ ; г)  $\mu_2 \tan \alpha = \mu_1 \tan \beta$ ;

### 35. Проводник с током в магнитном поле. Сила Ампера

**35.1.** По двум параллельным длинным прямым проводам в разные стороны текут токи  $I_1$  и  $I_2$ . Под действием магнитных сил эти провода:

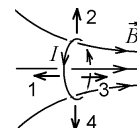
- а) притягиваются; б) отталкиваются; в) результат зависит от величины токов и расстояния между ними;

**35.2.** На гладкой горизонтальной поверхности лежат два одинаковых круговых витка с одинаковыми по величине, но направленными в противоположные стороны токами. Как будут вести себя под действием магнитных сил эти витки? Они:



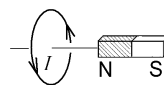
- а) притягиваются; б) отталкиваются; в) не взаимодействуют друг с другом;

**35.3.** Линии неоднородного магнитного поля с индукцией  $\vec{B}$  симметричны относительно кругового витка с током  $I$  и пересекают его плоскость, как показано на рисунке. В каком направлении действует на виток магнитная сила?



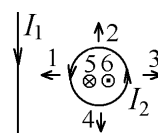
- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) величина магнитной силы, равна нулю;

**35.4.** По закреплённому витку течёт ток  $I$ . Постоянный магнит неподвижен относительно витка с током, а его ось совпадает с осью витка. Укажите направление силы, с которой текущий по витку ток действует на магнит:

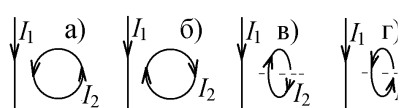


- а) она притягивает магнит к витку с током; б) она отталкивает магнит от витка с током; в) она стремится сместить магнит вбок; г) она равна нулю, так как виток и магнит неподвижны;

**35.5.** На гладкой горизонтальной плоскости закреплён прямой бесконечный провод с током  $I_1$ , а рядом лежит круговой виток с током  $I_2$ . В какую сторону направлена магнитная сила, старающаяся сместить виток с током?



- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5 (за рисунок); е) 6 (из рисунка наружу);



**35.6.** Рядом с бесконечным прямым проводником с током  $I_1$  расположен круговой виток с током  $I_2$ . Укажите правильное положение витка с током, в котором он будет поворачиваться под действием магнитных сил:

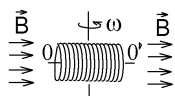
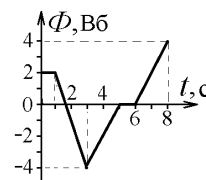


**35.7.** По двум близко расположенным виткам текут одинаковые по величине токи. При какой ориентации витков величина энергии их магнитного взаимодействия будет наибольшей (центры витков во всех четырех случаях находятся на одинаковом расстоянии):

### 36. Явление электромагнитной индукции

**36.1.** На рисунке показана зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый проводящий контур, от времени. Чему равно отношение  $\mathcal{E}(t_1)/\mathcal{E}(t_2)$  величин (модулей) ЭДС электромагнитной индукции в контуре в моменты времени  $t_1=2$  с и  $t_2=7$  с?

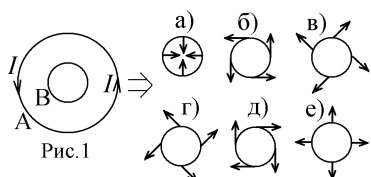
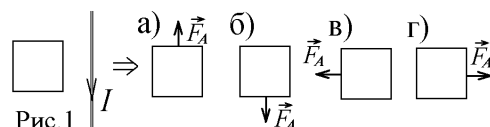
а) 0,33; б) 0,5; в) 1; г) 1,5; д) 2;



**36.2.** Короткозамкнутая катушка из  $N$  витков, имеющая сопротивление  $R$ , вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси, перпендикулярной к направлению линий индукции  $\vec{B}$  однородного постоянного магнитного поля. При каком условии величина индукционного тока, возникающего в катушке, равна нулю? а) ось катушки  $00'$  параллельна вектору  $\vec{B}$ ;

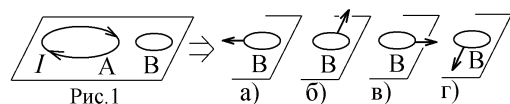
б) ось катушки  $00'$  перпендикулярна вектору  $\vec{B}$ ; в) при указанных условиях индукционный ток всегда отличен от нуля;

**36.3.** Прямолинейный ток  $I$  параллелен стороне квадратного проводящего контура, сделанного из тонкой проволоки (рис.1). Величину тока  $I$  медленно увеличивают. Указать направление действующей на контур результирующей силы Ампера  $\vec{F}_A$ ?

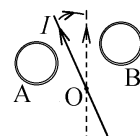


**36.4.** Два замкнутых круговых витка А и В из медной проволоки имеют общую ось и лежат в одной плоскости (рис.1). По витку А течет ток  $I$ . Каким будет направление сил Ампера, действующих на виток В, если величину силы тока в витке А уменьшать?

**36.5.** Два замкнутых контура А и В из медной проволоки находятся в одной плоскости, и по контуру А течет ток  $I$  (рис.1). Укажите, направление результирующей силы Ампера, действующей на контур В, если величина силы тока  $I$  возрастает:

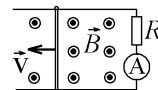


**36.6.** В одной плоскости лежат два кольца А и В из тонких проводников, а между ними — прямой провод, по которому течет постоянный ток  $I$ . Провод с током начали поворачивать по часовой стрелке вокруг перпендикулярной к плоскости оси О, как показано на рисунке. Потечет ли электрический ток по кольцам и, если да, то в какие стороны?

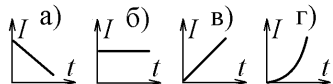


а) в кольцах А и В потечет против часовой стрелки; б) в кольцах А и В потечет по часовой стрелке; в) в кольце В — по часовой стрелке, а в кольце А — против часовой стрелки; г) в кольце А — по часовой стрелке, а в кольце В — против часовой стрелки;

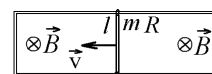
**36.7.** По прямоугольной рамке из тонких проводников, находящейся в однородном магнитном поле, с равномерно возрастающей скоростью перемещают проводящую перемычку (см. рисунок). Единственным сопротивлением  $R$  обладает резистор, включенный в цепь.



Укажите правильный график зависимости индукционного тока от времени  $t$ :



**36.8.** Горизонтально расположенная П-образная рамка находится в постоянном магнитном поле, линии индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярны к плоскости рамки и направлены за плоскость рисунка. По рамке может без трения двигаться поперечная проводящая перекладина с массой  $m$ , длиной  $l$  и сопротивлением  $R$ . Перекладину толкнули влево с начальной скоростью  $\vec{v}$ . По замкнутому контуру, образованному рамкой и перекладиной начнет протекать индукционный ток, величина которого со временем ..., и который обтекает контур ....: а) не изменяется, по часовой стрелке; б) уменьшается, по часовой стрелке; в) растёт, против часовой стрелки; г) уменьшается, против часовой стрелки; д) растёт, по часовой стрелке;

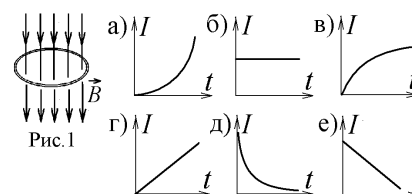


**36.9.** Линии индукции  $\vec{B}$  магнитного поля перпендикулярны замкнутому проводящему витку (см. рисунок). Величина  $B$  меняется со временем  $t$  по закону  $B = \beta \cdot t^2$ , где  $\beta$  — положительная константа. Укажите зависимость величины возникающего в витке тока от времени и его направление:

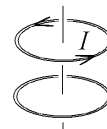


а)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , по часовой стрелке; б)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , против часовой стрелки; в)  $I = \text{const} \cdot t$ , по часовой стрелке; г)  $I = \text{const} \cdot t$ , против часовой стрелки; д)  $I = \text{const}$ , против часовой стрелки;

**36.10.** Закрепленный замкнутый проводящий круговой виток с сопротивлением  $R$  расположен в горизонтальной плоскости в магнитном поле, линии индукции которого вертикальны (рис.1), а величина индукции начинает изменяться со временем  $t$  по закону  $B = B_0 + \beta t^{3/2}$ , где  $B_0$  и  $\beta$  — положительные константы. Укажите правильный график зависимости от времени  $t$  величины индукционного тока, возникающего в витке:



**36.11.** Два тонких проводящих витка имеют общую ось и закреплены. Постоянный ток  $I_0$  в верхнем витке начал убывать со временем  $t$  по квадратичному закону:  $I = I_0 - \alpha t^2$ , где  $\alpha$  – положительная константа. При этом в нижнем витке возникает индукционный ток, величина которого изменяется со временем  $t$  по закону ..., и который направлен ...:



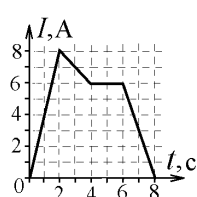
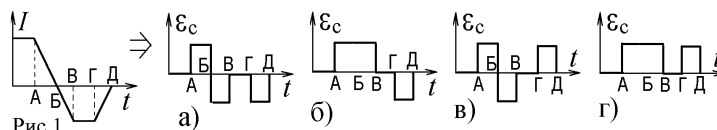
- а)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , по часовой стрелке; б)  $I = \text{const} \cdot t^2$ , против часовой стрелки;  
в)  $I = \text{const} \cdot t$ , по часовой стрелке; г)  $I = \text{const} \cdot t$ , против часовой стрелки; д)  $I = \text{const}$ , по часовой стрелке;

**36.12.** Сила тока в проводящем круговом контуре с индуктивностью 200 мГн изменяется со временем  $t$  по закону  $I = (\alpha + \beta t)$ , где  $\alpha = 2$  А,  $\beta = 0,5$  А/с. При этом величина ЭДС самоиндукции равна..., а индукционный ток направлен .....



- а) 0,1 В, по часовой стрелке; б) 0,05 В, по часовой стрелке;  
в) 0,05 В, против часовой стрелки; г) 0,01 В, против часовой стрелки;

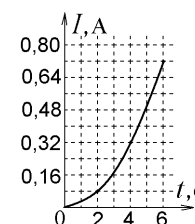
**36.13.** На рис.1 показана зависимость силы тока, протекающего в катушке индуктивности, от времени. Укажите правильный график изменения возникающей в катушке ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c$  со временем.



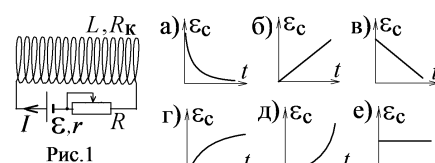
**36.14.** В катушке с индуктивностью  $L = 3$  Гн течет ток, изменяющийся со временем  $t$ , как показано на рисунке слева. Величину  $\mathcal{E}$  ЭДС самоиндукции в катушке измеряют 4 раза в моменты времени  $t_1 = 1$  с,  $t_2 = 3$  с,  $t_3 = 5$  с и  $t_4 = 7$  с. Чему равна максимальная величина  $\mathcal{E}$ , измеренная в эти моменты времени? а) 4 В; б) 6 В; в) 8 В; г) 9 В; д) 12 В; е) 18 В;

**36.15.** По замкнутому проводящему контуру с индуктивностью  $L = 2$  Гн течет ток, величина которого меняется со временем  $t$  по параболическому закону ( $\sim t^2$ ), как показано на графике. Определите величину ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре в момент времени  $t = 2$  с:

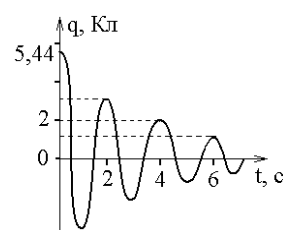
- а) 0,08 В; б) 0,16 В; в) 0,24 В; г) 0,32 В; д) 0,48 В; е) 0,64 В; ж) 0,72 В;



**36.16.** Источник ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  последовательно с реостатом подсоединен к катушке с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R_k$  (рис.1). Движком реостата меняют величину его сопротивления так, что ток  $I$ , протекающий по цепи, меняется со временем  $t$  по закону  $I = I_0 + \alpha_1 t - \alpha_2 t^2$ , где  $I_0$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – положительные константы. Укажите правильный график временной зависимости величины (модуля) ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_c$ , возникающей в катушке:



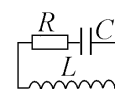
### 37. Собственные электрические колебания



**37.1.** На рисунке слева показан график временной зависимости заряда  $q$  на конденсаторе в электрическом колебательном контуре, определяемый уравнением  $q(t) = Ae^{-t/\tau} \sin(\omega t + \phi)$ . Укажите время  $\tau$  релаксации (затухания) колебаний:

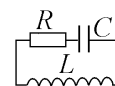
- а) 2 с; б) 4 с; в) 6 с; г) 1 с; д) 2,72 с;

**37.2.** Собственные затухающие колебания в контуре с индуктивностью  $L$ , ёмкостью  $C$  и резистором  $R$  описываются уравнением  $q(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi)$ . С уменьшением величины индуктивности  $L$  при неизменных  $R$  и  $C$ :



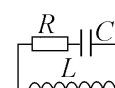
- а) скорость уменьшения амплитуды колебаний не изменится  
б) амплитуда колебаний будет уменьшаться со временем быстрее  
в) амплитуда колебаний будет уменьшаться со временем медленнее

**37.3.** Собственные затухающие колебания в колебательном контуре с индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  описываются уравнением  $q(t) = Ae^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi)$ , где  $\beta = \frac{4}{5} \frac{1}{\sqrt{LC}}$ . Во сколько раз изменится циклическая частота  $\omega$  колебаний, если коэффициент затухания  $\beta$  уменьшить в  $4/3 = 1,33$  раз?



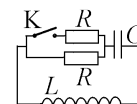
- а) не изменится; б) увеличится в 1,33 раза; в) уменьшится в 1,33 раз;

**37.4.** В электрическом колебательном контуре с индуктивностью  $L$ , ёмкостью  $C$  и резистором  $R$  происходят собственные затухающие электрические колебания с частотой  $\omega$  и с коэффициентом затухания  $\beta$ . Если величину сопротивления  $R$  уменьшить при неизменных величинах  $C$  и  $L$ , то:



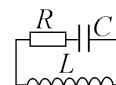
- а)  $\omega$  уменьшается,  $\beta$  не меняется; б)  $\omega$  уменьшается,  $\beta$  растёт;  
в)  $\omega$  растёт,  $\beta$  не меняется; г)  $\omega$  не меняется,  $\beta$  уменьшается;  
д)  $\omega$  растёт,  $\beta$  уменьшается; е)  $\omega$  не меняется,  $\beta$  растёт;

**37.5.** При разомкнутом ключе “К” циклическая частота собственных затухающих колебаний в контуре, изображенном на рисунке, определялась параметрами  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  и  $\beta = R/2L$ . Укажите формулу циклической частоты собственных затухающих колебаний в данном контуре после замыкания ключа “К”:



- а)  $\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ; б)  $\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ ; в)  $\sqrt{\omega_0^2 - 4\beta^2}$ ; г)  $\sqrt{\omega_0^2 - \frac{\beta^2}{2}}$ ; д)  $\sqrt{\omega_0^2 - \frac{\beta^2}{4}}$ ;

**37.6.** В электрическом колебательном контуре, изображенном на рисунке, постепенно увеличивают величину емкости  $C$  конденсатора. При этом собственные электрические затухающие колебания прекратятся при достижении значения:

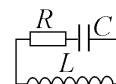


- а)  $C = 4 \frac{R^2}{L}$ ; б)  $C = \frac{1}{4} \frac{L}{R^2}$ ; в)  $C = 4 \frac{L}{R}$ ; г)  $C = \frac{1}{4} \frac{L}{R}$ ; д)  $C = 4 \frac{L}{R^2}$ ; е)  $C = \frac{1}{4} \frac{R^2}{L}$ ;

ж) при любом значении  $R$  электрические колебания не прекращаются;

**37.7.** В электрическом колебательном контуре можно:

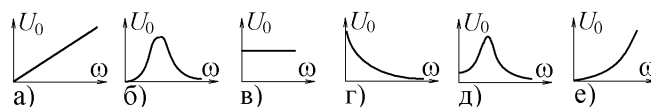
1) уменьшить величину сопротивления  $R$ ; 2) увеличить величину ёмкости  $C$ . При этом величина логарифмического декремента затухания электрических колебаний:



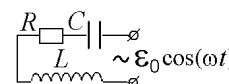
- а) 1 – уменьшится, 2 – увеличится; б) 1 – увеличится, 2 – уменьшится; в) 1 – уменьшится, 2 – уменьшится; г) 1 – увеличится, 2 – увеличится; д) 1 – увеличится, 2 – не изменяется; е) 1 – уменьшится, 2 – не изменяется; ж) для ответа не хватает знания величин  $L$ ,  $C$  и  $R$ ;

### 38. Вынужденные электрические колебания

**38.1.** Укажите правильный график зависимости амплитуды  $U_0$  напряжения на конденсаторе  $C$  от частоты  $\omega$  источника внешней ЭДС для вынужденных электрических колебаний в цепи, изображенной на рисунке:



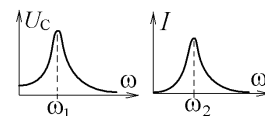
**38.2.** Частота собственных электрических колебаний контура, изображенного на рисунке, равна  $\omega_c$ . Резонанс тока  $I$  в таком контуре будет происходить при частоте внешней ЭДС  $\omega = \omega_p$ .



При этом а)  $\omega_p < \omega_c$ ; б)  $\omega_p = \omega_c$ ; в)  $\omega_p > \omega_c$ ; г) резонанс тока  $I$  невозможен;

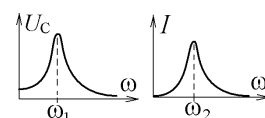
г) в данном контуре резонанс тока  $I$  нет при любой частоте  $\omega_{вн}$ .

**38.3.** Зависимости амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $U_C$  и амплитуды тока  $I$  в электрическом колебательном контуре от частоты  $\omega$  внешней ЭДС показаны на рисунке, где  $\omega_1 = 10^6 \text{ с}^{-1}$ , а коэффициент затухания для этого контура равен  $\beta = 2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Какой должна быть величина частоты  $\omega_2$ ?

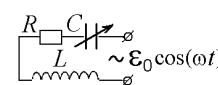


- а)  $5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ ; б)  $10^6 \text{ с}^{-1}$ ; в)  $3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ; г)  $1,72 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ; д)  $2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ;

**38.4.** Зависимости амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $U_C$  и амплитуды тока  $I$  в электрическом колебательном контуре от частоты  $\omega$  внешней ЭДС показаны на рисунке. Какой может быть величина отношения  $\omega_2/\omega_1$  частот, указанных на этом рисунке? а) 1,1; б) 1; в) 0,9; г) 0,5; д)  $e^{-1} = 0,368$ ;

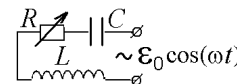


**38.5.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен последовательно источник переменного тока с такой частотой  $\omega$ , что амплитуда падения напряжения на сопротивлении  $R$  достигает максимальной резонансной величины. Ёмкость  $C$  конденсатора увеличили в 2 раза. Что надо сделать с параметрами контура, чтобы резонансное увеличение амплитуды падения напряжения на сопротивлении  $R$  по-прежнему наблюдалось при той же частоте  $\omega$ ?



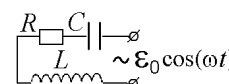
- а) увеличить  $L$  в 2 раза; б) увеличить  $R$  в 2 раза; в) ничего не менять; г) уменьшить  $L$  в 2 раза; д) уменьшить  $R$  в 2 раза;

**38.6.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен последовательно источник переменного тока с такой частотой  $\omega$ , что амплитуда падения напряжения на конденсаторе  $C$  достигает максимальной резонансной величины. Переменное сопротивление  $R$  увеличили в 2 раза. Что надо сделать с параметрами контура, чтобы резонансное увеличение амплитуды падения напряжения на конденсаторе по-прежнему наблюдалось при той же частоте  $\omega$ :

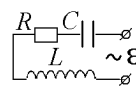


- а) и  $L$ , и  $C$  увеличить в 2 раза; б)  $L$  увеличить, а  $C$  уменьшить в 2 раза; в)  $C$  увеличить, а  $L$  уменьшить в 2 раза; г) и  $L$ , и  $C$  уменьшить в 2 раза;

**38.7.** Полное сопротивление цепи, изображенной на рисунке (где  $R$  – активное сопротивление,  $L$  – индуктивность,  $C$  – ёмкость,  $E_0$  – амплитуда ЭДС внешнего источника) достигает **наибольшего возможного** значения, если частота  $\omega$  внешнего источника равна:

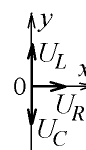


а)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{1}{LC}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{2R^2}{L^2}}$ ; д) 0;



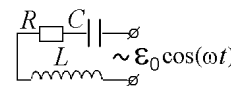
**38.8.** Резистор, катушка индуктивности и конденсатор подключены к источнику

ЭДС, создающей в цепи ток, изменяющийся по закону  $I = I_0 \cos(\omega t)$ , где  $I_0 = 0,1$  А,  $\omega = 3,14$  с<sup>-1</sup>. На втором рисунке представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Амплитудные значения напряжений равны, соответственно,  $U_R = 3$  В;  $U_L = 1$  В;  $U_C = 5$  В. При этом полное сопротивление контура равно:



- а) 70 Ом; б) 50 Ом; в) 90 Ом; г) 120 Ом;

**38.9.** В электрический колебательный контур с активным сопротивлением  $R$ , ёмкостью  $C$  и индуктивностью  $L$  включен источник переменной ЭДС с амплитудой  $\epsilon_0$  (см. рисунок). Какому соотношению должна удовлетворять его циклическая частота  $\omega$ , чтобы амплитуда тока в цепи была в 2 раза меньше максимального резонансного значения?



- а)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = 2R$ ; б)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = R$ ; в)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = \sqrt{2}R$ ; г)  $\frac{1}{\omega C} - \omega L = \sqrt{3}R$ ;

### 39. Переменное электромагнитное поле. Уравнения Максвелла

**39.1.** Величина индукции магнитного поля  $\vec{B}$  между полюсами электромагнита начинает равномерно расти со временем. Что при этом можно сказать о возникающем электрическом поле?



- а) его силовые линии будут кругами, охватывающими линии  $\vec{B}$ ; б) его силовые линии будут направлены вдоль линий  $\vec{B}$ ; в) его силовые линии будут направлены по радиусам от оси магнита; г) в случае равномерного роста  $\vec{B}$  электрическое поле не возникает;

**39.2.** Одно из уравнений Максвелла имеет вид  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ . Оно является обобщением:

- а) теоремы Остроградского-Гаусса для электростатического поля в среде; б) теоремы Остроградского-Гаусса для магнитного поля в среде; в) закона полного тока в среде; г) закона электромагнитной индукции;

**39.3.** Следующая система уравнений Максвелла  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0$ ;  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ;  $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$ ;  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$  справедлива для:

- а) стационарных электрических и магнитных полей в отсутствии токов проводимости; б) переменного электромагнитного поля при наличии заряженных тел и токов проводимости; в) стационарных электрических и магнитных полей при наличии заряженных тел и токов проводимости; г) стационарных электрических и магнитных полей в отсутствии заряженных тел;

**39.4.** Следующая система уравнений Максвелла

$$\text{rot } \vec{E} = 0; \quad \text{rot } \vec{H} = \vec{j}; \quad \text{div } \vec{D} = \rho; \quad \text{div } \vec{B} = 0 \quad \text{описывает:}$$

- а) электростатическое поле; б) постоянное электромагнитное поле;  
в) переменное электромагнитное поле; г) электромагнитную волну;

**39.5.** Следующая система уравнений Максвелла

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

- а) не соответствует никакому реальному электромагнитному полю; б) описывает постоянное электромагнитное поле;  
в) описывает электромагнитную волну в вакууме или диэлектрике; г) записана неверно (с ошибками);

**39.6.** Согласно уравнениям Максвелла в случае электромагнитного поля в идеальной диэлектрической среде циркуляция вектора напряженности электрического поля равна:

а)  $\int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; б)  $\mu\epsilon_0 \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; в)  $\frac{d}{dt} \int_S \vec{D} d\vec{S}$ ; г)  $-\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$ ; д)  $\int_V \rho dV$ ;

**39.7.** Какие из приведенных уравнений системы Максвелла записаны **без ошибок** (правильно)?

1)  $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ ; 2)  $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \epsilon\epsilon_0 \int_V \rho dV$ ; 3)  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} + \int_S \vec{j} d\vec{S}$ ; 4)  $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$ ;

- а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**39.8.** Какие из приведенных уравнений системы Максвелла записаны **с ошибкой** (неверно)?

$$1) \oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad 2) \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \int_V \rho dV; \quad 3) \oint_L \vec{H} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} + \int_S \vec{j} d\vec{S}; \quad 4) \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0;$$

а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**39.9.** Какие из приведенных в дифференциальной форме уравнений системы Максвелла записаны **без ошибок**

(правильно)? 1)  $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ; 2)  $\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$ ; 3)  $\text{div } \vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \rho$ ; 4)  $\text{div } \vec{B} = 0$ ;

а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

**39.10.** Какие из приведенных в дифференциальной форме уравнений системы Максвелла записаны **с ошибкой**

(неверно)? 1)  $\text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ; 2)  $\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \mu \mu_0 \vec{j}$ ; 3)  $\text{div } \vec{D} = \rho$ ; 4)  $\text{div } \vec{B} = 0$ ;

а) 1 и 4; б) 2 и 3; в) 1 и 3; г) 3 и 4; д) 2 и 4; е) 1 и 2;

#### 40. Электромагнитные волны. Вектор Пойнтинга

**40.1.** Выберите правильное перечисление диапазонов электромагнитных волн **в порядке убывания длин волн излучения**: а) ультракороткие радиоволны, видимый свет, инфракрасное излучение, микроволновый диапазон;

б) оптический диапазон, инфракрасный диапазон, микроволновый диапазон, УКВ-диапазон;

в) инфракрасное излучение, оптический диапазон, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение;

г) рентгеновское излучение, оптический диапазон, ультрафиолетовое излучение, микроволновый диапазон;

**40.2.** Величина вектора напряженности электрического поля плоской электромагнитной синусоидальной волны, распространяющейся в диэлектрической среде с  $\epsilon > 1$  вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $E = A \cdot \sin(\alpha t - \beta x)$ , где  $A = 0,01$  В/м,  $\alpha = 6,28 \cdot 10^8$  с<sup>-1</sup>,  $\beta = 2$  м<sup>-1</sup>. При этом длина волны равна: а) 3,14 м; б) 2 м; в) 3 м; г) 0,01 м;

**40.3.** Напряженность электрического поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{E} = \vec{k} E_0 \cos(\omega t + k y)$ . Напряженность  $\vec{H}$  магнитного поля этой волны имеет вид ( $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат):

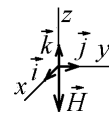
а)  $\vec{i} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ; б)  $\vec{j} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ; в)  $-\vec{j} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ; г)  $-\vec{i} H_0 \cos(\omega t + k y)$ ;



**40.4.** Напряженность магнитного поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{H} = -\vec{k} H_0 \cos(\omega t - k x)$ . Напряженность  $\vec{E}$  электрического поля этой волны имеет вид ( $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат):

а)  $-\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; б)  $\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; в)  $-\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ;

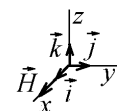
г)  $\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k x)$ ; д) такая волна не существует;



**40.5.** Напряженность магнитного поля плоской электромагнитной волны имеет вид  $\vec{H} = \vec{i} H_0 \cos(\omega t - k x)$ . Напряженность  $\vec{E}$  электрического поля этой волны имеет вид ( $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат):

а)  $-\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; б)  $\vec{k} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; в)  $-\vec{i} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ;

г)  $\vec{j} E_0 \cos(\omega t - k z)$ ; д) такая волна не существует;



**40.6.** В плоской электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, в некоторый момент времени вектор напряженности электрического поля направлен вдоль вектора  $\vec{i}$ , а вектор напряженности магнитного поля – **против** вектора  $\vec{k}$ , где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты декартовой системы координат. Вектором скорости этой волны будет ( $c$  – скорость света):

а)  $\vec{j} c$ ; б)  $-\vec{j} c$ ; в)  $(\vec{i} + \vec{k})c/\sqrt{2}$ ; г)  $(\vec{i} - \vec{k})c/\sqrt{2}$ ; д)  $(\vec{k} - \vec{i})c/\sqrt{2}$ ;

**40.7.** Энергия электромагнитного поля переносится электромагнитной волной вдоль оси  $Oz$ . В некоторый момент времени вектор напряженности электрического поля этой волны направлен вдоль оси  $Oy$ . В тот же момент времени вектор напряженности магнитного поля волны направлен:

а) вдоль оси  $Ox$ ; б) против оси  $Oz$ ; в) против оси  $Oy$ ; г) против оси  $Ox$ ;

**40.8.** Амплитуда напряженности магнитного поля электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, уменьшилась в 4 раза. При этом величина амплитуды вектора Пойнтинга для этой волны:

а) увеличилась в 2 раза; б) уменьшилась в 2 раза; в) увеличилась в 4 раза;

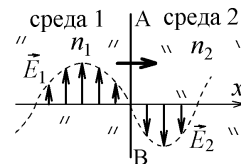
г) уменьшилась в 4 раза; д) увеличилась в 16 раз; е) уменьшилась в 16 раз;

**40.9.** Величина амплитуды плотности энергии электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, увеличилась в 4 раза. При этом амплитуда напряженности электрического поля этой волны:

- а) увеличилась в 2 раза; б) уменьшилась в 2 раза; в) увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз;  
г) уменьшилась в  $\sqrt{2}$  раз; е) увеличилась в 4 раза; ж) уменьшилась в 4 раза;

**40.10.** Величина амплитуды напряженности магнитного поля электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме, равна  $H_0 = 1$  А/м. Известно, что  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м. Величина амплитуды вектора Пойнтинга этой волны равна: а)  $2,65 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>с; б) 1 Дж/м<sup>2</sup>с; в) 377 Дж/м<sup>2</sup>с; г)  $7,04 \cdot 10^{-6}$  Дж/м<sup>2</sup>с;

**40.11.** На рисунке представлена мгновенная «фотография» электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ. Напряженность электрического поля в первой и второй среде изменяется согласно уравнениям  $E_1 = E_0 \sin(\omega t - 5 \cdot 10^6 \pi x)$  и  $E_2 = E_0 \sin(\omega t - 8 \cdot 10^6 \pi x)$ . Относительный показатель преломления двух сред  $n_2/n_1$  равен: а) 1,6; б) 1; в) 0,625;



#### 41. Интерференция света. Интерференционная схема Юнга

**41.1.** Когерентные волны с длиной волны  $\lambda$  и с начальными фазами  $\phi_2$  и  $\phi_1$  создадут при сложении интерференционный максимум в точке экрана, где их оптическая разность хода равна  $\Delta$ , если ( $m$  – целое число):

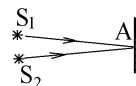
- а)  $\phi_2 - \phi_1 = \pi/2$ ; б)  $\phi_2 - \phi_1 = (2m+1)\pi$ ; в)  $\Delta = (2m+1)\lambda/2$ ; г)  $\phi_2 - \phi_1 = 2m\pi$ ;

**41.2.** При интерференции двух когерентных электромагнитных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный минимум наблюдается в точке, где их оптическая разность хода равна:

- а) 0 мкм; б) 0,5 мкм; в) 1 мкм; г) 2 мкм; д) 4 мкм;

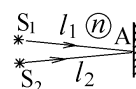
**41.3.** Оптическая разность хода лучей, приходящих в точку А от двух когерентных источников  $S_1$  и  $S_2$  с длиной волны 600 нм, равна 1,5 мкм. В точке А наблюдается ..... так как разность хода равна ..... числу полуволн:

- а) максимум, четному; б) минимум, четному; в) максимум, нечетному; г) минимум, нечетному;

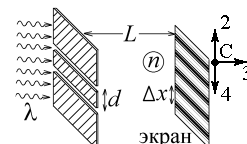


**41.4.** Расстояния от когерентных источников света  $S_1$  и  $S_2$  с длиной волны  $\lambda$  до точки А на экране равны  $l_1$  и  $l_2$ . Свет проходит эти расстояния в прозрачной среде с показателем преломления  $n = 2$ . В точке А наблюдается интерференционный максимум при условии (число  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ):

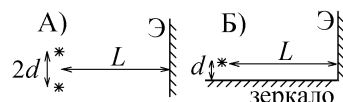
- а)  $l_2 - l_1 = \frac{m\lambda}{4}$ ; б)  $l_2 - l_1 = \frac{m\lambda}{2}$ ; в)  $l_2 - l_1 = \frac{(2m+1)\lambda}{4}$ ; г)  $l_2 - l_1 = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$ ;



**41.5.** На непрозрачную преграду с двумя узкими параллельными прорезями, находящимися на расстоянии  $d$  друг от друга, падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . За преградой на большом удалении  $L \gg d$  расположен экран. Показатель преломления прозрачной среды между ними равен  $n$ . При одновременном уменьшении расстояния  $d$  в 2 раза и увеличении расстояния  $L$  в 2 раза ширина интерференционных полос  $\Delta x$  на экране: а) уменьшается в 4 раза; б) уменьшается в 2 раза; в) не изменяется; г) увеличивается в 2 раза; д) увеличивается в 4 раза;



**41.6.** В первом опыте точечные источники света находятся на расстоянии  $2d$  друг от друга на очень большом удалении  $L$  от экрана Э (рис.А). Во втором опыте тот же источник света находится на расстоянии  $d$  над зеркалом на том же удалении  $L$  от экрана (рис.Б). При этом интерференционные картины на экране ....., а ширины интерференционных полос  $\Delta x$  связаны соотношением .....: а) совпадают,  $\Delta x_A = \Delta x_B$ ; б) смещены на половину полосы,  $\Delta x_A = \Delta x_B$ ; в) смещены на одну полосу,  $\Delta x_A = \Delta x_B$ ; г) не совпадают,  $\Delta x_A = 2\Delta x_B$ ;



**41.7.** Лучи от двух когерентных источников  $S_1$  и  $S_2$  с длиной волны  $\lambda = 500$  нм, находящихся в воздухе, попадают на экран Э, удаленный на большое расстояние. На сколько полос сдвинется интерференционная картина на экране, если на пути одного из лучей поместить прозрачную стеклянную пластинку толщиной  $d = 2$  мкм с показателем преломления  $n = 1,5$ ?

- а) на половину; б) на одну; в) на две; г) на три; д) на четыре;



#### 42. Интерференция света в тонких пленках

**42.1.** Постоянно меняющаяся радужная окраска мыльных пузырей или бижутерии объясняется:

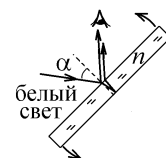
- а) дифракцией света; б) поляризацией света; в) интерференцией света; г) дисперсией света; д) явлением двойного лучепреломления;

**42.2.** Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет желтый цвет. При постепенном уменьшении показателя преломления пленки этот цвет станет: а) оранжевым; б) зеленым; в) не изменится;

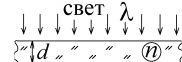
**42.3.** На тонкую пленку из прозрачного материала с показателем преломления  $n$ , находящуюся в воздухе, падает сверху белый свет. При этом на поверхности пленки наблюдаются интерференционные полосы. Цветовая окраска участка каждой из полос меняется в направлении слева направо, указанном стрелкой на рисунке следующим образом:



**42.4.** Луч белого света падает под углом  $\alpha$  на очень тонкую прозрачную слюдяную пластинку с показателем преломления  $n$ . Наблюдатель видит, что отраженный свет в наибольшей степени окрашен в зеленый цвет. Пластинку очень медленно начинают поворачивать против часовой стрелки, уменьшая угол  $\alpha$ . Что произойдет с цветом отраженного луча?

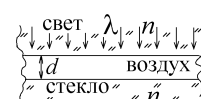


**42.5.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает нормально на находящуюся в воздухе пленку толщины  $d$ , сделанную из прозрачного материала с показателем преломления  $n = 1,5$ . Условием интерференционного минимума для отраженного света будет ( $m$  – целое число):



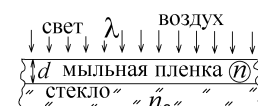
- а)  $2dn = m\lambda$ ; б)  $2dn = (2m + 1/2)\lambda$ ; в)  $2d/n = m\lambda$ ; г)  $2dn = (m + 1/2)\lambda$ ;  
 д)  $2dn = (m + 1/4)\lambda$ ; е)  $2d/n = (2m + 1)\lambda$ ; ж)  $2d/n = (m + 1/2)\lambda$ ;

**42.6.** Монохроматический свет распространяется в стекле с показателем преломления  $n = 1,5$  и падает нормально на тонкую воздушную прорезь-прослойку толщины  $d$ . Интерференционный максимум для отраженного света наблюдается в том случае, когда длина волны  $\lambda$  падающего света равна (выберите ответ, если  $m = 1, 2, 3, \dots$ ).



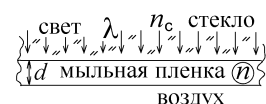
- а)  $\frac{2dn}{m}$ ; б)  $\frac{2d}{m}$ ; в)  $\frac{2d}{m \pm 1/2}$ ; г)  $\frac{2dn}{(2m \pm 1)}$ ; д)  $\frac{2dn}{m \pm 1/2}$ ; е)  $\frac{2d}{(2m \pm 1)}$ ;

**42.7.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает из воздушной среды нормально на плоскую прозрачную мыльную пленку толщины  $d$  с показателем преломления  $n = 1,33$ , находящуюся на стекле с показателем преломления  $n_c = 1,5$ . Оптическая разность хода между лучами, отраженными от пленки равна:



- а)  $2dn$ ; б)  $2dn + \frac{\lambda}{2}$ ; в)  $2dn + \lambda$ ; г)  $2dn_c$ ; д)  $\frac{2d}{n} + \frac{\lambda}{2}$ ; е)  $2dn_c + \frac{\lambda}{2}$ ;

**42.8.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает нормально сверху из стекла с показателем преломления  $n_c = 1,5$ , к нижней поверхности которого прилипла прозрачная мыльная пленка с показателем преломления  $n = 1,33$ . Интерференционный минимум для отраженного от мыльной пленки света наблюдается в том случае, когда её толщина  $d$  равна ( $m$  – целое число):

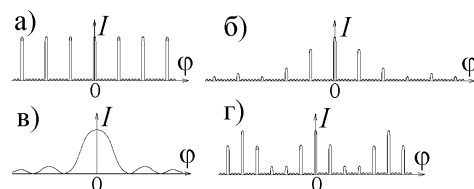


- а)  $\frac{m\lambda}{2n_c}$ ; б)  $\frac{(m+1/2)\lambda}{2n}$ ; в)  $\frac{(m+1/2)\lambda}{2n_c}$ ; г)  $\frac{m\lambda}{2n}$ ; е)  $\frac{(2m+1)\lambda}{n_c}$ ;

### 43. Многолучевая интерференция. Дифракционная решетка

**43.1.** На дифракционную решетку падает нормально белый свет. Угол дифракции в спектре  $m$ -го порядка больше для лучей ..... цвета: а) зелёного; б) оранжевого; в) фиолетового; г) желтого; д) одинаков для всех цветов;

**43.2.** На дифракционную решетку падает монохроматический свет. Укажите правильный рисунок распределения интенсивности  $I$  света, созданной за решеткой ( $\varphi$  – угол дифракции)

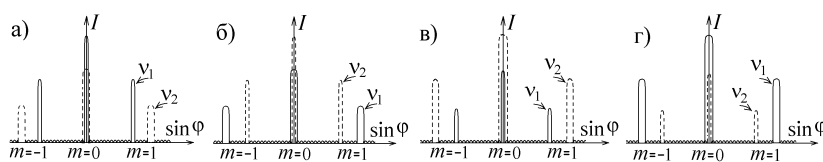


**43.3.** На дифракционную решетку с постоянной  $d$  и шириной каждой щели  $a$  падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . За решеткой установлен экран, на котором наблюдается интерференционная картина.

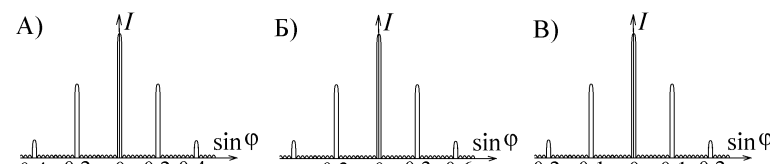
Спектр  $m$ -го порядка на этой картине не виден, поскольку его положение совпадает с положением дифракционного минимума на щели. Ширину  $a$  щелей решетки увеличивают, не меняя  $d$  и  $\lambda$ . При этом (выберите правильное утверждение):

- а) спектр  $m$ -го порядка сместится к центру интерференционной картины и станет виден;  
 б) спектр  $m$ -го порядка сместится от центра интерференционной картины и станет виден;  
 в) спектр  $m$ -го порядка станет виден, поскольку положение дифракционного минимума сместится от центра интерференционной картины;  
 г) спектр  $m$ -го порядка станет виден, поскольку положение дифракционного минимума сместится к центру интерференционной картины;

**43.4.** На дифракционную решетку одновременно падает два монохроматических световых излучения с разными частотами  $\nu_1 > \nu_2$  и с разными интенсивностями  $I_1 > I_2$  соответственно. Укажите правильный рисунок главных интерференционных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой ( $\varphi$  – угол дифракции):



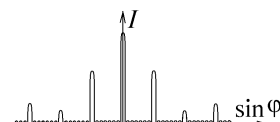
**43.5.** Три дифракционные решетки с различными постоянными освещаются одним и тем же монохроматическим излучением. Укажите рисунки положения главных интерференционных максимумов, создаваемых решетками с наибольшей  $d_{\max}$  и наименьшей  $d_{\min}$  постоянной  $d$  ( $\varphi$  – угол дифракции): а) А -  $d_{\max}$ , В -  $d_{\min}$ ; б) Б -  $d_{\max}$ , В -  $d_{\min}$ ; в) В -  $d_{\max}$ , Б -  $d_{\min}$ ;



**43.6.** Постоянная дифракционной решетки  $d=2,6$  мкм, а длина волны падающего на решетку нормально монохроматического света  $\lambda=600$  нм. Спектр какого максимального порядка  $m_{\max}$  можно наблюдать за решеткой (укажите правильный ответ): а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8;

**43.7.** Постоянная дифракционной решетки, на которую нормально падает монохроматический свет, равна 3,6 мкм. За решеткой под углом  $30^\circ$  к направлению падающего света наблюдается интерференционный максимум (спектр) 4-го порядка. Величина длины волны света равна: а) 400 нм; б) 450 нм; в) 500 нм; г) 600 нм; д) 700 нм; е) 750 нм;

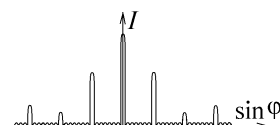
**43.8.** На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет. Зависимость интенсивности  $I$  света, прошедшего за решетку, от синуса угла дифракции  $\varphi$  показана на рисунке. Во сколько раз изменятся расстояния между интерференционными максимумами (спектрами) на этом рисунке, если постоянную решетки уменьшить в 2 раза, а длину волны падающего света увеличить в 2 раза? а) увеличатся в 4 раза; б) увеличатся в 2 раза; в) не изменятся; г) уменьшатся в 2 раза; д) уменьшатся в 4 раза;



**43.9.** На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет.  $\varphi$  – угол дифракции, под которым за решеткой наблюдают главный интерференционный максимум (спектр) 2-го порядка. Во сколько раз изменится величина  $\sin \varphi$ , если постоянную решетки уменьшить в три раза, а длину волны падающего света увеличить в полтора раза (выберите правильный ответ): а) увеличится в 4,5 раза; б) увеличится в 3 раза; в) увеличится в 2 раза; г) не изменится; д) уменьшится в 2 раза; е) уменьшится в 4,5 раза;

**43.10.** На дифракционную решетку спектрографа падает свет натриевой лампы, состоящий из двух монохроматических волн с  $\lambda_1 = 589,0$  нм и  $\lambda_2 = 589,6$  нм. Решетка характеризуется постоянной  $d$ , шириной каждой щели  $a$  и числом освещаемых щелей  $N$ . На экране спектрографа, расположенном за решеткой, две спектральные линии, соответствующие этим длинам волн, сливаются в одну. Чтобы увидеть их отдельно, следует (выберите правильное утверждение): а) не меняя  $a$  и  $d$ , уменьшить  $N$ ; б) не меняя  $a$  и  $d$ , увеличить  $N$ ; в) не меняя  $a$  и  $N$ , уменьшить  $d$ ; г) не меняя  $d$  и  $N$ , увеличить  $a$ ;

**43.11.** На дифракционную решетку падает пучок монохроматического света, освещающий все щели решетки. За решеткой на удаленном экране наблюдается интерференционная картина, изображенная на рисунке. Дифракционную решетку сломали вдоль одной из её щелей и выбросили отломившийся кусок. Укажите, что произойдет наблюдаемой на экране интерференционной картиной:

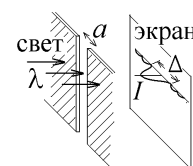


- главные интерференционные максимумы раздвинутся от центра интерференционной картины;
- главные интерференционные максимумы сдвинутся к центру интерференционной картины;
- ширина главных интерференционных максимумов уменьшится;
- ширина главных интерференционных максимумов не изменится;
- ширина главных интерференционных максимумов увеличится;

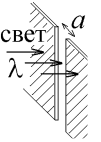
#### 44. Дифракция на узкой щели

**44.1.** Монохроматический свет падает нормально на узкую прорезь-щель в непрозрачной преграде и создает на удаленном экране дифракционную картину. Что произойдет с шириной  $\Delta$  центрального дифракционного максимума на экране, если ширину щели  $a$  уменьшить в 2 раза, а длину волны  $\lambda$  падающего света уменьшить в 1,5 раза (укажите правильный ответ):

- увеличится в 3 раза;
- увеличится в 2 раза;
- увеличится в 1,5 раза;
- увеличится в 1,33 раза;
- уменьшится в 1,33 раза;



**44.2.** Монохроматический свет падает нормально на узкую прорезь-щель ширины  $a = 3,6$  мкм в непрозрачной преграде. Дифракционный минимум 3-го порядка наблюдается за щелью под углом  $30^\circ$  к направлению падающего света. Чему равна величина длины волны  $\lambda$  падающего света?  
а) 400 нм; б) 450 нм; в) 500 нм; г) 600 нм; д) 700 нм; е) 750 нм;

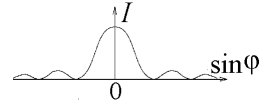


**44.3.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм падает нормально на узкую прорезь-щель ширины  $a = 3$  мкм в непрозрачной преграде. Дифракционный минимум наблюдается за щелью под углом  $\varphi = 30^\circ$  к направлению падающего света. Сколько зон Френеля открывает щель для этого угла наблюдения?  
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 12; з) нет правильного ответа;



**44.4.** Плоская монохроматическая световая волна падает на узкую прорезь в плоской преграде, за которой установлен параллельный преграде экран. Ширину прорези  $a$  увеличивают. При этом ширина дифракционного изображения щели на экране:  
а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется;  
г) сначала увеличивается, а потом уменьшается; д) сначала уменьшается, а потом увеличивается;

**44.5.** Монохроматический свет падает нормально на узкую щель-прорезь в непрозрачной преграде и распространяется за щелью под всеми возможными углами  $\varphi$  к направлению падения. Распределение интенсивности  $I$  прошедшего через щель света показано на рисунке. Что произойдет с шириной центрального максимума  $\Delta$  на этом рисунке, если и ширину прорези, и длину волны падающего света уменьшить в 2 раза:



а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза;

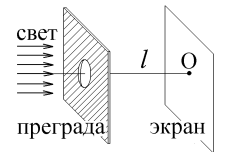
#### 45. Дифракция на круглом отверстии

**45.1.** Круглое отверстие в непрозрачной преграде открывает для центральной точки экрана, лежащей на оси отверстия, только одну зону Френеля. Во сколько раз изменится амплитуда вектора напряженности электрического поля световой волны, приходящей в эту точку, если убрать преграду с отверстием, заслонявшую часть света?

а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз;  
г) не изменится; д) уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз; е) уменьшится в 2 раза;

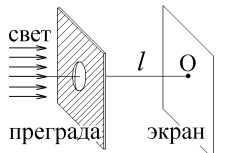
**45.2.** Белый свет падает нормально на плоскую преграду с прорезанным отверстием. За преградой на удалении  $l$  установлен параллельный экран. В центре экрана О вследствие дифракции света на отверстии наблюдается максимум освещенности зеленого света. Экран начинают медленно придвигать к преграде, уменьшая расстояние  $l$ . При этом в центре экрана О:

а) появляется максимум освещенности желтого света; б) появляется максимум освещенности голубого света; в) сохраняется максимум освещенности зеленого света;



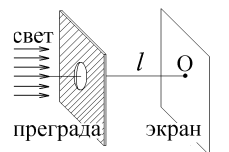
**45.3.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием. За преградой на удалении  $l$  установлен экран. Чтобы в центре экрана О наблюдался дифракционный минимум освещенности, радиус отверстия  $r$  должен быть равен (выберите правильный ответ, где  $m$  – любое целое число):

а)  $\sqrt{(m + 1/2)\lambda l}$ ; б)  $\sqrt{(2m + 1)\lambda l}$ ; в)  $\sqrt{2m\lambda l}$ ; г)  $\frac{l^2}{2m\lambda}$ ; д)  $\frac{l^2}{(2m + 1)\lambda}$ ;



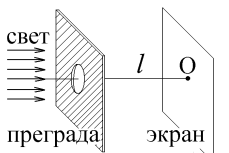
**45.4.** Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием радиуса  $r$ . Экран, находящийся за преградой, постепенно приближают к ней, уменьшая расстояние  $l$ . Самое большое расстояние  $l$ , при котором в точке О экрана на оси отверстия будет наблюдаться дифракционный минимум, равно:

а)  $\frac{r^2}{\lambda}$ ; б)  $\frac{r^2}{2\lambda}$ ; в)  $\frac{2r^2}{\lambda}$ ; г)  $\frac{\lambda^2}{r}$ ; д)  $\frac{\lambda^2}{2r}$ ; е)  $\frac{2\lambda^2}{r}$ ; ж) другой ответ;

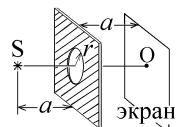


**45.5.** Монохроматическая плоская световая волна падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием. Экран установлен за преградой на самом большом возможном расстоянии  $l$ , при котором в точке О экрана на оси отверстия наблюдается дифракционный минимум освещенности. Наибольшее возможное расстояние  $l'$  от преграды до экрана, при котором в точке О будет наблюдаться дифракционный максимум равно:

а)  $l/\sqrt{2}$ ; б)  $l/4$ ; в)  $2l$ ; г)  $l/2$ ; д)  $\sqrt{2}l$ ; е)  $4l$ ; ж) другой ответ;

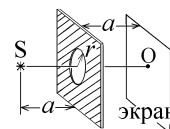


**45.6.** Точечный источник монохроматического света с длиной волны  $\lambda$  находится на расстоянии  $a$  от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием радиуса  $r$ . За преградой на таком же расстоянии  $a$  установлен экран. Для того, чтобы в точке О экрана (лежащей, как и источник света S, на оси отверстия) наблюдался дифракционный максимум освещенности, расстояние  $a$  должно



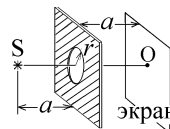
быть равно (выберите ответ, где  $m$  – любое целое число): а)  $\frac{r^2}{m\lambda}$ ; б)  $\frac{(m + 1/2)r^2}{\lambda}$ ; в)  $\frac{r^2}{\lambda(m + 1/2)}$ ; г)  $\frac{2mr^2}{\lambda}$ ; д)  $\frac{r^2}{2m\lambda}$ ;

**45.7.** Точечный источник монохроматического света  $S$  с длиной волны  $\lambda$  и экран находятся на одинаковом расстоянии  $a$  от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием. Самый маленький радиус отверстия  $r$ , при котором в точке  $O$  экрана (лежащей, как и источник света  $S$ , на оси отверстия) будет наблюдаться дифракционный максимум, равен (выберите ответ):



- а)  $\frac{2a^2}{\lambda}$ ; б)  $\sqrt{\lambda a/4}$ ; в)  $\frac{a^2}{\lambda}$ ; г)  $\sqrt{\lambda a/2}$ ; д)  $\frac{a^2}{2\lambda}$ ; е)  $\sqrt{\lambda a}$ ; ж)  $\sqrt{2\lambda a}$ ;

**45.8.** Точечный источник монохроматического света  $S$  с длиной волны  $\lambda$  и экран находятся на одинаковом расстоянии  $a$  от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием. При этом расстояние  $a$  имеет наибольшую возможную величину, при которой в точке  $O$  экрана (лежащей, как и источник света  $S$ , на оси отверстия) наблюдается дифракционный минимум освещенности. Что надо сделать с расстоянием  $a$  слева и справа от преграды, чтобы в точке  $O$  оказался соседний дифракционный максимум меньшего порядка (выберите правильный ответ):



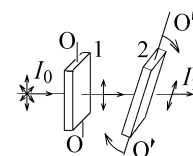
- а) увеличить в 4 раза; б) увеличить в 2 раза; в) увеличить в  $\sqrt{2}$  раз;  
г) уменьшить в 4 раза; д) уменьшить в 2 раза; е) уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз;

## 46. Поляризация света

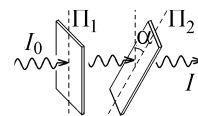
**46.1.** На поляризатор падает солнечный луч света с интенсивностью  $I_0$ . При вращении оси пропускания поляризатора вокруг направления луча интенсивность света за поляризатором:

- а) меняется от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$ ; б) меняется от  $I_{\min}$  до  $I_0$ ; в) не меняется и равна  $I_0$ ; г) не меняется и равна  $I_0/2$ ;

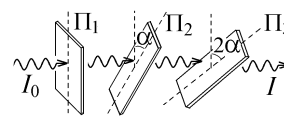
**46.2.** На пути луча естественного света с интенсивностью  $I_0$  установлены две пластинки из турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью плоскополяризован. Пластика 2 вначале установлена так, что не пропускает света. На какой угол  $\phi$  надо после этого повернуть её ось  $O'O'$  вокруг направления распространения луча света, чтобы она стала пропускать свет с интенсивностью  $I_2 = 3I_0/8$ : а) на  $45^\circ$ ; б) на  $60^\circ$ ; в) на  $30^\circ$ ;



**46.3.** Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит через систему из двух поляризаторов  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . Угол  $\alpha$  между осями пропускания поляризаторов увеличивают от значения  $\alpha_1 = 30^\circ$  до значения  $\alpha_2 = 60^\circ$ . При этом интенсивность  $I$  света, прошедшего через систему поляризаторов уменьшается (выберите правильный ответ): а) в  $\sqrt{2}$  раз; б) в  $\sqrt{3}$  раз; в) в 2 раза; г) в 3 раза; д) не изменяется;

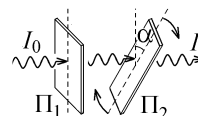


**46.4.** Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит через систему из трех последовательных поляризаторов  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$ . Оси пропускания поляризаторов  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  составляют, соответственно углы  $\alpha = 30^\circ$  и  $2\alpha = 60^\circ$  с осью пропускания первого поляризатора  $\Pi_1$  (см.рисунок). При этом интенсивность  $I$  света, прошедшего через систему поляризаторов,



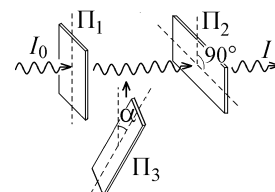
- равна: а) 0; б)  $\frac{I_0}{8}$ ; в)  $\frac{3I_0}{8}$ ; г)  $\frac{3I_0}{4}$ ; д)  $\frac{3I_0}{16}$ ; е)  $\frac{3I_0}{32}$ ; ж)  $\frac{9I_0}{16}$ ; з)  $\frac{9I_0}{32}$ ;

**46.5.** Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит через систему из двух поляризаторов  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ . Угол  $\alpha$  между осями пропускания поляризаторов меняют в пределах  $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$ . При этом интенсивность  $I$  света, прошедшего через систему поляризаторов меняется в пределах:



- а)  $0 \leq I \leq I_0$ ; б)  $0 \leq I \leq \frac{I_0}{4}$ ; в)  $\frac{I_0}{8} \leq I \leq \frac{I_0}{2}$ ; г)  $\frac{I_0}{4} \leq I \leq \frac{I_0}{2}$ ;

**46.6.** Естественный свет падает на систему из двух поляризаторов  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , оси пропускания которых скрещены под углом  $90^\circ$ . Между ними помещают третий поляризатор  $\Pi_3$ , ось пропускания которого составляет угол  $\alpha = 45^\circ$  с осью пропускания первого поляризатора (см.рисунок). Интенсивность света, прошедшего через систему из трех поляризаторов оказалась равной  $I$ . Чему равна интенсивность  $I_0$  падающего на систему света (укажите правильный ответ): а)  $I$ ; б)  $\sqrt{2}I$ ; в)  $2I$ ; г)  $2\sqrt{2}I$ ; д)  $8I$ ; е)  $8\sqrt{2}I$ ; ж)  $16I$ ;



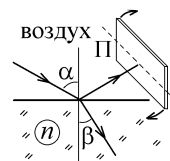
**46.7.** На плоскую поверхность раздела двух прозрачных диэлектрических сред под углом Брюстера падает луч естественного света. Можно сделать следующие утверждения: А) отраженный луч плоскополяризован; Б) преломленный луч плоскополяризован; В) отраженный луч частично поляризован; Г) преломленный луч частично поляризован; Д) отраженный луч не поляризован; Е) преломленный луч не поляризован. Укажите, какие из этих утверждений верны: а) В и Е; б) А и Б; в) В и Б; г) А и Г; д) Д и Е; е) В и Г;

**46.8.** При падении луча естественного света из воздуха на плоскую границу прозрачного диэлектрика отраженный луч полностью плоскополяризован при угле падения  $60^\circ$ . При этом угол преломления равен:

- а)  $15^\circ$ ; б)  $30^\circ$ ; в)  $45^\circ$ ; г)  $60^\circ$ ; д)  $75^\circ$ ;

**46.9.** Луч естественного света падает из воздуха на плоскую границу диэлектрика. Угол падения  $\alpha = 60^\circ$ . На пути отраженного луча стоит поляризатор П. При некоторой ориентации оси пропускания поляризатора отраженный свет через него не проходит. Чему равен показатель преломления  $n$  диэлектрика?

- а)  $\sqrt{2} = 1,41$ ; б) 1,5; в)  $\sqrt{3} = 1,73$ ; г) 2; д) другой ответ;

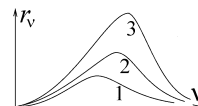


#### 47. Тепловое излучение

**47.1.** Абсолютно черное тело и серое тело имеют одинаковую температуру. При этом большую энергетическую светимость имеет:

- а) абсолютно черное тело; б) серое тело; в) их светимости одинаковы; г) результат зависит от соотношения площадей их поверхности;

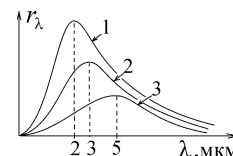
**47.2.** На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости (излучательной способности) абсолютно черного тела от частоты излучения. Наибольшей температуре соответствует график:



**47.3.** Частота, на которую приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, увеличилась в 2 раза. Во сколько раз изменится величина энергии, излучаемой этим телом с единицы поверхности за 1 секунду?

- а) уменьшится в 16 раз; б) уменьшится в 4 раза; в) уменьшится в 2 раза; г) не изменится; д) увеличится в 2 раза; е) увеличится в 4 раза; ж) увеличится в 16 раз;

**47.4.** На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости (излучательной способности) абсолютно черного тела от длины волны излучения. Кривым 1, 2 и 3 соответствуют температуры  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . При этом отношение температур  $T_3/T_1$  равно:



**47.5.** Первоначально с единицы поверхности абсолютно черного тела испускалось тепловое излучение с мощностью  $P_0 = 480$  Вт. Затем мощность этого излучения уменьшилась до величины  $P = 120$  Вт. Во сколько раз изменилась при этом длина волны, на которую приходится максимум теплового излучения?

- а) уменьшилась в 1,41 раз; б) уменьшилась в 2 раза; в) не изменилась; г) увеличилась в 2 раза; д) увеличилась в 1,41 раз;

**47.6.** Абсолютно черное тело имело форму куба. Затем его объем увеличили в 8 раз, увеличив размер ребер куба в 2 раза, а температуру уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась величина энергии теплового излучения, испускаемого данным телом по всем направлениям за единицу времени?



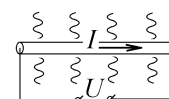
- а) увеличилась в 16 раз; б) уменьшилась в 4 раза; в) не изменилась; г) увеличилась в 4 раза; д) уменьшилась в 16 раз;

**47.7.** Абсолютно черное тело имело форму шара с диаметром 1 м. Затем начальную температуру этого тела увеличили в 4 раза. Во сколько раз надо изменить диаметр (не меняя шарообразную форму тела), чтобы энергия теплового излучения, испускаемого по всем направлениям за единицу времени не изменилась?



- а) увеличить в 2 раза; б) увеличить в 1,41 раз; в) уменьшить в 16 раз; г) увеличить в 4 раза; д) уменьшить в 2 раза;

**47.8.** Известно, что тепловое излучение испускается с боковой поверхности провода, который подключен к источнику постоянного напряжения  $U$ .  $T$  – температура боковой поверхности провода,  $S$  – площадь боковой поверхности провода,  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана. Считая провод абсолютно черным телом, можно вычислить текущий по проводу ток  $I$  по формуле:



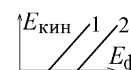
- а)  $\frac{U}{\sigma T^4}$ ; б)  $\frac{US}{\sigma T^4}$ ; в)  $\frac{U}{\sigma T^4}$ ; г)  $\frac{\sigma T^4}{U}$ ; д)  $\frac{\sigma T^4}{US}$ ; е)  $\frac{\sigma T^4}{U}$ ;

#### 48. Явление фотоэффекта

**48.1.** Свет, подающий на металл, вызывает эмиссию электронов из металла. Что происходит с количеством выбитых электронов  $\Delta N$  и с их кинетической энергией  $E_k$  если интенсивность света уменьшается, а его частота при этом остается неизменной:

- а)  $\Delta N$  уменьшается,  $E_k$  уменьшается; б)  $\Delta N$  не меняется,  $E_k$  не меняется; в)  $\Delta N$  не меняется,  $E_k$  уменьшается; г)  $\Delta N$  уменьшается,  $E_k$  не меняется;

**48.2.** Графики зависимости максимальной кинетической энергии электронов, выбитых из двух металлов “1” и “2” с соответственной величиной работы выхода электрона  $A_1$  и  $A_2$ , от величины энергии  $E_\phi$  каждого из падающих на металл фотонов имеют вид, изображенный на рисунке. Выберите правильное утверждение:

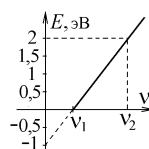


- а)  $A_1 = A_2$ ; б)  $A_1 < A_2$ ; в)  $A_1 > A_2$ ; г) рисунок неверен, т. к. для разных металлов различен наклон графика;

**48.3.** Что можно сказать о величине частоты  $\nu_k$ , соответствующей красной границе фотоэффекта? С увеличением работы выхода  $A$  электрона из металла она (выберите правильное утверждение):

- а) не изменяется; б) увеличивается; в) уменьшается;

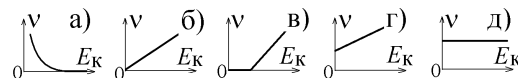
г) для ответа недостаточно данных, так как  $v_k$  зависит не только от  $A$ , но и от энергии падающих на металл фотонов;



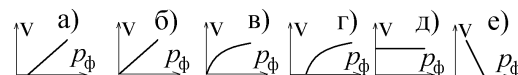
**48.4.** На графике представлена зависимость кинетической энергии  $E$  фотоэлектронов от частоты падающего света  $\nu$ . Из графика следует, что для частоты  $\nu_2$  энергия падающего фотона равна:

- а) 0,5 эВ; б) 1 эВ; в) 1,5 эВ; г) 2 эВ; д) 3 эВ;

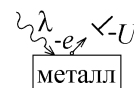
**48.5.** Выберите правильный график зависимости частоты  $\nu$  падающих на металл фотонов от величины максимально возможной кинетической энергии  $E_k$  выбитого при фотоэффекте электрона:



**48.6.** Выберите правильный график зависимости максимально возможной величины скорости  $v$  выбитого из металла при фотоэффекте электрона от величины импульса  $p_\phi$  падающего на металл фотона:



**48.7.** Фотоны выбивают из металла электроны с зарядом  $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, которые задерживаются разностью потенциалов  $U$ . При этом  $A$  - работа выхода электрона из данного металла;  $h$  - постоянная Планка,  $c$  - скорость света в вакууме. Длина волны  $\lambda$  таких фотонов равна:

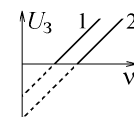


- а)  $\frac{A+|eU|}{hc}$ ; б)  $\frac{A-|eU|}{hc}$ ; в)  $\frac{|eU|-A}{hc}$ ; г)  $\frac{hc}{A-|eU|}$ ; д)  $\frac{hc}{A+|eU|}$ ;

**48.8.** Что происходит с величиной задерживающей разности потенциалов при уменьшении работы выхода электрона из металла, если длина волны  $\lambda$  падающего на металл света не изменяется. Она:

- а) не меняется, т. к. не меняется  $\lambda$ ; б) уменьшается; в) увеличивается; г) не меняется, так как не меняется энергия каждого из фотонов; д) зависит только от количества фотонов, т.е. от интенсивности света;

**48.9.** На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения  $U_3$  от частоты  $\nu$  падающего света для внешнего фотоэффекта. Делаются утверждения:



А) зависимости получены для двух разных металлов; Б) если  $A_1$  и  $A_2$  - работы выхода электрона из металлов 1 и 2, то  $A_2 > A_1$ ; В) если  $\lambda_{к1}$  и  $\lambda_{к2}$  - значения красной границы фотоэффекта для металлов 1 и 2, то  $\lambda_{к1} < \lambda_{к2}$ ; Г) линии 1 и 2 на рисунке параллельны лишь для металлов с одинаковой работой выхода.

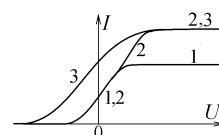
Укажите, какие из утверждений верны: а) А и Б; б) Б и Г; в) А и В; г) Б и В; д) В и Г;

**48.10.** График зависимости максимальной кинетической энергии  $E_k$  электрона, выбитого из металла, от частоты  $\nu$  падающего на металл света изображен на рисунке. Постоянную Планка надо искать по формуле:



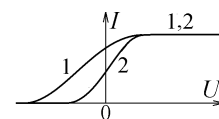
- а)  $h = \text{arctg } \alpha$ ; б)  $h = \text{ctg } \alpha$ ; в)  $h = \text{tg } \alpha/2$ ; г) верной формулы нет;

**48.11.** На рисунке представлены три вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если  $N$  - число фотонов, падающих на фотокатод за единицу времени, а  $\nu$  - их частота, то справедливо следующее утверждение:



- а)  $\nu_3 < \nu_2 = \nu_1$ ,  $N_1 < N_2 = N_3$ ; б)  $\nu_3 > \nu_2 = \nu_1$ ,  $N_1 > N_2 = N_3$ ;  
в)  $\nu_3 > \nu_2 = \nu_1$ ,  $N_1 < N_2 = N_3$ ; г)  $\nu_3 < \nu_2 = \nu_1$ ,  $N_1 > N_2 = N_3$ ;

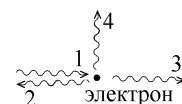
**48.12.** На рисунке представлены две вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если  $E$  - освещенность фотокатода, а  $\lambda$  - длина волны падающего на него света, то справедливо следующее утверждение:



- а)  $\lambda_1 < \lambda_2$ ,  $E_1 < E_2$ ; б)  $\lambda_1 < \lambda_2$ ,  $E_1 = E_2$ ; в)  $\lambda_1 > \lambda_2$ ,  $E_1 < E_2$ ;  
г)  $\lambda_1 > \lambda_2$ ,  $E_1 = E_2$ ; д)  $\lambda_1 = \lambda_2$ ,  $E_1 < E_2$ ; е)  $\lambda_1 < \lambda_2$ ,  $E_1 > E_2$ ;

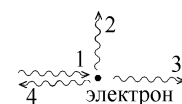
## 49. Комптон-эффект

**49.1.** Фотоны "1" с длиной волны  $\lambda_1$  падают на покоящийся электрон. В результате комптоновского рассеяния разлетаются фотоны "2", "3" и "4" с длинами волн  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  и  $\lambda_4$  соответственно (см. рисунок). Выберите правильное соотношение между длинами волн:



- а)  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$ ; б)  $\lambda_1 > \lambda_4 > \lambda_3 > \lambda_2$ ; в)  $\lambda_4 > \lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ ;  
г)  $\lambda_2 > \lambda_4 > \lambda_3 = \lambda_1$ ; д)  $\lambda_1 = \lambda_3 > \lambda_4 > \lambda_2$ ; е)  $\lambda_3 > \lambda_4 > \lambda_2 = \lambda_1$ ;

**49.2.** Фотоны "1" с частотой  $\nu_1$  падают на покоящийся электрон. В результате комптоновского рассеяния разлетаются фотоны "2", "3" и "4" с частотами  $\nu_2$ ,  $\nu_3$  и  $\nu_4$  соответственно (см. рисунок). Наибольшую величину имеет отношение:

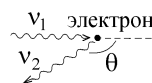


- а)  $\nu_2/\nu_3$ ; б)  $\nu_2/\nu_4$ ; в)  $\nu_3/\nu_4$ ; г)  $\nu_3/\nu_2$ ; д)  $\nu_4/\nu_2$ ; е)  $\nu_4/\nu_3$ ;

**49.3.** Фотоны с энергией  $E_0$ , падающие на покоящийся электрон с комптоновской длиной волны  $\Lambda_k$ , рассеиваются на нем в разных направлениях под разными углами  $\theta$ . На рисунке показаны два рассеянных фотона “1” и “2” с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно. Укажите правильное соотношение: а)  $\lambda_2 > \lambda_1 > \Lambda_k$ ; б)  $\lambda_1 > \lambda_2 > \Lambda_k$ ; в)  $\Lambda_k > \lambda_2 > \lambda_1$ ; г)  $\Lambda_k > \lambda_1 > \lambda_2$ ;

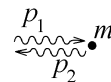


**49.4.** Фотон с частотой  $\nu_1$  рассеивается на покоящемся электроне под углом  $\theta = 120^\circ$  к первоначальному направлению движения и имеет после рассеяния частоту  $\nu_2$  (см. рисунок). Величину комптоновской длины волны электрона  $\Lambda$  можно рассчитать по формуле ( $c$  – скорость света):



- а)  $\frac{3c(\nu_1 - \nu_2)}{2\nu_1\nu_2}$ ; б)  $\frac{2c(\nu_2 - \nu_1)}{3\nu_1\nu_2}$ ; в)  $\frac{2c(\nu_1 - \nu_2)}{3\nu_1\nu_2}$ ; г)  $\frac{3c(\nu_2 - \nu_1)}{2\nu_1\nu_2}$ ;

**49.5.** Фотон с импульсом  $p_1$  рассеивается на покоящейся микрочастице, улетая после рассеяния противоположно первоначальному направлению движения, и имеет после рассеяния импульс  $p_2$ . Величину массы  $m$  микрочастицы можно рассчитать по формуле (где  $c$  – скорость света):

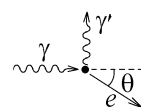


- а)  $\frac{2(p_1 - p_2)}{cp_1p_2}$ ; б)  $\frac{2p_1p_2}{c(p_1 - p_2)}$ ; в)  $\frac{2p_1p_2}{c(p_2 - p_1)}$ ; г)  $\frac{p_1p_2}{c(p_1 - p_2)}$ ;

**49.6.** Фотон с первоначальной длиной волны  $\lambda$  рассеивается под углом  $\theta = 60^\circ$  к первоначальному направлению движения на покоящемся электроне, имеющем комптоновскую длину волны  $\Lambda$ . После рассеяния длина волны фотона: а) увеличится на  $2\Lambda$ ; б) уменьшится на  $\Lambda/2$ ; в) увеличится на  $\Lambda$ ; г) уменьшится на  $\Lambda$ ; д) увеличится на  $\Lambda/2$ ;



**49.7.** На рисунке показаны направления падающего фотона  $\gamma$ , рассеянного фотона  $\gamma'$  и электрона отдачи  $e$ . Угол рассеяния фотона на первоначально покоившемся электроне равен  $90^\circ$ , электрон отдачи движется под углом  $\theta = 30^\circ$  к направлению движения падающего фотона. Если импульс электрона отдачи  $3$  (МэВ·с)/м, то импульс падающего фотона (в тех же единицах) равен:



- а)  $2\sqrt{3}$ ; б)  $3/2$ ; в)  $\sqrt{3}$ ; г)  $3\sqrt{3}/2$ ; д)  $2/\sqrt{3}$ ;

## 50. Фотоны. Давление света

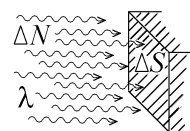
**50.1.** Импульс фотона имеет наибольшее значение в следующем диапазоне частот:

- а) видимого света; б) инфракрасного излучения; в) рентгеновского излучения; д) ультрафиолетового излучения;

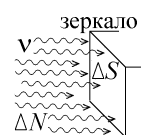
**50.2.** Лазер испускает  $N$  фотонов за единицу времени и имеет длину волны  $\lambda$ . Луч лазера падает на зеркальную поверхность. Давление, которое он оказывает на поверхность:

- а) пропорционально  $N$  и не зависит от  $\lambda$ ; б) пропорционально  $N/\lambda$ ; в) пропорционально  $N\lambda$ ; г) пропорционально  $1/\lambda$  и не зависит от  $N$ ; д) пропорционально  $\lambda/N$ ; е) пропорционально  $1/(N\lambda)$ ;

**50.3.** На зачерненную поверхность тела нормально падают фотоны монохроматического лазерного излучения с длиной волны  $\lambda$ , создавая давление  $p$ . Сколько фотонов  $\Delta N$  попадает на площадку  $\Delta S$  за время  $\Delta t$ , если тело поглощает всё падающее на него излучение (укажите правильную формулу, где  $h$  – постоянная Планка): а)  $\frac{2p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$ ; б)  $\frac{p\Delta t\Delta S}{h\lambda}$ ; в)  $\frac{hp\Delta t\Delta S}{\lambda}$ ; г)  $\frac{p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$ ; д)  $\frac{p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$ ;



**50.4.** На поверхность тела нормально падают фотоны монохроматического излучения, действуя на поверхность с силой  $F$ . За время  $\Delta t$  на эту поверхность падает  $\Delta N$  фотонов. Тело зеркально отражает всё падающее на него излучение. Частоту  $\nu$  данного излучения можно вычислить по формуле ( $h$  – постоянная Планка,  $c$  – скорость света): а)  $\frac{cF\Delta t}{2h\Delta N}$ ; б)  $\frac{hcF\Delta t}{2\Delta N}$ ; в)  $\frac{cF\Delta t}{h\Delta N}$ ; г)  $\frac{c\Delta t}{hF\Delta N}$ ; д)  $\frac{hcF\Delta t}{\Delta N}$ ; е)  $\frac{c\Delta t}{2hF\Delta N}$ ;



**50.5.** На зеркальную пластинку падает световой поток. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности за единицу времени, увеличить в 2 раза, а зеркальную поверхность зачернить, то световое давление:

- а) уменьшится в 4 раза; б) уменьшится в 2 раза; в) не изменится; г) увеличится в 2 раза; д) увеличится в 4 раза;

**50.6.** Параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda_1 = 500$  нм падает нормально на зачерненную плоскую поверхность и производит на нее давление  $p$ . Какое давление будет производить другой падающий нормально на зеркальную поверхность параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda_2 = 750$  нм, если плотность фотонов в нем в 3 раза больше плотности фотонов в первом световом пучке: а)  $0,5p$ ; б)  $0,667p$ ; в)  $1,33p$ ; г)  $1,5p$ ; д)  $2p$ ; е)  $4p$ ;

**50.7.** Параллельный пучок света падал на зачерненную плоскую поверхность под углом  $\theta = 45^\circ$  к нормали и производил на нее давление  $p$ . Угол падения света уменьшили до  $30^\circ$ . После этого пучок света стал производить давление: а)  $3p$ ; б)  $2p$ ; в)  $1,5p$ ; г)  $p$ ; д)  $0,816p$ ; е)  $0,5p$ ;

**50.8.** Параллельный пучок света падал на зеркальную плоскую поверхность под углом  $45^\circ$  к нормали и производил на нее давление  $p$ . Укажите, какое давление будет производить тот же пучок света, падая нормально на зачерненную плоскую поверхность: а)  $p/2$ ; б)  $p$ ; в)  $2p$ ; г)  $4p$ ; д)  $8p$ ;

**50.9.** Параллельный пучок света падает на зеркальную плоскую поверхность под углом  $60^\circ$  к нормали и производит давление  $p$ . При замене зеркальной поверхности на зачерненную давление света не изменится, если угол падения будет равен: а)  $0^\circ$ ; б)  $23^\circ$ ; в)  $30^\circ$ ; г)  $45^\circ$ ; д)  $60^\circ$ ; е)  $67^\circ$ ;

## 51. Волновые свойства микрочастиц. Волна де Бройля

**51.1.** Нерелятивистская микрочастица с зарядом  $q$  была ускорена разностью потенциалов  $\Delta\phi$ . После этого длина волны де Бройля частицы оказалась равной  $\lambda_B$ . Укажите формулу, по которой можно вычислить массу данной частицы, если  $h$  – постоянная Планка: а)  $\frac{\lambda_B^2}{2qh^2\Delta\phi}$ ; б)  $\frac{h^2}{q\Delta\phi\lambda_B^2}$ ; в)  $\frac{2h^2}{q\Delta\phi\lambda_B^2}$ ; г)  $\frac{\lambda_B^2}{qh^2\Delta\phi}$ ; д)  $\frac{h^2}{2q\Delta\phi\lambda_B^2}$ ;

**51.2.** Кинетическая энергия первой нерелятивистской микрочастицы в четыре раза больше кинетической энергии второй микрочастицы. Укажите правильную величину отношения  $\lambda_{B1}/\lambda_{B2}$  длины волны де Бройля первой микрочастицы к длине волны де Бройля второй микрочастицы, если масса первой микрочастицы в два раза больше массы второй микрочастицы: а)  $\sqrt{8}$ ; б)  $0,5$ ; в)  $2$ ; г)  $1/\sqrt{2}$ ; д)  $4$ ; е)  $1$ ; ж)  $\sqrt{2}$ ; з)  $1/\sqrt{8}$ ;

**51.3.** Отношение величин скоростей нерелятивистских частиц 1 и 2 равно  $v_1/v_2 = 0,25$ , а отношение их длин волн де Бройля равно, соответственно,  $\lambda_{B1}/\lambda_{B2} = 2$ . Укажите правильную величину отношения  $m_1/m_2$  массы первой частицы к массе второй частицы: а)  $8$ ; б)  $4$ ; в)  $2$ ; г)  $1$ ; д)  $1/2$ ; е)  $1/4$ ; ж)  $1/8$ ;

**51.4.** Масса  $\alpha$ -частицы (ядра гелия) в 2 раза больше массы дейтрона (ядра дейтерия, изотопа водорода). Первоначально они покоились. Затем дейтрон ускоряется электрическим полем с разностью потенциалов  $\Delta\phi_D$ , а  $\alpha$ -частица ускоряется электрическим полем с разностью потенциалов  $\Delta\phi_\alpha$ . После ускорения обе частицы имеют одинаковую величину длины волны де Бройля. Укажите правильную величину отношения  $\Delta\phi_D/\Delta\phi_\alpha$ : а)  $4$ ; б)  $0,25$ ; в)  $16$ ; г)  $1$ ; д)  $1/16$ ; е)  $2$ ; ж)  $0,5$ ;

**51.5.** Нерелятивистский протон был ускорен такой же разностью потенциалов, что и  $\alpha$ -частица (ядро атома гелия). Укажите верную величину отношения  $\lambda_{B\alpha}/\lambda_{Bp}$  длины волны де Бройля  $\alpha$ -частицы к длине волны де Бройля протона: а)  $1$ ; б)  $\sqrt{2}$ ; в)  $2$ ; г)  $\sqrt{8}$ ; д)  $4$ ; е)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ; ж)  $\frac{1}{2}$ ; з)  $\frac{1}{\sqrt{8}}$ ; и)  $\frac{1}{4}$ ;

## 52. Соотношения неопределенности

**52.1.** Неопределенность измерения энергии некоторой частицы равна  $\Delta_n E$ . Укажите соотношение для величины неопределенности  $\Delta_n t$  времени измерения этой энергии, если  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с:

а)  $\Delta_n t \geq \frac{\hbar \Delta_n E}{2}$ ; б)  $\Delta_n t = \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$ ; в)  $\Delta_n t \leq \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$ ; г)  $\Delta_n t \geq \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$ ;

**52.2.** В некотором эксперименте величину проекции импульса на ось  $x$  измеряют настолько точно, что её неопределенность стремится к нулю:  $\Delta_n p_x \rightarrow 0$ . При этом неопределенность местоположения данной частицы (неопределенность её координаты  $x$ ) (укажите правильное утверждение, где  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с):

а)  $\Delta_n x \rightarrow 0$ ; б)  $\Delta_n x \rightarrow \hbar$ ; в)  $\Delta_n x \rightarrow \hbar/2$ ; г)  $\Delta_n x \rightarrow \infty$ ;  
д) точности измерения  $\Delta_n p_x \rightarrow 0$  нельзя добиться в принципе;

**52.3.** Проводя измерения различных параметров микрочастицы, измеряют её: 1) полную энергию  $E$ ; 2) полный момент импульса  $L$ ; 3) проекцию момента импульса  $L_x$  на ось  $x$ ; 4) координату  $x$ ; 5) проекцию  $L_z$  момента импульса на ось  $z$ ; 6) координату  $z$ ; 7) проекцию импульса  $p_x$  на ось  $x$ ; 8) проекцию импульса  $p_y$  на ось  $y$ ; 9) момент времени измерения  $t$ .

Оказывается, что одновременно **нельзя** измерить или определить следующие величины (укажите правильный ответ из приведенных): а) 1 и 5; б) 7 и 8; в) 1 и 2; г) 4 и 6; д) 6 и 7; е) 1 и 9; ж) 2 и 5;

**52.4.** Проводя измерения различных параметров микрочастицы измеряют её: 1) координату  $x$ ; 2) проекцию импульса  $p_x$  на ось  $x$ ; 3) проекцию импульса  $p_y$  на ось  $y$ ; 4) полный момент импульса  $L$ ; 5) координату  $y$ ; 6) проекцию момента импульса  $L_x$  на ось  $x$ ; 7) полную энергию  $E$ ; 8) момент времени измерения  $t$ .

Оказывается, что одновременно **нельзя** измерить или определить следующие величины (укажите два правильных ответа из приведенных): а) 2 и 3; б) 3 и 5; в) 2 и 5; г) 7 и 8; д) 4 и 7; е) 4 и 6;

**52.5.** Проводя измерения различных параметров микрочастицы измеряют её: 1) полный момент импульса  $L$ ; 2) полную энергию  $E$ ; 3) проекцию момента импульса  $L_x$  на ось  $x$ ; 4) координату  $x$ ; 5) проекцию момента импульса  $L_z$  на ось  $z$ ; 6) координату  $z$ ; 7) проекцию импульса  $p_x$  на ось  $x$ ; 8) проекцию импульса  $p_y$  на ось  $y$ ; 9) момент времени измерения  $t$ .

Оказывается, что одновременно **можно** измерить или определить следующие величины (укажите два правильных ответа из приведенных): а) 2 и 9; б) 4 и 7; в) 1 и 2; г) 2 и 5; д) 3 и 5;

**52.6.** При измерении полной энергии микрочастицы неопределенность времени измерения (длительность процесса измерения) оказалась равной  $\Delta_n t = 10^{-10}$  с. При этом порядок неопределенности измеренной величины энергии микрочастицы можно оценить из соотношения: а)  $\Delta_n E \geq 10^{34}$  Дж; б)  $\Delta_n E \geq 10^{-34}$  Дж; в)  $\Delta_n E \geq 10^{-19}$  Дж; г)  $\Delta_n E \geq 10^{-24}$  Дж; д)  $\Delta_n E \leq 10^{-24}$  Дж; е)  $\Delta_n E \leq 10^{-34}$  Дж;

### 53. Боровский одноэлектронный атом и постулат Бора

**53.1.** Электрон в одноэлектронном атоме переходит с шестой на вторую боровскую орбиту. При этом величина (модуль)  $|E|$  его энергии:

а) увеличивается в 9 раз; б) увеличивается в 3 раза; в) не изменяется; г) уменьшается в 3 раза; д) уменьшается в 9 раз;

**53.2.** Электрон с массой  $m$  и с отрицательным электрическим зарядом  $-q$  находится в поле кулоновского притяжения очень тяжелой частицы с положительным электрическим зарядом  $+Q$ , образуя одноэлектронный атом. Электрон переходит с четвертой на вторую боровскую орбиту. При этом его энергия уменьшается на величину ( $k = 1/4\pi\epsilon_0$ ,

$\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка): а)  $\frac{1}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; б)  $\frac{1}{4} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; в)  $\frac{3}{16} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; г)  $\frac{3}{32} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ;

**53.3.** Электрон с массой  $m$  и с отрицательным электрическим зарядом  $-q$  находится в поле кулоновского притяжения ядра с массой  $M$  и с положительным электрическим зарядом  $+Q$ , образуя одноэлектронный атом. При этом  $M \gg m$ ,  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ ,  $\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка. Электрон переходит с шестой на третью боровскую орбиту. При

этом атом испускает фотон с энергией: а)  $\frac{1}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; б)  $\frac{1}{12} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; в)  $\frac{1}{6} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ; г)  $\frac{1}{24} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$ ;

**53.4.** Микрочастица с массой  $m$  и с отрицательным электрическим зарядом  $-q$  находится в поле кулоновского притяжения микрочастицы с массой  $M$  и с положительным электрическим зарядом  $+Q$ . При этом  $M \gg m$ ,  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ ,  $c$  – скорость света. Чтобы перейти из основного в первое возбужденное состояние такой квантовой системы, частица с массой

$m$  должна поглотить фотон с импульсом, равным: а)  $\frac{3}{4} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$ ; б)  $\frac{3}{8} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$ ; в)  $\frac{3}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$ ; г)  $3 \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$ ;

**53.5.** Электрон с массой  $m$  и с отрицательным электрическим зарядом  $-q$  образует одноэлектронный атом вместе с очень тяжелым ядром, имеющим положительный электрический заряд  $+Q$ . Отношение величин (модулей)  $|E_1|/|E_2|$  энергии  $E_1$  первого возбужденного состояния электрона, и энергии  $E_2$  электрона, находящегося на шестой боровской орбите равно: а) 2; б) 3; в) 4,5; г) 6; д) 9; е) 12; ж) 24;

**53.6.** Если радиус  $n$ -й боровской электронной орбиты в одноэлектронном атоме равен шестнадцати радиусам первой боровской орбиты, то отношение  $\lambda_{Бn}/\lambda_{Б1}$  длины волны де Бройля электрона, находящегося на  $n$ -й орбите к длине волны де Бройля электрона, находящегося на первой орбите, равно: а) 0,25; б) 0,5; в) 1; г) 2; д) 4;

**53.7.** Если величина (модуль)  $|E_1|$  энергии электрона, находящегося на первой боровской электронной орбите одноэлектронного атома в 25 раз больше величины (модуля)  $|E_n|$  энергии электрона, находящегося на  $n$ -й боровской орбите, то отношение  $|L_1|/|L_n|$  величин моментов импульса электронов, находящихся на первой и на  $n$ -й боровских орбитах, равно: а) 0,2; б) 0,25; в) 0,4; г) 0,5; д) 1; е) 2; ж) 2,5; з) 4; и) 5;

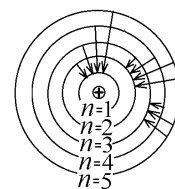
**53.8.** Если величина  $L_n$  момента импульса электрона, находящегося на  $n$ -й боровской электронной орбите одноэлектронного атома, в три раза больше величины  $L_2$  момента импульса электрона, находящегося на второй боровской орбите, то отношение  $r_n/r_2$  радиуса  $n$ -й орбиты к радиусу второй орбиты равно:

а) 1/9; б) 1/6; в) 1/3; г) 1; д) 3; е) 6; ж) 9; з) другой ответ;

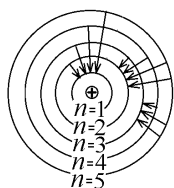
**53.9.** С увеличением номера  $n$  боровской электронной орбиты в одноэлектронном атоме величина скорости  $v_n$  электрона, находящегося на этой орбите: а) уменьшается пропорционально  $n^3$ ; б) уменьшается пропорционально  $n^2$ ; в) уменьшается пропорционально  $n$ ; г) не изменяется; д) возрастает пропорционально  $n$ ; е) возрастает пропорционально  $n^2$ ; ж) возрастает пропорционально  $n^3$ ;

## 54. Спектральные серии одноэлектронного атома

**54.1.** На рисунке схематически изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора. Также условно изображены переходы электрона с одной орбиты на другую, сопровождающиеся испусканием фотона. Наименьшей частоте испущенного фотона в серии Пашена соответствует следующий переход из тех, что изображены на рисунке:



- а)  $n=3 \rightarrow n=2$ ; б)  $n=2 \rightarrow n=1$ ; в)  $n=4 \rightarrow n=3$ ; г)  $n=5 \rightarrow n=2$ ; д)  $n=5 \rightarrow n=1$ ;



**54.2.** На рисунке условно изображены переходы электрона в одноэлектронном атоме с одной боровской орбиты на другую, сопровождающиеся испусканием фотона. Среди всех переходов, изображенных на рисунке, наибольшему импульсу испущенного фотона в серии Лаймана соответствует следующий переход: а)  $n=3 \rightarrow n=2$ ; б)  $n=2 \rightarrow n=1$ ; в)  $n=4 \rightarrow n=3$ ; г)  $n=5 \rightarrow n=2$ ; д)  $n=5 \rightarrow n=1$ ;

**54.3.** Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом  $n$  на орбиту с главным квантовым числом  $n'$  в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При этом максимальной длине волны излучения в серии Бальмера соответствует переход:

- а)  $n = \infty \rightarrow n' = 1$ ; б)  $n = \infty \rightarrow n' = 2$ ; в)  $n = \infty \rightarrow n' = 3$ ;  
г)  $n = 2 \rightarrow n' = 1$ ; д)  $n = 4 \rightarrow n' = 3$ ; е)  $n = 3 \rightarrow n' = 2$ ; ж)  $n = 3 \rightarrow n' = 1$ ; з)  $n = 4 \rightarrow n' = 1$ ;

**54.4.** Максимальной частоте испущенного фотона в серии Лаймана соответствует следующий переход электрона с  $n$ -й боровской орбиты атома водорода на  $n'$ -ю орбиту:

- а)  $n = \infty \rightarrow n' = 3$ ; б)  $n = \infty \rightarrow n' = 3$ ; в)  $n = \infty \rightarrow n' = 1$ ; г)  $n = 2 \rightarrow n' = 1$ ; д)  $n = 3 \rightarrow n' = 2$ ; е)  $n = 4 \rightarrow n' = 3$ ;

**54.5.** Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом  $n$  на орбиту с главным квантовым числом  $n'$  в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При этом переходе  $n = \infty \rightarrow n' = 3$  соответствует следующая длина волны излучения  $\lambda$  (укажите правильный ответ):

- а) минимальная в серии Лаймана; б) максимальная в серии Лаймана; в) минимальная в серии Бальмера; г) максимальная в серии Бальмера; д) минимальная в серии Пашена; е) максимальная в серии Пашена;

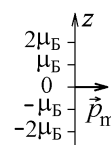
**54.6.** Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом  $n$  на орбиту с главным квантовым числом  $n'$  в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При том переходе  $n = 3 \rightarrow n' = 2$  соответствует следующая величина импульса испущенного фотона (выберите правильный ответ):

- а) минимальная в серии Лаймана; б) максимальная в серии Лаймана; в) минимальная в серии Бальмера; г) максимальная в серии Бальмера; д) минимальная в серии Пашена; е) максимальная в серии Пашена;

## 55. Формулы квантования момента импульса и магнитного момента электрона

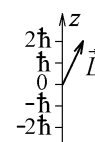
**55.1.** Электрон находится в одной из  $d$  – подоболочек атома. Укажите, какие из перечисленных ниже значений **может** принимать проекция вектора орбитального момента импульса этого электрона на направление  $z$  внешнего магнитного поля: а)  $-\hbar$  и  $3\hbar$ ; б) 0 и  $4\hbar$ ; в) 0 и  $3\hbar$ ; г)  $-2\hbar$  и  $\hbar$ ; д)  $\hbar$  и  $4\hbar$ ;

**55.2.** На рисунке приведена одна из возможных ориентаций вектора орбитального магнитного момента  $\vec{\mu}_m$  электрона из многоэлектронного атома. Укажите электронную подоболочку, в которой находится этот электрон ( $\mu_B$  – магнетон Бора,  $z$  – направление внешнего магнитного поля):



- а)  $g$  – подоболочка; б)  $d$  – подоболочка; в)  $p$  – подоболочка;  
г)  $s$  – подоболочка; д)  $f$  – подоболочка; е) нет правильного ответа;

**55.3.** На рисунке приведена одна из возможных ориентаций вектора орбитального момента импульса электрона из многоэлектронного атома. Укажите электронную подоболочку, в которой находится этот электрон ( $\hbar$  – постоянная Планка,  $z$  – направление внешнего магнитного поля):



- а)  $g$  – подоболочка; б)  $d$  – подоболочка; в)  $p$  – подоболочка;  
г)  $s$  – подоболочка; д)  $f$  – подоболочка; е) нет правильного ответа;

**55.4.** На рисунке указаны все возможные ориентации вектора орбитального магнитного момента электрона из многоэлектронного атома относительно оси  $z$ , направленной вдоль линий индукции внешнего магнитного поля ( $\mu_B$  – магнетон Бора). Величина этого вектора равна: а)  $3\mu_B$ ; б)  $\sqrt{6}\mu_B$ ; в)  $\sqrt{8}\mu_B$ ; г)  $\sqrt{15/2}\mu_B$ ; д)  $\sqrt{12}\mu_B$ ;

**55.5.** Отношение величины (модуля) вектора орбитального момента импульса электрона, находящегося в  $5g$  – подоболочке возбужденного атома, к максимальному значению величины (модуля) проекции этого вектора на ось  $z$  равна: а) 1; б)  $\sqrt{4/3}$ ; в)  $\sqrt{5/2}$ ; г)  $\sqrt{3/2}$ ; д)  $\sqrt{5/4}$ ; е) 2,5; ж)  $\sqrt{5}$ ;

**55.6.** Отношение величины (модуля) максимального значения проекции на ось  $z$  вектора орбитального момента импульса электрона, находящегося в  $4f$  – подоболочке атома, к модулю проекции вектора спинового (собственного) момента импульса этого электрона на ту же ось равно: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 9;

**55.7.** Отношение величины (модуля) максимального значения проекции на ось  $z$  вектора орбитального магнитного момента электрона, находящегося в  $4f$  – подоболочке атома, к модулю проекции вектора спинного (собственного) магнитного момента этого электрона на ту же ось равно: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 9;

**55.8.** Отношение величины (модуля) вектора орбитального магнитного момента электрона, находящегося в  $3d$  – подоболочке атома, к величине (модулю) спинного (собственного) магнитного момента этого электрона равно: а) 1; б)  $\sqrt{2}$ ; в)  $\sqrt{3}$ ; г)  $\sqrt{6}$ ; д)  $\sqrt{8}$ ; е) 3;

## 56. Заполнение электронных подболочек Система квантовых чисел

**56.1.** Указанные далее подболочки атома урана заполнены электронами полностью. Отношение числа электронов в  $4f$  – подболочке к числу электронов в  $2p$  – подболочке равно:

а) 1,5; б) 1,67; в) 2; г) 2,33; д) 2,67; е) 3; ж) 4; з) 6;

**56.2.** Укажите величину  $\Delta N$ , на которую отличается число электронов в полностью заполненных  $3d$  – и  $2s$  – подболочках многоэлектронного атома: а) 2; б) 3; в) 4; г) 6; д) 8; е) 10; ж) 12;

**56.3.** Укажите все обозначения подболочек многоэлектронного атома, которые записаны с ошибкой:

а)  $1s$ ; б)  $3p$ ; в)  $2d$ ; г)  $4d$ ; д)  $3s$ ; е)  $5f$ ; ж)  $3d$ ; з) ошибок нет;

**56.4.** Оболочки многоэлектронного атома с главными квантовыми числами  $n=4$  и  $n=3$ . Разность чисел заполняющих их электронов равна: а) 1; б) 6; в) 8; г) 10; д) 14; е) 16; ж) 20; з) 24; и) 32;

**56.5.** В полностью заполненной оболочке гипотетического многоэлектронного атома с главным квантовым числом  $n = 5$  находится  $N_1$  электронов.  $N_2$  – число электронов в последней подболочке этой оболочки с максимальным значением орбитального квантового числа. Укажите правильную величину отношения  $N_1/N_2$  :

а) 1; б)  $\frac{5}{4}$ ; в)  $\frac{9}{5}$ ; г)  $\frac{9}{7}$ ; д)  $\frac{50}{9}$ ; е)  $\frac{25}{7}$ ; ж)  $\frac{25}{9}$ ; з)  $\frac{32}{9}$ ;

**56.6.** Оболочка гипотетического атома с главным квантовым числом  $n = 6$  полностью заполнена электронами. В подболочках этой оболочки с максимальным и минимальным возможным значением орбитального квантового числа находится, соответственно,  $N_1$  и  $N_2$  электронов. Укажите величину отношения  $N_1/N_2$  :

а) 11; б) 10; в) 9; г) 8; д) 7; е) 6; ж) 5; з) 4; и) 3; к) 2;

**56.7.** Если не учитывать влияние собственного магнитного момента электрона, то при включении внешнего магнитного поля энергетический уровень электрона, находящегося в  $5f$  – подболочке возбужденного атома водорода расщепится на ..... подуровней: а) 2; б) 3; в) 4; г) 5; д) 6; е) 7; ж) 8; з) 9; и) 10; к) 12;

## 57. Волновые функции. Уравнение Шредингера

**57.1.** Микрочастица с массой  $m$  находится в стационарном потенциальном поле, а её состояние описывается волновой функцией  $\psi(x)$ , зависящей от координаты  $x$ . Если  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, то кинетическую энергию частицы

можно вычислить из соотношения: а)  $E_k = \frac{-\hbar^2}{2m\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}$ ; б)  $E_k = \frac{-2m}{\hbar^2\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}$ ; в)  $E_k = \frac{\hbar^2\psi(x)}{2m \cdot d^2\psi(x)/dx^2}$ ;

г)  $E_k = \frac{-\hbar^2\psi(x)}{2m \cdot d^2\psi(x)/dx^2}$ ; д)  $E_k = \frac{\hbar^2}{2m\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}$ ; е)  $E_k = \frac{2m}{\hbar^2\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}$ ;

**57.2.** Микрочастица находится в стационарном потенциальном поле, в котором имеет потенциальную энергию  $U(x, y, z)$  и полную энергию  $E$ , а её состояние описывается волновой функцией  $\psi(x, y, z)$ . Если  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, а

$\Delta$  – дифференциальный оператор Лапласа, то массу  $m$  частицы можно вычислить из соотношения: а)  $m = \frac{\hbar^2}{2(U-E)} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}$ ;

б)  $m = \frac{2(E-U)}{\hbar^2} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}$ ; в)  $m = \frac{2(U-E)}{\hbar^2} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}$ ; г)  $m = \frac{\hbar^2}{2(U-E)} \cdot \frac{\psi}{\Delta\psi}$ ; д)  $m = \frac{\hbar^2}{2(E-U)} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}$ ; е)  $m = \frac{\hbar^2}{2(E-U)} \cdot \frac{\psi}{\Delta\psi}$ ;

**57.3.** Состояние свободной микрочастицы описывается волновой функцией  $\psi(x) = A \cos(kx)$ , где  $A$  и  $k$  – постоянные величины, масса частицы равна  $m$ , а её полная энергия равна  $E$ . Постоянную  $k$  можно вычислить из соотношения,

где  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с: а)  $k = -\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ ; б)  $k = \frac{1}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{E}}$ ; в)  $k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$ ; г)  $k = -\frac{1}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{E}}$ ;

**57.4.** Полная энергия свободной микрочастицы равна  $E$ . Её состояние описывается волновой функцией  $\psi(x) = C \exp(i\alpha x)$ , где  $C$  и  $\alpha$  – постоянные величины,  $i$  – мнимая единица. Массу  $m$  частицы можно вычислить из соот-

ношения ( $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с): а)  $m = \frac{\hbar^2}{2E\alpha^2}$ ; б)  $m = -\frac{\alpha^2 \hbar^2}{2E}$ ; в)  $m = -\frac{\hbar^2}{2E\alpha^2}$ ; г)  $m = \frac{\alpha^2 \hbar^2}{2E}$ ;

**57.5.** Состояния двух свободных электронов описываются волновыми функциями  $\psi_1(x) = A_1 \cos(k_1 x)$  и  $\psi_2(x) = A_2 \cos(k_2 x)$ , где  $A_1, A_2, k_1$  и  $k_2$  – постоянные величины. Известно что электрон с волновой функцией  $\psi_1$  имеет полную энергию  $E_1$ . Укажите, какой должна быть полная энергия электрона с волновой функцией  $\psi_2$ , если  $k_2 = k_1/2$ :

а)  $E_2 = \frac{E_1}{16}$ ; б)  $E_2 = \frac{E_1}{2}$ ; в)  $E_2 = 2E_1$ ; г)  $E_2 = \frac{E_1}{4}$ ; д)  $E_2 = 4E_1$ ;

**57.6.** Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы, движущейся вдоль оси  $x$ , имеет вид  $\psi(x) = A \cdot \sqrt{\cos(kx)}$ , где  $A$  и  $k$  – постоянные величины. Плотность вероятности обнаружения частицы максимальна в точке с координатой: а)  $x = \frac{\pi}{8k}$ ; б)  $x = \frac{\pi}{k}$ ; в)  $x = \frac{\pi}{2k}$ ; г)  $x = \frac{\pi}{4k}$ ; д)  $x = \frac{2}{k}$ ;

**57.7.** Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы в центрально-симметричном поле, имеет вид  $\psi(r) = A \cdot \exp(-kr^2)$ , где  $A$  и  $k$  – постоянные действительные величины,  $r$  – расстояние до центральной точки. Плотность вероятности обнаружения частицы на расстоянии  $r$  от центральной точки равна: а)  $4\pi A^2 r^2 \exp(-kr^2)$ ; б)  $A^2 \exp(-2kr^2)$ ; в)  $4\pi A^2 \exp(-kr^2)$ ; г)  $A^2 \exp(-kr^2)$ ; д)  $4\pi A^2 \exp(-2kr^2)$ ; е)  $4\pi A^2 r^2 \exp(-2kr^2)$ ;

**57.8.** Состояние микрочастицы, движущейся в ограниченном центрально-симметричном поле, описывается волновой функцией  $\psi(r) = A/r^2$ , где  $A$  – константа, а  $r$  – расстояние до центральной точки. Отношение плотности вероятности обнаружения частицы в точке с координатой  $r_1$  к плотности вероятности её обнаружения в точке  $r_2$  равно (укажите правильный ответ): а)  $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^6$ ; б)  $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4$ ; в)  $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$ ; г) 1; д)  $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$ ; е)  $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^4$ ; ж)  $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^6$ ;

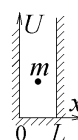
**57.9.** Состояние микрочастицы, движущейся в центрально-симметричном поле, описывается волновой функцией  $\psi(r)$ , где  $r$  – расстояние до центральной точки. Вероятность обнаружения частицы в объеме, ограниченном условием  $0 \leq r \leq a$  определяется соотношением (укажите правильный ответ):

а)  $\int_0^a 4\pi r^2 \psi^2 dr$ ; б)  $\int_0^a \psi^2 dr$ ; в)  $\int_0^a 4\pi r^2 \psi^* \psi dr$ ; г)  $\int_0^a 4\pi \psi^2 dr$ ; д)  $\int_0^a \psi^* \psi dr$ ;

## 58. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме

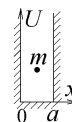
**58.1.** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины  $L$  с бесконечно высокими стенками. Два разрешенных состояния этой частицы описываются волновыми функциями, имеющими выражения  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{2\pi x}{L}$  и  $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{4\pi x}{L}$ . Если  $\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка, то величина (модуль) разности значений энергии  $\Delta E$  частицы в этих состояниях равна:

а)  $\frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$ ; б)  $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$ ; в)  $\frac{5\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$ ; г)  $\frac{4\pi^2 \hbar^2}{mL^2}$ ; д)  $\frac{9\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$ ; е)  $\frac{6\pi^2 \hbar^2}{mL^2}$ ;



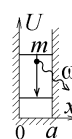
**58.2.** Микрочастица с массой  $m$  может находиться в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины  $a$  с бесконечно высокими стенками. в первом возбужденном состоянии и во втором возбужденном состоянии. Величина (модуль) разности значений энергии  $\Delta E$  частицы в первом и во втором возбужденном состоянии

равна ( $\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка): а)  $\frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; б)  $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; в)  $\frac{5\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; г)  $\frac{7\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; д)  $\frac{9\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; е)  $\frac{12\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ;



**58.3.** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины  $a$  с бесконечно высокими стенками и переходит из четвертого возбужденного в основное состояние. При этом она испустит фотон с энергией, равной ( $\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка):

а)  $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; б)  $\frac{4\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$ ; в)  $\frac{15\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ ; г)  $\frac{12\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$ ; д)  $\frac{24\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$ ;



**58.5.** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины  $a$  с бесконечно высокими стенками. Переходя из первого возбужденного в основное состояние, она испускает фотон. Если и вели-

чина массы  $m$ , и ширина ямы  $a$  уменьшатся в два раза, то энергия такого фотона:

- а) увеличится в 16 раз; б) увеличится в 8 раз; в) увеличится в 4 раза; г) увеличится в 2 раза; д) не изменится; е) уменьшится в 2 раза; ж) уменьшится в 4 раза; з) уменьшится в 8 раз; и) уменьшится в 16 раз;

**58.6.** Микрочастица с массой  $m$ , находящаяся в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины  $L$  с бесконечно высокими стенками, имела наименьшее разрешенное значение энергии. Укажите выражение для импульса фотона, который должна поглотить эта частица, чтобы оказаться на разрешенном энергетическом уровне, лежащем непосредственно над основным энергетическим уровнем ( $c$  – скорость света,  $\hbar = h/2\pi$  – постоянная Планка):

- а)  $\frac{3\pi^2\hbar^2c}{2mL^2}$ ; б)  $\frac{3\pi^2\hbar^2}{2mL^2c}$ ; в)  $\frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2c}$ ; г)  $\frac{\pi^2\hbar^2c}{2mL^2}$ ; д)  $\frac{3\pi^2\hbar^2}{4mL^2c}$ ;

## 59. Квантовый гармонический осциллятор

**59.1.** Одномерный квантовый гармонический осциллятор, переходя с одного энергетического уровня на соседний энергетический уровень испускает или поглощает фотон с циклической частотой  $\omega$ . Укажите правильное выражение для энергии этого осциллятора в третьем возбужденном состоянии, если  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с:

- а)  $3\hbar\omega/2$ ; б)  $2\hbar\omega$ ; в)  $5\hbar\omega/2$ ; г)  $3\hbar\omega$ ; д)  $7\hbar\omega/2$ ; и)  $9\hbar\omega/2$ ;

**59.2.** Собственная циклическая частота одномерного квантового гармонического осциллятора равна  $\omega$ . Энергия некоторого фотона равна энергии пятого возбужденного состояния данного осциллятора. Циклическая частота  $\omega_\phi$  этого фотона равна: а)  $5\omega/2$ ; б)  $3\omega$ ; в)  $9\omega/2$ ; г)  $5\omega$ ; д)  $11\omega/2$ ; е)  $10\omega$ ; ж)  $11\omega$ ;

**59.3.** Микрочастица находится в одномерной потенциальной яме, где её потенциальная энергия имеет следующую зависимость от координаты:  $U = kx^2/2$ , где  $k = \text{const}$ . Отношение  $E'' : E' : E$  трех **самых малых** разрешенных значений энергии частицы в этой яме равно: а) 2:1:0; б) 3:2:1; в) 6:3:1; г) 5:3:1; д) 4:2:1;

**59.4.** Микрочастица с массой  $m$  находится в стационарном состоянии в одномерной потенциальной яме, где её потенциальная энергия имеет следующую зависимость от координаты:  $U = kx^2/2$ , где  $k = \text{const}$ .  $c$  – скорость света,  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Наименьшая величина импульса фотона, который может поглотить частица, равна:

- а)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{2k}{m}}$ ; б)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{k}{2m}}$ ; в)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{k}{m}}$ ; г)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{2m}{k}}$ ; д)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{m}{2k}}$ ; е)  $\frac{\hbar}{c}\sqrt{\frac{m}{k}}$ ;

**59.5.** Одномерный квантовый гармонический осциллятор переходит из третьего возбужденного в основное состояние, испуская фотон. Отношение энергии этого фотона к энергии основного состояния данного осциллятора равно:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 9; з) 10; и) 12; к) 18;

**59.6.** Длина волны фотона равна  $\lambda_\phi$ , а энергия этого фотона равна значению энергии четвертого возбужденного состояния некоторого одномерного квантового гармонического осциллятора. Укажите выражение для собственной циклической частоты  $\omega$  данного осциллятора:

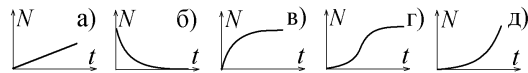
- а)  $\omega = \frac{4\pi c}{9\lambda_\phi}$ ; б)  $\omega = \frac{2\pi c}{9\lambda_\phi}$ ; в)  $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda_\phi}$ ; г)  $\omega = \frac{\pi c}{2\lambda_\phi}$ ; д)  $\omega = \frac{3\lambda_\phi}{2\pi c}$ ;

**59.7.** Укажите величину отношения  $E_3/E_2$  энергии третьего возбужденного состояния некоторого одномерного квантового гармонического осциллятора к энергии второго возбужденного состояния этого осциллятора:

- а) 3/2; б) 9/4; в) 7/3; г) 6; д) 7/2; е) 7/5; ж) 7/4; з) 4/3; и) 3;

## 60. Закон радиоактивного распада

**60.1.** В начальный момент времени  $t=0$  радиоактивный образец имел  $N_0$  ядер. Укажите график зависимости числа  $N$  распавшихся ядер этого образца от времени  $t$ :



**60.2.** Укажите, какая часть атомных ядер радиоактивного вещества распадается за время, равное трем периодам полураспада: а) 1/2; б) 2/3; в) 7/8; г) 3/4; д) 3/8; е) 1/3; ж) 1/8; з) 1/2;

**60.3.** Периоды полураспада ядер радиоактивных изотопов “1” и “2” равны, соответственно,  $T_1 = 2$  с и  $T_2 = 6$  с. В начальный момент времени  $t_0 = 0$  число ядер обоих изотопов в образце одинаково. К моменту времени  $t = 6$  с отношение числа сохранившихся ядер первого изотопа к числу сохранившихся ядер второго изотопа будет равно:

- а) 1/4; б)  $\exp(3)$ ; в) 1/2; г)  $\exp(-3)$ ; д) 8; е) 4; ж) 1/8; з) 2;

**60.4.** В начальный момент времени  $t = 0$  радиоактивный образец имел  $8 \cdot 10^{20}$  ядер. В момент  $t = 2$  с в нем сохранилось  $4 \cdot 10^{20}$  ядер. Сколько радиоактивных ядер сохранится в этом образце в момент времени  $t = 8$  с (выберите правильный ответ): а)  $2 \cdot 10^{20}$ ; б)  $5 \cdot 10^{19}$ ; в)  $10^{20}$ ; г)  $6,93 \cdot 10^{19}$ ; д)  $1,5 \cdot 10^{20}$ ; е)  $2,5 \cdot 10^{19}$ ;

**60.5.** В начальный момент времени  $t_0 = 0$  в образце содержалось  $N_0$  ядер некоторого радиоактивного изотопа с периодом полураспада  $T = 2$  с. Спустя какое время в образце распадется  $7N_0/8$  ядер данного изотопа (укажите правильный ответ)? а) 2 с; б) 3 с; в) 4 с; г) 6 с; д) 7 с; е) 8 с; ж) 14 с; з) 16 с;

**60.6.** В начальный момент времени  $t = 0$  радиоактивный образец имел  $8 \cdot 10^{20}$  ядер. В момент  $t = 0,5$  с в нем распалось  $4 \cdot 10^{20}$  ядер. Сколько радиоактивных ядер **распадется** в этом образце к моменту времени  $t = 2$  с (выберите правильный ответ): а)  $4 \cdot 10^{20}$ ; б)  $5 \cdot 10^{19}$ ; в)  $7 \cdot 10^{20}$ ; г)  $3,75 \cdot 10^{20}$ ; д)  $7,5 \cdot 10^{20}$ ; е)  $3,5 \cdot 10^{20}$ ;

**60.7.** В момент времени  $t = 0$  в образце находилось в два раза больше ядер первого радиоактивного изотопа с периодом полураспада  $T_1 = 1$  с, чем ядер второго радиоактивного изотопа с периодом полураспада  $T_2 = 2$  с. Число еще не распавшихся ядер обоих изотопов в этом образце окажется одинаковым в момент времени:

а) 0,5 с; б) 1 с; в) 2 с; г) 3 с; д) 4 с; е) 6 с; ж) 8 с; з) число ядер не сравняется никогда;

#### 61. Состав ядра, $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -распад. Энергетический выход реакции распада атомного ядра

**61.1.** Частицы 1)  $\alpha$ -излучения; 2)  $\beta$ -излучения; 3)  $\gamma$ -излучения; 4) нейтроны пролетают область, в котором создано ускоряющее электрическое поле с разностью потенциалов  $\Delta\phi$ . Наибольшее приращение кинетической энергии после прохождения этого поля получают частицы: а)  $\gamma$ -излучения; б)  $\beta$ -излучения; в)  $\alpha$ -излучения; г) нейтроны;

**61.2.** В результате ядерных распадов испускаются: 1)  $\alpha$ -излучение; 2)  $\beta$ -излучение; 3)  $\gamma$ -излучение; 4) нейтроны. Среди перечисленных продуктов распада **наименьшей** проникающей способностью обладает: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

**61.3.** В результате ядерных распадов испускаются частицы: 1)  $\alpha$ -излучения с массой  $m_\alpha$ ; 2)  $\beta$ -излучения с массой  $m_\beta$ ; 3)  $\gamma$ -излучения с массой  $m_\gamma$ ; 4) нейтроны с массой  $m_n$ . Надо расставить массы частиц данных излучений **в порядке убывания** (выберите правильный ответ): а)  $m_\gamma > m_n > m_\beta > m_\alpha$ ; б)  $m_\alpha > m_\beta > m_\gamma > m_n$ ; в)  $m_n > m_\alpha > m_\beta > m_\gamma$ ; г)  $m_\gamma > m_\beta > m_n > m_\alpha$ ; д)  $m_\gamma > m_\beta > m_\alpha > m_n$ ; е)  $m_\alpha > m_n > m_\beta > m_\gamma$ ;

**61.4.** Превращение ядра  $X_Z^A$  в ядро  $Y_{Z-1}^A$  соответствует:

а)  $\alpha$ -распаду; б)  $\gamma$ -распаду; в)  $\beta^-$ -распаду; г)  $\beta^+$ -распаду;

**61.5.** Ядро изотопа урана  $U_{92}^{235}$  испытывает  $\alpha$ -распад и превращается в ядро:

а)  $Pa_{91}^{235}$ ; б)  $Pa_{91}^{231}$ ; в)  $Th_{90}^{235}$ ; г)  $Pu_{94}^{235}$ ; д)  $Th_{90}^{231}$ ;

**61.6.** Ядро одного из изотопов рения  $Re_{75}^{182}$  испытывает  $\beta^+$ -распад и превращается в ядро:

а)  $Os_{76}^{182}$ ; б)  $W_{74}^{178}$ ; в)  $Hf_{72}^{178}$ ; г)  $W_{74}^{182}$ ; д)  $Ta_{73}^{182}$ ; е)  $Ta_{73}^{178}$ ;

**61.7.** Ядро урана  $U_{92}^{235}$  испытывает последовательно сначала процесс  $\alpha$ -распада, а затем процесс  $\beta^-$ -распада и превращается в ядро: а)  $Pa_{91}^{231}$ ; б)  $Pa_{91}^{235}$ ; в)  $Ac_{89}^{231}$ ; г)  $Pu_{94}^{235}$ ; д)  $Th_{90}^{235}$ ; е)  $Th_{90}^{231}$ ;

**61.8.** Ядро изотопа урана  $U_{92}^{240}$  испытывает последовательно два процесса  $\beta^-$ -распада и превращается в ядро:

а)  $Pa_{91}^{240}$ ; б)  $Pu_{94}^{240}$ ; в)  $Ac_{89}^{236}$ ; г)  $Th_{90}^{236}$ ; д)  $Th_{90}^{240}$ ; е)  $Pa_{91}^{236}$ ;

**61.9.** Происходит превращение ядра  $X_Z^A$  в ядро  $Y_{Z-3}^{A-4}$ . Это превращение вызвано следующими ядерными реакциями: а)  $\alpha$ -распадом; б)  $\alpha$ - и  $\beta^+$ -распадом; в)  $\beta^-$ -распадом;

г)  $\alpha$ - и  $\beta^-$ -распадом; д)  $\alpha$ - и  $\gamma$ -распадом; е)  $\beta^+$ -распадом;

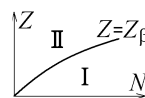
**61.10.**  $M$  – суммарная масса ещё не распавшихся ядер образца, обладающего естественной радиоактивностью;  $Q$  – выделившаяся в результате всех ядерных распадов энергия (тепло);  $c$  – скорость света. После окончания распадов суммарная масса всех продуктов распада начальных ядер будет равна:

а)  $M$ ; б)  $M + Q/c^2$ ; в)  $M - Q/c^2$ ; г)  $Q/c^2 - M$ ; д) нет правильного ответа;

**61.11.** Энергетический выход распада ядра радиоактивного изотопа с периодом полураспада  $T = 2$  с равен  $E_1$ . К моменту времени  $t = 8$  с за счет распада этих ядер выделилось тепло  $Q$ . В начальный момент  $t_0 = 0$  число ядер изотопа определялось соотношением: а)  $Q/E_1$ ; б)  $8Q/7E_1$ ; в)  $Q/4E_1$ ; г)  $4Q/3E_1$ ; д)  $4Q/E_1$ ; е)  $16Q/15E_1$ ;

**61.12.** В начальный момент в образце находилось  $4 \cdot 10^{22}$  ядер радиоактивного изотопа с периодом полураспада  $T = 1$  с. За последующий интервал времени  $\Delta t = 2$  с за счет распада этих ядер выделилось тепло  $Q = 3$  Дж. Энергетический выход распада ядра данного изотопа равен: а)  $10^{-22}$  Дж; б)  $2 \cdot 10^{-22}$  Дж; в)  $5 \cdot 10^{-23}$  Дж; г)  $1,33 \cdot 10^{-22}$  Дж;

**61.13.** На рисунке показана область существования  $\beta$ -активных ядер, где  $Z$  – порядковый номер элемента,  $N$  – число нейтронов в ядре. Линия  $Z = Z_\beta$  соответствует  $\beta$ -стабильным ядрам, не испытывающим  $\beta$ -распад. При этом ядра испытывают следующий распад (выберите правильный ответ):

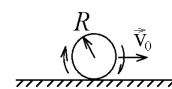


- а)  $\beta^+$  – распад в области II; б)  $\beta^+$  – распад в области I; в)  $e^-$  – захват в области I; г)  $\beta^-$  – распад в области II;

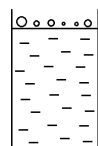
## 2Б. Задания, проверяющие владение изученным учебным материалом

Такие задания приводятся в открытой форме без выбора варианта ответа. За ответы на них, и даже за правильную попытку ответа, дается максимальное число баллов. Большая часть подобных заданий аналогична заданиям с выбором ответа, и только построена в форме, позволяющей проверить умение студента самостоятельно оценить суть вопроса и выбрать подходящий закон или формулу для ответа.

**1.** Диск радиуса  $R$  катится по горизонтальной шероховатой поверхности без проскальзывания со скоростью  $v_0$ . Оцените величину наибольшей и наименьшей скорости, которую могут иметь точки на ободе диска. Ответ обоснуйте с помощью формул.

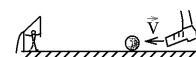


**2.** Стоявшая автомашина начинает двигаться с ускорением  $\vec{a}$ . Первый наблюдатель считает, что причиной этого является трение колес о поверхность дороги, поскольку других сил, тянущих автомобиль вперед нет. Второй уверен в том, что трение может только затормозить движение автомобиля. Выскажите своё мнение о том, кто из наблюдателей прав. Оцените роль трения колес о дорогу: будет оно причиной ускорения или замедления автомобиля. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

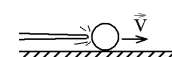


**3.** В высокий сосуд с растительным маслом одновременно высыпали множество маленьких металлических шариков разного радиуса  $r$ . Проанализируйте процесс падения шариков в жидкости и объясните порядок их падения на дно. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

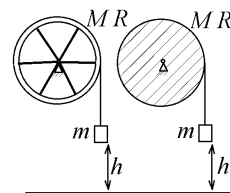
**4.** Футболист бьёт пенальти. В момент удара нога футболиста имеет скорость  $v$ , а масса бьющей по мячу ноги во много раз больше массы мяча. Предложите способ, позволяющий с помощью законов механики найти скорость мяча после удара, и найдите эту скорость.



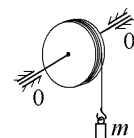
**5.** Сразу после удара кием в центр покоившегося бильярдного шара, он движется поступательно со скоростью  $v_0$ . Проанализируйте дальнейшее движение шара и опишите, какие законы динамики приводят к тому, что шар попадает в лузу со скоростью, меньшей  $v_0$  и с механической энергией, меньшей  $mv_0^2/2$ . Как найти эту скорость, если известно, что силы трения совершают работу  $A_{тр}$ ? Обоснуйте свое суждение соответствующими формулами физики.



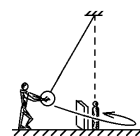
**6.** На обод колеса со спицами и на обод сплошного диска того же радиуса  $R$  и той же массы  $M$  намотаны невесомые нити, к которым прикреплены одинаковые грузы массой  $m$ . И колесо, и диск могут вращаться вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии без трения и первоначально покоятся, а грузы находятся на одинаковой высоте  $h$  над полом. С помощью физических законов и формул оцените, какой из грузов быстрее упадет на пол.



**7.** Шкив может вращаться вокруг своей закрепленной горизонтально оси  $00'$  без трения. Под рукой имеется линейка, секундомер, и также грузик массы  $m$ , который можно подвесить к нити, намотанной на шкив. Предложите процедуру определения момента инерции шкива относительно оси  $00'$  с помощью имеющихся под рукой предметов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемый момент инерции.



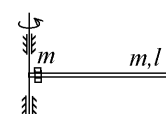
**8.** В аттракционе человек должен отвести тяжелый шар, подвешенный на шнуре и толкнуть его так, чтобы во время возвратного движения шар сбил кеглю, стоящую прямо под точкой, в которой шнур подвешен к потолку (перед кеглей стоит препятствие, не позволяющее сбить её прямым ударом). Оценить возможность сбить шаром кеглю в таком аттракционе. Как следует толкать шар? Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.



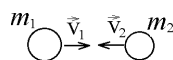
**9.** На неподвижной круговой платформе, способной вращаться без трения вокруг закрепленной вертикальной оси симметрии сидит человек. Первоначально платформа покоится. Предложите способ, которым человек, не вставая, может постепенно раскрутить платформу до большой угловой скорости. Обоснуйте предложенный способ законами механики, подтвердив его записанными формулами и уравнениями физики.



**10.** В начальный момент времени стержень массы  $m$  и длины  $l$  свободно вращается без трения с угловой скоростью  $\omega_0$  в горизонтальной плоскости вокруг закрепленной оси, проходящей через его край. По стержню может свободно без трения скользить надета на него муфта той же массы  $m$ . Сначала муфта находилась вблизи оси вращения. Проанализируйте дальнейшее движение муфты, изменение кинетической энергии, импульса и момента импульса системы со временем и выскажите свое мнение о сохранении этих величин или о причинах их изменения. Обоснуйте свой ответ законами и формулами физики.



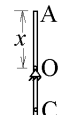
11. При абсолютно упругом соударении двух металлических шариков с массами  $m_1$  и  $m_2$ , двигавшихся навстречу друг другу со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ , в момент наибольшего сближения шарики движутся с одной скоростью  $v_0$ , определяемой законом сохранения импульса  $|m_1 v_1 - m_2 v_2| = (m_1 + m_2) v_0$  и только потом разлетаются в стороны. При этом кинетическая энергия меняется на величину  $\Delta E_{\text{кин}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v_0^2}{2} > 0$ . Выскажите своё мнение о причине такого изменения энергии при абсолютно упругом ударе или об ошибках в записанных формулах.



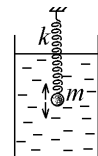
12. Имеется металлический стержень, который можно подвесить за крючок на конце. Линейки под рукой нет, но имеются часы. Предложите процедуру определения длины стержня с помощью имеющихся часов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемую длину стержня.



13. Однородный тонкий стержень массы  $m$  и длины  $l$  может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси  $O$ , проходящей через точку подвеса на расстоянии  $x$  от верхнего конца стержня. Необходимо получить минимальную величину периода колебаний такого физического маятника. Предложите процедуру получения такой величины и порядок необходимых для этого действий. Обоснуйте своё предложение формулами, описывающими процесс колебаний.



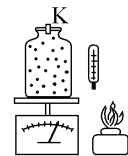
14. Шарик, подвешенный на невесомой пружинке, совершает вертикальные колебания в глицерине. Утверждается, что после того, как в глицерин добавили воду, а шарик подвесили на другой пружинке с меньшей жесткостью, он перестал совершать колебания. Выскажите своё суждение о возможности или невозможности такого результата. Найдите причины, которые могли или не могли привести к данному результату. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.



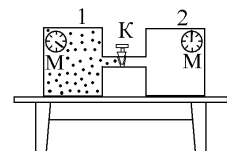
15. Футболист пробивает штрафной ударом, обводящим стенку. Выскажите своё мнение о причине, по которой мяч летит по кривой траектории, обгибая стенку. Проанализируйте полет мяча и действующие на него силы с точки зрения физических законов.



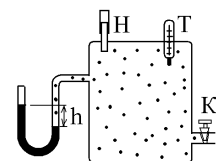
16. Газ, который можно считать идеальным, закачан под давлением в трехлитровый стеклянный сосуд, закрытая крышка которого имеет клапан  $K$ , выпускающий газ в том случае, когда его давление достигает величины  $p_0$ . Имеются весы, позволяющие точно измерить массу сосуда с газом; горелка, позволяющая нагреть сосуд до большой температуры, и термометр, позволяющий измерить его температуру. Предложите и обоснуйте процедуру определения молярной массы  $\mu$  газа в сосуде с помощью данных устройств.



17. Два одинаковых тонкостенных металлических сосуда соединены достаточно широкой трубкой, перекрытой плотно прижатым краном  $K$ . Манометр  $M$  в левом сосуде 1 показывал давление воздуха  $p_1 = 2$  атм, а второй манометр в правом сосуде 2 показывал  $p_2 = 0$  атм. Экспериментатор открыл кран  $K$  и, когда показания манометров в обоих сосудах сравнялись, снова быстро и плотно закрыл кран, считая, что давление воздуха останется равным  $p_3 = 1$  атм. Прав ли он? Проанализируйте процессы, происходящие с газом, и выскажите своё суждение о том, что будет происходить с показаниями манометров в обоих сосудах и почему? Ответ обосновать с помощью физических законов и формул.



18. В трубку U-образного манометра, соединенного с сосудом, залита жидкость с неизвестной плотностью  $\rho_{\text{ж}}$ . Можно измерить разность уровней  $h$  жидкости в манометре, но нельзя определить разность давлений  $\Delta p = \rho_{\text{ж}} g h$  внутри и вне сосуда. С помощью насоса  $H$  можно закачать в сосуд воздух под большим давлением. С помощью крана  $K$  можно быстро выпустить закачанный воздух. Термометр  $T$  позволяет точно определить температуру воздуха в сосуде. Известно, что показатель адиабаты воздуха  $\gamma = 1,4$ , а атмосферное давление равно  $p_{\text{атм}}$ . Предложите процедуру определения плотности  $\rho_{\text{ж}}$  неизвестной жидкости с помощью данных измерительных приборов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемый результат.



19. Некоторое количество газа следует перевести из состояния с давлением  $p_1$  и объемом  $V_1$  в состояние с давлением  $p_2 = 2p_1$  и с объемом  $V_2 = 2V_1$ . Это можно сделать, используя (комбинируя) **только два** обратимых процесса из четырех перечисленных: изотермический, изобарический, изохорический и адиабатический процессы. Предложите такую комбинацию из двух перечисленных процессов, в результате которой газ перейдет из начального в конечное состояние, совершив при этом наибольшую работу. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул, изобразив выбранную комбинацию процессов на диаграмме  $p - V$ .

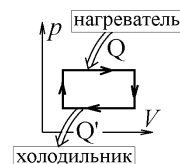
20. В комнате включают нагреватель, постепенно повышая его температуру (барометр при этом продолжает показывать атмосферное давление). Выскажите свое мнение о том, приведет ли это нагревание к изменению внутренней энергии воздуха, **находящегося в пределах комнаты**? Обоснуйте ваш вывод с помощью законов и формул физики. Воздух считать идеальным двухатомным газом. На что расходуется та часть энергии, которая поступает в воздух от нагревателя?

21. Тепловая машина совершает циклический процесс, забирая тепло  $Q_1$  у нагревателя и отдавая тепло  $Q_2$  холодильнику. Температуры нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$  неизменны. Используя законы физики, сравните величины (модули) изменения энтропии нагревателя, холодильника и рабочего тела машины за один цикл её работы. У какого из данных тел эта величина больше, а у какого меньше и по какой причине. Обоснуйте свой ответ формулами и законами физики.



22. Любые массивные частицы (легчайшие частички пыли или сажи, например) со временем должны падать на землю под действием силы тяжести. Однако атмосфера Земли, имеющая значительную массу, не падает на её поверхность. Выскажите свое суждение о том, какие физические законы приводят к этому результату. Изменение каких величин в этих законах надо принять во внимание и почему?

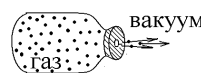
23. Монтажник настраивает реальную тепловую машину, использующую нагреватель (источник тепла) с неизменной температурой  $227^\circ\text{C}$ , от которого рабочее тело машины получает за цикл работы количество теплоты 200 Дж. Эта машина контактирует с холодильником, температура которого  $27^\circ\text{C}$  также постоянна. Монтажник убеждает клиента, что за один цикл работы машина будет отдавать холодильнику не больше 120 Дж теплоты, а клиент считает, что машина за один цикл должна отдавать холодильнику больше 120 Дж теплоты. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.



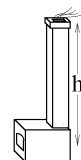
24. При  $20^\circ\text{C}$  плотность воды равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность подсолнечного масла  $925 \text{ кг/м}^3$ , плотность нефти  $830 \text{ кг/м}^3$ , плотность этилового спирта  $789 \text{ кг/м}^3$ . Тем не менее, более легкий спирт растворяется в воде, а более тяжелые масло и нефть всплывают на поверхность воды. Выскажите свое суждение о том, какие физические законы приводят к этому результату. Изменение каких величин в этих законах надо принять во внимание и почему?

25. Три экспериментатора спорят о том, что происходит после нагревания газа с числом его молекул, величины скоростей которых отличаются от скорости  $v_1$ , равной половине средней скорости молекул данного газа, не более, чем на  $\Delta v = \pm 1 \text{ м/с}$ . Первый считает, что число таких молекул после нагревания газа увеличится, второй – что не изменится, а третий – что уменьшится. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав, и обоснуйте его с помощью физических законов.

26. В плотно закрытой крышке банки имеется маленькое отверстие, через которое в окружающий банку вакуум вылетают молекулы газа, заполняющего банку. Давление газа внутри банки при этом меняется со временем  $t$  по линейному закону:  $p = \text{const} \cdot t$ . Чтобы число молекул, ежесекундно вылетающих из банки, не изменялось, экспериментатор предлагает нагревать банку, увеличивая температуру  $T$  газа в ней. Как надо менять температуру газа, чтобы число молекул, покидающих её ежесекундно, не менялось? Получите зависимость  $T$  от времени.

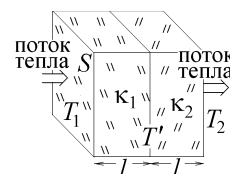


27. Выскажите свое мнение и с помощью законов физики объясните причину того, что увеличение высоты  $h$  печной трубы приводит к увеличению потока воздуха, затягиваемого в дверцу печи и к лучшему горению дров. Ответ обоснуйте полученными вами формулами такой зависимости.



28. Приходя зимой в своё жилище человек может сесть или на железный стул, или в мягкое кресло. В первом случае ему будет холодно, а во втором – тепло, хотя температура и стула, и кресла равна температуре воздуха в комнате. Определите причину такого различия в результатах и объясните её с помощью законов и формул физики.

29. Два прижатых друг к другу слоя теплоизоляционного материала имеют одинаковую площадь  $S$  и толщину  $l$ , но разные коэффициенты теплопроводности  $\kappa_1$  и  $\kappa_2 = 2\kappa_1$ . Температуры с разных сторон равны  $T_1 = 2T$  и  $T_2 = T$ . Первый студент считает, что, так как теплопроводность второго материала в 2 раза больше, то он пропускает в 2 раза больший поток тепла, а температура соприкасающейся поверхности слоев равна  $T' = 3T/2$ . По мнению второго студента, эту температуру надо считать по другой формуле  $T' = 5T/3$ . Согласны ли вы с ними? Если нет, то предложите процедуру решения, позволяющую найти температуру  $T'$  и получите её значение.

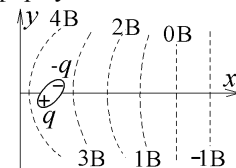


30. За летательными аппаратами обтекаемой формы, летящими со сравнительно небольшой скоростью, не образуются турбулентных завихрений, и со стороны воздуха на них действует сила вязкого трения. Первый авиапассажир считает, что такие самолеты летают на высоте нескольких километров, поскольку давление воздуха там меньше и сила вязкого трения, тормозящая движения самолета значительно меньше, чем у поверхности земли. Второй авиапассажир возражает ему, считая, что сила вязкого трения на любой высоте практически одинакова, а самолеты летают на большой высоте по другой причине. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав. Обоснуйте свой ответ с помощью законов и формул физики. По какой причине, по вашему мнению, самолеты летят на большой высоте?

31. Зависимость потенциала электростатического поля от координат имеет вид  $\varphi = \beta \cdot \sqrt{x^2 + y^2}$ , где  $\beta$  – положительная константа. Нарисуйте на плоскости  $xy$  несколько эквипотенциальных поверхностей и силовых линий такого поля. Укажите направление вектора напряженности  $\vec{E}$ . Ответ обосновать и подтвердить формулами.

32. Напряженность электростатического поля зависит от координат  $x$ ,  $y$  и  $z$  следующим образом:  $\vec{E} = \vec{i}\alpha x^3 - \vec{j}\alpha y^2 - \vec{k}\alpha z$ , где  $\alpha = 1 \text{ В/м}^3$ . На плоскости  $z = 0$  нарисуйте линию  $y = y(x)$  из точек, в которых объемная плотность электрического заряда, создающего данное поле, равна нулю. Ответ обосновать выводом формул.

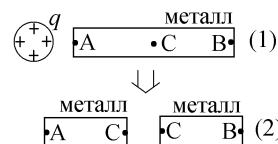
33. На плоскости  $xy$  показана картина эквипотенциальных поверхностей электростатического поля, в котором находится полярная молекула с зарядами  $+q$  и  $-q$  на концах (см. рисунок). Какое положение примет эта молекула и как она будет двигаться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



34. Свободная полярная молекула оказалась во внешнем однородном электростатическом поле с величиной напряженности  $E_0$ , силовые линии которого перпендикулярны оси  $z$ , и повернулась так, что её электрический дипольный момент принял выражение  $\vec{p}_e = -\vec{i} \cdot 3p_0 + \vec{j} \cdot 4p_0$ , где  $p_0$  – положительная константа, а  $\vec{i}$  и  $\vec{j}$  – орты декартовой системы координат. Нарисуйте линии  $\vec{E}$  на плоскости  $xy$ , укажите их направление, получите выражение зависимости потенциала данного поля от координат.

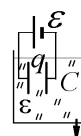
35. Плоскость  $z = 0$  равномерно заряжена с поверхностной плотностью электрического заряда  $\sigma$ . Другие заряды отсутствуют. Объясните, как найти зависимость потенциала  $\phi$  электростатического поля от координаты  $z$ , если известно, что потенциал точки  $x = y = z = 0$  равен  $\phi_0$ . Получите формулу для определения зависимости  $\phi(z)$  и постройте график зависимости величины  $\phi = \phi(z)$  в интервале  $-a \leq z \leq a$ .

36. В эксперименте первоначально незаряженный металлический стержень ACB подносят к телу с зарядом  $q$  (1). После этого стержень разделяют на две части AC и CB и переносят разделенные части на очень большое удаление от заряженного тела (2). Выскажите свое мнение о том, какой должна быть разность потенциалов  $\phi_A - \phi_B$  в точках A и B на концах стержня до разделения (рисунок 1) и после разделения и перемещения (рисунок 2). Определите причины возможного изменения величины  $\phi_A - \phi_B$  или отсутствия этого изменения. Ответ обоснуйте физическими законами.

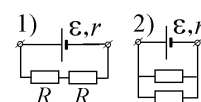


37. По металлическому шару радиуса  $r_1$  равномерно с поверхностной плотностью  $\sigma$  распределен электрический заряд. Этот шар окружен тонкой металлической сферической поверхностью радиуса  $r_2$  (центры шара и сферической поверхности совпадают). Как определить величину энергии электрического поля, заключенного между данными проводниками? Получите формулу этой энергии.

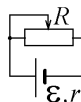
38. Плоский конденсатор подключен к источнику постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$ , а его пластины, на которых находится заряд  $q$ , погружены в жидкий диэлектрик. Диэлектрик убирают, и по цепи при этом протекает заряд  $\Delta q$ . Можно ли по этим данным определить величину диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  диэлектрика? Если это можно сделать, то получите формулу для её вычисления.



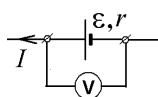
39. Два электронагревательных элемента с сопротивлениями  $R$  каждый в одном случае подключают к батарее с ЭДС  $\mathcal{E}$  и с внутренним сопротивлением  $r = R$  последовательно (рисунок 1), а в другом – параллельно (рисунок 2). В каком случае нагреватели выделяют больше тепла и во сколько раз? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



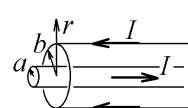
40. Сопротивление реостата, подключенного к источнику постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$ , было равно  $R$ . Передвинув ползунок реостата, увеличили его сопротивление в 2 раза:  $R \rightarrow 2R$ . Первый экспериментатор считает, что при этом тепловая мощность, выделяемая на реостате, обязательно должна измениться. Второй экспериментатор утверждает, что выделяемая на реостате тепловая мощность не изменится при определенном соотношении между  $R$  и  $r$ . Выскажите свое обоснованное законами физики мнение о том, кто из них прав, и если прав второй экспериментатор, то получите и необходимое соотношение между  $R$  и  $r$ .



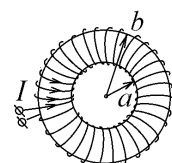
41. Через батарею с ЭДС  $\mathcal{E}$  с внутренним сопротивлением  $r$  течет ток  $I$ , как показано на рисунке слева. Чему равна величина разности потенциалов на клеммах батареи и как, по Вашему мнению, она изменится, если ток  $I$  поменяет направление?



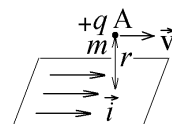
42. По центральной жиле радиуса  $a$  прямого коаксиального кабеля течёт ток  $I$ . такой же ток  $I$  течет по внешнему цилиндрическому слою ("стакану") радиуса  $b$  навстречу. Нарисуйте график зависимости величины напряженности магнитного поля, созданного этими токами, от расстояния  $r$  до оси кабеля. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



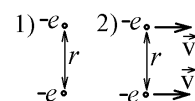
43. На ферромагнитный тороидальный сердечник равномерно намотаны  $N$  витков провода, по которому течет постоянный ток  $I$  (см. рисунок). Может ли величина индукции магнитного поля внутри в разных точках сердечника отличаться в два раза? Если да, то при каком условии? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



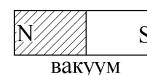
44. По бесконечной плоскости, участок которой показан на рисунке, течет однородный постоянный электрический ток с поверхностной плотностью  $\vec{i}$ . Над плоскостью на расстоянии  $r$  параллельно направлению тока летит со скоростью  $\vec{v}$  частица с положительным зарядом  $+q$  и массой  $m$ . Может ли частица спустя некоторое время снова вернуться в точку А, не столкнувшись с плоскостью? Если да, то при каком условии это происходит и через какой промежуток времени  $\Delta t$  частица вернется в точку А? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



45. Два электрона находятся на одинаковом расстоянии  $r$ , но в случае (1) они покоятся, а в случае (2) летят параллельно друг другу с одинаковыми скоростями  $\vec{v}$ . Объясните, почему силы их взаимодействия имеют разную величину. Определите, в каком случае сила взаимодействия больше и во сколько раз. Ответ обосновать и подтвердить необходимыми законами и формулами.

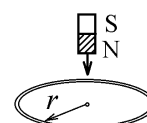


46. Постоянный магнит прямоугольной формы, изготовленный из ферромагнетика, находится в вакууме. Нарисуйте две картины: линий индукции магнитного поля, созданного магнитом, и линий напряженности этого поля. При построении учтите граничные условия для полей  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$ . Могут ли линии напряженности  $\vec{H}$  обрываться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

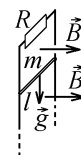


47. Постоянный магнит быстро приближают и удаляют от куска железа, которое при этом нагревается. Объясните причину и механизм этого нагревания.

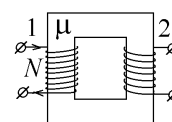
48. К закрепленному проводящему витку радиуса  $r$  приближают магнит так, что поток магнитной индукции через площадь витка убывает со временем  $t$  по закону  $\Phi = \Phi_0 \exp(-\alpha t)$ , где  $\alpha$  – положительная константа. Определите величину и направление вектора напряженности  $\vec{E}$  электрического поля, возникающего в витке. По какой причине возникает это поле? Нарисуйте приблизительный график зависимости  $E$  от времени.



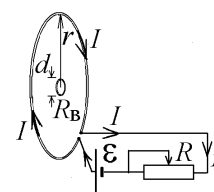
49. По двум вертикальным металлическим проводникам может без трения скользить поперечная металлическая перекладина длины  $l$  с массой  $m$ . Сопротивление проводников и перекладины равно нулю, а проводники сверху соединены сопротивлением  $R$  (см. рисунок). Перпендикулярно плоскости проводников создано магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Перекладину отпускают, и она начинает падать под действием силы тяжести с ускорением  $g$ . По какой причине скорость падения перекладины становится постоянной? При какой величине индукции  $B$  скорость падения перекладины не превысит значения  $v_0$ ? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



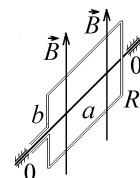
50. На ферромагнитный сердечник из материала с магнитной проницаемостью  $\mu$  намотана первичная катушка (обмотка) из  $N$  витков провода "1" и вторичная обмотка "2" (см. рисунок). На клеммы обмотки "1" подается меняющееся с частотой  $\omega$  по гармоническому закону напряжение с амплитудой  $U_0$ . Сколько витков и почему должна содержать обмотка "2", чтобы на её клеммах создавалось большее напряжение с амплитудой  $2U_0$ ? По какой причине происходит увеличение напряжения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



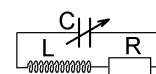
51. В центре круглого проводящего витка с радиусом  $r$  находится маленький проводящий виток с диаметром  $d$  и с сопротивлением  $R_B$  ( $d \ll r$ , плоскости витков совпадают). Меняя сопротивление  $R$  реостата (см. рисунок) изменяют ток  $I$ , протекающий по внешнему витку, причем этот ток меняется со временем  $t$  по закону  $I = I_0 + \alpha t + \beta t^2$ , где  $I_0, \alpha, \beta$  – положительные константы. Вы скажите своё обоснованное мнение о том, появится ли индукционный ток в маленьком внутреннем витке? Если да, то как этот ток будет зависеть от времени  $t$  и от параметров  $R_B, d, r, I_0, \alpha, \beta$ . Получите формулы и нарисуйте график зависимости индукционного тока от времени  $t$ .



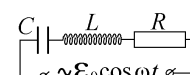
52. Экспериментатор уверен, что может продемонстрировать действие электромотора, пропуская ток по прямоугольной проволочной рамке с сопротивлением  $R$ , способной вращаться без трения в постоянном магнитном поле с индукцией  $B$  вокруг оси  $00'$  (см. рисунок). Объясните, прав он или не прав, и что ему надо сделать, чтобы рамка, как и электромотор, вращалась все время в одну сторону? Ответ подтвердить с помощью физических законов и формул.



53. Первый экспериментатор считает, что собственные электрические колебания в цепи, изображенной на рисунке, имеют место при любой величине ёмкости  $C$  переменного конденсатора. Второй экспериментатор уверен, что колебания прекращаются при некотором значении ёмкости  $C_0$ . Выскажите своё мнение о том, кто из них прав, обосновав его законами и формулами физики. Нарисуйте и объясните примерный график зависимости  $T$  от величины  $C$ . Если, по Вашему мнению, прав второй экспериментатор, то получите величину  $C_0$ , выразив её через параметры цепи  $L$  и  $R$ .

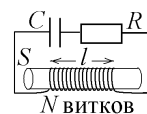


54. В цепь, показанную на рисунке, включена внешняя переменная ЭДС с циклической частотой  $\omega$ . Меняя эту частоту, определили, что амплитуда напряжения на конденсаторе  $C$  имеет макси-

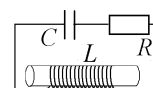


мальную величину при  $\omega = \omega_1$ . Может ли максимальная величина амплитуды тока в цепи наблюдаться при частоте  $\omega = 2\omega_1$ ? Если может, то как при этом индуктивность цепи  $L$  должна зависеть от параметров  $R$  и  $C$ ? Если нет, то почему? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

**55.** Электрический колебательный контур содержит конденсатор с емкостью  $C$ , активное сопротивление  $R$  и катушку индуктивности, из провода, не имеющего активного сопротивления и намотанного на ферритовый сердечник с поперечным сечением  $S$ . Меняя число витков  $N$  в катушке и длину намотки  $l$ , т.е. меняя индуктивность катушки, экспериментатор после долгих опытов определил самое большое значение частоты собственных колебаний тока в такой цепи при заданных величинах  $C$  и  $R$ . Предложите свой способ найти это значение с помощью законов физики. Приведите его обоснование и получите формулу для максимальной частоты  $\omega$ , выраженной через параметры  $C$  и  $R$ .

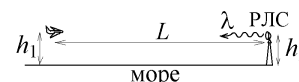


**56.** Два экспериментатора рассуждают о том, как может изменяться величина  $\theta$  логарифмического декремента затухания собственных электрических колебаний в электрическом колебательном контуре, где величины активного сопротивления цепи  $R$  и емкости конденсатора  $C$  фиксированы, а индуктивность катушки  $L$  можно изменять в любых пределах  $0 \leq L \leq \infty$ . Первый считает, что величина  $\theta$  не может превысить некоторого значения, а второй уверен в том, что величина  $\theta$  меняется неограниченно и достигает величины  $\theta = \infty$  при  $L = \infty$ . Приведите свое мнение о том, кто из них прав, и обоснуйте его, определив пределы изменения величины  $\theta$ . Может ли  $\theta$  стать равной бесконечности или нулю, и если да, то при каком значении  $L$ ? Нарисуйте приблизительный график зависимости  $\theta$  от  $L$ .



**57.** Для улучшения оптических свойств на поверхность линз фотоаппаратов, биноклей и т.п. наносят покрытия в виде тончайших пленок. В результате в солнечном свете на поверхности линз видны фиолетово-красные блики. Объясните причину, по которой стеклянные линзы покрывают подобными пленками, а также причину и цвет таких бликов. Свой ответ обоснуйте с помощью необходимых физических законов, принципов и формул.

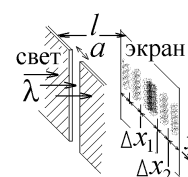
**58.** В американских университетах студентам предлагают следующий пример: “Когда авиация союзных войск находилась на большом удалении  $L$  от берега над поверхностью моря на высоте  $h_1$ , радиолокационные станции (РЛС) немецких войск, стоящие на берегу на высоте  $h_2$  над уровнем моря и излучавшие электромагнитные волны с длиной волны  $\lambda$ , не получали отраженный от самолетов сигнал. Это позволяло авиации союзников беспрепятственно пролетать над линией обороны на берегу, и было одной из причин их победы во II-й мировой войне”. Изложите свое мнение о том, какие законы волновой оптики могли бы позволить сделать такой вывод. Используя их, определите высоту  $h_1$ . Приведите также свои аргументы о невозможности описанной ситуации.



**59.** Белый немонахроматический свет падает на тонкую прозрачную пленку с показателем преломления  $n$  неравной толщины, находящуюся в воздухе. Почему на поверхности пленки видны полосы? Как определить расстояние между этими полосами? Опишите цвет каждой полосы в направлении, указанном на рисунке стрелкой. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

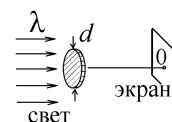


**60.** Плоская монохроматическая световая волна падает на узкую щель в непрозрачном препятствии. Ширина щели  $a$  сравнима с длиной волны  $\lambda$  света. На экране, стоящем за щелью на расстоянии  $l$ , освещен ряд параллельных полос. Каким образом по измеренным размерам  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$ ,  $\Delta x_3$  наблюдаемых полос определить длину волны падающего света? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

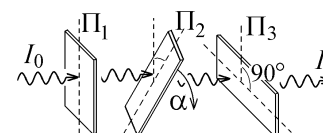


**61.** Известно, что дифракционная картина от непрозрачного тонкого предмета совпадает с дифракционной картиной от прорези-щели в непрозрачном экране, имеющей ту же форму и размеры, что и предмет. Предложите на этом основании способ измерения толщины человеческого волоса оптическими методами. Нарисуйте картину эксперимента и приведите формулы для расчета толщины волоса.

**62.** На пути плоской монохроматической световой волны с длиной  $\lambda$  помещают непрозрачный диск достаточно большого диаметра  $d$ . На оси диска в точке  $O$  экрана, наблюдается темное пятно. Три экспериментатора, отвечая на вопрос о том, что будет происходить с освещенностью экрана в точке  $O$  при постепенном уменьшении диаметра диска  $d$  до очень малых размеров в доли миллиметра, высказывают разное мнение. Первый считает, что в точке  $O$  все время будет наблюдаться темное пятно, поскольку эта точка находится в области тени. Второй уверен, что освещенность в точке  $O$  при постепенном уменьшении  $d$  начнет периодически меняться, и в точке  $O$  будет наблюдаться то максимум, то минимум освещенности. Третий полагает, что при постепенном уменьшении диаметра препятствия  $d$  освещенность точки  $O$ , закрытой от прямого попадания света, постепенно станет такой же, как и при отсутствии диска. Выскажите свое мнение о том, кто из экспериментаторов прав и почему, обосновав его с помощью законов физики.



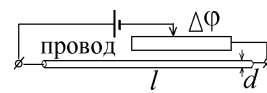
**63.** Естественный свет с интенсивностью  $I_0$ , проходит через систему из трех поляризаторов. Оси пропускания двух поляризаторов  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  составляют угол  $90^\circ$ , а средний поляризатор  $\Pi_2$  поворачивают вокруг луча света на угол  $0 \leq \alpha \leq 360^\circ$  (см. рисунок). Най-



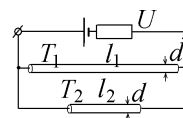
дите зависимость от угла  $\alpha$  интенсивности  $I$  света, прошедшего через систему поляризаторов, и нарисуйте график зависимости  $I$  от  $\alpha$ . Сколько раз при таком повороте интенсивность  $I$  будет достигать максимального значения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

64. Поток энергии солнечного излучения на орбите Земли составляет 1,37 кВт на  $1 \text{ м}^2$  площади. Зная эту величину, предложите способ оценить среднюю температуру Земли и изложите свое мнение о том, что произошло бы с этой температурой при увеличении температуры поверхности Солнца, которая равна  $\sim 6000 \text{ К}$ , в 2 раза. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

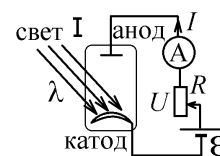
65. С помощью реостата на концах металлического провода длины  $l$  с диаметром  $d$  создана разность потенциалов  $\Delta\phi$ . Объясните, как изменится температура поверхности провода, которую можно считать “серым” телом с коэффициентом поглощения  $A$ , если и диаметр  $d$  провода, и величину  $\Delta\phi$  увеличить в два раза, не меняя длину  $l$  провода. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



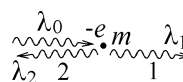
66. К источнику постоянного напряжения  $U$  параллельно подключены два тонких металлических провода из одинакового материала, который можно считать абсолютно черным телом. Диаметры  $d$  проводов одинаковы, а их длины отличаются в два раза:  $l_1/l_2 = 2$ . Что можно сказать об отношении температур поверхностей этих проводов  $T_1/T_2$ ? Ответ обосновать и подтвердить расчетом.



67. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает на катод двухэлектродной лампы. Движком реостата  $R$  меняют величину падения напряжения  $U$  на электродах лампы, увеличивая её от нуля. Кроме того, меняют интенсивность  $I$  падающего на катод света. Почему ток  $I$  через амперметр появляется только при  $\lambda \geq \lambda_0$  при любом увеличении интенсивности падающего света? Как найти величину  $\lambda_0$ ? Нарисуйте на одном поле несколько графиков зависимости тока  $I$  от напряжения  $U$  при разных значениях интенсивности  $I$ . Ответ обосновать и подтвердить формулами.



68. На покоящийся электрон с зарядом  $-e$  и с массой  $m$  падают фотоны с длиной волны  $\lambda_0$ , рассеиваясь на нем и разлетаясь в разные стороны. Что можно сказать о длине волны  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  фотонов, улетающих вдоль направления движения падающих фотонов и противоположно этому направлению? Чему равна величина разности  $\lambda_1 - \lambda_2$ ? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



69. Радиусы трех последовательных боровских орбит электрона в двукратно ионизированном атоме лития  $\text{Li}^{++}$  равны 0,01764 нм; 0,07053 нм; 0,15869 нм. Объясните, чему будет равен радиус следующей боровской орбиты в этом ионе. Получите его. Ответ обосновать и подтвердить вычислением.

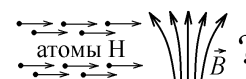
70. Определите, по какой причине ускоренные большой разностью потенциалов  $\Delta\phi$  электроны, пролетая через узкую щель ширины  $a$  в непрозрачном препятствии, не могут рассеиваться за щелью под отдельными углами  $\phi_n$ . Обоснуйте свое мнение физическими законами, приведите схему расчета и получите выражения для данных углов  $\phi_n$ .



71. Возбужденный атом водорода испустил фотон, относящийся к спектральной серии Бальмера. Оцените возможность того, что в дальнейшем этот атом испустит фотон света в видимой человеческому глазу части оптического спектра. Определите возможный интервал длин волн дальнейшего излучения. Ответ обосновать и подтвердить с помощью физических законов и формул.

72. Чему равно отношение наибольшей длины волны  $\lambda_1$  в спектральной серии Бальмера к наименьшей возможной длине волны  $\lambda_2$  в спектральной серии Пашена для излучения нагретого водорода. Почему, по Вашему мнению, излучение с длиной волны  $\lambda_1$  увидеть можно, а излучение с длиной волны  $\lambda_2$  – нельзя? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

73. Два тонких пучка атомов водорода влетают в очень сильное неоднородное магнитное поле, линии индукции  $\vec{B}$  которого показаны на рисунке. В первом пучке атомы находятся в основном состоянии, а во втором пучке – в первом возбужденном состоянии. Выскажите свое мнение о том, что произойдет с пучками атомов после пролета через магнитное поле. Обоснуйте свой ответ с помощью физических законов и формул. Оцените величину изменений, происходящих с пучками, и подтвердите свою оценку формулами.

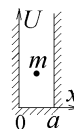


74. Объясните, как изменится энергетический уровень (энергия) каждого из электронов  $3d$ -подоболочки атома железа, если этот атом попадет во внешнее очень сильное магнитное поле с индукцией  $B$ . На какую максимальную величину может измениться эта энергия? При ответе не учитывать влияние спина электрона. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

75. Отношение величин орбитального магнитного момента первого и второго электрона в многоэлектронном атоме отличаются в  $\sqrt{2}$  раз. В какой, по Вашему мнению, подоболочке находится первый электрон, если второй элек-

трон находится в  $d$  – подболочке? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

**76.** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной потенциальной яме прямоугольной формы с бесконечными стенками ширины  $a$ , причем состояние микрочастицы описывается волновой функцией  $\psi = A \cdot x(a-x)$ , где  $A$  – нормировочная константа. Если подставить эту функцию в стационарное уравнение



Шредингера  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U_0)\psi = 0$ , где  $U_0 = 0$  внутри ямы, то окажется, что полная энергия  $E$  частицы зависит

от координаты  $x$ . В действительности частица может иметь только отдельные дискретные значения энергии:

$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2} = \text{const}$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Предложите свою версию объяснения возникшего противоречия. Ответ необходимо обосновать и подтвердить физическими законами.

**77.** Радиоактивный образец содержит нестабильные ядра двух разных изотопов: период полураспада ядер первого изотопа равен 1 минуте, а ядер второго – 2 минутам. В исходный момент времени образец на 89,89% состоит из ядер первого изотопа и на 11,11% – из ядер второго изотопа. Оцените возможность того, что спустя некоторое время число ядер двух данных изотопов в образце сравняется. Если это возможно, то через какой промежуток времени это произойдет? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

**78.** В результате цепочки радиоактивных превращений первоначальное ядро испытывает реакцию  $\beta^+$  – распада, затем реакцию  $\alpha$  – распада (испускание  $\alpha$  – частицы), затем последовательно происходят две реакции  $\beta^-$  – распада. Какая ядерная реакция должна произойти после этого, чтобы оставшееся ядро превратилось в изотоп первоначального ядра? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

### 3. Порядок оформления и примеры условий домашних заданий

Решения домашних заданий выполняются на отдельных листах. На титульной странице необходимо указать следующую информацию: ФГБОУ ВО “Тулский государственный университет”, каф физики, ФИО студента, индекс группы, Домашнее задание №..., номер варианта, дата сдачи задания.

Условия заданий не переписываются, в решение необходимо вложить выданный листок с условиями.

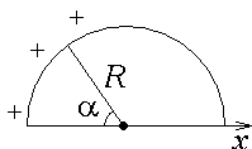
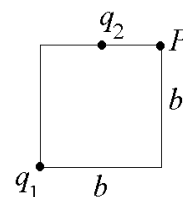
Проверяются подробные решения. Поэтому для каждой задачи должно быть приведено:

1) числовые данные (Дано:); 2) рисунок с указанием векторов, цепей, направления токов и т.п. с указанием всех буквенных обозначений; 3) подробное решение с получением конечной формулы; 4) подстановка чисел в эту формулу и числовой ответ с указанием размерности.

Срок сдачи задания указывается на листе с условием. Например: “Срок сдачи 1-го домашнего задания – не позже 30 октября 2021 г. Если задание не сдано в срок без уважительной причины – оно не оценивается”

#### Пример домашнего задания №1 (семестр 3):

1.1. Заряд  $q_1$  находится в вершине квадрата со стороной  $b$ , а заряд  $q_2$  – на середине стороны. Найти величину напряженности электрического поля в точке Р, находящейся в противоположной вершине квадрата (см. рис.).  $q_1 = -3$  мкКл,  $q_2 = 2$  мкКл,  $b = 1$  м.

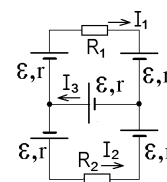


1.2. Положительный заряд распределен по тонкому полукольцу радиуса  $R$  с линейной плотностью  $\rho = \rho_0 \cos^2 \alpha$ ,  $0 \leq \alpha \leq \pi$ . Определить потенциал, создаваемый этим зарядом в центре полукольца.  $R = 3$  м,  $\rho_0 = 7$  мкКл/м.

1.3. Непроводящий шар равномерно заряжен с постоянной плотностью заряда  $\rho$ . Чему равен радиус шара  $R$ , если в точке, находящейся на расстоянии  $r = R/3$  от центра шара, напряженность электростатического поля, созданного данным зарядом, равна  $E = 80$  В/м. Полный заряд шара  $q = 6 \cdot 10^{-8}$  Кл.  $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ .  $\epsilon = 1$ .

1.4. По проводнику с сопротивлением  $R = 27$  Ом начинает течь ток, изменяющийся со временем  $t$  по линейному закону:  $I = k \cdot t$ , где  $k = \text{const}$ . За промежуток времени  $0 \leq t \leq \tau$ , где  $\tau = 8$  с, в проводнике выделяется джоулево тепло  $Q = 72$  Дж. Какова величина электрического заряда, протекшего через поперечное сечение проводника за это же время?

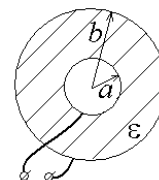
1.5. Пять одинаковых источников тока с эдс  $\epsilon = 29$  В и внутренним сопротивлением  $r = 10$  Ом каждый включены в разветвленную цепь, изображённую на рисунке. Найти величину тока  $I_2$ , протекающего через сопротивление  $R_2$ , если  $R_1 = 20$  Ом;  $R_2 = 30$  Ом.



1.6. По объему непроводящего шара радиуса  $R = 5$  м с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$  неравномерно распределили некоторый сторонний заряд с объемной плотностью  $\rho = \rho_0 \frac{r}{R}$ , где  $r$  – расстояние от центра шара,  $\rho_0 = 2$  нКл/м<sup>3</sup>. В вакууме, окружающем шар, на расстоянии  $d_1 = 6R$  от центра шара напряженность электрического поля равна  $E_0$ . На каком расстоянии  $d_2$  ( $d_2 < R$ ) от центра шара напряженность поля также будет равна  $E_0$ ?

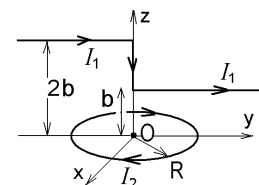
1.7.  $N$  одинаковых источников ЭДС с одинаковым внутренним сопротивлением  $r = 2$  Ом соединяют в батарею и подключают к клеммам этой батареи нагрузку с сопротивлением  $R = 10$  Ом. Если все источники ЭДС соединены в батарею последовательно, то на нагрузке выделяется в 16 раз большая мощность, чем в том случае, когда батарея собрана из параллельно соединенных источников. Найти число  $N$  источников ЭДС.

1.8. Длинный цилиндрический конденсатор, состоящий из двух соосных цилиндров радиусами  $a = 5$  м и  $b = 6$  м, заполнен диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого изменяется по закону  $\epsilon = 7\sqrt{r}$ , где  $r$  – расстояние от оси конденсатора. Найти электрическую емкость такого конденсатора, приходящуюся на единицу его длины. Ответ выразить в нФ.

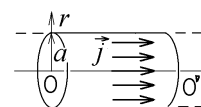


#### Пример домашнего задания №2 (семестр 3):

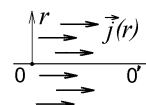
2.1. Бесконечный провод, по которому течет ток  $I_1 = 2$  А, согнут в виде прямых линий и расположен в плоскости  $yz$  (см. рисунок). По другому круговому проводнику с радиусом  $R = 1$  м и с центром в начале осей координат  $O$ , расположенному в плоскости  $xz$ , протекает ток  $I_2 = 1$  А. Найти величину индукции магнитного поля, создаваемого этими токами в центре  $O$ , если  $b = 1$  м.



2.2. По длинному прямому цилиндрическому проводнику радиуса  $a$  течёт постоянный ток с однородной плотностью  $\vec{j} = \text{const}$ . Индукция магнитного поля, создаваемого этим током, имеет самую большую величину на расстоянии  $r_0 = 2$  мм от оси проводника  $OO'$ . Найти отношение  $B(r_1)/B(r_2)$  величин индукции магнитного поля, создаваемого током, на расстояниях  $r_1 = 1$  мм и  $r_2 = 12$  мм от оси  $OO'$ .

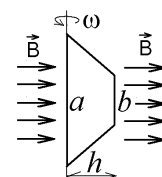


2.3. В некоторой немагнитной среде с магнитной проницаемостью  $\mu = 1$  течёт постоянный ток, вектор плотности которого направлен вдоль оси  $OO'$ , а величина этой плотности зависит от расстояния  $r$  до оси  $OO'$  по закону  $j = j_0 \cdot (r/b)^4$ , где  $b = 2$  см,  $j_0 = 2,4 \cdot 10^5$  А/м<sup>2</sup>. Найти величину напряжённости  $H$  магнитного поля, созданного этим током на расстоянии  $r = 1$  см от оси  $OO'$ .

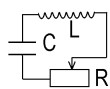


2.4. Линии индукции постоянного однородного магнитного поля направлены вдоль оси  $Oz$ . Частица с массой  $m = 3,2 \cdot 10^{-28}$  кг и зарядом  $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, движущаяся в этом поле, имеет плоскую траекторию. В начальный момент времени скорость частицы направлена вдоль оси  $Ox$ , а через промежуток времени  $\Delta t = 5 \cdot 10^{-8}$  с частица движется вдоль оси  $Oy$ . Найти наименьшее возможное значение индукции  $B$  такого магнитного поля.

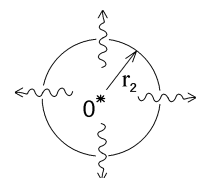
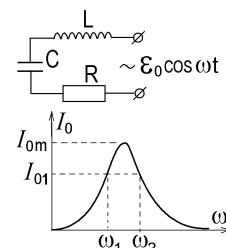
2.5. Из тонкого провода с сопротивлением  $R = 9$  Ом сделали замкнутый проводящий контур в виде равнобедренной трапеции с основаниями  $a = 12$  см,  $b = 6$  см и с высотой  $h = 8$  см. Этот контур вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл, причем ось вращения проходит через большее основание трапеции и перпендикулярна к линиям индукции поля. Найти величину угловой скорости вращения  $\omega$ , если максимальная величина тока, создаваемого в контуре при вращении,  $I_{\text{max}} = 4$  мА.



2.6. Когда изменяемое с помощью реостата активное сопротивление контура равно  $R_1 = 0$ , период собственных электрических колебаний в нём  $T_1 = 3$  мс. Когда сопротивление увеличивают до значения  $R_2$ , колебания в контуре прекращаются. Чему равен период  $T$  собственных электрических колебаний при величине сопротивления  $R = R_2/2$ ?



2.7. График зависимости амплитуды тока  $I_0$  от циклической частоты  $\omega$  внешней ЭДС представлен на рисунке. Известно, что амплитуда тока имеет одинаковую величину  $I_{01} = 4I_{0m}/5$  при двух значениях частоты внешней ЭДС  $\omega_1 = 3000$  с<sup>-1</sup> и  $\omega_2 = 12000$  с<sup>-1</sup> ( $I_{0m}$  – максимальная амплитуда тока при вынужденных колебаниях, см. рисунок). При какой частоте  $\omega$  амплитуда тока имеет максимальную возможную величину  $I_{0m}$ ? Параметры контура удовлетворяют условию  $\beta = R/2L = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ .



2.8. На расстоянии  $r_1 = 10$  м от точечного источника  $O$  высокочастотной монохроматической электромагнитной волны амплитуда напряжённости электрического поля этой волны равна  $E_0 = 0,2$  В/м. За какое время  $\Delta t$  через сферическую поверхность радиуса  $r_2 = 20$  м с центром в точке  $O$  волна переносит энергию  $W = 2,4$  Дж?  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

## 4. Темы курса физики для выполнения рефератов

### 2-й семестр

1. Преобразование скоростей и ускорений при переходе в неинерциальные системы отсчета. Кориолисово ускорение.
2. Уравнения движения физического тела (системы материальных точек) в неинерциальных системах отсчета (с несколькими примерами).
3. Вращение твердого тела вокруг произвольной оси и тензор момента инерции. Главные оси инерции (с несколькими примерами). Теорема Штейнера.
4. Реактивное движение. Уравнение Мещерского и формула Циолковского.
5. Связь уравнений движения твердого тела (системы материальных точек) в системе центра масс и в лабораторной системе отсчета. Плоское движение и его особенности.
6. Упругие и неупругие столкновения тел. Лобовое и нецентрально соударение бильярдных шаров.
7. Гироскопы и гироскопический эффект. Принцип действия гироскопа. Прецессия и нутация гироскопа.
8. Гравитационное поле и приливной эффект. “Лунный тормоз” вращения Земли.
9. Напряженность и потенциал гравитационного поля. Применение теоремы Гаусса для расчета гравитационных полей шара и пустотелой сферы.
10. Задача Кеплера движения спутников в гравитационном поле Земли. 1-я, 2-я и 3-я космические скорости.
11. Потенциальные кривые и их использование для анализа движения тел.
12. Вывод уравнений собственных затухающих колебаний для физического маятника в вязкой среде.
13. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний. Фигуры Лиссажу.
14. Метод векторной диаграммы и его применение к задаче сложения однонаправленных колебаний с физическими примерами.
15. Резонанс и резонансные частоты. Анализ частотных зависимостей амплитуды смещения и амплитуды скорости осциллятора при вынужденных колебаниях. Примеры резонанса.
16. Период колебаний ангармонического маятника. Вычисление периода колебаний физического маятника с большой амплитудой колебаний.
17. Автоколебания и параметрические колебания (с несколькими примерами).
18. Анализ движения связанных гармонических осцилляторов. Нормальные моды колебаний.
19. Волновой процесс и волновое уравнение. Вывод волнового уравнения и частоты звуковых колебаний в натянутой струне.
20. Скорость звука в газах и твердых телах. Поведение звука на границе раздела двух сред. Понятие об ударных волнах.
21. Эффект Доплера и его применение. Принцип измерения скорости движущихся объектов с помощью радаров.
22. Эффект Хаббла. Время жизни и законы расширения Вселенной.
23. Теорема Нётер. Связь физических законов и симметрий в природе.
24. Принцип относительности в релятивистской механике и вывод преобразований Лоренца для координат и времени. Следствия этих преобразований.
25. Четырехмерное пространство-время Минковского. Метрика пространства. 4-векторы и законы их преобразования. Релятивистские инварианты. Световой конус.
26. Релятивистский эффект Доплера и абберация светового луча. Отражение светового луча от движущегося с околосветовой скоростью зеркала.
27. Релятивистское уравнение движения материальной частицы и примеры его решения.
28. Законы сохранения в релятивистской механике.
29. Столкновения, распад и слияние релятивистских частиц. Дефект масс. Пороговая энергия реакции распада.
30. Обратимые и необратимые, равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Примеры.
31. Объяснение принципа работы холодильника, кондиционера и теплового насоса.
32. Неравенство Клаузиуса и его применение для объяснения работы реальной тепловой машины.
33. Термодинамическая вероятность и биномиальное распределение. Его анализ.
34. Флуктуации в термодинамической системе и их роль.
35. Применение статистического определения энтропии к анализу термодинамических процессов: эффект Бенара, поверхностно активные среды, синергетика.
36. Негэнтропия и её использование для анализа информационных процессов. Формула Шеннона.
37. Применение распределения Гаусса для анализа случайных событий (с несколькими примерами).
38. Вывод распределения Максвелла по проекциям скоростей и по величинам скоростей молекул газа. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
39. Явление эффузии.
40. Распределение Больцмана и вывод барометрической формулы на малых и больших высотах. Следствия термодинамического равновесия неравновесия земной атмосферы.
41. Распределение Максвелла-Больцмана частиц классического газа по энергиям. Примеры его применения.
42. Рассеяние пучка молекул (атомов) в твердом теле и в газе. Средняя длина свободного пробега.
43. Явления переноса и вывод потоков в газах и твердых средах.
44. Особенности явлений переноса тепла в твердых средах, газах при нормальных условиях и в сильно разреженных газах. Сходство и различие.
45. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости. Критерий Рейнольдса. Сила вязкого трения и сила сопротивления среды (с несколькими примерами).

46. Течение вязкой жидкости по капилляру. Формула Хагена-Пуазейля и её вывод.
47. Стационарное течение вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Законы гидродинамического подобия. Критерии подобия.
48. Броуновское движение. Вывод формулы Эйнштейна-Смолуховского.
49. Уравнения диффузии и их решения. Коэффициенты самодиффузии и взаимной диффузии.
50. Метод термодинамических потенциалов. Внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия и термодинамический потенциал Гиббса. Соотношения Максвелла и их использование для вывода термодинамических потенциалов.
51. Парадокс Гиббса и его объяснение.
52. Необратимые термодинамические процессы и их описание с помощью коэффициентов Онсагера. Соотношения взаимности. Теорема Пригожина.
53. Упорядоченные, неупорядоченные и аморфные конденсированные среды. Их особенности. Ближний и дальний порядок. Объяснение теплового расширения.
54. Вириальные коэффициенты и уравнение состояния реального газа. Его особенности (критическая изотерма, критическая точка, переохлажденное и перегретое метастабильные состояния, критическая опалесценция).
55. Эффект Джоуля-Томсона.
56. Явление поверхностного натяжения и его объяснение. Силы поверхностного натяжения. Скрытая теплота образования поверхности.
57. Краевые углы и образование мениска на краю поверхности жидкости, налитой в сосуд. Явление смачивания и несмачивания (с несколькими примерами). Растекание капли жира на поверхности воды.
58. Капиллярные явления: их объяснение и роль в природе. Осмотические процессы. Формула Лапласа и её применение к выводу силы сцепления.
59. Фазы, компоненты, химические потенциалы и их смысл. Условия равновесия фаз в однокомпонентной и многокомпонентной системе.
60. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Примеры. Фазовая диаграмма для нормальных и аномальных веществ.
61. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса и его применение для описания процессов плавления и испарения нормальных и аномальных веществ.
62. Насыщенный и ненасыщенный пар. Необходимость центров парообразования (конденсации) для начала процесса конденсации или испарения жидкости. Формула Кельвина и её использование. Точка росы.

### 3-й семестр

1. Принцип суперпозиции в электростатике. Методы вычисления напряженности и потенциала протяжённого тела, заряженного с неоднородной объёмной или поверхностной плотностью (примеры).
2. Применение теоремы Гаусса для расчёта электростатического поля систем с симметричным распределением электрического заряда.
3. Связь напряженности и потенциала электростатического поля. Примеры вычисления напряженности по известному распределению потенциала и вычисления потенциала по известному распределению напряженности.
4. Поле электрического диполя. Вывод потенциала и напряженности поля диполя. Сила взаимодействия диполя с точечным зарядом и с другим электрическим диполем.
5. Поле системы покоящихся зарядов на большом удалении. Дипольный, квадрупольный и октупольный момент.
6. Уравнения Пуассона и Лапласа для расчета потенциала электростатического поля. Примеры их решения.
7. Явление электрической индукции и экранировка электростатического поля с помощью проводника. Примеры.
8. Электростатическое поле в диэлектрике. Вывод теоремы Гаусса для вектора поляризованности и его использование для вычисления электростатического поля в однородном и неоднородном диэлектрике.
9. Система заряженных проводников и её ёмкостные коэффициенты. Конденсаторы и их роль в электротехнике. Вычисление ёмкости плоского, цилиндрического и сферического конденсатора.
10. Связь энергии системы заряженных проводников произвольной формы и расположения и энергии созданного ими электрического поля.
11. Пондеромоторные силы и примеры их появления при возникновении электрического поля. Электрострикция.
12. Опыты Толмена-Стюарта и их результаты.
13. Условия стационарности и квазистационарности электрического тока, их обоснование. Примеры появления квазистационарного тока.
14. Работа выхода электрона из проводника и появление контактной разности потенциалов. Примеры и объяснения.
15. Термоэлектрические явления (явления Зеебека, Пельтье и Томсона).
16. Релятивистская природа магнетизма. Релятивистские преобразования электрического и магнитного полей. Электромагнитное поле и релятивистские инварианты для него.
17. Применение теоремы о циркуляции для расчёта магнитного поля системы линейных, поверхностных и объёмных токов.
18. Контур с линейным током в неоднородном магнитном поле. Работа по его перемещению в магнитном поле.
19. Поле магнитного диполя. Сила взаимодействия двух магнитных диполей.
20. Магнитостатика. Скалярный и векторный магнитный потенциал. Методы расчета магнитного поля с помощью скалярного магнитного потенциала.
21. Эффект Холла и его применение.
22. Постоянное магнитное поле в магнетике. Вывод теоремы о циркуляции для вектора намагниченности и его использование для вычисления магнитостатического поля в однородном и неоднородном магнетике.

23. Постоянные магниты, их магнитное поле и причина его появления. Поле на поверхности постоянных магнитов и экранировка постоянного магнитного поля.
24. Магнетики. Причины появления ферро-, пара- и диамагнетизма.
25. Плазма и её свойства. Экранировка электрических полей в плазме.
26. Плазменные (Лэнгмюровские) колебания, причины и следствия их появления.
27. Плазма в магнитном поле. Пинч-эффект. Магнитные стенки и магнитные ловушки. Использование магнитных ловушек для удержания плазмы в ТОКАМАКАх.
28. Принцип работы генератора электрического тока и электромотора. Используемые для их работы физические явления.
29. Явление взаимной индукции. Коэффициенты взаимной индуктивности и примеры их вывода. Теорема взаимности и её применение. Индуктивная связь в радиоаппаратуре.
30. Электрический трансформатор, принцип его работы.
31. Система замкнутых линейных токов, её энергия и связь этой энергией с энергией магнитного поля, созданного токами.
32. Пондеромоторные силы и примеры их появления при возникновении магнитного поля. Магнитоотрицательности.
33. Интегрирующие и дифференцирующие RC-цепочки и их использование в аналоговых вычислительных устройствах.
34. Метод векторной диаграммы и его применение к задаче определения параметров вынужденных колебаний в электрическом колебательном контуре.
35. Резонанс и резонансные частоты в электрическом колебательном контуре. Амплитудно-частотная характеристика для напряжения на конденсаторе и на омическом сопротивлении. Избирательная способность контура.
36. Система уравнений Максвелла для описания электромагнитного поля, их смысл и методы решения.
37. Теорема Пойнтинга и её применение. Вектор Умова-Пойнтинга в случае электромагнитного поля.
38. Вывод волнового уравнения для электромагнитного поля. Электромагнитные волны.
39. Принцип передачи и приёма радиосигналов с помощью электромагнитных волн.
40. Вывод плотности энергии и плотности импульса электромагнитной волны. Процессы, в которых можно измерить эти величины.
41. Излучение электромагнитных волн ускоренными зарядами. Волновая зона. Диаграмма направленности излучения.
42. Закон Рэлея и эффект Тиндала при рассеянии электромагнитных волн. Их объяснение.

#### 4-й семестр

1. Распространение светового луча в неоднородной прозрачной среде. Принцип Ферма и уравнение эйконала.
2. Спектральные характеристики естественного света. Ширина спектральной линии и её уширение при учете взаимодействия излучающих атомов.
3. Отражение электромагнитных волн от проводящей среды. Стоячая электромагнитная волна и её особенности. Оптические резонаторы.
4. Отражение и преломление света на границе двух прозрачных сред. Формулы Френеля. Коэффициенты прохождения и отражения света и их анализ.
5. Принцип работы лазера. Свойства лазерного излучения.
6. Способы получения интерференционной схемы Юнга с помощью бипризмы, билинзы Бийе и зеркала Ллойда. Вывод интерференционной картины в этих устройствах.
7. Условия пространственной и временной когерентности и необходимость их выполнения для получения интерференционной картины.
8. Методы получения и расчет интерференционных картин полос равного наклона и полос равной толщины с помощью тонкой плёнки. Различия этих методов.
9. Интерферометры и их использование. Принцип работы и применение интерферометров Майкельсона, Фабри-Перо, звёздного интерферометра Майкельсона.
10. Принцип действия и применение направленных радиоизлучателей.
11. Метод Фурье-спектрометрии и его применение.
12. Вывод распределения интенсивности света после прохождения плоской монохроматической или немонахроматической световой волной дифракционной решётки. Разрешающая способность дифракционных решёток и их использование в спектроскопии.
13. Голография. Метод получения объёмного изображения.
14. Интерферометрия интенсивностей при сложении некогерентных электромагнитных волн (метод Хэнбери-Брауна-Твисса).
15. Дифракция света на круглых отверстиях. Разрешающая способность оптических приборов (микроскопа, человеческого глаза).
16. Поляризация света при прохождении и отражении от границы двух диэлектрических сред. Закон Брюстера.
17. Физические причины и условия возникновения полного внутреннего отражения света. Поляризация света при полном внутреннем отражении.
18. Двойное лучепреломление и поляризация света в анизотропной среде. Построение Гюйгенса (с примерами распространения света под разными углами к оптической оси).
19. Кристаллооптика: электрооптические и магнитооптические явления в кристаллах.
20. Методы получения поляризованного света. Поляризационные призмы и поляроиды.
21. Искусственная анизотропия прозрачной среды. Эффект Керра. Ячейки Керра и их применение.
22. Явление дисперсии света. Электронная теория дисперсии света в среде.

23. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Её вывод и следствия.
24. Методы оптической пирометрии.
25. Эффект Комптона на движущихся заряженных частицах.
26. Рассеяние электромагнитного излучения на атомах. Опыты Резерфорда и их следствия.
27. Ионизация и возбуждение атомов среды. Опыты Франка-Герца и их следствия.
28. Принцип квантовой суперпозиции. Его причины и следствия.
29. Принцип неопределённости и принцип дополнительности в квантовой теории: причины и следствия.
30. Туннельный эффект: причины и следствия (с несколькими примерами).
31. Рассеяние микрочастиц в квантовой теории. Эффективное сечение рассеяния.
32. Тонкая и сверхтонкая структура энергетических уровней в атоме водорода. Причины её появления и следствия.
33. Лэмбовский сдвиг. Взаимодействие микрочастицы с физическим вакуумом.
34. Атом во внешнем магнитном поле. Нормальный и аномальный эффект Зеемана.
35. Спин-орбитальное взаимодействие: причины и следствия.
36. Метод теории возмущений в квантовой теории.
37. Методы решения уравнения Шрёдингера для многоэлектронного атома. Поле Хартри. Обменная и кулоновская энергия.
38. Естественная ширина и мультиплетность спектральных линий. Правила отбора. Метастабильные состояния.
39. Заполнение электронных оболочек и периодическая таблица Менделеева.
40. Связующие межатомные орбитали. Образование молекул.
41. Молекулярные спектры и их особенности.
42. Причины образования межатомных связей в твердых средах: ковалентная, металлическая, ионная, водородная связь.
43. Электроны в среде с кристаллической решёткой. Образование энергетических зон и заполнение их электронами.
44. Энергия Ферми и поверхность Ферми в металлах и полуметаллах.
45. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна и их особенности. Сравнение с распределением Максвелла-Больцмана.
46. Свойства газа квазисвободных электронов при нулевой и ненулевой температуре. Зависимость функции Ферми и энергии Ферми от температуры.
47. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Его свойства.
48. Фононы.
49. Теплоёмкость кристаллических сред в классической и квантовой теории. Модель Дебая и модель Эйнштейна.
50. Объяснение законов электропроводности металлов в квантовой теории.
51. Объяснение гальваномагнитных явлений в квантовой теории. Эффекты Эйнштейна - де Хааза, Барнетта, де Хааза – ван Альфвена (квантовые осцилляции). Эффект гигантского магнетосопротивления и его применение.
52. Распространение электромагнитных волн в металле. Скин-эффект и скин-слой.
53. Распространение электромагнитных волн в диэлектрике. Формула Клаузиуса-Мосотти и закон Бугера.
54. Сегнетоэлектрики. Доменная структура и гистерезис сегнетоэлектриков. Применение сегнетоэлектриков в технике.
55. Собственные полупроводники. Особенности заполнения энергетических зон. Эффект Ганна. Физические причины температурной зависимости электропроводности собственных полупроводников.
56. Примесные полупроводники. Особенности заполнения энергетических зон. Физические причины температурной зависимости электропроводности примесных полупроводников.
57. Оптические свойства полупроводников. Эффект фоторезистивности. Эффект Келдыша-Франца и его объяснение.
58. Контактные явления в полупроводниках. p-n-переход и его свойства.
59. Фотогальванические явления в полупроводниках. Причины появления фотоЭ.Д.С. Солнечные батареи и варикапы.
60. Физические принципы работы полупроводниковых транзисторов. Биполярные и полевые транзисторы. МДП-структуры.
61. Причины появления диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма в квантовой теории.
62. Физические причины появления магнитного упорядочения сред. Явления ферро- и ферри-магнетизма. Примеры.
63. Доменная структура ферромагнетиков и причины её появления. Поведение доменов во внешнем магнитном поле. Стенки Блоха.
64. Явление магнитного гистерезиса и его применение в технике.
65. Магнотриксционные явления и их применение в технике. Эффект гигантской магнитострикции.
66. Парамагнитный резонанс и его применения.
67. Ферро- и ферримагнитный резонанс. Циклотронный магнитный резонанс. Применения на практике.
68. Сверхпроводимость и причины её появления. Куперовские электронные пары. Применение сверхпроводников.
69. Сверхпроводник 1-го рода во внешнем магнитном поле. Эффект Мейснера и его объяснение. Проникновение магнитного поля в поверхностный слой сверхпроводника и макроскопический квантовый эффект. Криотроны.
70. Сверхпроводники 2-го рода и их использование. Объяснение причин появления вихрей Абрикосова и явления пиннинга.
71. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. СКВИДы и их применение.
72. Размерные квантовые эффекты в низкоразмерных системах. Гетероструктуры и их применение (гетеролазеры, спинтовые клапаны, спинтроника и т.п.)
73. Квантовый эффект Холла и дробный квантовый эффект Холла. Их применения.
74. Физические свойства квантовых нитей, нанотрубок, квантовых точек. Методы их получения и применение на практике.

75. Причина удержания нуклонов в атомном ядре. Магнитные моменты ядер и ядерный магнитный резонанс.
76. Особенности оболочечной и капельной модели атомного ядра. Энергия связи атомного ядра и объяснение её зависимость от числа нуклонов в ядре.
77. Типы ядерных реакций распада и роль туннельного эффекта. Нейтронно-избыточные и нейтронно-дефицитные ядра и их распад.
78. Методы радиоизотопной хронологии и цепочки ядерных превращений радионуклидов (с несколькими примерами).
79. Эффект Мёссбауэра и его применение.
80. Физические принципы работы ядерного реактора. Надкритичный и подкритичный режимы цепной реакции. Реакторы на запаздывающих и на быстрых нейтронах.
81. Методы нейтронографии и нейтронной спектроскопии. Их обоснование и применение на практике.
82. Управляемый и неуправляемый термоядерный синтез и проблема нуклеосинтеза химических элементов.
83. Ионизирующие излучения, их источники и действие на организм. Доза облучения. Физические принципы защиты от ионизирующих излучений.
84. Фундаментальные взаимодействия в физике элементарных частиц. Лептоны, адроны, барионы, мезоны и их классификация.
85. Кварковые модели адронов. Семейства кварков, их цветовой заряд (идеи квантовой хромодинамики). Конфайнмент (проблема невылетания кварков из адрона).
86. Роль симметрий в физике элементарных частиц.

## 5. Порядок оформления рефератов

Реферат(отчет о проведении данного раздела самостоятельной работы) выполняется на листах формата А4 машинописного текста объемом 10-15 страниц. Шрифт кегль 14, межстрочное расстояние одинарное, отступ 1 см, поля – кругом – 2 см. Выравнивание – по ширине.

Текст реферата должен четко соответствовать теме задания, выданного преподавателем. В противном случае предложенный к сдаче материал не будет принят. Текст реферата не должен содержать орфографических и стилистических ошибок.

Реферат должен содержать:

1. Титульный лист (не нумеруется).
2. Содержание (с указанием наименований разделов и подразделов, а также номеров страниц).
3. Введение.
4. Список использованной литературы (не менее 5 источников; в случае электронных ссылок указать адрес сайта и страницы).

Рисунки, таблицы, формулы должны быть пронумерованы (по разделам или сквозной нумерацией), рисунки и таблицы должны иметь названия.

Титульный лист реферата выполняется по следующему образцу:

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра физики

РЕФЕРАТ

по дисциплине «физика»,  
раздел «наименование раздела»

« Тема реферата в соответствии с заданием преподавателя»

Выполнил: студент гр. ....

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Проверил: \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись, оценка)

Тула - 2020

---

Содержание (примерный вид)

Содержание

	Стр
Введение .....	3
1. Название первого раздела .....	4
1.1 Название первого подраздела .....	6
1.2 Название второго подраздела .....	9
2. Название второго раздела .....	11
3. Название третьего раздела .....	12
4. Название четвертого раздела .....	13
5. Список использованной литературы .....	15

Список использованной литературы (примерный вид).

Список содержит:

- 1) Библиографическое описание книги (монографии, учебника).

В библиографическом описании указывают: а) фамилию и инициалы автора (авторов), название книги, город издания, название издательства, год издания, количество страниц.

2) Библиографическое описание статьи указывают: фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год издания, том, выпуск, страницы.

3) В библиографическом описании электронного источника указывают: фамилию и инициалы автора (авторов) электронной статьи, адрес сайта, страницу.

#### 5. Список использованной литературы (пример)

1. Иванов И.И. Физика Земли - М.: Высшая школа.- 2006,- 307 с.
2. Сидоров С.С., Петров. П.П. Новые данные о горизонтальной составляющей магнитного поля Земли//Физика Земли.- 2007.- Т.345.-вып. 3.-С.234-237.
3. Петров П.П. Роль российских ученых в анализе реликтового космического излучения//[http://www.rffi.ru/physics of earth](http://www.rffi.ru/physics_of_earth).

В тексте работы **обязательно** наличие **ссылок** на источник приведенной информации, использованный в работе и соответствующий (по нумерации) «Списку использованной литературы».

## 6. Библиографический список учебной литературы, рекомендованной для самостоятельного изучения

### 2-й семестр

1. Савельев И.В. Курс физики в 3-х тт.: Т. 1: Механика. Молекулярная физика — СПб, М.: Лань — 2017.— 356 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/95163#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/95163#book_name).— ЭБС “Лань”, по паролю.
2. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. — М.: БИНОМ — 2013.— 309 с.
3. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. — М.: БИНОМ — 2010.— 207 с.
4. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. — СПб, М.: Лань — 2009.— 432 с.
5. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. — СПб, М.: Лань — 2010.— 360 с.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А., под ред. Общая физика (для бакалавров) — М.: КноРус, 2016. — 800 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.book.ru/book/922169>.— ЭБС “BOOK.ru”, по паролю.
7. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спирин Г.Г. Курс общей физики. Книга 1: Механика. Учебник для бакалавров.— М.: Юрайт — 2015.— 353 с.
8. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спирин Г.Г. Курс общей физики. Книга 3: Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества. Учебник для бакалавров.— М.: Юрайт — 2015.— 369 с.
9. Сивухин Д.В. Курс общей физики в 5 тт. Т.1. Механика — М.: ФИЗМАТЛИТ — 2005.— 560 с.
10. Сивухин Д.В. Курс общей физики в 5 тт. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика — М.: ФИЗМАТЛИТ — 2005.— 544 с.
11. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лагун И.М., Лежнева Л.С. Механика и теория относительности : лекции по физике — Тула : Изд-во ТулГУ, 2010.— 180 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112718061265516800007818>. — ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.
12. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С. Термодинамика и молекулярная физика. Лекции по физике — Тула : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 139 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112810265189549100005390>. — ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

### 3-й семестр

1. Савельев И.В. Курс физики в 3-х тт.: Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика — СПб, М.: Лань — 2018.— 468 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/100927#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/100927#book_name).— ЭБС “Лань”, по паролю.
2. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. — М.: БИНОМ — 2013.— 319 с.
3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. — СПб, М.: Лань — 2010.— 463 с.
4. Чертов А.Г., Воробьев А.А., под ред. Общая физика (для бакалавров) — М.: КноРус, 2016. — 800 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.book.ru/book/922169>.— ЭБС “BOOK.ru”, по паролю.
5. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спирин Г.Г. Курс общей физики. Книга 2: Электромагнетизм. Оптика. Атомная физика. Учебник для бакалавров.— М.: Юрайт — 2015.— 441 с.
6. Сивухин Д.В. Курс общей физики в 5 тт. Т.3. Электричество — М.: ФИЗМАТЛИТ — 2004.— 656 с.
7. Колмаков Ю. Н., Пекар Ю. А., Лагун И. М. Электричество и магнетизм: лекции по физике . — Тула : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 140 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112810334538607700008298>. — ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

### 4-й семестр

1. Савельев, И. В. Курс физики в 3-х тт.: Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — СПб, М.: Лань — 2018.—308 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/98247#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/98247#book_name).— ЭБС “Лань”, по паролю.
2. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы — М.: БИНОМ — 2014.— 263 с.
3. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы — М.: БИНОМ — 2013.— 256 с.
4. Матвеев А.Н. Атомная физика. —М.: Высш.школа — 1989.— 440 с.
5. Чертов А.Г., Воробьев А.А., под ред. Общая физика (для бакалавров) — М.: КноРус, 2016. — 800 с.  
[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.book.ru/book/922169>.— ЭБС “BOOK.ru”, по паролю.
6. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спирин Г.Г. Курс общей физики. Книга 2: Электромагнетизм. Оптика. Атомная физика. Учебник для бакалавров.— М.: Юрайт — 2015.— 441 с.
7. Сивухин Д.В. Курс общей физики в 5 тт. Т.4. Оптика — М.: ФИЗМАТЛИТ — 2005.— 792 с.
8. Сивухин Д.В. Курс общей физики в 5 тт. Т.5. Атомная и ядерная физика — М.: ФИЗМАТЛИТ — 2002.— 784 с.
9. Епифанов Г.И.. Физика твердого тела. — СПб, М.: Лань — 2011.— 288 с.
10. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С. Электромагнетизм и оптика : лекции по физике — Тула, 2010 .— 130 с.

[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112810384275951700003447>. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

11. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С., Семин В.А. Основы квантовой теории и атомной физики — Тула : Изд-во ТулГУ, 2010 .— 148 с.

[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112811001257771700009442>. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

12. Колмаков Ю. Н., Левин Д.М., Семин В.А. Основы физики конденсированных сред и физики микромира: Ч.1 — Тула : Изд-во ТулГУ, 2014.— 185 с.

[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112811061720373600008163> – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

13. Колмаков Ю. Н., Левин Д.М., Семин В.А. Основы физики конденсированных сред и физики микромира: Ч.2 — Тула : Изд-во ТулГУ, 2014.— 150 с.

[Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014112811120307727100005632> – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.