МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Уральский институт государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра физики и теплообмена

ФИЗИКА

Методические рекомендации для выполнения
контрольной работы по дисциплине “Физика” для слушателей
факультета заочного обучения
по направлению подготовки (специальности)
280705 Пожарная безопасность

Екатеринбург 2012

Физика. Методические рекомендации для выполнения контрольной работы по дисциплине “Физика” для слушателей факультета заочного обучения по направлению подготовки (специальности) 280705 Пожарная безопасность / Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России. 2012. 110 с.

Составитель:
Ильиных А.С., преподаватель кафедры физики и теплообмена ФГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России»;

Рецензенты:

Попель П.С., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и естествознания ФГБОУ «Уральский государственный педагогического университет», заслуженный деятель науки РФ;

Кайбичев И.А., доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и информатики ФГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России».

Данные методические рекомендации для выполнения контрольной работы разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине "Физика" и предназначены для помощи слушателям факультета заочного обучения по специальности 280705 – Пожарная безопасность, в процессе их самостоятельной работы.

Пособие содержит краткие теоретические сведения по разделам "Физические основы механики", «Молекулярная, статистическая физика и основы термодинамики», «Электромагнетизм», «Оптика», «Квантовая физика», «Атомная и ядерная физика», рассмотрены вопросы, вызывающие у слушателей наибольшее затруднения при самостоятельном изучении. Приведены варианты заданий и приведены примеры решения задач.

Библиогр.: назв., табл. , рис.

Подготовлено кафедрой Физики и теплообмена

Рекомендовано к изданию методическим советом
УрИ ГПС МЧС России

Протокол № _____ от__________ 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
Литература 5
Выполнение и оформление контрольной работы 6
Сведения о приближенных величинах 7
Учебные материалы по разделам курса физики 8
1. Физические основы механики 8
2. Молекулярная физика и основы термодинамики 20
3. Электричество и магнетизм. Колебания и волны 32
4. Оптика 50
5. Атомная и ядерная физика 58
Варианты контрольной работы 67
Задания контрольной работы 70
Рисунки к задачам 105
Справочные материалы 108

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания и варианты контрольной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины Физика и предназначены для слушателей факультета заочного обучения по специальности 280705 – Пожарная безопасность.

Целями освоения учебной дисциплины «Физика» являются:

– формирование у обучаемых современного естественнонаучного мировоззрения, целостного представления о физических законах окружающего мира в их единстве и взаимосвязи;
– приобретение знаний, умений и навыков в данной научной области, способствующих успешному изучению других дисциплин и осуществлению профессиональной деятельности;
– формирование готовности к саморазвитию и самообразованию.

Для достижения данных целей предусматривается решение следующих основных задач:

– изучение сущности основных физических явлений;
– изучение сущности фундаментальных понятий, законов и теорий классической и современной физики;
– рассмотрение места и роли дисциплины физики в системе научных дисциплин;
– формирование у обучаемых физической картины мира;
– овладение приемами и методами решения конкретных задач из современных областей физики, а также профессионально-ориентированных задач;
– овладение методами физического исследования; ознакомление с современной научной аппаратурой;
– формирование способностей выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;
– формирование навыков проведения физического эксперимента.

Все вышеперечисленные знания, умения и навыки приобретаются слушателями в процессе самостоятельной работы и на обязательных аудиторных занятиях.

Контрольная работа включает в себя практические задания по темам: "Физические основы механики", «Молекулярная, статистическая физика и основы термодинамики», «Электромагнетизм», «Оптика», «Квантовая физика», «Атомная и ядерная физика».

. Основная литература

1. *Трофимова Т.И.* Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. 560 с.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. Задачи и решения. Учеб. пособие для втузов /Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. 592 с.
3. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн.1. Механика: Учеб. пособие для втузов/ И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 256 с.: ил.
4. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн.2. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие для втузов/ И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 336 с.: ил.
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн.3. Молекулярная физика и термодинамика: Учеб. пособие для втузов/ И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 208с.: ил.
6. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн.4. Волны. Оптика: Учеб. пособие для втузов/ И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 256 с.: ил.
7. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 кн. Кн.5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учеб. пособие для втузов/ И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. 368 с.: ил.
8. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. – СПб.: Лань, 2003. 320 с.

Дополнительная литература

9. *Трофимова Т.И.* Краткий курс физики. – М.: Высшая школа, 2000. 352 с.
10. *Спичкин Ю.В. Соловьев А.С., Калач А.В., Барбин Н.М.* Сборник задач по физике для подготовки инженеров пожарной безопасности: учеб. пособие: В 2 ч. Часть I. Физические основы механики. Молекулярная физика. Термодинамика. – Екатеринбург, 2010. 102 с.
11. Таблицы физических величин. Справочник/Под ред. И.К. Кикоина – М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.

. Методические разработки кафедры

12. *Зобова Н.А., Барбин Н.М.* Применение законов физики в пожарной безопасности: Учеб. пособие. – Екатеринбург, 2008. 60 с.
13. *Морозова И.М., Тархова Е.В.* Методические рекомендации для выполнения домашних контрольных работ по дисциплине «Физика» курсантами очной формы обучения факультета инженеров пожарной безопасности. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2007. 16 с.
14. *Морозова И.М., Тархова Е.В., Кононенко Е.В.* Физические величины и их измерения: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России. 2008. 44 с.

15. Морозова И.М., Тархова Е.В., Кононенко Е.В. Методы и средства измерения давления: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России. 2008. 43 с.
16. *Морозова И.М., Тархова Е.В., Кононенко Е.В.* Методы и средства измерения температуры: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России. 2008. 84 с.
17. *Зобова Н.А., Барбин Н.М., Попель П.С.* Основные понятия физики. Часть I. Классическая физика: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2009. 88 с.
18. *Зобова Н.А., Барбин Н.М., Попель П.С., Борисенко А.В.* Основные понятия физики. Часть II. Квантовая физика: Учебное пособие. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2010. 62 с.
19. *Попель П.С., Барбин Н.М., Курочкин А.Р*. Физика. Раздел 2. Молекулярная физика и основы термодинамики: Учеб. пособие для самостоятельной работы курсантов и слушателей. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2011. 66 с.

ВЫПОЛНЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Слушатели выполняют контрольную работу в соответствии с учебным планом в сроки, установленные факультетом заочного обучения.
2. Слушатели должны выполнить один из 100 вариантов, номер, которого определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки.
3. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради в клеточку, ручкой любого цвета, кроме зеленого и красного, аккуратно и разборчивым почерком, чертежи выполняются простым карандашом с использованием инструмента; либо на компьютере.
4. На титульном листе следует указать фамилию, имя, отчество, должность и звание слушателя, его адрес с указанием почтового индекса, номер зачетной книжки, номер варианта.
5. Задания в контрольной работе выполняются по порядку, согласно расположению их в варианте.
6. На заключительном листе контрольной работы следует указать список литературы, которым Вы пользовались при ее выполнении.
7. Если контрольная работа выполнена с нарушением всех вышеперечисленных указаний или не полностью, то она возвращаются слушателю для доработки без проверки.
8. Если работа не зачтена, внимательно изучите все замечания рецензента. Переделайте работу в соответствии с рекомендациями рецензента.
9. Переделанную работу предоставляются на проверку вместе с не зачтенной работой.

Примерная схема решения задач

Приступая к решению задач по какому-либо разделу, необходимо ознакомиться по учебной литературе и данному методическому пособию с конкретными физическими понятиями и основными формулами этого раздела. Разобрать приведенные в пособии примеры решения задач изучаемого раздела.

При решении задач целесообразно придерживаться следующей схемы:

- задачу перепишите полностью, по условию задачи представьте физическое явление, сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;
- сделайте, где это необходимо, чертеж, схему или рисунок, поясните описанный в задаче процесс;
- напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс, дайте словесную формулировку законов, разъясните буквенные обозначения;
- преобразуйте уравнения так, чтобы в них входили лишь исходные данные и табличные величины;
- решив задачу, в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;
- произведите вычисления в соответствии с правилами приближенных вычислений.

СВЕДЕНИЯ О ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

В физических задачах числовые значения являются приближенными. Задачи с приближенными данными нужно решать, соблюдая правила подсчета значащих цифр. Значащими называются все цифры, кроме нуля, а также и нуль в двух случаях: когда он стоит между значащими цифрами и когда он стоит в конце числа.

При вычислениях нельзя получить результат более точный, чем исходные данные, поэтому следует вести приближенные вычисления.

При сложении или вычитании приближенных чисел, имеющих различную точность, более точное должно быть округлено до точности менее точного. Например: $9{,}6 + 0{,}176 = 9{,}6 + 0{,}2 = 9{,}8$.

При умножении и делении следует в полученном результате сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное данное с наименьшим количеством значащих цифр. Например

$0{,}637 \cdot 0{,}023 = 0{,}013$, но не $0{,}0132496$.

При возведении в квадрат или куб нужно сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет возводимое в степень число. Например

$1{,}25^2 = 1{,}56$, но не $1{,}5625$; $1{,}01^3 = 1{,}03$, но не $1{,}030301$.

При извлечении квадратного и кубического корней в результате нужно сохранять столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное число. Например $\sqrt{10} = 3{,}2$, но не $3{,}162$; $\sqrt[3]{10} = 2{,}2$, но не $2{,}154$.

Когда число мало отличается от единицы, можно пользоваться приближенными формулами. Если a, $в$, c меньше 0,05, то:

$$(1 \pm a)(1 \pm b)(1 \pm c) = 1 \pm a \pm b \pm c;$$

$$\sqrt{1 \pm a} = 1 \pm a/2; \ \ (1 \pm a)^n = 1 \pm na;$$

$$1/(1 \pm a)^n = 1 \mp na; \ \ 1/(1 \pm a) = 1 \mp a;$$

$$e^a = 1 + a; \ \ ln(1 \pm a) = \pm a - a^2/2$$

Если угол α « 5° и выражен в радианах, то в первом приближении можно принять sin α = tg α = α; cos α = 1

Соблюдая эти правила, студент сэкономит время на вычислении искомых величин при решении физических задач.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РАЗДЕЛАМ КУРСА ФИЗИКИ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.

1.1. Основные формулы

- Кинематическое уравнение движения материальной точки (центра масс твердого тела) вдоль оси X

$\boldsymbol{x = f(t)}$,

где $\boldsymbol{f(t)}$ - некоторая функция времени.

- Средняя скорость $\bar{\boldsymbol{v}}_x = \dfrac{\Delta \boldsymbol{x}}{\Delta \boldsymbol{t}}$

- Средняя путевая скорость $\bar{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{S}}{\Delta \boldsymbol{t}}$, где $\Delta \boldsymbol{S}$ - путь, пройденный точкой за интервал времени $\Delta \boldsymbol{t}$. Путь $\Delta \boldsymbol{S}$ в отличие от разности координат $\Delta \boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}_2 - \boldsymbol{x}_1$ не может убывать и принимать отрицательные значения, т.е. $\Delta \boldsymbol{S} > \boldsymbol{0}$.

- Мгновенная скорость $\boldsymbol{v}_x = \dfrac{\boldsymbol{dx}}{\boldsymbol{dt}}$

- Среднее ускорение $\bar{\boldsymbol{a}}_x = \dfrac{\Delta \boldsymbol{\nu}_x}{\Delta \boldsymbol{t}}$

- Мгновенное ускорение $\boldsymbol{a}_x = \dfrac{\boldsymbol{d\nu}_x}{\boldsymbol{dt}}$

- Кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности радиусом R:

$$\boldsymbol{\varphi = f(t), \quad R = r = const}$$

- Угловая скорость $\boldsymbol{\omega} = \dfrac{\boldsymbol{d\varphi}}{\boldsymbol{dt}}$.

- Угловое ускорение $\boldsymbol{\varepsilon} = \dfrac{\boldsymbol{d\omega}}{\boldsymbol{dt}}$.

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

$$\boldsymbol{\upsilon = \omega R}, \ \boldsymbol{a_\tau = \varepsilon R}, \ \boldsymbol{a_n = \omega^2 R}$$

где υ – линейная скорость; a_τ и a_n, - тангенциальное и нормальное ускорения.

- Полное ускорение $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$; $a = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$
- Угол между полным a и нормальным a_n ускорениями $a = arccos\left(\frac{a_n}{a}\right)$
- Импульс материальной точки массой m, движущейся поступательно со скоростью υ: $p = m\upsilon$.
- Второй закон Ньютона для поступательного движения

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Сила, действующая на тело массы m (m= *const*)

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = m\vec{a}.$$

- Силы, рассматриваемые в механике:

a) сила упругости $F = kx$

где k - коэффициент упругости (в случае пружины – жесткость); x - абсолютная деформация;

b) сила тяжести $\vec{P} = m\vec{g}$;

c) сила гравитационного взаимодействия

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

где G - гравитационная постоянная; m_1 и m_2 - массы взаимодействующих тел; r - расстояние между телами (тела рассматриваются как материальные точки).

В случае гравитационного взаимодействия сила $F = \gamma\, m$, где γ – напряженность гравитационного поля;

d) сила трения (скольжения) $F = fN$, где f- коэффициент трения; N -сила нормального давления.

- Закон сохранения импульса $\sum_{i=1}^{n} p_i = const$, или для двух тел *(i=2)*

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$$

где $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ - скорости тел в момент времени, принятый за начальный; $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ - скорости тех же тел в конечный момент времени.

- Скорости шаров массами m_1 и m_2 после абсолютно упругого центрального удара

$$u_1 = \frac{\upsilon_1(m_1 - m_2) + 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2}; \qquad u_2 = \frac{\upsilon_2(m_2 - m_1) + 2m_1\upsilon_1}{m_1 + m_2}$$

- Скорость шаров массами m_1 и m_2 после абсолютно неупругого удара

$$\boldsymbol{u} = \frac{\upsilon_1 m_1 + \upsilon_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

- Работа переменной силы на пути S

$$A = \int_s F_s dS = \int_s F_s \cos\alpha \, dS.$$

- Мощность $N = \dfrac{dA}{dt}$; $N = F\upsilon\cos\alpha$

- Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно,

$$E_K = T = \frac{m\upsilon^2}{2}; \qquad E_K = T = \frac{p^2}{2m}$$

- Потенциальная энергия:

a) упругодеформированной пружины $\Pi = \dfrac{k\,x^2}{2}$

b) гравитационного взаимодействия $\Pi = -\gamma\dfrac{m_1 m_2}{r}$

c) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести $\Pi = mgh$

где h- высота тела над уровнем, принятым за нулевой (h мала по сравнению с радиусом Земли).

- Закон сохранения механической энергии: $E = T + \Pi = const.$
- Работа, совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения энергии системы $A = \Delta E = E_2 - E_1$
- Напряженность и потенциал гравитационного поля Земли:

$$E = \gamma\frac{M}{(R_з + h)^2} \qquad \varphi = \gamma\frac{M}{(R_з + h)}$$

- Момент инерции материальной точки $J = mr^2$,

где m- масса точки, *r* - расстояние до оси вращения.

- Момент инерции некоторых тел массой m:

a) полного и сплошного цилиндров (или диска) радиуса *R* относительно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра

$$J_{пол} = mR^2, \qquad J_{спл} = \frac{1}{2}mR^2$$

b) шара радиуса R относительно оси вращения, проходящей через центр масс шара $J = \dfrac{2}{5}mR^2$

c) тонкого стержня длиной l, если ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через центр масс стержня

$$J = \frac{1}{12} ml^2$$

d) то же, но ось вращения проходит через один из концов стержня $J = \frac{1}{3} ml^2$

e) тела относительно произвольной оси, отстоящей на расстояние d от оси, проходящей через центр масс. Теорема Штейнера

$$J = J_0 + md^2$$

- Момент силы относительно оси вращения $\vec{M} = \left[\vec{r} \times \vec{F} \right]$,

где $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный в точку приложения силы *P*. Модуль момента силы $M = F \bullet l$, где l - плечо силы.

- Момент импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси Z:

$$L_Z = J_Z \omega$$

- Основное уравнение динамики вращательного движения

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt}$$

При *J=const* $$\vec{M} = J\frac{d\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon}$$

- Закон сохранения момента импульса (количества движения) для изолированной системы $\sum_{i=1}^{n} J_i \omega_i = const$

- Кинетическая энергия вращающегося тела $E = \frac{J\omega^2}{2}$

- Работа при вращательном движении $dA = M \cdot d\varphi$, где $d\varphi$ – угол поворота тела, M – момент силы относительно оси вращения.

- Зависимость длины тела и времени от скорости в релятивистской механике

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}} \qquad t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \upsilon^2 / c^2}}$$

где l_0 - длина стержня, измеренная в системе отчета, относительно которой стержень покоится (собственная длина); l - длина стержня, измеренная в системе отчета, относительно которой он движется со скоростью v_0; t_0 - промежуток времени между двумя событиями, отсчитанный часами, движущимися вместе с телом; t -промежуток времени между теми же событиями, отчитанный покоящимися часами; $\boldsymbol{c}$ - скорость распространения света в вакууме.

- Теорема сложения скоростей в теории относительности

$$\boldsymbol{u}=\frac{\boldsymbol{u}'+\boldsymbol{\upsilon}}{1+\boldsymbol{u}'\cdot \boldsymbol{\upsilon}/\boldsymbol{c}^2}$$

где $\boldsymbol{u}'$ – скорость тела относительно подвижной системы координат *K';* $\boldsymbol{v}$ – скорость системы – *K',* движущейся в положительном направлении оси *X* системы отсчета *K;* $\boldsymbol{u}$ – скорость тела относительно неподвижной системы К (оси Y и Y", Z и Z', параллельны).

- Энергия покоя частицы $\boldsymbol{E=mc}^2$, где m_0 - масса покоя частицы.
- Зависимость массы частицы от скорости $\boldsymbol{\upsilon}$, сравнимой со скоростью света:

$$\boldsymbol{m}=\frac{\boldsymbol{m}_0}{\sqrt{1-\boldsymbol{\upsilon}^2/\boldsymbol{c}^2}}$$

- Полная энергия частицы, движущейся со скоростью $\boldsymbol{v}$, сравнимой со скоростью света,

$$\boldsymbol{E}=\boldsymbol{m}\boldsymbol{c}^2=\frac{\boldsymbol{m}_0\boldsymbol{c}^2}{\sqrt{1-\boldsymbol{\upsilon}^2/\boldsymbol{c}^2}}$$

- Кинетическая энергия релятивистской частицы

$$\boldsymbol{T}=\boldsymbol{E}_2-\boldsymbol{E}_1=\boldsymbol{m}_0\boldsymbol{c}^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\boldsymbol{\upsilon}^2/\boldsymbol{c}^2}}-1\right)$$

- Релятивистский импульс частицы

$$\vec{\boldsymbol{p}}=\frac{\boldsymbol{m}_0\boldsymbol{v}^2}{\sqrt{1-\frac{\boldsymbol{v}^2}{\boldsymbol{c}^2}}}$$

- Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы

$$\boldsymbol{E}^2=\boldsymbol{m}_0^2\boldsymbol{c}^4+\boldsymbol{p}^2\boldsymbol{c}^2,\qquad \boldsymbol{p}=\frac{1}{\boldsymbol{c}}\sqrt{\boldsymbol{T}\left(\boldsymbol{T}+2\boldsymbol{m}_0\boldsymbol{c}^2\right)}$$

1.2 Примеры решения задач

Пример 1. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$. Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 0,1 м от оси вращения, для момента времени 4 с. (рис. 1.)

Дано: $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$ r = 0,1 м; t = 4 с.
Найти: a

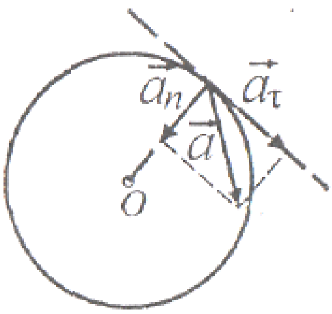


Рис.1.

Решение:

Точка вращающегося тела описывает окружность. Полное ускорение точки, движущейся по кривой линии, может быть найдено как геометрическая сумма тангенсального ускорения a_τ, направленного по касательной к траектории, и нормального ускорения a_n направленного к центру кривизны траектории:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \qquad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \tag{1}$$

Тангенсальное и нормальное ускорения точки вращающегося тела выражаются формулами:

$$a_n = \omega^2 r \qquad a_\tau = \varepsilon \cdot r \tag{2}$$

где ω - угловая скорость тела; ε - его угловое ускорение; r -расстояние точки до оси вращения.

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

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} = r\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2} \tag{3}$$

Угловая скорость равна первой производной от угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 20 - 4t$$

В момент времени t= 4 с угловая скорость $\omega = (20 - 4 \cdot 4)c^{-1} = 4c^{-1}$

Угловое ускорение вращающегося тела равно $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -4c^{-1}$ первой производной от угловой скорости по времени

Это выражение углового ускорение не содержит времени, следовательно, угловое ускорение имеет постоянное значение, не зависящее от времени. Подставляя значения ε, ω, r в формулу (3), получим:

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

Пример 2. Тело массой 1 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно. Зависимость пути, пройденного телом, от времени задана уравнением $S = 2t^2 + 4t + 1$. Определить работы силы за 10 с с начала ее действия и зависимость кинетической энергии от времени.

Дано:
$S = 2t^2 + 4t + 1$;
m = 1 кг;
t = 10 с
Найти: A, T = f (t)

Решение:

Работа, совершаемая силой, выражается через криволинейный интеграл $A = \int F dS$ (1)

Сила, действующая на тело, по II закону Ньютона

$$F = ma, \text{ или } F = m\frac{d^2S}{dt^2} \quad (2)$$

Мгновенное значение ускорения определяется первой производной от скорости по времени или второй производной от пути по времени. В соответствии с этим находим:

$$\upsilon = \frac{dS}{dt} = 4 + 4t \quad (3)$$

$$a = \frac{d^2S}{dt^2} = 4 \quad (4)$$

Тогда $F = m\frac{d^2S}{dt^2} = 4m$ (5)

Из выражения (3) определим $dS = (4t + 4)dt$ (6)

Подставив (5) и (6) в уравнение (1), получим $A = \int 4m(4t + 4)dt$

По этой формуле определим работу, совершаемую силой за 10 с с начала ее действия:

$$A = \int_0^{10} (16mt + 16m)dt = m\left[-\frac{16t^2}{2}\right]_0^{10} + 16t\Big|_0^{10} = 1 \cdot (8 \cdot 100 + 16 \cdot 10) = 960\,Дж$$

Кинетическая энергия определяется по формуле $T = m\frac{v^2}{2}$.

Подставляя (3) в (7) имеем:

$$T = \frac{m(4t + 4)^2}{2} = \frac{m(16t^2 + 32t + 16)}{2} = m(8t^2 + 16t + 8)$$

Пример 3. Ящик массой 20 кг соскальзывает по идеально гладкому лотку длиной 2 м на неподвижную тележку с песком и застревает в нем. Тележка с песком массой 80 кг может свободно (без трения) перемещаться по рельсам в горизонтальном направлении. Определить скорость тележки с ящиком, если лоток наклонен под углом 30 ° к горизонту.

Дано:
m_1=20 кг;
m_2=80 кг;
l=2 м;
α=30^0
Найти: u.

Решение:

Тележку и ящик можно рассматривать как систему двух неупруго взаимодействующих тел. Но система эта не замкнута, так как сумма внешних сил, действующих на систему: двух сил тяжести $m_1\vec{g}$, $m_2\vec{g}$ и сил реакции N_1, N_2 (рис. 2.) – не равна нулю. Поэтому применить закон сохранения импульса к системе ящик-тележка нельзя. Но так как проекция суммы

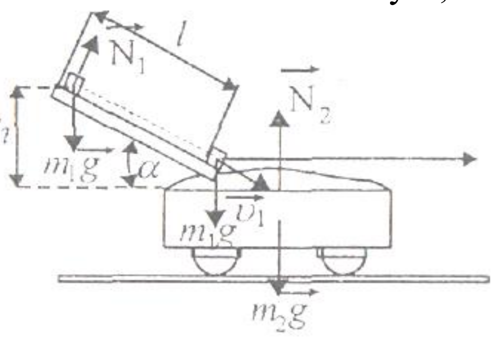


Рис.2

указанных сил на направление x равна нулю, то составляющую импульса системы в этом направлении можно считать постоянной, то есть

$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x} \qquad (1)$$

где p_{1x}, p_{2x} - проекции импульса ящика и тележки с песком в момент падения ящика на тележку; p'_{1x}, p'_{2x} – те же величины после падения ящика.

Выразим в равенстве (1) импульсы тел через их массы и скорости, учтя при этом, что $p_{2x} = 0$ (тележка до взаимодействия с ящиком покоилась), а также то, что после взаимодействия оба тела системы движутся с одной и той же скоростью u:

$$m_1 v_{1x} = (m_1 + m_2)u \qquad (1)$$

или

$$m_1 v_1 \cos\alpha = (m_1 + m_2)\,u \qquad (2)$$

где u - скорость ящика перед падением на тележку; v_{1x} - проекция этой скорости на ось x.

Отсюда выразим искомую скорость:

$$u = \frac{m_1 v_1 \cos\alpha}{(m_1 + m_2)} \qquad (3)$$

Скорость v_1, ящика перед падением определим из закона сохранения энергии:

$$m_1 g h = \frac{m_1 v_1^2}{2}$$

где $h = l \sin\alpha$

После сокращения на m_1, найдем:

$$v_1 = \sqrt{2gl\sin\alpha}\,.$$

Подставив найденное выражение v_1 в формулу (2), получим:

$$u = \frac{m_1\sqrt{2gl\sin\alpha}}{m_1 + m_2}\cos\alpha$$

Подставим числовые значения величин v_1 произведем вычисления:

$$u = \frac{20\sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot \sin 30°}}{20+80}\cos 30° = 0{,}767\ м/с$$

<u>Пример 4.</u> С какой скоростью должна быть выброшена с поверхности Солнца частица, чтобы она могла удалиться в бесконечность?

Дано:
$\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3 / (кг·с^2)
$M = 1{,}98 \cdot 10^{30}$ кг;
$R = 6{,}95 \cdot 10^8$ м
Найти: υ

Решение:

Частица должна быть выброшена с такой скоростью, чтобы соответствующая этой скорости кинетическая энергия была равна работе, совершаемой против сил притяжения частицы к Солнцу при удалении в бесконечность $A = \frac{mv^2}{2}$, откуда $v = \sqrt{\frac{2A}{m}}$ (1)

Для того, чтобы вычислить работу, совершаемую против силы притяжения при удалении тела от Солнца, используем правило нахождения работы переменной силы. Элементарную работу против силы $\boldsymbol{F}$ при удалении на $\boldsymbol{dr}$ выразим так:

$$dA = Fdr = G\frac{mM}{r^2}dr \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{m}$ - масса тела; $\boldsymbol{M}$ - масса Солнца; $\boldsymbol{r}$ - расстояние тела от Солнца; $\boldsymbol{G}$- гравитационная постоянная.

Работа, которую нужно совершить, чтобы удалить тело с поверхности Солнца в бесконечность:

$$A = \int_R^\infty GmM\frac{dr}{r^2} = G\frac{mM}{R}$$

где R - радиус Солнца.

Подставим полученное выражение работы в формулу (1) и вычислим значение скорости:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-10} \cdot 1{,}98 \cdot 10^{30}}{6{,}95 \cdot 10^8}} = 6{,}15\ м/с$$

<u>Пример 5.</u> Через блок, выполненный в виде диска и имеющий массу 80 г (рис. 3.), перекинута тонкая, гибкая нить, к концам которой подвешены грузы с массами 100 и 200 г. С каким ускорением будут двигаться грузы, если их предоставить самим себе. Трением пренебречь.

Дано:
m=80 г;
m_1 =100 г;
m_2 =200 г;
g =9,8 м/с^2.
Найти: a.

Решение:

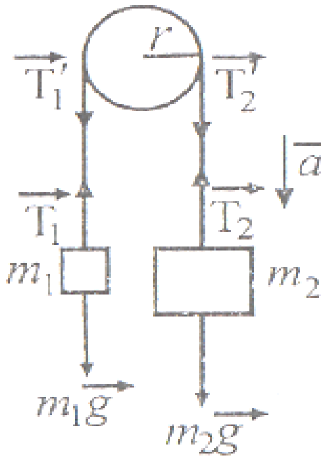


Рис. 3.

Применим к решению задачи основные законы поступательного движения. На каждый из движущихся грузов действуют две силы: сила тяжести $\boldsymbol{P = mg}$, направленная вниз, и сила натяжения нити $\boldsymbol{T}$, направленная вверх. Груз $\boldsymbol{m_1}$, поднимается ускоренно вверх, следовательно, $\boldsymbol{T_1 > mg}$. По второму закону Ньютона равнодействующая этих сил, равная их разности, пропорциональна ускорению, с которым движется груз

$$\boldsymbol{T_1 - m_1 g = m_1 a}$$

откуда

$$\boldsymbol{T_1 = m_1 g - m_1 a} \qquad (1)$$

Груз $\boldsymbol{m_2}$ ускоренно опускается вниз, следовательно, $\boldsymbol{T_2 < m_2 g}$. Запишем формулу второго закона для этого груза:

$$\boldsymbol{-T_2 + m_2 g = m_2 a}$$

откуда

$$\boldsymbol{T_2 = m_2 g - m_2 a} \qquad (2)$$

Согласно основному закону динамики вращательного движения вращающий момент $\boldsymbol{M}$, приложенный к диску, ранен произведению момента инерции диска ни его угловое ускорение:

$$\boldsymbol{M = J\varepsilon}. \qquad (3)$$

Определим вращающий момент. Силы натяжения нитей действуют не только на грузы, но и на диск. По III закону Ньютона силы $\boldsymbol{T'_1}$ и $\boldsymbol{T'_2}$, приложенные к ободу диска, по величине равны соответственно силам $\boldsymbol{T_1}$ и $\boldsymbol{T_2}$, но по направлению им противоположны. При движении грузов диск ускоренно вращается по часовой стрелке, следовательно, $\boldsymbol{T'_1 < T'_2}$. Вращающий момент, приложенный к диску, равен произведению разности этих сил на плечо, равное радиусу диска:

$$\boldsymbol{M = (T'_2 - T'_1) r}$$

Момент инерции диска $\boldsymbol{J = \frac{mr^2}{2}}$; угловое ускорение связано с линейным ускорением грузов соотношением $\boldsymbol{\varepsilon = \frac{a}{r}}$. Подставив в формулу (3) выражения $\boldsymbol{M, \varepsilon}$ и $\boldsymbol{J}$, получим:

$$\boldsymbol{(T'_2 - T'_1) r = \frac{1}{2} m r^2 \frac{a}{r}}$$

откуда,

$$T_2' - T_1' = \frac{m}{2}a \qquad (4)$$

Так как, $T'_1 = T_1$, $T'_2 = T_2$, то можно заменить силы T'_1 и T'_2 выражениями по формулам (1) и (2), тогда

$$m_2 g - m_2 a - m_1 a - m_1 g = \frac{ma}{2}$$

или

$$(m_2 - m_1)g = \left(m_2 + m_1 + \frac{m}{2}\right)\cdot a$$

откуда

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_2 + m_1 + \frac{m}{2}} \cdot g \qquad (5)$$

Отношение масс в правой части (5) есть величина безразмерная. Поэтому числовые значения масс m_1, m_2 и m можно взять в граммах, как они даны в условии задачи. После подстановки получим;

$$a = \frac{200 - 100}{200 + 100 + 80/2} \cdot 9{,}8 = 2{,}88 м/c^2$$

Пример 6. Платформа в виде сплошного диска радиусом 1,5 м и массой 180 кг вращается по инерции около вертикальной оси с частотой 10 мин$^{-1}$. В центре платформы стоит человек массой 60 кг. Какую линейную скорость относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

Дано:
R = 1,5 м; m_1 =180 кг; n =10 мин$^{-1}$; m_2=60 кг.
Найти: υ.

Решение:

Платформа вращается по инерции. Следовательно, момент внешних сил относительно оси вращения, совпадающей с геометрической осью платформы, равен нулю. При этом условии момент импульса системы платформа – человек остается постоянным:

$$L = J\omega = const \qquad (1)$$

где J – момент инерции платформы с человеком относительно оси; ω – угловая скорость платформы.

Момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, входящих в состав системы, поэтому $J = J_1 + J_2$, где J_1 и J_2 – момент инерции платформы и человека.

С учетом этого равенство (1) примет вид:

$$(J_1 + J_2)\cdot\omega = const, \text{ или } (J_1 + J_2)\cdot\omega = (J'_1 + J'_2)\cdot\omega'$$

где значения моментов инерции J_1 и J_2 относятся к начальному состоянию системы; J_1' и J_2' к конечному.

Момент инерции платформы относительно оси при переходе человека не изменяется: $J_1 = J'_1 = \frac{1}{2} m_1 R^2$. Момент инерции человека будет меняться. Если рассматривать человека как материальную точку, то его момент инерции J_2 в начальном положении (в центре платформы) равен нулю. В конечном положении (на краю платформы) $J'_2 = m_2 R^2$

Подставив в формулу (2) выражения моментов инерции, начальной угловой скорости вращения платформы с человеком ($\omega = 2\pi n$) и конечной угловой скорости ($\omega' = \upsilon/R$)

$$\left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + 0\right) 2\pi n = \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2\right) \frac{\upsilon}{R}$$

После сокращения на R^2 и простых преобразований находим скорость:

$$\upsilon = \frac{2\pi n R m_1}{m_1 + 2m_2}$$

Произведем вычисления:

$$\upsilon = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot \frac{1}{6} \cdot 1{,}5 \cdot 180}{180 + 2 \cdot 60} = 1 м / с$$

Пример 7. Ионизированный атом, вылетев из ускорителя со скоростью 0,85-с, испустил фотон в направлении своего движения. Определить скорость фотона относительно ускорителя.

Дано:
$\upsilon = 0{,}85c$;
$u' = c$
Найти: u

Решение:

Согласно релятивистскому закону сложения скоростей

$$u = \frac{u' + \upsilon}{1 + u'\upsilon / c^2}$$

где u - скорость ионизированного атома (система *K')* относительно ускорителя (система К); u - скорость фотона относительно атома. Подставив u' и υ, получим

$$u = \frac{c + 0{,}85c}{1 + \frac{c \cdot 0{,}85 \cdot c}{c^2}} = c$$

то есть скорость фотона в собственной системе отчета (К$'$) и относительно ускорителя *(К)* одинакова и равна ***с.***

2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.

2.1. *Основные формулы*

- Количество вещества однородного газа (в молях)

$$\nu = \frac{N}{N_a} = \frac{m}{\mu},$$

где N - число молей газа; N_a - постоянная Авогадро; m - масса газа; μ - молярная масса газа.

Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + ... + \nu_n = \frac{N_1}{N_a} + \frac{N_2}{N_a} + ... + \frac{N_n}{N_a}$$

или

$$\nu = \frac{m_1}{\mu} + \frac{m_2}{\mu} + ... + \frac{m_n}{\mu}$$

где ν_i, N_i, m_i, μ_i – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса, **i** - компоненты смеси.

- Уравнение Менделеева - Клайперона (уравнение состояния идеального газа)

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT,$$

где p - давление газа; V - его объем; T - термодинамическая температура; R- универсальная газовая постоянная.

- Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Менделеева-Клапейрона для изопроцессов:

а) ***закон Бойля-Мариотта*** (**изотермический процесс** T – $const$, μ - $const$):

$$pV = const,$$

или для двух состояний газа: $p_1V_1 = p_2V_2;$

б) ***закон Гей-Люссака*** (**изобарный процесс** P - $const$, μ – $const$):

$$V/T = const$$

или для двух состояний газа: $$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

в) ***закон Шарля*** (**изохорный процесс** $V = const$; $\mu = const$):

$$p/T = const,$$

или для двух состоянии газа: $$p_1/T_1 = p_2/T_2$$

- Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

$$p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n,$$

где p_i – парциальные давления компонентов смеси; n – число компонентов смеси (парциальным называется давление газа, которое производил бы этот газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью).

- Молярная масса смеси газов: $\mu = \dfrac{(m_1 + m_2 + ... + m_n)}{\nu_1 + \nu_2 + ... + \nu_n}$

где m_i - масса i -го компонента смеси; $\nu_i = m_i/\mu_i$ количество вещества i-го компонента смеси; n - число компонентов смеси.

- Массовая доля i -го компонента смеси газа (в долях единицы или процентах): $\omega = \dfrac{m_i}{m}$

где m - масса смеси.

- Концентрация молекул: $n = \dfrac{N}{V} = \dfrac{\rho N_a}{\mu}$

где N - число молекул, содержащихся в данной системе; V - объем системы; ρ - плотность вещества. Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

- Основное уравнение кинетической теории газов: $p = \dfrac{2}{3} n\varepsilon_n$

где ε_n - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы

- $\varepsilon_n = \dfrac{3}{2} kT$, где k - постоянная Больцмана.

- Средняя полная кинетическая энергия молекулы $\varepsilon_i = \dfrac{i}{2} kT$

где i - число степеней свободы молекулы.

- Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT$$

Скорости молекул:

а) средняя квадратичная $\upsilon_{кв} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{\mu}}$

б) средняя арифметическая $\upsilon = \sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi \mu}}$

в) наиболее вероятная $\upsilon_в = \sqrt{\dfrac{2kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{2RT}{\mu}}$

- Относительная скорость молекулы: $u = \upsilon / \upsilon_в$

где υ - скорость данной молекулы.

- Средняя длина свободного пробега молекулы и среднее число соударений молекулы за 1 с: $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$, $z = \sqrt{2}\pi d^2 n\upsilon$

где d - эффективный диаметр молекулы.

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

где n и n_0 – концентрация молекул на высоте h и h_0

$П = mgh$ – потенциальная энергия молекулы в поле тяготения.

- Барометрическая формула: $p = p_0 \exp\left(-\frac{mg(h-h_0)}{kT}\right)$

где p и p_0 – давление газа на высоте h и h_0

- Уравнение диффузии (закон Фика) $dm = -D\frac{d\rho}{dx}Sdt$

где dm - масса вещества, переносимая посредством диффузии через площадь S за время dt;

$\frac{d\rho}{dx}$ –градиент плотности;

$D = \frac{1}{3}\upsilon\lambda$ - коэффициент диффузии

- Сила внутреннего трения в жидкости и газе $F = -\eta\frac{d\upsilon}{dx}Sdt$,

где S - площадь движущихся слоев;

$\frac{d\upsilon}{dx}$ - градиент скорости;

$\eta = \frac{1}{3}\upsilon\rho\lambda$ коэффициент внутреннего трения.

- Уравнение теплопроводности $dQ = -K\frac{dT}{dx}Sdt$,

где Q - теплота, прошедшая через площадь S за время dt;

$\frac{dT}{dx}$ - градиент температуры;

$К$ - коэффициент теплопроводности; $K = \frac{1}{3}C_\upsilon\rho\upsilon\lambda = \eta C_\upsilon$,

где c_υ - удельная теплоемкость газа при постоянном объеме.

- Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме ***(c_υ)*** и при постоянном давлении ***(C_p):***

$$C_\upsilon = \frac{iR}{2\mu} \qquad\qquad C_p = \frac{i+2R}{2\mu}$$

- Связь между удельной ***c*** и молярной ***C*** теплоемкостями:

$$c = C/\mu \qquad\qquad C = c\mu$$

- Уравнение Майера: $C_p - C_\upsilon = R$

- Внутренняя энергия идеального газа: $U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT = \frac{m}{\mu}C_\upsilon T$

- Первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$

где Q - теплота, сообщенная системе (газу);
ΔU - изменение внутренней энергии системы;
A - работа, совершенная системой против внешних сил.

Работа расширения газа

в общем случае: $A = \int\limits_{V_1}^{V_2} p dV$;

при изобарном процессе: $A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu}R\Delta T;$

при изотермическом процессе: $A = \frac{m}{\mu}RT\ ln\frac{V_2}{V_1};$

при адиабатическом процессе: $A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu}C_\upsilon \Delta T$

или $A = \frac{RT_1}{\gamma - 1}\frac{m}{\mu}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]$, где $\gamma = C_p / C_\upsilon$ - показатель адиабаты.

- Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатическом процессе:

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

- Термический КПД цикла: $\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$,

где Q_1 – теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика;
Q_2 – теплота, переданная рабочим телом теплоприемнику

- Термический КПД цикла Карно: $\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1}$

где T_1 и T_2 - термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприемника.

- Изменение энтропии $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$, где $\frac{dQ}{T}$ - приведенная теплота.

- Уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{m^2}{\mu^2}\frac{a}{V^2}\right)\left(V - \frac{m}{\mu}b\right) = \frac{m}{\mu}RT,$$

где a и b - постоянные Ван-дер-Ваальса, различные для разных газов.

- Критические параметры:

$$p_{кр} = \frac{a}{27b^2}; \quad T_{кр} = \frac{8a}{27bR}; \quad V_{кр} = 3b$$

- Собственный объем молекулы: $V = \frac{b}{4N_a} = \frac{\pi d^3}{6}$, где d - диаметр молекулы.

- Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = F/l \qquad \sigma = \Delta F/\Delta S$$

где F - сила поверхностного натяжения, действующая на контур l, ограничивающий поверхность жидкости;

ΔE - изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади ΔS поверхности этой пленки.

- Формула Лапласа, выражающая давление p, создаваемое сферической поверхностью жидкости: $p = 2\alpha/R$

где R - радиус сферической поверхности.

- Высота подъема жидкости в капиллярной трубке: $h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g R}$

где θ – краевой угол

(θ = 0 при полном смачивании стенок трубки жидкостью; $\theta = \pi$ при полном несмачивании);

R - радиус канала трубки; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

- Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями: $h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g d}$

где d- расстояние между плоскостями.

2.1. *Примеры решения задач*

Пример 1. В сосуде объемом 2 м^3 находится смесь 4 кг гелия и 2 кг водорода при температуре 27 С. Определить давление и молярную массу смеси газов.

Дано:
V=2 м^3;
$\mu_1 = 4\cdot 10^{-3}$ кг/моль
$\mu_2 = 2\cdot 10^{-3}$ кг/моль
m_1 = 4 кг;
m_2 = 2 кг;
Найти: **p, μ**

Решение:

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, применив его к гелию и водороду:

$$P_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT = \nu RT, \quad (1)$$

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT = \nu RT, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 - парциальные давления гелия и водорода;

m_1, и m_2 - массы этих газов;

μ_1, и μ_2 - их молярные массы;

V -объем сосуда;

T - температура газов;

R - универсальная газовая постоянная.

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси:

$$p = p_1 + p_2 \quad (3)$$

Из (1) и (2) выразим p_1 и p_2, подставив в (3):

$$p = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} + \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)\frac{RT}{V} \quad (4)$$

Найдем молярную массу смеси газов:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{\nu_1 + \nu_2} \quad (5)$$

где ν_1 и ν_2 - число молей гелия и водорода соответственно.

Число молей газов найдем по формулам:

$$\nu_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \quad (6)$$

$$\nu_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (5), найдем:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2} \quad (8)$$

Подставляя числовые значения в формулы (4) и (8), получаем искомые величины

Пример 2. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 350 К, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода массой 4 г.

Дано:
$\boldsymbol{T}$ = 350 К
$\boldsymbol{m}$ = 4 г.
Найти: $\boldsymbol{\varepsilon_{вращ}}$, $\boldsymbol{E_k}$

Решение:

На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая средняя энергия $\boldsymbol{\varepsilon_1 = \frac{1}{2}kT}$, где k - постоянная Больцмана; T - термодинамическая температура газа. Так как вращательному движению двухатомной молекулы кислорода соответствуют две степени свободы, то средняя энергия вращательного движения одной молекулы кислорода $\boldsymbol{\varepsilon_{вращ} = 2\frac{1}{2}kT = kT}$ (1)

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа

$$\boldsymbol{E_k = \varepsilon_{вращ} \cdot N} \qquad (2)$$

Число всех молекул газа

$$\boldsymbol{N = N_a \cdot \nu} \qquad (3)$$

где N_a - постоянная Авогадро; ν- количество вещества.

Если учесть, что количество вещества $\nu = m/\mu$, то формула (3) примет вид:

$$\boldsymbol{N = N_a \frac{m}{\mu}}$$

Подставив выражение N в формулу (2), получаем:

$$\boldsymbol{E_k = \varepsilon_{вращ} \cdot N_a \frac{m}{\mu}} \qquad (4)$$

Произведем вычисления, учитывая, что k = $1,38*10^{-23}$ Дж/К; N_a = $6,02*10^{-23}$ моль$^{-1}$, молярная масса кислорода μ = $32*10^{-3}$ кг/моль

<u>Пример 3</u>**.** Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за 1 с, происходящих между всеми молекулами кислорода, находящегося в сосуде емкостью 2 л при температуре 27 ° C и давлении 100 кПа.

Дано:
V = 2л = $2*10^{-3}$ м^3
μ = $32*10^{-3}$ кг/моль
T = 300 К
P = 100 кПа
d = $2,9*10^{-10}$ м
Найти: λ, z

Решение

Средняя длина свободного пробега молекул кислорода

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}}, \qquad (1)$$

где d - эффективный диаметр молекулы кислорода; n - число молекул в единице объема, которое можно найти из уравнения:

$$\boldsymbol{n = p/kT} \qquad (2)$$

Подставляя (2) в (1), имеем: $\boldsymbol{\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}}$ (3)

Число соударений, происходящих между всеми молекулами за 1 с:

$$\boldsymbol{z = \frac{1}{2} zN}$$

где N- число молекул кислорода в сосуде объемом $2*10^{-3}$ м^3: $\boldsymbol{N = n \cdot V}$ (5)

Среднее число соударений молекулы за 1с: $z = \upsilon/\lambda$ (6)

где υ – средняя арифметическая скорость молекулы:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \qquad (7)$$

Подставляя в (4) выражения (5), (6) и (7), находим:

$$z = \frac{1}{2}\frac{\sqrt{8RT/\pi\mu}\cdot\sqrt{2}\pi d^2 p}{kT}\cdot\frac{p}{kT}V = \frac{2\pi d^2 p^2 V}{k^2 T^2}\sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}}$$

Подставляем числовые знамения и находим искомые величины.

Пример 4. Определить коэффициенты диффузии и внутреннего трения азота, находящегося при температуре 300 К и давлении 10^5 Па.

Дано:
P_0 = 1,25 кг/м^3;
μ = 28*10^{-3} кг/моль;
T = 300 K;
P = 10^5 Па;
d = 3,1*10^{-10} м;
Найти: D, μ

Решение

Коэффициент диффузии определяется по формуле

$$D = \frac{1}{3}\cdot\upsilon\lambda \qquad (1)$$

где υ - средняя арифметическая скорость молекул, равная

$$\upsilon = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (2)$$

λ - средняя длина свободного пробега молекул, равная из решения примера 3: $\lambda = \dfrac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$ (3)

Подставляя (2) и (3) в выражения (1), имеем:

$$D = \frac{1}{3}\frac{\sqrt{8RT/\pi\mu}}{\sqrt{2}\pi d^2 p}kT = \frac{2kT}{3\pi d^2 p}\sqrt{\frac{RT}{\pi\mu}} \qquad (4)$$

Коэффициент внутреннего трения

$$\eta = \frac{1}{3}\upsilon\lambda\rho \qquad (5)$$

где p - плотность газа при температуре 300 К и давлении 10^5 Па. Для нахождения p воспользуемся уравнением состояния идеального газа. Запишем его для двух состояний азота - при нормальных условиях и условиях задачи:

$$p_0V_0 = mRT_0/\mu, \qquad pV = mRT/\mu \qquad (6)$$

Учитывая, что $\rho_0 = \dfrac{m}{V_0}$, $\rho = \dfrac{m}{V}$, имеем:

$$p = p_0\frac{pT_0}{p_0T} \qquad (7)$$

Коэффициент внутреннего трения может быть выражен через коэффициент диффузии (см. (1) и (5)):

$$\eta = D\cdot p = Dp_0 pT / p_0T \qquad (8)$$

Подставляя числовые значения в (4) и (8), получим искомые величины.

Пример 5. Кислород массой 160 г нагревают при постоянном давлении от 320 до 340 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Дано:
T_1 = 320 K T_2 = 340 K m = 0,16 кг
Найти: Q, A, ΔU

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при постоянном давлении:

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_p(T_2 - T_1), \qquad (1)$$

где c_p и $C_p = \mu c_p$ – удельная и молярная теплоемкости газа при постоянном давлении; μ – молярная масса кислорода, равная $32*10^{-3}$ кг/моль.

Для всех двухатомных газов $c_p = \frac{7}{2} R$

Изменение внутренней энергии газа: $\Delta U = \frac{m}{\mu} C_v(T_2 - T_1),$ (2)

где C_v - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Для всех двухатомных газов $c_v = \frac{5}{2} R$

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

$$pV_1 = mRT_1/\mu \qquad (3)$$

$$pV_2 = mRT_2/\mu \qquad (4)$$

Почленным вычитанием выражения (4) из (3) находим:

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

следовательно, $$A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

Подставляя числовые значения в формулы (1), (2) и (5), получаем искомые величины.

Пример 6**.** Объем аргона, находящегося при давлении 80 кПа, увеличился от 1 до 2 л. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если расширение производилось: а) изобарно; б) адиабатно?

Дано:
$V_1 = 10^{-3}$ м^3; $V_2 = 2*10^{-3}$ м^3; p = $0,8*10^5$ Па; μ = 0,04 кг/моль; i = 3
Найти: ΔU

Решение

Применим первый закон термодинамики, согласно которому количество теплоты, переданное системе, расходуется на увеличение внутренней энергии и на внешнюю механическую работу:

Q = ΔU + A (1)

Величину ΔU можно определить, зная массу газа m, удельную теплоемкость при постоянном объеме c_v, и изменение температуры ΔT

$$\Delta U = mc_v \Delta T \qquad (2)$$

Однако изменение внутренней энергии удобнее определять через молярную теплоемкость C_v, которая может быть выражена через число степеней свободы:

$$C_v = \frac{c_v}{\mu} = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu} \qquad (3)$$

Подставляя величину C_v из формулы (3) в (2), получаем:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) \qquad (4)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для начального и конечного состоянии газа:

$pV_1 = mRT_1/\mu \qquad pV_2 = mRT_2/\mu$

или

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1), \qquad (5)$$

Подставив (5) в формулу (4), получим:

$$\Delta U = \frac{i}{2} p(V_2 - V_1), \qquad (6)$$

Подставим числовые значения и получаем искомую величину.

При адиабатном расширении газа теплообмена с внешней средой не происходит, поэтому Q = 0. Уравнение (1) запишется в виде

ΔU + A = 0

Это соотношение устанавливает, что работа расширения газа может быть произведена только за счет уменьшения внутренней энергии газа (знак минус перед ΔU):

A = - ΔU (8)

Формула работы для адиабатного процесса имеет вид:

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right], \qquad (9)$$

где γ - показатель степени адиабаты, равный отношению теплоемкостей:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{2}$$

Находим изменение внутренней энергии при адиабатном процессе для аргона, учитывая формулы (8) и (9):

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] \qquad (10)$$

Применив уравнение Клапейрона-Менделеева для данного случая:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1,$$

получим выражение для подсчета изменения внутренней энергии:

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1}\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma - 1} - 1\right] \tag{11}$$

Подставим в (11) числовые значения, находим изменение энергии.

Пример 7. Горячая вода некоторой массы отдает теплоту холодной воде такой же массы и температуры их становятся одинаковыми. Показать, что энтропия при этом увеличивается.

Решение

Пусть температура горячей воды T_1, холодной T_2 а температура смеси θ. Определим температуру смеси, исходя из уравнения теплового баланса:

$$mc(T_1 - \theta) = mc(\theta - T_2), \qquad T_1 - \theta = \theta - T_2$$

откуда

$$\theta = \frac{1}{2}(T_2 - T_1)$$

Изменение энтропии, происходящее при охлаждении горячей воды:

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{0} cm \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{\theta}{T_1}$$

Изменение энтропии, происходящее при нагревании холодной воды:

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{0} cm \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{\theta}{T_1}$$

Изменение энтропии системы

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

или с учетом соотношения (1) имеем:

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

Так как $(T_1+T_2)^2 > 4T_1T_2$, то $\Delta S > 0$.

Пример 8. Вычислить эффективный диаметр молекул азота, если его критическая температура 126 К, критическое давление 3,4 МПа.

Дано:
$T_{кр}$ = 126 K; $P_{кр}$ = $3{,}4 \cdot 10^6$ Па
Найти: d

Решение

Азот, согласно условию задачи, должен подчиняться уравнению Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p+\frac{m^2}{\mu^2}\frac{a}{V^2}\right)\left(\frac{V}{\nu}-b\right)=RT$$

Постоянную b в уравнении Ван-дер-Ваальса с достаточной степенью точности считают равной учетверенному собственному объему одного моля газа. В моле газа находится число молекул, равное числу Авогадро (N_a = 6,02*10^{23} моль$^{-1}$).

Следовательно, объем одной молекулы: $V=\frac{\pi d^3}{6}=\frac{b}{4N_a}$

откуда $d=\sqrt[3]{\frac{3b}{2\pi N_a}}$

Постоянная $b=\frac{T_{кр}R}{8p_{кр}}$, тогда $d=\sqrt[3]{\frac{3T_{кр}R}{16\pi p_{кр}N_a}}$

Пример 9**.** Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

Дано:
α = 40*10^3 Дж/м^2 d = 10 см.
Найти: p, A

Решение

Пленка мыльного пузыря имеет две сферические поверхности - внешнюю и внутреннюю. Обе поверхности оказывают давление на воздух, заключенный внутри пузыря. Так как толщина пленки чрезвычайно мала, то диаметры обеих поверхностей практически одинаковы. Поэтому добавочное давление:

$$p=2\frac{2\alpha}{r}=\frac{8\alpha}{d}$$

Работа, которую нужно совершить, чтобы, растягивая пленку, увеличить ее поверхность на ΔS, выражается формулой

$$A=\alpha\cdot\Delta S=\alpha(S-S_0)$$

где S – общая площадь двух сферических поверхностей пленки мыльного пузыря; S_0 - общая площадь двух поверхностей плоской пленки, затягивавшей отверстие трубки до выдувания пузыря.

Пренебрегая S_0 получаем: $A=\alpha\cdot S=\alpha 2\pi d^2$

Произведем вычисления.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

3.1. Основные формулы

- Закон сохранения заряда в замкнутой системе

$$\sum_i \boldsymbol{Q_i} = \boldsymbol{const}.$$

- Закон Кулона

$$\boldsymbol{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|\boldsymbol{Q}_1|\cdot|\boldsymbol{Q}_2|}{\varepsilon \boldsymbol{R}^2} \text{ (в среде), } \boldsymbol{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|\boldsymbol{Q}_1|\cdot|\boldsymbol{Q}_2|}{\boldsymbol{R}^2} \text{ (вакууме),}$$

($\boldsymbol{F}$ – взаимодействия двух точечных зарядов $\boldsymbol{Q_1}$ и $\boldsymbol{Q_2}$; $\boldsymbol{R}$ - расстояние между зарядами; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; ε - диэлектрическая проницаемость среды).

- Напряженность электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q},$$

($\vec{F}$ – сила, действующая на точечный положительный заряд $\boldsymbol{Q}$, помещенный в данную точку поля).

- Напряженность электростатического поля точечного заряда $\boldsymbol{Q}$ на расстоянии $\boldsymbol{R}$ от заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}\frac{Q}{R^2}.$$

- Поток вектора напряженности электростатического поля

$d\Phi_E = \vec{E}d\vec{S} = E_n d\vec{S}$ (сквозь элементарную площадку $\boldsymbol{dS}$),

$\Phi_E = \vec{E}d\vec{S} = E_n d\vec{S}$ (сквозь поверхность $\boldsymbol{S}$),

$\Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S E_n dS$ (сквозь замкнутую поверхность $\boldsymbol{S}$).

($d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен $\boldsymbol{dS}$, а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площадке; E_n – проекция вектора $\vec{E}$ на нормаль $\vec{n}$ к площадке $\boldsymbol{dS}$).

- Принцип суперпозиции электростатических полей

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \vec{E}_i,$$

($\vec{E}_i$ – напряженность поля, создаваемого зарядом $\boldsymbol{q_i}$).

- Плотность зарядов (линейная, поверхностная, объемная):

$$\tau = \frac{dQ}{dl}, \quad \sigma = \frac{dQ}{dS}, \quad \rho = \frac{dQ}{dV}.$$

- Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме:

в случае дискретного распределения зарядов

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{N} Q_i;$$

в случае непрерывного распределения зарядов

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV,$$

($\sum_{i=1}^{N} Q_i$ –алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности S; N – число зарядов; ρ – объемная плотность зарядов).

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0},$$

(σ – поверхностная плотность заряда).

- Напряженность поля, создаваемого двумя бесконечными параллельными разноименно заряженными плоскостями,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0},$$

(σ – поверхностная плотность заряда).

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом R с общим зарядом Q на расстоянии r от центра сферы,

$$E = 0 \text{ при } r \langle R \text{ (внутри сферы)},$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \text{ при } r \geq R \text{ (вне сферы)}.$$

- Напряженность поля, создаваемого объемно заряженным шаром радиусом R с общим зарядом Q на расстоянии r от центра шара,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R^3}r \text{ при } r \leq R \text{ (внутри шара)},$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \text{ при } r \geq R \text{ (вне шара)}.$$

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженным бесконечным цилиндром радиусом R на расстоянии r от оси цилиндра,

$$E = 0 \text{ при } r \langle R \text{ (внутри цилиндра)},$$

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\tau}{r} \text{ при } r \geq R \text{ (вне цилиндра)}$$

(τ – линейная плотность заряда).

- Циркуляция вектора напряженности электрического поля вдоль замкнутого контура

$$\oint_L \vec{E}d\vec{l} = \oint_L E_l dl = 0$$

(E_l –проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$. интегрирование производится по любому замкнутому пути L).

- Потенциальная энергия заряда Q_0 в поле заряда Q на расстоянии r от него

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{QQ_o}{r}.$$

- Потенциал электростатического поля

$$\varphi = \frac{U}{Q_0}, \quad \varphi = \frac{A_\infty}{Q_0}$$

(Q_0 – точечный положительный заряд, помещенный в данную точку поля; U – потенциальная энергия заряда Q_0 ; A_∞– работа перемещения заряда Q_0 из данной точки поля за его пределы).

- Потенциал электростатического поля точечного заряда на расстоянии r от заряда

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}.$$

- Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

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

(i, j, k – единичные векторы координатных осей. Знак «–» определяется тем, что вектор $\vec{E}$ поля направлен в сторону убывания потенциала).

- В случае поля, обладающего центральной ли осевой симметрией,

$$E = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}.$$

- Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда Q_0 из точки 1 в точку 2,

$$A_{12} = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2), \quad A_{12} = Q_0\int_1^2 \vec{E}d\vec{l} = Q_0\int_1^2 E_l dl$$

(E_l – проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$).

- Разность потенциалов между двумя точками 1 и 2 в электростатическом поле

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{Q_0} = \int_1^2 \vec{E}d\vec{l} = \int_1^2 E_l dl$$

(A_{12} – работа, совершаемая силами электростатического поля при перемщении заряда Q_0 из точки 1 в точку 2; E_l - проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$; интегрирование производится вдоль любой линии соеединяющей начальную и конечную точки, так как работа сил электростатического поля не зависит от траектории перемещения)

- Разность потенциалов между точками, находящимися на расстоянии x_1 и x_2 от равномерно заряженной бесконечной плоскости,

$$\varphi_1-\varphi_2=\int_{x_1}^{x_2}E dx=\int_{x_1}^{x_2}\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}dx=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(x_2-x_1\right)$$

(**σ** — поверхностная плотность заряда).

- Разность потенциалов между бесконечными разноименно заряженными плоскостями, расстояние между которыми равно ***d***,

$$\varphi_1-\varphi_2=\int_0^d E dx=\int_0^d\frac{\sigma}{\varepsilon_0}dx=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}d\,.$$

- Разность потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 от центра равномерно заряженной сферической поверхности (объемно заряженного шара) радиусом R с общим зарядом Q, причем $r_1 > R$, $r_1 > R$, $r_2 > r_1$,

$$\varphi_1-\varphi_2=\int_{r_1}^{r_2}E dr=\int_{r_1}^{r_2}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}dr=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right).$$

- Разность потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 от центра объемно заряженного шара радиусом R с общим зарядом Q, причем $r_1 < R$, $r_1 < R$, $r_2 > r_1$,

$$\varphi_1-\varphi_2=\int_{r_1}^{r_2}E dr=\int_{r_1}^{r_2}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R^3}dr=\frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 R^3}\left(r_2^2-r_1^2\right).$$

- Разность потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 от оси равномерно заряженного с линейной поверхностью τ бесконечного цилиндра радиусом R, причем $r_1 > R$, $r_1 > R$, $r_2 > r_1$,

$$\varphi_1-\varphi_2=\int_{r_1}^{r_2}E dr=\int_{r_1}^{r_2}\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}\frac{dr}{r}=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{r_1}\,.$$

- Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P}=\frac{\vec{p}_V}{V}=\frac{\sum_i \vec{p}_i}{V}$$

(V – объем диэлектрика; $\vec{p}_V=\sum_i \vec{p}_i$ – дипольный момент диэлектрика; $\vec{p}_i$ – дипольный момент i-й молекулы).

- Связь между поляризованнностью диэлектрика и напряженностью электростатического поля

$$\vec{P}=æ\varepsilon_0\,\vec{E}$$

(**æ** – диэлектрическая восприимчивость вещества**;** ε_0 – электрическая постоянная).

- Связь диэлектрической проницаемости **ε** с диэлектрической восприимчивостью **æ**

$$\varepsilon=1+æ$$

• Связь между напряженностью $\boldsymbol{E}$ поля в диэлектрике и напряженностью $\boldsymbol{E_0}$ внешнего поля

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_0 - \frac{\boldsymbol{P}}{\varepsilon_0}, \quad \boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{E}_0}{\varepsilon}$$

($\boldsymbol{P}$ – поляризованность; **ε** – диэлектрическая проницаемость).

• Связь между векторами электрического смещения $\vec{\boldsymbol{D}}$, напряженности электростатического поля $\vec{\boldsymbol{E}}$ и поляризованности $\vec{\boldsymbol{P}}$

$$\vec{\boldsymbol{D}} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}}, \ \vec{\boldsymbol{D}} = \varepsilon_0\vec{\boldsymbol{E}} + \vec{\boldsymbol{P}}.$$

• Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике

$$\oint_S \vec{\boldsymbol{D}}d\vec{\boldsymbol{S}} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^{N} Q_i$$

($\sum_{i=1}^{N} Q_i$ – алгебраическая сумма заключенных внутри замкнутой поверхности $\boldsymbol{S}$ свободных электрических зарядов; D_n - проекция вектора $\vec{\boldsymbol{D}}$ на нормаль $\vec{\boldsymbol{n}}$ к площадке $d\vec{\boldsymbol{S}}$; $d\vec{\boldsymbol{S}} = dS \cdot \vec{\boldsymbol{n}}$ – вектор, модуль которого равен $\boldsymbol{dS}$, а направление совпадает с нормалью $\vec{\boldsymbol{n}}$ к площадке).

• Условия на границе раздела диэлектрических сред (проницаемость которых **ε₁** и **ε₂**) при отсутствии на границе свободных зарядов:

$$E_{\tau 1} = E_{\tau 2}, \quad D_{n1} = D_{n2}, \quad \frac{D_{\tau 1}}{D_{\tau 2}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, \quad \frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

(E_τ, D_τ и E_n, D_n— тангенциальные и нормальные составляющие векторов $\vec{\boldsymbol{E}}$ и $\vec{\boldsymbol{D}}$ соответственно).

• Напряженность электростатического поля у поверхности проводника

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

(σ – поверхностная плотность зарядов; **ε** — диэлектрическая проницаемость среды, окружающей проводник).

• Электрическая емкость (емкость) уединенного проводника

$$C = \frac{Q}{\varphi}$$

($\boldsymbol{Q}$ – заряд, сообщенный проводнику; φ - потенциал проводника).

• Электрическая емкость шара радиусом $\boldsymbol{R}$

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R.$$

• Электрическая емкость конденсатора

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

($\boldsymbol{Q}$- заряд, накопленный в конденсаторе; ($\varphi_1 - \varphi_2$)- разность потенциалов между его пластинами).

- Электрическая емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

($\boldsymbol{S}$ – площадь каждой пластины конденсатора; $\boldsymbol{d}$ – расстояние между пластинами).

- Электрическая емкость сферического конденсатора .

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

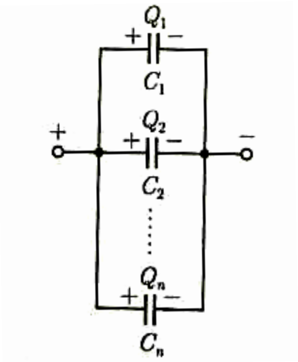
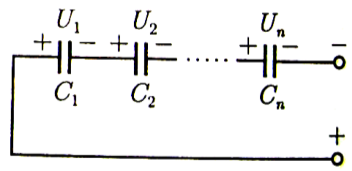
(r_1 и r_2— радиусы концентрических сфер).

- Электрическая емкость цилиндрического конденсатора

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln\frac{r_2}{r_1}}$$

($\boldsymbol{l}$ – длина пластин конденсатора; r_1 и r_2— радиусы полых коаксиальных цилиндров).

- Соединение конденсаторов:

	параллельное	последовательное
Схема		
Постоянная величина	$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n = const$	$Q = Q_1 = Q_2 = \ldots Q_n = const$
Суммируемая величина	$Q = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n$	$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$
Результирующая электрическая емкость	$C = \sum_{i=1}^{n} C_i$	$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$

- Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

($\boldsymbol{C}$, $\boldsymbol{Q}$, φ — емкость, заряд и потенциал проводника соответственно).

- Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{C\Delta\varphi^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

(***Q*** – заряд конденсатора; ***C*** – его электроемкость; $\Delta\varphi$ – разность потенцииалов между пластинами).

- Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора

$$|F| = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0\varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2}$$

(***Q*** – заряд конденсатора; σ – поверхностная плотность заряда; ***S*** – площадь пластин конденсатора; ***E*** – напряженность электростатического поля; ε_0 - электрическая постоянная; **ε** — диэлектрическая проницаемость).

- Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} V$$

(***S*** - площадь одной пластины; ***U*** — разность потенциалов между пластинами; $V = Sd$ — объем конденсатора).

- Объемная плотность энергии электростатического поля

$$w = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

(***E***— напряженность электростатического поля; ***D*** — электрическое смещение).

- Сила тока

$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

- Плотность тока в проводнике

$$j = \frac{I}{S}, \ \vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle$$

(***S*** – площадь поперечного сечения проводника; $\langle\vec{v}\rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике; ***n*** – концентрация зарядов).

- Электродвижущая сила, действующая в цепи,

$$\mathrm{E} = \frac{A_{cm}}{Q_0}$$

(A_{cm} — работа сторонних сил; Q_o — единичный положительный заряд),

$$\mathrm{E} = \oint \vec{E}_{cm} d\vec{l} \quad \text{(замкнутая цепь)},$$

$$\mathrm{E} = \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} \quad \text{(участок цепи 1 – 2)}$$

($\vec{E}_{cm}$ – напряженность поля сторонних сил).

- Разность потенциалов между двумя точками цепи

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_1^2 E_l dl$$

($\vec{E}$ – напряженность электростатического поля; E_1 – проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$).

- Напряжение на участке 1-2 цепи

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathbf{E}_{12}$$

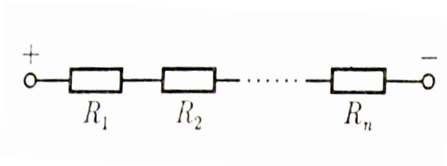
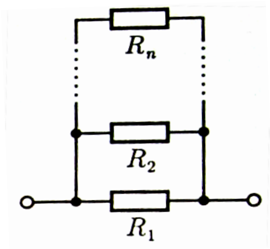
($(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов между точками цепи; $\mathbf{E}_{12}$ – ЭДС, действующая на участке 1 -2 цепи).

- Сопротивление R однородного линейного проводника, проводимость G проводника и удельная электрическая проводимость **γ** вещества проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad G = \frac{1}{R}, \quad \gamma = \frac{1}{\rho}$$

(**ρ** – удельное электрическое сопротивление; S – площадь поперечного сечения проводника; l – его длина).

- Соединение проводников:

	параллельное	последовательное
Схема		
Постоянная величина	$I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n = const$	$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n = const$
Суммируемая величина	$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$	$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$
Полное сопротивление	$R = \sum_{i=1}^{n} R_i$	$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$

- Закон Ома

$$I = \frac{U}{R} \text{ (для однородного участка цепи),}$$

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R} \text{ (для неоднородного участка цепи),}$$

$$I=\frac{E}{R}$$ (для замкнутой цепи).

(U – напряжение на участке цепи; R – сопротивление цепи (участка цепи); $(\varphi_1-\varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; $\mathbf{E}_{12}$ – ЭДС источника тока, входящих в участок; $\mathbf{E}_{12}$ – ЭДС всех источников тока цепи).

- Зависимость удельного сопротивления **ρ** и сопротивления ***R*** от температуры

$$\rho=\rho_0(1+\alpha t),\quad R=R_0(1+\alpha t)$$

(**ρ** и ρ_0, ***R*** и R_0 – соответственно удельное сопротивление и сопротивление проводника при ***t*** = 0°С; **α** – температурный коэффициент сопротивления, для чистых металлов (при не очень низкой температуре) близкий к $^1\!/_{273}$ K^{-1}).

- Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j}=\gamma\vec{E}$$

($\vec{j}$ – плотность тока, $\vec{E}$ – напряженность электростатического поля;

γ –электрическая проводимость проводника).

- Работа тока

$$dA=UdQ=IUdt=I^2Rdt=\frac{U^2}{R}dt$$

(***U*** – напряжение, приложенное к концам однородного проводника; ***I*** – сила тока в проводнике; ***R*** — сопротивление проводника; ***dQ*** — заряд, переносимый через сечение проводника за промежуток времени ***dt***).

- Мощность тока

$$P=\frac{dA}{dt}=IU=I^2R=\frac{U^2}{R}$$

(***U*** – напряжение, приложенное к концам однородного проводника; ***I*** – сила тока в проводнике; ***R*** — его сопротивление).

- Закон Джоуля — Ленца

$$dQ=IUdt=I^2Rdt$$

(***dQ*** – количество теплоты, выделяющееся в участке цепи за промежуток времени ***dt***, ***U*** – напряжение, приложенное к концам участка цепи; ***I*** – сила тока в цепи; ***R*** — сопротивление участка).

- Закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме

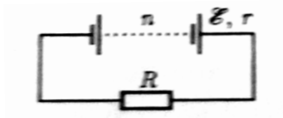
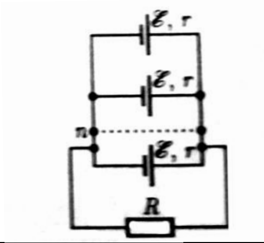
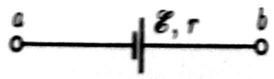
$$\omega=jE=\gamma E^2$$

(ω – удельная тепловая мощность тока; ***j*** – плотность тока; ***E*** – напряженность электростатического поля; γ – удельная электрическая проводимость вещества).

- Правила Кирхгофа

$$\sum_k I_k=0,\quad \sum_i I_iR_i=\sum_k E_k$$

- Соединение n одинаковых элементов (источников тока) электрической цепи постоянного тока:

Схема электрической цепи	Закон Ома	Схема электрической цепи	Закон Ома
	$I=\dfrac{nE}{R+nr}$		$I=\dfrac{E}{R+\dfrac{r}{n}}$
	$I=\dfrac{E-U_{ab}}{r}$		

(***r*** – внутреннее сопротивление каждого источника; ***R*** – внешнее сопротивление цепи; ***E*** – ЭДС источника).

- Магнитный момент контура с током

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

(***S*** — площадь контура с током; $\vec{n}$ — единичный вектор нормали к поверхности контура].

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

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m, \vec{B}\right],$$

($\vec{B}$ – магнитная индукция; $\vec{p}_m$ – магнитный момент контура с током).

- Модуль механического момента

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

(α - угол между нормалью к плоскости контура и вектором $\vec{B}$).

- Связь между магнитной индукцией $\vec{B}$ и напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля

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

(μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды).

- Закон Био – Савара – Лапласа

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

($d\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемая элементом длиной $d\vec{l}$ проводника стоком ***I; r*** – радиус-вектор, проведенный от $d\vec{l}$ к точке, в которой определяется магнитная индукция).

- Модуль вектора $d\vec{B}$

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

(α - угол между векторами $d\vec{l}$ и $\vec{r}$).

- Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i,$$

($\vec{B}$ – магнитная индукция результирующего поля; $\vec{B}_i$ – магнитные индукции складываемых полей).

- Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током,

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{2I}{R},$$

(*R* – расстояние от оси проводника; *I* – сила тока в проводнике).

- Магнитная индукция в центре кругового проводника с током

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

(*R* – радиус проводника; *I* – сила тока в проводнике)

- Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{2\pi R^2 I}{\left(R^2 + h^2\right)^{3/2}},$$

(*h* – расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция).

- Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рис.1)

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

- Закон Ампера

$$d\vec{F} = I\left[d\vec{l}, \vec{B}\right],$$

($d\vec{F}$ – сила, действующая на элемент длиной $d\vec{l}$ проводника с током I, помещенный в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$).

- Модуль вектора $d\vec{F}$

$dF = IBdl\,\sin\alpha$,

(α - угол между векторами $d\vec{l}$ и $\vec{B}$)

- Сила взаимодействия двух прямых бесконечно прямолинейных параллельных проводников с токами I_1 и I_2

$$dF = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{2I_1 I_2}{R}dl,$$

(*R* – расстояние между проводниками; $d\vec{l}$ **–** отрезок проводника).

- Магнитная индукция поля точечного заряда ***Q*,** свободно движущегося с нерелятивистской скоростью $\vec{v}$

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Q\left[\vec{v}, \vec{r}\right]}{r^3},$$

($\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный от заряда к точке, в которой определяется индукция).

- Модуль вектора $\vec{B}$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Qv}{r^2} sin\alpha ,$$

(α - угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{r}$).

- Сила Лоренца

$$\vec{F} = Q[\vec{v}, \vec{B}] ,$$

($\vec{F}$ — сила, действующая на заряд Q, движущийся в магнитном поле $\vec{B}$ со скоростью $\vec{v}$).

- Модуль вектора $\vec{F}$

$$F = QvB\ sin\ a,$$

(α - угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{B}$).

- Формула Лоренца

$$\vec{F} = Q\vec{E} + Q[\vec{v}, \vec{B}] ,$$

($\vec{F}$ – результирующая сила, действующая на движущийся заряд Q, если действуют электрическое поле напряженностью $\vec{E}$ и магнитное поле индукцией $\vec{B}$).

- Холловская поперечная разность потенциалов

$$\Delta\varphi = R\frac{IB}{d},$$

(B – магнитная индукция; I – сила тока; d - толщина пластинки; $R = \dfrac{1}{en}$ – постоянная Холла (n – концентрация электронов)).

- Закон полного тока для магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$)

$$\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^{n} I_k ,$$

($d\vec{l}$ вектор элементарной длины контура, направленный вдаль обхода контура; $B_l = B cos\alpha$ – составляющая вектора $\vec{B}$ в направлении касательной контура L произвольной формы (с учетом выбранного направления обхода); α — угол между ректорами $\vec{B}$ и $d\vec{l}$: $\sum_{k=1}^{n} I_k$ алгебраическая сумма n токов, охватываемых контуром).

- Магнитная индукция поля внутри соленоида (в вакууме), имеющего N витков

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l},$$

(I – сила тока в соленоиде; l – длина соленоида).

- Магнитная индукция поля внутри тороида (в вакууме)

$$B = \mu_0 \frac{NI}{2\pi r},$$

(N – число витков тороида; l – длина соленоида).

- Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток):

$$d\Phi_B = \vec{B}d\vec{S} = B_n dS \text{ (сквозь площадку } dS\text{)},$$

$$\Phi_B = \int_S \vec{B}d\vec{S} = \int_S B_n dS \text{ (сквозь поверхность } S\text{)},$$

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B}d\vec{S} = \oint_S B_n dS \text{ (сквозь замкнутую поверхность } S\text{)}.$$

($d\vec{S} = dS\vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью к площадке; B_n – проекция вектора $\vec{B}$ на направление нормали к площадке).

- Элементарная работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi.$$

($d\Phi$ – магнитный поток, пересекаемый движущимся проводником).

- Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi',$$

($d\Phi'$ – изменение магнитного потока, сцепленного с контуром).

- Закон Фарадея

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

(E_i – ЭДС электромагнитной индукции).

- ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью S при вращении рамки с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B

$$E = BS\omega \sin\omega t,$$

(ωt – мгновенное значение угла между вектором $\vec{B}$ и вектором нормали $\vec{n}$ к плоскости рамки).

- Магнитный поток, создаваемый током I в контуре,

$$\Phi = LI,$$

(L — индуктивность контура).

- Закон Фарадея применительно к самоиндукции

$$E_i = -L\frac{dI}{dt},$$

(L — индуктивность контура).

- Индуктивность соленоида

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l},$$

(μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды; N – число витков соленоида; l – его длина; S – площадь поперечного сечения).

- Сила тока при размыкании и замыкании цепи, содержащей источник ток, резистор сопротивлением R и катушку индуктивностью L,

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ (размыкание)},$$

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ (замыкание)}.$$

(I_0 – установившаяся сила тока; $\tau = \frac{L}{R}$ – время релаксации).

- ЭДС взаимной индукции

$$E = -L\frac{dI}{dt},$$

(L – взаимная индуктивность контура).

- Взаимная индуктивность двух катушек (с числом витков N_1 и N_2,), намотанных на общий тороидальный сердечник,

$$L = \mu\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S,$$

(l – длина сердечника по средней линии; S - площадь поперечного сечения сердечника).

- Коэффициент трансформации

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2},$$

(N, E, I – число витков, ЭДС и сила тока в обмотках трансформатора соответственно).

- Энергия магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью L, по которому течет ток I,

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

- Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{BH}{2},$$

(W – энергия однородного магнитного поля; V – объем соленоида; B – магнитная индукция; Н – напряженность магнитного поля).

- Связь между орбитальным магнитным $\vec{p}_m$ и орбитальным механическим $\vec{L}_1$ моментами электрона

$$\vec{p}_m = -\frac{e}{2m}\vec{L}_1 = g\vec{L}_1,$$

(g – гиромагнитное отношение орбитальных моментов).

- Намагниченность

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \frac{\sum \vec{p}}{V},$$

($\vec{P}_m = \sum \vec{p}$ – магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул).

- Связь между намагниченностью и напряженностью магнитного поля

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

(χ – магнитная восприимчивость вещества).

- Связь между векторами $\vec{B}$, $\vec{H}$, $\vec{J}$

$$\vec{B} = \mu_0\left(\vec{H} + \vec{J}\right) = \mu_0 \vec{H}\,(1+\chi).$$

- Связь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью вещества

$$\mu = 1 + \chi.$$

- Закон полного тока для магнитного поля в веществе (теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$)

$$\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0\left(I + I'\right),$$

($d\vec{l}$ – вектор элементарной длины контура, направленный вдоль обхода контура; B_l – составляющая вектора $\vec{B}$ в направлении касательной к контуру L произвольной формы; I *и* I' – соответственно алгебраические суммы макротоков (токов проводимости) и микротоков (молекулярных токов), охватываемых заданным контуром).

- Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = I,$$

(I – алгебраическая сумма токов проводимости, охватываемых контуром L).

- Плотность тока смещения

$$\vec{j}_{см} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t},$$

($\vec{D}$ – электрическое смещение; $\varepsilon_0 \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ – плотность тока смещения в вакууме; $\dfrac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ – плотность тока поляризации).

- Обобщенная теорема о циркуляции вектора $\vec{H}$

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} \ + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

($\vec{j}_{см}$ – плотность тока проводимости; $\dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ – плотность тока смещения; S– поверхность, охватываемая замкнутым контуром).

- Уравнения Максвелла в интегральной форме

$$\oint_L \vec{H}d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \qquad \oint_L \vec{D}d\vec{S} = \int_S \rho dV;$$

$$\oint_L \vec{E}d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \qquad \oint_L \vec{B}d\vec{S} = 0.$$

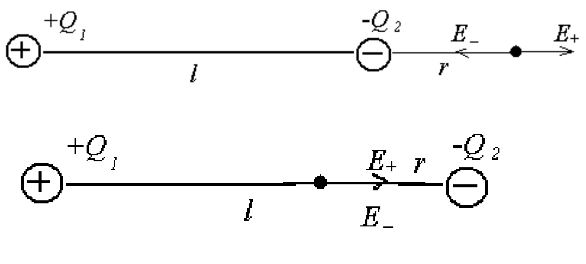
3.2 Примеры решения задач

Пример 1 Определите напряженность электростатического поля в точке А, расположенной вдоль прямой, соединяющей заряды Q_1=10нКл и Q_2=-8нКл и находящейся на расстоянии 8см от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами l=20см.

Дано:
$Q_1=10нКл =8\cdot10^{-8}Кл$
$Q_2=-8нКл=-8\cdot10^{-9}Кл$
$l=20см=0,2м$
$r=8см=0,08м$
E-?

1)

2)



1) когда точка за зарядами.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E = E_2 - E_1$$

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 (l+r)^2}; E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{|Q_2|}{r^2} - \frac{|Q_1|}{(l+r)^2}\right) = 10{,}1кВ/м$$

2) когда точка между зарядами, напряженности направлены в одну сторону

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E = E_1 + E_1$$

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 (l-r)^2}; E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{|Q_2|}{r^2} + \frac{|Q_1|}{(l-r)^2}\right) = 17{,}5 кВ/м$$

Пример 2 В цепи на рис. амперметр показывает силу тока I = 1,5 А. Сила тока через сопротивление R_1 равна I_1 = 0,5 А. Сопротивление R_2 = 2 Ом, R_3 = 6 Ом.

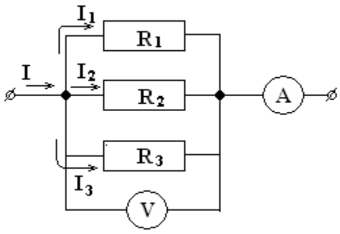
Определить сопротивление R_1, силы токов I_2 и I_3, протекающих через сопротивления R_2 и R_3.

Дано:
$I = 1{,}5\ A$
$I_1 = 0{,}5\ A$
$R_2 = 2$ *Ом*
$R_3 = 6$ *Ом*

R_1, I_2, I_3, -?

$U = const$, $I = I_1 + I_2 + I_3$, $I_2 + I_3 = I - I_1$

$U = IR$ $U_1 = U_{общ\ 2\text{-}3}$



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$I_1 R_1 = (I_2 + I_3)\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3},$$

$$R_1 = \frac{(I - I_1) R_2 R_3}{I_1 (R_2 + R_3)}$$

$R_1 = 3$ *Ом*

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{I_1 R_1}{R_2} = 0.75A$$

$$I_3 = \frac{I_1 R_1}{R_3} = 0.25A$$

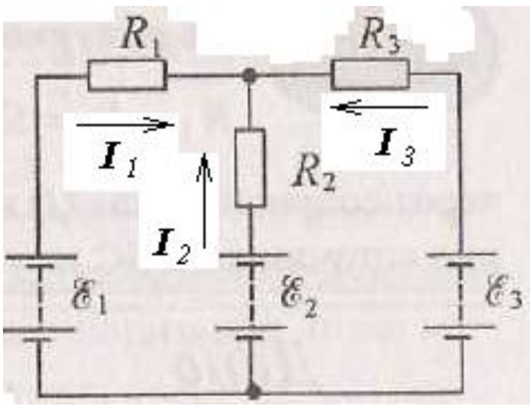
Ответ: $I_2 = 0.75$ *А*, $I_3 = 0.25$*А*, $R_1 = 3$ *Ом*

Пример 3 На рисунке $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$, R_1=48 Ом, R_2=24 Ом, падение напряжения U_2 на сопротивлении R_2 равно 12 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением элементов, определите: 1) силу тока во всех участках цепи; 2) сопротивление R_3.

Дано:
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$
$R_1 = 48$ *Ом*
$R_2 = 24$ *Ом*
$U_2 = 12B$

$I_{1,2,3}$-?
$R_{1,2,3}$-?

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12B}{24Ом} = 0{,}5A$$



$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 0 \\ I_1 R_1 - I_3 R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_3 = 0 \\ I_2 R_2 - I_3 R_3 = \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 0 \end{cases}$$

$$I_1 = \frac{I_2 R_2}{R_1} = 0.25A$$

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -0.75A$$

Ток направлен в противоположную сторону

$$I_1R_1 - I_3R_3 = 0 \Rightarrow R_3 = \frac{I_1R_1}{I_3} = 16 Ом$$

$I_2 = 0{,}5A$

Ответ: $I_1 = 0.25A \qquad R_3 = 16 Ом$

$I_3 = -0.75A$

<u>Пример</u> 4 Определите магнитную индукцию B поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного провода, в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии R= 4см от его середины. Длина отрезка провода $\ell = 20\,\boldsymbol{см}$, а сила тока в проводе I=10A.

Дано:
R= 4см=4 10^{-2}м
$\ell = 20\,\boldsymbol{см}$ *=0,2м*
I=10A

B-?

Для отрезка провода

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

$$\mu = 1$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{l/2}{r}$$

$$r = \sqrt{(l/2)^2 + R^2}$$

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_1$$

$$\cos\alpha_2 = \cos(180 - \alpha_1) = -\cos\alpha_1$$

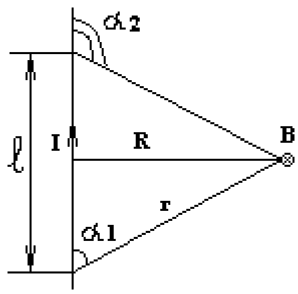
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}(\cos\alpha_1 + \cos\alpha_1) = \frac{\mu_0 I 2\cos\alpha_1}{4\pi R}$$

$$B = \frac{\mu_0 I l}{2\pi R 2\sqrt{(l/2)^2 + R^2}}$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}\, Гн/м + 12{,}56 * 10^{-7}\, Гн/м$$

$$B = \frac{10^{-7} * 10A * 0{,}2мГн}{4 * 10^{-2} м\sqrt{10^{-2} м^2 + 16 * 10^{-4} м^2}}$$

$$B = 5 * 10^{-5} Тл = 50 * 10^{-6} Тл = 50 мкТл$$



Ответ: *B=50мкТл*

<u>Пример 5</u> Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией B=0,1 Тл по окружности. Определите угловую скорость вращения электрона.

Дано:
B=0,1 Тл
e = 1,6 10^{-19}Кл
$\boldsymbol{\omega - ?}$

$$F_л = Q[VB]$$

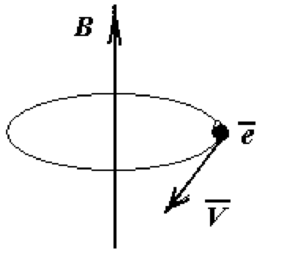
$$F_л = QVBSin\alpha$$

$$B \perp V \Rightarrow \sin 90^o = 1$$

$$F_л = QVB$$

$$F_л = ma$$

$$QVB = ma$$



Движение равномерное по окружности, скорость меняется по направлео не по модую

$$a = \frac{V^2}{R}$$

$$QVB = m\frac{V^2}{R}$$

$$Q = e$$

$$eVB = m\frac{V^2}{R} \Rightarrow V = \frac{eBR}{m}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$.T = \frac{2\pi R}{V}$$

$$\omega = \frac{2\pi V}{2\pi R} = \frac{V}{R} = \frac{eBR}{mR} = \frac{eB}{m}$$

$$\omega = \frac{1.6\cdot 10^{-19} Кл \cdot 0{,}1 Тл}{0{,}911\cdot 10^{-30} кг} = 1{,}76\cdot 10^{10}\,\frac{рад}{с}$$

Ответ: $\omega = 1{,}76\cdot 10^{10}\,\frac{рад}{с}$

4. **ОПТИКА.**

4.1. Основные формулы

- Абсолютный показатель преломления $\boldsymbol{n = \frac{c}{v}}$

где $\boldsymbol{c}$ - скорость света в вакууме; $\boldsymbol{v}$ – фазовая скорость электромагнитных волн в среде.

- Показатель преломления второй среды относительно первой (относительные показатель преломления) $\boldsymbol{n_{21} = \frac{n_2}{n_1}}$

где $\boldsymbol{n_1}$ и $\boldsymbol{n_2}$ – абсолютные показатели преломления первой и второй среды.

- Оптическая сила тонкой линзы

$$\boldsymbol{\Phi = \frac{1}{f} = (N-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

где $\boldsymbol{f}$ – фокусное расстояние линзы; $\boldsymbol{N}$ – относительный показатель преломления; $\boldsymbol{R_1}$ и $\boldsymbol{R_2}$ – радиусы кривизны поверхностей линзы.

- Формула тонкой линзы $\frac{1}{f}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$

где f – фокусное расстояние линзы; a – расстояние от линзы до предмета;

b – расстояние от линзы до изображения предмета.

- Скорость света в среде $v=c/n$,

где c - скорость света в вакууме; n - показатель преломления среды.

- Оптическая длина пути световой волны $L=nl$,

где l - геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n.

- Оптическая разность хода двух световых волн $\Delta=L_2-L_1$
- Связь разности фаз и оптической разности хода световых волн:

$$\Delta\varphi=2\pi\,\Delta/\lambda,$$

где λ - длина световой волны.

- Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta=\pm k\lambda(k=0,1,2,...).$$

- Условие максимального ослабления света:

$$\Delta=\pm(2k+1)\lambda/2.$$

- Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки:

$$\Delta=2d\sqrt{n^2-sin^2 i_1}+\lambda/2 \qquad \text{или} \qquad \Delta=2dn\cos i_2+\lambda/2,$$

где d - толщина пленки; n - показатель преломления пленки; i_1 - угол падения; i_2 - угол преломления света в пленке.

- Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете (или радиус темных колец в проходящем свете):

$$r_к=\sqrt{(2k-1)R\lambda/2} \qquad (k = 1,2,3,\ldots).$$

где k - номер кольца; R - радиус кривизны линзы.

- Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете (или радиус светлых колец в проходящем свете): $r_к=\sqrt{kR\lambda}$.
- Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия:

$$a\sin\varphi=(2k+1)\lambda/2 \qquad (k = 0,1,2,3,\ldots),$$

где a – ширина щели; k – порядковый номер максимума.

- Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия:

$$d\sin\varphi=\pm k\lambda \qquad (k = 0,1,2,3,\ldots),$$

где d - период дифракционной решетки.

- Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$K=\lambda/\Delta\lambda=kN,$$

где $\Delta\lambda$ - наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda+\Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N - полное число щелей решетки.

- Формула Вульфа-Брэга: $2d\,sin\theta = k\lambda$,

где θ - угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d - расстояние между атомными плоскостями кристалла.

- Закон Брюстера: $tg\,i_1 = n_{21}$,

где i_1 - угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

- Закон Малюса: $J = J_0 \cos^2\alpha$,

где J_0 - интенсивность плоско поляризованного света, падающего на анализатор; J - интенсивность этого света после анализатора; α - угол между направлением колебаний электрического вектора света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора.

- Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) $\varphi = \alpha d$ (в твердых телах);

б) $\varphi = \alpha_0 p d$ (в растворах),

где α - постоянная вращения; d - длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе; α_0 - удельное вращение; p - массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

- Закон Стефана-Больцмана: $R_e = \sigma T^4$,

где R_e – энергетическая светимость (излучаемость) абсолютно черного тела; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T - термодинамическая температура.

- Закон смещения Вина: $\lambda_m = b/T$,

где λ_m - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b - постоянная Вина.

- Энергия фотона: $\varepsilon = h\nu$ или $\varepsilon = \hbar\omega$

где h – постоянная Планка; $\hbar$ - постоянная Планка, деленная на 2π; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

- Масса фотона: $m = \varepsilon/c^2 = h/(c\lambda)$,

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

- Импульс фотона: $p = mc = h/\lambda$
- Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + T_m = A + mV_m^2/2$$

где $h\nu$ - энергия фотона, падающего на поверхность металла; A - работа выхода электрона; T_m - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Красная граница фотоэффекта: $\nu_0 = A/h$, или $\lambda_0 = hc/A$,

ν_0 – минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект;

λ_0 – максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект.

- Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) \qquad \text{или} \qquad \Delta\lambda = 2\frac{h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны падающего фотона, λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения со свободным электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

Комптоновская длина волны: $\Lambda = h/(m_0 c)$, Λ =2,44 пм.

Давление света при нормальном падении на поверхность:

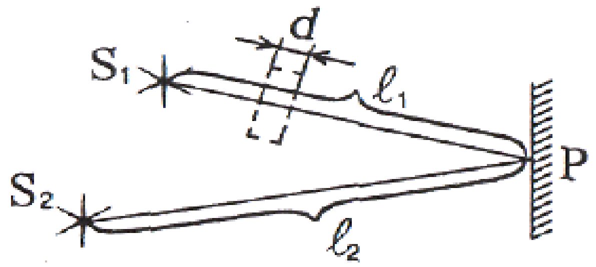
$$p = E_0(1+p)/c = w(1+p),$$

где E_0 – энергетическая освещенность; w – объемная плотность энергии излучения; p – коэффициент отражения.

4.2 Примеры решения задач

Пример 1. От двух когерентных источников S_1 и S_2 свет с длиной волны 0,8 мкм попадает на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку (рис. 1) с показателем преломления 1,33, интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине пленки это возможно?

Дано:
$\lambda = 0{,}8\cdot10^{-6}$ м
n = 1,33
Найти: d



Решение

Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода пучков световых волн на нечетное число полуволн:

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad (1)$$

где Δ_1 – оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки; Δ_2 – оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки;
k= 0,±1, ±2,...

Наименьшей толщине пленки соответствует k = 0. При этом формула (1) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \lambda/2 \qquad (2)$$

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1.

Из рис. 1 следует: $\Delta_1 = l_1 - l_2$;

$$\Delta_2 = [(l_1 - d) + nd] - l_2 = (l_1 - l_2) + d(n-1) = \lambda/2.$$

Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d(n-1) - (l_1 - l_2) = \lambda/2, \qquad d(n-1) = \lambda/2$$

Отсюда $d = \dfrac{\lambda}{2(n-1)}$

Пример 2. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волна 0,6 мкм. Число возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на 1 см, равно 10. Найти угол клина.

Дано:
$\lambda = 10^{-6}$ м
$n = 1{,}5$
$m = 10$
$l = 0{,}01$ м
Найти: α

Решение

Параллельный пучок света, падая нормально к грани клина, отражается как от верхней, так и от нижней грани, эти отраженные пучки света когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Так как угол клина мал, то отраженные пучки 1 и 2 света (рис.2) будут практически параллельны.

Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечетному числу половин длин волн:

$$\Delta = (2k+1)\lambda/2 \qquad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots). \qquad (1)$$

Разность хода Δ двух волн складывается из разности оптических длин путей этих волн ($2dn \cdot \cos i_2$) и половины длины волны ($\lambda/2$). Величина ($\lambda/2$) представляет собой добавочную разность хода, возникающую при отражении световой волны 1 от оптически более плотной среды. Подставляя в формулу (1) разность хода Δ световых волн, получаем:

$$2d_k n \cos i_2 + \lambda/2 = (2k+1)\lambda/2 \qquad (2)$$

где n - показатель преломления стекла (n = 1.5); d_k - толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру k; i_2 - угол преломления.

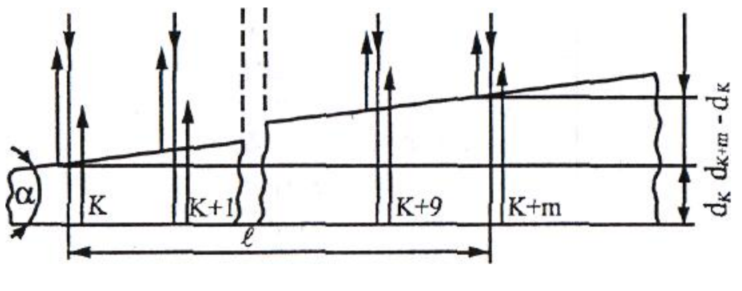


Рис. 2

Согласно условию угол падения равен нулю, следовательно, и угол преломления i_2 равен нулю, $\cos i_2 = 1$. Раскрыв скобки в правой части равенства (2), после упрощения получим: $2d_k n = k\lambda$ (3)

Пусть произвольной темной полосе k - го номера соответствует толщина d_k клина, а темной полосе ($k + m$) -го номера - толщина d_{k+m} клина. Тогда на рис. 2. учитывая, что m полос укладывается на расстоянии l, найдем:

$$\sin\alpha = (d_{k+m} - d_k)/l \qquad (4)$$

Найдем из выражения (3) d_k и d_{k+m} и подставим их в формулу (4). Затем, учитывая, что $\sin\alpha \approx \alpha$ (из-за малости угла α), получим:

$$\alpha = \frac{(k+m)\lambda/(2n) - k\lambda/(2n)}{l} = \frac{m\lambda}{2nl}$$

Подставляя значения физических величин, найдем угол α, выразим α в градусах α = 41,2

<u>Пример 3.</u> На дифракционную решетку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет. Период решетки 2 мкм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который дает эта решетка в случае красного (λ_1 = 0,7 мкм) и в случае фиолетового (λ_2 = 0,41 мкм) света.

Дано:
$d = 2{,}0\cdot10^{-6}$ м
$\lambda_1 = 0{,}7\cdot10^{-6}$ м
$\lambda_2 = 0{,}41\cdot10^{-6}$ м
Найти: m_1, m_2

Решение

Из формулы, определяющей положение главных максимумов дифракционной решетки, найдем порядок т дифракционного максимума:

$$m = (d\sin\varphi)/\lambda \qquad (1)$$

где d - период решетки; φ - угол дифракции, λ - длина волны монохроматического света. Так как $\sin\varphi$ не может быть больше единицы, то число m не может быть больше d/λ, т.е. $m \le d/\lambda$

Подставив в формулу (2) данные, получим:

$m_1 \le 2/0{,}7 = 2{,}86$ (для красных лучей);

$m_2 \le 2/0{,}41 - 4{,}88$ (для фиолетовых лучей).

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_1 = 2$, а для фиолетового - $m_2 = 4$.

<u>Пример 4.</u> Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет 60°. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность J_0 естественного света:

1) при прохождении через один николь N_1;

2) при прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света в николе 0,05. Потери на отражение света не учитывать.

Дано:
$\alpha = 60^\circ$
k = 0,05
Найти: J_0/J_1

Решение

1. Естественный свет, падая на грань призмы Николя, расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный и необыкновенный (рис. 3). Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебаний необыкновенного пучка лежит в плоскости чертежа (плоскость глазного сечения). Плоскость колебаний обыкновенного пучка перпендикулярна плоскости чертежа. Обыкновенный пучок счета (о) вследствие полного отражения от границы АБ отбрасывается на зачерненную поверхность призмы и поглощается ею. Необыкновенный пучок (е) проходит через призму, уменьшая свою интенсивность вследствие поглощения, Таким образом, интенсивность света, прошедшего через первую призму,

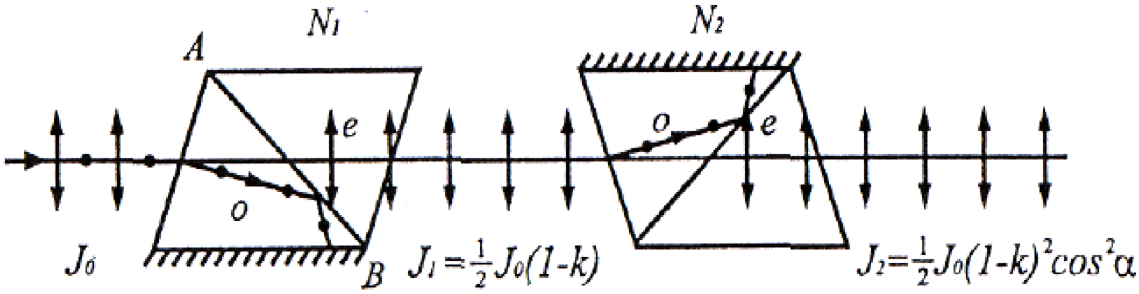


Рис. 3

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность $\boldsymbol{J_0}$ естественного света, падающего на первый николь, на интенсивность $\boldsymbol{J_1}$ поляризованного света: $\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_1}=\frac{\boldsymbol{J}_0}{1/2\boldsymbol{J}_0(1-\boldsymbol{k})}=\frac{2}{1-\boldsymbol{k}}$.

Произведем вычисления: $\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_1}=2{,}1$.

Таким образом, интенсивность уменьшается в 2,1 раза.

2. Плоскополяризованный пучок света интенсивности $\boldsymbol{J_1}$ падает на второй николь N_1 и также расщепляется на два пучка различной интенсивности: обыкновенный и необыкновенный. Обыкновенный пучок полностью поглощается призмой, поэтому интенсивность его нас не интересует. Интенсивность необыкновенного пучка, вышедшего из призмы $\boldsymbol{N_2}$**,** определяется законом Малюса без учета поглощения света во втором николе; с учетом поглощения света.

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдем, разделив интенсивность $\boldsymbol{J_0}$ естественного света на интенсивность $\boldsymbol{J_2}$ света, прошедшего систему из двух николей:

$$\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_2}=\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_1(1-\boldsymbol{k})\boldsymbol{cos}^2\boldsymbol{\alpha}}.$$

Заменяя отношение $\boldsymbol{J_0}/\boldsymbol{J_1}$ его выражением по формуле (1), получаем:

$$\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_2}=\frac{2}{(1-\boldsymbol{k})^2\cdot\boldsymbol{cos}^2\boldsymbol{\alpha}}.$$

Произведем вычисления $\frac{\boldsymbol{J}_0}{\boldsymbol{J}_2}=8{,}86$.

Таким образом, после прохождения света через два николя интенсивность его уменьшится в 8,86 раза.

<u>Пример 5.</u> Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость поверхности тела.

Дано:	Решение:
$\boldsymbol{\lambda_0}=0{,}58\cdot10^{-6}$ м $\boldsymbol{b}=2{,}9\cdot10^{-3}$ м $\boldsymbol{\sigma}=5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м² К) Найти: $R_э$	Энергетическая светимость абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана-Больцмана пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается

формулой

$$R_э = \sigma T^4, \tag{1}$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Температуру можно выразить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_m = b/T, \tag{2}$$

где b - постоянная Вина.

Используя формулы (1) и (2), получаем

$$R_э = \sigma \cdot (b/T)^4 \quad , \tag{3}$$

Произведем вычисления и найдем $R_э$

Пример 6. Угол рассеяния фотона с энергией 1,2 МэВ на свободном электроне равен 60°. Найти длину волны рассеянного фотона, энергию и импульс электрона отдачи. Кинетической энергией электрона до соударения пренебречь.

Дано:
E = 1,2 МэВ = = $1{,}92\cdot 10^{-13}$ Дж
θ = 60
Найти: λ_2, T_p, p_p

Решение:

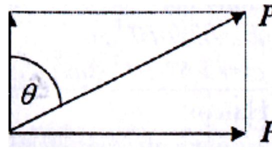
Изменение длины фотона при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_0 c}(1 - cos\theta) = A(1 - cos\theta), \tag{1}$$

где λ_1 и λ_2 - длины волн падающего и рассеянного фотонов; $h = 6{,}62\cdot 10^{-34}$ Дж с – постоянная Планка; $m_0 = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг – масса покоя электрона; $c = 3\cdot 10^{8}$ м/с – скорость света в вакууме;

$A = 2{,}43\cdot 10^{-12}$ м – комптоновская длина волны; θ – угол рассеяния (рис. 5.4). На рисунке p_1 и p_2 – импульсы падающего и рассеянного фотонов.

Из формулы (1) находим:



$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda = \lambda_1 + A(1 - cos\theta).$$

Выражая, через энергию фотона $E_1 = hc/\lambda_1$, получаем:

$$\lambda_2 = hc/E_1 + A(1 - cos\theta).$$

Энергия электрона отдачи по закону сохранения энергии

$$T_e = E_2 - E_1.$$

Выразим изменение длины волны через изменение частоты:

$$\Delta\lambda = c/\nu_2 - c/\nu_1 = c/(\nu_1 - \nu_2)/(\nu_1\nu_2).$$

С учетом (1) можно написать:

$$\nu_1 - \nu_2 = \frac{h\nu_1\nu_2}{m_0 c^2}(1 - cos\theta). \tag{3}$$

Умножая выражение (3) на h и учитывая, что

$h\nu_1 = E_1$, $h\nu_2 = E_2$, $m_0 c^2 = E_0$, $E_2 - E_1 = T_e$,

получаем:

$$T_e = \frac{E_1^2(1 - cos\theta)}{E_0 + E_1(1 - cos\theta)}. \tag{4}$$

где E_0 = 0,51 МэВ = $0{,}82\cdot10^{-13}$ Дж - энергия покоя электрона. Зная энергию электрона, найдем: $P_e = \frac{1}{c}\sqrt{T_e\left(T_e + 2E_0\right)}$.

Подставляя числовые данные в формулы (2), (4) и (5), получаем искомые величины.

Пример 7. Пучок монохроматического света с длиной волны 663 нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность. Поток излучения 0,6 Вт. Определить силу давления, испытываемую этой поверхностью, и число фотонов, ежесекундно падающих на поверхность.

Дано:
$\lambda = 663\cdot10^{-9}$ м
Φ_e = 0,6 Вт
Найти: F, n

Решение

Сила светового давления на поверхность $F = PS$ (1)

Световое давление $P = E_e\left(1+p\right)/c$, (2)

где E_e - энергетическая освещенность; p - коэффициент отражения.

Подставляя правую часть выражения (2) в формулу (1), получаем:

$$F = E_e S\left(1+p\right)/c = \Phi_e\left(1+p\right)/c.$$

Произведем вычисления, учитывая, что для зеркальной поверхности p = 1

F = 4 нH.

Произведение энергии одного фотона на число фотонов, ежесекундно падающих на поверхность, равно мощности излучения, т.е. потоку излучения

$$\Phi_e = En = h\nu n = \frac{hcn}{\lambda},$$

т.о. $n = \frac{\lambda\Phi_e}{hc}$.

5. АТОМНАЯ ФИЗИКА. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

5.1. Основные формулы

- Момент импульса электрона (по теории Бора):

$$L_n = hn, \qquad m v_n r_n = hn,$$

где m - масса электрона; v_n - скорость электрона на **n**-й орбите; r_n - радиус **n** -й стационарной орбиты; h - постоянная Планка; n - главное квантовое число (n = 1, 2, ...).

- Радиус n-й стационарной орбиты: $r_n = r_0 n^2$, где r_0 - радиус Бора,
- Энергия электрона в атоме водорода: $E_n = E_1/n^2$, где E_1 - энергия атома водорода в основном состоянии.
- Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода:

$$\varepsilon = h\omega = E_{n2} - E_{n1}, \qquad \varepsilon = E_1\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right),$$

где n_1 и n_2 - квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме, E_i - энергия ионизации атома водорода.

- Обобщенная формула Бальмера $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$,

где λ - длина волны излучения или поглощения атомом; R - постоянная Ридберга.

- Длина волны де Бройля: $\lambda = 2\pi\hbar/P = h/P$, где P - импульс частицы.
- Импульс частицы и его связь с кинетической энергией Т:

а) $P = m_0V$ $\quad P=\sqrt{2m_0T}$ $\quad (V \ll c)$;

б) $P = mV = \frac{m_0V}{\sqrt{1-(V/c)^2}}$; $\quad P=\frac{1}{c}\sqrt{(2E_0+T)T}$,

где m_0 - масса покоя частицы; m - релятивистская масса; V - скорость частицы; c - скорость света в вакууме; E_0 - энергия покоя частицы ($E_0 = m_0c^2$).

- Соотношение неопределенностей:

а) $\Delta P_x \Delta x \geq \hbar$ (для координаты и импульса),

где ΔP_X - неопределенность проекции импульса на ось x;

Δx - неопределенности координаты;

б) $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ (для энергии и времени),

где ΔE - неопределенность энергии; Δt - время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

- Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\frac{\partial^2\psi(x)}{\partial x^2}+\frac{2m}{\hbar^2}(E-U)\psi(x)=0,$$

где $\psi(x)$ - волновая функция, описывающая состояние частицы; m -масса частицы; E - полная энергия; $U = U(x)$ - потенциальная энергия частицы.

- Плотность вероятности: $\frac{dW(x)}{dx}=|\psi(x)|^2$,

где $dW(x)$ - вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx.

- Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2:

$$W=\int_{x_1}^{x_2}|\psi(x)|^2\,dx.$$

- Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика:

а) $\psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{l}}\sin\frac{\pi n}{l}x$ (собственная нормированная волновая функция);

б) $E_n=\frac{\pi^2\hbar^2n^2}{2ml^2}$ (собственное значение энергии),

где n - квантовое число (n = 1, 2, 3, ...); l - ширина ящика.

В области $0 \leq x \leq l$ $\quad U = \infty$ и $\psi(x) = 0$.

- Закон Мозли (ν - частота, соответствующая данной линии характеристического рентгеновского излучения):

$$\boldsymbol{\nu} = \boldsymbol{cR}(\boldsymbol{z} - \boldsymbol{\sigma})^2 \cdot \left(\frac{1}{\boldsymbol{n}_1^2} - \frac{1}{\boldsymbol{n}_2^2}\right),$$

где **z** - порядковый номер элемента; $\boldsymbol{\sigma}$ - постоянная экранирования.

- Параметр кубической решетки из одинаковых атомов: $\boldsymbol{a} = \sqrt[3]{\boldsymbol{n\mu}/(\boldsymbol{\rho N_A})}$

где $\boldsymbol{\mu}$ - молярная масса: $\boldsymbol{\rho}$ - плотность кристалла; $\boldsymbol{n}$ - число одинаковых атомов, приходящихся на элементарную ячейку; $\boldsymbol{N_A}$ - число Авогадро.

- Распределение Ферми-Дирака (среднее число электронов в квантовом состоянии с энергией $\boldsymbol{E}$): $$\overline{\boldsymbol{N}}(\boldsymbol{E}) = \frac{1}{\boldsymbol{exp}((\boldsymbol{E} - \boldsymbol{E_F})/\boldsymbol{kT}) + 1},$$

где $\boldsymbol{E_F}$ - энергия Ферми; $\boldsymbol{k}$ - постоянная Больцмана; $\boldsymbol{T}$ - термодинамическая температура.

- Средняя энергия квантового одномерного осциллятора:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_0 + \frac{\boldsymbol{h\omega}}{\boldsymbol{exp}(\boldsymbol{h\omega}/\boldsymbol{kT}) - 1},$$

где $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ - нулевая энергия ($\boldsymbol{\varepsilon}_0 = 1/2\,\boldsymbol{h\omega}$); $\boldsymbol{h}$ - постоянная Планка; $\boldsymbol{\omega}$ - круговая частота колебаний осциллятора.

- Молярная внутренняя энергия системы, состоящей из не взаимодействующих квантовых осцилляторов:

$$\boldsymbol{U_\mu} = \boldsymbol{U}_{0\boldsymbol{\mu}} + 3\boldsymbol{R} \cdot \boldsymbol{\theta_E} / (\boldsymbol{exp}(\boldsymbol{\theta_E}/\boldsymbol{T}) - 1),$$

где $\boldsymbol{R}$ - молярная газовая постоянная; $\boldsymbol{\theta_E} = \boldsymbol{h\omega}/\boldsymbol{k}$ - характеристическая температура Эйнштейна; $\boldsymbol{U}_{0\boldsymbol{\mu}} = 3/2\,\boldsymbol{R} \cdot \boldsymbol{\theta_E}$ - молярная нулевая энергия (но Эйнштейну).

Молярная теплоемкость кристаллического твердого тела по Дебаю:

$$\boldsymbol{c_\mu} = 3\boldsymbol{R}\left[12\left(\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{\theta_D}}\right)^3 \cdot \int_0^{\boldsymbol{\theta_D}/\boldsymbol{T}} \frac{\boldsymbol{x}^3\boldsymbol{dx}}{\boldsymbol{e}^{\boldsymbol{x}} - 1} - \frac{3(\boldsymbol{\theta_D}/\boldsymbol{T})}{\boldsymbol{e}^{\boldsymbol{\theta_D}/\boldsymbol{T}} - 1}\right],$$

где $\boldsymbol{\theta_D}$ - характеристическая температура Дебая ($\boldsymbol{\theta_D} = \boldsymbol{h\omega_m}/\boldsymbol{k}$).

Молярная теплоемкость кристаллического твердого тела в области низких температур (предельный закон Дебая):

$$\boldsymbol{c_\mu} = \frac{12\boldsymbol{\pi}^4}{5}\boldsymbol{R}\left(\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{\theta_D}}\right)^3 = 234\boldsymbol{R}\left(\frac{\boldsymbol{T}}{\boldsymbol{\theta_D}}\right)^3 \qquad (\boldsymbol{T} \rangle\rangle \boldsymbol{\theta_D}).$$

- Теплота, необходимая для нагревания тела: $$\boldsymbol{Q} = \frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{\mu}}\int_{\boldsymbol{T}_1}^{\boldsymbol{T}_2} \boldsymbol{c_\mu dT},$$

где $\boldsymbol{M}$ - масса тела; $\boldsymbol{\mu}$ - молярная масса; $\boldsymbol{T_1}$ и $\boldsymbol{T_2}$ - начальная и конечная температуры тела.

- Энергия Ферми в металле при $\boldsymbol{T}$ = 0 K;

$\boldsymbol{E_F} = \dfrac{\boldsymbol{h}}{2\boldsymbol{m}}(3\boldsymbol{\pi}^2\boldsymbol{n})^{2/3}$, где $\boldsymbol{n}$ - концентрация электронов в металле.

- Удельная проводимость собственных полупроводников:

$$\gamma = en(b_n + b_p),$$

где e - элементарный заряд; n - концентрация носителей заряда (электронов и дырок); b_n и b_p - подвижности электронов и дырок.

- Напряжение на гранях прямоугольного образца при эффекте Холла, холловская разность потенциалов: $U_x = R_x Bja,$

где R_x - постоянная холла; B - магнитная индукция; j - плотность тока; a - ширина пластины (образца).

- Постоянная Холла для полупроводников типа алмаз, германий, кремний и др., обладающих носителями заряда одного вида (n или p): $R_x = 3\pi/(8en),$

где n - концентрация носителей заряда.

- Массовое число ядра (число нуклонов в ядре): $A = Z+N,$

где Z - зарядовое число (число протонов); N - число нейтронов;

- Закон радиоактивного распада: $dN = -\lambda N dt,$ или $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где dN - число ядер, распадающихся за интервал времени dt; N - число ядер, не распавшихся к моменту времени t; N_0 - число ядер в начальный момент (t = 0); λ - постоянная радиоактивного распада.

- Число ядер, распавшихся за время t: $\Delta N = N_0 - N = N_0\left(1 - e^{-\lambda t}\right).$

Если интервал времени Δt, за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$, то число распавшихся ядер можно определить по формуле: $\Delta N = \lambda N \Delta t$.

- Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада: $T_{1/2} = ln 2/\lambda = 0{,}693/\lambda$.

- Среднее время жизни τ радиоактивного ядра, то есть интервал времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз: $\tau = 1/\lambda$.

- Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = M N_A/\mu,$$

где M - масса изотопа; μ - молярная масса; N_A - постоянная Авогадро.

- Активность радиоактивного изотопа: $A = -dN/dt = \lambda N,$ или $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$,

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt; A_0 - активность изотопа в начальный момент времени.

- Дефект массы ядра: $\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_я,$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре); (A - Z) – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_я$ – масса ядра.

- Энергия связи ядра: $E_{св} = \Delta m c^2$,

где Δm - дефект массы ядра; c - скорость света в вакууме.

- Во внесистемных единицах энергия связи ядра: $E_{св} = 931 \Delta m,$

где дефект массы Δm выражен в а.е.м.; 931 - коэффициент пропорциональности (1 а.е.м. ≈ 931 МэВ).

5.2 Примеры решения задач

Пример 1. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов: 1) 51 В и 2) 510 кВ, Найти длину волны де Бройля для этих двух случаев.

Дано:
U_1 = 51 В
$U_2 = 5{,}1 \cdot 10^5$ В
Найти: λ

Решение

Длина волны де Бройля для частицы зависит от ее импульса и определяется формулой: $\lambda = h/P$, (1)
где h - постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия T. Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше энергии покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае: $P = \sqrt{2m_0 T}$, (2)

где m_0 – масса покоя частицы.

В релятивистском случае: $P = \frac{1}{c}\sqrt{(2E_0 + T)T}$, (3)

где $E_0 = m_0 c^2$ - энергия покоя частицы.

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется:

в нерелятивистском случае $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 T}}$, (4)

в релятивистском случае $\lambda = \frac{hc}{\sqrt{(2E_0 + T)T}}$, (5)

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов U_1 = 51 В и U_2 = 510 кВ, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, какую из формул (4) или (5), следует применять для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов, $T = eU.$

В первом случае: $T_1 = eU_1 = 51 эВ = 0{,}51 \cdot 10^{-4}$ *МэВ*,

что много меньше энергии покоя электрона $E_0 = m_0c^2$ = 0,51 МэВ. Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4). Для упрощения расчетов заметим, что $T_1 = 10^{-4} m_0 c^2$. Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot 10^{-4} \cdot m_0 c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{m_0 c}.$$

Учитывая, что $h/(m_0c)$ есть комптоновская длина волны Λ, получаем:
λ_1 = 171 пм

Во втором случае кинетическая энергия $T_2 = eU_2$ = 510 кэВ = 0,51 МэВ, то есть равна энергии покоя электрона. В этом случае необходимо применить релятивистскую формулу (5). Учитывая, что T_2 = 0,51 МэВ = m_0c^2, по формуле (5) находим:

$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{\left(2m_0c^2 + m_0c^2\right)m_0c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3}\cdot m_0c} = \frac{A}{\sqrt{3}}.$$

Подставим значение A = 2,43 пм и произведем вычисления.

<u>Пример 2</u>**.** Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные размеры атома.

Дано:
T = 10 эВ = $16\cdot10^{-19}$ Дж
Найти: $l_{\min}$

Решение

Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет вид $\Delta P_x \Delta x \geq h$, где Δx – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона); ΔP_X – неопределенность импульса частицы (электрона); h – постоянная Планка, деленная на 2π.

Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры l, тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределенностью $\Delta x = l/2$. (1)

Соотношение неопределенностей (1) можно записать в этом случае в виде $(l/2)\Delta P_x \geq h,$ откуда $l \geq 2h/\Delta P_x$. (2)

Физически разумная неопределенность импульса ΔP_X во всяком случае не должна превышать значения самого импульса P_x, то есть $\Delta P_X \leq P_x$. Импульс P_x связан с кинетической энергией T соотношением $P_x = \sqrt{2mT}$. Заменим ΔP_X значением $\sqrt{2mT}$ (такая замена не увеличит l). Переходя от неравенства к равенству, получим:

$$l_{min} = 2h\sqrt{2mT}. \qquad (3)$$

Произведем вычисления.

<u>Пример 3</u>**.** Электрон находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной l. Вычислить вероятность того, что электрон, находящийся в первом возбужден ном состоянии, будет обнаружен в первой трети ящика.

Дано:
n = 2,0 < x < l/3
Найти: w

Решение

Вероятность обнаружить частицу в интервале 0 < x < l/3. Определяется равенством $W = \int_0^{l/3} \left|\psi_n(x)\right|^2 dx,$ (1)

где $\psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{l}}\sin\frac{\pi n}{l}x$ - собственная волновая функция, описывающая состояние электрона в потенциальном ящике.

Подставим $\psi_2(x)$ в подынтегральное выражение формулы (1):

$$W=\int_0^{l/3}\frac{2}{l}\sin^2\left(\frac{\pi n}{l}x\right)dx \quad (2)$$

Произведем замену: $\sin^2\frac{2\pi}{l}x=\frac{l}{2}\left(1-\cos\frac{4\pi}{l}x\right)$

и разобьем интеграл на два:

$$W=\frac{2}{l}\int_0^{l/3}\sin^2\left(\frac{2\pi}{l}x\right)dx=\frac{1}{l}\left(\int_0^{l/3}dx-\int_0^{l/3}\cos\left(\frac{4\pi}{l}x\right)dx\right)=\frac{1}{l}\left(\frac{l}{3}-\frac{l}{4\pi}\sin\left(\frac{4\pi}{l}x\right)\Big|_0^{l/3}\right).$$

<u>Пример 4.</u> Определить начальную активность радиоактивного препарата магния Mg^{27} массой 0,2 мкг, а также его активность через время 6 ч. Период полураспада магния 10 мин.

Дано:
$M = 0{,}2\cdot10^{-9}$ кг
t = 6ч = $2{,}16\cdot10^{3}$ с
$T_{1/2}$ = 10 мин = 600 с
Найти: A_0, A

Решение

Активность изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется отношением числа ядер, распавшихся за интервал времени, к этому интервалу: $A_0=-dN/dt$ (1)

Знак минус показывает, что число N радиоактивных ядер с течением времени убывает.

Для того, чтобы найти dN/dt, воспользуемся законом радиоактивного распада:

$$N=N_0e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где N - число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, в момент времени t; N_0 - число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начальный (t = 0); λ - постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени:

$$dN/dt=-\lambda N_0e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Исключив из формул (1) и (3) dN/dt, находим активность препарата в момент времени t: $A=\lambda N_0e^{-\lambda t}$ (4)

Начальную активность A_0 препарата получим при (t = 0): $A_0=\lambda N_0$ (5)

Постоянная радиоактивного распада $\lambda=ln(2/T_k)$

Число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, равно произведению постоянной Авогадро на количество вещества данного изотопа:

$$N_0=\nu N_A=\frac{M}{\mu}N_A, \quad (7)$$

где M- масса изотопа, μ - молярная масса.

С учетом выражений (6) и (7) формулы (5) и (4) принимают вид:

$$A_0 = \frac{M\, \ln 2 N_A}{\mu T_{1/2}}, \ (8) \qquad A = \frac{M\, \ln 2 N_A}{\mu T_{1/2}} e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \qquad (9)$$

Произведем вычисления.

Пример 5. Головная длина волны K_α - серии характеристического рентгеновского излучения для некоторого элемента равна 0,0205 нм = = $0{,}205 \cdot 10^{-10}$ м. Определить этот элемент.

Дано:
$\lambda = 0{,}205 \cdot 10^{-10}$ м
$n_1 = 1$
$n_2 = 2$
$\sigma = 1$
Найти: Z

Решение:

Из формулы Мозли

$$\frac{1}{\lambda} = R(z - \sigma)^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right),$$

где λ – длина волны характеристического излучения, равная $\lambda = c/\nu$ (c – скорость света, ν – частота, соответствующая длине волны λ); R – постоянная Ридберга, равная $1{,}097 \cdot 10^7$ м$^{-1}$;

Z – по рядковый номер элемента, из которого изготовлен электрод; σ – постоянная экранирования; n_1 – номер энергетического уровня, на который переходит электрон; n_2 – номер уровня, с которого переходит электрон, находим Z:

$$Z = \sqrt{\frac{4}{3\lambda R}} + 1 \qquad Z = 78$$

Порядковый номер 78 имеет платина.

Пример 6. Кристаллический алюминий массой 10 г нагревается от 10 до 20 К. Пользуясь теорией Дебая, определить количество теплоты, необходимое для нагревания. Характеристическая температура Дебая для алюминия 418 К. Считать, что условие $T \ll \theta_D$ выполняется.

Дано:
$M = 0{,}01$ кг
$T_1 = 10$ К
$T_2 = 20$ К
$\theta_D = 418$ К
$\mu = 27 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
Найти: Q

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания алюминия от температуры T_1 до T_2, будем вычислять по формуле

$$Q = M \int_{T_1}^{T_2} c\,dT, \qquad (1)$$

где M - масса алюминия, c - его удельная теплоемкость, которая связана с молярной теплоемкостью соотношением $c = CM/\mu$. Учитывая это, формулу (1) запишем в виде

$$Q = \frac{M}{\mu} \int_{T_1}^{T_2} C_\mu dT, \qquad (2)$$

По теории Дебая, если условие $T \ll \theta_D$ выполнено, молярная теплоемкость определяется предельным законом: $$C_{\mu} = \frac{12\pi^4}{5} R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3, \qquad (3)$$

где R = 8,31 Дж/(моль·К) - молярная газовая постоянная;
θ_D – характеристическая температура Дебая; T – термодинамическая температура.

Подставляя (3) в (2) и выполняя интегрирование, получаем:

$$Q = \frac{12\pi^4}{5} \cdot \frac{M}{\mu} R \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 dT = \frac{3\pi^4}{5} \cdot \frac{M}{\mu} \cdot \frac{R}{\theta_D^3} \left(T_2^4 - T_1^4 \right).$$

Подставляя числовые значения, находим искомую величину

Пример 7. Некоторый примесный полупроводник имеет решетку типа алмаза и обладает только дырочной проводимостью, определить концентрацию дырок и их подвижности, если постоянная Холла $3{,}8 \cdot 10^{-4}$ м^3/Кл. Удельная проводимость полупроводника 110 Ом$^{-1}$ · м$^{-1}$

Дано:
$R_x = 3{,}8 \cdot 10^{-4}$ м^3/Кл
σ = 110 Ом$^{-1}$ · м$^{-1}$
$\lvert e \rvert = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Найти: n_p, σ_p

Решение

Концентрация дырок связана с постоянной Холла, которая для полупроводников с решеткой типа алмаза, обладающих носителями только одного знака, выражается формулой $R_x = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{en_p}$,

где e - элементарный заряд.

Отсюда концентрация дырок: $$n_p = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{eR_x}. \qquad (1)$$

Подставим числовые значения величин в формулу (1) и произведем вычисления: $n_p = 1{,}9 \cdot 10^{22}$ м$^{-3}$

Удельная проводимость полупроводников $\sigma = e(n_n b_n + n_p b_p)$, (2)

где n_n и n_p – концентрации электронов и дырок; b_n и b_p – их подвижности.

При отсутствии электронной проводимости первое слагаемое в скобках равно нулю, формула (2) примет вид $\sigma = en_p b_p$

Отсюда искомая подвижность: $$b_p = \frac{\sigma}{en_p} \qquad (3)$$

Подставим в (3) выражение n_p из формулы (1): $$b_p = \frac{8}{3\pi} \sigma R_x \qquad (4)$$

Подставим в (4) значение σ и R_x, произведем вычисления.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

		Последняя цифра зачетной книжки									
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Предпоследняя цифра зачетной книжки	**1**	1(а)	2(б)	3(в)	4(г)	5(д)	6(е)	7(ж)	8(з)	9(и)	10(к)
		20(к)	11(а)	12(б)	13(в)	14(г)	15(д)	16(е)	17(ж)	18(з)	19(и)
		29(и)	30(к)	21(а)	22(б)	23(в)	24(г)	25(д)	26(е)	27(ж)	28(з)
		38(е)	39(и)	40(к)	31(а)	32(б)	33(в)	34(г)	35(д)	36(ж)	37(з)
		47(ж)	48(з)	49(и)	50(к)	41(а)	42(б)	43(в)	44(г)	45(д)	46(е)
		56(е)	57(ж)	58(з)	59(и)	60(к)	51(а)	52(б)	53(в)	54(г)	55(д)
		65(д)	66(е)	67(ж)	68(з)	69(и)	70(к)	61(а)	62(б)	63(в)	64(г)
		74(г)	75(д)	76(е)	77(ж)	78(з)	79(и)	80(к)	71(а)	72(б)	73(в)
		83(в)	84(г)	85(д)	86(е)	87(ж)	88(з)	89(и)	90(к)	81(а)	82(б)
		92(б)	93(в)	94(г)	95(д)	96(е)	97(ж)	98(з)	99(и)	100(к)	91(а)
		101(а)	102(б)	103(в)	104(г)	105(д)	106(е)	107(ж)	108(з)	109(и)	110(к)
		120(к)	111(а)	112(б)	113(в)	114(г)	115(д)	116(е)	117(ж)	118(з)	119(и)
		129(и)	130(к)	121(а)	122(б)	123(в)	124(г)	125(д)	126(е)	127(ж)	128(з)
		138(з)	139(и)	140(к)	131(а)	132(б)	133(в)	134(г)	135(д)	136(е)	137(ж)
		147(ж)	148(з)	149(и)	150(к)	141(а)	142(б)	143(в)	144(г)	145(д)	146(е)
	2	10(а)	9(б)	8(в)	7(г)	6(д)	5(е)	4(ж)	3(з)	2 (и)	1(к)
		18(к)	17(а)	16(б)	15(в)	14(г)	13(д)	12(е)	11(ж)	20(з)	19(и)
		21(и)	22(к)	23(а)	24(б)	25(в)	26(г)	27(д)	28(е)	29(ж)	30(з)
		40(е)	39(и)	38(к)	37(а)	31(б)	32(в)	33(г)	34(д)	35(ж)	36(з)
		50(ж)	41(з)	42(и)	43(к)	44(а)	45(б)	46(в)	47(г)	48(д)	49(е)
		57(е)	58(ж)	59(з)	60(и)	51(к)	52(а)	53(б)	54(в)	55(г)	56(д)
		64(д)	65(е)	66(ж)	67(з)	68(и)	69(к)	70(а)	61(б)	62(в)	63(г)
		80(г)	79(д)	78(е)	77(ж)	76(з)	75(и)	74(к)	73(а)	72(б)	71(в)
		90(в)	89(г)	88(д)	87(е)	86(ж)	85(з)	84(и)	83(к)	82(а)	81(б)
		100(б)	91(в)	92(г)	93(д)	94(е)	95(ж)	96(з)	97(и)	98(к)	99(а)
		110(а)	109(б)	108(в)	107(г)	106(д)	105(е)	104(ж)	103(з)	102(и)	101(к)
		120(к)	119(а)	118(б)	117(в)	116(г)	115(д)	114(е)	113(ж)	112(з)	111(и)
		129(и)	130(к)	121(а)	122(б)	123(в)	124(г)	125(д)	126(е)	127(ж)	128(з)
		131(з)	132(и)	133(к)	134(а)	135(б)	136(в)	137(г)	138(д)	139(е)	140(ж)
		150(ж)	149(з)	148(и)	147(к)	146(а)	145(б)	144(в)	143(г)	142(д)	141(е)
	3	2(а)	3(б)	4(в)	5(г)	6(д)	7(е)	8(ж)	9(з)	10(и)	1(к)
		11(к)	12(а)	13(б)	14(в)	15(г)	16(д)	17(е)	18(ж)	19(з)	20(и)
		21(и)	22(к)	23(а)	24(б)	25(в)	26(г)	27(д)	28(е)	29(ж)	30(з)
		40(е)	31(и)	32(к)	33(а)	34(б)	35(в)	36(г)	37(д)	38(ж)	39(з)
		49(ж)	50(з)	41(и)	42(к)	43(а)	44(б)	45(в)	46(г)	47(д)	48(е)
		58(е)	59(ж)	60(з)	51(и)	52(к)	53(а)	54(б)	55(в)	56(г)	57(д)
		67(д)	68(е)	69(ж)	70(з)	61(и)	62(к)	63(а)	64(б)	65(в)	66(г)
		80(г)	79(д)	78(е)	77(ж)	76(з)	71(и)	72(к)	73(а)	74(б)	75(в)
		88(в)	87(г)	86(д)	85(е)	84(ж)	83(з)	82(и)	89(к)	90(а)	81(б)
		95(б)	96(в)	97(г)	98(д)	99(е)	100(ж)	94(з)	91(и)	92(к)	93(а)
		101(а)	102(б)	103(в)	104(г)	105(д)	106(е)	107(ж)	108(з)	109(и)	110(к)
		113(к)	114(а)	115(б)	116(в)	117(г)	118(д)	119(е)	119(ж)	111(з)	112(и)
		122(и)	123(к)	124(а)	125(б)	126(в)	127(г)	128(д)	129(е)	130(ж)	121(з)
		139(з)	140(и)	131(к)	132(а)	133(б)	134(в)	135(г)	136(д)	137(е)	138(ж)
		147(ж)	148(з)	149(и)	150(к)	141(а)	142(б)	143(в)	144(г)	145(д)	146(е)

		Последняя цифра зачетной книжки									
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
	4	3(а)	4(б)	5(в)	6(г)	7(д)	8(е)	9(ж)	10(з)	1(и)	2(к)
		12(к)	13(а)	14(б)	15(в)	16(г)	17(д)	18(е)	19(ж)	20(з)	11(и)
		30(и)	29(к)	28(а)	27(б)	26(в)	25(г)	24(д)	23(е)	22(ж)	21(з)
		39(е)	40(и)	31(к)	32(а)	33(б)	34(в)	35(г)	36(д)	37(ж)	38(з)
		48(ж)	49(з)	50(и)	41(к)	42(а)	43(б)	44(в)	45(г)	46(д)	47(е)
		51(е)	52(ж)	53(з)	54(и)	55(к)	56(а)	57(б)	58(в)	59(г)	60(д)
		67(д)	68(е)	69(ж)	70(з)	61(и)	62(к)	63(а)	64(б)	65(в)	66(г)
		75(г)	76(д)	77(е)	78(ж)	79(з)	80(и)	71(к)	72(а)	73(б)	74(в)
		90(в)	81(г)	82(д)	83(е)	84(ж)	85(з)	86(и)	87(к)	88(а)	89(б)
		99(б)	100(в)	91(г)	92(д)	93(е)	94(ж)	95(з)	96(и)	97(к)	98(а)
		108(а)	109(б)	110(в)	101(г)	102(д)	103(е)	104(ж)	105(з)	106(и)	107(к)
		120(к)	119(а)	118(б)	117(в)	116(г)	111(д)	112(е)	113(ж)	114(з)	115(и)
		125(и)	126(к)	127(а)	128(б)	129(в)	130(г)	121(д)	122(е)	123(ж)	124(з)
		134(з)	135(и)	136к)	137(а)	138(б)	139(в)	140(г)	131(д)	132(е)	133(ж)
		148(ж)	149(з)	150(и)	141(к)	142(а)	143(б)	144(в)	145(г)	146(д)	147(е)
	5	4(а)	5(б)	6(в)	7(г)	8(д)	9(е)	10(ж)	1(з)	2(и)	3(к)
		17(к)	16(а)	15(б)	14(в)	13(г)	12(д)	11(е)	18(ж)	19(з)	20(и)
		26(и)	27(к)	28(а)	29(б)	30(в)	21(г)	22(д)	23(е)	24(ж)	25(з)
		39(е)	37(и)	35(к)	33(а)	31(б)	32(в)	34(г)	36(д)	38(ж)	40(з)
		44(ж)	43(з)	42(и)	41(к)	50(а)	49(б)	48(в)	47(г)	46(д)	45(е)
		55(е)	54(ж)	51(з)	52(и)	53(к)	56(а)	57(б)	58(в)	59(г)	60(д)
		63(д)	61(е)	62(ж)	64(з)	65(и)	66(к)	67(а)	68(б)	69(в)	70(г)
		71(г)	72(д)	73(е)	74(ж)	75(з)	76(и)	77(к)	78(а)	79(б)	80(в)
		83(в)	84(г)	85(д)	86(е)	87(ж)	88(з)	89(и)	90(к)	81(а)	82(б)
		94(б)	95(в)	96(г)	97(д)	98(е)	99(ж)	100(з)	91(и)	92(к)	93(а)
		110(а)	109(б)	108(в)	106(г)	104(д)	102(е)	101(ж)	103(з)	105(и)	107(к)
		116(к)	115(а)	114(б)	113(в)	112(г)	111(д)	117(е)	118(ж)	119(з)	120(и)
		129(и)	130(к)	123(а)	122(б)	121(в)	124(г)	125(д)	126(е)	127(ж)	128(з)
		140(з)	139(и)	138(к)	131(а)	132(б)	133(в)	134(г)	135(д)	136(е)	137(ж)
		145(ж)	143(з)	141(и)	142(к)	144(а)	146(б)	147(в)	148(г)	149(д)	150(е)
Предпоследняя цифра зачетной книжки	**6**	5(а)	6(б)	7(в)	8(г)	9(д)	10(е)	1(ж)	2(з)	3(и)	4(к)
		16(к)	17(а)	18(б)	19(в)	20(г)	11(д)	12(е)	13(ж)	14(з)	15(и)
		27(и)	28(к)	29(а)	30(б)	21(в)	22(г)	23(д)	24(е)	25(ж)	26(з)
		38(е)	39(и)	40(к)	31(а)	32(б)	33(в)	34(г)	35(д)	36(ж)	37(з)
		49(ж)	50(з)	41(и)	42(к)	43(а)	44(б)	45 (в)	46(г)	47(д)	48(е)
		60(е)	51(ж)	52(з)	53(и)	54(к)	55(а)	56(б)	57(в)	58(г)	59(д)
		61(д)	62(е)	63(ж)	64(з)	65(и)	66(к)	67(а)	68(б)	69(в)	70(г)
		79(г)	78(д)	77(е)	76(ж)	75(з)	74(и)	73(к)	72(а)	71(б)	80(в)
		88(в)	87(г)	86(д)	85(е)	84(ж)	83(з)	82(и)	81(к)	90(а)	89(б)
		97(б)	96(в)	95(г)	94(д)	93(е)	92(ж)	91(з)	100(и)	99(к)	98(а)
		110(а)	109(б)	108(в)	107(г)	106(д)	105(е)	104(ж)	103(з)	102(и)	101(к)
		113(к)	112(а)	111(б)	114(в)	115(г)	116(д)	117(е)	118(ж)	119(з)	120(и)
		121(и)	122(к)	123(а)	124(б)	125(в)	126(г)	127(д)	130(е)	129(ж)	128(з)
		135(з)	134(и)	131(к)	132(а)	133(б)	136(в)	137(г)	138(д)	139(е)	140(ж)
		150(ж)	149(з)	148(и)	147(к)	141(а)	142(б)	143(в)	144(г)	145(д)	146(е)

		Последняя цифра зачетной книжки									
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		6(а)	7(б)	8(в)	9(г)	10(д)	1(е)	2(ж)	3(з)	4(и)	5(к)
		15(к)	16(а)	17(б)	18(в)	19(г)	20(д)	11(е)	12(ж)	13(з)	14(и)
		24(и)	25(к)	26(а)	27(б)	28(в)	29(г)	30(д)	21(е)	22(ж)	23(з)
		33(е)	34(и)	35(к)	36(а)	37(б)	38(в)	39(г)	40(д)	31(ж)	32(з)
		42(ж)	43(з)	44(и)	45(к)	46(а)	47(б)	48(в)	49(г)	50(д)	41(е)
		51(е)	52(ж)	53(з)	54(и)	55(к)	56(а)	57(б)	58(в)	59(г)	60(д)
		70(д)	61(е)	62(ж)	63(з)	64(и)	65(к)	66(а)	67(б)	68(в)	69(г)
	7	79(г)	80(д)	71(е)	72(ж)	73(з)	74(и)	75(к)	76(а)	77(б)	78(в)
		88(в)	89(г)	90(д)	81(е)	82(ж)	83(з)	84(и)	85(к)	86(а)	87(б)
		97(б)	98(в)	99(г)	100(д)	91(е)	92(ж)	93(з)	94(и)	95(к)	96(а)
		106(а)	105(б)	104(в)	103(г)	102(д)	101(е)	110(ж)	109(з)	108(и)	107(к)
		119(к)	117(а)	113(б)	112(в)	111(г)	114(д)	115(е)	116(ж)	118(з)	120(и)
		130(и)	129(к)	128(а)	127(б)	125(в)	123(г)	121(д)	122(е)	124(ж)	126(з)
		139(з)	138(и)	136(к)	135(а)	133(б)	131(в)	132(г)	134(д)	137(е)	140(ж)
		146(ж)	144(з)	142(и)	141(к)	143(а)	145(б)	147(в)	148(г)	149(д)	150(е)
		7(а)	8(б)	9(в)	10(г)	1(д)	2(е)	3(ж)	4(з)	5(и)	6(к)
		16(к)	17(а)	18(б)	19(в)	20(г)	11(д)	12(е)	13(ж)	14(з)	15(и)
		25(и)	26(к)	27(а)	28(б)	29(в)	30(г)	21(д)	22(е)	23(ж)	24(з)
		34(е)	35(и)	36(к)	37(а)	37(б)	39(в)	40(г)	31(д)	32(ж)	33(з)
		43(ж)	44(з)	45(и)	46(к)	47(а)	48(б)	49(в)	50(г)	41(д)	42(е)
		52(е)	53(ж)	54(з)	55(и)	56(к)	57(а)	58(б)	59(в)	60(г)	51(д)
		61(д)	62(е)	63(ж)	64(з)	65(и)	66(к)	67(а)	68(б)	69(в)	70(г)
	8	80(г)	71(д)	72(е)	73(ж)	74(з)	75(и)	76(к)	77(а)	78(б)	79(в)
		89(в)	90(г)	81(д)	82(е)	83(ж)	84(з)	85(и)	86(к)	87(а)	88(б)
		98(б)	99(в)	100(г)	91(д)	92(е)	93(ж)	94(з)	95(и)	96(к)	97(а)
		110(а)	109(б)	108(в)	107(г)	101(д)	102(е)	103(ж)	104(з)	105(и)	106(к)
		119(к)	118(а)	120(б)	117(в)	116(г)	111(д)	112(е)	113(ж)	114(з)	115(и)
		127(и)	126(к)	125(а)	124(б)	123(в)	122(г)	121(д)	128(е)	129(ж)	130(з)
		138(з)	137(и)	136(к)	135(а)	134(б)	133(в)	132(г)	131(д)	140(е)	139(ж)
		150(ж)	149(з)	148(и)	147(к)	146(а)	145(б)	144(в)	143(г)	141(д)	142(е)
		8(а)	9(б)	10(в)	1(г)	2(д)	3(е)	4(ж)	5(з)	6(и)	7(к)
		17(к)	18(а)	19(б)	20(в)	11(г)	12(д)	13(е)	14(ж)	15(з)	16(и)
		26(и)	27(к)	28(а)	29(б)	30(в)	21(г)	22(д)	23(е)	24(ж)	25(з)
		35(е)	36(и)	37(к)	38(а)	39(б)	40(в)	31(г)	32(д)	33(ж)	34(з)
		44(ж)	45(з)	46(и)	47(к)	48(а)	49(б)	50(в)	41(г)	42(д)	43(е)
		53(е)	54(ж)	55(з)	56(и)	57(к)	58(а)	59(б)	60(в)	51(г)	52(д)
		62(д)	63(е)	64(ж)	65(з)	66(и)	67(к)	68(а)	69(б)	70(в)	61(г)
	9	71(г)	72(д)	73(е)	74(ж)	75(з)	76(и)	77(к)	78(а)	79(б)	80(в)
		90(в)	81(г)	82(д)	83(е)	84(ж)	85(з)	86(и)	87(к)	88(а)	89(б)
		99(б)	100(в)	91(г)	92(д)	93(е)	94(ж)	95(з)	96(и)	97(к)	98(а)
		108(а)	109(б)	110(в)	101(г)	102(д)	103(е)	104(ж)	105(з)	106(и)	107(к)
		115(к)	114(а)	113(б)	112(в)	111(г)	120(д)	119(е)	118(ж)	117(з)	116(и)
		124(и)	123(к)	122(а)	121(б)	130(в)	129(г)	128(д)	127(е)	126(ж)	125(з)
		133(з)	132(и)	131(к)	140(а)	139(б)	138(в)	137(г)	136(д)	135(е)	134(ж)
		142(ж)	141(з)	150(и)	149(к)	148(а)	147(б)	146(в)	145(г)	144(д)	143(е)

		Последняя цифра зачетной книжки									
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		9(а)	10(б)	1(в)	2(г)	3(д)	4(е)	5(ж)	6(з)	7(и)	8(к)
		18(к)	19(а)	20(б)	11(в)	12(г)	13(д)	14(е)	15(ж)	16(з)	17(и)
		27(и)	28(к)	29(а)	30(б)	21(в)	22(г)	23(д)	24(е)	25(ж)	26(з)
		36(е)	37(и)	38(к)	39(а)	40(б)	31(в)	32(г)	33(д)	34(ж)	35(з)
		45(ж)	46(з)	47(и)	48(к)	49(а)	50(б)	41(в)	42(г)	43(д)	44(е)
		54(е)	55(ж)	56(з)	57(и)	58(к)	59(а)	60(б)	51(в)	52(г)	53(д)
		63(д)	64(е)	65(ж)	66(з)	67(и)	68(к)	69(а)	70(б)	61(в)	62(г)
	0	72(г)	73(д)	74(е)	75(ж)	76(з)	77(и)	78(к)	79(а)	80(б)	71(в)
		81(в)	82(г)	83(д)	84(е)	85(ж)	86(з)	87(и)	88(к)	89(а)	90(б)
		100(б)	91(в)	92(г)	93(д)	94(е)	95(ж)	96(з)	97(и)	98(к)	99(а)
		109(а)	110(б)	101(в)	102(г)	103(д)	104(е)	105(ж)	106(з)	107(и)	108(к)
		118(к)	119(а)	120(б)	111(в)	112(г)	113(д)	114(е)	115(ж)	116(з)	117(и)
		127(и)	128(к)	129(а)	130(б)	121(в)	122(г)	123(д)	124(е)	125(ж)	126(з)
		140(з)	139(и)	138(к)	137(а)	136(б)	131(в)	132(г)	133(д)	134(е)	135(ж)
		147(ж)	146(з)	145(и)	144(к)	143(а)	142(б)	141(в)	148(г)	149(д)	150(е)

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Точка движется по окружности радиусом ***R***. Уравнение движения точки $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где ***A, B, C, D*** –постоянные. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки в момент времени ***t***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
A, рад	2	9	10	12	13	14	7	8	9	10
B, рад/с	0	0	-6	-10	-2,5	2,5	0	-8	-5	-4
C, рад/с^2	0	0,5	5	6	0,2	0	0,1	0,4	0,6	1,2
D, рад/с^3	4	0,2	3	5	0,5	0,4	0,2	0,5	0,3	-0,1
t, с	2	4	2	2	2	5	2	3	4	5
R, м	0,1	1,2	0,2	4	0,5	0,25	0,15	0,25	0,3	1

2. Определить скорость и полное ускорение точки в момент времени ***t***, если она движется по окружности радиусом ***R*** согласно уравнению $\xi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где ***A, B, C, D*** –постоянные; ξ - криволинейная координата, отсчитанная от некоторой точки, принятой за начальную, вдоль окружности.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
A, рад	2	9	10	12	13	14	7	8	9	10
B, рад/с	0	-10	2	-1	-2,5	-20	0	-8	-15	-4
C, рад/с^2	0	0,5	0,5	0,6	0,2	0	0,1	0,4	0,6	1,2
D, рад/с^3	4	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	0,3	-0,1
t, с	2	4	2	2	2	5	2	3	4	5
R, м	1	12	2	4	5	2,5	1,5	2,5	3	1

3. По прямой линии движутся две материальные точки согласно уравнениям $x_1 = A + Bt + Ct^2$ и $x_2 = D + Et + Ft^2$, где ***A, B, C, D, E, F*** – постоянные. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Найти скорость и ускорение этих точек в этот момент времени ***t***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
A, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B, м/с	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
C, м/с^2	-6	5	-4	3	-2	6	3	1	2	3
D, м	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
E, м/с	-5	-4	-3	-2	-1	2	1,5	4	5	6
F, м/с^2	3	6	1	8	2	3	-4	0	-2,5	-2

4. Точка движется по окружности радиусом ***R***. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки a_n, вектор полного ускорения образует в этот момент с вектором нормального ускорения угол ***α***. Найти скорость и тангенциальное ускорение точки.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
R, м	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25
a_n, м/с^2	5	20	4	5	15	20	25	30	40	1,5
α, ^{o}	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30

5. Движение материальной точки в плоскости ***xy*** описывается законом $x = At$, $y = At + ABt^2 + Ct^3$, где ***A, B*** и ***C*** – положительные постоянные. Определите: 1)уравнение траектории материальной точки ***ю***; 2) радиус-вектор $\vec{r}$ точки в зависимости от времени; 3) скорость точки в зависимости от времени; 4) ускорение точки в зависимости от времени; 5) скорость точки в момент времени ***t***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
A, см/с	16	4	10	6	8	2	12	16	2	3
B, *1/с*	4	2	5	8	4	4	6	2	8	10
C, см/с^3	0	2	4	0	3	2	1	3	2	0
t, с	1	2	3	1	2	3	4	1	3	2

6. Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время ***t*** оно изменило частоту вращения от n_1 до n_2. Определите угловое ускорение колеса и число полных оборотов, сделанных колесом за это время.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
t, с	120	180	240	120	180	240	300	360	120	180
n_1, мин$^{-1}$	240	300	300	360	360	300	240	420	300	240
n_2, мин$^{-1}$	60	120	60	120	60	30	120	60	180	120

7. Простейшая машина Атвуда (рис.1), применяемая для изучения равноускоренного движения, представляет собой два груза массами m_1 и m_2, которые подвешены на легкой нити, перекинутой через неподвижный блок. Считая нить и блок невесомыми и перенбрегая трением в оси блока, определите : 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,3	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,25	0,35	0,45	0,8
m_2, кг	0,2	0,2	0,6	0,2	0,25	0,15	0,5	0,55	0,15	0,2

8. На рис. 2 изображена система блоков, к которым подвешены грузы массами m_1 и m_2. Считая, что нить и блоки невесомы, силы трения отсутствуют, определите силу натяжения нити.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,2	0,3	0,4	0,25	0,15	0,1	0,35	0,2	0,15	0,45
m_2, кг	0,5	0,8	0,9	0,7	0,9	0,3	0,8	0,9	0,5	1

9. В установке (рис.3) угол α наклонной плоскости с горизонтом массы тел m_1 и m_2. Считая нить и блок невесомыми, и пренебрегая силами трения, определите ускорение, с которыми будут двигаться тела, если тело массой m_2 опускается.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, г	200	300	400	500	250	350	450	550	150	100
m_2, кг	0,15	0,8	0,3	0,6	0,5	0,2	0,6	0,95	0,5	0,2
α, ^{o}	20	30	45	60	10	20	30	45	50	60

10. На рис. 2 изображена система блоков, к которым подвешены грузы массами m_1 и m_2. Считая, что нить и блоки невесомы, силы трения отсутствуют, определите ускорения, с которыми движутся грузы.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,2	0,3	0,4	0,25	0,15	0,1	0,35	0,2	0,15	0,45
m_2, кг	0,5	0,8	0,9	0,7	0,9	0,3	0,8	0,9	0,5	1

11. Тело ***А*** массой ***М*** находится на горизонтальном столе и соединено нитями посредством блоков с телами В m_1 и С m_2 (рис. 5). Считая нити и блоки невесомыми и пренебрегая силами трения, определить: 1) ускорение, с которыми будут двигаться эти тела; 2) разность сил натяжения нитей.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,35	0,9	0,4	0,9	0,2
m_2, кг	0,3	0,2	0,1	0,6	0,5	0,2	0,6	0,9	0,45	0,4
M, кг	2	3	2	3	0,5	0,25	0,25	2	0,5	0,6

12. В установке (рис. 4), считая нить и блок невесомыми и пренебрегая силами трения, определите ускорение, с которым движутся тела.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,45	0,2	0,1	0,2	0,5	0,9	0,9	0,4	0,9	0,2
m_2, кг	0,5	0,4	0,5	0,6	0,45	0,6	0,6	0,9	0,45	0,4
α, °	30	45	50	30	45	30	25	20	60	0,2
β, °	45	30	20	45	30	20	55	45	20	45

13. Система грузов (рис.6) массами m_1 и m_2 находится в лифте, движущемся вверх с ускорением a. Определите силу натяжения нити, если коэффициент трения груза m_2 о стол μ.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, кг	0,5	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,15	0,3	0,7	0,2
m_2, кг	0,6	0,3	0,4	0,55	0,65	0,2	0,1	0,2	0,6	0,1
μ	0,1	0,2	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,1	0,2
a, м/с^2	4,9	2,5	6,2	1,5	5	3	4	2,2	4	2,8

14. На гладкой горизонтальной поверхности находится доска массой m_2, на которой лежит брусок массой m_1. Коэффициент трения бруска о поверхность μ. К доске приложена горизонтальная сила, зависящая от времени по закону $F = At$, где A – некоторая постоянная. Определите: 1) момент времени t_0, когда доска начнет выскальзывать из-под бруска; 2) ускорение бруска и доски в процессе движения.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, **кг**	1	0,5	1	2	3	1,5	2,5	3,5	0,25	0,5
m_2, **кг**	2	4	3	4	3,5	4	5	6	2	2
f	0,15	0,1	0,15	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,1
A	3	1,5	1,5	3	2	2,5	4,5	5	6	7

15. В подвешенный на нити длинной l деревянный шар массой m_2 попадает горизонтально летящая пуля массой m_1. С какой скоростью летела пуля, если нить с шаром и застрявшей в нем пулей отклонилась от вертикали на угол α °? Размером шара пренебречь. Удар шара считать прямым и центральным.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m_1, **г**	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
m_2, **кг**	1,5	2	3	1,5	2	1	2	3	1	2
l, **м**	1	1,8	1	2	1,2	1,5	2	1,2	1,8	1,1
α, °	30	10	20	30	40	45	10	20	30	40

16. Гиря массой ***m*** падает с высоты ***h*** на подставку, закрепленную на пружину жесткостью ***k***. Определите при этом смещение пружины.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
***m*, кг**	10	5	15	6	7	8	9	10	11	12
h*, *м	0,5	1,5	0,8	0,4	0,5	1	1,1	1,2	0,3	0,4
***K*, Н/см**	30	30	50	20	25	30	35	40	45	10

17. Шар массой m_1, движущийся с некоторой скоростью V_1, столкнулся с неподвижным шаром массы m_2. Шары абсолютно упругие, удар прямой, центральный. Какую долю своей кинетической энергии первый шар передал второму?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m_1, г	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
m_2, г	40	100	90	80	20	30	20	10	20	30

18. Два груза массами m_1 и m_2. подвешены на нитях длиной ***l*** так, что грузы соприкасаются между собой. Меньший груз был отклонен на угол $\alpha°$ и выпушен. На какую высоту поднимутся оба груза после удара? Удар грузов считать неупругим.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m_1, кг	9	10	10	12	8	7	6	5	4	3
m_2, кг	12	14	15	3	3	11	4	9	2	7
l, м	1,5	2	2	2	1,2	1,5	2	2	3	1
$\alpha°$	30	60	30	45	60	30	45	60	30	60

19. Два шара массами m_1 и m_2. подвешены на нитях длиной ***l*** так, что грузы соприкасаются между собой. Больший шар был отклонен на угол $\alpha°$ и выпушен. Считая удар упругим, определите скорость второго шара после удара.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m_1, кг	3	4	5	6	7	2	3	4	5	2
m_2, кг	2	3,5	2	1	4,5	0,5	1,5	3	3,5	0,8
l, м	1	1,5	1,2	1,3	1,4	1	0,9	0,8	0,7	0,6
$\alpha°$	60	30	45	30	60	30	45	60	35	30

20. С вершины идеально гладкой сферы радиусом ***R*** соскальзывает небольшое тело. Определите высоту ***h*** (от вершины сферы), с которой тело со сферы сорвется.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
R	1,20	1,50	1,80	2,00	2,10	0,90	0,60	1,65	0,80	1,00

21. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой ***m*** поднялась на высоту ***h***. Определите жесткость пружины пистолета, если она была сжата на ***l***. Массой пружины пренебречь.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	0,02	0,03	0,025	0,035	0,015	0,01	0,02	0,03	0,015	0,03
h, м	5	4	6	3,5	8	9	10	9,5	7,5	8,5
l, см	10	15	9	8,5	8,7	7	12	15	10	16

22. Определить работу ***A***, которую совершат силы гравитационного поля Земли, если тело массой ***m*** упадет на поверхность Земли: 1) с высоты ***h***, равной радиусу Земли; 2) из бесконечности? Радиус ***R*** Земли и ускорение ***g*** свободного падения на ее поверхности считать известными.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6

23. Некоторое тело массой ***m*** вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где ***A, B, C, D*** –постоянные. Определить действующий на тело момент сил в момент времени ***t***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
тело	шар	диск	*	шар	диск	*	шар	диск	*	шар
A, рад	2	9	10	12	13	14	7	8	9	10
B, рад/с	0	0	-6	-10	-3	2,5	0	-8	-5	-4
C, рад/с^2	0	0,5	5	6	0,2	0	0,1	0,4	0,6	1,2
D, рад/с^3	4	0,2	3	5	0,5	0,4	0,2	0,5	0,3	-0
t, с	2	3	2	2	2	5	2	3	4	5
m, кг	5	4	3	2	6	7	8	5	2	3
R, см	0,10	0,20	0,15	0,20	0,35	0,35	0,30	0,40	0,15	0,40

* – полый цилиндр

24. Вентилятор вращается с частотой $\boldsymbol{n_1}$. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав $\boldsymbol{N}$ оборотов, остановился. Работа сил торможения $\boldsymbol{A}$ известна. Определите: 1) момент сил $\boldsymbol{M}$ торможения; 2) момент инерции $\boldsymbol{J}$ вентилятора.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
n, $мин^{-1}$	600	500	400	300	200	100	800	900	1000	600
N	50	40	60	10	20	5	40	30	70	40
A, Дж	31,4	49	75	25	38	15,6	37	29	46	50

25. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $\boldsymbol{R}$ намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $\boldsymbol{m}$. груз, разматывая нить, опускается с ускорением $\boldsymbol{a}$. Определите: 1) момент инерции; 2) массу вала.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	6,4	5	6	4,7	4,5	5,5	6,5	6,3	6,2	7
R, см	50	50	36	30	50	55	60	20	15	40
a,м/с	2	1	2	4	1	2	2,5	2	4	5

26. Полый тонкостенный цилиндр массой $\boldsymbol{m}$, катящийся без скольжения, ударяется о стену и откатывается от нее. Скорость цилиндра до удара о стену $\boldsymbol{v}$ и $\boldsymbol{v'}$. Определите выделившееся при ударе количество теплоты.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	0,5	0,6	0,4	0,3	0,55	0,65	0,7	0,75	0,8	1
V, м/с	1,4	2,5	3,5	3,3	4,5	2	4	3	3,6	2,6
V′, м/с	1	1,5	1,5	2,3	3,2	1	3	1,6	1,4	1,8

27. Однородный шар радиусом $\boldsymbol{r}$ скатывается без скольжения с вершины сферы радиусом $\boldsymbol{R}$. Определите угловую скорость шара после отрыва от поверхности сферы.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
r, см	20	30	40	25	30	40	15	10	20	25
R, м	0,5	0,7	0,6	0,85	0,4	1,2	0,51	0,8	0,35	0,85

28. Человек стоит на скамье Жуковского и держит в вытянутых руках гири по $\boldsymbol{m}$ кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси вращения скамьи $\boldsymbol{l_1}$. Скамья вращается с частотой $\boldsymbol{n}$. Какую работу произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $\boldsymbol{l_2}$? Суммарный момент инерции человека и скамьи относительно оси вращения $\boldsymbol{J_0}$. Ось вращения проходит через центр масс человека и скамьи.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	10	6	7	8	9	1	11	5	4	3
$\boldsymbol{l_1}$***, м***	0,5	0,8	0,6	0,4	0,45	0,8	0,4	0,7	0,6	0,55
$\boldsymbol{n}$***, с***$^{-1}$	1	0,5	0,7	0,8	0,5	0,8	1	2	3	1,3
$\boldsymbol{l_2}$***, м***	0,20	0,3	0,2	0,1	0,15	0,3	0,1	0,25	0,35	0,15
$\boldsymbol{J_0}$***, кг·м***^{2}	2,50	3,50	3,50	4,60	1,00	1,80	2,40	2,70	2,60	2,50

29. Платформа, имеющая форму сплошного однородного диска массой $\boldsymbol{M}$, может вращаться по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $\boldsymbol{m}$. Определите, как и во сколько раз изменится угловая скорость сращения платформы, если человек перейдет ближе к центру на расстояние, равное $\boldsymbol{1/n}$ радиуса платформы.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	60	65	70	75	80	85	60	65	70	75
M, кг	180	160	170	200	175	220	230	240	230	150
n	2	3	4	1	5	8	2	4	5	8

30. Сплошной цилиндр скатывается с наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\boldsymbol{\alpha}°$. Найти длину наклонной плоскости $\boldsymbol{S}$, если его скорость в конце плоскости равна $\boldsymbol{V}$, а коэффициент трения равен $\boldsymbol{\mu}$.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{\alpha}°$	22	29	30	45	18	30	60	17	14	35
$\boldsymbol{V}$, м/с	7	4	6	3	2	5	7	9	2,5	8
$\boldsymbol{\mu}$	0,2	0,15	0,3	0,25	0,2	0,35	0,4	0,1	0,2	0,25

31.Определить, сколько киломолей и молекул газа содержится в объеме ***V*** под давлением ***p*** при температуре ***T***. Какова плотность и удельный объем газа?

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V, л	50	40	30	20	60	25	35	45	55	65
p, мм.рт.ст	765	786	790	779	755	756	800	732	880	765
T, °C	18	25	20	8	30	45	13	10	12	15
газ	водород	гелий	азот	кислород	углекис-лый газ	водород	гелий	азот	кислород	углекис-лый газ

32.В закрытом сосуде при температуре ***T*** и давлении ***p*** находятся газ 1 массой m_1 и газ 2 массой m_2. Считая газы идеальными, определить удельный объем смеси.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
T, К	300	320	330	350	360	380	400	290	310	325
p, МПа	0,1	0,15	0,2	0,12	0,13	0,14	0,17	0,18	0,19	0,13
m_1, ***г***	10	20	8	24	26	4	45	32	20	15
m_2, ***г***	16	20	30	15	8	30	24	22	32	49
газ 1	H_2	He	NO	CO_2	H_2	N_2	N_2	NO_2	O_2	H_2
газ 2	He	O_2	He	H_2	CO	CO_2	NO	CO	NO_2	O_2

33.В баллоне объемом V находится газ под давлением p при температуре T_1. после того, как из баллона было взято m граммов газа, температура в баллоне понизилась до T_2. определить давление газа, оставшегося в баллоне.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V, л	10	8	7	9	11	6	12	4	7,5	8,5
p, МПа	1	1,1	4?5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
m, г	10	15	20	12	23	30	40	35	45	55
T_1, ***°C***	300	310	350	340	330	400	330	420	410	320
T_2, ***°C***	290	280	310	280	220	320	290	330	350	280
вещество	O_2	Ar	H_2	N_2	CO_2	NH_3	He	Cl_2	H_2O	Воздух

34.В резервуаре объемом V находится смесь газов 1 и 2 при температуре T. определите давление и молярную массу смеси газов.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
Газ 1	O_2	Ar	H_2	N_2	CO_2	NH_3	He	Cl_2	H_2O	Воздух
m_1, ***г***	1,5	7,7	7	9	1,1	6	12	4	7,5	8
газ 2	Воздух	He	Cl_2	H_2O	O_2	H_2	Ar	N_2	Cl_2	CO_2
m_2, ***г***	1	1,5	4,5	1,3	1,4	2	3	2,5	3,5	0,9
V, л	3	8	5	8,3	6	7,5	4,5	7	7,5	3,5
T, °C	68	93	74	42	52	45	13	35	49	60

35.В сосуде емкостью V находится воздух при нормальном давлении и температуре. В сосуд вводят m грамм воды и закрывают крышкой. Определите давление в сосуде при Т, если вся вода при этой температуре превращается в пар.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m*, *г	2,5	3	3,5	3,6	4	5	5,5	6	1,5	7
V*, *л	3	8	5	8,3	6	7,5	4,5	7	7,5	3,5
T_1, ^oC	300	320	340	350	360	370	290	310	330	345
T_2, ^oC	400	420	450	430	460	480	510	530	470	500

36.Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за время 1 с, происходящих между всеми молекулами газа, находящегося в сосуде емкостью ***V*** при температуре *T* и давлении ***p***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V*, *л	2	3	4	5	6	7	4,5	2,5	3,5	4,5
p*, *кПа	100	93	74	42	52	45	13	35	49	60
$d \cdot 10^{10}$, *м*	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
газ	водород	кислород	азот	водород	кислород	азот	водород	кислород	азот	водород
Т, °С	27	35	42	40	50	60	65	35	75	48

37.Определить плотность разряженного газа, если средняя длина свободного пробега молекул равна $\langle \lambda \rangle$. Какова концентрация молекул?

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\langle \lambda \rangle$, *см*	10	12	15	20	8	7	14	13	16	21
$d \cdot 10^{10}$, *м*	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3	2,9	3,1	2,3
газ	водород	кислород	азот	водород	кислород	азот	водород	кислород	азот	водород

38.Вычислить коэффициент диффузии газа, находящегося при давлении ***p*** и температуре ***T***.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$d \cdot 10^{10}$***, м***	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ
T, °C	17	7	35	44	45	15	20	60	12	8
p, МПа	0,2	0,2	1	0,15	0,35	0,3	0,25	0,4	0,55	0,45

39.Найти плотность газа, если молекула за время 1 с испытывает $\langle z \rangle$ столкновений при температуре ***T***. Какова средняя длина свободного пробега молекул?

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$d \cdot 10^{10}$***, м***	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ
T, °C	12	15	7	28	25	10	35	50	40	55
$\langle z \rangle$***, с***$^{-1}$	2,05	2	2,1	2,5	2,6	3	5	7	8	9

40.Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за время 1 с, происходящих между всеми молекулами газа, находящегося в сосуде емкостью ***V*** при нормальных условиях.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$d \cdot 10^{10}$***, м***	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ
V, л	12	15	7	28	25	10	35	50	40	55

41.Определить во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости газа 1 и газа 2, если оба газа находятся при одинаковых температуре и давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов известны.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$d_1 \cdot 10^{10}$, м	2,3	2,9	3,1	1,9	3,5	4	3,1	1,9	3,5	4
$d_2 \cdot 10^{10}$, м	2,9	3,1	1,9	3,5	2,3	3,1	2,3	4	1,9	2,3
газ 1	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ
газ 2	кислород	азот	гелий	аргон	водород	азот	водород	углекислый газ	гелий	водород

42.Газ массой m_1 расширяется в результате изобарного процесса при давлении p. Определить: 1) работу расширения; 2)конечный объем газа, если на расширение затрачена теплота Q, а начальная температура газа равна T.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
p, МПа	1,65	1	0,95	1,12	0,4	0,7	0,5	0,85	1,35	0,15
m, г	280	180	200	220	230	240	250	170	270	300
Q, кДж	5	7	4,5	3	4	8	6,5	4,5	5,5	9
T, ºC	290	280	270	250	220	300	320	350	340	275
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ

43.Идеальный n атомный газ (ν молей), занимающий объем V_1 и находящийся под давлением p_1, подвергают изохорному нагреванию до T_2. После этого газ подвергли изотермическому расширению до начального давления, а затем он в результате изобарного сжатия возвращен в первоначальное состояние. Построить график цикла и определить термодинамический КПД цикла.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ν,молей	3	2	5	4	6	7	3	1,5	2,5	3,5
V_1, л	5	1	4	6	8,5	2,5	4,5	3	2,5	3
p_1, МПа	1	7	2	3	4	2	1,75	1,2	4	3,5
T_2, ºC	500	600	400	750	780	800	650	850	550	740
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ

44.Газ массой $\boldsymbol{m}$ нагревают при постоянном давлении от $\boldsymbol{T_1}$ до $\boldsymbol{T_2}$. Определите количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, г	100	160	110	120	140	130	150	155	125	165
$\boldsymbol{T_1}$, **^oC**	300	320	270	280	290	350	310	315	330	340
$\boldsymbol{T_2}$, **^oC**	310	340	286	340	370	355	350	325	370	390
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ

45.В цилиндре под поршнем находится газ, который имеет массу $\boldsymbol{m}$ и начальную температуру $\boldsymbol{T}$. Газ сначала расширили адиабатически, увеличив свой объем в $\boldsymbol{n_1}$ раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в $\boldsymbol{n_2}$ раз. Найти температуру в конце адиабатического расширения и работу, совершенную газом. Изобразить процесс графически.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, г	200	160	110	120	140	130	150	155	125	165
$\boldsymbol{n_1}$	5	4	3	2	6	7	9	8	5	4
$\boldsymbol{n_2}$	3	4	2	2	6	4	9	8	5	4
T, ^oC	27	25	24	23	20	15	28	29	30	32
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ

46.Газ массой $\boldsymbol{m}$ занимает объем $\boldsymbol{V_1}$ и находится под давлением $\boldsymbol{p_1}$. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема $\boldsymbol{V_2}$, а затем при постоянном объеме до давления $\boldsymbol{p_2}$. Найти изменение внетренней энергии газа, совершенную им работу $\boldsymbol{A}$ и количество теплоты $\boldsymbol{Q}$, переданное газу. Построить график процесса.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	2	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
$\boldsymbol{V_1}$, ***$м^3$***	1	2	1,5	2,5	3	1,5	1	2,5	3,5	4
$\boldsymbol{p_1}$, ***МПа***	0,2	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7
$\boldsymbol{V_2}$, ***$м^3$***	3	5	6	7	8	9	4,5	5,5	6,5	7
$\boldsymbol{p_3}$, ***МПа***	0,5	0,6	0,7	0,8	0,75	0,65	0,9	1	0,9	1,2
газ	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	азот	аргон	водород	гелий

47.Газ массой m совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в n раз, а при последующем адиабатическом расширении совершается работа A. Определить работу, совершенную за цикл.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m, кг	2	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
n	3	5	6	7	8	9	2	4	6	8
А, Дж	3550	5000	4000	6000	7000	2500	3500	4500	6100	7100
газ	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	азот	аргон	водород	гелий

48.Тепловая машина работает по циклу Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в n_1 раз, а при последующем адиабатическом расширении – в n_2 раз. Определить КПД цикла. Какую работу совершает ν кмоль газа за один цикл, если температура нагревателя T? Какое количество теплоты получит от холодильника машина, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении, и какое количество теплоты будет передано нагревателю?

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ν, кмоль	1	3	4	2,5	1,5	1	2	3,5	4	2,5
n_1	3	2	3	4	5	2,5	3,5	4	6	8
n_2	5	4	5	2	8	7	5	2,85	7	5
Т, °С	300	320	340	350	360	380	400	520	420	600
газ	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	азот	аргон	водород	гелий

49.Газ, находящийся при давлении p_1 и температуре T_1, подвергли сначала адиабатному расширению об объема V_1 до объема V_2, а затем изобарному расширению, в результате которого объем газа увеличился от объема V_2 до объема V_3. определить для каждого из этих процессов: 1) работу, совершенную газом; 2) изменение его внутренней энергии; 3) количество подведенной к газу теплоты.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
газ	азот	аргон	водород	гелий	кислород	углекислый газ	азот	аргон	водород	гелий
p_1, *МПа*	0,5	0,4	0,25	0,3	0,35	0,55	0,6	0,7	0,15	0,2
T_1, *°С*	350	290	300	320	370	380	400	410	420	450
V_1, *л*	1	2	3,5	2,5	3	4	4,5	5	6,5	1,5
V_2, *л*	2	3	4	5	6	5,5	7	8,5	8	3
V_3, *л*	3	4,5	6	5,5	7	8	9	10	9,5	5

50.Определите удельные теплоемкости c_V и c_p смеси газа 1 массой m_1 и газа 2 массой m_2.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
газ1	He	NO	CO_2	H_2	N_2	CO	NO_2	O_2	Ar	H_2
газ2	CO_2	H_2	Ar	He	O_2	CO_2	CO_2	H_2	He	CO_2
m_1, г	0,5	3	4	5	6	7	8	9	2,5	4
m_2, г	2,5	1,5	5	3,5	1,5	9	4	5	0,5	3

51.Струя водяного пара при температуре 100 °С, направленная на глыбу льда, масса которой m и температура T_1, растопила ее и нагрела получившуюся воду до температуры T_2. Найти изменение энтропии при описанных процессах.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
m, кг	5	3	4	5	2,5	3,5	6	7	4,5	6,2
T_1, °С	-10	-8	-7	-11	-12	-13	-14	-20	-18	-19
T_2, °С	50	30	45	60	70	75	65	40	35	55

52.Теплоизолированнный сосуд, разделенный на две неравные части V_1 и V_2, наполнен идеальным газом. В первой части газ находится под давлением p_1, при температуре T_1, во второй части – под давление p_2 и при той же температуре. Найти изменение энтропии всей системы после удаления перегородки и установления равновесного состояния.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
p_1, МПа	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,05	0,4	0,45	0,5
P_2, МПа	0,5	0,45	0,6	0,55	0,7	0,65	0,4	0,85	0,75	0,9
T_1, °С	27	28	25	22	23	24	20	21	19	18
V_1, л	2	2,5	3	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
V_2, л	3	1	5,6	7	2,5	3	4	5	2	1,5

53.При нагревании идеального газа (ν моль) его термодинамическая температура увеличилась в n раз. Определите изменение энтропии, если нагревание происходит: 1) изохорно; 2) изобарно.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
ν, моль	2	3	4	2,5	5	6	7	8	4,5	6,5
n	2	3	2	4	4,5	5	1,5	2,5	4,25	2
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	азот	гелий	аргон	углекислый газ

54.В сосуде емкостью V находится водяной пар массой ***m*** при температуре ***T***. Вычислить давление пара на стенки сосуда. Какую часть объема составляет собственный объем молекул пара? Какую часть давления составляет внутреннее давление?

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V, л	10	8	7	6	9	10	12	13	14	15
М, г	360	200	250	150	210	160	220	170	190	350
Т, ºС	470	500	450	420	560	490	540	460	520	430
$a\cdot10^3$, $Н\cdot м^4/моль^2$	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
$b\cdot10^5$, $м^3/моль$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

55.Определите эффект Джоуля-Томсона при дросселировании газа, для которого силами притяжения молекул можно пренебречь.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
p_1, МПа	2	3	2	4	4,5	5	1,5	2,5	2	2
p_2, кПа	3	2	4	5	6	7	2	1,5	6	1,5
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	оксид азота	гелий	оксид углерода	диоксид азота

56.Определите эффект Джоуля-Томсона при дросселировании газа, для которого можно пренебречь собственным объемом молекул.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V_1, л	2	3	2	4	0,5	5	1,5	2,5	2	0,2
V_2, $м^3$	35	22	45	50	60	75	25	150	60	15
газ	водород	кислород	азот	гелий	аргон	углекислый газ	оксид азота	гелий	оксид углерода	диоксид азота

57.В сосуде под давлением р содержится газ, плотность которого ρ. Считая газ реальным, определите его температуру и сравнить ее с температурой идеального газа при тех же условиях.

Вариант	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
р, МПа	8	3,5	11	12	9	7	6	5	4	10
газ	O_2	Ar	H_2	N_2	CO_2	NH_3	He	Cl_2	H_2O	Воздух
Р, $кг/м^3$	100	120	30	130	290	126	10	170	160	140

58.Используя функцию распределения молекул идеального газа по энергиям $f(\varepsilon)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}(kT)^{-3/2}\varepsilon^{1/2}e^{-\varepsilon/(kT)}$, найти наиболее вероятное значение энергии молекул при температуре T.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T*, °*C	220	200	250	420	525	845	950	400	300	260

59.Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекулярном пучке имеет вид $f(v)=Av^3e^{-m_0v^2/(2kT)}$. Определите наиболее вероятную скорость молекул при температуре T.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T*, °*C	220	360	250	420	510	810	950	400	300	200

60.Закон распределения молекул газа по скоростям в некотором молекулярном пучке имеет вид $f(v)=Av^2e^{-m_0v^2/(2kT)}$. Определите наиболее вероятную скорость молекул при температуре T.

Вариант	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T*, °*C	540	320	610	725	845	635	250	420	290	345

61.В вершинах квадрата со стороной a находятся заряды Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 . Определите напряженность потенциал электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
Q_1, нКл	-4	+2	-3	+4	-2	-4	+2	-3	+4	-2
Q_2, нКл	-4	-3	+4	+2	-2	+2	+1	+2	-3	+2
Q_3, нКл	-4	-3	-1	+1	-4	+2	-4	+5	-2	-5
Q_4, нКл	+4	+3	+2	+4	-3	+2	+3	+2	+4	-3
a, см	10	15	20	25	30	12	18	22	28	32

62.Два заряда Q_1, Q_2 находятся в некоторой среде на расстоянии r друг от друга. Определить напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии a от середины линии, соединяющей два заряда.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
Q_1, нКл	-4	-3	-1	+1	-4	+2	-4	+5	-2	-5
Q_2, нКл	+4	+3	+2	+4	-3	+2	+3	+2	+4	-3
a, см	10	15	20	25	30	12	18	22	28	32
r, см	12	10	18	30	22	15	28	20	32	25

63.Расстояние между двумя точечными зарядами, расположенными в вакууме, равно l. Определите напряженность поля в точке А, удаленной от первого заряда на расстояние r_1 и от второго на r_2.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
Q_1, нКл	-4	+2	-3	+4	-2	-4	+2	-3	+4	-2
Q_2, нКл	-4	-3	+4	+2	-2	+2	+1	+2	-3	+2
l, см	12	10	18	30	22	15	28	20	32	25
r_1, см	8	5	15	20	17	12	15	15	20	17
r_2, см	7	8	10	10	9	6	15	10	17	9

64.На изолирующей нити подвешен маленький шарик массой m, имеющий заряд Q_1. К нему снизу подносят на расстояние r другой заряженный маленький шарик, и при этом сила натяжения нити уменьшится в n раз. Чему равен заряд другого шарика? Среда – воздух.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m, г	2	1	5	3	4	6	9	7	8	10
Q_1, нКл	-4	-3	+4	+2	-2	+2	+1	+2	-3	+2
r, см	32	25	22	15	28	12	10	18	30	20

65.Два одинаковых маленьких шарика подвешены на невесомых нитях длиной l каждая в одной точке. Когда им сообщили одинаковые заряды Q, шарики разошлись на угол α. Найти силу натяжения каждой нити, если между шариками находится некоторая среда.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
Q, нКл	+2	-3	+4	-2	-3	+4	+2	-2	+2	-4
l, см	15	22	18	30	25	12	10	28	32	20
α, °	30	40	50	60	70	20	50	30	10	40
ε	2,7	81	2,0	26	6	7,8	2,0	3,5	2,3	7,5

66.Определите плотность тока в проволоке длиной $\boldsymbol{l}$, если разность потенциалов на ее концах равно $(\varphi_1 - \varphi_2)$. Удельное сопротивление равно ρ .

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
l, м	140	100	210	120	190	110	90	160	190	170
$(\varphi_1 - \varphi_2)$, В	10	15	25	8	30	35	12	40	50	90
ρ, нОм·м	25	17	50	90	20	16	190	15	25	17

67.Источник ЭДС вначале замыкают на резистор сопротивлением R_1, а затем – на резистор сопротивлением R_2, при этом в обоих случаях выделяется одинаковое количество теплоты. Определите внутреннее сопротивление r источника ЭДС.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
R_1, Ом	100	230	150	170	210	80	160	200	90	140
R_2, Ом	210	80	160	90	140	170	100	230	150	210

68.Определите разность потенциалов на обкладках конденсатора в схеме, приведенной на рис.7. ЭДС источника ε , внутренним сопротивление источника пренебречь.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ε, В	10	15	20	25	30	12	14	16	18	22
R_1, Ом	10	20	30	40	50	15	25	35	45	55
R_2, Ом	15	25	35	40	50	10	20	30	45	55
R_3, Ом	15	30	55	50	25	40	45	20	35	10
R_4, Ом	15	25	35	45	55	10	20	30	40	50
R_5, Ом	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10

69.Участок цепи состоит из трех последовательно соединенных проводников, подключенных к источнику напряжения U. Найти силу тока на этих проводниках, сопротивление неизвестного проводника и неизвестные напряжения на проводниках.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
U, В	50	60	70	80	90	100	40	80	60	50
R_1, Ом	10	20	?	40	50	15	?	35	45	55
R_2, Ом	15	?	35	?	50	?	20	?	45	?
R_3, Ом	?	30	55	50	?	40	45	20	?	10
U_1, В	?	?	10	?	?	?	30	?	?	?
U_2, В	?	15	?	12	?	25	?	24	?	12
U_3, В	20	?	?	?	18	?	?	?	32	?

70.Батарея состоит из N последовательно соединенных элементов. ЭДС каждого ε, внутреннее сопротивление r. При каком токе полезная мощность батареи равна P? Определить наибольшую полезную мощность батареи.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
N	5	4	3	2	6	7	9	5	3	8
ε, В	1,2	1,4	1,5	1,3	1,6	1,7	1,8	1,6	1,2	1,9
r, Ом	0,2	0,8	0,3	0,1	0,6	0,2	0,7	0,9	0,6	0,3
P, Вт	10	12	5	6	8	14	15	7	9	3

71.Определите силу токов, протекающих через сопротивления и через источники. Внутреннее сопротивление источников не учитывать. Рис. 8

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
ε_1, В	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
ε_2, В	20	40	10	50	30	10	20	50	30	40
ε_3, В	40	30	20	10	20	50	40	20	10	25
R_1, Ом	20	30	40	15	25	35	45	10	20	30
R_2, Ом	20	10	20	30	30	40	15	25	35	45
R_3, Ом	20	15	35	25	10	5	40	30	10	20

72.Определите силу токов, протекающих через сопротивления и через источники. Внутреннее сопротивление источников не учитывать. Рис. 9

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
ε_1, В	20	40	10	50	30	10	20	50	30	40
ε_2, В	40	30	20	10	20	50	40	20	10	25
R_1, Ом	20	30	40	15	25	35	45	10	20	30
R_2, Ом	20	10	20	30	30	40	15	25	35	45
R_3, Ом	20	15	35	25	10	5	40	30	10	20
R_4, Ом	20	30	40	15	25	35	45	10	20	30

73.Определите силу токов, протекающих через сопротивления и через источники. Внутреннее сопротивление источников не учитывать. Рис. 10

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
ε_1, В	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
ε_2, В	20	40	10	50	30	10	20	50	30	40
ε_3, В	40	30	20	10	20	50	40	20	10	25
R_1, Ом	20	30	40	15	25	35	45	10	20	30
R_2, Ом	20	10	20	30	30	40	15	25	35	45
R_3, Ом	20	15	35	25	10	5	40	30	10	20

74.Падение напряжения на сопротивлении R_i равно U_i. Пренебрегая внутренним сопротивлением элементов, определите: 1) силу тока во всех участках цепи; 2) неизвестное сопротивление. Рис. 10

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ε_1, В	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40
ε_2, В	20	40	10	50	30	10	20	50	30	40
ε_3, В	40	30	20	10	20	50	40	20	10	25
R_1, Ом	10	20	?	40	50	15	?	35	45	55
R_2, Ом	15	?	35	?	50	?	20	?	45	?
R_3, Ом	?	30	55	50	?	40	45	20	?	10
U_1, В	–	15	–	12	–	–	–	24	–	–
U_2, В	20	–	–	–	18	–	–	–	32	–
U_3, В	–	–	10	–	–	25	30	–	–	12

75.Протон в магнитном поле индукцией B описывает окружность радиусом R. Найти импульс протона и его кинетическую энергию.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
B, мТл	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
R, см	30	20	15	28	16	19	21	25	27	32

76.Найти магнитную индукцию и напряженность магнитного поля в точке (рис. 11)

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
I, А	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
a, см	15	8	14	6	10	5	20	12	16	10

77.Найти магнитную индукцию и напряженность магнитного поля в точке (рис. 12)

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
I, А	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
R, см	15	8	14	6	10	5	20	12	16	10

78.Электрон, ускоренный разностью потенциалов U, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии r от него. Определите силу, действующую на электрон, если через проводник пропустить ток I.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
U, кВ	0,5	0,2	0,4	0,1	0,6	0,2	0,1	0,3	0,6	0,5
r, см	1	0,5	2	2,5	0,9	1,2	2,3	3	3,5	4
I, А	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

79.Протон, ускоренный разностью потенциалов ***U***, влетая в однородное магнитное поле с магнитной индукцией ***B***, движется по окружности. Определите радиус этой окружности.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
U, кВ	0,5	0,2	0,4	0,1	0,6	0,2	0,1	0,3	0,6	0,5
B, мТл	2	5	3	4	6	2	8	4	7	3

80.Протон, обладая скоростью ***V***, влетает в однородное магнитное поле под углом ***α*** к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряженность магнитного поля ***H***. Определите радиус витка спирали.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
V, Мм/с	5	3	2,6	3,5	1,4	1	1,5	2	2,3	1,6
α,°	60	15	25	35	45	10	20	30	40	50
H, кА/м	2,4	3,1	2,6	2,8	2,5	2	1,3	1,5	1,6	3

81.Круглая рамка с током, площадью ***S***, закреплена параллельно магнитному полю ***B*** и на нее действует вращающий момент ***M***. Определите силу тока, текущего по рамке.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
S, см^2	20	15	14	25	27	32	6	18	10	28
B, мТл	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
M, мН·м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

82.Прямоугольная рамка со сторонами ***a*** и ***b*** расположена в одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током ***I*** так, что сторона ***a*** рамки параллельна проводу. Сила тока в рамке I_1. Определите силы, действующие на каждую из сторон рамки, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии ***c***, а ток в ней сонаправлен току ***I.***

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
a, см	40	20	30	50	10	40	20	30	50	10
b, см	30	40	20	10	50	30	40	20	10	50
c, см	10	5	15	8	25	10	5	15	8	25
I, А	4	5	8	6	7	9	2	8	3	1
I_1, А	1	2	4	3	2	5	0,5	4	1	0,2

83.Между пластинами плоского конденсатора, находящегося в вакууме, создано однородное магнитное поле напряженностью ***H***. Электрон движется в конденсаторе параллельно пластинам конденсатора и перпендикулярно направлению магнитного поля со скоростью ***V***. Определите напряжение ***U***, приложенное к конденсатору, если расстояние между его пластинами составляет ***d***.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
H, кА/м	2	3	6	5	8	4	1	2	4	9
V, Мм/с	3	5	6	4	1	2	7	3	7	6
d, см	4	1,5	2	2,5	3,2	5	1,8	2,1	10	3

84.Через сечение пластинки (плотность ***ρ***) толщиной ***d*** пропускает ток ***I***. Пластинка с током помещается в магнитное поле с индукцией ***B***, перпендикулярное направлению тока и ребру пластинки. Определите возникающую в пластинке поперечную (холовскою) разность потенциалов, если концентрация ***n*** свободных электронов равна ***n'*** атомов проводника.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
M, г/моль	27	56	197	59	63,5	27	56	197	59	63,5
ρ, г/см^3	2,7	7,8	19,3	8,9	8,9	2,7	7,8	19,3	8,9	8,9
d, мм	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,35	0,15	0,1	0,2	0,25
I, А	5	4	3	6	7	8	9	2,5	10	5,5
B, Тл	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	0,2	0,3	0,1	0,5

85.В однородном магнитном поле с индукцией ***B*** в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции, расположено тонкое проволочное кольцо длиной ***l***, по которому течет ток ***I***. Определите результирующую силу, действующую на полукольцо.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
l, м	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,35	0,15	0,1	0,2	0,25
I, А	5	4	3	6	7	8	9	2,5	10	5,5
B, мТл	1	3	4	2	6	5	7	9	5	3

86.На железном сердечнике в виде тора со средним диаметром ***d*** намотана обмотка с общим числом витков ***N***. В сердечнике сделана узкая поперечная прорезь шириной ***b***. При силе тока через обмотку ***I*** магнитная индукция в прорези $\boldsymbol{B_0}$. пренебрегая рассеянием поля на краях прорези, определите магнитную проницаемость железа при данных условиях.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
d, см	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,35	0,15	0,1	0,2	0,25
N	200	650	500	350	400	600	550	250	150	300
b, мм	1,5	2	2,5	1	0,8	1,2	1,4	2,2	2,5	2,8
I, А	5	4	3	6	7	8	9	2,5	10	5,5
$\boldsymbol{B_0}$, Тл	2,5	1,4	2,6	1,7	1,8	1,9	2,2	2,3	2,1	2,5

87.Соленоид без сердечника длиной $\boldsymbol{l}$ и диаметром $\boldsymbol{D}$ содержит $\boldsymbol{N}$ витков. Определите среднюю ЭДС самоиндукции в соленоиде, если за время $\Delta \boldsymbol{t}$ сила тока в нем изменяется от $\boldsymbol{I_1}$ до $\boldsymbol{I_2}$.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\boldsymbol{l}$, м	27	56	197	59	63,5	27	56	197	59	63,5
$\boldsymbol{D}$, см	8	9	2,5	10	5,5	5	4	3	6	7
$\boldsymbol{N}$	200	650	500	350	400	600	550	250	150	300
$\Delta \boldsymbol{t}$, с	8	9	2,5	10	5,5	5	4	3	6	7
$\boldsymbol{I_1}$, А	5	4	3	0	7	8	9	2,5	10	5,5
$\boldsymbol{I_2}$, А	7	8	10	5,5	5	4	2,5	9	3	0

88.Колебательный контур содержит плоский конденсатор площадью платин $\boldsymbol{S}$, расстояние между которыми $\boldsymbol{d}$, и катушку индуктивностью $\boldsymbol{L}$. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите диэлектрическую проницаемость $\boldsymbol{\varepsilon}$ диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами конденсатора, если контур резонирует на волну длиной $\boldsymbol{\lambda}$. Что это за вещество?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\boldsymbol{S}$, см^2	150	100	350	400	250	150	100	350	150	250
$\boldsymbol{d}$, мм	1,5	2	3,5	4	2,5	8	6,5	8	15	9
$\boldsymbol{L}$, мГн	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,35	0,15	0,1	0,2	0,25
$\boldsymbol{\lambda}$, м	250,6	495,0	406,1	425,0	840,7	732,1	208,6	192,6	713,4	147,7

89.Длина электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна $\boldsymbol{\lambda}$. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите максимальную силу тока в контуре, если максимальный заряд на обкладках конденсатора равен $\boldsymbol{Q_m}$.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\boldsymbol{\lambda}$, м	27	56	19	59	63	27	56	17	59	63
$\boldsymbol{Q_m}$, нКл	15	10	35	40	25	15	10	35	15	25

90.В колебательном контуре, содержащим конденсатор емкостью $\boldsymbol{C}$, катушку индуктивностью $\boldsymbol{L}$ и резистор сопротивлением $\boldsymbol{R}$, поддерживаются незатухающие гармонические колебания. Определите амплитудное значение напряжения на конденсаторе, если средняя мощность, потребляемая колебательным контуром, составляет $\boldsymbol{P}$.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\boldsymbol{C}$, нФ	5,3	2,6	1,8	3,7	3	2	1,5	5	3,2	4
$\boldsymbol{L}$, мкГн	3	4	1	8	10	8	6	7	9	2
$\boldsymbol{R}$, Ом	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,35	0,15	0,1	0,2	0,25
$\boldsymbol{P}$, мВт	5	4	3	6	7	8	9	2,5	10	5,5

91.Луч света падает на плоскую границу раздела двух сред под углом $\boldsymbol{i_1}$. Показатель преломления первой среды $\boldsymbol{n_1}$. Определите показатель преломления второй среды $\boldsymbol{n_2}$, если отраженный и преломленный лучи перпендикулярны друг другу.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{i_1}$, °	25	20	30	35	55	40	60	45	15	50
$\boldsymbol{n_1}$	1,50	1,33	1,47	1,63	1,46	1,50	2,42	1,33	1,47	2,42

92.Луч света падает на плоскопараллельную пластинку $\boldsymbol{n}$ под углом $\boldsymbol{\alpha}$. Определите толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещен относительно падающего луча на $\boldsymbol{d}$ (рис.13).

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{n_1}$	1,5	1,46	2,42	1,5	1,46	2,42	1,5	1,46	2,42	1,46
$\boldsymbol{\alpha}$, °	10	15	20	25	30	45	40	35	22	18
$\boldsymbol{d}$, см	1,5	1,0	1,2	2,0	2,5	2,2	3,0	3,2	1,4	2,3

93.Определите глубину, на которой кажется расположенной монета, лежащая на дне бассейна глубиной $\boldsymbol{h}$, если угол между лучом зрения и вертикалью составляет $\boldsymbol{\varphi}$. Показатель преломления воды $\boldsymbol{n}$ = 1,33. (рис.14).

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{h}$, м	80	100	120	150	160	60	50	70	90	110
$\boldsymbol{\varphi_1}$, °	30	40	45	50	60	20	15	25	35	45

94.На расстоянии $\boldsymbol{a}$ от двояковыпуклой тонкой линзы с оптической силой $\boldsymbol{\Phi}$ перпендикулярно к главной оптической оси находится предмет высотой $\boldsymbol{h}$. Определите: 1) расстояние $\boldsymbol{b}$ от изображения до линзы; 2) высоту $\boldsymbol{H}$ изображения. Среды по обе стороны линзы одинаковые.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{a}$, см	7	5,5	6	5	8	7,5	4	6,5	3	9
$\boldsymbol{\Phi}$, дптр	25	20	18	30	28	32	22	25	20	18
$\boldsymbol{h}$, см	4	5	6	7	8	5,5	3	6,5	9	4,5

95.Расстояние от предмета до переднего фокуса собирающей линзы $\boldsymbol{l}_1$, а расстояние от ее заднего фокуса до изображения $\boldsymbol{l}_2$. Чему равно фокусное расстояние линзы $\boldsymbol{F}$ и ее линейное увеличение $\boldsymbol{\Gamma}$?

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$\boldsymbol{l}_1$, см	1	2	3	9	10	8	6	7	5	4
$\boldsymbol{l}_2$, м	0,9	0,30	0,35	0,40	0,20	0,45	0,10	0,50	0,15	0,60

96.В центре квадратной комнаты площадью S висит светильник. Считая светильник точечным источником света, определите высоту h от пола, на которой должен висеть светильник, чтобы освещенность в углах комнаты была максимальной (рис.15).

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
S, м^2	16	9	25	20	18	22	10	12	14	24

97.На пути параллельного пучка монохроматического света λ находится круглый диск диаметром d. Наблюдение проводится в точке, лежащей на линии, соединяющей точку с центром диска, и отстоящей от экрана на расстоянии l. Определите ширину зоны Френеля, непосредственно прилегающей к экрану (рис.16).

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, нм	550	700	450	600	500	400	650	750	380	520
d, мм	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
l, м	1	1,5	3	2	2,5	3,5	0,8	1,2	2,2	3,2

98.Определите длину волны монохроматического света, нормально падающего на узкую щель шириной a, если направление света на m дифракционный максимум (по отношению к первоначальному направлению света) составляет α (рис.17).

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
a, мм	0,05	0,03	0,04	0,02	0,06	0,015	0,025	0,07	0,01	0,035
m	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
α, °	2	1,5	1	2	3	2,5	1	4	3	1

99.Наибольший порядок спектра, получаемый с помощью дифракционной решетки, равен m. Определите постоянную дифракционной решетки, если известно, что монохроматический свет λ падает на нее нормально.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m	5	4	6	7	8	9	10	3	12	11
λ, нм	380	450	480	500	560	590	620	760	400	600

100. Дифракционная решетка длиной l может разрешить в спектре первого порядка две спектральные линии натрия (λ_1 = 589,0 нм и λ_2 = 589,6 нм). Определите, под каким углом в спектре m порядка будет наблюдаться свет с λ_3, падающий на решетку нормально.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
l, мм	5	6	7	8	4	3	8	6	5	4
m	2	3	4	5	6	7	8	3	5	9
λ_3, нм	560	380	500	620	600	480	590	450	760	400

101. Сравните наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия (λ = 589 нм) двух дифракционных решеток длины l_1 и l_2, и соответственно периодов d_1 и d_2 .

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
l_1, мм	4	5	6	7	8	9	3	2	1	10
l_2, мм	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_1, мкм	5	6	7	8	10	2	6	4	3	2
d_2, мкм	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12

102. Угловая дисперсия дифракционной решетки для λ в спектре m порядка составляет D_φ. Определите постоянную дифракционной решетки.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, нм	400	460	500	550	580	600	650	700	380	620
m	2	3	5	4	6	7	2	6	8	4
$D_\varphi \cdot 10^{-5}$, рад/м	4	5	6	7	2,5	3	4,5	8	2	1

103. На грань призмы с преломляющим углом A падает монохроматический луч света под углом φ. Определите угол отклонения луча призмой, если показатель преломления вещества равен n (рис. 18).

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
A,°	50	45	60	52	47	62	42	44	52	58
φ ,°	40	20	30	45	50	35	25	22	42	32
n	1,5	1,31	1,6	1,8	1,7	2,42	1,31	1,6	1,8	2,42

104. Источник монохроматического света с длиной волны λ_0 движется по направлению к наблюдателю. Определите скорость движения v источника, если приемник наблюдателя зафиксировал длину волны λ.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ_0, нм	600	620	640	660	680	700	610	630	650	670
λ, нм	540	530	520	510	500	610	590	570	550	600

105. Определите в вакууме доплеровское смещение $\Delta\lambda$ для спектральной линии атомарного водорода с длиной волны λ_0, если ее наблюдать под прямым углом к пучку атомов водорода с кинетической энергией T.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ_0, нм	650	600	620	640	660	680	700	610	630	670
T, кэВ	200	205	210	215	220	225	230	200	205	210

106. Определите, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор, расположенные так, что угол между их главными плоскостями α и в каждом из них теряется η % падающего света.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
α ,°	30	35	40	45	20	25	10	15	50	60
η , %	5	6	7	8	9	10	5	4	15	16

107. На систему, состоящую из поляризатора и анализатора, у которых угол между главными плоскостями составляет α, падает естественный свет, интенсивность которого после прохождения системы ослабляется в n раз. Пренебрегая потерями на отражение света, определите, какой процент интенсивности падающего света теряется при прохождении данной системы (потери в поляризаторе и анализаторе считать одинаковыми).

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
α ,°	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
η	8	7	6	5	12	9	10	14	15	20

108. Определите показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч полностью поляризован при угле преломления r.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
r,°	35	40	45	65	30	60	75	50	55	70

109. Пучок естественного света, идущий в воздухе, отражается от поверхности некоторого вещества, скорость распространения света в котором равна v. Определите угол падения, при котором отраженный свет полностью поляризован.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
$v \cdot 10^{-8}$, м/с	1,0	2,5	1,5	3,0	2,0	4,5	4,0	1,25	1,75	2,25

110. Плоскопараллельная пластинка с наименьшей толщиной d_{min} служит пластинкой в четверть длины волны для света длиной волны λ. Определите показатель преломления для необыкновенного луча, если показатель преломления для обыкновенного луча n_o = 1,544.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
d_{min}, мкм	15	16	25	20	17	18	22	14	12	10
λ, нм	400	460	500	550	580	600	650	700	380	620

111. Определите минимальную толщину пластинки исландского шпата, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий на нее нормально плоскополяризованный свет выходил циркулярно поляризованным. Показатели преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей соответственно n_e = 1,489 и n_o = 1,664, длина световой волны 527 нм.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, нм	580	400	620	700	600	380	550	460	500	650

112. Металлическая поверхность площадью ***S***, нагретая до температуры ***T*** , излучает в одну минуту тепло ***Q***. Определите: 1) энергию, излучаемую этой поверхностью, считая ее абсолютно черной; 2) отношение энергетических светимостей этой поверхности и черного тела при данной температуре.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
S, см^2	10	12	14	16	18	20	22	25	24	8
T, кК	2,5	1,0	1,5	2,0	3,0	3,5	4,5	4,0	2,4	3,2
Q, кДж	60	50	40	55	45	65	60	50	40	55

113. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости звезды приходится на длину волны $\boldsymbol{\lambda}$. Считая, что звезда излучает как абсолютно черное тело, определите: 1) температуру ее поверхности; 2) мощность, излучаемую ее поверхностью.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, нм	400	460	500	550	580	600	650	700	380	620

114. Черное тело находится при температуре ***T***. При остывании этого тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\boldsymbol{\Delta\lambda}$. Определите температуру, до которой тело охладилось.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T, кК	2,5	1,0	1,5	2,0	3,0	3,5	4,5	4,0	2,4	3,2
$\boldsymbol{\Delta\lambda}$, мкм	5	2	4,5	8	9	4	10	6	7	3

115. Определите количество теплоты, теряемое поверхности ***S*** расплавленной платины за время ***t***, если поглащательная способность платины $\boldsymbol{A_T}$ = 0,8. Температура плавления платины равна ***T***.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
S, см^2	50	45	40	60	75	80	70	30	20	10
t, мин	1	2	3	4	1,5	2,5	3,5	4,5	5	6
T, °С	1770	1800	1900	1670	1570	1400	2000	1270	1350	2500

116. Используя формулу Планка, определите энергетическую светимость ΔR_e черного тела, приходящуюся на узкий интервал длин волн $\Delta\lambda$, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости, если температура черного тела T.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\Delta\lambda$, нм	1,0	2,5	3,0	1,5	2,0	3,5	0,8	1,2	2,2	3,2
T, кК	2,5	1,0	1,5	2,0	3,0	3,5	4,5	4,0	2,4	3,2

117. Определите истинную температуру тела T, если известна радиационная температура T_p и поглощательная способность серого тела A_T.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T_p, К	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
A_T, $\frac{Вт}{м^2 К^4}$	4,3	2,8	3,7	2,9	4,1	3,8	2,7	3,4	4,2	4,7

118. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении задерживающего напряжения U_0. Определите: 1) работу выхода электронов из этого металла; 2) частоту применяемого облучения.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
металл	Ba	W	Hg	Rb	Cu	Ag	Sb	Ce	Li	Zn
U_0, В	1,7	1,0	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	1,3

119. Металл освещается монохроматическим светом с длиной волны λ. Определите наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
металл	W	Hg	Ag	Sb	Li	Zn	Ce	Ba	Rb	Cu
λ, нм	40	55	45	60	70	80	35	65	75	90

120. Металл освещается монохроматическим светом с длиной волны λ. Определите максимальную скорость фотоэлектронов.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
металл	Ba	Rb	Cu	Li	Zn	Ce	W	Hg	Ag	Sb
λ, нм	500	400	450	480	600	620	750	650	520	380

121. Максимальная длина волны спектральной серии Бальмера равна $\lambda_{Бmax}$. Считая, что постоянная Ридберга неизвестна, определите максимальную длину волны $\lambda_{Лmax}$ линии серии Лаймана.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
$\lambda_{Бmax}$, нм	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657

122. Определите длину волны λ спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с n -ой боровской орбиты на m -ю.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
m	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
n	3	4	5	1	2	5	6	5	4	3

123. Определите длину волны λ фотона, излученного атомом водорода, если энергия электрона изменилась на ΔE.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
ΔE, эВ	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1

124. Электрон разогнали из состояния покоя в электрическом поле при напряжении U. Чему равна длина волны де Бройля этого электрона?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
U, В	100	115	110	95	130	105	120	90	85	125

125. При какой температуре T длина волны де Бройля атомарного водорода равна λ?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, пм	100	115	110	95	100	105	120	90	85	105

126. Чему равна длина волны де Бройля атомарного водорода при температуре T?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
T, К	1000	1150	1100	950	1000	1050	1200	900	850	1050

127. Параллельный пучок нерелятивистских протонов падает нормально на узкую щель шириной a. Учитывая волновые свойства протонов, определите их скорость, если на экране, отстоящем на расстоянии l от щели, ширина центрального дифракционного максимума составляет Δx.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
a, мкм	2	2,5	3	3,5	4	4,5	1	1,5	1,8	2,1
l, см	50	45	60	55	40	42	52	48	62	58
Δx, мм	0,4	0,25	0,3	0,45	0,5	0,35	0,4	0,25	0,3	0,45

128. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов U. Принимая, что неопределенность импульса равна Δp_x от его числового значения, определите неопределенность координаты электрона Δx.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
U, кВ	0,5	0,55	0,6	0,45	0,4	0,65	0,7	0,55	0,6	0,45
Δp_x, %	0,2	0,25	0,3	0,15	0,1	0,35	0,4	0,05	0,2	0,35

129. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии Δt. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны которого λ. Используя соотношение неопределенностей, оцените естественную ширину излучаемой спектральной линии.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
Δt, нс	10	15	8	9	7	11	12	13	14	6
λ, нм	520	500	450	550	530	490	470	510	540	480

130. Пользуясь периодической системой элементов Д.И. Менделеева, запишите символически электронную конфигурацию атома в основном состоянии. Запишите квантовые числа, определяющие внешний, или валентный, электрон в основном состоянии.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
элемент	Ga	Br	Ag	Ce	V	S	F	Ar	He	Ne

131. Пользуясь периодической системой элементов Д.И. Менделеева, запишите символически электронную конфигурацию атома в основном состоянии. Запишите квантовые числа, определяющие внешний, или валентный, электрон в основном состоянии.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
элемент	B	Mn	C	Si	N	U	Ca	Cu	As	Zn

132. Пользуясь периодической системой элементов Д.И. Менделеева, запишите символически электронную конфигурацию атома в основном состоянии. Запишите квантовые числа, определяющие внешний, или валентный, электрон в основном состоянии.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
элемент	Se	Li	Mg	Sc	O	Ag	P	Kr	Au	Na

133. Запишите возможные значения орбитального числа l и магнитного квантового числа m_l для главного квантового числа n.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
n	2	10	3	4	5	6	7	8	9	1

134. В чистый германий введена небольшая примесь. Пользуясь периодической системой элементов Д.И. Менделеева, определите и объясните тип проводимости примесного германия.

	а	**б**	**в**	**г**	**д**	**е**	**ж**	**з**	**и**	**к**
элемент	Ga	As	Br	Sc	B	Al	P	Se	F	Ca

135. В чистый кремний введена небольшая примесь. Пользуясь периодической системой элементов Д.И. Менделеева, определите и объясните тип проводимости примесного кремния.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
элемент	Se	P	F	Ga	As	Ca	Al	Br	Sc	B

136. Определите, какую часть массы нейтрального атома составляет масса его электронной оболочки.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
элемент	$^{238}_{92}U$	$^{190}_{78}Pt$	$^{12}_{6}C$	$^{225}_{88}Ra$	$^{10}_{5}B$	$^{206}_{82}Pb$	$^{16}_{8}O$	$^{226}_{87}Fr$	$^{22}_{11}Na$	$^{200}_{84}Po$

137. Определите энергию связи ядра атома X.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
атом	$^{9}_{5}B$	$^{225}_{89}Ac$	$^{18}_{8}O$	$^{4}_{2}He$	$^{195}_{78}Pt$	$^{11}_{5}B$	$^{235}_{92}U$	$^{15}_{7}N$	$^{229}_{90}Th$	$^{131}_{53}I$

138. Определите энергию связи ядра атома X.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
атом	$^{238}_{92}U$	$^{190}_{78}Pt$	$^{12}_{6}C$	$^{225}_{88}Ra$	$^{10}_{5}B$	$^{206}_{82}Pb$	$^{16}_{8}O$	$^{226}_{87}Fr$	$^{22}_{11}Na$	$^{200}_{84}Po$

139. Определите энергию связи ядра атома X.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
атом	$^{49}_{23}V$	$^{7}_{4}Be$	$^{33}_{15}P$	$^{179}_{73}Ta$	$^{24}_{10}Ne$	$^{202}_{82}Pb$	$^{44}_{22}Ti$	$^{80}_{40}Zr$	$^{26}_{13}Al$	$^{208}_{84}Po$

140. Зная постоянную Авогадро, определите массу нейтрального атома.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
атом	***C***	***Se***	***N***	***O***	***F***	***Ne***	***S***	***P***	***Cl***	***Si***

141. Определите период полураспада радиоактивного изотопа, если η начального количества ядер этого изотопа распалось за время t. Определите этот элемент.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
η	0,1	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,5	0,65	0,7	0,6
t, ч	3,22	0,84	1,59	3,40	6,73	9,07	5,67	81,03	2,34	2,80

142. Постоянная радиоактивного распада изотопа равна λ. Определите время, за которое распадется η начального количества ядер этого радиоактивного изотопа.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
η	0,1	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,5	0,65	0,7	0,6
λ, ч$^{-1}$	0,033	0,265	0,224	0,085	0,076	0,047	0,122	0,013	0,513	0,327

143. На поверхность воды падает γ-излучение с длиной волны λ. На какой глубине интенсивность излучения уменьшится в 2 раза?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, пм	0,414	0,710	0,622	0,355	0,311	0,829	0,497	1,243	0,276	0,553

144. На поверхность свинца падает γ-излучение с длиной волны λ. На какой глубине интенсивность излучения уменьшится в 2 раза?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, пм	0,311	0,995	0,622	0,452	0,383	0,276	0,829	0,497	0,414	0,355

145. На поверхность железа падает γ-излучение с длиной волны λ. На какой глубине интенсивность излучения уменьшится в 2 раза?

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
λ, пм	0,710	0,829	0,311	0,355	0,622	0,497	0,293	0,553	0,383	0,414

146. В какой элемент превращается $^{238}_{92}U$ после n α–распадов и m β–распадов? Распишите данную цепочку распадов.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
n	6	6	7	8	9	10	10	11		
m	2	3	3	4	4	5	6	6		

147. В какой элемент превращается $^{235}_{92}U$ после n α–распадов и m β–распадов? Распишите данную цепочку распадов.

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к
n	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
m	2	3	4	5	6	7	2	3	3	4

148. Написать недостающие обозначения в реакциях. Вычислить энергию ядерной реакции. Освобождается или поглощается эта энергия?

а	$^{9}_{4}Be + \alpha = n + x$	е	$^{3}_{2}He + x = p + ^{3}_{1}H$
б	$^{2}_{1}H + x = p + ^{3}_{1}H$	ж	$^{55}_{25}Mn + x = n + ^{55}_{26}Fe$
в	$x + p = n + ^{37}_{18}Ar$	з	$^{2}_{1}H + x = \alpha + p$
г	$^{27}_{13}Al + n = \alpha + x$	и	$x + n = \alpha + ^{3}_{1}H$
д	$^{2}_{1}H + x = n + ^{3}_{2}He$	к	$^{14}_{7}N + n = x + ^{14}_{6}C$

149. Написать недостающие обозначения в реакциях. Вычислить энергию ядерной реакции. Освобождается или поглощается эта энергия?

а	$^{238}_{92}U + n = 2n + x$	**е**	$^{6}_{3}Li(x,\alpha)^{3}_{1}H$
б	$^{7}_{3}Lix + = \alpha + \alpha$	**ж**	$^{9}_{4}Be(\alpha,x)^{12}_{6}C$
в	$^{7}_{3}Be + x = n + ^{8}_{4}Be$	**з**	$^{6}_{3}Li + x = \alpha + ^{4}_{2}He$
г	$^{10}_{5}B + n = \alpha + x$	**и**	$^{14}_{7}N + \alpha = p + x$
д	$^{40}_{18}Ar + \alpha = n + x$	**к**	$^{3}_{2}He + x = p + ^{3}_{1}H$

150. Написать недостающие обозначения в реакциях. Вычислить энергию ядерной реакции. Освобождается или поглощается эта энергия?

а	$^{6}_{3}Li + x = \alpha + \alpha$	**е**	$^{27}_{13}Al + \alpha = p + x$
б	$^{27}_{13}Al + \alpha = n + x$	**ж**	$^{9}_{5}B + n = \alpha + x$
в	$^{19}_{9}F + p = x + ^{16}_{8}O$	**з**	$^{7}_{3}Li + p = n + x$
г	$^{6}_{3}Li + p = \alpha + x$	**и**	$x + p = \alpha + ^{22}_{11}Na$
д	$^{9}_{4}Be + ^{2}_{1}H = n + x$	**к**	$^{44}_{20}Ca + p = \alpha + x$

РИСУНКИ К ЗАДАЧАМ.

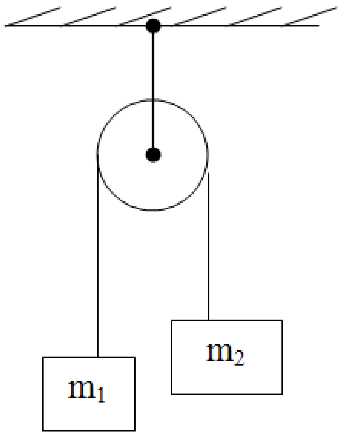


Рис.1

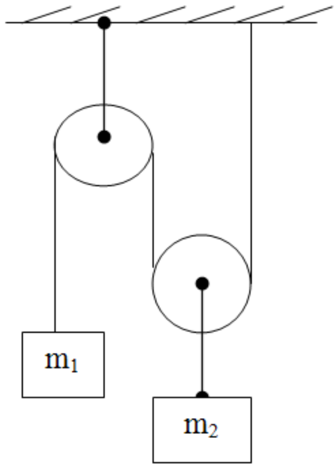


Рис.2

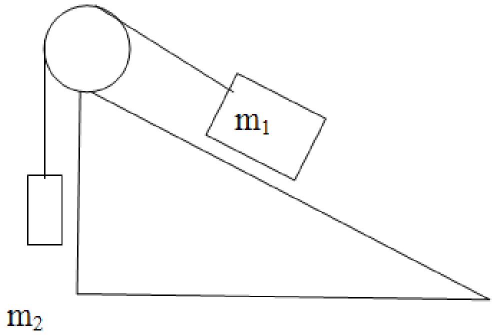


Рис.3

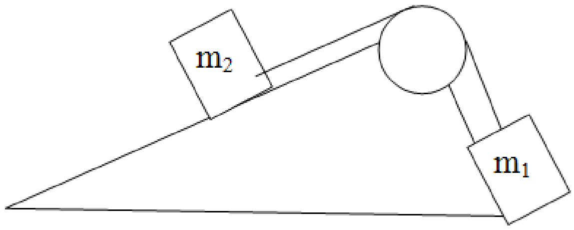


Рис.4

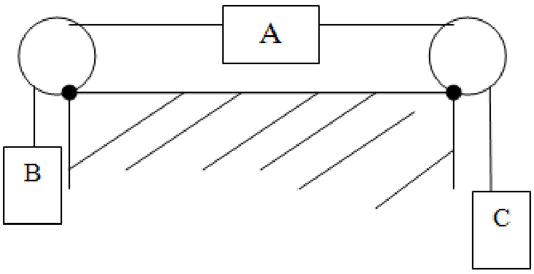


Рис.5

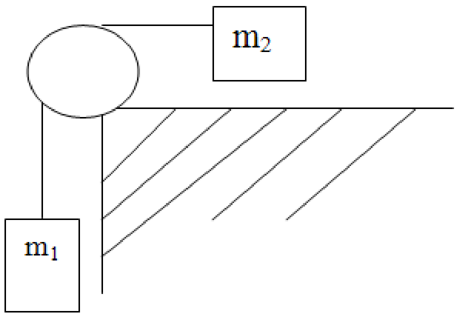


Рис.6

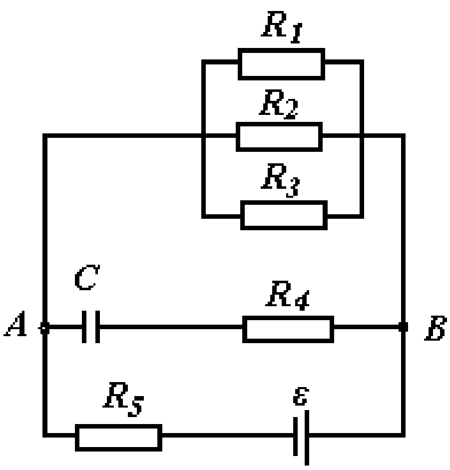


Рис.7

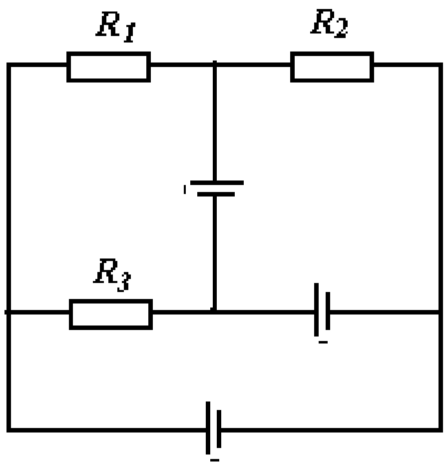


Рис.8

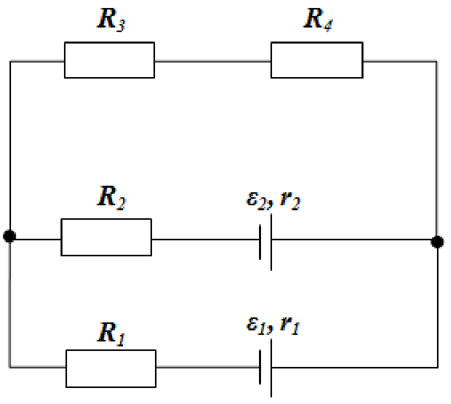


Рис.9

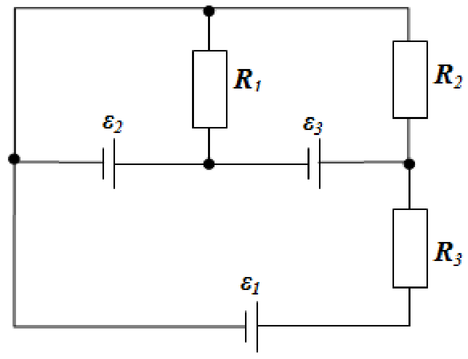


Рис.10

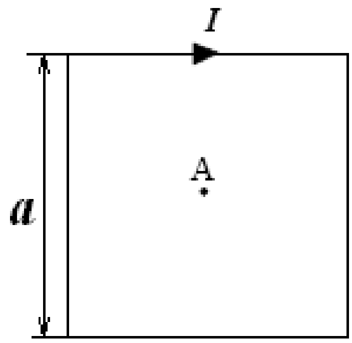


Рис.11

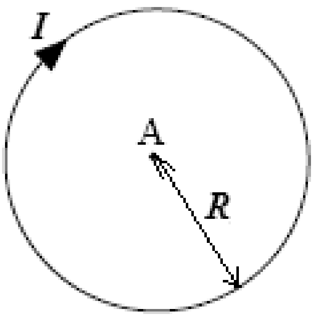


Рис.12

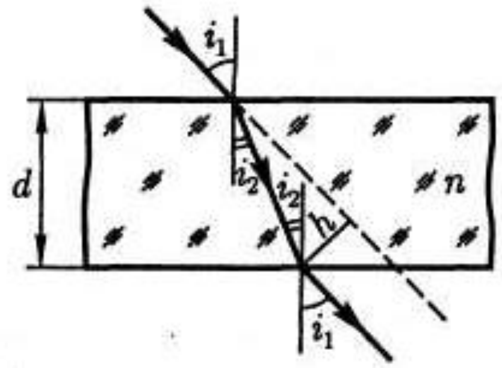


Рис.13

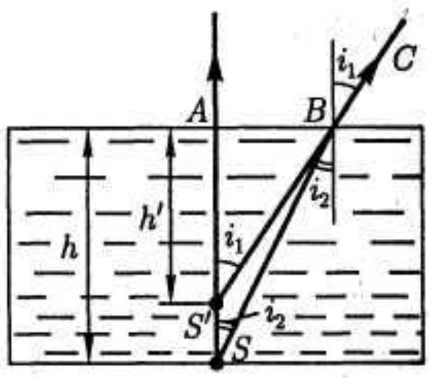


Рис.14

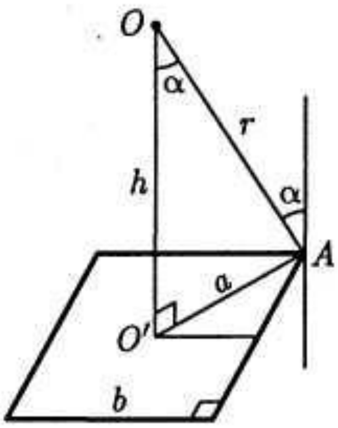


Рис.15

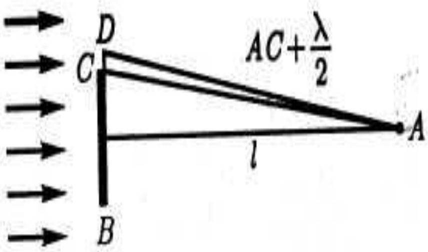


Рис.16

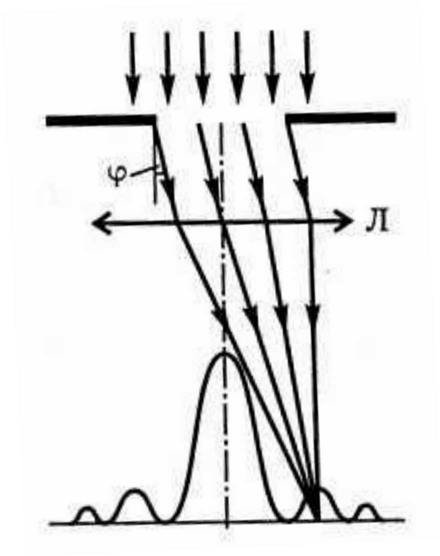


Рис.17

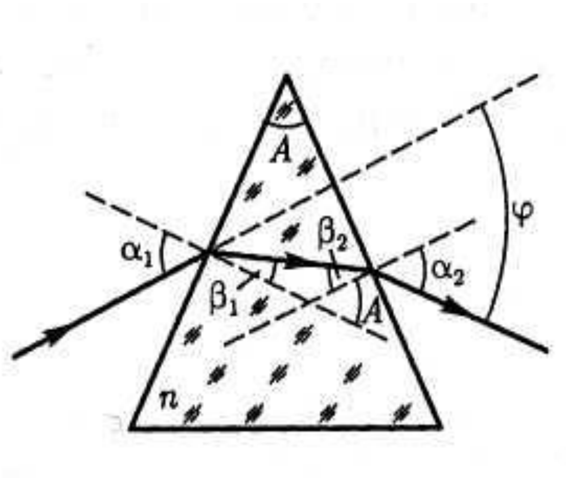


Рис.18

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1. Поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	Поправки Ван-дер-Ваальса	
	a, Н·м^4/моль^2	**b, 10^{-5} м^3/моль**
Азот	0,135	3,86
Аммиак	0,422	3,72
Аргон	0,134	3,22
Водород	0,0244	2.64
Водяной пар	0,545	3,04
Воздух	0,136	3,66
Гелий	0,0034	2,35
Кислород	0,136	3,17
Криптон	0,231	3,95
Ксенон	0,416	5,12
Метан	0,226	4,26
Неон	0,021	1,70
Углекислый газ	0,361	4,28
Хлор	0,650	5,62

Таблица 2. Эффективный диаметр молекул газов при нормальных условиях

Газ	Эффективный диаметр d, нм	Газ	Эффективный диаметр d, нм
Азот	0,31	Гелий	0,20
Аргон	0,29	Кислород	0,29
Водород	0,28	Пары воды	0,30
Воздух	0,31	Углекислый газ	0,32

Таблица 3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность ρ, 10^3 кг/м^3	Жидкость	Плотность ρ, 10^3 кг/м^3
Бензол	0,88	Масло касторовое	0,96
Вода (при t = 4°C)	1,00	Эфир	0,70
Глицерин	1,26	Ртуть	13,6
Керосин	0,80	Сероуглерод	1,26
Масло смазочное	0,90	Спирт	0,80

Таблица 4. Плотность газов при нормальных условиях
(T_0 = 273,15 K, p_0 = 101 325 Па)

Газ	Плотность ρ, кг/м^3	Газ	Плотность ρ, кг/м^3
Азот	1,25	Гелий	0,18
Аммиак	0,76	Кислород	1,43
Аргон	1,78	Метан	0,72
Водород	0,09	Углекислый газ	1,96
Воздух	1,29	Хлор	3,16

Таблица 5. Поверхностное натяжение жидкостей (при t = 20°C)

Жидкость	Поверхностное натяжение σ, мН/м
Вода	73
Глицерин	62
Масло касторовое	33
Мыльная вода	40
Ртуть	500
Спирт	22
Эфир	17

Таблица 6 Период полураспада некоторых радиоактивных изотопов

Символ изотопа	Период полураспада
$^{225}_{89}Ac$	10 сут
$^{210}_{83}Bi$	5,02 сут
$^{214}_{83}Bi$	19,7 сут
$^{131}_{73}I$	8 сут
$^{28}_{12}Mg$	21,2 ч
$^{31}_{14}Si$	2,62 ч
$^{45}_{22}Ti$	3,09 ч
$^{52}_{26}Fe$	8,2 ч
$^{62}_{30}Zn$	9,13 ч
$^{90}_{42}Mo$	5,67 ч
$^{115}_{48}Cd$	53,5 ч
$^{120}_{73}I$	1,35 ч
$^{121}_{73}I$	2,12 ч

Таблица 7. Масса и энергия покоя некоторых элементарных частиц и легких ядер

Частица	Обозначение	Масса		Энергия	
		m_0, кг	m_0, а. е. м.	E_0, Дж	E_0, МэВ
Электрон	${}_{-1}^{0}e$	$9{,}109\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot10^{-14}$	0,511
Протон	${}_{1}^{1}p$	$1{,}673\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot10^{-10}$	938,27
Нейтрон	${}_{0}^{1}n$	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot10^{-10}$	939,57
Дейтрон	${}_{1}^{2}d$	$3{,}344\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot10^{-10}$	1875,61
α-частица	${}_{2}^{4}\alpha$	$6{,}642\cdot10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot10^{-10}$	3725,98

Зависимость линейного коэффициента поглощения γ – лучей от их энергии.