

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА

МЕХАНИКА

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2024

УДК 53(075.8)
Ф503

Коллектив авторов:

М. Р. Мирсияпов, Е. И. Кренева, В. Б. Уткин, Н. В. Чичерина

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доцент *А. В. Баранов*

канд. техн. наук, доцент *С. В. Спутай*

Ф503

Физика: механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм : учебное пособие / М. Р. Мирсияпов, Е. И. Кренева, В. Б. Уткин, Н. В. Чичерина. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – 76 с.

ISBN 978-5-7782-5311-7

Учебное пособие по физике для ликвидации задолженности студентами дневного отделения МТФ, ФЛА, ФМА, АВТФ, ФПМИ и для устранения академической задолженности студентами других вузов при переводе в НГТУ.

Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм.

Пособие соответствует рабочей программе по физике, изучаемой во II семестре на факультетах МТФ, ФЛА, ФМА, АВТФ и III семестре ФПМИ. Приведены контролирующие материалы к расчетно-графическим заданиям и примеры их решения, а также вопросы к экзамену и стандартные задачи.

УДК 53(075.8)

**Мирсияпов Марис Рафаэльевич, Кренева Елена Ивановна
Уткин Вячеслав Борисович, Чичерина Наталья Витальевна**

ФИЗИКА

**МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА,
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

Учебное пособие

Редактор *И.Л. Кескевич*

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*

Редактор *И.Е. Семенова*

Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*

Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

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

Подписано в печать 06.12.2024. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.

Уч.-изд. л. 4,41. Печ. л. 4,75. Изд. № 122. Заказ № 3. Цена договорная

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

ISBN 978-5-7782-5311-7

© Мирсияпов М. Р., Кренева Е. И.,
Уткин В. Б., Чичерина Н. В., 2024
© Новосибирский государственный
технический университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Расчетно-графическое задание (РГЗ)	5
1.1. Правила оформления работ и решения задач.....	5
1.2. Примеры решения задач.....	6
1.3. Таблицы вариантов	39
1.4. Задачи РГЗ	40
2. Экзамен	52
2.1. Вопросы к экзамену во II семестре для студентов МТФ, ФЛА, ФМА ...	52
2.2. Вопросы к экзамену во II семестре для студентов АВТФ.....	54
2.3. Вопросы к экзамену в III семестре для студентов ФПМИ.....	58
2.4. Стандартные задачи к экзамену	61
2.5. Структура, пример экзаменационного билета. Требования к ответам ...	64
2.6. Дистанционный формат проведения экзамена.....	66
Примеры тестовых экзаменационных заданий	66
Справочные сведения	71
Библиографический список	76

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие поможет студентам ликвидировать задолженности по физике и устранить академическую задолженность студентов других вузов при переводе в НГТУ.

Материал пособия распределен по разделам. Первый раздел включает критерии оценки и варианты расчетно-графических заданий.

Во втором разделе представлены вопросы к экзамену. Отдельно для МТФ, ФЛА, ФМА, а также для АВТФ и ФПМИ приведены стандартные задачи к экзамену, структура билета на экзамене.

1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ (РГЗ)

Выполнение РГЗ – это обязательная часть самостоятельной работы студента в курсе общей физики. Умение решения задач является проверкой степени усвоения теоретического курса.

В настоящем пособии представлены примеры решения задач по всем разделам, включенным в РГЗ.

Студент должен решить 12 задач того варианта, номер которого выдает ему преподаватель, принимающий работу. Номер варианта необходимо согласовать при личной встрече с преподавателем либо через сообщение в DiSpase.

К решению задач РГЗ нужно приступать только после изучения теории по соответствующей теме.

1.1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Титульный лист к РГЗ оформляется по общим правилам.
2. Условия задач следует переписывать полностью без сокращений. Допустимо распечатать и вклеить текст условия задач. Само решение выполнять только рукописно.
3. Выполнить краткую запись условия, перевести все единицы измерений в СИ.
4. Сделать рисунок или чертеж, поясняющий решение задачи. Рисунки выполнять аккуратно при помощи чертежных инструментов; обозначения, указанные на рисунке, должны соответствовать обозначениям, используемым в решении задачи.
5. Решение задач должно быть подробным, с названием всех используемых законов, определений и расшифровкой обозначений величин, в них входящих. Все используемые формулы должны быть выведены, если они не являются законом или определением.

6. Необходимо выполнить решение в общем виде, получив расчетную формулу искомой величины через заданные в условии величины и табличные значения. Следует обходиться без промежуточных вычислений.

7. Выполнить проверку правильности полученной формулы, проверив ее размерность.

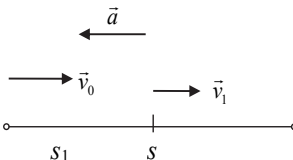
8. Выполнить расчеты, подставив в полученную формулу все численные значения. Оценить полученный результат.

В конце работы следует указать, какими учебными пособиями студент пользовался при выполнении работы.

После проверки РГЗ выполняется защита выполненной работы. На защите необходимо давать пояснения к решению, формулировать и объяснять все используемые в решении формулы и обозначения.

1.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Автомобиль начал торможение при скорости 72 км/ч. Какова его скорость после прохождения половины тормозного пути?

Дано:	СИ	Решение
$v_0 = 72 \text{ км/ч,}$	20 м/с	
$s_1 = \frac{1}{2} s,$		
$v = 0.$		
$v_1 - ?$		

Выполним схематический чертёж, указывая основные кинематические характеристики на заданных участках движения.

При равнозамедленном движении зависимость пути и скорости от времени:

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad (1)$$

$$v = v_0 - at. \quad (2)$$

Выразим t из (2) и подставим в (1):

$$t = \frac{v_0 - v}{a}, \quad s = v_0 \frac{v_0 - v}{a} - \frac{a \left(\frac{v_0 - v}{a} \right)^2}{2},$$

$$s = \frac{2v_0^2 - 2v_0v - v_0^2 + 2v_0v - v^2}{2a}, \quad s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}.$$

Считая ускорение на всем пути постоянным, получаем

$$s_1 = \frac{1}{2}s = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2a}; \quad s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2a}.$$

Тогда

$$\frac{s}{s_1} = \frac{v_0^2}{v_0^2 - v_1^2} = 2 \Rightarrow v_0^2 = 2v_0^2 - 2v_1^2,$$

$$v_0^2 = 2v_1^2 \Rightarrow v_1 = \frac{v_0}{\sqrt{2}}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[v_1] = \left[\frac{v_0}{\sqrt{2}} \right] = \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right].$$

Подставим данные: $v_1 = \frac{72}{\sqrt{2}} = 50,9 \text{ км/ч}$.

Ответ: $v_1 = 50,9 \text{ км/ч}$.

Пример 2. Камень брошен горизонтально с начальной скоростью $v_0 = 15 \text{ м/с}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) дальность полета камня S ; 2) нормальное a_n и тангенциальное a_t ускорения камня через $t = 1 \text{ с}$ после начала движения.

Дано:

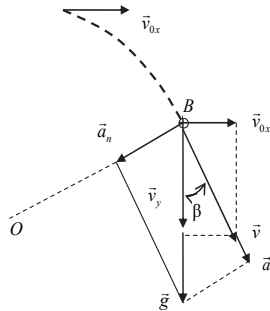
$$v_0 = 15 \text{ м/с},$$

$$t = 1 \text{ с},$$

$$v = 0.$$

СИ

Решение



$s, a_n, a_\tau - ?$

Движение тела, брошенного горизонтально, в горизонтальном направлении является равномерным, т. е. $v_x = v_0 = \text{const}$. Тогда дальность полета $s = v_0 t$, где t – время полета $s = 15 \cdot 1 = 15 \text{ м}$.

Движение по вертикали равноускоренное.

Скорость $v_y = v_{0y} + gt = gt$.

Изображаем векторы ускорений и скоростей в точке B. Скорость в любой точке траектории $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$, где t – время движения до точки B.

Полное ускорение камня $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$, где a_τ – тангенциальная составляющая ускорения (направлено по касательной к траектории, определяет быстроту изменения модуля скорости) и a_n – нормальная составляющая ускорения (направлено к центру кривизны траектории, определяет быстроту изменения направления скорости).

В нашем случае полное ускорение равно ускорению свободного падения: $a = g$.

Из рисунка тангенциальное ускорение $a_\tau = g \cos \beta$. Нормальное ускорение $a_n = g \sin \beta$. Тогда $\text{tg} \beta = \frac{v_{0x}}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$,

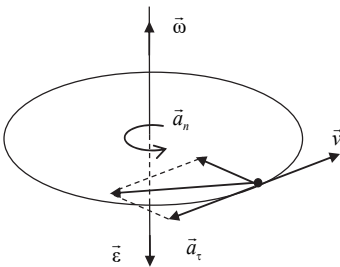
$$\text{tg} \beta = \frac{15}{9,8 \cdot 1} = 1,53 \Rightarrow \beta = 56,8^\circ.$$

Тангенциальное ускорение $a_\tau = 9,8 \cos 56,8^\circ = 5,36 \text{ м/с}^2$.

Нормальное ускорение $a_n = 9,8 \sin 56,8^\circ = 8,2 \text{ м/с}^2$.

Ответ: $s = 15 \text{ м}$, $a_\tau = 5,36 \text{ м/с}^2$, $a_n = 8,2 \text{ м/с}^2$.

Пример 3. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10 \text{ рад}$, $B = 20 \text{ рад/с}$, $C = -2 \text{ рад/с}^2$. Найти линейное ускорение a точки, находящейся на расстоянии $R = 0,1 \text{ м}$ от оси вращения, для момента $t = 4 \text{ с}$.

Дано:	СИ	Решение
$\varphi = A + Bt + Ct^2$, $A = 10 \text{ рад}$, $B = 20 \text{ рад/с}$, $C = -2 \text{ рад/с}^2$, $t = 4 \text{ с}$, $R = 0,1 \text{ м}$.		
$a = ?$		

Выполним анализ характера движения тела. Для этого подставим численные значения коэффициентов в зависимость $\varphi(t)$:

$$\varphi = 10 + 20t - 2t^2.$$

Следовательно, вращение тела равнозамедленное.

Выполним схематический чертеж, указывая основные кинематические характеристики.

Линейная скорость точки направлена по касательной к траектории, в сторону вращения тела. Направление угловой скорости $\vec{\omega}$ определяем по правилу «правого винта». Угловое ускорение $\vec{\epsilon}$ при равнозамедленном движении направлено противоположно угловой скорости.

Полное ускорение точки $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$.

Модуль полного ускорения $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$, где a_τ – тангенциальная составляющая ускорения (направлено по касательной к траектории,

определяет быстроту изменения модуля скорости) и a_n – нормальная составляющая ускорения (направлено к центру кривизны траектории, определяет быстроту изменения направления скорости).

Тангенциальная составляющая ускорения $a_\tau = \varepsilon R$.

Нормальная составляющая ускорения $a_n = \omega^2 R$.

Угловое ускорение равно первой производной угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}.$$

Угловая скорость равна первой производной угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Найдем первую производную от φ : $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct$.

Угловое ускорение $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2C$.

Тангенциальная составляющая ускорения $a_\tau = 2CR$,

нормальная составляющая ускорения $a_n = \omega^2 R = (B + 2Ct)^2 R$.

Полное ускорение точки:

$$a = \sqrt{(2CR)^2 + (B + 2Ct)^4 R^2} = R\sqrt{(2C)^2 + (B + 2Ct)^4}.$$

Подставляем данные:

$$a = 0,1\sqrt{(2(-2))^2 + (20 + 2(-2)4)^4} \approx 0,566 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 0,566 \text{ м/с}^2$.

Пример 4. Человек везет двое связанных между собой саней, прикладывая к веревке силу 150 Н под углом 19° к горизонту. Массы саней одинаковы и равны 28 кг. Коэффициент трения полозьев по снегу равен 0,044. Найти ускорение саней.

Дано:

$$F = 150 \text{ Н},$$

$$\alpha = 19^\circ,$$

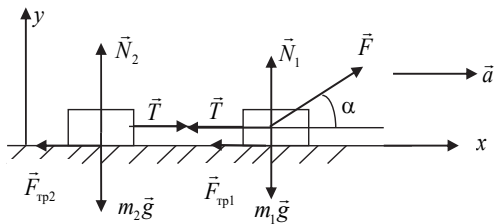
$$m_1 = m_2 = 28 \text{ кг},$$

$$\mu = 0,044.$$

$a = ?$

СИ

Решение



Изображаем силы, действующие на каждое из тел: силы тяжести $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, сила натяжения нити $\vec{T}$, силы нормальной реакции опоры $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$, силы трения $\vec{F}_{\text{тр}1}$ и $\vec{F}_{\text{тр}2}$, сила $\vec{F}$.

Запишем основное уравнение динамики для первого тела:

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{\text{тр}1} + \vec{T} = 0.$$

В проекции на оси x и y :

$$x: F \cos \alpha - F_{\text{тр}1} - T = ma,$$

$$y: -mg + F \sin \alpha + N_1 = 0.$$

Сила трения скольжения $F_{\text{тр}1} = \mu N_1 = \mu(mg - F \sin \alpha)$. Тогда

$$F \cos \alpha - T - \mu(mg - F \sin \alpha) = ma. \quad (1)$$

Для второго тела

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{\text{тр}2} = m\vec{a}.$$

В проекции на ось x : $T - F_{\text{тр}2} = ma$,

$$F_{\text{тр}2} = \mu N_2 = \mu mg.$$

Тогда

$$T - \mu mg = ma. \quad (1)$$

Сложим уравнения (1) и (2):

$$F \cos \alpha - T - \mu(mg - F \sin \alpha) + T - \mu mg = ma + ma,$$

$$F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - 2\mu mg = 2ma,$$

$$a = \frac{F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - 2\mu mg}{2m}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[a] = \left[\frac{F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - 2\mu mg}{2m} \right] = \left[\frac{H - \text{кг} \frac{\text{М}}{\text{с}^2}}{\text{кг}} \right] = \left[\frac{\text{кг} \frac{\text{М}}{\text{с}^2}}{\text{кг}} \right] = \left[\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right].$$

Подставим данные:

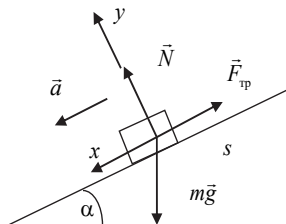
$$a = \frac{150(\cos 19^\circ + 0,044 \sin 19^\circ) - 2 \cdot 0,044 \cdot 28 \cdot 9,8}{2 \cdot 28} = 2,14 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 2,14 \text{ м/с}^2$.

Пример 5. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 45° . Пройдя путь $S = 36,4$ см, тело приобретает скорость $v = 2$ м/с. Найти коэффициент трения μ .

Дано: $\alpha = 45^\circ$, $s = 36,4$ см, $v = 2$ м/с.	СИ 0,364 м
$\mu = ?$	

Решение



На тело, движущееся по наклонной плоскости, действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Изображаем эти силы на рисунке.

При ускоренном движении тела по наклонной плоскости из второго закона Ньютона

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

Находим в проекции на оси:

$$x: mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma, \quad y: -mg \cos \alpha + N = 0.$$

Сила трения скольжения $F_{\text{тр}} = \mu N$. Тогда

$$mg \cos \alpha = N, \quad F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha,$$

$$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma, \quad a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

При равноускоренном движении зависимость пути и скорости от времени:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad v = v_0 + at.$$

Движение начинается из состояния покоя, следовательно, $v_0 = 0$.

$$s = \frac{at^2}{2}, \quad v = at \Rightarrow t = \frac{v}{a}; \quad s = \frac{v^2}{2a}.$$

Тогда

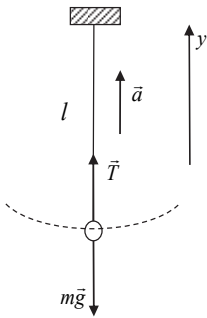
$$a = \frac{v^2}{2s} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad \mu = \operatorname{tg} \alpha - \frac{v^2}{2gs \cos \alpha}.$$

Подставляем данные:

$$\mu = \operatorname{tg} 45^\circ - \frac{2^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,364 \cos 45^\circ} = 0,207.$$

Ответ: $\mu = 0,207$.

Пример 6. Груз массой 5 т, будучи подвешенным на тросе, длина которого 4 м, совершает колебательные движения около положения равновесия. При переходе через положение равновесия груз имеет скорость 1,6 м/с. Определить в этот момент натяжение троса.

Дано:	СИ	Решение
$m = 5 \text{ т,}$ $l = 4 \text{ м,}$ $v = 1,6 \text{ м/с.}$		
$T - ?$		

На груз действуют силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения троса $\vec{T}$.

Груз на тросе движется по окружности, значит, его движение является равноускоренным с центростремительным ускорением $a = \frac{v^2}{l}$.

Запишем основное уравнение динамики для тела: $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$.

В проекции на ось y : $T - mg = ma$.

Тогда сила натяжения

$$T = ma + mg = m \left(\frac{v^2}{l} + g \right).$$

Проверим размерность полученной формулы:

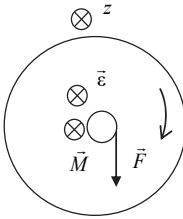
$$[T] = \left[m \left(\frac{v^2}{l} + g \right) \right] = \left[\text{кг} \left(\frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) \right] = \left[\text{кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right] = [\text{Н}].$$

Подставим данные:

$$T = 5 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1,6^2}{4} + 9,8 \right) = 5,22 \cdot 10^4 \text{ Н} = 52,2 \text{ кН/}$$

Ответ: $T = 52,2 \text{ кН.}$

Пример 7. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром $D = 75$ см и массой $m = 40$ кг приложена сила $F = 1$ кН. Определить угловое ускорение ε и частоту вращения n маховика через время $t = 10$ с после начала действия силы, если радиус шкива равен $r = 12$ см. Силой трения пренебречь.

Дано:	СИ	Решение
$m = 40$ кг,	$0,75$ м,	
$D = 75$ см,	10^3 Н,	
$F = 1$ кН,	$0,12$ м.	
$t = 10$ с,		
$r = 12$ см,		
$n_0 = 0$.		
$\varepsilon, n - ?$		

Из основного уравнения динамики вращательного движения

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon},$$

где $\vec{M}$ – момент силы $\vec{F}$; J – момент инерции маховика; ε – угловое ускорение.

В проекции на ось z : $M = J\varepsilon$.

Момент силы $M = Fr$.

Момент инерции сплошного однородного диска:

$$J = \frac{mR^2}{2}, \quad \frac{mR^2}{2}\varepsilon = Fr, \quad \varepsilon = \frac{2Fr}{mR^2} = \frac{8Fr}{mD^2}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[\varepsilon] = \left[\frac{Fr}{mD^2} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \frac{\text{м}}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[\frac{1}{\text{с}^2} \right].$$

Подставим данные: $\varepsilon = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 0,12}{40 \cdot 0,75^2} = 42,8 \text{ рад/с}^2$.

Угловая скорость при равноускоренном движении изменяется по закону: $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$.

По условию

$$\omega_0 = 0 \Rightarrow \varepsilon = \frac{\omega}{t}.$$

Угловая скорость связана с частотой $\omega = 2\pi n$,

$$\varepsilon = \frac{2\pi n}{t} \Rightarrow n = \frac{\varepsilon t}{2\pi}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

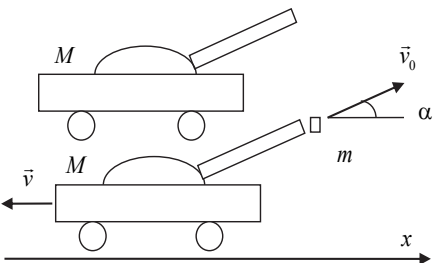
$$[n] = \left[\frac{\varepsilon t}{2\pi} \right] = \left[\frac{1}{\text{с}^2} \text{с} \right] = \left[\frac{1}{\text{с}} \right].$$

Подставим данные:

$$n = \frac{42,8 \cdot 10}{2 \cdot 3,14} = 68 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: $\varepsilon = 42,8 \text{ рад/с}^2$, $n = 68 \text{ с}^{-1}$.

Пример 8. На железнодорожной платформе установлена безоткатная пушка, из которой производится выстрел вдоль полотна под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Масса платформы с пушкой $M = 20$ т, масса снаряда $m = 10$ кг, коэффициент трения между колесами платформы и рельсами $f = 0,002$. Определить скорость снаряда, если после выстрела платформа откатилась на расстояние $s = 3$ м.

Дано:	СИ	Решение
$\alpha = 45^\circ$, $m = 10$ кг, $M = 20$ т, $f = 0,002$, $s = 3$ м.	$2 \cdot 10^4$ кг	
$v_0 - ?$		

Воспользуемся законом сохранения импульса.

На систему «платформа–снаряд» действуют внешние силы: сила тяжести и сила реакции опоры. Они действуют в вертикальном направлении. В горизонтальном направлении в момент выстрела внешние силы не действуют, поэтому будет сохраняться проекция импульса на ось x .

$$m\vec{v}_0 + M\vec{v} = 0.$$

Закон сохранения импульса в проекции на ось x :

$$mv_0 \cos \alpha - Mv = 0 \Rightarrow v = \frac{mv_0 \cos \alpha}{M}.$$

Изменение кинетической энергии платформы равно работе против силы трения:

$$\Delta E_k = A_{\text{тр}}, \quad \frac{Mv^2}{2} = F_{\text{тр}}s.$$

Сила трения $F_{\text{тр}} = fN = \mu Mg$.

Подставив скорость v , получим

$$\frac{m^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2M} = fMgs \Rightarrow v_0 = \frac{M}{m \cos \alpha} \sqrt{2fgs}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[v_0] = \left[\frac{M}{m \cos \alpha} \sqrt{2fgs} \right] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{м}} \right] = \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right].$$

Подставим данные: $v_0 = \frac{2 \cdot 10^4}{10 \cos 45^\circ} \sqrt{2 \cdot 0,002 \cdot 9,8 \cdot 3} = 970 \text{ м/с}.$

Ответ: $v_0 = 970 \text{ м/с}.$

Пример 9. Горизонтальная платформа массой $m_1 = 25 \text{ кг}$ и радиусом $R = 25 \text{ м}$ вращается с частотой $n_1 = 20 \text{ мин}^{-1}$. Какова будет угловая скорость вращения платформы, если на ее край положить груз массой $m_2 = 12 \text{ кг}$?

Дано:

$$m_1 = 25 \text{ кг},$$

$$R = 25 \text{ м},$$

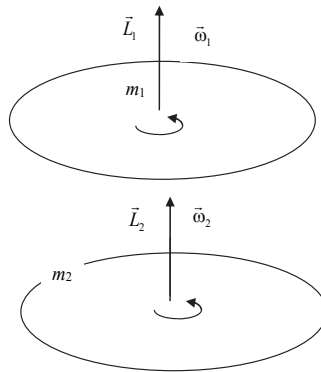
$$n_1 = 20 \text{ мин}^{-1},$$

$$m_2 = 12 \text{ кг}.$$

СИ

$$1/3 \text{ с}^{-1}.$$

Решение



$$\omega_2 = ?$$

Платформа и тело представляют собой замкнутую систему (сумма моментов всех внешних сил – сил тяжести и сил реакции, действующих на систему по отношению к оси вращения, равна нулю, трением пренебрегаем).

Используем закон сохранения момента импульса: $L = J\omega = \text{const}$.

Момент инерции системы равен сумме моментов инерции платформы, которую будем считать сплошным однородным диском, и тела относительно оси вращения. Момент инерции диска равен $J_1 = \frac{m_1 R^2}{2}$, момент инерции тела рассчитываем как для материальной точки: $J_2 = m_2 R^2$.

Получим

$$J_1 \omega_1 = (J_1 + J_2) \omega_2 \Rightarrow \omega_2 = \frac{J_1 \omega_1}{J_1 + J_2}.$$

Угловая скорость связана с частотой $\omega_1 = 2\pi n_1$:

$$\omega_2 = \frac{m_1 R^2 2\pi n_1}{2 \left(\frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \right)} = \frac{m_1 2\pi n_1}{m_1 + 2m_2}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[\omega_2] = \left[\frac{m_1 \cdot 2\pi n_1}{m_1 + 2m_2} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{кг} + \text{кг}} \right] = [\text{с}^{-1}].$$

Подставим данные:

$$\omega_2 = \frac{25 \cdot 2 \cdot 3,14 \frac{1}{3}}{25 + 2 \cdot 12} = 1,07 \text{ рад/с} - \text{угловая скорость платформы с телом}$$

уменьшится, так как увеличится момент инерции системы.

Ответ: $\omega_2 = 1,07 \text{ рад/с}$.

Пример 10. Определить, сколько молекул водорода содержится в баллоне емкостью 50 л под давлением $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при температуре 18°C . Какова плотность водорода?

Дано:	СИ	Решение
$V = 50 \text{ л},$ $t = 18^\circ\text{C},$ $p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}.$	$0,05 \text{ м}^3$	Число молекул водорода $N = \nu N_A$, где N_A – постоянная Авогадро, N_A – число молекул, содержащихся в 1 моль вещества ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$); ν – количество вещества.
$N, \rho - ?$		

Из уравнения состояния идеального газа

$$pV = \nu RT,$$

где p – давление; V – объем; ν – количество вещества; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$; T – абсолютная температура,

$$T = 273 + t = 273 + 18 = 291 \text{ К, выразим количество вещества: } \nu = \frac{pV}{RT}.$$

$$\text{Тогда } N = \frac{pV}{RT} N_A = \frac{pV}{kT}, \text{ где } k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} - \text{постоян-}$$

ная Больцмана.

Проверим размерность полученной формулы:

$$[N] = \left[\frac{pV}{kT} \right] = \left[\frac{\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \text{К}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \text{К}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \text{м}^3}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2}} \right] = [1].$$

Подставим данные:

$$N = \frac{1,5 \cdot 10^5 \cdot 0,05}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 291} = 1,87 \cdot 10^{24}.$$

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$ выразим из уравнения состояния, учитывая,

что количество вещества $\nu = \frac{m}{M}$, где m – масса газа; $M = 0,002$ кг/моль – молярная масса водорода.

$$\text{Тогда } pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[\rho] = \left[\frac{pM}{RT} \right] = \left[\frac{\frac{\text{Па} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{моль}} \cdot \text{К}} \right] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right].$$

Подставим данные:

$$\rho = \frac{1,5 \cdot 10^5 \cdot 0,002}{8,31 \cdot 291} = 0,124 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $N = 1,87 \cdot 10^{24}$, $\rho = 0,124 \text{ кг/м}^3$.

Пример 11. Стеклянная колба с воздухом при атмосферном давлении $P_0 = 10^5$ Па взвешена при температуре $t_1 = 80^\circ\text{C}$. Воздух в колбе нагревают до $t_2 = 185^\circ\text{C}$. При последующем взвешивании колба оказалась на $\Delta m = 0,25$ г легче. Чему равен объем колбы V ? Молярная масса воздуха $\mu = 0,029$ кг/моль.

Дано:	СИ	Решение
$P_0 = 10^5$ Па,	$2,5 \cdot 10^{-4}$ кг	Из уравнения состояния идеального газа
$t_1 = 80$ °С,		
$t_2 = 185$ °С,		
$\Delta m = 0,25$ г,		$pV = \frac{m}{M} RT$,
$M = 0,029$ кг/моль.		
$V = ?$		

где p – давление; V – объем; m – масса; M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль · К); T – абсолютная температура; выразим массу:

$$m = \frac{pVM}{RT}.$$

$$\text{Тогда для двух состояний } m_1 = \frac{p_0 VM}{RT_1}; \quad m_2 = \frac{p_0 VM}{RT_2}.$$

$$\text{Отсюда } \Delta m = m_1 - m_2 = \frac{p_0 VM}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

$$\text{Объем } V = \frac{\Delta m R}{p_0 M \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = \frac{\Delta m R T_1 T_2}{p_0 M (T_2 - T_1)}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[V] = \left[\frac{\Delta m R T_1 T_2}{p_0 M (T_2 - T_1)} \right] = \left[\frac{\text{кг} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К}^2}{\text{Па} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \text{К}} \right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Па}} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}} \right] = [\text{м}^3].$$

Подставим данные:

$$V = \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 8,31 (273 + 80) (273 + 185)}{10^5 \cdot 0,029 (185 - 80)} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 1,1 \text{ л}.$$

Ответ: $V = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Пример 12. Баллон емкостью 5 л содержит смесь гелия и водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна 0,6. Определить температуру смеси.

Дано:	СИ	Решение
$V = 5$ л,	$5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$,	Применим для смеси газов закон Дальтона: $p = p_1 + p_2$ – давление смеси газов равно сумме парциальных давлений.
$m = 4$ г,	$4 \cdot 10^{-3}$ кг,	
$m_1 = 0,6 m$,	$6 \cdot 10^5$ Па.	
$p = 600$ кПа.		
$T = ?$		

Из уравнения состояния идеальных газов

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

где p – давление; V – объем; m – масса; M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль · К); T – абсолютная температура, выразим температуру:

$$T = \frac{pV}{\nu R}.$$

Количество вещества $\nu_1 = \frac{m_1}{M_1}$, $\nu_2 = \frac{m_2}{M_2}$, количество вещества смеси

$$\nu = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} = \frac{0,6m}{M_1} + \frac{0,4m}{M_2}.$$

Тогда
$$T = \frac{pV}{\nu R} = \frac{pV}{\left(\frac{0,6m}{M_1} + \frac{0,4m}{M_2} \right) R}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[T] = \left[\frac{pV}{\left(\frac{0,6m}{M_1} + \frac{0,4m}{M_2} \right) R} \right] \left[\frac{\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{К}}{\text{Дж}} \right] = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{Дж}} \right] = [\text{К}].$$

$$T = \frac{6 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{0,6}{0,004} + \frac{0,4}{0,002} \right) 4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31} = 257,9 \approx 258 \text{ K}.$$

Ответ: $T = 258 \text{ K}$.

Пример 13. Во сколько раз увеличится объем v , равный 2 молям кислорода при изотермическом расширении при температуре $T = 300 \text{ K}$, если при этом газу «сообщили» теплоту $Q = 4 \text{ кДж}$?

Дано: $v = 2 \text{ моль},$ $T = 300 \text{ K},$ $T = \text{const},$ $Q = 4 \text{ кДж}.$	СИ $4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	Решение По первому началу термодинамики, количество теплоты, сообщаемое газу, идет на изменение его внутренней энергии и на совершение газом работы: $Q = \Delta U + A.$
$n = V_2 / V_1 ?$		

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T,$$

где M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$; ΔT – изменение температуры; m – масса газа; i – число степеней свободы молекул.

Изотермический процесс – процесс при неизменной температуре ($T = \text{const}$), следовательно, $\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = 0$, тогда $Q = A$.

Элементарная работа $\delta A = p dV$, полная работа $A = \int p dV$.

При изотермическом процессе давление является функцией объема газа. Из уравнения состояния $pV = \frac{m}{M} \frac{RT}{V}$ давление $p = \frac{m}{M} \frac{RT}{V} = v \frac{RT}{V}$.

Тогда $\delta A = v \frac{RT}{V} dV$. Следовательно,

$$A = \int \delta A = \int_{V_1}^{V_2} \nu RT \frac{dV}{V} = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

$$A = Q = \nu RT \ln(n) \Rightarrow \ln(n) = \frac{Q}{\nu RT}; \quad n = e^{\frac{Q}{\nu RT}}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$\left[\frac{Q}{\nu RT} \right] = \left[\frac{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \right] = [1].$$

Подставим данные: $n = e^{\frac{4000}{2 \cdot 8,31 \cdot 300}} = 2,23.$

Ответ: $n = 2,23.$

Пример 14. Идеальный двухатомный газ в количестве $\nu = 2$ моль, находящийся при температуре $T = 300$ К, адиабатически увеличивает свой объем в 2 раза. Затем этот газ изобарически увеличивает свой объем в 3 раза. Определить конечную температуру газа. Найти также количество теплоты, сообщенное газу в этих процессах.

Дано:

$$\nu = 2 \text{ моль},$$

$$T_1 = 300 \text{ К},$$

$$1-2) Q_{12} = 0,$$

$$\frac{V_2}{V_1} = 2,$$

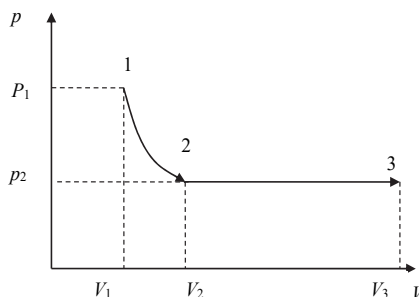
$$3) p_2 = \text{const},$$

$$\frac{V_3}{V_2} = 3.$$

$$T_3, Q - ?$$

СИ

Решение



1. По условию процесс перехода $1 \rightarrow 2$ – адиабатный. Из уравнения Пуассона для адиабатического процесса $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ найдем температуру после расширения:

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

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ – коэффициент Пуассона (показатель адиабаты); C_p – теплоемкость при постоянном давлении; C_V – теплоемкость при постоянном объеме; $C_V = \frac{i}{2} R = \frac{5}{2} R$, $C_p = \frac{i+2}{2} R = \frac{7}{2} R$, где $i = 5$ – число степеней свободы для двухатомного газа

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{7}{5} = 1,4.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[T_2] = \left[T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \left[\text{К} \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} \right] = [\text{К}].$$

Подставим данные: $T_2 = 300 \left(\frac{1}{2} \right)^{1,4-1} = 227,4 \text{ К}.$

2. По условию переход $2 \rightarrow 3$ – изобарный.

Температура из закона Гей-Люссака для изобарного процесса

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow T_3 = \frac{T_2 V_3}{V_2}; \quad T_3 = 227,4 \cdot 3 = 682 \text{ К}.$$

Согласно первому началу термодинамики количество теплоты Q , полученное газом, расходуется на изменение его внутренней энергии (ΔU) и совершение газом работы (A) против внешних сил:

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

Адиабатическим называется процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.

Из первого начала термодинамики $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 0$.

3. Изобарный процесс – процесс при неизменном давлении.

Работа, совершаемая при изобарическом нагревании, $A_{23} = p_2 \Delta V = p_2(V_3 - V_2)$, численно равна площади под графиком процесса в p - V -координатах.

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T_{23},$$

где M – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль · К); ΔT – изменение температуры; m – масса газа; i – число степеней свободы молекул (для двухатомного газа $i = 5$).

Из уравнения состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M} RT$ запишем:

$$p_2 \Delta V_{23} = \frac{m}{M} R \Delta T_{23} = \nu R (T_3 - T_2),$$

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R (T_3 - T_2), \quad Q_{23} = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \nu R (T_3 - T_2).$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[Q_{23}] = \left[\left(\frac{i}{2} + 1 \right) \nu R (T_3 - T_2) \right] = \left[\text{моль} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \text{К} \right] = [\text{Дж}].$$

Подставим данные:

$$Q_{23} = \left(\frac{5}{2} + 1 \right) 2 \cdot 8,31 (682 - 227,4) = 2,64 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 26,4 \text{ кДж}.$$

Полное количество теплоты

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = Q_{23} = 26,4 \text{ кДж}.$$

Ответ: $T_3 = 682$ К, $Q_{12} = 0$, $Q_{23} = Q = 26,4$ кДж.

Пример 15. Электрическое поле создается двумя концентрическими заряженными цилиндрами с радиусами $R_1 = 10$ см и $R_2 = 20$ см и линейной плотностью электрического заряда $\tau_2 = 1$ мкКл/м и $\tau_1 = -2$ мкКл/м. Определить напряженность и построить график зависимости $E(r)$. Определить разность потенциалов электрического поля между цилиндрами

Дано:

$$R_1 = 10 \text{ см,}$$

$$R_2 = 20 \text{ см,}$$

$$\tau_1 = 1 \text{ мкКл/м,}$$

$$\tau_2 = -2 \text{ мкКл/м.}$$

СИ

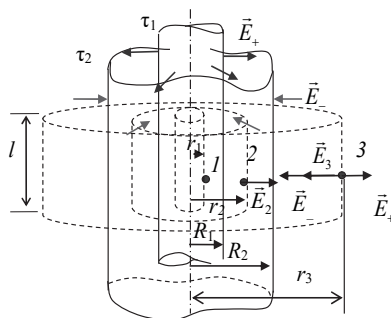
$$0,1 \text{ м,}$$

$$0,2 \text{ м,}$$

$$10^{-6} \text{ Кл/м,}$$

$$-2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м.}$$

Решение



$E(r)?, \varphi_1 - \varphi_2?$

Согласно теореме Гаусса $\oint_S E_n dS = \frac{q}{\epsilon_0}$ – поток вектора напряженности электростатического поля в вакууме сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности зарядов, деленной на ϵ_0 ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная),

$$\oint_S E \cos \alpha dS = \frac{q}{\epsilon_0}, \quad \oint_S E_n dS = \frac{q}{\epsilon_0}.$$

Точки, в которых требуется найти напряженности электрического поля, лежат в трех областях: области I ($r_1 < R_1$), области II ($R_1 < r_2 < R_2$), области III ($r_3 > R_2$).

1. Для определения напряженности E_1 в области I проведем гауссову поверхность S_1 (цилиндр) радиусом r_1 и воспользуемся теоремой Гаусса.

Для точки 1, расположенной внутри цилиндра радиусом R_1 , $q_1 = 0$, поэтому

$$E_1 \oint_S dS = \frac{q}{\epsilon_0} = 0 \Rightarrow E_1 = 0.$$

Для точки 2 внутри гауссовой поверхности находится заряд $q_2 = \tau_1 l$.

Так как $E_n = E = \text{const}$, то E можно вынести за знак интеграла:

$$E_2 \int_S dS = \frac{\tau_1 l}{\epsilon_0}, \quad E_2 S_2 = \frac{\tau_1 l}{\epsilon_0},$$

где $S_2 = 2\pi r_2 l$ – площадь гауссовой поверхности. Тогда

$$E_2 = \frac{\tau_1 l}{2\pi r_2 l \epsilon_0} = \frac{\tau_1}{2\pi \epsilon_0 r_2}, \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} r_2} = \frac{1,8 \cdot 10^4}{r_2} \text{ В/м.}$$

Для точки 3 внутри гауссовой поверхности находятся заряды $q_1 = \tau_1 l$ и $q_2 = \tau_2 l$,

$$E_3 \int_S dS = \frac{\tau_1 l + \tau_2 l}{\epsilon_0} = \frac{(\tau_1 + \tau_2)l}{\epsilon_0}, \quad E_3 S_3 = \frac{(\tau_1 + \tau_2)l}{\epsilon_0},$$

где $S_3 = 2\pi r_3 l$ – площадь гауссовой поверхности. Тогда

$$E_3 = \frac{(\tau_1 + \tau_2)l}{\epsilon_0 2\pi r_3 l} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2\pi \epsilon_0 r_3}, \quad (2)$$

$$E_3 = \frac{10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot r_3} = -\frac{1,8 \cdot 10^4}{r_3} \text{ В/м.}$$

2. Построим график $E(r)$.

В области I ($r_1 < R_1$) $E_1 = 0$.

В области II ($R_1 < r_2 < R_2$) $E_2(r)$ изменяется по закону $1/r$.

В точке $r = R_1$ напряженность

$$E_2(R_1) = \frac{1,8 \cdot 10^4}{0,1} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ В/м} = 180 \text{ кВ/м.}$$

В точке $r = R_2$ (r_2 стремится к R_2 слева):

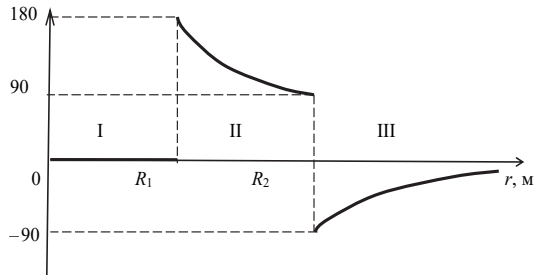
$$E_2(R_2) = \frac{1,8 \cdot 10^4}{0,2} = 0,9 \cdot 10^5 \text{ В/м} = 90 \text{ кВ/м.}$$

В области III ($r_3 > R_2$) $E_3(r)$ изменяется по закону $1/r$.

В точке $r_3 = R_2$ (r_3 стремится к R_2 справа),

$$E_3(R_2) = -\frac{1,8 \cdot 10^4}{0,2} = -0,9 \cdot 10^5 \text{ В/м} = -90 \text{ кВ/м.}$$

Таким образом, функция $E(r)$ в точках $r = R_1$ и $r = R_2$ терпит разрыв.



Потенциал будем определять, учитывая связь напряженности и потенциала: $E = -\frac{d\varphi}{dr} \rightarrow d\varphi = -E dr$.

Тогда разность потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{r} dr = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \ln(r) \Big|_{R_1}^{R_2} = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right).$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[\varphi_1 - \varphi_2] = \left[\frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] = \left[\frac{\frac{\text{Кл}}{\text{м}}}{\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} \right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = [\text{В}].$$

Подставим данные:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \ln\left(\frac{0,2}{0,1}\right) = 1,25 \cdot 10^4 \text{ В} = 12,5 \text{ кВ}.$$

Ответ: $E_1 = 0$, $E_2 = \frac{1,8 \cdot 10^4}{r_2} \text{ В/м}$, $E_3 = -\frac{1,8 \cdot 10^4}{r_3} \text{ В/м}$,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 12,5 \text{ кВ}.$$

Пример 16. Какой длины нужно взять кусок стальной проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$, чтобы, присоединив его к полюсам элемента с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением $7,2 \text{ Ом}$, получить в цепи ток 250 мА ?
Удельное сопротивление стали $0,12 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Дано:	СИ	Решение
$S = 0,2 \text{ мм}^2$,	$2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$.	Из закона Ома для замкнутой цепи $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$, где r – внутреннее сопротивление элемента; R – внешнее сопротивление (сопротивление проволоки)
$\varepsilon = 2 \text{ В}$,	$0,25 \text{ А}$.	
$r = 7,2 \text{ Ом}$,		
$I = 250 \text{ мА}$,		
$\rho = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.		
$l - ?$		

Выразим R :

$$R = \frac{\varepsilon}{I} - r.$$

Сопротивление линейного однородного проводника

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление; L – длина проводника; S – площадь его поперечного сечения.

Тогда

$$\frac{\varepsilon}{I} - r = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow l = \left(\frac{\varepsilon}{I} - r \right) \frac{S}{\rho}.$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[l] = \left[\left(\frac{\varepsilon}{I} - r \right) \frac{S}{\rho} \right] = \left[\frac{\text{В}}{\text{А}} \frac{\text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \text{Ом} \frac{\text{м}}{\text{Ом}} = \text{м} \right].$$

Подставим данные:

$$l = \left(\frac{2}{0,25} - 7,2 \right) \frac{2 \cdot 10^{-7}}{0,12 \cdot 10^{-6}} = 1,33 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 1,33 \text{ м.}$

Пример 17. По плоскому контуру из тонкого провода течет ток силой $I = 10,0 \text{ А}$. Радиусы полуокружностей равны $R_1 = 0,1 \text{ м}$ и $R_2 = 0,2 \text{ м}$ (см. рисунок). Определите в точке O индукции магнитного поля B_1, B_2, B_3, B_4 и B , создаваемые участками 1, 2, 3, 4 и всем контуром.

Дано:

$$R_1 = 0,1 \text{ м,}$$

$$R_2 = 0,2 \text{ м,}$$

$$I = 10 \text{ А.}$$

СИ

Решение

Согласно принципу суперпозиции магнитная индукция системы токов:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4,$$

где $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$ – магнитные индукции полей, создаваемых соответственно участками прямых и круговых токов.

B_1, B_2, B_3, B_4 и B – ?

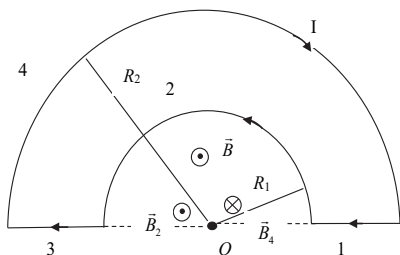


Рис. 1, а



Рис. 1, б

1. Выведем формулу для магнитной индукции кругового тока. Разобьем проводник на элементарные отрезки $d\vec{l}$. Магнитная индукция поля $d\vec{B}$, создаваемого этим элементом в точке O , определяется по закону Био–Савара–Лапласа:

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

где $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная; $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный от элемента проводника $d\vec{l}$ в точку O .

По правилу буравчика определим направление $d\vec{B}$. В нашем случае вектор магнитной индукции направлен вверх. По принципу суперпозиции магнитная индукция $\vec{B}$ равна сумме магнитных индукций $d\vec{B}$ от всех элементарных отрезков $d\vec{l}$ проводника $\vec{B} = \sum_{i=1}^n d\vec{B}_i = \oint_l d\vec{B}$ (интегрирование ведется по длине кругового проводника l). В нашем случае $d\vec{B}_i$ имеют одинаковые направления, поэтому можно заменить векторное интегрирование скалярным: $B = \oint_l dB$, где $dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \sin \alpha dl$, где α – угол между элементом $d\vec{l}$ и радиус-вектором $\vec{r}$, проведенным от элемента в точку O .

Из рис. 1, а видно, что $\sin \alpha = 1$, так как $\alpha = 90^\circ$, $r = R$, где R – радиус кольца. С учетом этого получаем

$$B = \int_0^l \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} l \Big|_0^l = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Магнитная индукция поля, создаваемого круговым током в его центре:

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

где I – сила тока; R – радиус кругового тока.

Для половины кругового тока соответственно

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{4R_1}; \quad B_4 = \frac{\mu_0 I}{4R_2}.$$

2. Определим индукцию поля, создаваемого отрезком прямого проводника с током. Из закона Био–Савара–Лапласа $dB = \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\ell}{4\pi r^2}$ – магнитная индукция, создаваемая элементом тока $d\ell$ на расстоянии r от него.

Из рис. 2:

$$r = \frac{r_0}{\sin \alpha}, \quad \ell = r_0 \operatorname{ctg} \alpha, \quad d\ell = \frac{r_0 d\alpha}{\sin^2 \alpha}.$$

Тогда

$$dB = \frac{\mu_0 I \sin \alpha r_0 \sin^2 \alpha d\alpha}{4\pi r_1^2 \sin^2 \alpha} = \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{4\pi r_0}.$$

Интегрируем:

$$\begin{aligned} B &= \int dB = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{4\pi r_0} = \\ &= \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \end{aligned}$$

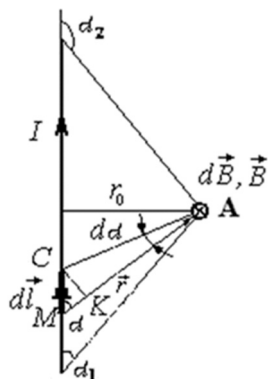


Рис. 2

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком прямого тока,

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Для отрезка 1 (рис. 2) углы $\alpha_1 = \pi$; $\alpha_2 = \pi \Rightarrow B_1 = 0$.

Для отрезка 3 (рис. 2) углы $\alpha_3 = 0$; $\alpha_4 = 0 \Rightarrow B_3 = 0$.

Тогда магнитная индукция результирующего поля с учетом направлений $\vec{B}_2$ и $\vec{B}_4$, определяемых по правилу буравчика (в нашем случае оба вектора направлены перпендикулярно плоскости рис. 2 «к нам» и «от нас» соответственно),

$$B = B_2 - B_4 = \frac{\mu_0 I}{4R_1} - \frac{\mu_0 I}{4R_2} = \frac{\mu_0 I}{4} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Проверим размерность полученной формулы:

$$[B] = \left[\frac{\mu_0 I}{4} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \right] = \left[\frac{\text{Гн}}{\text{м}} \text{А} \frac{1}{\text{м}} \right] = \left[\frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} \right] = \left[\frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2} \right] = [\text{Тл}].$$

Подставляем данные:

$$B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4 \cdot 0,1} = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}; \quad B_4 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4 \cdot 0,2} = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ Тл};$$

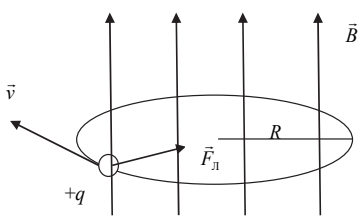
$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{4} \left(\frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,2} \right) = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} - \text{вектор } \vec{B} \text{ направлен}$$

перпендикулярно плоскости чертежа «к нам».

Пример 18. Протон и альфа-частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории альфа-частицы?

Ответ: $B_1 = 0$, $B_2 = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$, $B_3 = 0$, $B_4 = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$,

$$B = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}.$$

Дано	СИ	Решение
$m_2 = 4m_1,$ $q_2 = 2q_1,$ $U_1 = U_2.$		
$R_1 / R_2 - ?$		

α -частица – ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$, протон ${}^1_1\text{p}$, поэтому масса альфа-частицы $m_2 = 4m_1$, заряд $q_2 = 2q_1$.

На заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца. Если скорость частицы перпендикулярна линиям магнитной индукции, частица под действием силы Лоренца движется по окружности.

Величина силы Лоренца: $\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}]$.

Модуль

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

где v – скорость; B – магнитная индукция; q – заряд частицы; α – угол между направлением скорости частицы и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительно заряженной частицы, то большой палец укажет направление силы Лоренца.

Сила Лоренца сообщает частице центростремительное ускорение. Тогда из второго закона Ньютона

$$F_L = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow qvB = m \frac{v^2}{R}.$$

Отсюда $R = \frac{mv}{qB}$.

Скорость частицы выразим из закона сохранения энергии. Так как кинетическую энергию частице сообщает электрическое поле, то

$$\frac{mv^2}{2} = qU,$$

где $\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия частицы; qU – работа электрического

поля. Отсюда $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$. Тогда $R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$.

По условию B и U неизменны, тогда

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{m_1}{q_1} \frac{q_2}{m_2}}; \quad \frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{2}{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,41} = 0,709;$$

$\frac{R_2}{R_1} = 1,41$ – радиус кривизны для протона в 1,41 раз меньше, чем для альфа-частицы.

Ответ: $\frac{R_2}{R_1} = 1,41$.

Пример 19. В магнитном поле длинного прямолинейного проводника 1 с током силой 50 А находится отрезок прямолинейного проводника 2 длиной 40 см, по которому проходит ток силой 10 А. Проводники 1 и 2 параллельны друг другу, и расстояние между ними 20 см. Какая сила действует на проводник 2, если среда – воздух?

Дано:

$$I_1 = 50 \text{ А},$$

$$I_2 = 10 \text{ А}$$

$$d = 20 \text{ см},$$

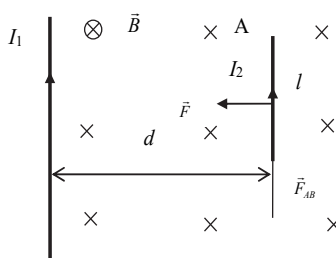
$$l = 40 \text{ см}.$$

СИ

$$0,2 \text{ м},$$

$$0,4 \text{ м}.$$

Решение



$F = ?$

Отрезок проводника с током находится в неоднородном магнитном поле, создаваемом длинным проводником, так как магнитная индукция провода с током убывает при удалении от него.

На каждый элемент длины проводника, расположенного в магнитном поле тока I_1 , действует сила Ампера, модуль которой выражается формулой

$$dF = I_2 B dl \sin \alpha ,$$

где I_2 – сила тока в проводнике; B – индукция магнитного поля в месте нахождения элемента проводника; dl – длина элемента проводника.

Направление этой силы зависит в частности от направления вектора магнитной индукции в том месте, где находится этот элемент. Направления линий индукции, определяемые правилом правого винта, изображены на рисунке (справа от проводника «от нас»). Применив правило левой руки, найдем направления сил, действующих на оба участка проводника.

Определим индукцию поля прямолинейного проводника с током I_1 в местах нахождения сторон отрезка проводника:

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} - \text{постоянна, так как все точки участка } AB \text{ находятся от}$$

провода на одинаковом расстоянии d .

Тогда сила

$$F = I_2 B l = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

Проверка правильности единиц измерения дает:

$$[F] = \left[\text{Гн} / \text{м} \cdot \text{А}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{м}^{-1} \right] = \text{Дж} / \text{м} = \text{Н}.$$

Подставляя значения величин, вычисляем:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 50 \cdot 0,4}{2\pi \cdot 0,2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 0,2 \text{ мН}.$$

Ответ: $F = 0,2 \text{ мН}$.

Пример 20. Из двух одинаковых проводников изготовили два контура – квадратный и круговой. Оба контура помещены в одной плоскости в изменяющееся со временем магнитное поле. В круговом контуре индуцируется постоянный ток $I_1 = 0,4$ А. Найти силу тока в квадратном контуре.

Дано:

$$I_1 = 50 \text{ А},$$

$$I_2 = 10 \text{ А}$$

$$d = 20 \text{ см},$$

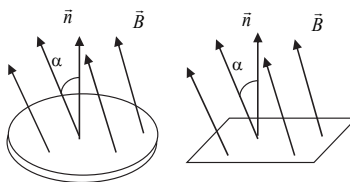
$$l = 40 \text{ см}.$$

СИ

$$0,2 \text{ м},$$

$$0,4 \text{ м}.$$

Решение:



$F = ?$

В результате явления электромагнитной индукции при любом изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый этот контур, через контур протекает электрический ток, называемый индукционным.

Изменение магнитного потока через замкнутый контур может быть обусловлено изменением: 1) величины магнитного поля (индукции B); 2) площади контура; 3) ориентации контура в магнитном поле.

В этом примере магнитный поток изменяется вследствие изменения индукции магнитного поля.

При изменении магнитной индукции произойдет изменение магнитного потока. Вследствие этого в витке возникнет ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Эта ЭДС индукции вызовет в рамке индукционный ток, мгновенное значение которого, согласно закону Ома для полной цепи, равно $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$;

R – сопротивление витка. Тогда $I_i R = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$.

Сопротивление контура $R = \rho \frac{l}{S'}$, где ρ – удельное сопротивление;

l – длина провода; S' – площадь сечения провода.

По условию проводники одинаковые, следовательно, $R_1 = R_2$.

По определению магнитного потока имеем

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где $S_1 = \pi r^2$ – площадь кругового контура; $S_2 = a^2$ – площадь квадратного контура; α – угол между нормалью к плоскости витка и линиями индукции:

$$I_1 R = -S \frac{\Delta B}{\Delta t} \cos \alpha.$$

Тогда $\frac{I_1}{I_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\pi r^2}{a^2}$

По условию $l_1 = l_2 \Rightarrow 2\pi r = 4a \Rightarrow a = \frac{\pi r}{2},$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{4\pi r^2}{\pi^2 r^2} = \frac{4}{\pi} = 1,274 \Rightarrow I_2 = \frac{I_1}{1,274} = \frac{0,4}{1,274} = 0,314 \text{ А.}$$

Ответ: $I_2 = 0,314 \text{ А.}$

1.3. ТАБЛИЦЫ ВАРИАНТОВ

Таблица 1

Распределение задач для РГЗ (МТФ, ФЛА, ФМА)

Вариант	Номер задач											
1	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56
2	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57
3	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58
4	4	9	14	19	23	29	34	39	44	49	54	59
5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Таблица 2

Распределение задач для РГЗ (АВТФ)

Вариант	Номер задач											
1	1	11	16	21	31	36	41	46	51	61	66	71
2	2	12	17	22	32	37	42	47	52	62	67	72
3	3	13	18	23	33	38	43	48	53	63	68	73
4	4	14	19	23	34	39	44	49	54	64	69	74
5	5	15	20	25	35	40	45	50	55	65	70	75

Таблица 3

Распределение задач для РГЗ (ФПМИ)

Вариант	Номер задач											
1	1	6	11	16	21	41	46	51	56	61	66	71
2	2	7	12	17	22	42	47	52	57	62	67	72
3	3	8	13	18	23	43	48	53	58	63	68	73
4	4	9	14	19	23	44	49	54	59	64	69	74
5	5	10	15	20	25	45	50	55	60	65	70	75

1.4. ЗАДАЧИ РГЗ

1. Два тела падают с высоты $H = 20$ м без начальной скорости, но одно из них встречает на своем пути закрепленную площадку, наклоненную под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. В результате удара о площадку направление скорости второго тела становится горизонтальным. Место удара находится на высоте $h = 10$ м. Определить время движения каждого из тел и расстояние между точками падения.

2. Первое тело бросают вертикально вверх со скоростью $v_0 = 10$ м/с. Одновременно с предельной высоты, которой оно может достичь, бросают вертикально вниз другое тело с той же начальной скоростью. Определить время движения и высоту, на которой тела встретятся.

3. Вертолет взлетел вертикально вверх со скоростью 8 м/с, и на высоте 120 м над землей из него выпал груз. Через какое время груз упадет на землю?

4. С какой высоты упало тело, если последний метр своего пути оно пролетело за 0,15 с?

5. Найти тормозной путь S_1 автомобиля, движущегося на горизонтальном участке со скоростью $v_1 = 72$ км/ч, если при скорости движения $v_2 = 36$ км/ч на этом же участке его тормозной путь $S_2 = 6,8$ м.

6. Угол поворота колеса, вращающегося вокруг неподвижной оси, изменяется по закону $\varphi = 0,3t^2$. Найти полное ускорение точки на ободе колеса в момент $t = 3$ с, если линейная скорость ее в этот момент $v = 0,5$ м/с.

7. Материальная точка начинает двигаться по плоской траектории так, что ее тангенциальное ускорение постоянно и равно $a_\tau = 30$ м/с², а нормальное ускорение зависит от времени по закону $a_n = 5t^2$, м/с². Найти зависимость полного ускорения и радиуса кривизны траектории от времени. Определить их значения через 2 с после начала движения.

8. Угловое ускорение тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, изменяется со временем по закону $\varepsilon = -2t$ рад/с². Найти выражения для угла поворота и угловой скорости тела. Считать в начальный момент $\varphi_0 = 0$, $\omega_0 = 10$ рад/с. Сколько оборотов сделает тело до остановки?

9. Точка, имея начальную скорость $v_0 = 108$ км/ч, проходит за время $t = 20$ с путь $s = 750$ м. Найти скорость и полное ускорение точки через $t = 20$ с движения. Радиус траектории точки $r = 1200$ м.

10. Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом $R = 10$ м с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,3$ м/с². Какой путь пройдет точка за время $t = 10$ с? Найти модуль вектора перемещения материальной точки за это время.

11. Брусок массой m тянут за нить по горизонтальной плоскости, прикладывая силу F под углом к горизонту. При этом брусок движется с постоянной скоростью. Коэффициент трения μ . Найти угол α , при котором натяжение нити будет наименьшим. Чему оно равно?

12. Тело массой m лежит на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$. Какой путь пройдет тело по наклонной плоскости за время $t = 1$ с, если наклонной плоскости сообщить ускорение $a = 3,8 \text{ м/с}^2$, направленное вертикально вниз? Коэффициент трения $\mu = 0,2$.

13. На вершине наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 15° , укреплен невесомый блок. Две гири равной массой 5 кг соединены нитью, перекинутой через блок. При этом одна из гирь лежит на наклонной плоскости, а другая висит на нити вертикально, не касаясь плоскости. Найти натяжение нити и ускорение грузов. Трением в блоке и трением о плоскость пренебречь.

14. Автомобиль массой 5 т едет по вогнутому мосту с постоянной скоростью 10 м/с . Радиус кривизны моста равен 500 м . Вычислить силу, действующую на мост со стороны автомобиля в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет с направлением на его вершину угол 40° .

15. Тело толкнули вверх по наклонной плоскости с начальной скоростью $v_0 = 10 \text{ м/с}$. Коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,2$. Определить угол при основании наклонной плоскости, при котором время подъема тела будет минимальным. Чему оно равно?

16. На наклонной плоскости с углом наклона 60° лежит тело массой $0,5 \text{ кг}$, связанное невесомой нерастяжимой нитью с телом массой 2 кг . Нить переброшена через блок массой 1 кг и радиусом 20 см , закрепленный на вершине наклонной плоскости. Коэффициент трения первого тела о поверхность стола равен $0,2$. Чему равно ускорение движения грузов? Чему равно угловое ускорение вращения блока? Блок считать полым тонкостенным цилиндром.

17. Маховик в виде сплошного диска равномерно вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно поверхности диска. Под действием тормозящего момента $M = 0,60 \text{ Н} \cdot \text{м}$ маховик останавливается, сделав $N = 10$ оборотов. С какой частотой вращался диск, если его масса $m = 1,50 \text{ кг}$, а радиус $R = 0,10 \text{ м}$?

18. Полый тонкостенный цилиндр, вращающийся с угловой скоростью 15 рад/с , поставили на горизонтальную поверхность. За какое время цилиндр пройдет расстояние $5,7 \text{ м}$, если его радиус равен 12 см ,

а коэффициент трения между цилиндром и горизонтальной поверхностью равен 0,25?

19. На горизонтальную ось радиусом 0,02 м и массой 0,2 кг насажен шкив радиусом 0,05 м и массой 0,05 кг, имеющий форму полого тонкостенного цилиндра. На шкив намотан шнур, к концу которого прикреплен груз массой 1 кг. В начальный момент груз находится на высоте 2 м над полом. Сколько времени потребуется грузу, чтобы опуститься? Чему будет равно угловое ускорение вращения шкива в этот момент?

20. Тонкий стержень длиной 1,5 м и массой 2 кг может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня. На противоположном конце закреплен маленький шарик массой 0,5 кг. Стержень отклонили на угол $\alpha = 20^\circ$ и отпустили. Найти угловое ускорение вращения стержня и тангенциальное ускорение движения шарика в начальный момент.

21. Два упругих шарика, массы которых $m_1 = 100$ г и $m_2 = 300$ г, подвешены на одинаковых нитях длиной $l = 50$ см и касаются друг друга. Первый шарик отклонили от положения равновесия на угол $\alpha = 60^\circ$ и отпустили. На какую высоту поднимется второй шарик после абсолютно упругого удара?

22. Тело массой 5 кг ударяется о неподвижное тело массой 2,5 кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией 5 Дж. Считая удар центральным и упругим, найти кинетическую энергию первого тела до и после удара.

23. Пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $v = 800$ м/с, попадает в брусок массой $M = 1,0$ кг, лежащий на горизонтальной поверхности, и застревает в нем. Найти расстояние S , пройденное бруском до полной остановки, если коэффициент трения между бруском и поверхностью $\mu = 0,4$.

24. Частица с кинетической энергией W_0 упруго сталкивается с такой же неподвижной частицей и отскакивает от нее под углом 60° . Определить кинетические энергии частиц после соударения.

25. На вращающийся диск массой $M = 2$ кг и радиусом $R_1 = 1$ м бросают без вращения обруч массой $m = 1$ кг и радиусом $R_2 = 0,5$ м.

Насколько изменится угловая скорость вращения системы, если после падения обруча на диск его центр будет находиться на расстоянии $r = 0,25$ м от оси вращения диска? Начальная скорость вращения диска $\omega_1 = 2$ рад/с.

26. Какой объем займут при нормальных условиях $7 \cdot 10^{28}$ молекул углекислого газа?

27. Оценить отношение суммарного объема молекул воздуха к объему, в котором они находятся при нормальных условиях. Диаметр молекул воздуха принять равным $d = 0,37$ нм.

28. Найти для углекислого газа: 1) массу одной молекулы; 2) число молекул, содержащихся в единице массы; 3) число молекул в 1 м^3 при нормальных условиях.

29. Температура T смеси азота и водорода такова, что азот полностью диссоциирован на атомы, диссоциацией водорода можно пренебречь, давление в сосуде равно P . При температуре $2T$, когда оба газа полностью диссоциированы, давление в сосуде равно $3P$. Определить отношение числа молей азота к числу молей водорода в смеси. Какого газа по массе содержится в сосуде больше и во сколько раз?

30. Вычислить объем и диаметр молекул меди.

31. Идеальный газ находится в вертикальном цилиндре под поршнем массой $m_1 = 5$ кг. Какой должна быть масса поршня, чтобы он остался в прежнем положении, когда абсолютная температура газа будет уменьшена на 25 %? Атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа, площадь поршня $S = 10 \text{ см}^2$.

32. Азот находится в баллоне при температуре $T = 450$ К. Насколько изменится плотность ρ азота при изменении давления на $\Delta p = 1,5$ МПа и неизменной температуре $T = \text{const}$?

33. Компрессор засасывает из атмосферы каждую секунду 4 л воздуха, который подается в баллон вместимостью $V = 120$ л. Через сколько времени давление в баллоне будет превышать атмосферное в 9 раз, если температура воздуха в баллоне равна 300 К, а температура атмосферного воздуха 290 К? Начальное давление в баллоне равно атмосферному.

34. Найти молярную массу смеси, состоящей из гелия и азота, если массы газов одинаковые.

35. В сосуде при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $0,2\text{ МПа}$ содержится смесь кислорода массой 16 г и азота массой 21 г . Определить плотность смеси.

36. При расширении 15 моль идеального одноатомного газа давление растет пропорционально его объему. Насколько увеличилась температура газа, если для его нагревания потребовалось количество теплоты 1 кДж ?

37. Водород массой 1 кг , находившийся при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, изотермически расширили до двойного объема, а затем изохорически охладдили, уменьшив давление в 4 раза. Изобразить процессы в координатах p – V . Определить полное изменение внутренней энергии и совершенную газом работу.

38. Азот массой $m = 35\text{ г}$, имевший температуру $T = 295\text{ К}$, адиабатически расширился, увеличившись в объеме в $3,5$ раза. Затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшился в 2 раза. Определить полную работу газа и его конечную температуру.

39. Азот массой 500 г , находящийся под давлением 1 МПа при температуре $127\text{ }^{\circ}\text{C}$, подвергли изотермическому расширению, в результате которого давление газа уменьшилось в 3 раза. После этого газ подвергли адиабатному сжатию до начального давления, а затем он был изобарно сжат до начального объема. Построить график цикла и определить работу, совершенную газом за цикл.

40. Кислород, масса которого $m = 160\text{ г}$ при температуре $t_1 = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ расширяется изотермически, а затем изохорно нагревается до $t_2 = 127\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найти изменение энтропии, если известно, что начальное и конечное давление одинаково.

41. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром 20 см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью 4 мКл/м^2 . Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстояние 15 см . Построить график зависимости $E(r)$.

42. На двух коаксиальных бесконечно длинных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1 = 50 \text{ нКл/м}^2$ и $\sigma_2 = 100 \text{ нКл/м}^2$. Найти модуль и направление вектора напряженности электрического поля в точках A и B на расстояниях $r_A = 0,5R$ и $r_B = 2,5R$ от оси цилиндров. Рассчитать разность потенциалов поля между точками B и C , если точка C отстоит от оси цилиндров на расстояние $r_C = 3R$. Принять $R = 3 \text{ см}$. Построить график зависимости $E(r)$.

43. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами $R_1 = 5 \text{ см}$ и $R_2 = 8 \text{ см}$. Заряды сфер соответственно равны $q_1 = -2 \text{ нКл}$ и $q_2 = 1 \text{ нКл}$. Определить напряженность и потенциал электростатического поля в точках, лежащих от центра сфер на расстояниях: 1) $r_1 = 3 \text{ см}$; 2) $r_2 = 6 \text{ см}$; 3) $r_3 = 10 \text{ см}$. Построить графики качественных зависимостей $E_r(r)$ и $\varphi(r)$.

44. Считая Землю шаром радиусом $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$, определить заряд Q , который несет Земля, если напряженность электрического поля у ее поверхности в среднем равна $E = 130 \text{ В/м}$. Определить потенциал поля Земли на расстоянии $h = 600 \text{ км}$ от ее поверхности.

45. Электростатическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью соответственно $\sigma_1 = -5 \text{ нКл/м}^2$ и $\sigma_2 = 2 \text{ нКл/м}^2$. Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной плоскостям.

46. На расстоянии $d_1 = 2 \text{ см}$ от бесконечной плоскости, имеющей поверхностную плотность заряда $\sigma = 3 \text{ нКл/м}^2$, находится заряд $q = 0,1 \text{ нКл}$. Силами электростатического поля этот заряд был перемещен вдоль силовой линии в точку, отстоящую от плоскости на расстояние $d_2 = 4 \text{ см}$. Определить работу сил поля и разность потенциалов между начальной и конечной точкой.

47. Найти распределение потенциала внутри и снаружи плоского конденсатора, заполненного диэлектриком с $\varepsilon = 20$, одна из пластин которого заземлена ($\varphi_1 = 0$), а потенциал второй $\varphi_2 = 10$ В. Расстояние между пластинами $d = 1$ см. Построить график зависимости $\varphi(x)$.

48. Через две вершины квадрата со стороной 200 мм проходит бесконечно длинная заряженная нить с линейной плотностью 30,0 нКл/м, а в двух других вершинах находятся точечные заряды 20,0 и $-40,0$ нКл. Найти разность потенциалов электрического поля между центром квадрата и серединой дальней от нити стороны квадрата, на которой расположены точечные заряды.

49. Три точечных заряда расположены вдоль прямой на расстоянии $a = 0,2$ м друг от друга. Какую работу необходимо совершить, чтобы поместить заряды в вершины равностороннего треугольника? Величина каждого заряда $q = 1$ нКл, сторона треугольника $a = 0,2$ м.

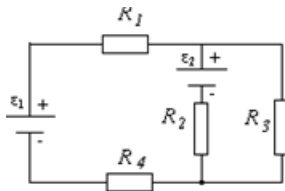
50. Длинный цилиндр радиусом $R = 1$ см равномерно заряжен с линейной плотностью $t = 10^{-5}$ Кл/м. Попавшая в поле цилиндра α -частица перемещается вдоль силовой линии от поверхности цилиндра до точки, находящейся на расстоянии 4 см от его поверхности. Как при этом изменится энергия α -частицы?

51. Найти электродвижущую силу элемента $\mathcal{E}$, если известно, что при увеличении сопротивления нагрузки, подключенной к элементу, в $n = 4$ раза напряжение на нагрузке увеличивается от $U_1 = 5$ В до $U_2 = 15$ В.

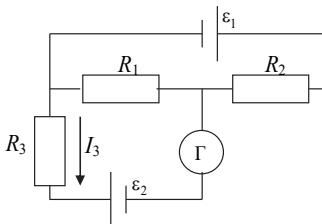
52. Два источника тока с равными ЭДС соединены последовательно. Внутренние сопротивления источников $r_1 = 5$ Ом и $r_2 = 2$ Ом. Определить, при каком внешнем сопротивлении R разность потенциалов на полюсах одного из источников будет равна нулю.

53. К аккумулятору с внутренним сопротивлением 0,3 Ом подключают вольтметр и резистор сопротивлением 150 Ом один раз параллельно, а другой – последовательно. При этом показания вольтметра не изменяются. Рассчитать сопротивление вольтметра.

54. Определить токи во всех ветвях указанной на рисунке цепи, если $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 5$ В; $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 8,4$ Ом.



55. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра: $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 50 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$. Гальванометр регистрирует ток $I_3 = 50 \text{ мА}$, идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить ЭДС второго элемента ε_2 . Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.



56. ЭДС источника тока $\varepsilon = 2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 1 \text{ Ом}$. Определить силу тока, если внешняя цепь потребляет мощность $P = 0,75 \text{ Вт}$. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

57. Найти внутреннее сопротивление аккумулятора, если при увеличении внешнего сопротивления с 5 до 10 Ом КПД схемы увеличился в $1,5$ раза.

58. Батарея аккумуляторов замкнута на сопротивление $R = 30 \text{ Ом}$. Мощность, выделяющаяся во внешней цепи, не изменится, если параллельно сопротивлению R подключить еще 9 таких же сопротивлений. Найти внутреннее сопротивление батареи.

59. При включении в электрическую цепь проводника диаметром $0,5 \text{ мм}$ и длиной 43 мм разность потенциалов на концах проводника составила $2,4 \text{ В}$ при токе 2 А . Определить удельное сопротивление материала проводника.

60. Два проводника, соединенных параллельно и имеющих сопротивления при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $R_1 = 30\text{ Ом}$ и $R_2 = 60\text{ Ом}$, нагреваются до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, в результате чего их общее сопротивление становится равным 22 Ом . Найти температурный коэффициент сопротивления. Изменением длины пренебречь.

61. По кольцевому проводнику радиусом $R = 5\text{ см}$ течет ток $I_1 = 10\text{ А}$. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии $d = 2\text{ см}$ над его центром проходит прямой проводник с током $I_2 = 4\text{ А}$. Определить индукцию поля в центре кольца (среда – воздух).

62. Проводник с током 100 А имеет форму окружности с радиусом 20 см , у которой третья часть дуги заменена прямолинейным проводником. Определить напряженность магнитного поля в центре окружности.

63. Бесконечно длинный проводник с током 54 А изогнут под прямым углом. Найти магнитную индукцию в точке, лежащей на одном из прямолинейных участков проводника на расстоянии 50 см от вершины угла.

64. Два соосных круговых витка радиусами 20 см и 60 см с токами 100 А и 20 А лежат в параллельных плоскостях на расстоянии 30 см друг от друга. Найти напряженность магнитного поля в центре первого витка, если токи в витках направлены в противоположные стороны.

65. Найти напряженность магнитного поля в центре полукольца, соединенного своими концами с двумя полубесконечными параллельными проводниками. Расстояние между проводниками равняется 1 м , и по ним течет ток силой 1 А . Все проводники лежат в одной плоскости.

66. Протон, ускоренный разностью потенциалов $U = 500\text{ кВ}$, пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,51\text{ Тл}$. Толщина области с полем $d = 10\text{ см}$. Найти угол α отклонения протона от первоначального направления движения.

67. Одновалентные ионы, массовые числа которых $A_1 = 20$ и $A_2 = 22$, разгоняются в электрическом поле при разности потенциалов $U = 4,0\text{ кВ}$, а затем влетают в магнитное поле с индукцией $B = 0,25\text{ Тл}$ перпендикулярно силовым линиям. Описав полуокружность, ионы вылетают двумя пучками. Определить расстояние между пучками.

68. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 3000$ В, влетает в магнитное поле соленоида под углом $\alpha = 30^\circ$ к его оси. Число ампер-витков соленоида $IN = 5000$ А. Длина соленоида 25 см. Найти шаг винтовой линии электрона в магнитном поле соленоида.

69. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $a = 10$ см друг от друга, текут одинаковые токи силой $I = 100$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Определить силу F_1 , действующую на отрезок длиной $l = 1$ см каждого проводника.

70. Прямоугольная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что ее бо́льшая сторона $a = 2$ см параллельна проводу. Другая сторона рамки в 2 раза меньше. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой $I_1 = I_2 = 1$ кА. Определить силу, действующую на рамку, и показать ее направление, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном $a/3$.

71. В магнитном поле с индукцией, изменяющейся со скоростью 4 мТл/с, находится соленоид. Ось соленоида составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с вектором магнитной индукции. Диаметр витков соленоида 15 см, а их число равно 200. Сопротивление соленоида 30 Ом. Найти заряд, протекающий по соленоиду за время $t = 10$ с.

72. Рамка из проволоки площадью $S = 3 \text{ см}^2$ помещена в однородное магнитное поле с индукцией, изменяющейся со временем по закону $B = 2t^2$ (Тл). Плоскость рамки перпендикулярна линиям индукции. Какое количество теплоты выделится в рамке за промежуток от 0 до 8 с, если ее сопротивление $R = 0,1$ Ом?

73. Прямоугольная проволочная рамка со сторонами a и b , имеющая сопротивление R , находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости витка. Модуль магнитной индукции зависит от времени t по закону $B(t) = B_0 e^{-\alpha t}$, где B_0 , α – постоянные. Найти зависимость тока в рамке от времени.

74. Плоский проводящий контур, имеющий вид квадрата со стороной $a = 20$ см, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном

к его плоскости. Найти амплитудное значение индукционного тока, возникшего в контуре, если магнитное поле, пронизывающее контур, будет меняться по закону $B = B_0 \sin(\omega t)$, где $B_0 = 10$ мТл, $\omega = 100$ рад/с. Сопротивление единицы длины контура $\rho = 50$ мОм/м. Индуктивностью контура пренебречь.

75. В однородном магнитном поле напряженностью 1000 А/м равномерно вращается круглая рамка, имеющая 100 витков средним радиусом 6 см. Ось вращения совпадает с диаметром рамки и перпендикулярна полю. Сопротивление рамки 1 Ом; угловая скорость ее вращения 10 рад/с. Найти максимальную силу тока в рамке.

2. ЭКЗАМЕН

2.1. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ВО II СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ МТФ, ФЛА, ФМА

Согласно учебной программе во II учебном семестре по дисциплине физика на МТФ, ФЛА, ФМА предусмотрено изучение следующих разделов: классическая и релятивистская механика, молекулярная физика и термодинамика, электростатика и постоянный ток.

1. Понятие о системах отсчета. Идеализированные модели тел. Траектория, путь, перемещение. Скорость и ускорение при произвольной траектории движения.

2. Кинематика поступательного движения. Кинематика вращательного движения.

3. Динамика материальной точки. Сила, масса, импульс.

4. Законы Ньютона.

5. Закон сохранения импульса.

6. Центр инерции. Теорема о движении центра инерции.

7. Работа и мощность.

8. Кинетическая энергия и ее связь с работой результирующей силы. Потенциальная энергия.

9. Закон сохранения полной механической энергии.

10. Момент силы. Момент инерции. Теорема Штейнера.

11. Кинетическая энергия твердого тела при его вращении вокруг неподвижной оси. Работа при вращении твердого тела.

12. Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент импульса и закон его сохранения.

13. Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея. Постулаты Эйнштейна.

14. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца (одновременность и длительность событий, длина тел в разных инерциальных системах отсчета).
15. Интервал между событиями. Типы интервалов.
16. Релятивистский закон преобразования скоростей.
17. Релятивистская масса. Релятивистский импульс.
18. Основное уравнение релятивистской динамики. Кинетическая энергия релятивистской частицы.
19. Взаимосвязь массы и энергии, энергии и импульса.
20. Макросистемы. Методы изучения макросистем.
21. Параметры состояния. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа.
22. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
23. Распределение молекул идеального газа по скоростям. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.
24. Число степеней свободы молекулы. Внутренняя энергия. Теплоемкость.
25. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении объема.
26. Изопроцессы. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.
27. Круговые процессы. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
28. Второе начало термодинамики. Энтропия. Вычисление энтропии.
29. Кинетические явления.
30. Электрический заряд, его свойства. Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона. Принцип суперпозиции.
31. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции для вектора напряженности. Электрический диполь. Поведение диполя в электрическом поле.
32. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для вектора напряженности в вакууме. Применение теоремы Гаусса к расчету электрических полей.
33. Работа электростатического поля по перемещению заряда. Потенциал.
34. Теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля. Связь напряженности и потенциала. Поляризация диэлектриков.

35. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Условия на границе раздела двух диэлектриков. Преломление силовых линий.

36. Проводники в электростатическом поле. Емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Емкость конденсатора (плоского, сферического, цилиндрического). Параллельное и последовательное соединение конденсаторов.

37. Энергия системы зарядов. Энергия уединенного проводника. Энергия заряженного конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.

38. Постоянный электрический ток. Сила тока. Плотность тока.

39. ЭДС. Напряжение.

40. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника. Последовательное и параллельное соединение проводников.

41. Работа и мощность тока. Закон Джоуля–Ленца.

42. Закон Ома для неоднородного участка цепи.

2.2. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ВО II СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ АВТФ

Согласно учебной программе во II учебном семестре по дисциплине «физика» на факультете АВТФ предусмотрено изучение следующих разделов: классическая и релятивистская механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм.

1. Система отсчета. Идеализированные модели тел. Траектория, путь, перемещение. Способы описания движения материальной точки.

2. Кинематические характеристики поступательного и вращательного движения, связи между ними.

3. Законы динамики материальной точки. Инерциальные системы отсчета. Понятия массы, силы.

4. Импульс тела, импульс системы тел. Закон сохранения импульса. Центр масс. Теорема о движении центра масс.

5. Работа при механическом движении. Мощность.

6. Кинетическая энергия и ее связь с работой результирующей силы.

7. Консервативные силы. Потенциальная энергия в поле консервативных сил. Потенциальная энергия в поле сил упругости и гравитации.

8. Механическая энергия. Закон сохранения энергии в механике, условия его выполнения.

9. Центральный абсолютно упругий и неупругий удары. Применение законов импульса и энергии к этим видам удара.

10. Момент силы (относительно точки и относительно оси). Момент инерции. Моменты инерции тел (стержень, диск, обруч, шар). Теорема Штейнера.

11. Кинетическая энергия твердого тела при его вращении вокруг неподвижной оси. Работа при вращении твердого тела.

12. Момент импульса материальной точки относительно точки и относительно оси вращения. Закон сохранения момента импульса.

13. Связь между моментом импульса материальной точки, системы точек и моментом силы. Уравнение моментов. Основной закон динамики вращательного движения.

14. Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея. Постулаты Эйнштейна.

15. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца (одновременность и длительность событий, длина тел в разных инерциальных системах отсчета). Релятивистский закон преобразования скоростей.

16. Релятивистский импульс. Основное уравнение релятивистской динамики.

17. Кинетическая энергия релятивистской частицы. Взаимосвязь массы и энергии, энергии и импульса.

18. Пространственно-временной интервал между событиями. Типы интервалов. Инварианты СТО.

19. Динамические и статистические закономерности в физике. Макросистемы. Термодинамический и статистический методы.

20. Параметры состояния. Температура. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа.

21. Давление. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.

22. Функция распределения молекул по скоростям (распределение Максвелла), анализ функции распределения. Характеристические скорости молекул. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.

23. Число степеней свободы молекулы. Внутренняя энергия идеального газа. Теплоемкость. Уравнение Майера.

24. Понятие теплоты, работы. Первое начало термодинамики. Применение первого начала термодинамики к термодинамическим процессам.
25. Круговые процессы. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
26. Энтропия. Вычисление энтропии. Второе начало термодинамики.
27. Явления переноса.
28. Электрический заряд, его свойства. Взаимодействие электрических зарядов. Закон Кулона. Принцип суперпозиции.
29. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции для вектора напряженности. Силовые линии электростатического поля и их свойства.
30. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для вектора напряженности в вакууме. Применение теоремы Гаусса к расчету электрических полей (заряженные бесконечная плоскость, цилиндр, сфера и шар).
31. Работа сил электрического поля. Циркуляция вектора напряженности. Условие потенциальности электростатического поля. Электростатический потенциал. Связь между напряженностью и потенциалом. Взаимное расположение эквипотенциальных поверхностей и силовых линий.
32. Потенциальная энергия заряда во внешнем электростатическом поле. Потенциал поля точечного заряда.
33. Электрический диполь. Дипольный момент. Потенциал и напряженность электростатического поля диполя. Поведение диполя в электрическом поле.
34. Свободные и связанные заряды в веществе. Поляризация диэлектриков. Виды поляризации. Вектор диэлектрической поляризации. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества.
35. Вектор электрической индукции (электрического смещения). Электрическое поле внутри диэлектрика. Граничные условия для индукции, напряженности и потенциала электростатического поля на поверхности раздела диэлектриков.
36. Электростатическое поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение статических зарядов на поверхности проводника.
37. Электрическая емкость уединенного проводника. Электрический конденсатор. Емкость конденсатора. Плоский, цилиндрический и сферический конденсаторы. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов.

38. Энергия взаимодействия системы электрических зарядов. Энергия заряженного конденсатора. Энергия поля. Плотность энергии электрического поля.

39. Электрический ток. Сила тока. Плотность тока. Уравнение непрерывности. Постоянный ток.

40. Напряжение на участке цепи без источника тока. Закон Ома для участка цепи. Активное сопротивление. Удельное сопротивление. Проводимость вещества. Закон Ома в дифференциальной форме.

41. Источники тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила (ЭДС). Напряжение и закон Ома для участка цепи, содержащего источник ЭДС. Замкнутые и разветвленные цепи. Правила Кирхгофа.

42. Работа и мощность тока. Закон Джоуля–Ленца в интегральной и дифференциальной форме.

43. Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле. Магнитная индукция. Напряженность магнитного поля. Силовые линии магнитного поля.

44. Закон Био–Савара–Лапласа и его применение к расчету магнитных полей (прямой и круговой ток).

45. Сила Лоренца. Движение заряженной частицы в магнитном поле.

46. Сила Ампера. Взаимодействие проводников с током.

47. Контур с током в однородном магнитном поле.

48. Работа перемещения проводника с током в магнитном поле.

49. Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока. Магнитное поле соленоида.

50. Намагничивание вещества. Намагниченность. Магнитная восприимчивость.

51. Классификация магнетиков. Природа и механизмы намагничивания.

52. Условия для магнитного поля на границе раздела двух магнетиков.

53. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца. Самоиндукция. ЭДС индукции.

54. Индуктивность. Взаимная индуктивность. Индуктивность соленоида.

55. Энергия электрического поля. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

56. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной форме.

2.3. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ В III СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФПМИ

Согласно учебной программе в III учебном семестре по дисциплине «Физика» на факультете ФПМИ предусмотрено изучение следующих разделов: классическая и релятивистская механика, электричество и магнетизм.

1. Способы описания движения материальной точки. Кинематические характеристики движения. Поступательное движение твердого тела.

2. Кинематика вращательного движения твердого тела. Угловые характеристики вращательного движения.

3. Связь угловых и линейных характеристик при вращательном движении твердого тела.

4. Инерциальные системы отсчета. Законы Ньютона.

5. Фундаментальные взаимодействия и силы в механике.

6. Динамика системы материальных точек. Центр инерции и его движение.

7. Импульс тела и системы тел. Закон сохранения импульса.

8. Момент импульса системы материальных точек. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса.

9. Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент силы. Момент инерции тела.

10. Кинетическая энергия и работа сил при поступательном движении тел.

11. Кинетическая энергия и работа сил при вращательном движении тел.

12. Поле консервативных сил. Работа консервативных сил. Потенциальная энергия. Связь силы и потенциальной энергии.

13. Механическая энергия системы тел. Закон сохранения механической энергии.

14. Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея.

15. Опыт Майкельсона и Морли. Скорость света в вакууме.

16. Принцип относительности в релятивистской механике. Постулаты Эйнштейна и следствия из них.

17. Преобразования Лоренца. Относительность пространственных и временных интервалов между событиями.
18. Пространственно-временной интервал между событиями. Инвариантность интервала. Типы интервалов.
19. Релятивистский закон сложения скоростей. Предельное значение скорости движения.
20. Релятивистский импульс. Основное уравнение релятивистской динамики.
21. Эксперимент У. Бертоцци.
22. Масса и энергия в специальной теории относительности. Безмассовые частицы. Полная энергия частицы и системы частиц.
23. Инварианты специальной теории относительности.
24. Законы сохранения в специальной теории относительности.
25. Электрические заряды, их носители и свойства. Характеристики распределений зарядов в пространстве. Закон Кулона.
26. Электростатическое поле в вакууме. Вектор напряженности и потенциал электростатического поля. Принцип суперпозиции.
27. Теорема Гаусса для напряженности электростатического поля в вакууме. Применение теоремы.
28. Диэлектрик в электростатическом поле. Механизмы поляризации. Поляризованность.
29. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Применение теоремы.
30. Условия на границе раздела двух диэлектриков. Линии векторов $\vec{D}$ и $\vec{E}$ на границе раздела.
31. Проводник в электростатическом поле. Поле у поверхности проводника. Свойства проводящей оболочки.
32. Электрическая емкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов.
33. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия заряженных проводников.
34. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.
35. Электрический ток, его характеристики и условия существования. Сторонние силы. ЭДС.
36. Закон Ома в интегральной и локальной форме.
37. Закон Джоуля–Ленца в интегральной и локальной форме.

38. Релятивистское описание взаимодействия движущихся зарядов. Сила Лоренца. Магнитное поле движущегося заряда.

39. Закон Био–Савара–Лапласа. Применение для расчета индукции магнитного поля проводников с током. Магнитное поле прямого проводника с током.

40. Интегральные теоремы для вектора индукции магнитного поля.

41. Сила Лоренца и движение заряженных частиц в магнитном поле.

42. Сила Ампера. Работа по перемещению проводника в магнитном поле.

43. Контур с током в магнитном поле. Магнитный момент контура.

44. Вещество в магнитном поле. Магнитный момент атома. Механизмы намагничивания.

45. Прецессия электронных орбит в магнитном поле. Диамагнитный механизм намагничивания.

46. Намагниченность и токи намагничивания. Вектор напряженности магнитного поля.

47. Ферромагнетики. Особенности намагничивания. Явление гистерезиса.

48. Условия на границе раздела двух магнетиков. Линии векторов $\vec{B}$ и $\vec{H}$ на границе раздела.

49. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца. Индукционная ЭДС и механизмы ее возникновения.

50. Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Индуктивность соленоида.

51. Взаимная индукция. ЭДС взаимной индукции.

52. Энергия магнитного поля проводников с током. Плотность энергии магнитного поля.

53. Гипотеза Максвелла. Ток смещения. Вихревое электрическое поле.

54. Уравнения Максвелла в интегральной форме.

55. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.

2.4. СТАНДАРТНЫЕ ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ

Раздел: механика

1. Движение материальной точки описывается уравнением

$$S = At^4 + Bt^2 + C,$$

где $A = 1,0 \text{ м/с}^4$, $B = 2,0 \text{ м/с}^2$, $C = 7,0 \text{ м}$. Найти скорость и ускорение точки в момент $t = 2,0 \text{ с}$ и среднюю скорость за первые $2,0 \text{ с}$ движения.

2. Колесо вращается вокруг неподвижной оси так, что угол поворота зависит от времени по закону $\varphi = kt^2$, где $k = 0,2 \text{ с}^{-2}$. Найти полное ускорение точки на ободе колеса в момент $t = 2,5 \text{ с}$, если линейная скорость точки в этот момент равна $0,65 \text{ м/с}$.

3. Санки можно удержать на ледяной горе с уклоном $0,30(\sin \alpha)$ силой 60 Н , а предоставленные самим себе они скатываются с ускорением $a = 2,0 \text{ м/с}^2$. Какую силу надо приложить к санкам, чтобы тянуть их в гору равномерно?

4. Шар радиусом $R = 0,20 \text{ м}$ и массой $m = 10 \text{ кг}$ вращается вокруг оси, проходящей через его центр. По какому закону меняется момент силы и момент импульса шара, если угловое ускорение шара меняется со временем по закону $\varepsilon = At$, с^{-2} , где $A = 2 \text{ с}^{-3}$. В начальный момент ($t = 0$) шар покоился.

5. Конькобежец массой 70 кг , стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой $3,0 \text{ кг}$ со скоростью $8,0 \text{ м/с}$. На какое расстояние откатится конькобежец, если коэффициент трения коньков об лед $\mu = 0,02$?

Раздел: молекулярная физика и термодинамика

6. Вычислить молярную массу воздуха. Считать, что в воздухе содержится 78% азота, 21% кислорода и 1% аргона по массе.

7. Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью $V = 11,2 \text{ л}$. Определить количество вещества ν газа и его массу m .

8. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд вместимостью $V = 3$ л, если плотность газа $\rho = 6,65 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

9. Определить удельную теплоемкость c_V смеси газов, содержащей $V_1 = 5$ л азота и $V_2 = 3$ л гелия. Газы находятся при одинаковых условиях.

10. Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m = 4$ г от объема $V_1 = 5$ л до объема $V_2 = 9$ л.

Раздел: электричество

11. Расстояние d между двумя точечными зарядами $+8$ нКл и $+5,3$ нКл равно 40 см. Вычислить напряженность E поля в точке, лежащей посередине между зарядами.

12. Найти потенциальную энергию системы трех точечных зарядов 10, 20 и -30 нКл, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см.

13. Плоский воздушный конденсатор электроемкостью 2,2 нФ заряжен до разности потенциалов 300 В. После отключения от источника напряжения расстояние между обкладками конденсатора было увеличено в пять раз. Найти: 1) емкость конденсатора после раздвигания его обкладок; 2) разность потенциалов на обкладках конденсатора после их раздвигания.

14. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до $I = 10$ А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление R_a амперметра равно 0,02 Ом, а сопротивление $R_{ш}$ шунта равно 5 мОм?

15. Два гальванических элемента ($\mathcal{E}_1 = 1,2$ В, $r_1 = 0,1$ Ом; $\mathcal{E}_2 = 0,9$ В, $r_2 = 0,3$ Ом) соединены одноименными полюсами. Сопротивление R соединительных проводов равно 0,2 Ом. Определить силу тока I в цепи.

Раздел: магнетизм

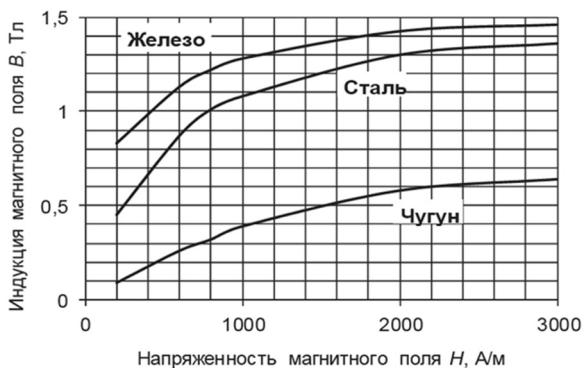
16. По двум бесконечно длинным прямым проводам, находящимся на расстоянии $d = 5$ см друг от друга в воздухе, текут токи силой $I = 10$ А каждый. Определить индукцию магнитного поля, создаваемого токами

в точке O , лежащей посередине между проводами, в случае если провода параллельны, токи текут в одном направлении.

17. Найти скорость α -частицы, которая при движении в пространстве, где имеются взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, не испытывает никакого отклонения. Магнитная индукция поля $B = 6$ мТл, напряженность электрического поля $E = 6$ кВ/м.

18. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 500$ В, попал в вакууме в однородное магнитное поле и движется по окружности радиусом $R = 10$ см. Определить величину вектора магнитной индукции.

19. Железный сердечник находится в однородном магнитном поле напряженностью 1 кА/м. Определить индукцию магнитного поля в сердечнике и магнитную проницаемость железа.



20. Магнитный поток $\Phi = 40$ мВб пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение ЭДС индукции, возникающей в контуре, если магнитный поток изменится до нуля за время $\Delta t = 2$ мс.

2.5. СТРУКТУРА, ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА ТРЕБОВАНИЯ К ОТВЕТАМ

В экзаменационных билетах, предлагаемых студентам при закрытии долга по физике, содержится два теоретических вопроса и одна задача.

Пример варианта экзаменационного билета по физике (II семестр, МТФ, ФЛА, ФМА)

1. Закон сохранения импульса.
2. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для вектора напряженности в вакууме.
3. Азот массой $m = 200$ г расширяется изотермически при температуре $T = 280$ К, причем объем газа увеличивается в два раза. Найти: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) совершенную при расширении газа работу A ; 3) количество теплоты Q , полученное газом.

Пример варианта экзаменационного билета по физике (II семестр, АВТФ)

1. Механическая энергия. Закон сохранения энергии в механике, условия его выполнения.
2. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца. Самоиндукция. ЭДС индукции.
3. При нагревании газа при постоянном объеме на 1 К его давление увеличилось на 0,2 %. При какой температуре газ находился вначале?

Пример варианта экзаменационного билета по физике (III семестр, ФПМИ)

1. Основное уравнение динамики вращательного движения. Момент силы. Момент инерции тела.
2. Электрическая емкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов.
3. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиусы витков составляют 2,5 и 4,0 см, а токи в витках 3 А и 5 А соответственно. Найдите индукцию магнитного поля в центре этих витков.

На экзаменационные вопросы студент отвечает в письменном виде, затем экзаменатор проводит очное собеседование со студентом по вопросам билета.

При подготовке к ответам на теоретический вопрос студенту следует продумать логику изложения материала, чтобы раскрыть содержание вопроса исчерпывающим образом. При ответах на вопросы необходимо продемонстрировать достаточное владение теоретическим материалом. Оценка может быть снижена за неправильное и неуместное использование специальной физической терминологии, за нечеткое определение того или иного понятия в рамках теоретического вопроса в билете или задачи. В случае если ответ на вопрос был недостаточно полным, экзаменатор может задать студенту дополнительные вопросы, ответ на которые окажет влияние на общую оценку сдающего экзамен.

При подготовке к ответам на теоретические вопросы удобно пользоваться изложенным ниже алгоритмом ответов.

Эксперимент: цель проведения; схема; ход эксперимента, результаты.

Явление: указать признаки, по которым оно обнаруживается; назвать условия его протекания; взаимосвязь с другими явлениями; практическое применение.

Физическая величина: назвать, какое явление или свойство характеризует; дать определение; записать формулу, связывающую с другими величинами; указать единицы измерения; назвать способы измерения.

Закон: дать формулировку; записать математическое выражение; показать опытное подтверждение и практическое применение.

Прибор: объяснить, как действует; устройство; назначение; применение.

При решении задач студент должен уметь объяснить используемые законы и формулы, условия их применения, пояснить математические преобразования, выполненные в ходе решения, оценить реальность полученного результата.

Для получения положительной оценки студент должен справиться с 50 % и более заданий билета, четко формулировать определения физических величин и физических законов и их следствий. Неспособность студента решить экзаменационную задачу, оперировать пройденными в процессе изучения физики понятиями, определениями и законами, употребление их в неправильном контексте являются основанием для получения неудовлетворительной оценки.

2.6. ДИСТАНЦИОННЫЙ ФОРМАТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

При переходе на дистанционный формат обучения предусмотрена возможность сдачи экзамена путем тестирования с помощью системы DiSpace. Для получения положительной оценки необходимо выполнить не менее 50 % тестовых заданий. По результатам тестирования со студентом проводится собеседование (очное или через вебинар), на котором он должен пояснить свои решения тестовых заданий на основании используемых определений, законов и формул.

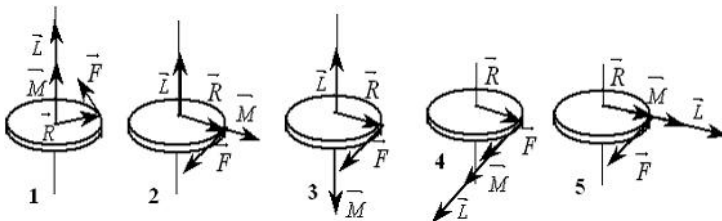
В рамках экзаменационного тестирования используются тесты с выбором одного или нескольких правильных ответов, задания на установление соответствия и задания с открытым вариантом ответа.

Примеры тестовых экзаменационных заданий

Если a_τ и a_n – тангенциальная и нормальная составляющие ускорения, то для равномерного движения по окружности справедливы соотношения:

- $a_n = \text{const}$, $a_\tau = 0$;
- a_n – растет, $a_\tau = 0$;
- $a_n = \text{const}$, a_τ – убывает;
- a_n – растет, $a_\tau = 0$.

Направления векторов момента импульса $\vec{L}$ и момента силы $\vec{M}$ для равнозамедленного вращения твердого тела правильно показаны на рисунке.



- 1,
- 2,

-
- 3,
 - 4,
 - 5.
-

Определить количество лет, прошедших на Земле, если в космическом корабле при скорости его движения относительно Земли, равной $0,80 c$, прошло 15 лет.

Ответ (число): _____

На горизонтальной поверхности лежит тело массой 1 кг. С каким ускорением начнет двигаться тело, если к нему приложить силу 15 Н, образующую угол 45° с горизонтом? Коэффициент трения скольжения равен 0,10, ускорение свободного падения принять равным $9,8 \text{ м/с}^2$. Ответ округлить до десятых.

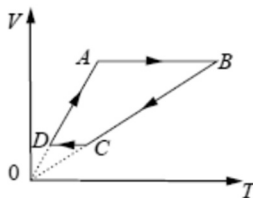
Ответ (число): _____

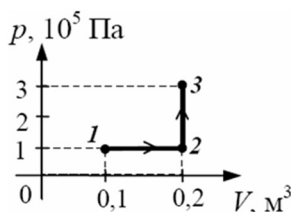
Чтобы определить количество вещества неизвестного разреженного газа, достаточно знать значение универсальной газовой постоянной и измерить ...

- массу газа и его объем;
 - массу газа, его температуру и давление;
 - массу газа, его температуру и объем;
 - давление газа, его температуру и объем.
-

На рисунке приведен цикл, осуществляемый с одним моле идеального газа. Если ΔU – внутренняя энергия газа, A – работа, совершаемая газом, Q – сообщенное газу количество теплоты, то $\Delta U > 0$, $A > 0$, $Q > 0$ выполняются совместно на участке...

- BC ;
- CD ;
- AB ;
- DA .





Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 3?

Ответ дать в килоджоулях (кДж), округлив до единиц.

Ответ (число): _____

Какое утверждение о диффузии в газах ошибочно?

- Происходит перенос массы вещества.
- Диффузионный поток молекул совпадает с направлением градиента концентрации.
- Происходит выравнивание концентрации молекул каждого газа в смеси газов.
- Диффузионный поток молекул тем больше, чем выше градиент концентрации.

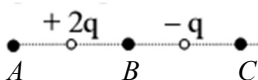
Электрический заряд можно разделить:

- на заряды, меньшие исходного в два, четыре, восемь и так далее раз;
- на множество малых зарядов;
- до получения неделимого, наименьшего в природе электрического заряда;
- до бесконечности.

Два точечных заряда действуют друг на друга с силой 12 мкН. Какой будет сила взаимодействия между ними, если уменьшить величину каждого заряда в 2 раза, не меняя расстояние между ними? Ответ записать в микрокулонах (мкК), округлив до единиц.

Ответ (число): _____

На рисунке показано расположение двух неподвижных точечных зарядов $+2q$ и $-q$.



Модуль вектора напряженности электрического поля этих зарядов имеет:

- максимальное значение в точке A ;
- максимальное значение в точке B ;
- одинаковые значения в точках A и C ;
- одинаковые значения во всех трех точках.

Два проводника заряжены до потенциалов $\phi_1 = 30$ В и $\phi_2 = 20$ В. Заряд 100 нКл переносит с первого проводника на второй. Какую работу совершают при этом силы поля? Ответ записать в микроджоулях (мкДж), округлив до единиц.

Ответ (число): _____

Плоский воздушный конденсатор отключили от источника тока, а затем увеличили расстояние между его пластинами. Что произойдет при этом с зарядом на обкладках конденсатора, электроемкостью конденсатора и напряжением на его обкладках?

Каждой позиции первого столбца подобрать соответствующую позицию второго и записать в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

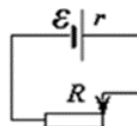
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ:	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ:
а) заряд конденсатора;	1) увеличится;
б) электроемкость;	2) уменьшится;
в) напряжение на обкладках.	3) не изменится.

a	b	v

Получившуюся последовательность цифр записать в ответ (без пробелов и каких-либо символов).

Ответ (последовательность цифр): _____

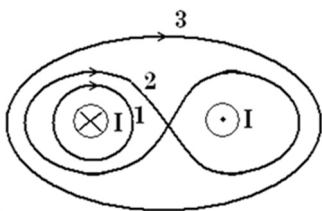
Реостат сопротивлением 2 Ом подключен к источнику тока с внутренним сопротивлением 1 Ом, как показано на рисунке.



Если движок реостата перемещать из крайнего правого положения влево, то максимальная мощность будет выделяться на реостате при:

- при среднем положении движка реостата;
- любом положении движка реостата;
- крайнем левом положении движка реостата;
- крайнем правом положении движка реостата.

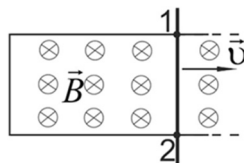
Определить, вдоль какого из контуров 1, 2 или 3 циркуляция вектора магнитной индукции равна нулю, если в обоих проводах, показанных на рисунке, во встречном направлении текут токи $I = 10$ А. В ответе указать номер контура.



- 1;
- 2;
- 3;
- все ответы верные.

По двум проводящим рельсам под действием некоторой неизменной силы F с постоянной скоростью скользит без трения проводящий стержень (см. рисунок). Рельсы находятся в однородном магнитном поле B . Выбрать все верные утверждения, правильно описывающие процессы, наблюдаемые при движении стержня.

- Ток течет в стержне от точки 1 к точке 2.
- Ток течет в стержне от точки 2 к точке 1.
- Сила тока в цепи равна нулю.
- Сила Ампера, действующая на проводник, направлена влево.
- Сила Ампера, действующая на проводник, направлена вправо.
- Сила Ампера, действующая на проводник, не меняется с течением времени.



Рамка со стороной 0,4 м находится в переменном магнитном поле. При изменении индукции магнитного поля на 100 Тл в течение 2 с в рамке возбуждается ЭДС индукции 400 В. Сколько витков имеет рамка? Ответ округлить до целых.

Ответ (число): _____

Представленная ниже система уравнений Максвелла:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} - \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}, \quad \oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0,$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}, \quad \oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля:

- в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- в отсутствие заряженных тел;
- в отсутствие токов проводимости.

СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Некоторые постоянные числа и приближенные формулы

Числа	Приближенные формулы ($x \ll 1$)
$\pi \approx 3,1416$	$(1 \pm x)^k \approx 1 \pm kx$
$\pi^2 \approx 9,8696$	$e^{\pm x} \approx 1 \pm x$
$\sqrt{\pi} \approx 1,7725$	$\ln(1 \pm x) \approx \pm x$
$e \approx 2,7183$	$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x$
$\lg e \approx 0,4343$	$\cos x \approx 1 - x^2/2$
$\ln 2 \approx 0,69$	—
$\ln 10 \approx 2,3026$	—

Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ

Приставка	Обозначение	Множитель	Пример
фемто	ф	10^{-15}	фм, фс
пико	п	10^{-12}	пм, пФ
нано	н	10^{-9}	нм, нКл
микро	мк	10^{-6}	мкм, мкФ
милли	м	10^{-3}	мм, мН
санτι	с	10^{-2}	см
деци	д	10^{-1}	дм
—	—	1	м
дека	да	10^1	дам, дал
гекто	г	10^2	гм, га
кило	к	10^3	км, кВ
мега	М	10^6	Мм, МПа
гига	Г	10^9	Гм, ГПа
тера	Т	10^{12}	Тм, ТГц

Некоторые физические постоянные

Скорость света в вакууме (точно)	$c = 299792458 \text{ м/с}$
Ускорение свободного падения (в Новосибирске)	$g = 9,8145 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная (2014 год)	$G = 6,674\,08 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{с}^2 \cdot \text{кг})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро (точно)	$N_A = 6,022\,14 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,854\,188 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Заряд электрона	$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Абсолютный нуль температуры	$T_0 = 0 \text{ К} = -273,15 \text{ }^\circ\text{С}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_m = 22,413\,962(13) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Атомная единица массы	$m_u = 1 \text{ а.е.м.} =$ $= 1,660\,539\,040(20) \cdot 10^{-27}$

Плотности некоторых твердых веществ

Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Осмий	22 600	22,6	Мрамор	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Стекло оконное	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Бетон	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Кирпич	1800	1,8
Свинец	11300	11,3	Сахар-рафинад	1600	1,6
Серебро	10 500	10,5	Оргстекло	1200	1,2
Медь	8900	8,9	Полиэтилен	920	0,92
Латунь	8500	8,5	Парафин	900	0,90
Сталь, железо	7800	7,8	Лед	900	0,90
Олово	7300	7,3	Дуб (сухой)	700	0,70
Цинк	7100	7,1	Сосна (сухая)	400	0,40
Чугун	7000	7,0	Пробка	240	0,24
Алюминий	2700	2,7	Бальза	150	0,15

Плотности некоторых жидких веществ

Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Ртуть	13 600	13,60	Спирт	800	0,80
Серная кислота	1800	1,80	Ацетон	790	0,79
Вода морская	1030	1,03	Эфир	710	0,71
Вода чистая	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло касторовое	960	0,96	Жидкое олово (при $t = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$)	6800	6,80
Масло машинное	900	0,90	Жидкий воздух (при $t = -194\text{ }^{\circ}\text{C}$)	860	0,86

Плотности некоторых газов (при 0 °С и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Хлор	3,210	0,003 21	Угарный газ	1,250	0,001 25
Углекислый газ	1,980	0,001 98	Природный газ	0,800	0,0008
Кислород	1,430	0,001 43	Водяной пар (100 °С)	0,590	0,000 59
Воздух	1,290	0,001 29	Гелий	0,180	0,000 18
Азот	1,250	0,001 25	Водород	0,090	0,000 09

Коэффициенты динамической вязкости η некоторых веществ (20 °С и 101,3 кПа)

Вещество	η (мПа · с)	Вещество	η (мПа · с)
Вода	1,002	Воздух	0,0172
Азот	0,0166	Аргон	0,0215
Водород	0,0087	Кислород	0,0198

Удельные теплоемкости c некоторых веществ

Вещество	c (Дж/кг · К)	Вещество	c (Дж/кг · К)
Вода	4190	Медь	385
Глицерин	2390	Алюминий	896
Спирт	2390	Сталь	465

Эффективный диаметр d и теплопроводность χ некоторых газов

Молекула	d (нм)	χ (мВт/(м · К))	Молекула	d (нм)	χ (мВт/(м · К))
Водород	0,28	168	Азот	0,38	24,3
Кислород	0,36	24,4	Аргон	0,35	16,2
Гелий	0,22	152			

Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева (длинная форма)*

Группа Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H водород 1,008	Атомный номер																2 He гелий 4,003	
2	3 Li литий 6,941	4 Be бериллий 9,012	Обозначение элемента														9 F фтор 18,998	10 Ne неон 20,180	
3	11 Na натрий 22,990	12 Mg магний 24,305	Оносительная атомная масса														17 Cl хлор 35,453	18 Ar аргон 39,948	
4	19 K калий 39,098	20 Ca кальций 40,078	21 Sc скандий 44,956	22 Ti титан 47,887	23 V ванадий 50,942	24 Cr хром 51,996	25 Mn марганец 54,938	26 Fe железо 55,845	27 Co кобальт 58,933	28 Ni никель 58,693	29 Cu медь 63,546	30 Zn цинк 65,38	31 Ga галлий 69,723	32 Ge германий 72,630	33 As мышьяк 74,922	34 Se селен 78,971	35 Br бром 79,904	36 Kr криптон 83,798	
5	37 Rb рубидий 85,468	38 Sr стронций 87,62	39 Y иттрий 88,906	40 Zr цинк 91,224	41 Nb ниобий 92,906	42 Mo молибден 95,94	43 Tc технеций 98,906	44 Ru рутений 101,07	45 Rh родий 102,905	46 Pd палладий 106,42	47 Ag серебро 107,868	48 Cd кадмий 112,411	49 In индий 114,818	50 Sn олово 118,710	51 Sb сурьма 121,757	52 Te теллур 127,6	53 I йод 126,905	54 Xe ксенон 131,29	
6	55 Cs цезий 132,905	56 Ba барий 137,327	57-71 лантаноиды		72 Hf hafnium 178,49	73 Ta тантал 180,948	74 W вольфрам 183,84	75 Re рений 186,207	76 Os осмий 190,23	77 Ir иридий 192,222	78 Pt платина 195,084	79 Au золото 196,967	80 Hg ртуть 200,59	81 Tl таллий 204,384	82 Pb свинец 207,2	83 Bi висмут 208,980	84 Po полоний [209]	85 At астат [210]	86 Rn радон [222]
7	87 Fr франций [223]	88-103 актиноиды		104 Rf рутерфордий [261]	105 Db дубний [262]	106 Sg себегий [266]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs хасий [277]	109 Mt миттнерий [268]	110 Ds дэбниум [271]	111 Rh роентгений [272]	112 Cn карлсбергский [285]	113 Nh nihonium [284]	114 Fl флеровий [289]	115 Mc московский [288]	116 Lv лivermorium [293]	117 Ts теннессин [294]	118 Og оганесон [294]	
Лантаноиды																			
Актиноиды																			
	57 La лантан 138,905	58 Ce церий 140,12	59 Pr прометий 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,36	63 Eu европий 151,964	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,925	66 Dy диисмий 162,50	67 Ho holmium 164,930	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тeртмий 168,934	70 Yb ytterbium 173,054	71 Lu лютеций 174,967				
	89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa protactinium 231,036	92 U уран 238,029	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am амерций [243]	96 Cm кадмий [247]	97 Bk берклий [247]	98 Cf калeфoрий [251]	99 Es ейзенштейний [252]	100 Fm фермий [257]	101 Md маршалловский [258]	102 No нобеллий [259]	103 Lr лоренций [262]				

* Таблица составлена на основе официальной периодической таблицы элементов (версия от 28 ноября 2016 года) представленной на веб-сайте IUPAC: www.iupac.org.

** Для ряда неустойчивых элементов в квадратных скобках вместо атомной массы приведено массовое число (число нуклонов в ядре) наиболее стабильного (долгоживущего) изотопа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1985. – 384 с.; 2002. – 327 с.
2. *Чертов А.Г., Воробьев А.А.* Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 1988. – 527 с. (см. <http://irodov.nm.ru/other/chertov/>).
3. Решение задач по физике. Общие методы. Б.С. Беликов – М.: Высшая школа, 1986. – 256 с. (см. <http://www.alleng.ru/d/phys/phys18.htm>).
4. Решение задач по физике. В.М. Кириллов, В.А. Давыдов, А.А. Задерновский и др. – М.: КомКнига, 2006. – 248 с. (см. <http://www.alleng.narod.ru/d/phys/kirillov/>).
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 5 т. – М.: АСТ, 2002.
6. *Яворский Б.М.* Справочник по физике, 8-е изд. / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – М.: Оникс, Мир и образование, 2006. – 1056 с.
7. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2007. – 560 с.
8. *Трофимова Т.И.* Краткий курс физики. – М.: УРСС, 2005. – 352 с.
9. *Трофимова Т.И.* Курс физики. Оптика и атомная физика. Теория. Задачи и решения. – М.: Высшая школа, 2003. – 288 с.
10. Механика и термодинамика: методическое пособие к вводному занятию и к лабораторным работам № 0, 1, 3, 6 по физике для студентов I курса всех факультетов / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. В. Баранов и др.]. – Новосибирск, 2020. – 64 с.: ил., табл.
11. Физика. Молекулярная физика и термодинамика : методические указания к лабораторным работам № 6 и 7 по физике для I и II курса всех технических специальностей / Новосиб. гос. техн. ун-т / сост.: С.А. Погожих, М.Р. Мирсияпов. – Новосибирск, 2022. – 27 с.: ил.
12. Электричество и магнетизм : методические указания к лабораторным работам по физике № 10, 12, 13, 15, 16, 19 для I и II курса всех факультетов / Новосиб. гос. техн. ун-т / сост.: П.А. Крапивко и др. – Новосибирск, 2012. – 65 с.: ил.