

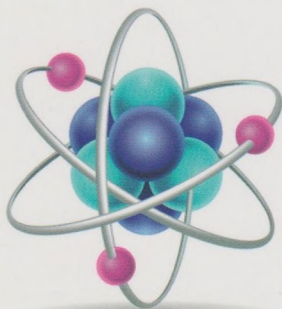
Л. М. Монастырский, Г. С. Безуглова

ЕГЭ

ФИЗИКА

ЗАДАНИЯ С РАЗВЕРНУТЫМ ОТВЕТОМ

- ▶ 450 ЗАДАНИЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ
- ▶ ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ
- ▶ ОТВЕТЫ КО ВСЕМ ЗАДАНИЯМ



Л. М. Монастырский, Г. С. Безуглова

ФИЗИКА

ЕГЭ

Задания с развёрнутым ответом

Учебно-методическое пособие



ЛЕГИОН-М
Ростов-на-Дону
2019

ББК 22.3я721

М77

Рецензенты:

Л. В. Матюшкина, кандидат физико-математических наук, учитель высшей категории, победитель ПНПО 2009, лауреат конкурса лучших учителей «Династия» 2010–2015;

О. Б. Якунина, учитель высшей категории, почётный работник общего образования, победитель ПНПО 2006, 2010, 2016, лауреат конкурса лучших учителей фонда «Династия», 2008–2015.

В книге использованы задания авторов:

Богатина А. С., Горбачёва А. В., Игнатовой Ю. А., Колесника Д. В., Крыштопа В. Г., Нечепуренко М. В., Россинской С. А., Цветянского А. Л.

Монастырский Л. М., Безуглова Г. С.

М77 Физика. ЕГЭ. Задания с развёрнутым ответом: тематические задания и примеры решений : учебное пособие / под ред. Л. М. Монастырского. — Ростов-на-Дону: Легион-М, 2019. — 240 с.

ISBN 978-5-91724-165-4

Пособие предназначено для отработки навыков выполнения самых сложных заданий ЕГЭ по физике, правильное решение которых практически гарантирует высокий результат на экзамене.

Материал книги сгруппирован в **параграфы по тематическому принципу**. Каждый параграф содержит **примеры решения задач и тренировочные задания** для самостоятельного выполнения. Ко всем заданиям приводятся **ответы**, ко многим — подробные решения.

Пособие адресовано прежде всего тем выпускникам, которые планируют получить на ЕГЭ по физике максимально высокий балл для поступления в вуз, учителям и методистам.

ББК 22.3я721

ISBN 978-5-91724-165-4

© ООО «Легион-М», 2019

Содержание

От авторов	5
Введение	7
Сборник заданий	15
§ 1. Задание № 28. Механика – квантовая физика (качественная задача)	15
1.1. Задания с решениями	15
1.2. Задания для самостоятельной работы	17
§ 2. Задание № 29. Механика (расчётная задача)	23
2.1. Кинематика	32
2.1.1. Задания с решениями	32
2.1.2. Задания для самостоятельной работы	33
2.2. Динамика	34
2.2.1. Задания с решениями	34
2.2.2. Задания для самостоятельной работы	37
2.3. Статика	39
2.3.1. Задания с решениями	39
2.3.2. Задания для самостоятельной работы	40
2.4. Законы сохранения	41
2.4.1. Задания с решениями	41
2.4.2. Задания для самостоятельной работы	44
2.5. Механические колебания и волны	49
2.5.1. Задания с решениями	49
2.5.2. Задания для самостоятельной работы	49
§ 3. Задание № 30. Молекулярная физика (расчётная задача) .	51
3.1. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа	62
3.1.1. Задания с решениями	62
3.1.2. Задания для самостоятельной работы	63
3.2. Элементы термодинамики	66
3.2.1. Задания с решениями	66
3.2.2. Задания для самостоятельной работы	71

3.3. Количество теплоты. Изменения агрегатного состояния вещества	78
3.3.1. Задания с решениями	78
3.3.2. Задания для самостоятельной работы	79
§ 4. Задание № 31. Электродинамика (расчётная задача)	81
4.1. Электростатика	87
4.1.1. Задания с решениями	87
4.1.2. Задания для самостоятельной работы	89
4.2. Постоянный ток	94
4.2.1. Задания с решениями	94
4.2.2. Задания для самостоятельной работы	100
4.3. Магнитостатика	103
4.3.1. Задания с решениями	103
4.3.2. Задания для самостоятельной работы	105
4.4. Электромагнитные колебания	109
4.4.1. Задания с решениями	109
4.4.2. Задания для самостоятельной работы	111
§ 5. Задание № 31. Оптика (расчётная задача)	112
5.1. Геометрическая оптика	118
5.1.1. Задания с решениями	118
5.1.2. Задания для самостоятельной работы	120
5.2. Волновая оптика	122
5.2.1. Задания с решениями	122
5.2.2. Задания для самостоятельной работы	122
§ 6. Задание № 32. Квантовая физика (расчётная задача)	124
6.1. Физика атома	127
6.1.1. Задания с решениями	127
6.1.2. Задания для самостоятельной работы	128
6.2. Ядерная физика	131
6.2.1. Задания с решениями	131
6.2.2. Задания для самостоятельной работы	132
Ответы	133
Решение некоторых заданий	140
Использованная литература	239

От авторов

Как следует из анализа методических рекомендаций для учителей (см. I в списке использованной литературы), результаты выполнения заданий ЕГЭ по физике разного уровня сложности каждый год примерно одинаковы (с небольшими вариациями):

- 1) базовый уровень — 66%;
- 2) повышенный уровень — 46%;
- 3) высокий уровень — 15%.

Поэтому при подготовке к экзамену по физике особое внимание следует уделять именно заданиям высокого уровня сложности, т. к. процент их выполнения самый низкий.

Учебное пособие «Физика. ЕГЭ. Задания с развёрнутым ответом: тематические задания и примеры решений» содержит материал, необходимый для выполнения заданий 28–32 ЕГЭ по физике. В книге даётся методика решения задач высокого уровня сложности, обращается внимание на особенности оформления решений. Пособие содержит также большое количество заданий для самостоятельной работы и ответы к ним.

Часть 2 варианта ЕГЭ по физике содержит 8 заданий, объединённых общим видом деятельности — решением задач, из них 3 задания с кратким ответом и 5 заданий, для которых необходимо привести развёрнутый ответ. Среди этих пяти заданий есть одно качественное задание повышенного уровня сложности и 4 расчётных задания высокого уровня сложности.

Качественные задания направлены на проверку умения использовать понятия и законы физики для анализа различных процессов и явлений, а также умения решать задачи на применение одного-двух законов (формул) по какой-либо из тем школьного курса физики. Четыре последних задания части 2 являются заданиями высокого уровня сложности и проверяют умение использовать законы и теории физики в изменённой или новой ситуации. Выполнение таких заданий требует применения знаний сразу из нескольких разделов физики.

Авторы надеются, что работа с этим учебным пособием поможет выпускникам успешно справиться с заданиями части 2 на ЕГЭ по физике и получить высокие баллы.

В тексте пособия используются следующие термины:

1. «Реальное решение» — решение учащихся.
2. «Авторское решение» — решение авторов пособия.
3. «Комментарий» — комментарии к реальному решению проверяющих членов предметной комиссии.

Замечания и предложения, касающиеся данной книги, можно присылать на адрес электронной почты legionrus@legionrus.com.

Введение

Часть 2 работы ЕГЭ по физике посвящена решению задач. В методических материалах для председателей и членов предметных комиссий по физике (см. 2 в списке использованной литературы) приводится описание тестовых заданий и критерии оценивания их выполнения для заданий с развёрнутым ответом. Кроме того, приведены примеры реальных решений заданий с комментариями рецензентов.

По содержанию задачи распределяются по разделам следующим образом:

- 2 задачи по механике,
- 2 задачи по молекулярной физике и термодинамике,
- 3 задачи по электродинамике,
- 1 задача по квантовой физике.

При подготовке к решению качественных задач №28 прежде всего следует обратить особое внимание на то, что эти задания оцениваются по шкале от 0 до 3 баллов. Учащемуся следует тщательно изучить требования к развёрнутому ответу.

Критерии оценивания выполнения качественного задания 28

Критерии	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	3
Дан правильный ответ и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.). И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.	2

Критерии	Баллы
<p>И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	3

Надо внимательно вчитаться в условие задания и тщательно прочитать вопрос к нему.

А) Требование к формулировке ответа — «*Как изменится ... (показание прибора, физическая величина)*», «*Опишите движение ...*», «*Постройте график ...*», «*Сделайте рисунок ...*», «*Определите значение (например, по графику)*» и т.п.

Б) Требование привести развёрнутый ответ с обоснованием — «*объясните ..., указав, какими физическими явлениями и закономер-*

ностями оно вызвано» или «...поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения».

За какой ответ можно получить 1 балл?

1. Дан правильный ответ на вопрос задания и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.

2. Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.

Следует заметить, что многие учащиеся не пытаются выполнить эти требования и упускают возможность получить первичный балл.

Схема оценивания решений экспертами при ручной проверке строится на основании трёх элементов решения:

- 1) формулировка ответа;
- 2) объяснение;
- 3) прямые указания на физические явления и законы.

Приведем пример из Методических материалов для председателей и членов предметных комиссий субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ 2018 года.

Задание

В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряжённостью \vec{E} и магнитное поле с индукцией \vec{B} . Поля однородные $\vec{B} \perp \vec{E}$. В камеру влетает протон p , вектор скорости которого перпендикулярен \vec{B} и \vec{E} , как показано на рисунке 1. Модули напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля таковы, что протон движется прямолинейно. Объясните, как изменится начальный участок траектории протона, если напряжённость электрического поля увеличить. В ответе укажите, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием силы тяжести пренебречь.¹

Авторское решение (один из возможных вариантов)

В первой части вопроса идёт речь о форме траектории протона. Прежде всего, внимательно прочитав условие (а это всегда необходимо), видим, что протон движется прямолинейно. Какой из этого следует вывод?

¹ Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом», М.: ФИПИ, 2018. — с. 16. Доступ: www.fipi.ru.

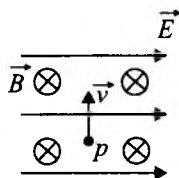


Рис. 1

Рассмотрим силы, действующие на протон. Со стороны электрического поля на протон действует сила $\vec{F} = q\vec{E}$, направленная в сторону вектора \vec{E} (вправо). Со стороны магнитного поля на протон действует сила Лоренца $F = qvB \sin \alpha$, где α — угол между вектором скорости и вектором магнитной индукции (в нашем случае угол α равен 90°), направленная влево. Т.к. по условию вначале траектория движения — прямая линия, то из второго закона Ньютона вытекает равенство модулей этих сил. При увеличении напряжённости электрического поля появится нескомпенсированная составляющая этих сил, направленная вправо. Эта составляющая перпендикулярна скорости, и протон начнёт уклоняться вправо, двигаться по окружности.

Итак, ответ на первую часть выглядит следующим образом: протон начнёт уклоняться вправо, двигаться по окружности. Это в принципе даёт возможность получить один балл.

Реальное решение на 3 балла

По **правилу левой руки** определяем направление **силы Лоренца**. Сила Лоренца направлена вправо. Вектор напряжённости направлен вправо от плюса к минусу. Т.к. заряд электрона положителен, то электрическая сила направлена вправо. Т.к. движение прямолинейное, то эти силы по модулю равны. При **увеличении напряжённости электрической силы увеличивается** и протон начнёт двигаться правее предыдущей траектории. Его начало похоже на часть круга.

Чёрным шрифтом выделены ключевые слова.

Комментарий. Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ. Приведены в виде формул или описания все необходимые для объяснения ссылки (формулы расчёта сил действия на заряженную частицу электрического и магнитного полей, правило левой руки, второй закон Ньютона). Работа оценивается в 3 балла.

Реальное решение на 2 балла

На протон действуют две силы — сила со стороны электрического поля, направленная вправо, и сила со стороны магнитного поля, направленная влево. При увеличении напряжённости электрического поля сила, направленная вправо, возрастёт, т.к. эта сила пропорциональна напряжённости. В итоге протон будет отклоняться вправо.

Комментарий. Приведён верный ответ, присутствуют верные рассуждения и словесные указания на зависимость (независимость) сил от напряжённости электрического поля. Правило левой руки в явном виде не названо, но верно применено при определении направления сил. Отсутствует объяснение первоначального прямолинейного движения частицы. Работа оценивается в 2 балла.

Среди качественных задач встречаются задания с дополнительными условиями. Например, дополнительно к объяснению предлагается изобразить схему электрической цепи или сделать рисунок с ходом лучей в оптической системе. В этом случае в описание полного правильного решения вводится ещё один пункт (верный рисунок или схема). Отсутствие рисунка (или схемы) или наличие ошибки в них приводит к снижению оценки на 1 балл. С другой стороны, наличие правильного рисунка (схемы) при отсутствии других элементов ответа в части заданий даёт возможность учащемуся получить 1 балл.

Задания 29 — 32 представляют собой расчётные задачи. В текстах заданий нет указаний на требования к полноте решения, эту функцию выполняет общая инструкция.

В каждом варианте экзаменационной работы перед заданиями 29 — 32 приведена инструкция, которая в целом отражает требования к полному правильному решению расчётных задач.

При ручной проверке этих задач по критериям оценивания ФИПИ 3 балла выставляются в следующем случае:

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

1) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае перечисляются законы и формулы)²;

2) описаны все вновь вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных

²В качестве исходных принимаются формулы, указанные в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения единого государственного экзамена по физике.

в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов)³;

3) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

4) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины

Очень важно обратить внимание на эти примечания

1. Решение учащегося может иметь логику, отличную от авторской логики решения (альтернативное решение). В этом случае эксперт оценивает возможность решения конкретной задачи тем способом, который выбрал учащийся. Если ход решения учащегося допустим, то эксперт оценивает полноту и правильность этого решения на основании того списка основных законов, формул или утверждений, которые соответствуют выбранному способу решения.

2. В качестве исходных формул принимаются только те, которые указаны в кодификаторе. При этом форма записи формулы значения не имеет (например: $Q = cm\Delta T$, $c = \frac{q}{m\Delta T}$ и т.п.). Если же учащийся использовал в качестве исходной формулы ту, которая не указана в кодификаторе, то работа оценивается исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. (Например, учащийся может в качестве исходной использовать формулу для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2}pV$, поскольку она есть в кодификаторе. А формулу для количества теплоты $Q = \frac{5}{2}pV$, полученного газом в изобарном процессе, в качестве исходной использовать нельзя (отсутствует в кодификаторе). В этом случае считается, что в решении отсутствует одна из исходных формул.)

Достаточно часто учащиеся теряют один балл из-за невыполнения этих требований при правильном решении.

³Стандартными считаются обозначения физических величин, принятые в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения единого государственного экзамена по физике.

Критерии оценивания выполнения расчётного задания высокого уровня сложности

Критерии	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>1) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом;</p> <p>2) описаны все вновь вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>3) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>4) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту 2, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт 4, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2

Критерии	Баллы
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	3

Сборник заданий

§ 1. Задание № 28. Механика — квантовая физика (качественная задача)

1.1. Задания с решениями

1. В стакане с водой плавает кусок льда. Изменится ли уровень воды в стакане, если весь лёд растает?
2. Докажите, что крупные капли дождя падают быстрее, чем мелкие. Капли имеют форму шара, силу сопротивления воздуха считать пропорциональной площади поперечного сечения капли.
3. Если надуть два одинаковых шарика до разных размеров, а потом соединить короткой трубкой, то один шарик начнёт надуваться за счёт другого. Какой и почему?
4. Тело бросили под углом 30° к горизонту с некоторой начальной скоростью. Дальность его полёта составила 9 метров. Можно ли добиться такой же дальности полёта при другом угле бросания, но с той же по модулю начальной скоростью? Если можно, то под каким?
5. Математический маятник помещён в кабину покоящегося на первом этаже лифта. Опишите характер изменения колебательного движения маятника до момента прибытия лифта на 5-й этаж. (Ускорение a , которое может развить лифт, меньше g .)
6. В аквариуме с водой плавает железная миска, в нижней части которой есть небольшое отверстие (см. рис. 2). Через отверстие вода медленно наполняет миску, и она тонет. Опишите, как изменяется уровень воды в аквариуме по мере наполнения миски и после её погружения на дно.

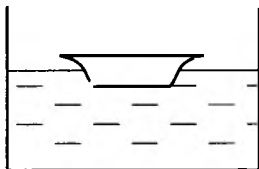


Рис. 2

7. На рисунке 3 изображён график процесса, совершаемого некоторой массой одноатомного идеального газа. Получает или отдаёт газ теплоту в ходе данного процесса? Ответ обоснуйте.

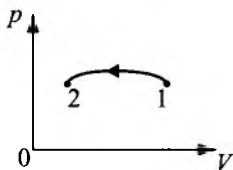


Рис. 3

8. В цилиндре, разделённом на две части незакреплённым поршнем массой m , находится воздух. В одной из частей цилиндра кратковременно повышают давление, после чего предоставляют систему самой себе. Какие процессы будут происходить в цилиндре? Что произойдёт, если масса поршня увеличится?

9. Температура воздуха в комнате T_1 . Как изменится внутренняя энергия воздуха в комнате, если температуру повысить до T_2 ?

10. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре t_0 долгое время находились только вода и её пар. Масса воды в 2 раза больше массы её пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на pV -диаграмме (см. рис. 4). Медленно перемещая поршень, объём V под поршнем изотермически увеличивают с V_0 до $5V_0$. Постройте график зависимости давления p в цилиндре от объёма на отрезке от V_0 до $5V_0$. Укажите, какие закономерности вы при этом использовали.

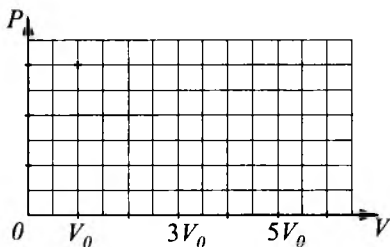


Рис. 4

11. В некоторых случаях удар молнии может разрушить дерево, как бы «взрывая» его. Эта возможность зависит от степени влажности и гладкости его коры. Объясните природу явления.

12. Может ли трамвай не только потреблять электрическую энергию, но и запасать её?

13. Почему электрические лампочки накаливания чаще всего перегорают в момент их включения?

14. Изобразите вольт-амперную характеристику при фотоэффекте для двух разных световых потоков и объясните их ход.
15. К клеммам первичной обмотки трансформатора подключён источник линейно возрастающего напряжения. Опишите процессы, происходящие в трансформаторе. Как будет меняться напряжение между клеммами во вторичной обмотке?
16. Заряженная частица, разогнанная электрическим полем, влетает в однородное магнитное поле под некоторым углом к его силовым линиям. Индукцию магнитного поля постепенно увеличивают, сохраняя его однородность. Опишите характер движения частицы.
17. Линии напряжённости однородного электрического поля и линии индукции однородного магнитного поля взаимно перпендикулярны. Какими должны быть направление и модуль скорости электрона, чтобы его движение было прямолинейным?
18. Опишите движение электрона в вакууме в параллельных электрическом и магнитном полях. Начальная скорость электрона направлена под углом к направлению полей.
19. Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рис. 5). Как будет двигаться рамка на неподвижной оси MO , если рамку не удерживать? Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.

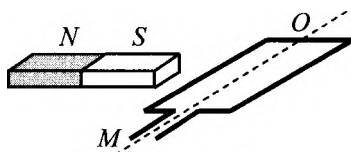


Рис. 5

20. На рисунке 6 приведён спектр энергий электронов при β -распаде. Чем объясняется разброс энергий электронов в пределах от 0 до 0,783 МэВ?

1.2. Задания для самостоятельной работы

21. На pV -диаграмме изображён процесс, совершаемый газом. Покажите на рисунке 7 полную работу газа в процессе 1–3. Укажите её знак.

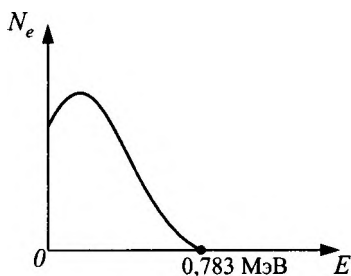


Рис. 6

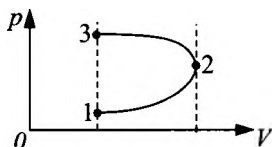


Рис. 7

22. Если металлическую канцелярскую кнопку положить в стакан с водой ребром или остриём вниз, то она утонет. Если аккуратно опустить её плоской поверхностью на воду, то она будет плавать, а поверхность воды под ней станет искривлённой. Объясните наблюдаемое явление.

23. Сравните силы притяжения Луны к Земле и к Солнцу, объясните, почему Луна не отрывается от Земли притяжением Солнца. При сравнении сил притяжения принять массу Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, массу Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, массу Луны $7 \cdot 10^{22}$ кг, расстояние от Земли до Солнца $1,5 \cdot 10^{11}$ м, расстояние от Земли до Луны $4 \cdot 10^8$ м.

24. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке 8 показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии U газа и передаваемое ему количество теплоты Q . Опишите изменение объёма газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

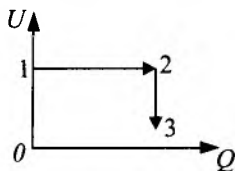


Рис. 8

25. Ваня и Тихон нагревают одинаковое количество воды в одинаковых мензурках от температуры 1°C до 4°C , используя одинаковые нагреватели. Ваня поместил свой нагреватель внизу мензурки, а Тихон — сверху мензурки. Кто быстрее нагреет воду в указанном диапазоне? Зависимость плотности воды при невысоких температурах ($0^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$) приведены на рисунке 9. Приведите законы, на основании которых дан ответ.

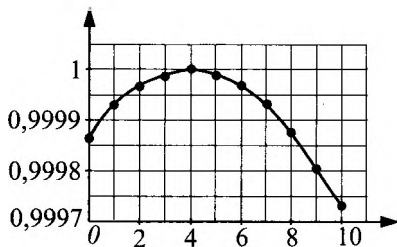


Рис. 9

26. Объясните, почему при равномерном подводе тепла кипение воды происходит с образованием отдельных крупных пузырей пара.

27. Почему железный гвоздь на ощупь кажется нам холоднее деревянного карандаша, хотя их температуры при этом одинаковы? Объясните наблюдаемое явление с физической точки зрения.

28. Метеорологи выяснили, что относительная влажность воздуха в один из весенних вечеров была 28 % при температуре воздуха 15°C . Возможны ли предстоящим утром заморозки на почве? Что надо сделать, чтобы снизить вероятность заморозков на конкретном сельхозучастке? Ответ поясните, опираясь на законы физики.

29. В электрическую цепь постоянного тока последовательно включены две лампы мощностью 40 Вт и 60 Вт. Какая из них горит ярче и почему?

30. Два точечных заряда $+q$ и $-q$ расположены на плоскости Oxy в точках с координатами $(a, 0)$ и $(-a, 0)$ соответственно. Постройте качественный график зависимости $E_x(x)$.

31. При включении мощного электрического прибора в сеть с помощью вилки часто один из контактов вилки нагревается сильнее, чем другой. Почему нагреваются контакты? Почему один контакт может нагреться сильнее, чем другой? Ответы поясните, опираясь на законы электродинамики.

32. Нагревательные элементы электроприборов изготавливают из металлов, а не из полупроводников. Почему? Что произойдет, если эти эле-

менты изготовить из полупроводниковых материалов? Ответы поясните, опираясь на законы физики.

33. Источник постоянного тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r подключили к реостату с полным сопротивлением R_0 ($R_0 > r$) (см. рис. 10). Какой из приведённых ниже графиков (см. рис. 11) соответствует зависимости КПД источника тока η (отношение мощности, выделяющейся на нагрузке к полной мощности) от сопротивления включённой части реостата при перемещении ползунка реостата вправо?

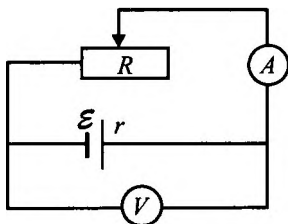


Рис. 10

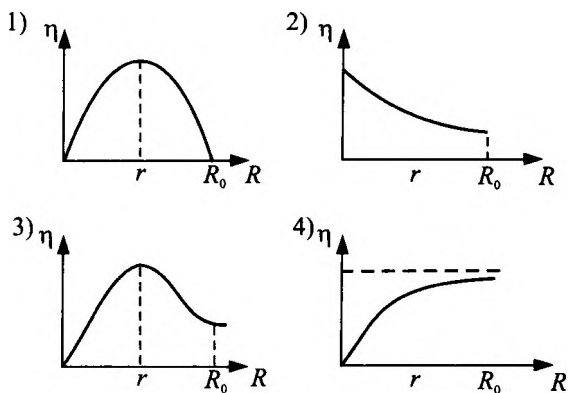


Рис. 11

34. Источник постоянного тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r подключили к реостату с полным сопротивлением R_0 ($R_0 > r$) (см. рис. 12). Какой из приведённых ниже графиков (см. рис. 13) соответствует зависимости мощности P , выделяемой на реостате, от сопротивления R включённой в цепь части реостата при перемещении ползунка вправо?

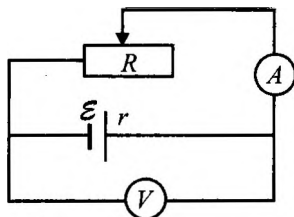


Рис. 12

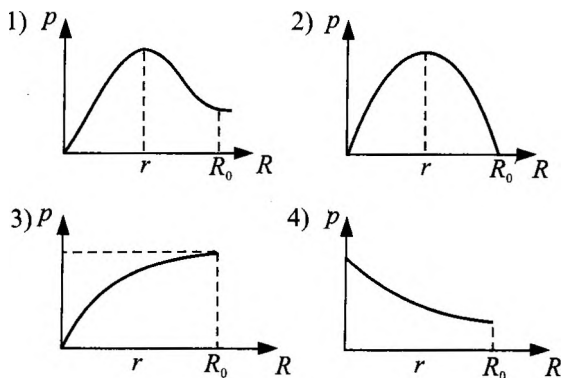


Рис. 13

35. На рисунке 14 представлены предмет в виде стрелки AB и его изображение ($A'B'$). Постройте линзу, которая дала это изображение. Она собирающая или рассеивающая? Построение положения линзы поясните используемыми физическими соображениями.

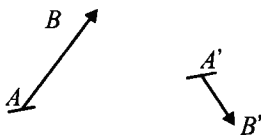


Рис. 14

36. На рисунке 15 представлены предмет в виде стрелки AB и его изображение $A'B'$. Постройте линзу, которая дала это изображение. Она собирающая или рассеивающая? Построение положения линзы поясните используемыми физическими соображениями.

37. Могут ли космонавты общаться между собой с помощью звука в открытом космосе?

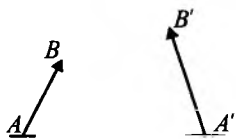


Рис. 15

38. Альфа-частица рассеивается на неподвижном ядре мишени. Угол рассеяния равен 90° . Сохраняется ли в процессе рассеяния импульс системы «альфа-частица — ядро»?

§ 2. Задание № 29. Механика (расчётная задача)

Задача 1. К одному концу лёгкой пружины жёсткостью $k = 100 \text{ Н/м}$ прикреплён массивный груз, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплён неподвижно. Коэффициент трения груза по плоскости $\mu = 0,2$. Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Груз движется в одном направлении и затем останавливается в положении, в котором пружина уже сжата. Максимальное растяжение пружины, при котором груз движется таким образом, равно $d = 15 \text{ см}$. Найдите массу m груза.⁴

Авторское решение (один из возможных вариантов)

Сделаем поясняющий чертёж.

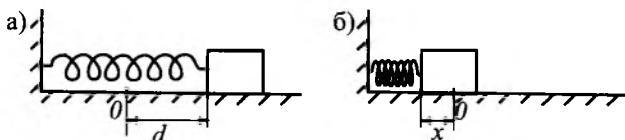


Рис. 16

В начальный момент времени (см. рис. 16а) пружина была растянута на величину d , следовательно, её потенциальная энергия была равна

$E_1 = \frac{kd^2}{2}$ (k — коэффициент жёсткости пружины). Когда груз отпустили, пружина начала сжиматься, а сам груз — двигаться в сторону закреплённого конца пружины. В некоторый момент движение груза прекратилось, пружина при этом сжалась на величину x (см. рис. 16б). Соответственно в момент остановки груза потенциальная энергия пружины

была равна $E_2 = \frac{kx^2}{2}$.

Изменение механической энергии системы равно работе сил трения.

$$A = -F_{\text{тр}} \cdot S = -F_{\text{тр}} \cdot (d + x) = -\mu N \cdot (d + x).$$

Здесь S — пройденный грузом путь, μ — коэффициент трения, N — сила реакции опоры.

Кинетические энергии груза и в начальном положении, и в конечном равны нулю, следовательно:

$$E_2 - E_1 = \frac{k(x^2 - d^2)}{2} = -\mu N(d + x), \quad \frac{k(d - x)}{2} = \mu N.$$

⁴Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий ЕГЭ с развёрнутым ответом», ч. 1, М.: ФИПИ, 2014. — с. 28. Доступ: www.fipi.ru.

Рассмотрим силы, действующие на груз в момент остановки — силу трения, силу упругости со стороны пружины, силу тяжести и силу реакции опоры (см. рис. 17). Груз покоится, значит, равнодействующая этих сил равна нулю. Запишем проекции сил на оси Ox и Oy :

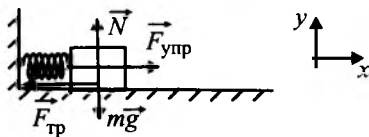


Рис. 17

$$Ox: \mu N = kx, \quad Oy: N = mg.$$

Выразим из этих двух уравнений величину сжатия пружины x :

$$x = \frac{\mu N}{k} = \frac{\mu mg}{k}.$$

Отсюда

$$\frac{1}{2}k\left(d - \frac{\mu mg}{k}\right) = \mu N.$$

Выразим массу тела:

$$m = \frac{kd}{2\mu g} = 2,5 \text{ (кг)}.$$

Ответ: $m = 2,5$ кг.

Реальное решение № 1 (3 балла).

Дано: $\mu = 0,5$
 $d = 0,1$ м
 $k = 100$ Н/м

1)

2)

Дисперсия μ :
 $F_{\text{упр}} \cdot N = \mu mg \cdot F_{\text{тр}} = \mu mg$
 y : $N = mg$
 По второму μ : $F_{\text{тр}} = F_{\text{упр}} = \mu mg$
 y : $N = mg$
 x : $F_{\text{тр}} = F_{\text{упр}}$

3С2. $\Pi_0 = \Pi_1 + \Pi_2 \Rightarrow \frac{kx}{2} = \mu mg(d+x) + \frac{kx}{2} \Rightarrow F_{\text{тр}} = \mu mg$
 $\frac{kx}{2} = \mu mg(d+x)$
 $\frac{kx}{2} - \mu mgx = \mu mgd$
 $x\left(\frac{k}{2} - \mu mg\right) = \mu mgd$
 $x = \frac{\mu mgd}{\frac{k}{2} - \mu mg}$
 $m = \frac{kx}{2\mu g} = \frac{k}{2\mu g} \cdot \frac{\mu mgd}{\frac{k}{2} - \mu mg} \Rightarrow m = \frac{k \cdot d}{k - 2\mu mg}$
 $[m] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{кг}$
 $m = \frac{100 \cdot 0,1}{100 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10} = 2,5 \text{ (кг)}$
 Ответ: 2,5 кг.

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $k = 100 \text{ Н/м}$, $\mu = 0,2$,

$d = 15 \text{ см}$.

Найти m —?

Для первого случая

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

« y »: $N = mg$.

Для второго случая

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

« y »: $N = mg$.

« x »: $F_{\text{тр.}} = F_{\text{упр.}}$.

$$\text{З.С.Э: } \Pi_0 = A_{\text{тр.}} + \Pi_1. \quad \frac{kd^2}{2} = \mu mg(d + d_1) + \frac{kd_1^2}{2}.$$

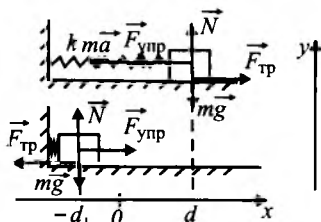
$$F_{\text{тр.}} = \mu N = \mu mg. \Leftrightarrow \frac{k}{2}(d - d_1) = \mu mg, \quad F_{\text{тр.}} = F_{\text{упр.}}$$

$kd_1 = \mu mg$ — сила тр. максимальна, d максимально.

$$\Rightarrow m = \frac{kd - \mu mg}{2\mu g} = \frac{kd}{2\mu g} - \frac{m}{2} \Rightarrow m = \frac{kd}{3\mu g}. \quad [m] = \frac{\text{Н}}{\text{Н}} \text{ кг} = \text{кг}.$$

$$m = \frac{100 \cdot 0,15}{3 \cdot 0,2 \cdot 10} = 2,5 \text{ (кг)}.$$

Ответ: 2,5 кг.



Комментарий: Здесь в полном соответствии с пунктом 2 в критериях оценки указана на рисунке вновь введённая автором решения величина d_1 .

Реальное решение № 2 (2 балла).

$F_{\text{тр}} = F_{\text{упр.}}$ (приравняем силы).

F — сила пружины

F — сила упругости (закон Гука).

$$F_{\text{упр.}} = kx; \quad F_{\text{тр.}} = \mu mg;$$

$$\mu mg = kx;$$

$$x = \frac{\mu mg}{k}$$

Выразим x — отсчитали от состояния равновесия.
Запишем закон сохранения энергии.

$$\frac{kd^2}{2} = \mu mg(k+d) + \frac{kx^2}{2};$$

подставим $x = \frac{\mu mg}{k}$

$$\frac{k d^2}{2} - \mu mg(x+d) + \frac{k x^2}{2} = \frac{k d^2}{2} = \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} + d \mu mg + \frac{k \mu^2 m^2 g^2}{2}$$

$$\frac{k d^2}{2} = \frac{2 \mu^2 m^2 g^2 + 2 k d \cdot \mu mg + k^2 \mu^2 m^2 g^2}{2k}$$

$$\frac{4 \mu^2 m^2 g^2 + 4 k d \mu mg + 200 \mu^2 m^2 g^2}{2 k^2 d^2} = \frac{204 \mu^2 m^2 g^2 + 60 \mu mg}{2 k^2 d^2}$$

$$= \frac{816 m^2 + 120 m}{450} = 2,5 \text{ м.}$$

Ответ: $m = 2,5 \text{ м.}$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$F_{\text{тр}} = F_{\text{уп}}$ (приравняем силы).

F — сила трения.

F — силы упругости (закон Гука).

$$F_{\text{упр}} = kx; F_{\text{тр}} = \mu mg; \mu mg = kx; x = \frac{\mu mg}{k}.$$

Выразим x — отклонение от состояния остановки. Запишем закон сохранения энергии.

$$\frac{k d^2}{2} = \mu mg(x+d) + \frac{k x^2}{2};$$

$$\text{Подставим } x. \frac{k d^2}{2} = \mu mg \left(\frac{\mu mg}{k} + d \right) + \frac{k (\mu mg)^2}{2}.$$

$$\frac{k d^2}{2} = \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} + d \mu mg + \frac{k \mu^2 m^2 g^2}{2}.$$

$$\frac{k d^2}{2} = \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} + d \mu mg + \frac{k \mu^2 m^2 g^2}{2}.$$

$$\frac{k d^2}{2} = \frac{2 \mu^2 m^2 g^2 + 2 k d \cdot \mu mg + k^2 \mu^2 m^2 g^2}{k^2}.$$

$$\frac{4 \mu^2 m^2 g^2 + 4 k d \mu mg + 200 \mu^2 m^2 g^2}{2 k^2 d^2} = \frac{204 \mu^2 m^2 g^2 + 60 \mu mg}{2 k^2 d^2} =$$

$$= \frac{816 m^2 + 120 m}{450} = 2,5 \text{ кг.}$$

Ответ: 2,5 кг.

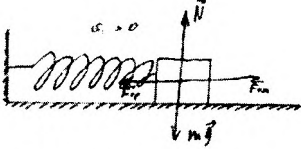
Комментарий: К недостаткам работы следует отнести отсутствие рисунка с указанием вновь вводимых обозначений. Кроме того, замечены ошибки в математических преобразованиях; однако недостатки ре-

шения, каждый из которых приводит к снижению оценки на 1 балл, не суммируются. Оценка 2 балла.

Реальное решение № 3 (2 балла).

Дано

$k = 100 \text{ Н/м}$
 $\mu = 0$
 $M = 0.1$
 $d = 15 \text{ см} = 0.15 \text{ м}$
 $u = ?$

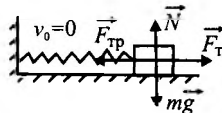


$\frac{kx}{2} - \frac{kx}{2} = F_{\text{tr}}(d + \lambda)$
 $\frac{kx}{2} - \frac{k \mu m' g'}{k^2} = m' g' (d + \frac{m' g'}{k}) = \frac{kx}{2} - \frac{\mu m' g'}{k} -$
 $- \mu m' g' d - \frac{\mu m' g'}{k} = 0$
 $4 \mu m' g' + 2 \mu m' g' d - kx = 0$
 $D = (2 \mu m' g' d + 4 \mu m' g') = 2 (2 \cdot 0.1 \cdot 10 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.1 \cdot 10)$
 $\cdot x = 0.15 = 60 + 14400 = 14000$
 $m_{1,2} = \frac{-60 \pm \sqrt{60^2 - 40000}}{10} = \frac{-2 \pm 100 \cdot 0.1 \cdot 10 \cdot 0.15 \pm \sqrt{10000}}{2 \cdot 4 \cdot 0.1 \cdot 10} =$
 $= \frac{-60 \pm 100}{32}$
 $m_1 = 2.48$
 $m_2 = -6.06$ - масса отрицательная, что не имеет смысла, поэтому этот ответ не берем
 $m = 2.48 \text{ кг}$
 Ответ: 2,48 кг.

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $k = 100 \text{ Н/м}$, $V_0 = 0$, $\mu = 0,2$,
 $d = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$.

$m - ?$



$$\frac{kd^2}{2} - \frac{k\lambda^2}{2} = F_{\text{тр}}(d + \lambda).$$

$$\frac{kd^2}{2} - \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} = \mu mg \left(d + \frac{\mu mg}{k} \right) =$$

$$= \frac{kd^2}{2} - \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} - \mu mgd - \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} = 0.$$

$$k^2 d^2 - 4\mu^2 m^2 g^2 - 2k\mu mgd = 0$$

$$4\mu^2 m^2 g^2 + 2k\mu mgd - k^2 d^2 = 0.$$

$$D = (2k\mu gd)^2 + 4 \cdot 4\mu^2 g^2 k^2 d^2 = (2 \cdot 100 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 0,15)^2 +$$

$$+ 4 \cdot 4 \cdot 0,2^2 \cdot 10^2 \cdot 100^2 \cdot 0,15^2 = 60^2 + 14400 = 18000.$$

$$m_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-2 \cdot 100 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 0,15 \pm \sqrt{18000}}{2 \cdot 4 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 100} =$$

$$= \frac{-60 \pm 134,1}{32}.$$

$$m_1 = 2,48,$$

$m_2 = -6,08$ — масса отрицательной быть не может, поэтому этот корень не подходит.

$$m = 2,48 \text{ кг}.$$

Ответ: 2,48 кг.

Комментарий: Такие же замечания, как и в предыдущей работе, и та же оценка.

Реальное решение № 4 (2 балла).

Дано: $k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
 $\mu = 0,2$
 $d_m = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
 $m = ?$

Пусть x — сжатие пружины после остановки груза. Тогда по 3. Гука $kx = F_{\text{упр}} < F_{\text{тр}}$, тогда Δd : $(\Delta d + d_m)$ соотв. $(x + \Delta x)$: $d(x + \Delta x) = F_{\text{тр}}$. Условие остановки груза выполнено. Следовательно — d_m — не максимальное?! ($F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \neq \text{const}$, где N — сила реакции опоры.)
 Получаем $kx \geq F_{\text{тр}}$. $kx \geq F_{\text{тр}}$ по условию $\Rightarrow kx = F_{\text{тр}}$

Тогда $F_{\text{тр}} = \mu N = kx$ or $\mu mg = kx$ (1)

По ЗСЭ: $E_k(d) + E_p(d) = E_k(x) + E_p(x) - A_{\text{дисс}}$, где E_k, E_p — кинетическая и потенциальная энергия в соответствующих положениях, $A_{\text{дисс}}$ — работа диссипативных сил.
 $\Rightarrow 0 + \frac{kd^2}{2} = 0 + \frac{kx^2}{2} - (F_{\text{тр}}(d+x)) \Leftrightarrow$
 $\Rightarrow kx^2 = kd^2 - 2\mu mg(d+x) \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 + \frac{kd^2}{2} = 0 + \frac{kx^2}{2} - (F_{\text{тр}}(d+x)) \Leftrightarrow$
 $\Rightarrow \frac{kx^2}{2} = \frac{kd^2}{2} - \mu mg(d+x)$

$\Rightarrow \frac{kx^2}{2} = \frac{kd^2}{2} - 2\mu mg(d+x)$

$\Rightarrow 42m^2 = 60m - 225 \cdot 0 \Rightarrow 4m^2 + 20m - 45 = 0 \Rightarrow m = \frac{-10 \pm \sqrt{100 + 900}}{2} \Rightarrow$
 $\Rightarrow \begin{cases} m = 2,5 \text{ кг} \\ m = -4,5 \text{ кг} \end{cases}$

Ответ: 2,5 кг

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $k = 100 \text{ Н/м}$, $\mu = 0,2$,

$d_m = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

$m = ?$

Пусть x — сжатие пружины после остановки груза. Тогда по 3. Гука $kx = F_{\text{упр}} < F_{\text{тр}}$, тогда Δd : $(\Delta d + d_m)$ соотв. $(x + \Delta x)$: $d(x + \Delta x) = F_{\text{тр}}$. Условие остановки груза выполнено. Следовательно — d_m — не максимальное?! ($F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \neq \text{const}$, где N — сила реакции опоры.)

Получаем $kx \geq F_{\text{тр}}$, $kx \geq F_{\text{тр}}$ по условию $\Rightarrow kx = F_{\text{тр}}$.

Тогда $F_{\text{тр}} = \mu N = kx \Rightarrow \mu mg = kx$. (1)

По ЗСЭ: $E_k(d) + E_p(d) = E_k(x) + E_p(x) - A_{\text{дисс}}$,

где E_k и E_p — кинетическая и потенциальная энергия в соответствующих положениях, $A_{\text{дисс}}$ — работа диссипативных сил.

$$\Rightarrow 0 + \frac{kd^2}{2} = 0 + \frac{kx^2}{2} - (F_{\text{тр}}(d+x)) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow kx^2 = kd^2 - 2\mu mg(d+x) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} = kd^2 - 2 \frac{\mu^2 m^2 g^2}{k} - 2\mu mgd \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 3(\mu mgd)^2 + 2\mu mg(kd) - k^2 d^2 = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 12m^2 + 60m - 225 = 0 \quad 4m^2 + 20m - 75 = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow m = \frac{-20 \pm \sqrt{200 + 12000}}{8} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m = 2,5 \text{ кг} \\ m = -7,5 \text{ кг} \text{ --?!} \end{cases}$$

Ответ: 2,5 кг.

Комментарий: Здесь получен правильный ответ, т.к. как ошибки в расчётах сил сопротивления компенсировались ошибками в математических преобразованиях. Оценка 2 балла.

Реальное решение № 5 (0 баллов).

Дано
 $k = 100 \text{ Н/м}$
 $\mu = 0,2$
 $d = 0,15 \text{ м}$
 $m = ?$

Решение

$$1) \frac{k d}{2} = \mu mgd + \frac{m g^2}{2}$$

$$2) \frac{m g^2}{2} = \mu mgd + \frac{k d^2}{2} \quad 1) d k = \mu mg$$

$$3) \frac{k d^2}{2} = \mu mgd + \frac{m g^2}{2} \quad d = \frac{\mu mg}{k}$$

$$4) \frac{k d^2}{2} = \mu mgd + \frac{2 \mu mg}{k} \cdot \frac{k d^2}{2} = \mu mgd + \frac{2 \mu^2 m^2 g^2}{k}$$

$$\Rightarrow k d^2 = 2 \mu mgd + \frac{2 \mu^2 m^2 g^2}{k} \cdot k d$$

$$5) \frac{3 \mu^2 g^2}{k} \cdot m^2 + 2 \mu mgd - m k d^2 = 0$$

$$m = \frac{(-2 \mu mgd) \pm \sqrt{4 \mu^2 g^2 d^2 + 16 \mu^2 g^2 d^2 (4 \mu mgd)^2}}{2 \mu g} = \frac{(-2 d k) \pm \sqrt{4 d k^2 + 2 d k}}{2 \mu g}$$

$$6) \frac{2 d k}{2 \mu g} = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 100}{2 \cdot 0,2 \cdot 9,8} = \frac{15}{0,392} = 38,26 \text{ (кг)}$$

Ответ: 38,26 кг

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $k = 100 \text{ Н/м}$, $\mu = 0,2$, $d_m = 0,15 \text{ м}$.

$m = ?$

Решение:

$$1) \frac{kd}{2} = \mu mgd + \frac{mV^2}{2}.$$

$$2) \frac{mV^2}{2} = \mu mgd + \frac{kd^2}{2}.$$

$$3) d \cdot k = \mu mg, \quad d = \frac{\mu mg}{k}.$$

$$4) \frac{kd^2}{2} = \mu mgd + \frac{2\mu mg}{2k} + \frac{k\mu mg^2}{2k^2} = \mu mgd + \frac{3\mu^2 m^2 g^2}{2k}.$$

$$\Rightarrow kd^2 = 2\mu mgd + \frac{3\mu^2 m^2 g^2}{k}.$$

$$5) \frac{3\mu^2 g^2}{k} \cdot m^2 + 2\mu gdmkd^2 = 0.$$

$$4\mu^2 g^2 d^2 + \frac{4 \cdot 3\mu^2 g^2 kd^2}{k} = 16\mu^2 g^2 d^2 = (4\mu gd)^2.$$

$$m = \frac{(-2\mu gd \pm 4\mu gd)k}{3\mu^2 g^2} = \frac{(-2d \pm 4d)k}{3\mu g} = \frac{2dk}{3\mu g}.$$

$$6) \frac{2dk}{3\mu g} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 100}{3 \cdot 0,2 \cdot 10} = \frac{30}{6} = 5 \text{ (кг)}.$$

Ответ: $m = 5 \text{ кг}$.

Комментарий: Оценка 0 баллов, т.к. неверно записаны исходные формулы.

2.1. Кинематика

2.1.1. Задания с решениями

39. На рисунке 18 представлена зависимость ускорения материальной точки от времени. Начальная скорость точки равна 0. В какой момент времени точка изменит направление движения?

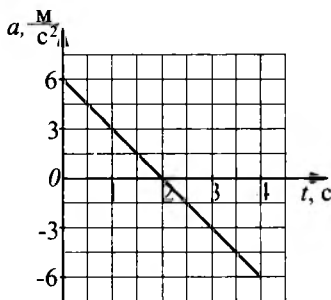


Рис. 18

40. Тело брошено под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 . При этом на тело действует попутный горизонтальный ветер, сообщая ему постоянное ускорение a . Найдите время полёта, наибольшую высоту и наибольшую дальность полёта.

41. Тело брошено с высоты 20 м. Какой путь пройдёт тело за последние 0,1 с своего движения? Начальная скорость тела равна нулю.

42. Из некоторой точки одновременно бросают два тела с одинаковой скоростью 25 м/с: одно — вертикально вверх, другое — вертикально вниз. На каком расстоянии друг от друга будут эти тела через 2 с?

43. Из поднимающегося вертикально вверх вертолётa со скоростью u на высоте H вылетает тело. Через сколько времени оно упадёт на Землю? Какой будет скорость у тела? Сопротивления воздуха нет.

44. Жонглёр бросает вертикально вверх шарики с одинаковой скоростью через равные промежутки времени. При этом пятый шарик жонглёр бросает в тот момент, когда первый шарик возвращается в точку бросания. Найдите максимальное расстояние S_{max} между первым и вторым шариками, если начальная скорость шариков $v_0 = 5 \text{ м/с}$. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь.

2.1.2. Задания для самостоятельной работы

- 45.** В последнюю секунду свободного падения с высоты 45 м тело прошло путь в n раз больший, чем в предыдущую. Найдите n , если начальная скорость тела была равна нулю.
- 46.** Катер плывёт по реке против течения с постоянной скоростью и в некотором месте теряет спасательный круг. Через 2,5 часа потеря обнаруживается, катер разворачивается и нагоняет круг на расстоянии 10 км ниже места потери. Найдите скорость течения реки.
- 47.** Под каким углом θ к горизонту следует бросить тело, чтобы дальность полёта тела была в два раза больше его максимальной высоты подъёма?
- 48.** Падающее без начальной скорости тело проходит за последние 2 секунды своего падения $1/5$ своего пути. Найдите полную высоту падения.
- 49.** Вертолёт, летящий на высоте 250 м, сбрасывает груз. Груз приземляется со скоростью 81 м/с. С какой скоростью летит вертолёт? Сопротивление воздуха не учитывать.
- 50.** Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 3,13 м/с. Когда оно достигло верхней точки полёта, из того же места с такой же скоростью бросили второе тело. Определите, на каком расстоянии от точки бросания встретятся тела. Сопротивление воздуха не учитывать.
- 51.** С высокой башни вертикально вниз брошено тело с начальной скоростью 20 м/с. Через одну секунду из той же точки, с той же по модулю скоростью горизонтально брошено второе тело. Чему будет равно расстояние между этими телами через секунду после бросания второго тела? Ответ округлите до десятых.
- 52.** Из двух точек, находящихся на горизонтальной поверхности на расстоянии 20 м друг от друга, одновременно брошены два тела: первое — вертикально вверх, второе — под углом 30° к горизонту (см. рис. 19). Чему будет равно расстояние между этими телами через секунду полёта, если их начальные скорости одинаковы по модулю и равны 10 м/с? Ответ округлите до десятых.
- 53.** Тело бросили вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Определите промежуток времени между последовательными положениями тела на высоте 5 м.
- 54.** Камень бросили в горизонтальном направлении. Через 3 с его скорость оказалась направленной под углом 30° к горизонту. Определите начальную скорость камня. Сопротивлением воздуха пренебречь.

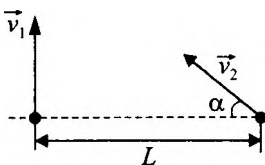


Рис. 19

2.2. Динамика

2.2.1. Задания с решениями

55. Диск вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью 3 рад/с. На расстоянии 30 см от центра диска лежит небольшое тело. При каком минимальном значении коэффициента трения тело будет удерживаться на диске?

56. С наклонной плоскости длиной 4 м и углом наклона 30° соскальзывает тело массой 2 кг, после чего проходит некоторое расстояние по горизонтали. Коэффициент трения на всём пути 0,05. Найдите расстояние, пройденное телом по горизонтали.

57. По рельсам фуникулёра, проложенным под углом 30° к горизонту, спускается вагон массой 2 т. Скорость вагона на всём пути равна 10 м/с, время торможения перед остановкой 5 с. Найдите силу натяжения каната при торможении. Коэффициент трения между колёсами и рельсами 0,1.

58. Лётчик массой 70 кг совершает мёртвую петлю в вертикальной плоскости с включённым двигателем, поддерживая постоянную по модулю скорость. Насколько вес лётчика в верхней точке траектории меньше, чем в нижней?

59. Катер массой 1 т плывёт под действием трёх сил: силы тяги двигателя 1,5 кН, силы ветра 1 кН и силы сопротивления 0,5 кН, причём сила тяги и сила ветра перпендикулярны друг другу. Каково ускорение катера?

60. На расстоянии $r = 25$ см от центра шероховатого диска покоится тело. Диск начали раскручивать, увеличивая его угловую скорость вращения. Чему равен коэффициент трения тела о диск, если тело начинает скользить по диску при угловой скорости $\omega = 4,5$ рад/с?

61. Деревянный брусок перемещают горизонтально по доске, прикладывая силу 3 Н, направленную под углом 30° к горизонту (см. рис. 20). Двигаясь из состояния покоя, брусок проходит 50 см за 2 с. Определите коэффициент трения скольжения, если масса бруска равна 200 г.

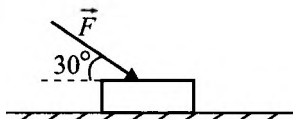


Рис. 20

62. Груз, прикрепленный к нити длиной $l = 15$ см, вращается вокруг вертикальной оси так, что сила натяжения нити в два раза больше силы тяжести. Определите, с какой скоростью вращается груз (см. рис. 21).

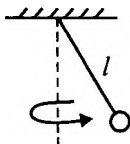


Рис. 21

63. К концам троса, перекинутого через блок, привязаны бруски с массами m и $M = 4m$, находящиеся на гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ (см. рис. 22). При каком минимальном значении коэффициента трения между брусками они будут покоиться?

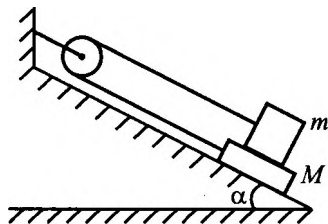


Рис. 22

64. К покоящемуся на шероховатой поверхности телу приложена нарастающая с течением времени горизонтальная тяга $F = bt$, где b — постоянная величина. На рисунке 23 представлен график зависимости ускорения тела от времени действия силы. Определите коэффициент трения скольжения.

65. Грузы массами $M = 1$ кг и m связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок. При этом груз массой M находится на шероховатой наклонной плоскости, наклонённой к горизонту под углом $\beta = 30^\circ$, коэффициент трения $\mu = 0,4$. Чему равно максимальное значение массы m , при котором система грузов остаётся в первоначальном состоянии покоя? Трением в блоке пренебречь.

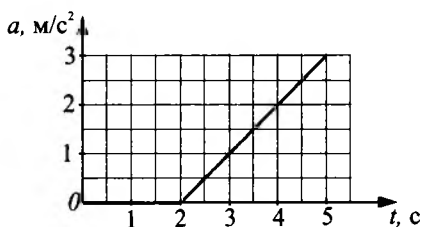


Рис. 23

66. Груз массой m_1 находится на столе, который движется горизонтально с ускорением a (см. рис. 24). К грузу присоединена нить, перекинутая через блок. К другому концу нити подвешен второй груз массой m_2 . Найдите силу натяжения нити, если коэффициент трения груза массой m_1 о стол равен k .

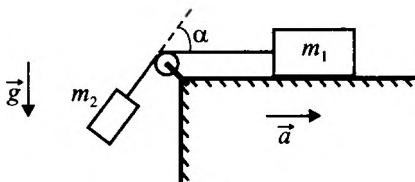


Рис. 24

67. На горизонтальной поверхности покоится клин массой $M = 10$ кг с длиной наклонной поверхности $L = 1,55$ м и углом наклона $\alpha = 45^\circ$ (см. рис. 25). У основания клина покоится тележка массой $m = 2$ кг. С помощью постоянно действующей силы, направленной вдоль поверхности клина и равной $F = 19$ Н, тележку поднимают вверх по клину. На какое расстояние сместится за время подъёма тележки в верхнюю точку клин, если коэффициент трения тележки о клин $\mu_1 = 0,3$, коэффициент трения клина о горизонтальную поверхность $\mu_2 = 0,02$? (Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².)

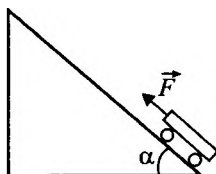


Рис. 25

2.2.2. Задания для самостоятельной работы

68. Чему равно ускорение силы тяжести на поверхности некоторой планеты, радиус которой равен радиусу Земли, но средняя плотность в n раз больше средней плотности Земли?
69. Какой вид имеет зависимость периода обращения искусственного спутника планеты, движущегося по круговой орбите на высоте над поверхностью, много меньшей радиуса планеты, от средней плотности ρ вещества планеты?
70. С какой скоростью движутся частицы наиболее плотного кольца Сатурна, если известно, что их период совпадает с периодом вращения Сатурна вокруг своей оси: 10 часов 40 минут? Масса Сатурна $5,7 \cdot 10^{26}$ кг.
71. Математический маятник равномерно вращается в вертикальной плоскости вокруг точки подвеса. Какова масса маятника, если разность между максимальным и минимальным натяжением нити равна 10 Н?
72. Мотоциклист совершил крутой поворот, двигаясь по дуге окружности радиусом 10 м со скоростью 10 м/с. Под каким углом к горизонту он должен наклониться, чтобы сохранить равновесие?
73. Тело массой 10 кг движется по горизонтальной плоскости под действием силы 50 Н, направленной по углом 30° к горизонту. Чему равна сила трения, действующая на тело, если коэффициент трения скольжения между телом и плоскостью равен 0,1.
74. Стержень длиной l движется по гладкой горизонтальной поверхности. Какая упругая сила возникает в сечении стержня на расстоянии $\frac{1}{3}l$ от конца, к которому приложена сила F , направленная вдоль стержня?
75. Автомат выпускает пули через промежуток времени, равный 0,1 с. Масса каждой пули равна 4 г. Если средняя сила отдачи при стрельбе составляет 20 Н, то какова скорость вылета каждой пули?
76. Сколько времени делятся сутки на планете, если на экваторе все тела невесомы? Плотность вещества планеты $6670 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
77. Грузы массами $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 5$ кг подвешены с помощью системы невесомых блоков и невесомой нити, как показано на рисунке 26. Определите ускорение, с которым движется первый груз.
78. Радиус орбиты, по которой движется спутник планеты, равен 9400 км, а его период обращения равен 7 ч 40 мин. Найдите массу планеты.

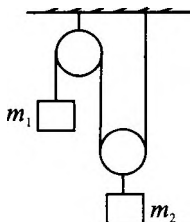


Рис. 26

79. Каков радиус окружности, описываемой коническим маятником, если он с вертикалью образует угол 15° ? Период обращения маятника составляет 2 с.
80. Какой угол образует с вертикалью конический маятник, если за 2 с он совершает один полный оборот по окружности радиусом 10 см?
81. Невесомый жёсткий стержень с маленькими шариками разной массы на концах может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно к нему. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают без толчка. Определите, при каком соотношении масс шариков растяжение сменяется сжатием той половины стержня, на конце которой прикреплен шарик с меньшей массой, когда стержень проходит положение равновесия.
82. Груз массой 400 г находится между двумя закреплёнными вертикальными пружинами жёсткостью 80 Н/м (верхняя) и 120 Н/м (нижняя). В состоянии, когда обе пружины не деформированы, груз имеет скорость 50 см/с. Найдите максимальную скорость груза при дальнейшем его движении.
83. Чему равно ускорение силы тяжести на поверхности некоторой планеты, радиус которой равен радиусу Земли, но средняя плотность в n раз больше средней плотности Земли?
84. Сплошной кубик плотностью 960 кг/м^3 плавает на границе раздела воды и керосина, погружаясь в воду на 5 см (см. рис. 27). Слой керосина располагается выше, чем верхняя поверхность кубика. Определите длину ребра кубика.
85. На гладкой горизонтальной поверхности стола лежит книга массой $M = 600 \text{ г}$, на ней — блокнот массой $m = 150 \text{ г}$. Блокнот начинают тянуть в горизонтальном направлении с некоторой силой $F = 0,5 \text{ Н}$ (см. рис. 28). С каким ускорением начнёт двигаться при этом книга относительно поверхности стола, если коэффициент трения между блокнотом и книгой 0,4? Ответ округлите до десятых.



Рис. 27



Рис. 28

86. На гладкой горизонтальной поверхности стола лежит книга массой $M = 600$ г, на ней — блокнот массой $m = 150$ г. Блокнот начинают тянуть в горизонтальном направлении с некоторой силой $F = 1$ Н (см. рис. 29). С каким ускорением начнёт двигаться при этом книга относительно поверхности стола, если коэффициент трения между блокнотом и книгой $0,4$?



Рис. 29

87. Три одинаковых груза массами 2 кг каждый соединены нитью, перекинутой через блок так, как показано на рисунке 30. Масса груза 4 равна 5 кг. Определите ускорение системы грузов, если коэффициент трения грузов о плоскость $0,1$, а плоскость составляет с горизонтом угол 30° . Нити невесомые, нерастяжимые.

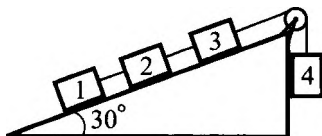


Рис. 30

2.3. Статика

2.3.1. Задания с решениями

88. Кубик стоит у стены так, что одна из его граней образует угол α с полом (рис. 31). При каком значении коэффициента трения кубика о пол это возможно, если трение о стену пренебрежимо мало?

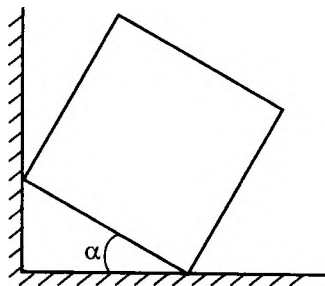


Рис. 31

89. На плоском шероховатом дне чаши находится шар (см. рис. 32). Дно чаши наклонено на некоторый угол по отношению к горизонту. Шар удерживается в равновесии нитью, параллельной дну. На какой наибольший угол α можно наклонить дно чаши, чтобы шар всё ещё оставался в равновесии? Коэффициент трения $k = 0,5$.

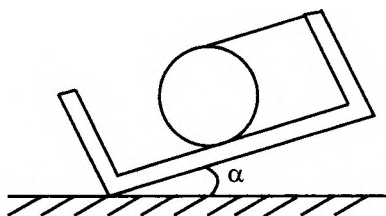


Рис. 32

90. Насколько переместится относительно воды лодка длиной 6 м при переходе человека, масса которого вдвое меньше лодки, с носа лодки на корму?

2.3.2. Задания для самостоятельной работы

91. Определите положение центра тяжести прямоугольной пластинки со сторонами $2a$ и $4a$, из которой вырезан круг радиусом a , касающийся короткой и двух длинных сторон пластинки.

92. На плоскости, имеющей угол наклона к горизонту 30° , стоит цилиндр радиусом 0,5 м. Какова наибольшая высота цилиндра, при которой он ещё не опрокидывается?

2.4. Законы сохранения

2.4.1. Задания с решениями

93. Тело, брошенное со скоростью 10 м/с под углом 30° к горизонту, в верхней точке траектории разрывается на две одинаковые части. Одна из них продолжает горизонтальное движение со скоростью вдвое большей, чем тело имело до разрыва. В какую сторону и с какой скоростью движется вторая половина тела?

94. Горизонтально летящий шар массой 1 кг ударяется о клин массой 2 кг , лежащий на гладкой горизонтальной плоскости, и отскакивает вертикально вверх. Определите скорость шара после упругого соударения, если его начальная скорость 5 м/с .

95. Шар массой 2 кг , движущийся со скоростью 2 м/с , сталкивается с движущимся ему навстречу со скоростью 1 м/с шаром массой 3 кг . Определите скорости шаров после лобового упругого столкновения.

96. Деревянный брусок массой M подвешен на длинной тонкой нити в поле тяжести. В брусок попадает пуля массой m , летящая со скоростью v , и пробивает его насквозь, вылетев из бруска со скоростью u . На какую высоту поднимется брусок?

97. Из ствола безоткатного орудия, установленного на горизонтальной платформе, вылетает снаряд массой 20 кг со скоростью 200 м/с под углом 45° к горизонту. На какое расстояние откатится платформа с орудием, если их масса 2 т , а коэффициент сопротивления движению платформы равен $0,1$?

98. Летящая пуля массой 10 г попадает в ящик с песком, висящий на закреплённой одним концом верёвке. Пуля застряла в доске. Какая доля энергии пули перешла в кинетическую энергию ящика, если его масса 4 кг ?

99. Искусственный спутник Земли переходит с круговой орбиты, расположенной на высоте 600 км от поверхности Земли, на орбиту, расположенную на высоте 100 км от её поверхности. Во сколько раз отличаются кинетические энергии спутника на этих орбитах?

100. Ядро массой 2 кг , брошенное под углом 30° , через $0,75 \text{ с}$ оказалось в высшей точке траектории. Какова работа, затраченная на бросание ядра?

101. Деревянный шарик массой 100 г падает с высоты 3 м . Отношение скорости шарика до удара к скорости шарика после удара равно двум. Найдите выделившееся при ударе количество теплоты.

102. В верхней части наклонной плоскости закреплена пружина жёсткостью $k = 100$ н/м (см. рис. 33). К пружине прижимают брусок массой 100 г и сжимают её, затем брусок отпускают с нулевой начальной скоростью. Путь, пройденный бруском до остановки, $S = 0,5$ м. Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость $\mu = 0,8$. Высота наклонной плоскости $H = 0,6$ м, её длина $L = 1$ м. Определите величину деформации пружины.

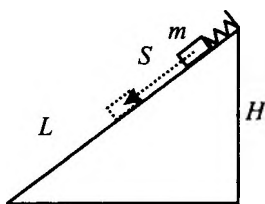


Рис. 33

103. Система из грузов m и M , связанных лёгкой нерастяжимой нитью, в начальный момент времени покоится на гладкой поверхности закреплённой цилиндрической трубы в вертикальной плоскости, проходящей перпендикулярно оси трубы. Грузы расположены на горизонтальной прямой, пересекающей ось трубы (см. рис. 34). От лёгкого толчка грузы приходят в движение, и в процессе движения лёгкий груз m отрывается от поверхности трубы в её верхней точке A . Найдите массу груза M , если $m = 21,4$ г. Размеры грузов пренебрежимо малы по сравнению с радиусом трубы. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на грузы.

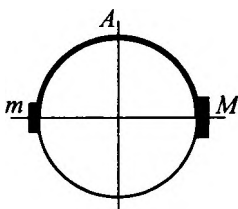


Рис. 34

104. Мяч массой M падает с высоты H и упруго отскакивает от пола; в тот момент, когда он поднимается на высоту $h < H$, с ним центрально и упруго соударяется мяч массой $m < M$, также упавший с высоты H . В результате удара скорость первого мяча оказывается равной нулю, а мяч массой m поднимается на высоту H_1 . Найдите отношение масс

мячей m/M , пренебрегая их размерами и сопротивлением воздуха. Все высоты отсчитываются от поверхности Земли.

105. Тело бросили вертикально вверх с поверхности Земли с начальной скоростью 30 м/с. На какой высоте его потенциальная энергия относительно поверхности Земли будет равна его кинетической энергии?

106. Шарик, подвешенный на пружине с большой жёсткостью и длиной $l = 20$ см, совершает вращательное движение в вертикальной плоскости с постоянной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с. Определите отношение растяжений пружины в крайних нижнем и верхнем положениях.

107. Два пластилиновых шарика, массы которых равны 50 г, движутся с одинаковыми по модулю скоростями $0,8$ м/с, направленными под углом 90° друг к другу. Какая часть энергии перейдёт в тепло при абсолютно неупругом столкновении?

108. На гладком горизонтальном столе покоятся два одинаковых кубика массой M каждый. В центр левого кубика попадает пуля массой m , летящая горизонтально со скоростью v_0 , направленной вдоль линии, соединяющей центры кубиков. Пробив насквозь левый кубик, пуля летит дальше со скоростью $\frac{v_0}{2}$, попадает в правый кубик и застревает в нём.

Через какое время t после попадания пули в левый кубик он столкнётся с правым, если начальное расстояние между ними равно L ?

109. Спутник запущен на круговую орбиту, проходящую на высоте $h = 350$ км над поверхностью Земли. Через некоторое время спутник перевели на орбиту, радиус которой на 25 км меньше. На какую величину η изменилась кинетическая энергия спутника по отношению к её первоначальному значению?

110. Небольшое тело соскальзывает без начальной скорости по внутренней поверхности полусферы с высоты, равной её радиусу. Одна половина полусферы абсолютно гладкая, а другая — шероховатая с коэффициентом трения $\mu = 0,15$. Определите ускорение тела в тот момент, как только оно попадёт на шероховатую поверхность.

111. Кузнечик сидит на одном из концов соломинки длиной $l = 50$ см, покоящейся на гладком полу. С какой минимальной относительно пола скоростью v_0 он должен прыгнуть, чтобы при приземлении попасть точно на второй конец соломинки? Масса кузнечика в $\beta = 3$ раза больше массы соломинки. Размерами кузнечика и трением между полом и соломинкой пренебречь.

112. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки A (см. рис. 35). В точке B наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом R . Если в точке A начальная скорость шайбы превосходит 4 м/с , то в точке B шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости $AB = L = 1 \text{ м}$, угол $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0,2$. Найдите внешний радиус трубы R .

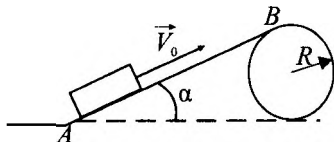


Рис. 35

113. Из прямоугольной ямы глубиной H и площадью поперечного сечения S , заполненной водой, откачивают воду с помощью насоса через цилиндрическую трубу диаметром d за время τ . Какую работу совершит насос при полной откачке воды?

2.4.2. Задания для самостоятельной работы

114. Во сколько раз изменилась энергия упругой деформации пружины, если тело, подвешенное на этой пружине, погрузили в жидкость, плотность которой в 6 раз меньше плотности тела?

115. Автомобиль массой $m = 1 \text{ т}$ трогается с места и проходит по горизонтальному участку дороги путь 20 м за 2 с , двигаясь равноускоренно. Пренебрегая силами сопротивления движению автомобиля, найдите максимальную мощность его двигателя.

116. Два пластилиновых шарика, массы которых 100 г и 300 г , подвешены на одинаковых нитях длиной 1 м . Шарик соприкасаются. Второй шарик отклонили от положения равновесия на угол 90° и отпустили. Какая часть энергии шариков после абсолютно неупругого соударения перейдет в тепло?

117. В кубик, покоящийся на гладкой горизонтальной поверхности, попадает пуля, летящая горизонтально со скоростью 500 м/с (см. рис. 36). После удара скорость кубика 125 м/с . На сколько градусов нагрелась пуля, если на её нагревание идет одна треть выделившегося при ударе тепла? Масса кубика в 2 раза больше массы пули. Удельная теплоемкость пули $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Ответ округлите до целых.



Рис. 36

118. Пуля, летящая горизонтально со скоростью 100 м/с, пробивает шар, висящий на невесомой нити длиной 2,5 м, и вылетает со скоростью 90 м/с (см. рис. 37). Масса шара в 2 раза больше массы пули. Какой угол образует нить с вертикалью после удара?

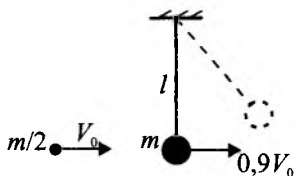


Рис. 37

119. Пружинное ружьё наклонено под углом $\beta = 30^\circ$ к горизонту. Энергия сжатой пружины равна $E_0 = 0,41$ Дж. При выстреле шарик массой $m = 50$ г проходит по стволу ружья расстояние b , вылетает и падает на расстоянии $L = 1$ м от дула ружья в точку M , находящуюся с ним на одной высоте (см. рис. 38). Найдите расстояние b . Трением в стволе и сопротивлением воздуха пренебречь.

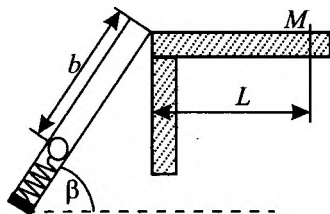


Рис. 38

120. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально. Определите изменение (в м/с) скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол 39° . (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити, $\cos 39^\circ = 0,777$.)

121. В верхней части наклонной плоскости закреплена пружина жёсткостью $k = 100 \text{ Н/м}$ (см. рис. 39). К пружине прижимают брусок массой 100 г и сжимают её на $x = 1 \text{ см}$, затем брусок отпускают с нулевой начальной скоростью. Определите путь, пройденный бруском S . Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость $\mu = 0,8$. Высота наклонной плоскости $H = 0,6 \text{ м}$, её длина $L = 1 \text{ м}$.

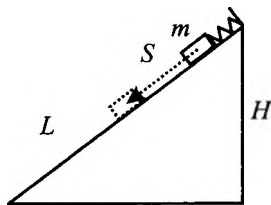


Рис. 39

122. Пуля, летящая со скоростью v , пробивает шар, подвешенный на нити, и вылетает из него со скоростью u . На какую высоту h поднимется шар над начальным положением равновесия? Масса шара в 10 раз больше массы пули.

123. При выполнении трюка «Летающий скайбордист» гонщик движется по гладкому трамплину, начиная движение из состояния покоя с некоторой высоты над краем трамплина (см. рис. 40). На нижнем краю трамплина скорость направлена под углом 30° к горизонту. Пролетев по воздуху, гонщик приземлился на горизонтальный стол на расстоянии 36 м от края трамплина. С какой высоты H стартовал гонщик?

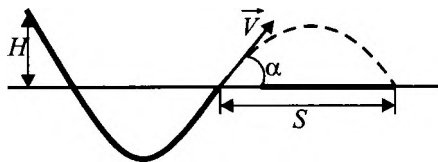


Рис. 40

124. С наклонной плоскости длиной 4 м и углом наклона 30° соскальзывает тело массой 2 кг , после чего проходит некоторое расстояние по горизонтали. Коэффициент трения на всём пути $0,05$. Найдите расстояние, пройденное телом по горизонтали.

125. Небольшой кубик, двигаясь со скоростью 5 м/с по гладкой горизонтальной поверхности, попадает на шероховатый участок длиной 5 м , коэффициент трения скольжения которого $0,09$. Преодолев этот участок и

снова двигаясь по гладкой поверхности, кубик абсолютно неупруго ударяется в шар, масса которого в три раза больше массы кубика. Определите скорость движения кубика вместе с шаром.

126. Кирпич падает с высоты 2 м. На половине пути в него попадает горизонтально летящий кусок пластилина, имеющий массу в 10 раз меньшую, чем масса кирпича, и мгновенно к нему прилипает. Скорость пластилина перед ударом равна 1 м/с. Найдите модуль скорости кирпича в момент удара о землю.

127. Небольшая шайба массой $m = 100$ г соскальзывает по наклонной плоскости, плавно переходя в дугу окружности, плоскость которой вертикальна. Найдите работу сил сопротивления, если точка начала соскальзывания и точка отрыва от окружности расположены на высотах $H = 2,6$ м и $h = 0,4$ м над её центром, как показано на рис. 41.

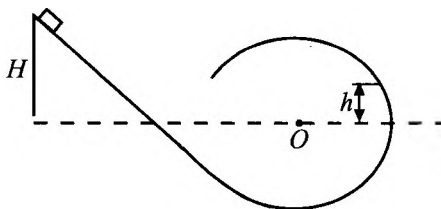


Рис. 41

128. Маятник с грузом 0,1 кг отводят в горизонтальное положение и отпускают. Определите максимальное натяжение нити, после того как маятник зацепится за гвоздь, вбитый на середине длины маятника в точке, направление на которую из точки подвеса составляет угол 45° с вертикалью.

129. На одном конце тележки длиной 3 м стоит человек массой 50 кг. Масса тележки 50 кг. На какое расстояние относительно пола передвинется тележка, если человек перейдет с постоянной скоростью на другой её конец (массой колёс и трением пренебречь)?

130. По горизонтальной поверхности (см. рис. 42) скользит без трения гладкая горка высотой $h = 20$ см и массой $M = 500$ г. При какой наименьшей скорости горки тело массой $m = 100$ г, неподвижно лежащее на её пути, перевалит через её вершину?

131. Плот массой 120 кг движется по реке со скоростью 5,3 м/с. С берега на плот бросают груз массой 85 кг, который летит со скоростью 12 м/с, направленной перпендикулярно скорости плота. Определите потери механической энергии при абсолютно неупругом ударе груза о плот.

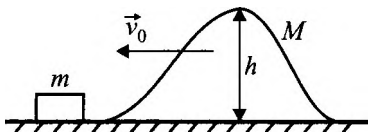


Рис. 42

132. Два бруска массой $3,0$ кг каждый, лежащие на горизонтальной поверхности, соединены невесомой недеформированной пружиной с жёсткостью, равной $1,0$ Н/м. Коэффициент трения между брусками и поверхностью равен $0,20$. Какую минимальную скорость нужно сообщить одному из брусков вдоль пружины, чтобы он, растянув пружину, смог сдвинуть второй брусок?

133. Шарик массой 200 г, висящий на нити длиной $1,5$ м, отводят в сторону так, чтобы нить заняла горизонтальное положение, и отпускают без толчка. Внизу на расстоянии $1,0$ м под точкой подвеса вбит гвоздь. Какую силу натяжения будет иметь нить в момент, когда она вновь займёт горизонтальное положение, налетев на гвоздь?

134. Из пушки массой 50 кг, которая может скользить по горизонтальным рельсам, производится выстрел. Снаряд массой 5 кг вылетает под углом 60° к горизонту. В результате выстрела пушка приобретает горизонтальную скорость 2 м/с. Какова дальность полёта снаряда?

135. Небольшой шарик, падая с высоты 1 м, отскакивает от земли со скоростью в $0,94$ раза меньшей, чем до удара. Определите, сколько ударов совершит шарик за $1,3$ с.

136. Маятник массой m отклонён на угол α от вертикали. Какова сила натяжения нити при прохождении маятником положения равновесия?

137. Груз массой $m = 1$ кг падает с высоты $h = 240$ м и углубляется в песок на $S = 0,2$ м. Определите среднюю силу сопротивления грунта $\langle F_c \rangle$, если начальная скорость падения груза $v_0 = 14$ м/с. Сопротивление воздуха не учитывать.

138. Шарик массой $0,5$ кг, падая с некоторой высоты, ударяется о наклонную плоскость и упруго отскакивает от неё без потери скорости. Угол наклона плоскости к горизонту 30° . За время удара плоскость получает импульс 2 кг·м/с. Определите, на какую высоту (относительно точки отскока) поднимется тело.

139. Пуля, летящая горизонтально со скоростью 80 м/с, пробивает шар, висящий на невесомой нити, и вылетает со скоростью 60 м/с. Масса ша-

ра в 4 раза больше массы пули. Найдите, чему равна длина нити, если после удара шар отклонился на 60° от вертикали.

140. Два шара массами 0,3 кг и 0,2 кг находятся на двух нитях, подвешенных в одной точке. Большой шар отклонили на угол 60° и отпустили. На какой максимальный угол отклонятся от вертикали оба шара, если соударение шаров абсолютно неупругое?

2.5. Механические колебания и волны

2.5.1. Задания с решениями

141. Тело массой $m = 2$ кг движется вдоль оси Ox под действием силы, проекция которой на ось X меняется по закону $F_x = -2x$ Н. Найдите минимальное время, в течение которого тело побывает во всех допустимых точках своей траектории.

2.5.2. Задания для самостоятельной работы

142. Материальная точка равномерно вращается по окружности. Зависимость её проекции (x) на ось OX , совпадающую с диаметром окружности, от времени (t) описывается формулой $x = A \cos(\omega t + \alpha)$, где $A = 0,2$ м, $\alpha = 3$ рад, $\omega = 30$ рад/с. Найдите скорость движения материальной точки по окружности.

143. Материальная точка равномерно движется по окружности. В тот момент, когда проекция этой точки на ось, совпадающая с диаметром окружности, удалена на расстояние $x = 20$ см от центра окружности, фаза колебаний проекции этой точки на выбранную ось равна $\alpha = 9\pi/4$. Определите радиус окружности R .

144. Материальная точка вращается по окружности радиусом $R = 0,4$ м. Максимальная скорость проекции этой точки на ось, совпадающую с диаметром окружности, $V_{max} = 0,25$ м/с. Чему равна циклическая частота колебаний ω проекции этой точки на выбранную ось?

145. Частота колебаний маятника в кабине опускающегося вниз с постоянной скоростью лифта равна ν . Найдите частоту колебаний этого маятника в кабине лифта, если он движется равнозамедленно с ускорением $a = 0,75g$.

146. Какова частота колебаний математического маятника длиной 1 м, находящегося в вагоне, движущемся с ускорением 5 м/с^2 ?

147. Период вертикальных колебаний шарика на невесомой пружине равен T_1 . При укорочении пружины на 25% период колебаний равен T_2 . Определите отношение T_2/T_1 .

148. Вертикально установленная U-образная трубка частично заполнена ртутью. Найдите период малых колебаний столба ртути в трубке, если площадь её поперечного сечения $S = 0,3 \text{ см}^2$, а масса ртути $m = 484 \text{ г}$. Плотность ртути $\rho = 13,6 \text{ г/см}^3$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Возможными потерями энергии колебаний пренебречь.

§ 3. Задание № 30. Молекулярная физика (расчётная задача)

Задача 2. Воздушный шар, оболочка которого имеет массу $M = 145$ кг и объём $V = 230$ м³, наполняется горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении и температуре окружающего воздуха $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Какую минимальную температуру t должен иметь воздух внутри оболочки, чтобы шар начал подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.⁵

Авторское решение (один из возможных вариантов)

Проведём физический анализ условия задачи. Для того чтобы шар начал подниматься, должно выполняться условие плавания тел — компенсация всех сил, действующих на тело. На шар действуют две силы: сила тяжести и выталкивающая сила Архимеда F_A . Запишем условие начала подъёма шара:

$$F_A \geq Mg + mg,$$

где M — масса оболочки, m — масса воздуха внутри оболочки.

Отсюда, используя связь массы тела и его плотности, можно получить:

$$\rho_0 g V \geq MG + \rho g V \Rightarrow$$

$$\rho_0 V \geq M + \rho V,$$

где ρ_0 — плотность окружающего воздуха, ρ — плотность воздуха внутри оболочки, V — объём шара.

Как видно, здесь полностью выполнены условия пункта 2 критериев оценки.

Для воздуха внутри шара находим его плотность.

Или иначе это можно записать:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot \mu}{R \cdot T},$$

где p — атмосферное давление, T — температура воздуха внутри шара.

Найдём плотность воздуха в атмосфере:

$$\rho_0 = \frac{\mu p}{RT_0},$$

где T_0 — температура окружающего воздуха.

Запишем условие начала подъёма шара в виде

⁵Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом», М.: ФИПИ, 2018. — с. 37.

$$\frac{p \cdot \mu \cdot V}{RT_{\min}} = \frac{p \cdot \mu \cdot V}{RT_0} - M.$$

Откуда следует:

$$T_{\min} = T_0 \frac{p\mu V}{p\mu V - MRT_0}.$$

После подстановки числовых значений получим окончательный ответ:

$$T_{\min} = \frac{273 \cdot 10^5 \cdot 0,029 \cdot 230}{10^5 \cdot 0,029 \cdot 230 - 145 \cdot 8,31 \cdot 273} = 538 \text{ (K)} = 265 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Рассмотрим **примеры реальных решений** данной задачи учащимися.

Реальное решение № 1 (2 балла).

$$\begin{aligned}
 &M\vec{g} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{арх}} = 0; \rho_{\text{в}} g V = M g + m g \\
 &PV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow m = \frac{PV\mu}{RT}; \rho_{\text{в}} = \frac{PM}{RT_0} \\
 &\frac{P \cdot M \cdot V}{RT_0} = M + \frac{PV\mu}{RT} \Rightarrow t = \frac{PV\mu}{R \left(\frac{PM}{T_0} - M \right)} - 273
 \end{aligned}$$

M — молярная масса воздуха.

Далее приведём расшифровку реальной работы.

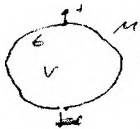
$$M\vec{g} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{арх}} = 0; \rho_{\text{в}} g V = M g + m g.$$

$$PV + \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow m = \frac{PV\mu}{RT}; \rho_{\text{в}} = \frac{PM}{RT_0}, \frac{P\mu}{RT_0} V = M + \frac{PV\mu}{RT} \Rightarrow$$

$$t = \frac{PV\mu}{R \left(\frac{P\mu V}{T_0 R} - M \right)} - 273. \quad \mu — \text{молярная масса воздуха.}$$

Комментарий: Здесь приведены все исходные формулы, получен ответ в общем виде, не проведён численный расчёт. Эксперты оценили работу в 2 балла.

Реальное решение № 2 (1 балл).



Дано: $M = 145 \text{ кг}$, $V = 230 \text{ м}^3$, $t_0 = 0^\circ \text{С}$,

Найти: t ?

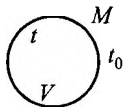
Решение: Условие полета шара.

$$Mg = f_A + f, \quad f_A = \rho_0 g V$$

~~$$p_0 = \frac{\nu RT}{V} = \frac{\rho_0 RT_0}{M_0} \quad \rho_0 = \frac{\rho_0 M_0}{RT_0}$$~~

$$Mg = \frac{\rho_0 M_0 g V}{RT_0} + f, \quad t = f(t) \quad \text{Так находим } t$$

Далее приведём расшифровку реальной работы.



Дано: $M = 145 \text{ кг}$, $V = 230 \text{ м}^3$, $t_0 = 0^\circ \text{С}$.

Найти: t ?

Решение: Условие полёта шара $Mg = f_A + f$,

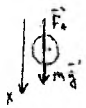
$$f_A = \rho_0 g V, \quad p_0 = \frac{\nu RT}{V} = \frac{\rho_0 RT_0}{M_0}, \quad \rho_0 = \frac{\rho_0 M_0}{RT_0}$$

$$Mg = \frac{\rho_0 M_0 g V}{RT_0} + f, \quad f = f(t). \quad \text{Так находим } t.$$

Комментарий: Здесь эксперты выставили достаточно спорный 1 балл. Условие подъёма шара записано неверно, и, следовательно, больше не о чем говорить.

Реальное решение № 3 (1 балл).

$M = 175 \text{ кг}$
 $V = 230 \text{ м}^3$
 $\rho_0, T_0 = 273 \text{ К}$
 $t = ?$



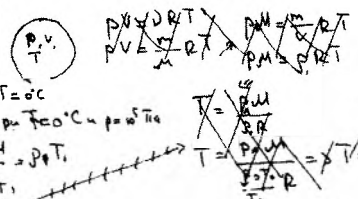
~~$$M \ddot{x} = m \ddot{x} + \ddot{F}_A$$~~

$$\ddot{x}: m \ddot{x} = mg - F_A$$

$$m \ddot{x} = mg - \rho_0 g V$$

это и была формула
 $\ddot{x} = 0$ (ускорение = 0)
 $mg = \rho_0 g V$ (1)

~~$$pV = \nu RT$$~~
~~$$pM = \rho_0 RT_0 - \text{при } T = 0^\circ \text{С}$$~~
~~$$\rho_0 = \text{плотность при } T = 0^\circ \text{С и } \rho = \rho_0 T_0$$~~
~~$$\frac{pM}{R} = \rho_0 T_0, \quad \frac{pM}{R} = \rho_0 T$$~~
~~$$\rho_0 T_0 = \rho_0 T$$~~



$\rho = \rho_0$ (и $\rho = \rho_0$ отсюда)
 $\rho = \text{плотность воздуха при } T = 0^\circ \text{С}$
 явление сжатия и вытеснения шара
 т.к. шар оторвался

$$(2) \left[\frac{\rho_0 T_0}{T_1} \right] = \text{плотность воздуха при } T = T_1, \quad \frac{m}{V} = \frac{\rho_0 T_0}{T_1} \left[\frac{\rho_0 V_0 T_0}{m} \right] \quad (4)$$

$$\rho_0 M = \rho_0 RT_0$$

$$\left[\rho_0 = \frac{\rho_0 M}{RT_0} \right] \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{\rho_0 M V_0}{R m}$$

$$T_1 = \frac{10^3 \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 230}{8,31 \cdot 145} = \frac{6670 \cdot 10^3}{1285} \approx 5190 \text{ К}$$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$$M = 145 \text{ кг}, V = 230 \text{ м}^3, p_A, T_0 = 273 \text{ °К},$$

$t - ?$

$$m\vec{r} = m\vec{g} + \vec{F}_A,$$

$$m\ddot{x} = mg - F_A, \quad m\ddot{x} = mg - \rho_r g V,$$

чтобы начинал взлетать $\ddot{x} = 0$ (ускорение = 0).

$$mg = \rho_r g V, \quad \rho_r = \frac{m}{V} \quad (1) pV = \nu RT, \quad pM = \rho_0 RT_0 \text{ — при}$$

$$T = 0 \text{ °С.}$$

$p = p_A$ (т.к. шар открыт)

ρ_0 — плотность при $T = 0 \text{ °С}$ и $p = 10^5$ Па, давления снаружи и внутри шара равны, т.к. шар открыт. $\frac{pM}{R} = \rho_0 T_0,$

$$\frac{pM}{R} = \rho_1 T_1, \quad \rho_0 T_0 = \rho_1 T_1.$$

$$(2) \quad \rho_1 = \frac{\rho_0 T_0}{T_1} \text{ — плотность воздуха при } T = T_1.$$

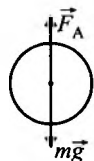
$$\text{Из (1), (2)} \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{\rho_0 T_0}{T_1}, \quad p_0 M = \rho_0 R T_0, \quad \rho_0 = \frac{p_0 M}{R T_0} \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{\rho_0 V_0 T_0}{m} \quad (4)$$

$$\text{Из (3), (4)} \Rightarrow T_1 = \frac{p_0 M}{R T_0} \cdot \frac{T_0 V_0}{m} = \frac{p_0 M V_0}{R m}.$$

$$T_1 = \frac{p_0 M V_0}{R m}$$

$$T_1 = \frac{10^5 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 230}{8,31 \cdot 145} = \frac{6670 \cdot 10^2}{1285} \approx 430 \text{ °К.}$$



Комментарий: В данном решении достаточно грамотно (в векторном виде) записаны все необходимые уравнения, но учащийся не учитывает массу оболочки шара и неверно записывает выражение для плотности воздуха в шаре (через массу оболочки и объём шара). Следовательно, одно из исходных уравнений ошибочно, работа оценивается 1 баллом.

Реальное решение № 4 (0 баллов).

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow T = \frac{p \cdot V}{R \cdot \frac{m}{M}} = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot m}$$

$$T = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 230 \text{ м}^3 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 145 \text{ кг}} = \frac{7360 \cdot 10^2}{1204,95} = 611 \text{ К}$$

$$t = 611 \text{ К} - 273 \text{ К} = 338^\circ \text{C}$$

Ответ: 338 °С.

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow T = \frac{p \cdot V}{R \cdot \frac{m}{M}} = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot m}$$

$$T = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 230 \text{ м}^3 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 145 \text{ кг}} = \frac{7360 \cdot 10^2}{1204,95} = 611 \text{ К.}$$

$$t = 611 \text{ К} - 273 \text{ К} = 338^\circ \text{C.}$$

Ответ: 338 °С.

Комментарий: Отсутствуют два из трёх исходных уравнений.

Задача 3. В сосуде объёмом $V = 0,02 \text{ м}^3$ с жёсткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью s , заткнутое пробкой. Максимальная сила трения покоя F пробки о края отверстия равна 100 Н. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите значение s , полагая газ идеальным.⁶

Авторское решение (один из возможных вариантов)

Если газ нагреть, то пробка выскочит в тот момент, когда сила внешнего атмосферного давления на пробку будет меньше силы давления воздуха внутри сосуда и силы трения между пробкой и краем отверстия. Следовательно, избыточное давление внутри сосуда должно быть равно

$$\Delta p = \frac{F_{\text{тр}}}{S},$$

где S — площадь пробки.

⁶Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий ЕГЭ с развёрнутым ответом», ч. 1, М.: ФИПИ, 2014. — с. 36.

Так как внутри сосуда происходит изохорный процесс, то из уравнения Менделеева — Клайперона следует, что

$$\Delta p \cdot V = \nu R \Delta T.$$

Работа внешних сил над пробкой равна нулю, следовательно,

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta p \cdot V$$

$$Q = \frac{3 \cdot F_{\text{ТР}} \cdot V}{2S}$$

Окончательно получим:

$$S = \frac{3 \cdot F_{\text{ТР}} \cdot V}{2Q}$$

$$S = \frac{3 \cdot 100 \cdot 0,02}{2 \cdot 15000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Ответ: $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Рассмотрим примеры реальных решений данной задачи учащимися.

Реальное решение № 1 (2 балла).

Дано: $V = 0,02 \text{ м}^3$
 $F_{\text{ТР}} = 100 \text{ Н}$
 $Q = 15 \text{ кДж} = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}$
 $S = ?$

Условие: $P_0 V = \nu R T_0$
 $P_0 V = \nu R T_2$
 $(P_0 - P) V = \nu R (T_2 - T_0)$

1) $\sum F = ma$
 упр. уравнения движения $\vec{F} = P \cdot S$
 $a = 0$; $F_{\text{ТР}} = P \cdot S$
 $R = P \cdot S$
 $P_0 S = P S + F_{\text{ТР}}$
 $F_{\text{ТР}} = (P_0 - P) S \Rightarrow (P_0 - P) = \frac{F_{\text{ТР}}}{S}$

2) $P V = \nu R T_0$
 $P_0 V = \nu R T_2$
 $(P_0 - P) V = \nu R (T_2 - T_0)$

3) $Q = \Delta U + A$ $T = \text{const}$
 $Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_0)$
 $\frac{2}{3} Q = \nu R (T_2 - T_0)$

4) $(P_0 - P) V = \nu R (T_2 - T_0)$; $(P_0 - P) = \frac{F_{\text{ТР}}}{S}$; $\nu R (T_2 - T_0) = \frac{2}{3} Q$; \Rightarrow
 $\frac{F_{\text{ТР}} \cdot V}{S} = \frac{2}{3} Q$
 $S = \frac{3 F_{\text{ТР}} \cdot V}{2 Q} = \frac{3 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 15 \cdot 10^3} = \frac{6}{300} \cdot 10^2 = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$
 Ответ: $S = \frac{3 F_{\text{ТР}} \cdot V}{2 Q} = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$$\text{Дано: } V = 0,02 \text{ м}^3, F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н},$$

$$Q = 15 \text{ кДж} = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

$$S - ?$$

Решение:

$$1) \sum F = ma, \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_{\text{тр}} = 0.$$

$$\text{усл. начала движ. } \vec{F}_1 = p_1 s, \vec{F}_2 = p s.$$

$$a = 0; F_{\text{тр}} = \mu N$$

$$x: p_0 s = p s + F_{\text{тр}}. F_{\text{тр}} = (p_0 - p)s \Rightarrow (p_0 - p) = \frac{F_{\text{тр}}}{s}.$$

$$2) pV = \nu RT_0, p_0 V = \nu RT_2, (p_0 - p)V = \nu R(T_2 - T_0).$$

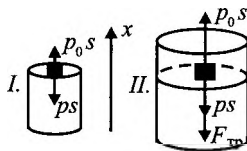
$$3) Q = \Delta U + A, V = \text{const}, Q = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_0), \frac{2}{3} Q = \nu R(T_2 - T_0).$$

$$4) (p_0 - p)V = \nu R(T_2 - T_0); (p_0 - p) = \frac{F_{\text{тр}}}{s}; \nu R(T_2 - T_0) = \frac{2}{3} Q;$$

$$\frac{F_{\text{тр}} \cdot V}{s} = \frac{2}{3} Q.$$

$$s = \frac{3F_{\text{тр}} \cdot V}{2Q} = \frac{3 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 15 \cdot 10^3} = \frac{6}{30 \cdot 10^3} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\text{Ответ: } s = \frac{3F_{\text{тр}} \cdot V}{2Q} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$



Комментарий: В этой задаче получен правильный ответ и приведены верные рассуждения с указанием необходимых законов, однако описаны не все вновь вводимые обозначения физических величин. Так не указаны новые параметры, входящие в уравнение состояния идеального газа, и площадь пробки (отверстия). Хотя, в принципе, это должно быть понятно из общих физических соображений, но таковы требования, предъявляемые к решению заданий.

Реальное решение № 2 (2 балла).

Дано:

$$V = 0,02 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$$

$$Q = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

S - ?

Ответ: 2 см^2 .

Решение:

По первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A', \quad A' = 0$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R T = \frac{3}{2} \nu p V = \frac{3 F V}{2 S} \Rightarrow$$

$$S = \frac{3 F V}{2 Q} = \frac{3 \cdot 100 \text{ Н} \cdot 0,02 \text{ м}^3}{2 \cdot 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}} = 0,2 \cdot 10^{-3} (\text{м})^2 = 2 \text{ см}^2$$



Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $V = 0,02 \text{ м}^3$, $F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$, $Q = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

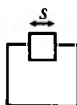
S - ?

Решение:

По первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A', \quad A' = 0. \quad Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta p V = \frac{3 F V}{2 S} \Rightarrow$$

$$s = \frac{3 F V}{2 Q} = \frac{3 \cdot 100 \text{ Н} \cdot 0,02 \text{ м}^3}{2 \cdot 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}} = 0,2 \cdot 10^{-3} (\text{м})^2 = 2 (\text{см})^2.$$

Ответ: $s = 2 \text{ см}^2$.

Комментарий: Правильный ответ, но полное отсутствие соответствия требованиям, предъявляемым пунктом 2.

Реальное решение № 3 (2 балла).

Для того чтобы выяснить зависимость давления от высоты воздуха на высоте $\Delta p = \rho g \Delta h \Rightarrow S = \frac{F}{\rho g}$
 Зависимость давления от температуры T
 по уравнению Менделеева-Клапейрона
 $\Delta p = \rho R \cdot \Delta T$, где ρ - плотность воздуха
 Умножим T $\Delta U = A + Q$ В камере совершена работа $A = Q$
 $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T$; $\Delta U = Q \Rightarrow$
 $\Rightarrow \Delta p = \frac{2}{3} \frac{\Delta U}{V} = \frac{2}{3} \frac{Q}{V}$, $\Delta p = \frac{2 Q}{3 V} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^5 (\text{Па})$
 $\Rightarrow S = \frac{100}{5 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$
 Ответ: $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Для того чтоб выскочила давление должно быть больше атмос. на велич. $\Delta p \frac{F}{s} \cdot 3 = \frac{F}{\Delta p}$. Давление меняется из-за температуры T по уравн. Менд.-Клаперона.

$V \cdot \Delta p = \nu R \cdot \Delta T$, где ν — колич. веш.

Изменение T $\Delta U = A + Q$. В нашем случ. $A = 0$.

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T; \Delta U = Q \Rightarrow V \cdot \Delta p = \frac{2}{3} \Delta U = \frac{2}{3} Q,$$

$$\Delta p = \frac{2Q}{3V} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^5 \text{ (Па)}. \Rightarrow$$

$$s = \frac{100}{5 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Комментарий: Достаточно характерны ошибки записи решения этой задачи. Эксперту совершенно непонятны одинаковые обозначения объёма газа и внутренней энергии.

Реальное решение № 4 (1 балл).

Дано: $V = 0,02 \text{ м}^3$
 $T_0 = 300 \text{ К}$
 $\rho_0 = 2,5 \text{ кг/м}^3$
 5-?

По усл. $F_{\text{вн}} = F_{\text{сп}}, p_0 = p_{\text{вн}}$
 по усл. $Q_0 = A^0 + Q_1 \rightarrow Q_1 = Q_0 = \frac{3}{2} \nu R T$
 по усл. $A^0 = 0$ (так как $\nu = 0$)
 по усл. $pV = \nu RT \rightarrow p_0 = \frac{2Q_0}{3V}$
 $p = \frac{1,2 \cdot 10^4}{V} = \frac{2Q_0(300 \text{ К})}{3V} = p_0 = \frac{2Q_0}{3V}$

T_0 $F_{\text{вн}} = p \cdot s$ — по усл. равновесия $F_{\text{сп}} = \frac{2Q_0(300 \text{ К})}{3V} \cdot s =$
 $= s = \frac{F_{\text{сп}}}{p} = s = \frac{F_{\text{сп}}}{\frac{2Q_0}{3V}} = \frac{F_{\text{сп}} \cdot 3V}{2Q_0} = \frac{F_{\text{сп}}}{\frac{2Q_0}{3V} \cdot 3V} = \frac{F_{\text{сп}}}{2Q_0} \cdot 3V$
 $= \frac{100 \text{ Н}}{2 \cdot 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}} \cdot 3 \cdot 0,02 \text{ м}^3 = \frac{100 \text{ Н} \cdot \text{м}^3}{15 \cdot 10^3 \text{ Дж}} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Ответ: $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $i = 3$, $V = 0,02 \text{ м}^3$, $F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$, $Q = 15 \text{ кДж}$.

S — ?

i — количество степеней свободы газа, p_0 — начальное давление, p' — давление, выбивающее пробку, T и T' — температуры, ΔT — изменение температуры газа, ΔU — изменение внутренней энергии, A — работа газа до вылета пробки.

По усл. $F_{\text{давл}} = F_{\text{тр}}$, $p_0 = p_{\text{атм}}$.

по ЗСЭ: $Q_0 = A + \Delta U$

по усл.: $A = 0$ ($\Delta U = 0$) $Q_0 = \Delta U = \frac{1}{2} \nu RT$.

ур-е Менделеева-Клапейрона: $pV = \nu RT \Rightarrow p_0 = \frac{\nu RT_0}{V}$.

$$p' = \frac{\nu RT'}{V} = \frac{\nu R(T_0 + \Delta T)}{V} = p_0 + \frac{\nu R \Delta T}{V}.$$

Т.о. $F_{\text{тр}} = p' \cdot s$ — по опр. давления \Rightarrow

$$F_{\text{тр}} = \frac{\nu R(T_0 + \Delta T)}{V} \cdot s \Rightarrow s = \frac{F_{\text{тр}}}{\frac{\nu R \Delta T}{V} + p_0} \Rightarrow$$

$$S = \frac{F_{\text{тр}}}{\frac{2Q_0}{i \cdot V} + p_{\text{атм}}} = \frac{100 \text{ Н}}{5 \cdot \frac{15 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{3 \cdot 0,02 \text{ м}^3} + 100000 \text{ Па}}$$

$$= \frac{100}{3,5 \cdot 10^5} \approx 2,86 \text{ см}^2.$$

Ответ: $\approx 2,86 \text{ см}^2$.

Комментарий: В одной из исходных формул (условие равновесия пробки), необходимых для решения задачи, допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.

Реальное решение № 5 (1 балл).

Дано $V = 0,02 \text{ м}^3$ $F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$ $Q = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ $i = 3$ <hr/> $S = ?$

$$F = p \cdot S; \Delta U = Q + A, A = 0 \Rightarrow \Delta U = Q$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \Delta p \cdot V$$

$$S = \frac{2}{3} \frac{Q}{V} = \frac{2}{3} \frac{15 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{0,02 \text{ м}^3} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $V = 0,02 \text{ м}^3$, $F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$, $Q = 15 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, $i = 3$.

$S = ?$

$$F = p \cdot S; \Delta U = Q + A, A = 0 \Rightarrow \Delta U = Q.$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \Delta p \cdot V.$$

$$S = \frac{F}{p} = \frac{100 \text{ Н}}{\frac{2}{3} \cdot \frac{15 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{0,02 \text{ м}^3}} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

Комментарий: В одной из исходных формул, необходимых для решения задачи (условие равновесия пробки), допущена ошибка. Неправильно записаны единицы измерения в ответе, но в данном случае более серьёзная ошибка «поглощает» менее серьёзную.

3.1. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

3.1.1. Задания с решениями

149. Какой объём занимает смесь 1 кг кислорода и 2 кг гелия при нормальных условиях? Какова молярная масса смеси?

150. Определите, какой будет температура в комнатах, объём которых 44 м^3 и 33 м^3 , если между ними открывается дверь. Первоначальное давление в комнатах 100 кПа и 90 кПа, а температура 27°C и 20°C соответственно.

151. В трёх сосудах объёмами V_1 , V_2 , V_3 находятся газы при одинаковых температурах и давлениях p_1 , p_2 , p_3 . Сосуды соединяют между собой тонкими трубками. Найдите установившееся давление в сосудах.

152. Смесь газов водорода и гелия при температуре 27°C находится в сосуде объёмом 300 л. При этом плотность смеси равна $0,8 \text{ кг/м}^3$, а её давление 831 кПа. Определите, какое давление будет в сосуде, если из него откачать 75% молекул водорода.

153. В баллон ёмкостью 12 л поместили 1,5 кг азота при температуре 327°C . Какое давление будет создавать азот в баллоне при температуре 50°C , если 35 % азота будет выпущено?

154. В горизонтально расположенном сосуде, разделённом подвижной перегородкой на две части, содержится некоторое количество идеального газа. Каждая из частей сосуда поддерживается при постоянной температуре, причём абсолютная температура правой части в 3 раза больше. При этом первоначальный объём правой части в 2 раза больше объёма левой части. Во сколько раз увеличится объём правой части, если газ из правой части сосуда переместить в левую часть, а из левой — в правую часть?

155. В двух теплоизолированных баллонах объёмами 3 л и 5 л, соединённых трубкой с краном, находится гелий. В первом баллоне его температура равна 27°C , а во втором баллоне — 127°C . Давление газа в обоих баллонах одинаково. Какая температура установится в баллонах, если открыть кран?

156. В закрытом сосуде ёмкостью 2 м^3 находится 2,7 кг воды и 3,2 кг кислорода. Найдите давление в сосуде при температуре 527°C , зная, что в этих условиях вся вода превращается в пар.

157. В комнате в вертикально расположенном цилиндре под поршнем площадью S , который может перемещаться без трения, находится ν молей идеального газа при температуре T . Поршень подвешен на пружине

жёсткостью k . Газ нагревают так, что в конечном состоянии его давление увеличивается в $\alpha = 2$ раза, а температура увеличивается в $\beta = 3$ раза. Найдите начальное давление газа.

158. В замкнутом сосуде под поршнем находятся воздух и вода массой $m_2 = 21$ г в виде равновесной смеси пара и жидкости при постоянной температуре. Если объём сосуда изотермически увеличивают в 7 раз, то какова будет относительная влажность воздуха в сосуде? Считать, что при этом испаряется $\Delta m = 12$ г воды и вся вода переходит в газообразное состояние. Плотность пара принять пренебрежимо малой по сравнению с плотностью жидкости.

159. Смесь кислорода и азота при температуре $T = 290$ К и давлении $p = 5,8$ кПа имеет плотность $\rho = 0,4$ кг/м³. Определите концентрацию молекул кислорода в смеси.

160. В сосуд объёмом $V = 10$ дм³, наполненный сухим воздухом при давлении $p_0 = 10^5$ Па и температуре $T_0 = 273$ К, вводят $m = 3$ г воды. Сосуд нагревают до температуры $T = 373$ К. Каково давление влажного воздуха в сосуде при этой температуре?

161. В сосуде объёмом 11,7 л находится смесь азота и водорода при температуре 10 °С и давлении 1 МПа. Чему равна масса водорода, если масса азота равна 14 г?

3.1.2. Задания для самостоятельной работы

162. Газ массой m_1 и молярной массой M_1 смешали с газом, масса которого m_2 , а молярная масса M_2 . Найдите кажущуюся молярную массу смеси.

163. После того как в комнате протопили печь, температура поднялась с 15 °С до 27 °С. На сколько процентов уменьшилось число молекул в этой комнате?

164. Определите приблизительный радиус молекулы NaCl, предполагая, что молекулы имеют шарообразную форму и расположены вплотную друг к другу. Плотность поваренной соли 2160 кг/м³.

165. Определите кажущуюся молекулярную массу смеси газов, состоящей из 3 кг кислорода и 5 кг водорода.

166. Плотность смеси азота и водорода при температуре 47 °С и давлении $2,03 \cdot 10^5$ Па равна 0,3 кг/м³. Какова концентрация молекул водорода в смеси?

167. Теплоизолированный сосуд объёмом 2 м³ разделён перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится гелий массой 1 кг, а

в другой — аргон массой 1 кг. Средняя квадратичная скорость атомов аргона равна средней квадратичной скорости гелия и составляет $500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Определите парциальное давление гелия после удаления перегородки.

168. В баллоне вместимостью $V = 3$ л при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$ находится гелий под давлением p_1 . После того как из баллона был выпущен гелий массой $m = 20$ г, температура в баллоне понизилась до $t_2 = 15^\circ\text{C}$, а давление стало равным $p_2 = 1$ МПа. Определите, чему было равно первоначальное давление p_1 газа в баллоне (в МПа).

169. Определите температуру газа, находящегося в закрытом баллоне, если его давление увеличилось на $0,4\%$ от первоначального при нагревании на 1 К.

170. В сосуде находится одноатомный идеальный газ, масса которого 12 г. Вначале давление в сосуде было равно $4 \cdot 10^5$ Па при температуре 400 К. После охлаждения газа давление понизилось до $2 \cdot 10^5$ Па. Какова молярная масса газа, если отданное им количество теплоты $7,5$ кДж?

171. Теплоизолированный сосуд объёмом $V = 2$ м³ разделён теплоизолированной перегородкой на две равные части. В одной находится 2 моль He, а в другой — такое же количество моль Ag. Температура гелия $T_1 = 300$ К, а температура аргона $T_2 = 600$ К. Определите парциальное давление аргона в сосуде после удаления перегородки.

172. Теплоизолированный сосуд объёмом $V = 2$ м³ разделён теплоизолированной перегородкой на две равные части. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона — нет. В начальный момент в одной части сосуда находится $\nu_{\text{He}} = 2$ моль гелия, а в другой $\nu_{\text{Ar}} = 1$ моль аргона. Температура $T_{\text{He}} = 300$ К, а температура аргона $T_{\text{Ar}} = 600$ К. Определите температуру гелия после установления равновесия в системе.

173. Шар наполнен гелием при атмосферном давлении 10^5 Па. Определите массу одного квадратного метра его оболочки, если шар поднимает сам себя при радиусе $2,7$ м. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна 0°C .

174. Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделён подвижным поршнем весом 110 Н на две части, каждая из которых содержит по $0,022$ моля идеального газа (см. рис. 43). При какой температуре поршень будет находиться на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня можно пренебречь.

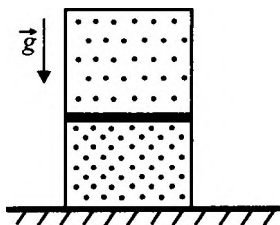


Рис. 43

175. В цилиндре под подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. При проведении эксперимента газ расширяли и нагревали так, что его объём увеличился в 6 раз, абсолютная температура повысилась в 1,5 раза, а давление уменьшилось в 2 раза. При проверке опыта выяснилось, что поршень неплотно прилегал к стенкам цилиндра и газ мог просачиваться сквозь зазор. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в цилиндре?

176. Определите плотность смеси из равных масс гелия и азота при давлении 0,5 атм и температуре 300 К. Молярная масса гелия 4 г/моль, молярная масса азота 28 г/моль.

177. Теплоизолированный сосуд разделён теплопроводной неподвижной перегородкой на две части одинакового объёма. В одной части сосуда находятся 2 моля гелия, а в другой — 2 моля аргона. В начальный момент средняя квадратичная скорость атомов аргона в 2 раза больше скорости атомов гелия. Определите отношение давления гелия к давлению аргона после установления теплового равновесия.

178. В сосуде находится одноатомный идеальный газ, имеющий молярную массу 0,004 кг/моль. Вначале давление в сосуде было равно $4 \cdot 10^5$ Па при температуре 400 К. После охлаждения газа давление понизилось до $2 \cdot 10^5$ Па. Какова масса газа, если отданное им количество теплоты 7,5 кДж?

179. В цилиндрическом сосуде под поршнем массой 10 кг находится идеальный газ. Начальная термодинамическая температура газа равна 25°C . После того как на поршень сверху поставили гирию и система пришла в равновесие, температура газа повысилась в 4 раза, а объём, занимаемый газом, уменьшился в 1,25 раза. Какова масса гири? Трение поршня о стенки цилиндра и атмосферное давление не учитывать.

180. В понтон, лежащий на дне моря, закачивается сверху воздух (см. рис. 44). Вода вытесняется из понтона через нижнее отверстие, и когда

объём воздуха в понтоне достигает $V = 56 \text{ м}^3$, понтон всплывает вместе с прикреплённым к нему грузом. В момент начала подъёма расстояние от поверхности воды в понтоне до поверхности воды в море равно $h = 73,1 \text{ м}$. Масса оболочки понтона $M = 4420 \text{ кг}$. Определите массу поднимаемого груза m . Температура воды равна 7°C , атмосферное давление на уровне моря равно 10^5 Па . Объёмом груза и стенок понтона пренебречь.

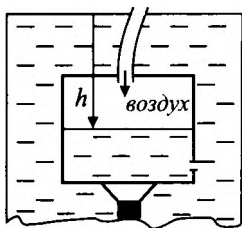


Рис. 44

3.2. Элементы термодинамики

3.2.1. Задания с решениями

181. Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ($T_1 = 300 \text{ К}$). Затем газ охладили, понизив давление в 3 раза (см. рис. 45). Какое количество теплоты отдал газ на участке 2 – 3?

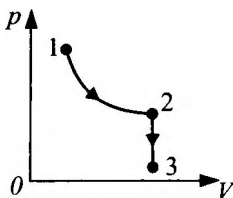


Рис. 45

182. Один моль идеального газа, имевший первоначальную температуру T , расширяется изобарически до тех пор, пока его объём не возрастает в η раз. Затем газ охлаждается изохорически до первоначальной температуры T . Определите:

- приращение внутренней энергии;
- работу A , совершаемую газом;
- количество полученного газом тепла Q .

183. Один моль идеального одноатомного газа переходит из состояния 1 в состояние 3 (см. рис. 46). Какую работу совершил газ?

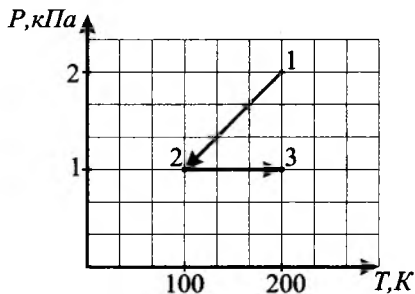


Рис. 46

184. Найдите работу пара по перемещению поршня на расстояние 40 см, если давление пара равномерно убывает при перемещении поршня от 2,2 МПа до 0,2 кПа. Площадь поршня $S = 300 \text{ см}^2$.

185. Одноатомный идеальный газ совершает циклический процесс, показанный на рисунке 47. За один цикл газ совершает работу 700 Дж. Какое количество теплоты получает газ от нагревателя за один цикл?

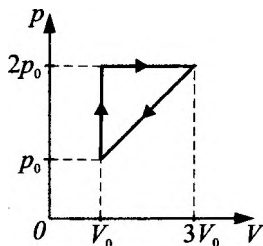


Рис. 47

186. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладили до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рис. 48). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 1–2?

187. Идеальный одноатомный газ сжимают сначала адиабатно, затем изобарно (см. рис. 49). Конечная температура газа равна начальной. За весь процесс 1–2–3 внешние силы совершают работу, равную 5 кДж. Какова работа внешних сил при изобарном процессе 2–3?

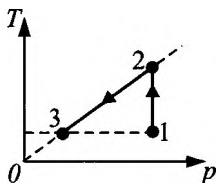


Рис. 48

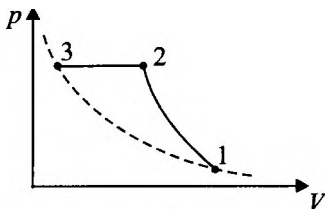


Рис. 49

188. Некоторое количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния (p_1, V_1) до одного и того же конечного объёма V_2 первый раз по изобаре, а второй — по адиабате (см. рис. 50). Отношение работы газа на изобаре A_{12} к работе газа на адиабате A_{13} равно $\frac{A_{12}}{A_{13}} = k = 2$. Чему равно отношение x количества теплоты Q_{12} , полученного газом на изобаре от нагревателя, к модулю изменения внутренней энергии газа $|U_3 - U_1|$ на адиабате?

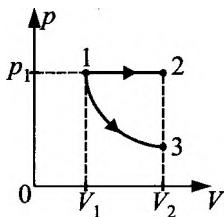


Рис. 50

189. Идеальный одноатомный газ совершил процесс, график которого изображён на рис. 51. Найдите количество теплоты, которое получил газ.

190. 10 моль идеального одноатомного газа охладил, уменьшив давление в 3 раза. Затем газ нагрели до первоначальной температуры 300 К (см. рис. 52). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 2–3?

191. Какая доля подводимой к одноатомному идеальному газу теплоты в изобарическом процессе расходуется на работу газа?

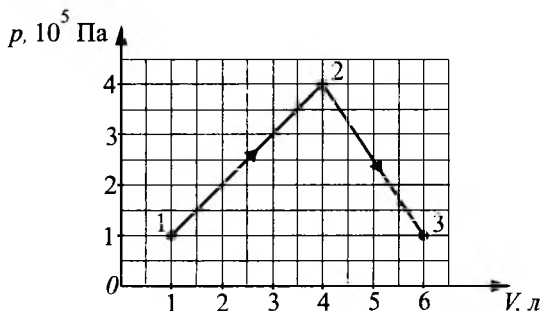


Рис. 51

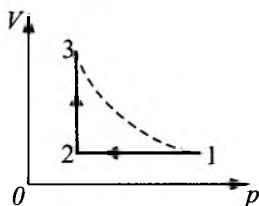


Рис. 52

192. На pV -диаграмме изображён цикл (см. рис. 53), проводимый с одноатомным идеальным газом. Определите КПД этого цикла.

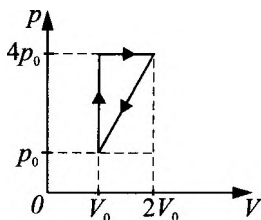


Рис. 53

193. Какое количество теплоты было получено или отдано одноатомным идеальным газом при переходе из состояния 1 в состояние 3, если на рисунке 54 представлен график зависимости давления от объёма?

194. В закреплённом под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту цилиндре может без трения двигаться поршень массой $M = 10$ кг и площадью $S = 50$ см² (см. рис. 55). Под поршнем находится одноатомный идеальный газ. Газ нагревают так, что поршень перемещается на расстояние $l = 5$ см. Какое количество теплоты Q было сообщено газу? Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с².

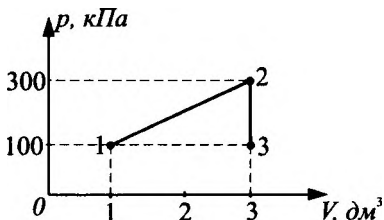


Рис. 54

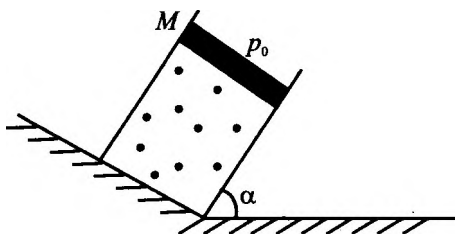


Рис. 55

195. Между двумя поршнями с $m_1 = m_2$ в длинной трубе сечением S в объёме V_0 находится идеальный одноатомный газ под давлением p_0 . Поршни отпускают. Найдите расстояние, которое пройдёт каждый поршень, если сила трения скольжения поршня о стенки трубы равна F . Система в целом теплоизолирована, число молей газа ν . Труба горизонтальна и находится в вакууме.

196. 1 моль идеального одноатомного газа совершает процесс, в котором давление растёт пропорционально объёму $p = 0,1V$ (МПа). Какое количество теплоты получает газ, если он расширяется от объёма 2 м^3 до объёма 5 м^3 ?

197. Идеальный одноатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. При этом наибольшее давление в три раза больше наименьшего, а наибольший объём в два раза больше наименьшего. Определите термический КПД цикла.

198. Одноатомный идеальный газ постоянной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке (см. рис. 56). За цикл от нагревателя газ получает количество теплоты 8 кДж . Какую работу совершают внешние силы при переходе газа из состояния 2 в состояние 3?

199. В трубе длиной l идеальный одноатомный газ массой m сжат до давления p_0 в объёме V_0 двумя поршнями с массами $m_1 > m_2$ (см. рис. 57). Какова должна быть сила трения F поршней о стенки трубы, чтобы по-

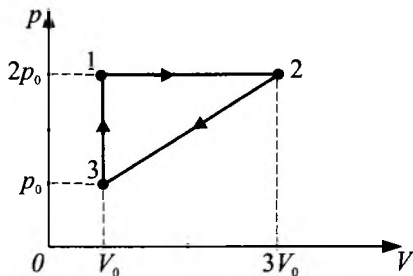


Рис. 56

сле того как поршни отпускают, ни один из них не вылетел из трубы? Толщиной поршней можно пренебречь; система в целом теплоизолирована; исходно середина трубы совпадает с центром масс газа, масса газа m пренебрежимо мала по сравнению с массами поршней. Труба закреплена горизонтально в вакууме.

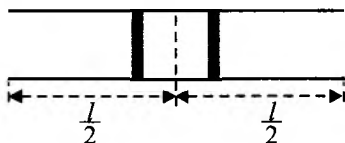


Рис. 57

200. В вертикальном цилиндре с площадью поперечного сечения S под поршнем, масса которого равна M , находится 1 моль идеального газа. В некоторый момент времени под поршнем включается нагреватель, передающий газу за единицу времени количество теплоты q . Определите установившуюся скорость v движения поршня при условии, что давление газа над поршнем постоянно и равно p_0 . Газ под поршнем теплоизолирован.

3.2.2. Задания для самостоятельной работы

201. Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. На высоте, где температура воздуха 17°C и давление 10^5 Па, шар может удерживать груз массой 225 кг. Какова масса гелия в оболочке шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара. (Плотность воздуха $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.)

202. Азот в сосуде под поршнем нагревают, увеличивая давление в 3 раза без изменения объема, а затем изобарно сжимают, уменьшая объем в

5 раз. Найдите отношение U_2/U_1 конечной внутренней энергии азота к начальной.

203. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладил до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рис. 58). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 1–2?

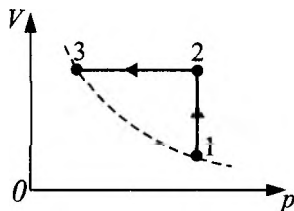


Рис. 58

204. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600$ К и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление при расширении обратно пропорционально квадрату объёма. Конечное давление газа $p_2 = 10^5$ Па. На какую величину изменилась внутренняя энергия аргона в результате расширения?

205. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Во время опыта газ сжали и охладил так, что его объём уменьшился в 4 раза, а абсолютная температура уменьшилась в 3 раза. Однако оказалось, что газ мог просачиваться сквозь зазор вокруг поршня, и за время опыта давление газа снизилось в 2 раза. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в цилиндре?

206. Два моля одноатомного газа, находящегося в цилиндре при температуре $T_1 = 200$ К и давлении $2 \cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление (p) в этом процессе обратно пропорционально объёму в кубе (V^3). Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 939,5$ Дж, а его давление стало равным $0,25 \cdot 10^5$ Па?

207. Два моля одноатомного газа, находящегося в цилиндре при температуре 400 К и давлении $4 \cdot 10^5$ Па, расширяются и одновременно охлаждаются так, что его давление в этом процессе обратно пропорционально объёму в кубе (V^3). Какую работу совершил газ при расширении, если он отдал количество теплоты 1979 Дж, а его давление стало равным $0,5 \cdot 10^5$ Па?

208. Кислород массой $m = 1$ кг находится под давлением $p_1 = 0,5$ МПа и занимает объём $V_1 = 2$ м³. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объёма $V_2 = 4$ м³, а затем при постоянном объёме до давления $p_2 = 0,8$ МПа. Найдите количество теплоты, переданное газу (в кДж).

209. Газ с температурой $T = 300$ К и давлением $p = 2 \cdot 10^5$ Па находится в цилиндрическом сосуде с сечением $S = 0,1$ м² под невесомым поршнем, который удерживается пружиной жёсткостью $k = 1,5 \cdot 10^4$ Н/м на высоте $h = 2$ м от дна сосуда (см. рис. 59). Давление снаружи цилиндра атмосферное. Температуру газа увеличили на $\Delta T = 30$ К. Чему равно при этом смещение поршня Δh ?

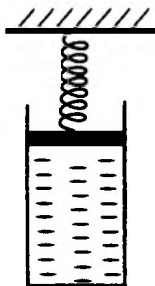


Рис. 59

210. Один моль идеального газа совершает замкнутый цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Отношение максимального объёма газа к минимальному равно 3, разница между максимальной и минимальной температурой равна 200 К, работа, совершаемая газом за цикл, равна 831 Дж. Найдите отношение максимального и минимального давления газа.

211. С $\nu = 3$ молями идеального газа совершён цикл, изображённый на рисунке 60. Температуры газа в различных состояниях равны: $T_1 = 400$ К, $T_2 = 800$ К, $T_3 = 2400$ К, $T_4 = 1200$ К. Найдите работу газа за цикл.

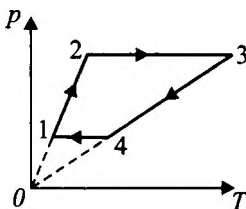


Рис. 60

212. Определите суммарное количество теплоты, переданное одноатомному идеальному газу в процессе 1–2–3 (см. рис. 61), если известно, что $p_1 = 100$ кПа, $p_2 = 150$ кПа, $V_1 = 2$ л, $V_2 = 3$ л.

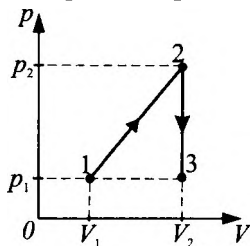


Рис. 61

213. Тепловая машина с максимально возможным КПД имеет в качестве нагревателя резервуар с кипящей водой при температуре 100°C , а в качестве холодильника — сосуд со льдом при температуре 0°C . Какая масса льда растает при совершении машиной работы $1,22$ МДж?

214. Найдите КПД цикла Карно, у которого такие же температура нагревателя и холодильника, как и максимальная и минимальная температуры цикла, изображённого на рисунке 62.

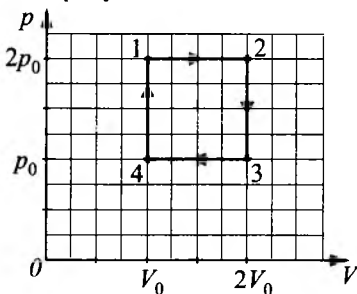


Рис. 62

215. Какое количество теплоты рабочее вещество в цикле Карно отдаёт холодильнику, если количество теплоты, полученное от нагревателя, составляет 100 кДж? Температуры нагревателя и холодильника в рассматриваемом цикле Карно такие же, как максимальная и минимальная температуры цикла, изображённого на рисунке 63.

216. Идеальный одноатомный газ расширяется сначала адиабатически, а затем изобарно так, что начальная и конечная температуры одинаковы. Работа, совершённая газом за весь процесс, равна 10 кДж. Какую работу совершил газ при адиабатическом расширении?

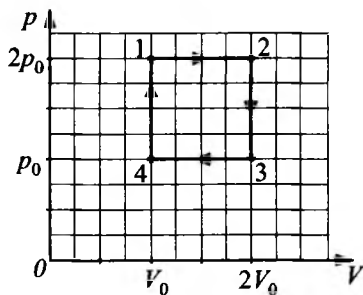


Рис. 63

217. КПД тепловой машины, работающей по циклу, состоящему из изотермы 1–2, изохоры 2–3, адиабаты 3–1 (см. рис. 64), равен η , а разность максимальной и минимальной температуры газа в цикле равна ΔT . Определите работу, совершаемую ν молями одноатомного идеального газа за один цикл в изотермическом процессе.

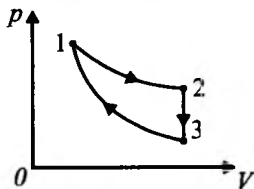


Рис. 64

218. Газ, начальная температура которого $T = 300$ К и давление $p = 2 \cdot 10^5$ Па, находится в цилиндрическом сосуде с сечением $S = 0,1$ м² под невесомым поршнем, который удерживается пружиной с жёсткостью $k = 1,5 \cdot 10^4$ Н/м на высоте $h = 2$ м над дном сосуда. Температуру газа увеличили на $\Delta T = 15$ К. Чему равно при этом смещение поршня h ? Ответ округлите до сотых.

219. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рис. 65. На участке 1–2 газ совершает работу $A_{12} = 1000$ Дж. На адиабате 3–1 внешние силы сжимают газ, совершая работу $|A_{31}| = 370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите КПД цикла.

220. В цилиндре под поршнем, который может скользить без трения, находится кислород. Сосуд с газом нагревают таким образом, что его абсолютная температура и объём увеличились в 1,5 раза. В ходе опыта обнаружилось, что поршень имел небольшую трещину и кислород просачи-

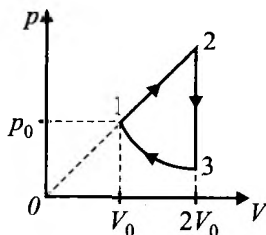


Рис. 65

вался через неё так, что давление под поршнем не изменилось. Как при этом изменилась внутренняя энергия кислорода?

221. В сосуде находится одноатомный идеальный газ при нормальных условиях, масса которого равна 2 г. После охлаждения газа его давление уменьшилось на 50 кПа. Какова молярная масса газа, если отданное им количество теплоты равно 170,2 Дж?

222. За один цикл идеальная тепловая машина совершает работу, составляющую 25 кДж. При изотермическом сжатии работа внешних сил равна 20 кДж. Определите отношение температур нагревателя и холодильника.

223. Одноатомный газ участвует в циклическом процессе, представленном на pV -диаграмме (см. рис. 66). В состоянии 2 его температура в 4 раза выше, чем в состоянии 1. Определите КПД циклического процесса.

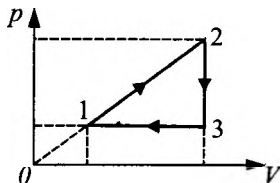


Рис. 66

224. Гелий в количестве 1 моль совершает цикл, изображённый на pV -диаграмме (см. рис. 67). Участок 1 – 2 — адиабата, 2 – 3 — изотерма, 3–1 — изобара. Работа, совершённая газом за цикл, равна A . На участке 2–3 газ отдаёт количество теплоты Q . Какова разность температур гелия в состояниях 1 и 2?

225. Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль сначала изотермически расширился ($T_1 = 400$ К), затем газ изобарно нагрели, повысив температуру в 3 раза. Какое количество теплоты получил газ на участке 2 – 3 (см. рис. 68)?

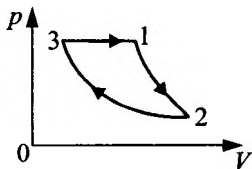


Рис. 67

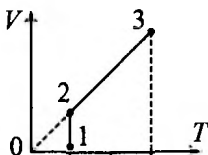


Рис. 68

226. Объём двух молей гелия с начальной температурой T_0 изобарно увеличивается в 2 раза. Определите минимальное количество тепла, необходимое для этого процесса.

227. В горизонтально расположенном цилиндре находится 2 моль гелия, закрытого поршнем, который удерживается упором и может скользить только в сторону сжатия газа. По поршню ударяют молотком с силой 640 Н. На какое расстояние сместится поршень, если температура гелия к моменту его остановки возрастает на 3,2 К? Считать, что за время движения поршня гелий не успевает обменяться теплом с сосудом и поршнем. Атмосферное давление не учитывать.

228. На pV -диаграмме изображён цикл 1 – 2 – 3 – 1, проведённый с 1 молем идеального газа. В процессе 1 – 2 объём увеличивается в 2 раза. Процессы 2 – 3 и 3 – 1 — изохорный и изобарный соответственно (см. рис. 69). Найдите отношение работ $\frac{A_{12}}{A_{31}}$.

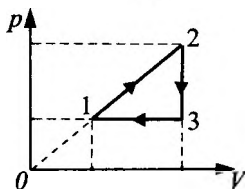


Рис. 69

229. Идеальный одноатомный газ сжимают сначала адиабатно, затем изобарно (см. рис. 70). Конечная температура газа равна начальной.

При адиабатном сжатии газа внешние силы совершили работу, равную 3 кДж. Какова работа внешних сил за весь процесс 1–2–3?

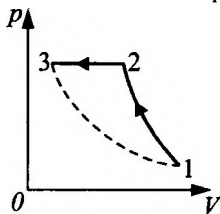


Рис. 70

230. Найдите КПД цикла, изображённого на рисунке 71 для идеального одноатомного газа.

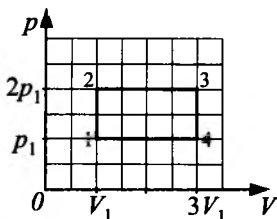


Рис. 71

231. Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль сначала охладили, уменьшив давление в 2 раза, а потом вновь нагрели до той же температуры (см. рис. 72). Какое количество теплоты газ получил на участке 2 – 3, если начальная температура газа была равна 400 К?

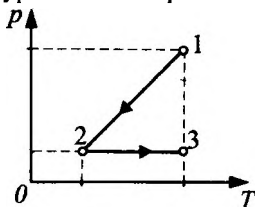


Рис. 72

3.3. Количество теплоты. Изменения агрегатного состояния вещества

3.3.1. Задания с решениями

232. Какое количество теплоты необходимо сообщить куску льда массой 2 кг, находящемуся при температуре -50°C , чтобы превратить его в пар?

233. В теплоизолированном сосуде находится $M = 230$ г воды при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и её насыщенные пары. Из сосуда начали откачивать водяные пары, в результате чего вода закипела и её температура понизилась до $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Найдите массу испарившейся воды. При решении задачи считать, что удельная теплота парообразования воды не зависит от температуры, масса испарившейся воды много меньше исходной. Теплоёмкостью сосуда пренебречь.

234. В ракетном двигателе газ с теплоёмкостью $c = 4$ кДж/кг разогревается до 3500 К. Скорость истечения струи газа из сопла 4100 м/с. Определите температуру вытекающих газов.

235. В бак, содержащий воду массой $m_1 = 10$ кг при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ брошен кусок железа массой $m_2 = 2$ кг, нагретый до температуры $t_2 = 500^\circ\text{C}$. При этом некоторое количество воды превратилось в пар. Конечная температура, установившаяся в баке, $t_3 = 24^\circ\text{C}$. Какова масса образовавшегося пара?

236. Под поршнем находится вода при температуре 373 К. Воде сообщают некоторое количество тепла, в результате чего она испаряется. Определите отношение работы, совершённой паром, к количеству тепла, сообщённому воде, если процесс происходит при постоянном давлении, равном 100 кПа. Пар, образующийся при испарении воды, считать идеальным газом.

237. Автомобиль затрачивает 8 л бензина на 100 км. Температура газа в цилиндре двигателя, работающего по циклу Карно, 900°C , а отработанного газа 100°C . Какова развиваемая мощность двигателя, если автомобиль едет со скоростью 60 км/ч? Плотность бензина 700 кг/м³, удельная теплота сгорания бензина 44 МДж/кг.

238. В ведре находится смесь воды со льдом массой $m = 10$ кг. Ведро внесли в комнату и сразу же начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры смеси от времени изображена на рисунке 73. Удельная теплоёмкость воды $c_v = 4,2$ кДж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг. Определите массу льда в ведре, когда его внесли в комнату. Теплоёмкостью ведра пренебречь.

3.3.2. Задания для самостоятельной работы

239. В калориметре нагревается 200 г льда. На рисунке 74 представлен график зависимости температуры льда от времени. Пренебрегая теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями, определите подводимую к нему мощность из рассмотрения процессов нагревания льда и/или воды.

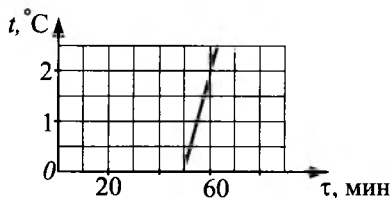


Рис. 73

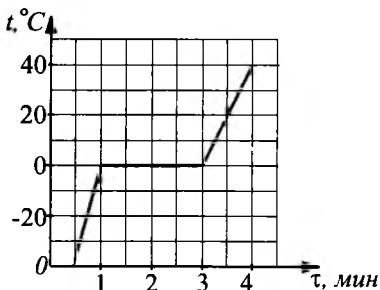


Рис. 74

240. Высота водопада 37 м, скорость воды в верхней части 10 м/с. Определите максимально возможную разность температур воды в верхней и нижней частях водопада. Ответ запишите в градусах Цельсия.

241. В медный калориметр теплоёмкостью 78 Дж/К, содержащий 200 г воды, опустили кусок льда, имевшего температуру 0°C . Начальная температура калориметра с водой 35°C . В момент теплового равновесия температура воды и калориметра 5°C . Рассчитайте массу льда. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда $3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг. Потерями энергии калориметром можно пренебречь.

242. С какой скоростью влетает метеорит в атмосферу Земли, если при этом он нагревается, плавится и превращается в пар? Метеоритное вещество состоит из железа. Начальная температура метеорита $T_1 = 273$ К. Температура плавления железа $t_{\text{пл}} = 1535^{\circ}\text{C}$, теплота плавления

$\lambda = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Удельная теплоёмкость железа $c = 0,46 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, тем-

пература кипения $t_k = 3050^{\circ}\text{C}$, парообразование происходит при температуре кипения.

§ 4. Задание № 31. Электродинамика (расчётная задача)

Задача 4. В схеме, показанной на рисунке 75, ключ K долгое время находился в положении 1. В момент $t_0 = 0$ ключ перевели в положение 2. К моменту $t > 0$ на резисторе R выделилось количество теплоты $Q = 25$ мкДж. Сила тока в цепи в этот момент равна $I = 0,1$ мА. Чему равно сопротивление резистора R ? ЭДС батареи $\mathcal{E} = 15$ В, её внутреннее сопротивление $r = 30$ Ом, ёмкость конденсатора $C = 0,4$ мкФ. Потерями на электромагнитное излучение пренебречь.⁷

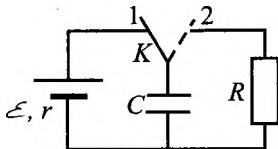


Рис. 75

Авторское решение (один из возможных вариантов)

Поскольку в момент размыкания ключа конденсатор полностью заряжен, то напряжение на обкладках конденсатора равно ЭДС батареи. Энергия полностью заряженного конденсатора в этот момент

$$W_0 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}.$$

После размыкания ключа в момент $t > 0$ энергия конденсатора равна

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C(IR)^2}{2}.$$

Из закона сохранения энергии получаем

$$W_0 = W + Q,$$

где Q — выделившееся на резисторе количество теплоты.

Отсюда

$$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{C(IR)^2}{2} + Q,$$

Окончательно

$$R = \frac{1}{I} \sqrt{\mathcal{E}^2 - \frac{2Q}{C}} = 100 \text{ (кОм)}.$$

Ответ: $R = 100$ кОм.

⁷Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом», М.: ФИПИ, 2018. — с. 42.

Рассмотрим **примеры реальных решений** данной задачи учащимися.

Реальное решение № 1 (3 балла).

<p>Дано:</p> <p>$Q = 25 \text{ мкДж}$</p> <p>$I = 0,1 \text{ мА}$</p> <p>$\mathcal{E} = 15 \text{ В}$</p> <p>$r = 30 \text{ Ом}$</p> <p>$C = 0,4 \text{ мкФ}$</p> <p>$R = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>1) Когда ключ в положении 1 ток через конденсатор C не проходит, на нём накапливался заряд, найдём его $W_k = \frac{CU^2}{2}$, где $U = \mathcal{E}$.</p> <p>$W_k = \frac{CE^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 225}{2} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$</p> <p>2) После переключения ключа в положение 2, энергия на конденсаторе пойдёт на резистор R, часть энергии выделится на нагревание. Найдём ту, что осталась $W = W_k - Q = 4,5 \cdot 10^{-5} - 25 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$</p> <p>3) Найдём энергию на резисторе, сможем найти по сопротивлению. $W = \frac{CU^2}{2}$, где $U = \sqrt{\frac{2W}{C}}$ и по закону Ома, где угловая часть $I = \frac{U}{R}$, где $R = \frac{U}{I}$</p> <p>$U = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 2}{0,4 \cdot 10^{-6}}} = 100 \cdot 10 \text{ В}$, тогда $R = \frac{100}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Ом}$</p> <p>Ответ: $R_{\text{резистора}} = 10^5 \text{ Ом}$.</p>
--	---

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $Q = 25 \text{ мкДж}$, $I = 0,1 \text{ мА}$, $\mathcal{E} = 15 \text{ В}$, $r = 30 \text{ Ом}$,
 $C = 0,4 \text{ мкФ}$.
 $R = ?$

Решение:

1) Когда ключ в положении 1 ток через конденсатор C не проходит, на нём накапливался заряд, найдём его $W_k = \frac{CU^2}{2}$, где

$$U = \mathcal{E}; W_k = \frac{CE^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 225}{2} = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

2) После переключения ключа в положение 2, энергия на конденсаторе пойдёт на резистор R , часть энергии выделится на нагревание. Найдём ту, что осталась

$$W = W_k - Q = 4,5 \cdot 10^{-5} - 25 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

3) Найдя энергию на резисторе, сможем найти его сопротивление.

$W = \frac{CU^2}{2}$, где $U = \sqrt{\frac{2W}{C}}$ и по закону Ома для участка цепи

$I = \frac{U}{R}$, где $R = \frac{U}{I}$. $U = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 2}{0,4 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{100} = 10$ В, тогда

$R = \frac{10 \text{ В}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Ом.}$

Ответ: $R_{\text{резистора}} = 10^5 \text{ Ом.}$


Комментарий: Полностью верное решение задачи, проведённое «по частям», с промежуточными вычислениями.

Реальное решение № 2 (2 балла).

Дано

$Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$
 $\mathcal{E} = 15 \text{ В}$
 $r = 30 \text{ Ом}$
 $I = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}$
 $C = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$
 $R = ?$

Решение.



① $\frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2}{2} (U = E)$
 ② $\frac{CE^2}{2} = Q + \frac{CU^2}{2} (I = 0,1 \text{ мА})$

$CE^2 - 2Q = CU^2 \Rightarrow U = \sqrt{E^2 - \frac{2Q}{C}} = \sqrt{225 - \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 10^{-6}}}$
 $= \sqrt{225 - 125} = 10 \text{ В}$
 $I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{10 \text{ В}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 10^5 \text{ Ом} = 0,1 \text{ Гом}$
 Ответ: $R = 0,1 \text{ Гом}$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$, $\mathcal{E} = 15 \text{ В}$,
 $r = 30 \text{ Ом}$, $I = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}$, $C = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

$R = ?$

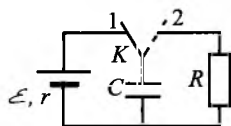
1. $\frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2}{2} (U = E)$

2. $\frac{CE^2}{2} = Q + \frac{CU^2}{2} (I = 0,1 \text{ мкА})$

$CE^2 - 2Q = CU^2 \Rightarrow U = \sqrt{E^2 - \frac{2Q}{C}} = \sqrt{225 - \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 10^{-6}}} =$
 $= \sqrt{225 - 125} = 10 \text{ В.}$

$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{10 \text{ В}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 10^5 \text{ Ом} = 0,1 \text{ Ом.}$

Ответ: $R = 0,1 \text{ ГОм.}$



Комментарий: Решение правильное, но в нём присутствуют три недостатка: описаны не все вновь вводимые величины, разные величины обозначены одной буквой (U) и допущена ошибка при записи окончательного ответа. Поскольку недостатки решения, каждый из которых приводит к снижению оценки на 1 балл, не суммируются, итоговый результат — 2 балла.

Реальное решение № 3 (2 балла).

Дано:

$$t_0 = 0$$

$$t_1 = 0$$

$$Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$I = 0,1 \text{ А} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ А}$$

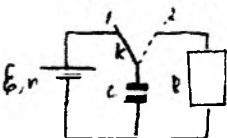
$$\mathcal{E}_0 = 15 \text{ В}$$

$$r = 30 \text{ Ом}$$

$$C = 0,4 \text{ мФ} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R = ?$$

$$W_0 = \frac{CE^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 225}{2} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$



$$W_0 = \frac{CU^2}{2} + Q \Rightarrow$$

$$45 \cdot 10^{-6} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot U^2}{2} + 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$= \frac{50,4 \cdot 10^{-6} \cdot U^2}{2} \Rightarrow U^2 = \frac{90 \cdot 10^{-6}}{50,4 \cdot 10^{-6}} \approx 1,8$$

$$U = \sqrt{1,8} \approx 1,3 \text{ В}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1,3}{0,0001} = 13000 \text{ Ом}$$

$$\text{Ответ: } R = 13000 \text{ Ом}$$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$$\text{Дано: } Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}, \mathcal{E} = 15 \text{ В},$$

$$r = 30 \text{ Ом}, I = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ А},$$

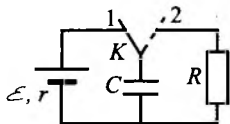
$$C = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

$$R = ?$$

$$W_0 = \frac{CE^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 225}{2} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}.$$

$$W_0 = \frac{CU^2}{2} + Q$$

$$45 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot U^2}{2} + 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = \frac{50,4 \cdot 10^{-6} \cdot U^2}{2}$$



$$\Rightarrow U^2 = \frac{90 \cdot 10^{-6}}{50,4 \cdot 10^{-6}} = 1,8. \quad U = \sqrt{1,8} \approx 1,3 \text{ В.}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1,3}{0,0001} = 13000 \text{ Ом.}$$

Ответ: $R = 13000 \text{ Ом.}$

Комментарий: При наличии правильно записанных исходных формул описаны не все вновь вводимые величины и допущена вычислительная ошибка. Поскольку недостатки решения, каждый из которых приводит к снижению оценки на 1 балл, не суммируются, итоговый результат — 2 балла.

На наш взгляд, неожиданно высокая оценка выставлена экспертом в этом случае. Прежде всего, нет правильного ответа, но сыграло роль правило «несуммирования» оценок.

Реальное решение № 4 (1 балл).

$R = ?$

$$Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$I = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$C = 1 \text{ нФ}$$

$$U = 20 \text{ В}$$

$$C = 0,4 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$I = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

1) Т.к. до момента замыкания цепи конденсатор заряжен в количестве Q , то при замыкании C и конденсатор разрядится, $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{CQ^2}{2}$, т.к. $C = 0,4$



2) После замыкания цепи конденсатор разрядится, и энергия конденсатора преобразуется в работу $I^2 R t$ тепла.

3) I — ток в цепи после замыкания, $I = \frac{U}{R}$; $I = 0,1$.
т.к. R най, $I = \frac{U}{R} = 0,1 \text{ А}$

В конденсаторе $Q = C U$

$Q = C U$, где Q — заряд, U — напряжение конденсатора до замыкания цепи.

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{CQ^2}{2} \quad \text{то замыкание цепи}$$

$$R = \sqrt{\frac{CU^2}{CQ^2}}; \quad R = \sqrt{\frac{0,2 \cdot 20^2}{0,4 \cdot 2,25}} = 150 \text{ (Ом)}$$

Ответ: $R = 150 \text{ Ом.}$

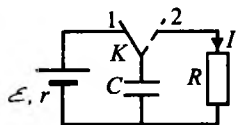
Далее приведём расшифровку реальной работы.

R —?

$$Q = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}, \quad I = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А},$$

$$\mathcal{E} = 15 \text{ В}, \quad r = 30 \text{ Ом},$$

$$C = 0,4 \text{ мкФ} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}.$$



1) Т.к. до момента переключения ключа в положение 2, ключ был в положении 1, то конденсатор заряжался,

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2}{2}, \quad \text{т.к. } E = U.$$

2) После переключения ключа в положение 2, ток пошёл по цепи, и энергия конденсатора выделилась на резисторе 1 в виде тепла.

$$3) \text{ В положении ключа 1, } I = \frac{E}{R+r}; \quad I = \frac{E}{r},$$

$$\text{т.к. } R \text{ нет, } E = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ А}.$$

В положении 2: $I = 0,1 \text{ А}$, $Q = I^2 R \Delta t$, где Q — теплота, Δt — время, в течение которого по цепи шёл ток. Тогда:

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{CI^2 R^2}{2} \quad \text{по закону сохранения энергии}$$

$$R = \sqrt{\frac{CE^2}{CI^2}}; \quad R = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 225}{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot (0,1)^2}} = 150 \text{ (Ом)}.$$

$$\text{Ответ: } R = 150 \text{ Ом}.$$

Комментарий: Одна из формул, необходимых для решения задачи, записана ошибочно (закон сохранения энергии). При этом присутствуют лишние записи, одной буквой обозначены величины, относящиеся к разным состояниям и не равные друг другу, и описаны не все вновь вводимые величины. Более серьёзная ошибка «поглощает» набор менее серьёзных.

4.1. Электростатика

4.1.1. Задания с решениями

243. Две капли ртути заряжены до потенциала 10 В. Каким станет потенциал капли ртути после слияния двух капель в одну?

244. В однородное поле бесконечно большой горизонтально расположенной отрицательно заряженной пластины напряжённостью 4 кВ/м вносят шарик массой 50 г, имеющий положительный заряд 20 мкКл. Начальное расстояние шарика от пластины равно 80 см. Определите скорость шарика в момент его падения на пластину.

245. Три одинаковых заряда по 8 нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника стороной 4 см. Определите силу, действующую на каждый заряд со стороны нитей, удерживающих заряды в положении равновесия.

246. Шарик массой 2 г, имеющий положительный заряд q , начинает скользить без начальной скорости из точки A по сферической поверхности радиусом $R = 10$ см (рис. 76). Потенциальная энергия взаимодействия заряда q и неподвижного отрицательного заряда Q в начальный момент времени $W_A = -2 \cdot 10^{-3}$ Дж. Определите потенциальную энергию взаимодействия зарядов, когда заряд q находится в точке B , если в этом случае результирующая сил реакции со стороны сферической поверхности и кулоновского взаимодействия, приложенная к шару, $F = 0,1$ Н. Трением между шариком и поверхностью пренебречь.

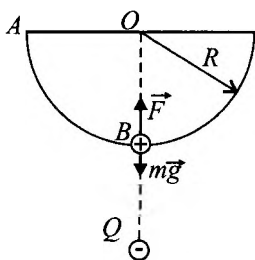


Рис. 76

247. В вершинах квадрата находятся одинаковые положительные заряды $q = 10^{-6}$ кг каждый. Какой отрицательный заряд надо поместить в центре квадрата, чтобы система находилась в равновесии?

248. Пóлый металлический шарик массой 2 г имеет положительный заряд 10^{-8} Кл. Он подвешен на шёлковой нити в однородном электриче-

ском поле напряжённостью 10^6 В/м, направленном вертикально вниз. Шарик совершает малые колебания, проходя 13 полных колебаний за 15 с. Какова длина нити?

249. Имеется два тонких кольца радиусом R каждое, оси которых совпадают. Заряды колец равны q и $-q$. Найдите разность потенциалов между центрами колец, отстоящих друг от друга на расстоянии l .

250. Тонкое закреплённое кольцо радиусом R равномерно заряжено так, что на единицу длины кольца приходится заряд $+\gamma$. В вакууме на оси кольца на расстоянии l от его центра помещён маленький шарик, имеющий заряд $+q$. Чему равна максимальная кинетическая энергия, которую приобретёт шарик в процессе движения?

251. Электроны, ускоренные разностью потенциалов U , влетают в электрическое поле отклоняющих пластин параллельно им, а затем попадают на экран, расположенный на расстоянии L от конца пластин. На какое расстояние h сместится электронный луч на экране, если на пластины, имеющие длину l и расположенные на расстоянии d одна от другой, подать напряжение U_n ?

252. Между пластинами плоского конденсатора площадью 15 см², удалёнными на расстояние 2 мм друг от друга, находится слой парафина толщиной $0,7$ мм. Какова электроёмкость конденсатора? Диэлектрическая проницаемость парафина равна 7 .

253. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на нитях, закреплённых в одной точке. Угол между нитями равен 30° . Найдите массу шариков, если заряды шариков одинаковы и равны $0,3$ мкКл, а длина каждой нити равна 30 см.

254. Электрон влетает в пространство между обкладками плоского горизонтально расположенного конденсатора параллельно его пластинам со скоростью 30 Мм/с. Напряжённость поля внутри конденсатора равна $3,5$ кВ/м. На какое расстояние сместится электрон по вертикали при вылете из конденсатора, если длина его обкладок равна 10 см?

255. Нижняя граница грозового облака находится на высоте 1 км и имеет избыточный отрицательный заряд. Незаряжённая капля дождя падает с постоянной скоростью 10 м/с, далее в процессе движения она теряет 1000 электронов. Считая электрическое поле между облаком и землёй однородным, определите разность потенциалов, которая должна образоваться между землёй и облаком, чтобы капля остановилась. (Капля имеет шарообразную форму, при этом силу сопротивления воздуха, действующую на каплю, можно приблизительно рассчитать по формуле

$F = 0,1 \cdot S \cdot V^2$, где S — площадь поперечного сечения капли в м^2 , V — скорость капли в м/с , F — сила сопротивления в ньютонах.)

256. Небольшое тело массой m и зарядом q висит в поле тяжести на тонкой невесомой нити длиной l . Под телом расположена равномерно одноимённо заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда σ . Найдите период малых колебаний тела.

257. Заряженный шарик висит в поле плоского конденсатора, заполненного маслом плотностью $\rho_{\text{м}} = 800 \text{ кг/м}^3$. Чему равен заряд шарика, если плотность материала шарика $\rho_{\text{ш}} = 2700 \text{ кг/м}^3$, а радиус $r = 2 \text{ мкм}$? Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1 \text{ см}$. Напряжение, поданное на конденсатор, $U = 2,5 \text{ кВ}$.

258. К бесконечной, вертикальной, равномерно заряженной плоскости прикреплена одним концом невесомая нить, на другом конце которой находится одноимённо с плоскостью заряженный шарик радиусом $R = 0,5 \text{ м}$, несущий заряд $q = 1 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$. Плотность вещества шарика $\rho = 2 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$. Натяжение нити $F_y = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. Какой угол α образует с плоскостью нить, на которой висит шарик? Среда — воздух. Чему равна поверхностная плотность σ зарядов на плоскости?

259. По гладкой горизонтальной направляющей скользит бусинка с положительным зарядом $+q$ и массой m . На расстоянии l от направляющей закреплён шарик с отрицательным зарядом $-Q$. Бусинка совершает малые гармонические колебания относительно положения равновесия (см. рис. 77), период которых равен T . Заряды бусинки и шарика увеличили в 1,5 раза. Какой должна быть масса бусинки, чтобы период колебаний не изменился?

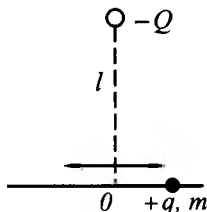


Рис. 77

4.1.2. Задания для самостоятельной работы

260. Два одинаковых шарика, зарядом $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ каждый, подвешены к одной точке на нитях длиной 20 см . Найдите массы шариков, если

угол между нитями равен 60° . Ответ выразите в граммах и округлите до десятых.

261. На каком расстоянии от погружённого в чистую воду шарика 1 (рис. 78) расположен находящийся в равновесии стальной шарик 2 объёмом $V = 4,5 \text{ мм}^3$? Заряд шарика 1 $q_1 = 7 \text{ нКл}$, а заряд шарика 2 $q_2 = -2 \text{ нКл}$.

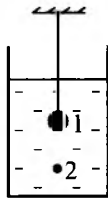


Рис. 78

262. Три шарика соединены между собой одинаковыми резиновыми нитями так, что образовался правильный треугольник. Система лежит на гладком горизонтальном столе. Какие одинаковые заряды следует поместить на шарика, чтобы площадь треугольника увеличилась в n раз? Длина каждой нерастянутой нити равна l_0 , коэффициент жёсткости каждой нити равен k .

263. Какую работу необходимо совершить, чтобы три одинаковых точечных положительных заряда q , находящихся в вакууме на расстоянии r друг от друга вдоль одной прямой, расположить в вершинах равностороннего треугольника со стороной $\frac{r}{2}$?

264. Три одноимённых заряда величиной q расположены на прямой на равных расстояниях друг от друга (см. рис. 79), два из них — в вершинах равностороннего треугольника, сторона которого a . Определите минимальную работу по перемещению заряда, расположенного в середине основания треугольника, в его вершину A . Считать a равным 10 см, заряды равны по 1 нКл.

265. В соседних вершинах C и D квадрата со стороной 9 см находятся одинаковые по величине разноимённые точечные заряды величиной -50 мкКл и $+50 \text{ мкКл}$ соответственно (см. рис. 80). Положительный точечный заряд величиной 100 нКл перемещается из вершины A в центр квадрата, а затем в вершину B . Найдите работу сил электрического поля.

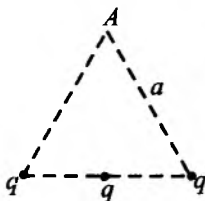


Рис. 79

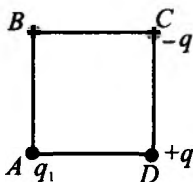


Рис. 80

266. Три одинаковых шарика массой по 10 г удерживают в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см. Шарики имеют одинаковый заряд по 1 мкКл. Определите скорости шариков через большой промежуток времени после того, как их перестанут удерживать.

267. Точечный заряд $q = 10$ пКл создаёт на расстоянии R электрическое поле с потенциалом $\varphi_1 = 1$ В. Три концентрические сферы с радиусами R , $2R$ и $3R$ несут равномерно распределённые по их поверхности заряды $q_1 = +2q$, q_2 и $q_3 = -2q$ соответственно (см. рис. 81). Значение потенциала в точке A , отстоящей от сферы на расстоянии $R_A = 2,5R$ от центра сфер, $\varphi_2 = 2,6$ В. Чему равна величина заряда q_2 ?

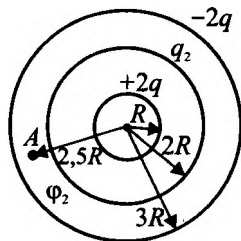


Рис. 81

268. Тонкое закреплённое кольцо радиусом R равномерно заряжено так, что на единицу длины кольца приходится заряд $+q$. В вакууме на оси кольца на расстоянии l от центра кольца помещён маленький шарик с зарядом $+Q$. Какую максимальную кинетическую энергию приобретёт шарик, если его освободить?

269. Точечный заряд q создаёт на расстоянии R электрическое поле с напряжённостью $E_1 = 63$ В/м. Три concentric сфер радиусами R , $2R$ и $3R$ несут равномерно распределённые по поверхностям заряды $q_1 = -q$, $q_2 = -q$ и $q_3 = +q$ соответственно (см. рис. 82). Чему равно значение напряжённости поля в точке A , отстоящей от центра сфер на расстоянии $2,5R$?

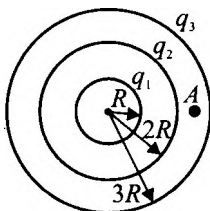


Рис. 82

270. Небольшой металлический шарик массой m , подвешенный на нити длиной l , колеблется по закону математического маятника над бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью σ . Определите период колебаний математического маятника при условии, что на шарике находится заряд $-q$.

271. В плоском горизонтальном конденсаторе капля ртути находится в равновесии при напряжённости поля 3 кВ/м. Каков заряд капли, если её радиус равен $0,44$ мкм?

272. Найдите заряд на конденсаторе C (см. рис. 83). Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. $C = 10^{-6}$ Ф; $\mathcal{E} = 10$ В.

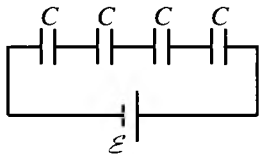


Рис. 83

273. Электрон влетает в плоский конденсатор, между пластинами которого поддерживается постоянная разность потенциалов 600 В (см. рис. 84). Определите минимальную скорость электрона, при которой он достигнет верхней пластины. Угол $\alpha = 60^\circ$, удельный заряд электрона

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

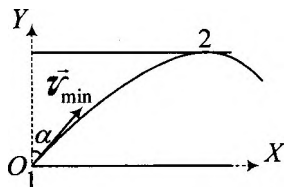


Рис. 84

274. Электрон, обладающий скоростью $6 \cdot 10^7$ м/с, влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам, расстояние между которыми 1 см, разность потенциалов 600 В. Найдите отклонение электрона, вызванное полем конденсатора, если длина его пластин 5 см.

275. В плоский конденсатор параллельно его пластинам влетает узкий пучок электронов, прошедших ускоряющее электрическое поле с разностью потенциалов $U_0 = 1500$ В. Электроны влетают в конденсатор точно посередине между обкладками конденсатора, расстояние между которыми $d = 1$ см. При какой минимальной разности потенциалов U на конденсаторе электроны не вылетят из него, если длина обкладок $l = 5$ см?

276. Положительно заряженная пылинка, имеющая массу 10^{-8} г, влетает в электрическое поле конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис. 85). Минимальная скорость, с которой пылинка должна влететь в конденсатор, чтобы затем пролететь его насквозь, равна 30 м/с. Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряжённость электрического поля внутри конденсатора 500 кВ/м. Чему равен заряд частицы? Силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.

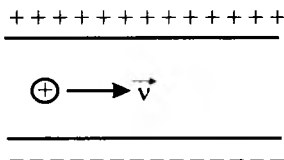


Рис. 85

277. Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноимённо заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряжённость поля между пластинами $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещён шарик с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 10$ г. После того как шарик отпустили,

он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснётся одной из пластин?

278. В вертикально расположенный плоский воздушный конденсатор точно посередине между пластинами попадает первоначально покоящаяся заряженная пылинка массой $0,1 \text{ г}$ и зарядом $1,5 \text{ мкКл}$. На какой глубине от своего первоначального состояния пылинка ударится о пластину конденсатора, если ей дать возможность свободно падать под действием силы тяжести? Расстояние между пластинами конденсатора равно 6 см , а напряжение на конденсаторе равно 120 В . Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

4.2. Постоянный ток

4.2.1. Задания с решениями

279. Определите показание амперметра в схеме, изображённой на рисунке 86. Сопротивление каждого резистора 3 Ом . Напряжение на полюсах источника тока 12 В .

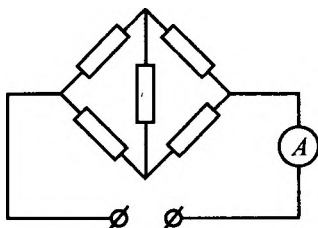


Рис. 86

280. Рассчитайте силу тока, текущего через сопротивление R (см. рис. 87).

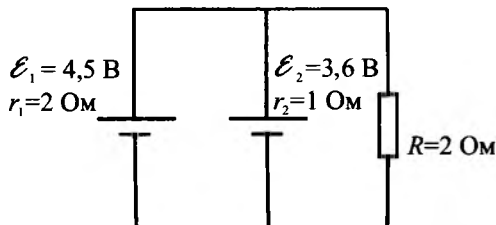


Рис. 87

281. При замыкании источника тока на сопротивление $R_1 = 5 \text{ Ом}$ в цепи идёт ток $I_1 = 1 \text{ А}$, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 3 \text{ Ом}$ идёт ток $I_2 = 1,2 \text{ А}$. Чему равен ток короткого замыкания?

282. Две проволоки — нихромовая и стальная — имеют одинаковые объёмы. Длина стальной проволоки в 20 раз больше длины нихромовой. Во сколько раз сопротивление стальной проволоки больше сопротивления нихромовой? Удельное сопротивление нихрома в 10 раз больше удельного сопротивления стали.

283. Пять одинаковых резисторов сопротивлением R каждый соединены последовательно, а затем контакты резисторов попарно соединены проводниками (см. рис. 88). Чему равно сопротивление цепи?

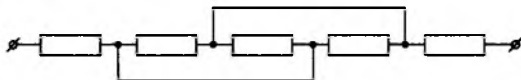


Рис. 88

284. В электрической схеме, изображённой на рисунке 89, после замыкания ключа заряд на конденсаторе уменьшился в 1,2 раза. Определите внутреннее сопротивление батареи, если сопротивление резистора 10 Ом.

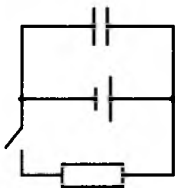


Рис. 89

285. Какой заряд пройдёт в электрической схеме (см. рис. 90) через ключ после его замыкания?

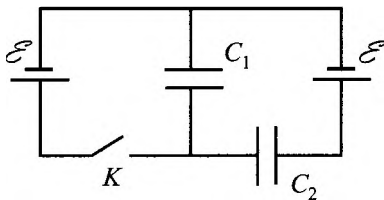


Рис. 90

286. От источника с ЭДС \mathcal{E} зарядили конденсатор ёмкостью C , отсоединили его от источника и присоединили параллельно конденсатору другой такой же незаряжённый. Чему равна энергия системы конденсаторов?

287. Чему равен электрический заряд конденсатора ёмкостью $C = 100 \text{ мкФ}$ в приведённой на рисунке 91 электрической схеме, если внутреннее сопротивление источника тока $r = 8 \text{ Ом}$; ЭДС, $\mathcal{E} = 24 \text{ В}$, а сопротивления резисторов $R_1 = 40 \text{ Ом}$ и $R_2 = 20 \text{ Ом}$?

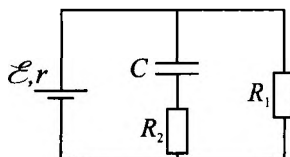


Рис. 91

288. Три тонкие параллельные металлические пластины площадью 500 см^2 каждая расположены на расстоянии $0,5 \text{ мм}$ друг от друга. В начальном состоянии пластины были не заряжены, затем к ним подключили две батареи с ЭДС 100 и 200 В (см. рис. 92). Определите заряд средней пластины.

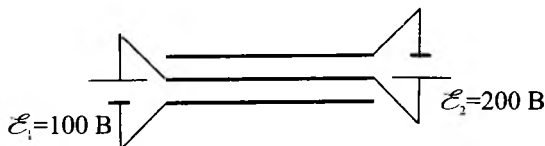


Рис. 92

289. Резистор сопротивлением R и конденсатор последовательно соединены с ЭДС. При этом заряд на конденсаторе равен q_1 . Если же R и конденсатор соединить с ЭДС параллельно, то заряд на конденсаторе будет равен q_2 (см. рис. 93). Найдите внутреннее сопротивление ЭДС.

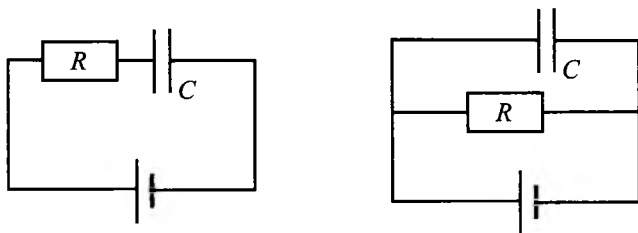


Рис. 93

290. При замыкании источника тока поочерёдно на сопротивление $R_1 = 10 \text{ Ом}$ и $R_2 = 6,4 \text{ Ом}$ в каждом из них выделяется одинаковая мощность. Найдите внутреннее сопротивление источника тока.

291. Чему равно сопротивление нагрузки в схеме на рисунке 94, если при подаче на источник ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В напряжения $U = 15$ В и при подключении к нему нагрузки R через источник протекает ток одинаковой силы? Внутреннее сопротивление источника $r = 130$ Ом.

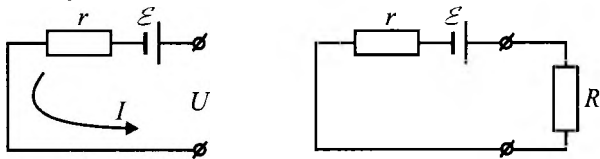


Рис. 94

292. В цепи, изображённой на рисунке 95, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 100$ В, сопротивление резисторов $R_1 = 20$ Ом и $R_2 = 15$ Ом, а ёмкости конденсаторов $C_1 = 50$ мкФ и $C_2 = 80$ мкФ. В начальный момент ключ K разомкнут и конденсаторы не заряжены. Через некоторое время после замыкания ключа в цепи установится равновесие. Какое количество теплоты выделится в цепи за время установления равновесия?

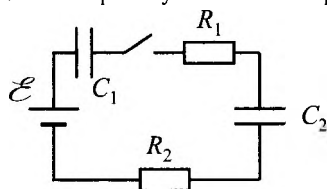


Рис. 95

293. Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рис. 96). Сопротивление резистора равно R , сопротивление амперметра $\frac{1}{20}R$, сопротивление вольтметра $19R$. Каково показание амперметра в первой схеме, если во второй схеме показание амперметра равно I_2 ? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов можно пренебречь.

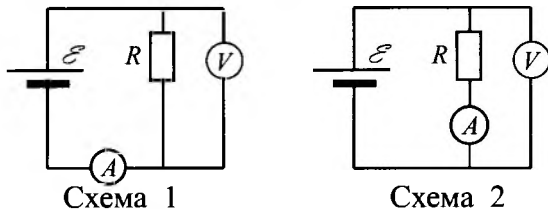


Рис. 96

294. При каком положении движка потенциометра показания амперметра будут минимальны (см. рис. 97)? Найдите сопротивление части потенциометра, включённой параллельно R_1 . Параметры цепи: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, источник тока и амперметр идеальные.

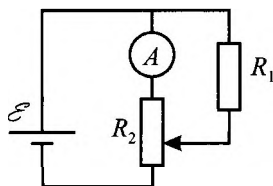


Рис. 97

295. Найдите изменение заряда конденсатора после замыкания ключа K в цепи, схема которой изображена на рисунке 98. Параметры цепи: $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, $C = 10 \text{ мкФ}$, $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$.

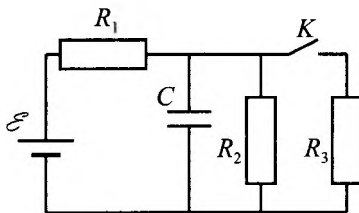


Рис. 98

296. Две проволоки — нихромовая и стальная — имеют одинаковые массы. Длина стальной проволоки в 20 раз больше длины нихромовой. Во сколько раз отличаются их сопротивления? Удельное сопротивление нихрома в 10 раз больше удельного сопротивления стали, плотность нихрома в 1,07 раза больше плотности стали.

297. Какое напряжение U_B показывает вольтметр, включённый, как показано на схеме (см. рис. 99)? Напряжение $U_0 = 200 \text{ В}$, сопротивление резисторов $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_4 = 30 \text{ Ом}$. Сопротивление вольтметра во много раз больше сопротивления резисторов.

298. Дана схема (см. рис. 100). Ёмкость конденсатора C_1 , C_2 , и ЭДС источника тока \mathcal{E} известны. Известно также, что ток короткого замыкания $I_{кз}$ этого источника в три раза превосходит ток I , текущий в этой цепи. Найдите напряжённости E_1 и E_2 полей в конденсаторах, если расстояние между их обкладками равно d .

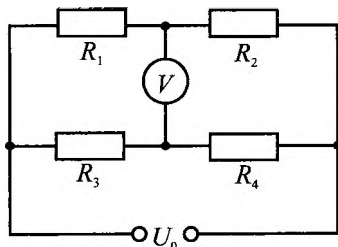


Рис. 99

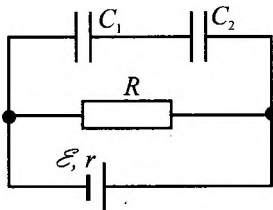


Рис. 100

299. В схеме, изображённой на рисунке 101, где $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 20$ Ом, батарею и конденсатор поменяли местами. Во сколько раз изменится при этом заряд конденсатора? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

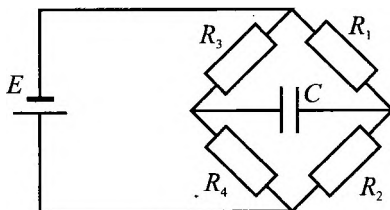


Рис. 101

300. Чему равна разность потенциалов точек A и B , если в изображённой на рисунке 102 цепи $\mathcal{E} = 12$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $C_1 = 20$ пФ, $C_2 = 5$ пФ?

301. При нагревании медного проводника его сопротивление увеличилось на $0,34$ Ом. Каково увеличение внутренней энергии проводника, если площадь его поперечного сечения 1 мм²? Плотность меди 8900 кг/м³, удельное сопротивление меди при 20°C $1,7 \cdot 10^{-2}$ Ом · мм²/м, удельная теплоёмкость 380 Дж/(кг · К), а температурный коэффициент сопротивления $0,0043$ К⁻¹.

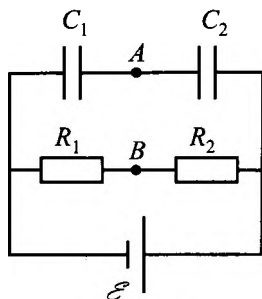


Рис. 102

4.2.2. Задания для самостоятельной работы

302. Однородную проволоку сопротивлением 160 Ом надо разрезать на два отрезка так, чтобы при соединении их параллельно можно было получить сопротивление 20 Ом. Найдите отношение длин отрезков проволоки. Ответ округлите до десятых.

303. Имеются два сопротивления. Если к вольтметру подключить одно из них, он сможет измерять вдвое большее напряжение, а если второе — то втрое большее. Какое напряжение сможет измерять вольтметр, если эти сопротивления включить последовательно и подключить к вольтметру?

304. Последовательно соединены n одинаковых сопротивлений. Во сколько раз уменьшится сопротивление цепи, если их соединить параллельно?

305. Цепь составлена из бесконечного числа ячеек, состоящих из трёх одинаковых сопротивлений по 10 Ом каждое. Найдите сопротивление этой цепи (см. рис. 103).



Рис. 103

306. К источнику постоянного тока с внутренним сопротивлением 2 Ом подключён резистор сопротивлением 6 Ом. Напряжение на полюсах источника равно 12 В. Какое количество теплоты выделяется во всей цепи в единицу времени?

307. Имеется лампочка мощностью $P = 100$ Вт, рассчитанная на напряжение $U_0 = 220$ В. Какое добавочное сопротивление надо включить

последовательно с лампочкой, чтобы она давала нормальный накал при напряжении $U = 270$ В?

308. На рисунке 104 приведена схема цепи с параметрами $\mathcal{E} = 12$ В, $C = 10$ мкФ, $R = 5$ Ом. Какое количество теплоты выделится на резисторе R после размыкания ключа K ? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

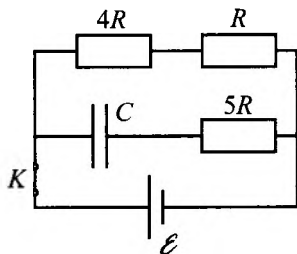


Рис. 104

309. Найдите разность потенциалов между точками A и B в цепи на рисунке 105. ЭДС источника 10 В (внутренним сопротивлением пренебречь). $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 3$ кОм; $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 7$ мкФ.

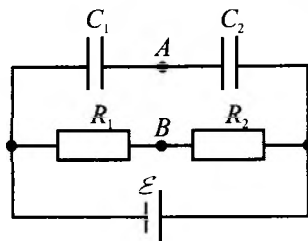


Рис. 105

310. Две лампочки, рассчитанные на напряжение 220 В и номинальные мощности 60 Вт и 100 Вт, включены последовательно в сеть с тем же напряжением. Какую мощность будет потреблять лампочка с большей номинальной мощностью?

311. При поочерёдном замыкании аккумулятора на резисторы 10 Ом и 6 Ом в последних выделялась одинаковая мощность. Найдите внутреннее сопротивление аккумуляторов.

312. Нагреватель электрического чайника состоит из двух нагревательных элементов. При включении одного из них вода закипит через 10 минут, другого — через 15 мин. Через сколько времени закипит вода при

включении элементов параллельно друг другу? Считать, что потерь энергии в окружающее пространство нет. Масса воды и её температура в начале нагрева во всех случаях одинаковы.

313. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной из них вода в чайнике закипает через $t_1 = 15$ мин, при включении другой — через $t_2 = 30$ мин. Через сколько времени закипает вода в чайнике при включении обеих обмоток последовательно (теплоотдачей в окружающую среду пренебречь)?

314. В электрической схеме, показанной на рисунке 106, ключ K замкнут. ЭДС батарейки $\mathcal{E} = 12$ В, ёмкость конденсатора $C = 0,2$ мкФ. После размыкания ключа K в результате разряда конденсатора на резисторе выделяется количество теплоты $Q = 10$ мкДж. Найдите отношение внутреннего сопротивления батарейки к сопротивлению резистора $\frac{r}{R}$.

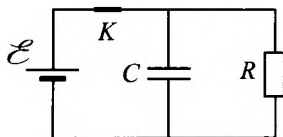


Рис. 106

315. Конденсатор ёмкостью 4 мкФ присоединён к источнику постоянного тока с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом (см. рис. 107). Сопротивление резисторов $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R_3 = 6$ Ом. Чему равно напряжение между обкладками конденсатора? Каков заряд на левой обкладке конденсатора?

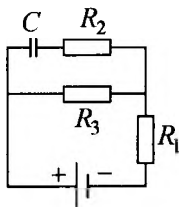


Рис. 107

316. Электровоз массой $m = 300$ т движется вниз по горе со скоростью $v = 36$ км/ч. Уклон горы $0,01$, сила сопротивления движению составляет 3% от его веса. Какой величины ток протекает через мотор электровоза, если напряжение в сети $U = 3000$ В и КПД электровоза $\eta = 80\%$?

317. Электрический чайник, содержащий объём $0,5 \text{ дм}^3$ воды при 12°C , забыли выключить. Сопротивление нагревателя чайника 16 Ом . Через какое время после включения вода в чайнике выкипит? Напряжение в сети 120 В , КПД нагревателя 64% . Ответ выразите в минутах и округлите до десятых.

4.3. Магнитостатика

4.3.1. Задания с решениями

318. В постоянном магнитном поле заряженная частица движется по окружности. Когда индукцию магнитного поля стали увеличивать, выяснилось, что скорость частицы меняется так, что поток вектора магнитной индукции через площадь, ограниченную орбитой, остаётся постоянным. Найдите кинетическую энергию частицы E в поле с индукцией B , если её кинетическая энергия в поле с индукцией B_0 равна E_0 .

319. Ион ускоряется в электрическом поле с разностью потенциалов $U = 10 \text{ кВ}$ и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору его индукции \vec{B} (см. рис. 108). Радиус траектории движения иона в магнитном поле $R = 0,2 \text{ Ом}$, модуль индукции поля равен $0,5 \text{ Тл}$. Найдите удельный заряд иона (отношение заряда к массе). Ион вылетает из источника с пренебрежимо малой скоростью.

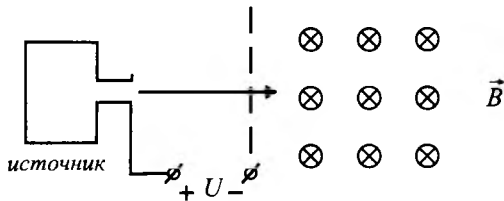


Рис. 108

320. Прямолинейный проводник массой $m = 0,03 \text{ кг}$, по которому протекает ток $I = 5 \text{ А}$, поднимается вертикально вверх в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией $B = 0,4 \text{ Тл}$, двигаясь к линиям магнитной индукции под углом $\alpha = 30^\circ$. Через $t = 2 \text{ с}$ после начала движения он приобретает скорость $v = 4 \text{ м/с}$. Определите длину проводника.

321. В однородном магнитном поле с индукцией B с постоянной скоростью v движется металлический шарик радиусом r . Укажите точки шарика, разность потенциалов $\Delta\varphi$ между которыми будет максимальна, и

определите эту разность потенциалов. Направление скорости составляет с направлением магнитной индукции угол α .

322. Виток с током диаметром 10 см помещён в магнитное поле с индукцией 90 Тл, направленное перпендикулярно плоскости витка. Какой максимальный ток можно пропускать через этот виток, если прочность провода 200 Н?

323. Круговой контур радиусом $r = 5$ см помещён в однородное магнитное поле, индукция которого $B = 0,5$ Тл. Плоскость контура перпендикулярна к направлению магнитного поля, сопротивление контура $R = 0,2$ Ом. Какой заряд пройдёт по контуру при повороте на угол 60° ?

324. Замкнутый контур площадью S из тонкой проволоки помещён в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной индукции поля. В контуре возникают колебания тока с амплитудой $I_0 = 35$ мА, если магнитная индукция меняется со временем по закону $B = a \cos(bt)$, где $a = 6 \cdot 10^{-3}$ Тл, $b = 3500$ с $^{-1}$. Электрическое сопротивление контура $R = 1,2$ Ом. Чему равна площадь контура?

325. Альфа-частица, ускоренная из состояния покоя электрическим полем разностью потенциалов 800 В, влетает в однородное магнитное поле и описывает окружность радиусом 2 мм. Определите значение вектора индукции магнитного поля.

326. Магнитное поле индукцией 0,01 Тл и электрическое поле напряжённостью 1 кВ/м направлены одинаково. Найдите ускорение электрона, если он влетает перпендикулярно напряжённости электрического поля со скоростью 10^5 м/с.

327. Небольшая заряженная пылинка массой 10 мг и зарядом 0,3 мКл влетает со скоростью 150 м/с в полосу однородного магнитного поля индукцией 5 Тл перпендикулярно линиям поля и границе полосы. Ширина полосы 0,6 м. Определите изменение импульса при вылете пылинки из полосы.

328. Прямоугольная рамка, подвижная сторона которой имеет длину l , помещена в однородное магнитное поле с индукцией B . Плоскость рамки перпендикулярна к линиям индукции магнитного поля. Подвижную сторону, которая вначале совпадает с противоположной, начинают двигать равномерно со скоростью v . Найдите зависимость силы тока I в рамке от времени t . Сопротивление единицы длины проводника равно R_i .

329. В магнитном поле с индукцией B вращается стержень длиной l с постоянной круговой скоростью ω . Найдите ЭДС индукции, возникающей

в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно силовым линиям магнитного поля.

330. Квадратная рамка со стороной 4 см вращается вокруг горизонтальной оси с частотой 50 Гц. Какая максимальная ЭДС будет индуцироваться в рамке, если вектор магнитной индукции однородного магнитного поля перпендикулярен оси вращения рамки и его модуль равен 0,1 Тл?

331. Из изолированного провода, имеющего форму окружности, путём поворота верхней и нижней его частей друг относительно друга сделана фигура в виде восьмёрки, окружности которой имеют радиусы R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$). Контур помещён в однородное магнитное поле с индукцией \vec{B} , перпендикулярной плоскости контура. Поле меняется во времени $B = B_0 - kt$. Чему равна разность потенциалов между точками провода, лежащими на его пересечении?

332. Виток с током, равным 2 А, помещается во внешнее однородное магнитное поле, индукция которого равна 0,02 Тл, так, что плоскость контура перпендикулярна к направлению магнитного поля. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть контур на 90° , если радиус витка равен 3 см?

4.3.2. Задания для самостоятельной работы

333. К тонкому однородному проволочному кольцу радиусом r подводят ток I . Подводящие провода, расположенные радиально, делят кольцо на две дуги, длины которых l_1 и l_2 . Найдите индукцию магнитного поля в центре кольца.

334. Протон влетает со скоростью $V = 10^3$ м/с в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к силовым линиям. Определите радиус и шаг спиральной линии, по которой будет двигаться протон, если индукция поля $B = 10^{-3}$ Тл.

335. Электрон, имеющий кинетическую энергию 20 МэВ, влетает в магнитное поле индукцией 16 мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите минимальное время, за которое электрон вернётся в прежнюю точку, если процесс происходит в вакууме.

336. Положительно заряженный шарик массой m подвешен на нити длиной L и равномерно движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} (см. рис. 109). Заряд шарика q . Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 60^\circ$. Найдите угловую скорость равномерного вращения шарика по окружности.

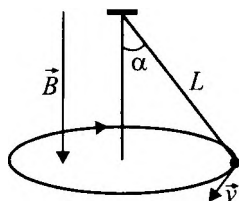


Рис. 109

337. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью $v = 10^6$ м/с, индукция магнитного поля $B = 1$ Тл. Радиус окружности $r = 6$ мм. Найдите заряд частицы, если её энергия $W = 0,2$ Дж.

338. Проводник длиной 1 м движется в однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения. Начальная скорость движения проводника 4 м/с. Значение ЭДС индукции в движущемся проводнике в конце перемещения на один метр равно 3 В. Чему равно ускорение, с которым движется проводник в магнитном поле?

339. Медный проводник сечением 10 мм^2 подвешен на тонких проводах в однородном вертикальном магнитном поле (см. рис. 110). При пропускании через проводник тока 0,4 А он отклоняется на угол 30° от вертикали. Определите индукцию магнитного поля.

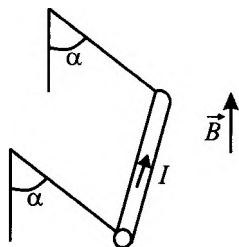


Рис. 110

340. Металлический стержень длиной 1 м начинает двигаться перпендикулярно вектору индукции магнитного поля, величина которого равна 1 Тл, так, что разность потенциалов на концах стержня изменяется со временем, как показано на рисунке 111. Чему равна скорость стержня через 3 с после начала движения?

341. Прямолинейный проводник длиной 1 м с помощью гибких проводов присоединён к источнику электрической энергии с ЭДС 12 В и сопротив-

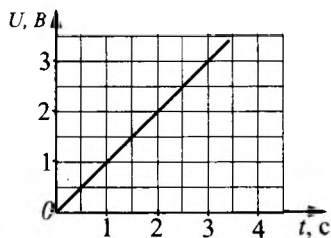


Рис. 111

лением 1 Ом. Этот проводник помещают в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,2 Тл, которое направлено так, как показано на рисунке 112. Сопротивление всей внешней цепи равно 2 Ом. Определите силу тока в проводнике в этот момент, когда он движется перпендикулярно линиям индукции поля со скоростью 15 м/с.

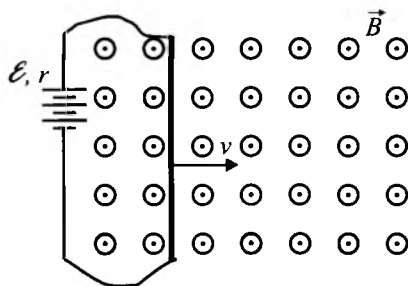


Рис. 112

342. Медный стержень AB длиной $l = 0,4$ м качается на одинаковых тонких шёлковых нитях длиной $L = 0,9$ м в вертикальном магнитном поле индукцией B (см. рис. 113). При этом стержень движется поступательно, а его скорость всё время перпендикулярна AB . Максимальный угол отклонения нитей от вертикали $\alpha = 60^\circ$. Максимальная ЭДС индукции на концах стержня в процессе движения $\mathcal{E} = 0,12$ В. Найдите величину индукции магнитного поля B .

343. В магнитном поле с индукцией $B = 10^{-3}$ Тл вращается стержень длиной $L = 0,2$ м с постоянной угловой скоростью $\omega = 100$ сек $^{-1}$. Найдите ЭДС индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно силовым линиям магнитного поля.

344. Тонкий титановый брусок прямоугольного сечения соскальзывает из состояния покоя по гладкой наклонной плоскости из диэлектрика в вертикальном магнитном поле индукцией $B = 0,1$ Тл (см. рис. 114).

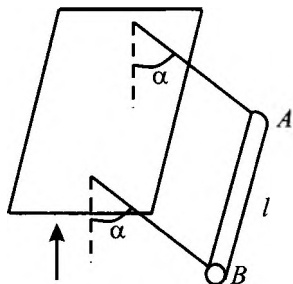


Рис. 113

Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30^\circ$. Продольная ось бруска при движении сохраняет горизонтальное направление. Величина ЭДС индукции на концах бруска в момент, когда брусок пройдёт по наклонной плоскости расстояние $s = 1,6$ м, равна $\mathcal{E} = 0,17$ В. Найдите длину бруска L .

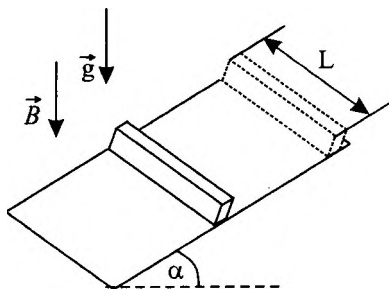


Рис. 114

345. Проволочная рамка, имеющая сопротивление 8 Ом, ограничивает площадь 2 м^2 . Рамку медленно поворачивают вокруг оси, перпендикулярной вектору магнитной индукции, так, что проекция этого вектора меняется от -5 мТл до 5 мТл. Какой заряд протечёт по рамке во время её поворота вокруг оси?

346. Проволочная рамка находится в постоянном магнитном поле, направление индукции которого составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с перпендикуляром к плоскости рамки. Рамку разворачивают на угол $\beta = 30^\circ$ вокруг оси, перпендикулярной полю, за время $t = 1$ с. Какой заряд протечёт по рамке за это время? Площадь рамки $S = 50 \text{ см}^2$, её сопротивление $R = 1$ Ом, индукция поля $B = 0,1$ Тл.

347. Круговой контур радиусом $r = 5$ см помещён в однородное магнитное поле, индукция которого $B = 0,5$ Тл. Плоскость контура перпендикулярна к направлению магнитного поля, сопротивление контура $R = 0,2$ Ом. Какой заряд протечёт по контуру при повороте его на угол $\alpha = 60^\circ$?

348. Прямоугольный контур, образованный двумя рельсами и двумя перемычками, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Первая перемычка скользит по рельсам, сохраняя надёжный контакт с ними. Известны величины: индукция магнитного поля $B = 0,1$ Тл, расстояние между рельсами $L = 20$ см, скорость движения перемычки $v = 2$ м/с, сопротивление контура $R = 2$ Ом. Какова сила индукционного тока в контуре? Ответ выразите в миллиамперах.

4.4. Электромагнитные колебания

4.4.1. Задания с решениями

349. Конденсатор заряжён и включён в колебательный контур. Через какое время (в долях периода $\frac{t}{T}$) на конденсаторе колебательного контура впервые будет заряд, равный половине амплитудного значения?

350. Амплитуда колебаний напряжения в контуре 100 В, частота колебаний 5 МГц. Через какое время напряжение впервые будет 71 В?

351. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 57$ мкГн и конденсатора электроёмкостью $C = 40$ пФ. В тот момент, когда сила тока в цепи равна 0,42 А, на конденсаторе накапливается заряд 20 нКл. Найдите максимальную энергию магнитного поля катушки.

352. В электрической цепи, изображённой на рисунке 115, ЭДС и внутреннее сопротивление источника равны 6 В и 1,0 Ом, ёмкость конденсатора 20 мкФ, индуктивность катушки 4 мГн. В начальный момент ключ K замкнут. Какая энергия выделится в цепи после размыкания ключа? Сопротивлением проводов и катушки пренебречь.

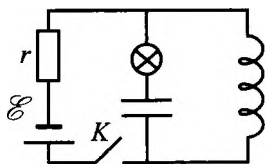


Рис. 115

353. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока через катушку равна 20 мА, а амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе равна 5 В. В некоторый момент времени сила тока через катушку равна 16 мА. Найдите напряжение на конденсаторе в этот момент времени.

354. Конденсатор ёмкостью 5 мкФ зарядили до напряжения 120 В и подключили к катушке индуктивностью 0,5 Гн. Какое количество теплоты выделится на катушке, когда сила тока в цепи станет равной 0,25 А, а напряжение на конденсаторе уменьшится в два раза?

355. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе $U_m = 15$ В, а амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности $I_m = 10$ мА. В момент времени t сила тока в катушке $I = 6$ мА. Чему равен модуль напряжения на конденсаторе в этот момент?

356. На рисунке 116 изображена схема колебательного контура с двумя конденсаторами ёмкостями C_1 и C_2 и двумя катушками индуктивности L_1 и L_2 . Активное сопротивление контура $R = 0$. После появления электромагнитных колебаний в контуре в момент t_0 напряжение на C_1 равно U_0 , а конденсатор C_2 не заряжён, при этом сила тока в контуре равна I_0 . Найдите максимальный заряд на конденсаторе C_2 .

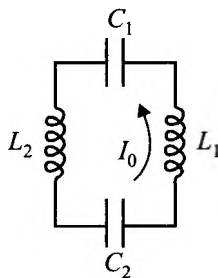


Рис. 116

357. Конденсатор ёмкостью C_1 зарядили до напряжения U_0 , а затем подключили, замкнув ключ K , к колебательному контуру, состоящему из катушки индуктивности L и конденсатора ёмкостью C_2 (см. рис. 117). Определите изменение заряда во времени на каждом из конденсаторов.

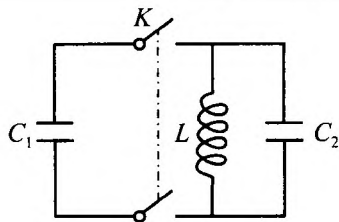


Рис. 117

4.4.2. Задания для самостоятельной работы

358. Чему равна максимальная сила тока в схеме на рис. 118 после замыкания ключа K , если в начальный момент времени конденсатор не заряжен, $\mathcal{E} = 12$ В, $L = 8$ мкГн, $C = 5$ мкФ? Сопротивлением катушки и источника пренебречь.

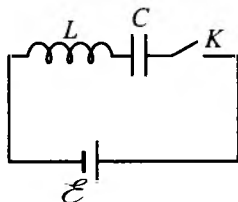


Рис. 118

359. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы электрического тока в катушке индуктивности $I_m = 5$ мА, а амплитуда напряжения на конденсаторе $U_m = 2$ В. В момент времени t сила тока в катушке $I = 3$ мА. Найдите напряжение на конденсаторе в этот момент.

360. Какова частота собственных колебаний в колебательном контуре, если амплитуда колебаний заряда равна $0,4$ мкКл, а амплитуда колебаний силы тока равна 10 А?

361. Определите частоту собственных колебаний в колебательном контуре, если амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе равна 100 В, амплитуда колебаний силы тока равна 10 А, а энергия электромагнитного поля равна $0,02$ Дж.

362. В процессе колебаний в идеальном колебательном контуре в момент времени t заряд на конденсаторе $q = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл, а сила тока в катушке $I = 3$ мА. Период колебаний $T = 6,3 \cdot 10^{-6}$ с. Найдите амплитуду колебаний заряда.

§ 5. Задание № 31. Оптика (расчётная задача)

Задача 5. Равнобедренный прямоугольный треугольник ABC площадью 50 см^2 расположен перед тонкой собирающей линзой так, что его катет AC лежит на главной оптической оси линзы. Фокусное расстояние линзы — 50 см . Вершина прямого угла C лежит к центру линзы ближе, чем вершина острого угла A . Расстояние от центра линзы до точки C равно удвоенному фокусному расстоянию линзы (см. рис. 119). Постройте изображение треугольника и найдите площадь получившейся фигуры.⁸

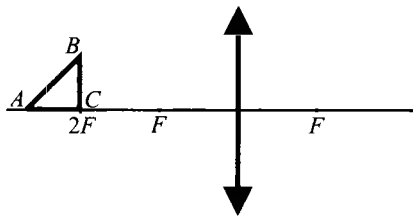


Рис. 119

Авторское решение (один из возможных вариантов)

Начнём с физического анализа условия задачи. Поскольку катет AB расположен на двойном фокусном расстоянии, то по свойству 4 изображение в линзе этого катета $A'B'$ также будет находиться на двойном фокусном расстоянии. Это даёт нам возможность сделать рис. 120 и получить 1 балл. При построении рисунка были использованы свойства лучей, ход которых после преломления в линзе мы знаем.

Получившаяся фигура представляет собой прямоугольный треугольник. Его площадь

$$S' = \frac{1}{2} A'C' \cdot B'C'.$$

Площадь исходного треугольника

$$S = 50 \text{ см}^2.$$

С другой стороны,

$$S = \frac{1}{2} AB \cdot BC = \frac{1}{2} a^2.$$

Отсюда следует:

$$A'C' = a = \sqrt{2S} = 10 \text{ см}.$$

⁸Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий ЕГЭ с развёрнутым ответом», ч. 1, М.: ФИПИ, 2014. — с. 28.

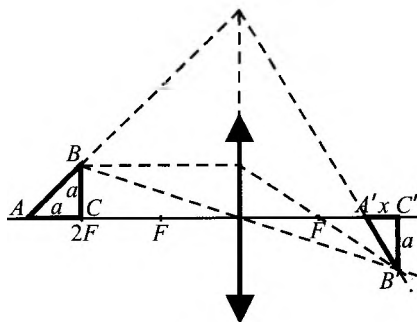


Рис. 120

Далее применим формулу линзы к точке A горизонтального катета треугольника (обращаем внимание на то, что на рисунке введены дополнительные обозначения и дальнейшее их пояснение уже не требуется!):

$$\frac{1}{2F + a} + \frac{1}{2F - x} = \frac{1}{F}$$

После несложных преобразований (это согласуется с пунктом 4 критериев оценки) получим:

$$x = \frac{aF}{f + a}$$

Теперь можно найти площадь треугольника $A'B'C'$:

$$S' = \frac{1}{2} \frac{a^2 F}{F + a} = \frac{SF}{F + \sqrt{2S}} = 41,7 \text{ (см}^2\text{)}.$$

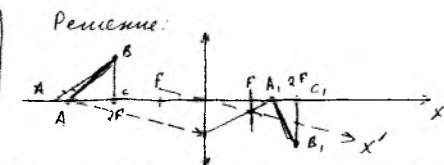
Ответ: $S' = 41,7 \text{ см}^2$.

Приведём **примеры реальных решений** данной задачи учащимися.

Реальное решение № 1 (2 балла).

1-й блок решения:

Дано	См
$S = 50 \text{ см}^2$	$= 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
$F = 50 \text{ см}$	$= 0,5 \text{ м}$
$S' = ?$	



(П.к. BC находится в двойном фокусе, то изображение — т.к. $B_1C_1 = BC$ и будет перевернутым.)

П.к. $\triangle ABC$ — равнобедренный и прямоугольный, то его площадь равна: $S = \frac{1}{2} BC^2$ ($BC = AC$)
 $\Rightarrow BC = \sqrt{2S}$ или $AC = \sqrt{2S}$

Расстояние от центра линзы до точки A равно: $d = 2F + AC = 2F + \sqrt{25}$

Напишем уравнение тонкой линзы: $\frac{1}{f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$; $\frac{1}{f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{2F + \sqrt{25}}$

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{f} - \frac{1}{2F + \sqrt{25}} = \frac{2F + \sqrt{25} - F}{F(2F + \sqrt{25})} = \frac{F + \sqrt{25}}{F(2F + \sqrt{25})} \Leftrightarrow f = \frac{(2F + \sqrt{25})F}{F + \sqrt{25}}$$

$\Rightarrow A_1C_1 = \left| 2F - \frac{(2F + \sqrt{25})F}{F + \sqrt{25}} \right|$, площадь нового треугольника равна

$$S' = \frac{1}{2} A_1C_1 \cdot B_1C_1$$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $S = 50 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$,

$F = 50 \text{ см} = 0.5 \text{ м}$.

$S' = ?$

Решение:

(Т.к. BC находится в двойном фокусе,

то изображение $B_1C_1 = BC$ и будет перевернутым.)

Т.к. $\triangle ABC$ — равнобедренный и прямоугольный, то его площадь

равна: $S = \frac{1}{2} BC^2$ ($BC = AC$) $\Rightarrow BC = \sqrt{25}$ или $AC = \sqrt{25}$.

Расстояние от центра линзы до точки A равно:

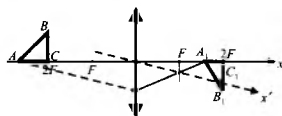
$$d = 2F + AC = 2F + \sqrt{25}$$

Напишем уравнение тонкой линзы:

$$\begin{aligned} \frac{1}{F} &= \frac{1}{f} + \frac{1}{d}; \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{2F + \sqrt{25}}; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2F + \sqrt{25}} = \\ &= \frac{2F + \sqrt{25} - F}{F(2F + \sqrt{25})} = \frac{F + \sqrt{25}}{F(2F + \sqrt{25})} \Leftrightarrow f = \frac{(2F + \sqrt{25})F}{F + \sqrt{25}} \Rightarrow \end{aligned}$$

$A_1C_1 = \left| 2F - \frac{(2F + \sqrt{25})F}{F + \sqrt{25}} \right|$, площадь нового треугольника равна

$$S' = \frac{1}{2} A_1C_1 \cdot B_1C_1$$



2-й блок решения:

Т.к. BC находится в двойном фокусе, то изображение $B_1C_1 = BC$ и будет перевернутым.

$$S' = \frac{1}{2} \left| 2F - \frac{2F + \sqrt{25}}{F + \sqrt{25}} \right| \cdot \sqrt{25}$$

$$S' = \frac{1}{2} \cdot \left| 2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} - \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} + \sqrt{25} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0.5 + \sqrt{25} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot \sqrt{25 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 0.5 \cdot \left| 1 - \frac{1 + \sqrt{25}}{0.5 + \sqrt{25}} \right| \cdot \sqrt{10^{-3}} = 0.5 \cdot \left| 1 - \frac{1 + 0.1}{0.5 + 0.1} \right| \cdot 0.1 =$$

$$= 0.05 \cdot \left| \frac{0.4 - 0.1}{0.4} \right| = 0.05 \cdot \frac{0.3}{0.4} = \frac{5}{6} \cdot 0.05 \approx 0.42 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Т.к. BC находится в двойном фокусе, то изображение

$B_1C_1 = BC = \sqrt{25}$ и будет перевернутым.

$$S' = \frac{1}{2} \left| 2F - \frac{2F + \sqrt{25}}{F + \sqrt{25}} \right| \cdot \sqrt{25}.$$

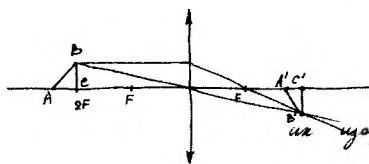
$$S' = \frac{1}{2} \left| 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} - \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + \sqrt{2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}}{0,5 + \sqrt{2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} \right| \cdot \sqrt{2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 0,5 \cdot \left| 1 - \frac{1 + \sqrt{10^{-2}}}{0,5 + \sqrt{10^{-2}}} \right| \cdot \sqrt{10^{-2}} = 0,5 \cdot \left| 1 - \frac{1 + 0,1}{0,5 + 0,1} \right| \cdot 0,1 =$$

$$= 0,05 \cdot \left| \frac{0,6 - 1,1}{0,6} \right| = 0,05 \cdot \frac{0,5}{0,6} = \frac{5}{6} \cdot 0,05 \approx 0,042 \text{ м}^2 = 42 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Комментарий: Приведено достаточно подробное и правильное с точки зрения физики решение, но достаточно нерациональное математически. Скорее всего, из-за этого и допущена ошибка в расчётах.

Реальное решение № 2 (2 балла).



1) $S_{ABC} = 50 \text{ см}^2$

$AC \cdot BC \cdot f = 50$

$AC = BC = 10 \text{ см}$

2) Т.к. BC находится на гл. оси, значит изображение будет тоже на гл. оси

3) а. $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ $\frac{1}{f} = \frac{d-F}{F \cdot d}$, $f = \frac{F \cdot d}{d-F} = \frac{50 \cdot 100}{100-50} = 100$

4) В: Прямой луч из В через центр линзы, луч идет без преломления. Прямой луч параллельно гл. оптической оси, после линзы этот луч пойдет через фокус F. Пересечение двух лучей даст нам изображение точки В В'. Т.к. ВС находится на расстоянии двойного фокуса $2F$ значит $B'C' = BC$

5) А: $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ $f = \frac{F \cdot d}{d-F} = \frac{50 \cdot 100}{100-50} = 100 \text{ см}$

6) Получим прямоугольный треугольник с катетами AC' и $B'C'$

$$S_{ABC'} = \frac{1}{2} AC' \cdot B'C' = \frac{1}{2} (100 - \frac{550}{6}) \cdot 10 = 5 \cdot (\frac{600 - 550}{6}) = \frac{150}{6} \text{ см}^2$$

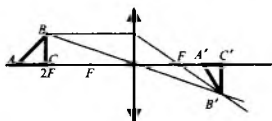
Итого. $S_{A'B'C'} = \frac{115}{3} \approx 42 \text{ см}^2$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

1) $S_{ABC} = 50 \text{ см}^2$, $AC \cdot BC \cdot \frac{1}{2} = 50$,

$AC = BC = 10 \text{ см}$.

2) т. А и С находятся на гл. оси, значит их изображение будет тоже на гл. оси.



$$3) C: \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}, \quad \frac{1}{f} = \frac{d-F}{F \cdot d}, \quad f = \frac{F \cdot d}{d-F} = \frac{50 \cdot 100}{100-50} = 100.$$

4) В: Провожу луч из В через центр линзы, луч идёт без преломления. Провожу луч параллельно гл. оптической оси, после линзы этот луч пойдёт через фокус F. Пересечение двух лучей даёт нам изображение точки В В'. Т.к. ВС находится на расстоянии двойного фокуса 2F, значит B'C' = BC.

$$5) A: \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}, \quad f = \frac{F \cdot d}{d-F} = \frac{50 \cdot 110}{60} = \frac{550}{6} \text{ см.}$$

$$6) \text{Получился прямоугольный треугольник с катетами } A'C' \text{ и } B'C' \\ S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} A'C' \cdot B'C' = \frac{1}{2} \left(100 - \frac{550}{6}\right) \cdot 10 = 5 \cdot \left(\frac{600 - 550}{6}\right) = \\ = \frac{250}{6} \text{ см}^2.$$

$$\text{Ответ: } S_{A'B'C'} = \frac{125}{3} \approx 42 \text{ см}^2.$$

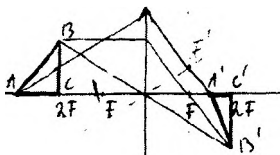
Комментарий: Верное решение, но на рисунке не построено изображение точки А, оценка снижена на 1 балл.

Реальное решение № 3 (1 балл).

Дано:

$$S_{ABC} = 50 \text{ см}^2$$

$$F = 50 \text{ см}$$

$$S_{A'B'C'} = ?$$


$S_{ABC} = \frac{1}{2} AC \cdot BC = \frac{1}{2} AC^2$;
 т.к. Δ равнобедренный по условию.
 $50 \text{ см}^2 = \frac{1}{2} AC^2$
 $AC^2 = 100 \text{ см}^2$
 $AC = 10 \text{ см.}$
 $B \text{ в } A'B'C' \quad C'B' = 2A'C' ; \quad C'B' = CB = 10 \text{ см} ; \quad A'C' = \frac{1}{2} \cdot 10 = 5 \text{ см}$
 $S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ см} \cdot 5 \text{ см} = 25 \text{ см}^2$
 Ответ: 25 см^2

Далее приведём расшифровку реальной работы.

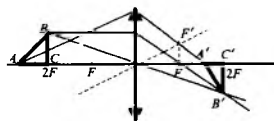
$$\text{Дано: } S_{ABC} = 50 \text{ см}^2, \quad F = 50 \text{ см.}$$

$$S_{A'B'C'} = ?$$

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} AC \cdot BC = \frac{1}{2} AC^2;$$

т.к. Δ равнобедренный по условию.

$$50 \text{ см}^2 = \frac{1}{2} AC^2, \quad AC^2 = 100 \text{ см}^2, \quad AC = 10 \text{ см.}$$



В $\triangle A'B'C'$ $C'B' = 2A'C'$; $C'B' = CB = 10$ см;

$$A'C' = \frac{1}{2} \cdot 10 = 5 \text{ см. } S_{\triangle A'B'C'} = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ см} \cdot 5 \text{ см} = 25 \text{ см}^2.$$

Ответ: 25 см^2

Комментарий: Правильно выполнен рисунок, в решении отсутствует формула линзы, длина стороны $A'C'$ определена из неверных предпосылок, что привело к неверному ответу. Работа оценивается 1 баллом за наличие правильного рисунка.

Реальное решение № 4 (0 баллов).

Дано:

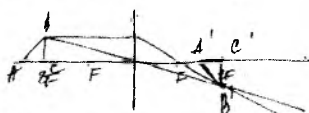
$$S = 50 \text{ см}^2$$

$$F = 50 \text{ см}$$

$$BC = AC$$

$$S = ?$$

Решение:



$$S_2 = \frac{1}{2} \cdot AB \cdot AC = \frac{1}{2} AC^2$$

$$40^2 = 200 \text{ см}^2$$

$$AC = AB = 10 \text{ см}$$

Т.к. предмет находится в двойном фокусе линзы, он будет перевернутым.

$$S_1 = S_2 \Rightarrow S_2 = 50 \text{ см}^2$$

Ответ: $S_2 = 50 \text{ см}^2$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $S = 50 \text{ см}^2$, $F = 50 \text{ см}$,

$BC = AC$.

$S = ?$

Решение:

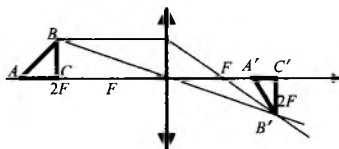
$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} BC \cdot AC = \frac{1}{2} AC^2,$$

$$AC^2 = 100 \text{ см}^2, \quad AC = BC = 10 \text{ см.}$$

Т.к. предмет находится в двойном фокусе линзы, он будет перевернутым.

$$S_1 = S_2 \Rightarrow S_{\Delta} = 50 \text{ см}^2.$$

Ответ: $S_{\Delta} = 50 \text{ см}^2$.



Комментарий: Сделано неверное предположение о равенстве площадей треугольников.

5.1. Геометрическая оптика

5.1.1. Задания с решениями

363. Точечный источник света находится на передней фокальной плоскости собирающей линзы, на расстоянии $a = 4$ см от её главной оптической оси. Фокусное расстояние линзы $f = 50$ см. Непосредственно за линзой находится плоское зеркало. Найдите расстояние от источника света до его изображения.

364. Линейные размеры изображения, полученного на экране, в 3 раза больше линейного размера предмета. Фокусное расстояние линзы равно 27 см. На каком расстоянии от линзы находится предмет?

365. Плоское зеркало, расположенное в вертикальной плоскости, может вращаться вокруг горизонтальной оси. На расстоянии R от оси находится светящаяся точка A (см. рис. 121). Какое расстояние будет между изображением точки и изображением, которое образуется после поворота зеркала на угол α ?

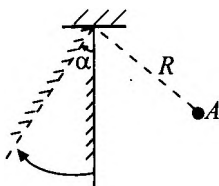


Рис. 121

366. Предмет в виде отрезка длиной 6 см расположен вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см. Середина отрезка расположена на расстоянии 15 см от линзы. Определите продольное увеличение предмета.

367. С помощью фотоаппарата с оптической силой объектива 8 дптр фотографируют макет города с расстояния 2 м. При этом площадь изображения макета на экране фотоаппарата оказалась равной 8 см^2 . Какова площадь самого макета?

368. Расстояние от лампы до экрана 5 м. Для того чтобы получить на экране увеличенное изображение лампы, собирающую линзу с фокусным расстоянием 80 см следует поместить между лампой и экраном. На каком расстоянии от лампы должна быть установлена линза?

369. Линза, фокусное расстояние которой 20 см, даёт на экране изображение предмета с четырёхкратным увеличением. Экран подвинули к линзе вдоль её главной оптической оси на расстояние l . Затем, чтобы изоб-

ражение снова стало резким, передвинули предмет на расстояние 5 см. Насколько передвинули экран относительно первоначального положения?

370. Расстояние от переднего фокуса собирающей линзы до точечного источника света в 4 раза меньше расстояния от заднего фокуса до изображения. Каково увеличение линзы?

371. Луч света падает на плоскую стеклянную поверхность под углом $\alpha = 56^\circ$, при этом отражённый и преломлённый лучи оказываются перпендикулярными друг другу. Какова скорость света в стекле?

372. В равнобедренной призме с углом при вершине $\varphi = 30^\circ$ падающий на левую грань луч распространяется параллельно основанию (см. рис. 122). Каков показатель преломления призмы, если угол отклонения луча $\delta = 32^\circ$?

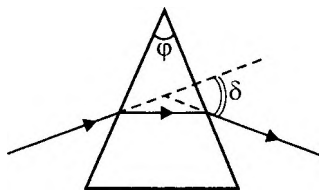


Рис. 122

373. Расстояние между точечным источником света и экраном равно $l = 50$ см. Линза, помещённая между ними, даёт чёткое изображение источника на экране при двух положениях. Каково расстояние между этими положениями, если фокусное расстояние линзы $f = 12$ см?

374. На стеклянный шар радиусом R с показателем преломления n падает узкий пучок света, образуя угол α с осью, проведённой через точку падения и центр шара. На каком расстоянии d от этой оси пучок выйдет из шара?

375. На клин с малым углом раствора α и показателем преломления n падает параллельный пучок света перпендикулярно его грани AB . Эта грань перпендикулярна главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием F , которая расположена за клином (см. рис. 123). Насколько сместится светлая точка на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы, если убрать клин?

376. На дне водоёма глубиной 2 м лежит зеркало. Луч света, пройдя через воду, отражается от зеркала и выходит из воды. Показатель преломления воды равен 1,33. Найдите расстояние между точкой входа луча в воду и точкой выхода луча из воды, если угол падения луча равен 30° .

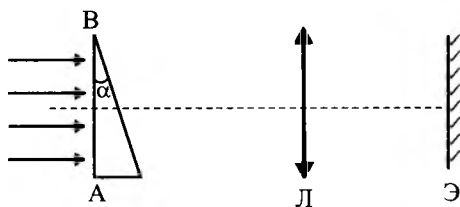


Рис. 123

377. Двояковыпуклая линза изготовлена из стекла с показателем преломления 1,5. Радиусы кривизны линзы 25 и 20 см. Какова оптическая сила в воздухе и сероуглероде? Показатель преломления сероуглерода равен 1,62.

378. Точечный источник света расположен на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии $d = 5$ см от ближайшего фокуса. Каково фокусное расстояние линзы, если расстояние от источника до его изображения $l = 20$ см?

379. Сечение призмы представляет собой равнобедренный прямоугольный треугольник. При каких значениях показателя преломления n возможен ход луча, указанный на рисунке (см. рис. 124)?

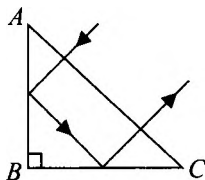


Рис. 124

380. На стакан с водой положили стеклянную пластинку. При каком угле падения на пластинку луч будет полностью отражаться от границы стекло—вода, если показатель преломления стекла равен 1,45?

5.1.2. Задания для самостоятельной работы

381. Чему равен показатель преломления второй среды относительно первой, если угол падения луча равен 60° , а преломлённый луч составляет с отражённым лучом угол 90° ?

382. При съёмке с расстояния 3,6 м изображение предмета имеет высоту 6 мм; при съёмке с расстояния 2,2 м — высоту 1 см. Определите фокусное расстояние объектива.

383. В дно водоёма глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Свая отбрасывает на дне водоёма тень длиной 0,75 м. Определите угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

384. Высота пламени свечи 3 см. Линза даёт на экране изображение этого пламени высотой 9 см. Свечу отодвигают от линзы на 1,5 см, а затем для получения резкого изображения передвигают экран и получают изображение пламени высотой 6 см. Определите оптическую силу линзы.

385. Изображение предмета, помещённого на расстоянии 20 см от тонкой рассеивающей линзы, в три раза меньше этого предмета. Найдите оптическую силу линзы.

386. Линза с оптической силой 10 дптр даёт уменьшенное в 2 раза действительное изображение предмета. Если линзу заменить другой, то получается в 3 раза увеличенное действительное изображение предмета. Чему равно фокусное расстояние второй линзы?

387. Объектив проекционного аппарата имеет оптическую силу 5,4 дптр. Экран расположен на расстоянии 4 м от объектива. Определите размеры экрана, на котором должно уместиться изображение диапозитива размером 6×9 см.

388. Равнобедренный прямоугольный треугольник площадью 32 см^2 расположен перед тонкой собирающей линзой так, что его катет лежит на главной оптической оси линзы (см. рис. 125). Фокусное расстояние линзы 60 см. Расстояние от центра линзы ближайшего угла C равно удвоенному фокусному расстоянию линзы. Найдите (в см^2) площадь полученного изображения. Ответ округлите до целых.

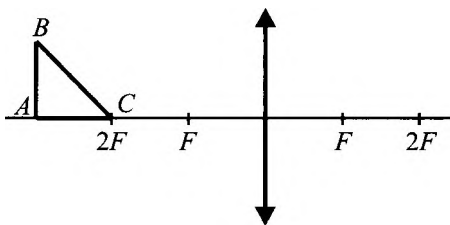


Рис. 125

389. Светящаяся точка со скоростью 0,2 м/с движется по окружности вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, параллельной плоскости линзы и отстоящей от неё на расстоянии, в 1,8 раза

большем фокусного расстояния линзы. Какова скорость движения изображения?

390. Светящаяся точка, находящаяся на расстоянии $2F$ от собирающей линзы, движется в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси, по окружности радиусом 1 см со скоростью 1 см/с по часовой стрелке. Как движется изображение точки?

391. Светящаяся точка движется с постоянной скоростью 20 см/с вокруг главной оптической оси собирающей линзы. Плоскость окружности параллельна линзе и находится на расстоянии 60 см от неё. Определите скорость, с которой движется изображение точки, даваемое линзой. Учтите, что если расстояние между линзой и светящейся точкой увеличить на 40 см, то скорости движения точки и её изображения будут одинаковыми.

5.2. Волновая оптика

5.2.1. Задания с решениями

392. На дифракционную решётку с периодом 8 мкм падает монохроматический свет с длиной волны 650 нм. Чему равен наибольший порядок дифракционного максимума?

393. Каков наибольший порядок спектра, наблюдаемый для света с $\lambda_2 = 0,550$ мкм, падающего нормально на дифракционную решётку, если при нормальном падении света с $\lambda_1 = 0,630$ мкм максимум второго порядка наблюдается под углом 30° к нормали?

394. Период дифракционной решётки 2 мкм. Сколько максимумов будет содержать спектр, если на решётку нормально падает монохроматический свет с длиной волны 589 нм?

395. Плоская монохроматическая волна падает на дифракционную решётку с периодом d . (Рассматриваются учебные дифракционные решётки с числом штрихов на 1 мм не более 200.) Ширина между дифракционными максимумами, наблюдаемыми на экране вблизи центрального, равна Δx . Какова длина волны, если экран расположен на расстоянии, равном фокусному расстоянию линзы, стоящей после дифракционной решётки?

5.2.2. Задания для самостоятельной работы

396. На каком расстоянии от центрального максимума в дифракционном спектре газоразрядной лампы находится максимум третьего порядка зелёной линии ($\lambda_1 = 540$ нм), если максимум второго порядка жёлтой

линии ($\lambda_2 = 300$ нм) находится на расстоянии 2,9 см от центрального максимума?

397. Для того чтобы увидеть красную линию ($\lambda = 0,7$ мкм) в спектре третьего порядка, зрительную трубу пришлось установить под углом $\alpha = 48^\circ 36'$ к оси коллиматора. Какое количество штрихов нанесено на 1 см длины этой решётки? Свет падает на решётку нормально.

398. Две дифракционные решётки скрестили так, что их штрихи оказались под углом 90° друг к другу. Луч света падает перпендикулярно плоскости решёток так, что на экране, отстоящем от решёток на расстоянии 1 м параллельно плоскости решёток, образовалась серия пятен, расположенных в углах квадрата со стороной 5 см. Какова длина волны падающего света, если в решётках нанесено 100 штрихов на 1 мм?

399. На каком расстоянии L от дифракционной решётки нужно поставить экран, чтобы расстояние между нулевым и четвёртым максимумами было $x = 50$ мм для света с длиной волны $\lambda = 500$ нм? Постоянная дифракционной решётки $d = 0,02$ мм.

400. Точечный источник света с длиной волны 0,5 мкм расположен на оптической оси и находится на расстоянии 40 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 30 см. Сразу за линзой установлена дифракционная решётка с периодом 0,02 мм. Какое расстояние будет между соседними изображениями источника света?

§ 6. Задание № 32. Квантовая физика (расчётная задача)

Задача 6. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн $\lambda_1 = 350$ нм и $\lambda_2 = 540$ нм соответственно. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в $\frac{V_1}{V_2} = 2$ раза. Какова работа выхода с поверхности металла?⁹

Авторское решение (один из возможных вариантов) Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в первом опыте:

$$h\nu_1 = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{1\text{max}}^2}{2}.$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта во втором опыте:

$$h\nu_2 = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{2\text{max}}^2}{2}.$$

Используем связь длины волны и частоты света:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Решая эту систему уравнений, можно получить:

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc\left(n^2 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\lambda_2(n^2 - 1)}.$$

Подставляя численные значения, получим окончательный ответ:

$$A_{\text{вых}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \left(4 - \frac{540}{350}\right)}{540 \cdot 10^{-9}(4 - 1)} \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,9 \text{ (эВ)}.$$

Ответ: $A_{\text{вых}} = 1,9$ эВ.

Рассмотрим **примеры реальных решений** данной задачи учащимися.

⁹Условие задачи, реальные решения учеников и комментарии эксперта взяты из «Методических рекомендаций по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом». М.: ФИПИ, 2011. — с. 54.

Реальное решение № 1 (2 балла).

$$\lambda_1 = 350 \text{ нм}$$

$$\lambda_2 = 540 \text{ нм}$$

$$\frac{v}{v_0} = 2$$

$$V_1 = 2V_2$$

$$\text{Ответ: } 0,03 \cdot 10^{-17}$$

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m_e V^2}{2}$$

$$A_{\text{вых}} = h\nu - \frac{m_e V^2}{2} \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$A_{\text{вых1}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{m_e V^2}{2}$$

$$A_{\text{вых1}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{350 \cdot 10^{-9}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2}{2} =$$

$$= 0,0566 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2$$

$$A_{\text{вых2}} = 0,0366 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_2^2$$

$$\frac{3}{4} \cdot 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2 = 10^{-17} (0,0566 - 0,0366); \quad V_1 = 7,64 \cdot 10^5$$

$$A_{\text{вых}} = 0,0566 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot 58,46 \cdot 10^{10} = 0,03 \cdot 10^{-17}$$

Далее приведём расшифровку реальной работы.

$$\lambda_1 = 350 \text{ нм}, \quad \lambda_2 = 540 \text{ нм}, \quad \frac{V_1}{V_2} = 2, \quad V_1 = 2V_2.$$

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m_e V^2}{2}, \quad A_{\text{вых}} = h\nu - \frac{m_e V^2}{2}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda},$$

$$A_{\text{вых1}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{m_e V^2}{2},$$

$$A_{\text{вых1}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{350 \cdot 10^{-9}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2}{2} =$$

$$= 0,0566 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2,$$

$$A_{\text{вых2}} = 0,0366 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_2^2,$$

$$0,0566 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2 = 0,0366 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot \frac{1}{4} V_1^2$$

$$\frac{3}{4} \cdot 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot V_1^2 = 10^{-17} (0,0566 - 0,0366); \quad V_1 = 7,64 \cdot 10^5.$$

$$A_{\text{вых}} = 0,0566 \cdot 10^{-17} - 4,55 \cdot 10^{-31} \cdot 58,45 \cdot 10^{10} = 0,03 \cdot 10^{-17}.$$

Комментарий: Очень примечательный результат. В этом решении всё сделано правильно, получен верный численный результат, но не указаны единицы измерения. За это рецензент снял 1 балл.

Реальное решение № 2 (1 балл).

<p>Дано. λ_1 λ_2</p> <p>$\lambda_1 = 350 \text{ нм}$ $350 \cdot 10^{-9} \text{ м}$</p> <p>$\lambda_2 = 540 \text{ нм}$ $540 \cdot 10^{-9} \text{ м}$</p> <p>$\frac{V_1}{V_2} = 2$</p> <p>$A_{\text{вых}} - ?$</p> <p>$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$</p> <p>$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$</p> <p>$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$</p>	<p>Решение</p> <p>$h\nu = A + E$</p> <p>$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda}$</p> <p>$A = \frac{hc}{\lambda} - \frac{mv^2}{2}$</p> <p>$\lambda_1 = \frac{V}{\nu} \Rightarrow V = \nu\lambda_1$</p> <p>$\lambda_2 = \frac{V}{\nu} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \nu \cdot 0,65 \Rightarrow 2 = \nu \cdot 0,65$</p> <p>$\nu = 3$</p> <p>$V = 3 \cdot 350 \cdot 10^{-9} = 1,05 \cdot 10^{-6}$</p> <p>$A = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{350 \cdot 10^{-9}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,05 \cdot 10^{-6})^2}{2}$</p> <p>$= 5,7 \cdot 10^{-19} - 5 \cdot 10^{-43} = 5,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$</p> <p>Ответ: $5,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$</p>
---	---

Далее приведём расшифровку реальной работы.

Дано: $\lambda_1 = 350 \text{ нм} = 350 \cdot 10^{-9} \text{ м}$,

$\lambda_2 = 540 \text{ нм} = 540 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, $\frac{V_1}{V_2} = 2$.

$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

$A_{\text{вых}} - ?$

Решение:

$$h\nu = A + E, \quad h\nu = A + \frac{mV^2}{2} = \frac{hc}{\lambda}, \quad A = \frac{hc}{\lambda} - \frac{mV^2}{2},$$

$$\lambda = \frac{V}{\nu} \Rightarrow V = \nu\lambda,$$

$$V_1 = \nu\lambda_1, \quad V_2 = \nu\lambda_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \nu \cdot 0,65 \Rightarrow 2 = \nu \cdot 0,65, \quad \nu = 3.$$

$$V = 3 \cdot 350 \cdot 10^{-9} = 1,05 \cdot 10^{-6}.$$

$$A = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{350 \cdot 10^{-9}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,05 \cdot 10^{-6})^2}{2} =$$

$$= 5,7 \cdot 10^{-19} - 5 \cdot 10^{-43} = 5,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $5,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Комментарий: В решении верно записаны исходные формулы, но далее сделан неверный вывод.

6.1. Физика атома

6.1.1. Задания с решениями

401. Работа выхода электронов из рубидия равна 2,2 эВ. Какой максимальный заряд может приобрести рубидиевый шар диаметром 5 мм, если его облучать светом с длиной волны 300 нм?

402. Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 83$ нм. На какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряжённостью $E = 7,5$ В/см? Красная граница фотоэффекта для алюминия соответствует длине волны $\lambda_0 = 332$ нм.

403. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны?

404. Уединённый металлический шарик радиусом 0,5 см освещают светом с длиной волны 200 нм продолжительное время. Затем его долго освещают светом с длиной волны 150 нм. И в том и в другом случаях фотоэффект наблюдается. Какое количество электронов покинет шарик после начала дополнительного освещения?

405. Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой максимальный импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

406. Если фотоэлемент освещать светом с длиной волны 400 нм, то фототок прекращается при запирающем напряжении 1,5 В. Определите по этим данным красную границу фотоэффекта.

407. Чему равен импульс каждого из фотонов, вызывающих фотоэффект в металле с работой выхода 3 эВ, если запирающее напряжение при освещении катода этими фотонами равно 2 В?

408. Пластина плоского конденсатора облучается светом частотой $6 \cdot 10^{15}$ Гц. Ежесекундно из пластины вырывается 10^{10} электронов, достигающих второй пластины. Через какой промежуток времени фототок прекратится, если площадь обкладок 10 см², расстояние между ними 5 мм, а работа выхода равна 2 эВ?

409. В однородном электрическом поле напряжённостью 200 В/м находится металлическая пластинка, которая освещается светом с длиной волны 350 нм . Определите, на какое максимальное расстояние от пластины могут удалиться электроны, если поле оказывает на них тормозящее действие. Красная граница фотоэффекта 400 нм .

410. Каким должен быть импульс электрона, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 589 \text{ нм}$?

411. Какова длина волны де Бройля для атома гелия, движущегося со среднеквадратичной скоростью при температуре $t = 27^\circ\text{C}$?

412. Максимальная длина волны спектральной водородной линии серии Лаймана равна $0,12 \text{ мкм}$. Предполагая, что постоянная Ридберга неизвестна, определите максимальную длину волны линии серии Бальмера.

413. Электрон в атоме водорода перешёл из основного состояния в возбуждённое, получив энергию $12,75 \text{ эВ}$. Какова наибольшая длина волны, которую может излучить атом водорода из этого состояния? Энергия электрона в основном состоянии атома водорода равна $(-13,6 \text{ эВ})$; постоянная Ридберга $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

6.1.2. Задания для самостоятельной работы

414. Сколько электронов покинет металлический шар ёмкостью C за счёт фотоэффекта, если на него падает свет с длиной волны λ меньше критической, а работа выхода из металла A ? Заряд электрона e .

415. Сколько электронов покинет металлический шар радиусом R за счёт фотоэффекта, если на него падает свет с частотой ν , больше критической, а работа выхода из металла A ? Заряд электрона e .

416. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла $\lambda_{\text{кр}} = 275 \text{ нм}$. Найдите максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны 180 нм .

417. Чему равна красная граница фотоэффекта для материала катода, если при воздействии на него излучением с длинами волн $\lambda_1 = 400 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 300 \text{ нм}$ максимальная скорость фотоэлектронов во втором случае в $1,6$ раза больше?

418. Чему равен импульс фотонов, вызывающих фотоэффект, если работа выхода $2,5 \text{ эВ}$, а задерживающая разность потенциалов $3,5 \text{ В}$?

419. Чему равно максимальное давление светового луча на зеркальную поверхность, если световая энергия, падающая на 1 м^2 за 1 с , равна 1500 Дж ?

- 420.** Серебряный шарик радиусом 2 см освещают ультрафиолетовым светом с длиной волны 200 нм. Благодаря явлению фотоэффекта на шарике появляется электрический заряд. Определите максимальный заряд шарика, если работа выхода электрона для серебра равна 4,3 эВ.
- 421.** Каков потенциал, до которого может зарядиться металлическая пластина, работа выхода из которой 1,6 эВ, при длительном освещении потоком фотонов с энергией $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж?
- 422.** Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с частотой $\nu = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции этого поля и движутся по окружности радиусом $R = 5$ мм. Чему равен модуль индукции магнитного поля?
- 423.** Определите пороговую частоту ν_c , если при увеличении частоты света в 2 раза запирающее напряжение увеличивается в 5,27 раза. Частота падающего на фотокатод света равна $6 \cdot 10^{14}$ Гц.
- 424.** Каков квантовый выход — отношение Q числа электронов, испускаемых за 1 с, к числу фотонов, падающих на фотокатод за то же время? Мощность излучения с длиной волны λ , падающего на фотокатод, равна P , сила фототока равна I .
- 425.** Фотоэффект происходит при облучении натрия фотонами с энергией 3,5 эВ. Рассчитайте максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете фотоэлектрона. Работа выхода для натрия равна 2,3 эВ.
- 426.** В вакууме находятся две покрытые кальцием пластинки, к которым подключён конденсатор ёмкостью $C = 8000$ пФ. При длительном освещении одной из пластинок светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $q = 11 \cdot 10^{-9}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны λ света, освещающего пластинку.
- 427.** Металлическая пластина облучается светом. Работа выхода электронов из данного металла равна 3,7 эВ. Вылетающие из пластины фотоэлектроны попадают в однородное электрическое поле напряжённостью 130 В/м. Вектор напряжённости \vec{E} поля направлен к пластине перпендикулярно её поверхности. Измерения показали, что на расстоянии 10 см от пластины максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 15,9 эВ. Определите частоту падающего на пластину света.
- 428.** Уединённый металлический шарик радиусом 0,5 см освещают светом с длиной волны 250 нм продолжительное время. Затем его долго об-

лучают светом с длиной волны 200 нм. И в том и в другом случае фотоэффект наблюдается. Какое количество электронов покинет шарик после начала дополнительного облучения?

429. Электроны, вылетевшие с катода фотоэлемента (с работой выхода A) под действием света горизонтально в северном направлении, попадают в электрическое и магнитное поля. Электрическое поле направлено горизонтально на запад, а магнитное — вертикально вверх (см. рис. 126). Какой должна быть работа выхода, чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена на восток? Частота падающего на фотоэлемент света $6,2 \cdot 10^{14}$ Гц, напряжённость электрического поля 300 В/м, индукция магнитного поля 0,001 Тл.

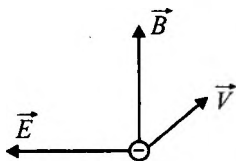


Рис. 126

430. Источник монохроматического электромагнитного излучения мощностью $P = 100$ Вт испускает $N_{\text{ф}} = 5,0 \cdot 10^{20}$ фотонов за время $\Delta t = 1$ с. Найдите длину волны λ этого излучения.

431. В боровской теории атома водорода частота излучения при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую описывается соотношением

$$\nu = \frac{k^2 \cdot m_e e^4 \cdot 16\pi^2}{h^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

k — коэффициент пропорциональности в законе Кулона, m_e — масса электрона, e — его заряд, h — постоянная Планка, n и m номера стационарных орбит. Какова минимальная длина волны при излучении серии Бальмера?

432. Каков период обращения электрона, находящегося на первой боровской орбите в атоме водорода, радиус которой определяется по формуле $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 k m e^2}$, где $k = 9 \cdot 10^9$ Н · м²/Кл², m и e — масса и заряд электрона?

433. Какова частота обращения электрона, находящегося на первой боровской орбите в атоме водорода?

434. Чему равна максимальная длина волны, которую может излучать атом водорода при всех возможных переходах в основное состояние, если он поглотит фотон с частотой $\nu = 2,94 \cdot 10^{15}$ Гц, а энергию электрона на n -ом уровне атома можно представить в виде формулы $T_n = \frac{hR}{n^2}$, где

h — постоянная Планка, $R = 3,29 \cdot 10^{15} c^{-1}$ — постоянная Ридберга?

435. Длина волны падающего рентгеновского излучения $\lambda_1 = 2,4 \cdot 10^{-11}$ м. После рассеяния на электроне длина волны излучения стала $\lambda_2 = 2,6 \cdot 10^{-11}$ м. Какую часть своей первоначальной энергии фотон излучения передал электрону?

6.2. Ядерная физика

6.2.1. Задания с решениями

436. Больному ввели внутривенно дозу раствора, содержащего радиоактивный изотоп ${}_{11}^{24}\text{Na}$. Активность одного миллилитра этого раствора $\alpha_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада изотопа ${}_{11}^{24}\text{Na}$ $T = 15,3$ ч. Через 3 ч 50 мин активность одного миллилитра крови пациента стала 0,28 распадов в секунду. Какой объём раствора первоначально ввели больному, если общий объём крови пациента $V = 6$ л? Переходами ядер изотопа ${}_{11}^{24}\text{Na}$ из крови в другие ткани организма пренебречь.

437. Радиоактивный препарат с активностью $n = 1,2 \cdot 10^{12}$ α -распадов в секунду выделяет тепловую мощность, равную $P = 1$ Вт. Найдите скорость α -частиц при распаде. Энергией отдачи и релятивистскими эффектами пренебречь.

438. Период полураспада радиоактивного фосфора ${}_{15}^{32}\text{P}$ равен 14,3 суток. Какая часть изотопов распадётся за 8 суток?

439. Ядро урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ при распаде выделяет энергию ≈ 200 МэВ. Определите, на какое время хватит 70,5 кг урана, если мощность электростанции, использующей в качестве топлива уран, равна 5 МВт, а её КПД = 15%.

440. Для установления возраста египетской мумии определили концентрацию радиоактивного углерода ${}_{6}^{14}\text{C}$ в её тканях, она соответствует 1650 распадам в 1 секунду на 10 кг углерода. Для живых тканей концентрация ${}_{6}^{14}\text{C}$ соответствует 840 распадам в час на 1 г углерода. Определите возраст мумии, если период полураспада ${}_{6}^{14}\text{C}$ равен 5600 лет.

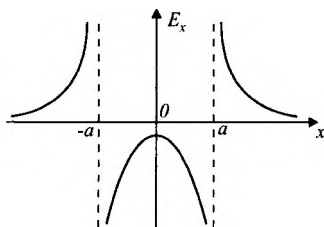
6.2.2. Задания для самостоятельной работы

- 441.** Какова активность $m = 1$ г полония ${}_{84}^{210}\text{Po}$, если период его полураспада равен $T_{1/2} = 138$ суток?
- 442.** Препарат массой 1 г, содержащий радий, за 1 с испускает $3,7 \cdot 10^{10}$ α -частиц, обладающих скоростью 15 Мм/с. Какова масса образца с такой же концентрацией радия, в котором за полчаса выделяется энергия 500 Дж? Энергией отдачи ядер и релятивистскими эффектами пренебречь.
- 443.** Какая доля атомов полония распадётся через 30 мин 30 с? Период полураспада полония 3,05 мин.
- 444.** В микрокалориметр теплоёмкостью 100 Дж/К помещён изотоп кобальта массой 10 г. При распаде одного ядра выделяется энергия $2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Через 50 мин температура калориметра повысилась на 0,06 К. Определите период полураспада изотопа кобальта. Молярная масса кобальта $M = 0,059$ кг/моль.

Ответы

1. Уровень воды не изменится. 2. С ростом массы капли сила тяжести растёт быстрее силы сопротивления воздуха, и крупные капли движутся вниз с большим ускорением. 3. Начнёт надуваться шарик с меньшим радиусом. 4. Можно. 5. Колеблется вначале быстрее, потом так же, а далее медленнее, чем без движения. 6. Пока миска плавает на поверхности воды, уровень воды в аквариуме не изменяется, после погружения миски на дно уровень воды в аквариуме понизится. 7. Газ отдавал некоторое количество теплоты. 8. Возникают колебания поршня. С увеличением массы поршня увеличивается его инерция и возрастает период возникающих колебаний. 9. Не изменится. 10. Изобара, т.к. на этом участке идёт испарение воды и пар всё время насыщенный. Затем идёт изотермический процесс. 11. Чем больше влаги содержит кора дерева, тем более высока вероятность получения на этих участках ствола большого давления пара, образующегося при испарении влаги электрическим током разряда молнии. 12. Может. 13. В этот момент в нити выделяется слишком большая мощность, что приводит к её перегоранию. 14. Согласно закону Столетова для фотоэффекта, сила фототока насыщения прямо пропорциональна освещённости катода. 15. Чем больше витков во вторичной обмотке, тем большее постоянное напряжение возникает между клеммами вторичной обмотки. 16. Частица будет двигаться по винтовой линии с уменьшающимися со временем радиусом и шагом с постоянным периодом обращения. 17. Направление вектора скорости электрона должно быть таковым, чтобы обеспечить противоположность действия на электрон электрической и магнитной сил. Модуль скорости $v = E/B$. 18. Под действием магнитной силы электрон будет вращаться вокруг вектора магнитной индукции \vec{B} со скоростью $V \sin \alpha$ и перемещаться вдоль вектора магнитной индукции с начальной скоростью $V \cos \alpha$. 19. Рамка повернётся по часовой стрелке и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу вследствие моментов сил Ампера и трения о воздух. 20. Полная энергия, теряемая ядром, различным образом распределяется между электроном и антинейтрино. 21. Полная работа равна площади фигуры, ограниченной кривой 1–2–3 и отрезком 3–1. Полная работа $A = A_{12} + A_{23} < 0$, т.к. $A_{12} < A_{23}$. 22. В первых двух случаях сила давления кнопки больше силы поверхностного натяжения воды, в третьем случае — меньше. 23. Сила притяжения Луны к Солнцу больше силы притяжения Луны к Земле. 24. Объём газа увеличивается на всём процессе 1–3. Процесс

1 – 2 — изотермический, т.к. идёт передача тепла без изменения внутренней энергии. Следовательно, объём газа растёт. Процесс 2 – 3 — адиабатный, т.к. тепло не подводится, а внутренняя энергия уменьшается. Это уменьшение энергии происходит за счёт расширения газа. **25.** Тихон, т.к. он использовал конвекцию воды при нагревании. **26.** Кипение происходит при постоянной температуре несмотря на равномерный подвод тепла. **27.** Железо быстрее нагревается. **28.** При утреннем снижении температур точка росы наступит при отрицательной температуре. Надо хорошо с вечера увлажнить почву. **29.** Лампа мощностью 40 Вт будет гореть ярче.



30.

31. Контакты нагреваются теплом Джоуля — Ленца. Контакт с бóльшим сопротивлением нагревается сильнее. **32.** У металлов сопротивление при нагревании увеличивается и температура стабилизируется. У полупроводников сопротивление при нагревании снижается, температура неограниченно растёт вплоть до разрушения нагревательного элемента. **33.** График 4. **34.** График 1. **35.** Линза собирающая находится между предметом и его изображением. **36.** Линза собирающая, предмет и изображение расположены с одной стороны от линзы. **37.** Да, если они будут соприкасаться шлемами. **38.** Поскольку ядро удерживается неподвижной мишенью, то его импульс не меняется, в то время как импульс α -частицы изменяется за счёт силы отталкивания от ядра. Следовательно, импульс системы « α -частица—ядро» не сохраняется. **39.** 4 с.

40. $\frac{2v_0^2}{g} \sin^2 \alpha \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{a}{g} \right)$. **41.** 1,95 м. **42.** 100 м. **43.** $t = \frac{u + \sqrt{u^2 + 2gH}}{g}$,

$v = \sqrt{u^2 + 2gH}$. **44.** 0,9375 м. **45.** $\frac{5}{3}$. **46.** 2 км/ч. **47.** $63^\circ 26'$. **48.** 1794 м.

49. 40 м/с. **50.** 37,5 см. **51.** 58,5 м. **52.** 12,4 м. **53.** 3,5 с. **54.** 51,9 м/с. **55.** 0,27. **56.** 36,5 м. **57.** 12 260 Н. **58.** На 1400 Н. **59.** 1,3 м/с². **60.** 0,5.

61. 0,73. **62.** 1,5 м/с. **63.** $\frac{\sqrt{3}}{2}$. **64.** 0,2. **65.** $\approx 0,85$.

66. В случае проскальзывания $T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot (\sqrt{a^2 + g^2} + kg - a)$, при
отсутствии проскальзывания $T = m_2 \sqrt{a^2 + g^2}$. 67. 3,9 м. 68. $g_0 \cdot n$.
69. $\sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$. 70. 18,4 км/с. 71. 0,5 кг. 72. 45° . 73. 7,5 Н. 74. $\frac{2}{3}F$.
75. 500 м/с. 76. 76,7 мин. 77. $1,2 \text{ м/с}^2$. 78. $6,45 \cdot 10^{23}$ кг. 79. 27 см.
80. 6° . 81. 3. 82. 0,7 м/с. 83. $n \cdot g_3$. 84. 6,25 см. 85. $0,7 \text{ м/с}^2$.
86. 1 м/с^2 . 87. $1,35 \text{ м/с}^2$. 88. $\frac{\sqrt{2} \cos \alpha - \cos(45^\circ - \alpha)}{\sqrt{2} \sin \alpha}$. 89. $\alpha = 45^\circ$.
90. На 2 м. 91. $0,65a$. 92. 1,73 м. 93. 0. 94. 3,5 м/с. 95. 1,6 м/с; 1,4 м/с.
96. $\frac{m^2(v-u)^2}{2M^2g}$. 97. 1 м. 98. 0,0025. 99. В 1,08 раза. 100. 225 Дж.
101. 2,25 Дж. 102. 0,02 м. 103. 30 г. 104. $\frac{3}{2}$. 105. 22,5 м. 106. 3.
107. 50%. 108. $\frac{2LM^2}{m^2v_0}$. 109. $3,7 \cdot 10^{-3}$. 110. $20,5 \text{ м/с}^2$. 111. 1,1 м/с.
112. 0,3 м. 113. $\frac{SH^2\rho g}{2} \left(1 + \frac{16S^2H}{\pi^2 d^4 \tau^2 g}\right)$. 114. Уменьшилась в 1,44 ра-
за. 115. $2 \cdot 10^5$ Вт. 116. 25%. 117. На 200 К. 118. 60° . 119. 0,5 м.
120. $\approx 500 \text{ м/с}$. 121. 0,125 м. 122. $\frac{(V-U)^2}{2000}$. 123. 20,8 м. 124. 36,5 м.
125. 1 м/с. 126. 6 м/с. 127. $A = mg \left(H - \frac{3h}{2}\right) = 2 \text{ Дж}$.
128. $F_H = mg(3 + 2 \cos \alpha) = 4,4 \text{ Н}$. 129. $S = \frac{m \cdot l}{M + m} = 1,5 \text{ м}$.
130. 2,2 м/с. 131. 4,3 кДж. 132. 6 м/с. 133. 8 Н. 134. 139 м. 135. 2 уда-
ра. 136. $mg(3 - 2 \cos \alpha)$. 137. 12370 Н. 138. 6,7 см. 139. 2,5 м.
140. $34,9^\circ$. 141. 3,14 с. 142. 6 м/с. 143. 28 см. 144. $0,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. 145. $\nu/2$.
146. 0,5 Гц. 147. 0,87. 148. $T = 1,53 \text{ с}$. 149. 12 м^3 , 5,65 кг/моль.
150. 24°С . 151. $\frac{p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$. 152. 332,4 кПа. 153. $7,8 \cdot 10^6 \text{ Па}$.
154. В $\frac{27}{22}$ раза. 155. 356 К. 156. $8,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 157. $\frac{1}{S} \sqrt{\frac{k\nu RT}{2}}$.

158. 33,3%. 159. $\frac{\rho N_A - \frac{p_1 + p_2}{kT} \cdot \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} = 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. 160. $1,88 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
161. 9 г. 162. $\frac{(m_1 + m_2)\mu_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}$. 163. На 4%. 164. $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
165. $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. 166. $4,2 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. 167. $P_{He} = 7,6 \cdot 10^4 \text{ Па}$.
168. 5,2 МПа. 169. 250 К. 170. $\mu = \frac{3m}{2Q} RT_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) \approx 0,004 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.
171. 3740 Па. 172. 400 К. 173. 1 кг/м^2 . 174. 361 К. 175. Увеличилась в 3 раза. 176. $0,14 \text{ кг/м}^3$. 177. 1. 178. $m = \frac{2\mu Q}{3RT_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right)} \approx 0,012 \text{ кг}$.
179. 10 кг. 180. 51 000 кг. 181. 2,5 кДж. 182. а) 0; б) $\nu RT(\eta - 1)$; в) $\nu RT(\eta - 1)$. 183. 831 Дж. 184. 14,4 кДж. 185. 8050 Дж. 186. $12,5rL$.
187. 2 кДж. 188. $\frac{2}{5}k = 5$. 189. 2 кДж. 190. 41,55 кДж. 191. 40%.
192. 0,1. 193. 700 Дж. 194. 73,3 Дж. 195. $\frac{3V_0(p_0 - \frac{F}{S})}{10F}$. 196. 4,2 МДж.
197. 19%. 198. $\approx 2,1 \text{ кДж}$. 199. $F \geq \frac{3p_0V_0m_1}{(m_1 + m_2)l}$. 200. $\frac{2q}{5(p_0S + Mg)}$.
201. 100,1 кг. 202. 0,6. 203. 12,5 кДж. 204. -3740 Дж. 205. Стала в 8 раз меньше. 206. 2,8 кДж. 207. 5,5 кДж. 208. 6500 кДж. 209. 8 см.
210. 3. 211. 19944 Дж. 212. 500 Дж. 213. 10,1 кг. 214. 75%. 215. 25 кДж.
216. 6 кДж. 217. $\frac{3\nu R\Delta T}{2(1 - \eta)}$. 218. 0,04 м. 219. 15,8%. 220. Увеличилась в 1,5 раза. 221. 20 г/моль. 222. 2,25. 223. 8,3%. 224. $\Delta T = \frac{2}{5} \cdot \frac{A + Q}{\nu R}$.
225. $Q = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = 33\,240 \text{ Дж}$. 226. $41,55T_0$. 227. 12 см. 228. -1,5.
229. 5 кДж. 230. 17%. 231. 8310 Дж. 232. 6,3 МДж. 233. 4,2 г.
234. 1400 К. 235. 168 г. 236. 0,07. 237. 28 кВт. 238. 1,23 кг. 239. 0,56 кВт.
240. $0,1^\circ\text{С}$. 241. $m_3 = 7,7 \cdot 10^2 \text{ кг}$. 242. $V \approx 2,2 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. 243. 16 В.
244. 4,3 м/с. 245. $6,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$. 246. $-4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$. 247. -0,96 мкКл.

248. 0,5 м. 249. $\frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{R}\right)^2}}\right)$. 250. $\frac{qR\gamma}{2\epsilon_0\sqrt{R^2 + l^2}}$.
251. $\frac{U_{\text{пл}} l}{4dU} (l + 2L)$. 252. 9,5 пФ. 253. 12,5 г. 254. 3,4 мм. 255. $1,1 \cdot 10^{14}$ В.
256. $2\pi \sqrt{\frac{mq}{mg - \frac{\sigma q}{2\epsilon_0}}}$. 257. $25,5 \cdot 10^{-19}$ Кл. 258. $8,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$. 259. 2,25 м.
260. 76,4 г. 261. 2 см. 262. $\sqrt{4\pi\epsilon_0 k l_0^3 (\sqrt{n} - 1) \cdot n}$. 263. $\frac{7q^2 k}{2r}$.
264. $A = 2k \frac{q^2}{a} = 18 \cdot 10^{-8}$ Дж. 265. 0,29 Дж. 266. $v = q \sqrt{\frac{2k}{ml}} = 4,24$ м/с.
267. 62 пКл. 268. $\frac{2\pi k q Q R}{(R^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}}$. 269. 20 В/м. 270. $T = 2\pi \sqrt{\frac{2\epsilon_0 ml}{2\epsilon_0 gm + q \cdot \sigma}}$.
271. $1,6 \cdot 10^{-17}$ Кл. 272. 2,5 мкКл. 273. $V = \sqrt{2 \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{1 - \sin^2 \alpha}} \approx 29 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
274. $h = 3,7 \cdot 10^{-3}$ м. 275. 120 В. 276. $q = \frac{v^2 md}{l^2 E} = 18 \cdot 10^{-15}$ Кл.
277. 1 м/с. 278. $S = \frac{qd^2 m}{2qU} = 1$ см. 279. 4 А. 280. 1,47 А. 281. 1,7 А.
282. В 20 раз. 283. $2,33R$. 284. 2 Ом. 285. $C_1 \mathcal{E}$. 286. $\frac{C \mathcal{E}^2}{4}$. 287. 2 мКл.
288. 88 нКл. 289. $R \left(\frac{q_1}{q_2} - 1\right)$. 290. 8 Ом. 291. 390 Ом. 292. 0,15 Дж.
293. $1,05 I_2$. 294. 1 Ом. 295. 50 мкКл. 296. В 37,4 раза. 297. 48 В.
298. $E_1 = \frac{2C_2 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$, $E_2 = \frac{2C_1 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$. 299. В 1,2 раза. 300. 0,6 В.
301. 16 кДж. 302. 5,8. 303. 4. 304. В n^2 раз. 305. 27,3 Ом.
306. $P = \frac{U^2}{R^2} (R + r) = 32$ Вт. 307. 110 Ом. 308. 72 мкДж. 309. 5,3 В.
310. 14 Вт. 311. 7,7 Ом. 312. 6 мин. 313. $t_{\text{пос}} = t_2 \frac{t_1 + t_2}{t_2} = t_1 + t_2 =$
 $= 15 \text{ мин} + 30 \text{ мин} = 45 \text{ мин}$. 314. 0,2. 315. $U_{\text{к}} = \frac{\mathcal{E} R_3}{r + R_1 + R_3} = 3$ В;

$$q = U_K \cdot C = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл. } \mathbf{316.} \quad I = \frac{0,02mgv}{\eta U} = 250 \text{ А. } \mathbf{317.} \quad 38,6 \text{ мин.}$$

$$\mathbf{318.} \quad \frac{E_{k0}B}{B_0}. \quad \mathbf{319.} \quad 2 \cdot 10^6 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}. \quad \mathbf{320.} \quad 0,36 \text{ м. } \mathbf{321.} \quad 2rvB \sin \alpha. \quad \mathbf{322.} \quad 44 \text{ А.}$$

$$\mathbf{323.} \quad 0,01 \text{ Кл. } \mathbf{324.} \quad 20 \text{ см}^2. \quad \mathbf{325.} \quad 2,89 \text{ Тл. } \mathbf{326.} \quad 2,5 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2.$$

$$\mathbf{327.} \quad 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м/с. } \mathbf{328.} \quad \frac{BVl}{2(l + Vt) \cdot R_i}. \quad \mathbf{329.} \quad \frac{B\omega^2 l^2}{2}. \quad \mathbf{330.} \quad 0,05 \text{ В.}$$

$$\mathbf{331.} \quad \pi k R_1 R_2. \quad \mathbf{332.} \quad 0,11 \text{ мДж. } \mathbf{333.} \quad 0. \quad \mathbf{334.} \quad R = \frac{mv \sin \alpha}{qB} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$h = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{Bq} = 32,8 \cdot 10^{-3} \text{ м. } \mathbf{335.} \quad 2,2 \text{ нс.}$$

$$\mathbf{336.} \quad \omega = \frac{qB}{2m} \left(\sqrt{1 + \frac{m^2 g}{q^2 B^2 L \cos \alpha}} - 1 \right). \quad \mathbf{337.} \quad 67 \text{ мкКл. } \mathbf{338.} \quad 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

$$\mathbf{339.} \quad 1,3 \text{ Тл. } \mathbf{340.} \quad 3 \text{ м/с. } \mathbf{341.} \quad 3 \text{ А. } \mathbf{342.} \quad 0,1 \text{ Тл. } \mathbf{343.} \quad \mathcal{E}_i = Bl^2 \frac{\omega}{2} = 2 \cdot 10^{-3}.$$

$$\mathbf{344.} \quad L = \frac{\mathcal{E}}{B \cos \alpha \sqrt{2gs \sin \alpha}} = 0,5 \text{ м. } \mathbf{345.} \quad q = \frac{\Delta B \cdot S}{R} = 2,5 \text{ мКл.}$$

$$\mathbf{346.} \quad q_1 = \frac{BS(\cos 90^\circ - \cos 60^\circ)}{R} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл;}$$

$$q_2 = \frac{BS(\cos 30^\circ - \cos 60^\circ)}{R} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Кл. } \mathbf{347.} \quad 0,01 \text{ Кл.}$$

$$\mathbf{348.} \quad I = \frac{BLv}{R} = 20 \text{ мА. } \mathbf{349.} \quad \frac{1}{6}. \quad \mathbf{350.} \quad 25 \text{ нс. } \mathbf{351.} \quad 10^{-5} \text{ Дж. } \mathbf{352.} \quad 72 \text{ мДж.}$$

$$\mathbf{353.} \quad 3 \text{ В. } \mathbf{354.} \quad 11 \text{ мДж. } \mathbf{355.} \quad 12 \text{ В.}$$

$$\mathbf{356.} \quad \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \left[U_0 + \sqrt{U_0^2 + \frac{(C_1 + C_2) I_0^2 (L_1 + L_2)}{C_1 C_2}} \right].$$

$$\mathbf{357.} \quad q_1 = \frac{U_0}{C_1 + C_2} \cos \omega t, \quad q_2 = \frac{C_2 U_0}{C_1 (C_1 + C_2)} \cos \omega t, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)}}.$$

$$\mathbf{358.} \quad 9,5 \text{ А. } \mathbf{359.} \quad U = U_0 \sqrt{1 - \frac{I^2}{I_0^2}} = 1,6 \text{ В. } \mathbf{360.} \quad 4 \text{ МГц. } \mathbf{361.} \quad 4 \text{ кГц.}$$

$$\mathbf{362.} \quad 5 \text{ нКл. } \mathbf{363.} \quad 8 \text{ см. } \mathbf{364.} \quad 35,9 \text{ см. } \mathbf{365.} \quad 2R \sin \alpha. \quad \mathbf{366.} \quad 6,25. \quad \mathbf{367.} \quad 0,18 \text{ м}^2.$$

$$\mathbf{368.} \quad 1 \text{ м. } \mathbf{369.} \quad \text{На } 40 \text{ см. } \mathbf{370.} \quad 2. \quad \mathbf{371.} \quad 2 \cdot 10^8 \text{ м/с. } \mathbf{372.} \quad 2. \quad \mathbf{373.} \quad 10 \text{ см.}$$

$$\mathbf{374.} \quad \frac{2R}{n^2} \sin \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}. \quad \mathbf{375.} \quad F \alpha (n - 1). \quad \mathbf{376.} \quad 1,63 \text{ м. } \mathbf{377.} \quad 4,5 \text{ дптр,}$$

$$-0,67 \text{ дптр. } \mathbf{378.} \quad 5 \text{ см. } \mathbf{379.} \quad n \geq \sqrt{2}. \quad \mathbf{380.} \quad \text{Угла не существует. } \mathbf{381.} \quad 1,73.$$

382. 10 см. 383. 28° . 384. 0,11 дптр. 385. -10 дптр. 386. 22,5 см.
 387. $1,2 \times 1,9$ м. 388. 25 см^2 . 389. $0,25 \text{ м/с}$. 390. $R = 1 \text{ см}$, $V = 1 \frac{\text{см}}{\text{с}}$.
 391. 1 м/с . 392. 4. 393. 6,25. 394. 7. 395. $\frac{d \cdot \Delta x}{F}$.
 396. $s = \frac{k_3 \lambda_3}{k_3 \lambda_3} s_2 = 7,83 \text{ см}$. 397. 357. 398. 500 нм. 399. 0,5 м. 400. 3 см.
 401. $5,35 \cdot 10^{-13}$ Кл. 402. $1,5 \cdot 10^{-2}$ м. 403. 4,8 мм. 404. $7,2 \cdot 10^6$.
 405. $2,96 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 406. 776 нм. 407. $2,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 408. 25 мс.
 409. 2 мм. 410. $7,8 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 411. 73 пм. 412. 0,648 мкм.
 413. 1,88 мкм. 414. $\frac{\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)C}{e^2}$. 415. $\frac{(h\nu - A_B) \cdot R}{kq^2}$. 416. $9,16 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.
 417. 468 нм. 418. $3,2 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 419. 10^{-5} Па . 420. 4,2 пКл.
 421. 2,4 В. 422. $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$. 423. $4,6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$. 424. $\frac{Ihc}{pe\lambda}$.
 425. $5,9 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 426. 300 нм. 427. $1,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$. 428. $4,3 \cdot 10^6$.
 429. 2,3 эВ. 430. $0,99 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. 431. 367 нм. 432. $1,5 \cdot 10^{-16} \text{ с}$.
 433. $6,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$. 434. 102 нм. 435. 8%. 436. $\approx 1 \text{ см}^3$. 437. $5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.
 438. 0,32. 439. 2000 суток. 440. 2800 лет. 441. $1,7 \cdot 10^{14} \text{ Бк}$. 442. 10 г.
 443. 99,9%. 444. 5700 с.

Решение некоторых заданий

1. Если весь лёд растает, то масса образовавшейся воды останется равной массе плавающего куска льда. Вода при этом займёт точно тот же объём, который занимала погружённая часть льда. Уровень воды не изменится.

2. Сила тяжести, действующая на каплю, пропорциональна её объёму, т.е. кубу радиуса капли ($mg \sim R^3$). Сила сопротивления со стороны воздуха пропорциональна площади поперечного сечения шара, т.е. квадрату радиуса капли ($F_c \sim R^2$). Таким образом, с ростом массы капли сила тяжести растёт быстрее силы сопротивления воздуха и крупные капли движутся вниз с большим ускорением.

3. Чем меньше радиус шарика, тем больше силы упругости, действующие на его поверхность и направленные к центру. Поэтому и давление внутри маленького шарика больше.

4. Дальность полёта тела

$$S = \frac{2v_0 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Так как $\sin \alpha = \cos(90 - \alpha)$, $\cos \alpha = \sin(90 - \alpha)$, то та же дальность полёта будет при броске тела под углом $90 - \alpha$. В нашем случае это бросок под углом 60° к горизонту.

5. 1) В начале движения кабина лифта движется с ускорением, направленным вверх, вес всех тел, находящихся в кабине, увеличивается, что эквивалентно увеличению g в формуле для периода свободного колебания маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}$. Таким образом, в это время период колебаний уменьшается, т.е. маятник колеблется быстрее.

2) Далее лифт движется практически равномерно, и период колебаний становится равным периоду колебаний в отсутствие движения $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

3) В конце движения кабина лифта останавливается, т.е. движется с ускорением, направленным вниз, вес всех тел, находящихся в кабине, уменьшается, что эквивалентно уменьшению g в формуле для периода свободного колебания маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g-a}}$. Таким образом в это время период колебаний увеличивается, т.е. маятник колеблется медленнее.

6. 1. Миска плавает на поверхности воды.

Пусть объём стенок миски равен V_1 , а объём воды в миске V_2 .

По закону Архимеда $V_3 \rho_{\text{в}} g = V_1 \rho_{\text{ж}} g + V_2 \rho_{\text{в}} g$, где V_3 — объём вытесненной воды, $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{ж}}$ — плотности воды и железа соответственно.

$$V_3 = V_1 \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}} + V_2.$$

Увеличение уровня воды $\Delta h_1 = \frac{V_3 - V_2}{S} = \frac{V_1 \rho_{\text{ж}}}{S \rho_{\text{в}}}$, где S — площадь сечения аквариума. Таким образом, пока миска плавает на поверхности воды, уровень воды в аквариуме остаётся постоянным и не изменяется по мере наполнения миски.

2. Миска наполнилась водой и опустилась на дно аквариума.

Объём вытесненной воды $V_4 = V_1$ и изменение уровня воды $\Delta h_2 = \frac{V_1}{S}$.

Так как плотность железа больше плотности воды, то $\Delta h_1 > \Delta h_2$ и после погружения миски уровень воды в аквариуме уменьшится.

7. Согласно I началу термодинамики

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

Выясним, что происходит с внутренней энергией газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T.$$

Запишем уравнение состояния идеального газа для начального и конечного состояний:

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu R T_1, \\ p_2 V_2 &= \nu R T_2, \end{aligned}$$

откуда

$$\nu R \Delta T = p_2 V_2 - p_1 V_1,$$

тогда

$$\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

Согласно рисунку $p_1 = p_2$, а $V_1 > V_2$, поэтому

$$\Delta U = \frac{3}{2} p_1 (V_2 - V_1) < 0.$$

Так как в рассматриваемом процессе газ сжимается, то $A < 0$, поэтому $Q < 0$.

8. Повышение давления приводит к смещению поршня. После снятия давления поршень возвращается к положению равновесия, но по инерции проскакивает его. Возникает разность давлений в частях цилиндра,

тормозящая поршень, а затем возвращающая его к положению равновесия. Возвращающийся поршень опять проскакивает положение равновесия... Возникают колебания поршня. С увеличением массы поршня увеличивается его инерция и возрастает период возникающих колебаний.

9. Давление воздуха останется прежним. Энергия одной молекулы

$$\bar{w} = \frac{5}{2}kT.$$

Давление

$$p = nkT \rightarrow n = \frac{p}{kT},$$

а общее число молекул

$$N = V \cdot n = \frac{Vp}{kT}.$$

Внутренняя энергия воздуха $U = N\bar{w} = \frac{5}{2}Vp$ не зависит от температуры.

10. Т.к. в цилиндре под поршнем при комнатной температуре t_0 долгое время находились только вода и её пар, то в системе установилось равновесие и пар является насыщенным. При медленном изотермическом расширении вода успевает испаряться и пар остаётся насыщенным. Так будет происходить до тех пор, пока не испарится вся вода. Т.к. объём воды много меньше объёма, занимаемого насыщенным паром, то первоначальный объём пара и пара с водой практически совпадают. В этом случае можно утверждать, что при медленном перемещении поршня объём пара изобарически расширяется до объёма $2V_0$. На графике этому участку соответствует прямая (см.рис. 127).

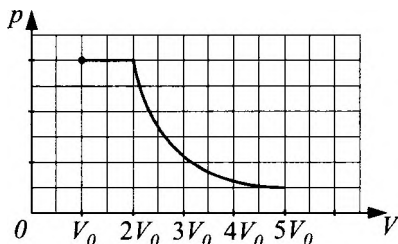


Рис. 127

11. Для молнии (особенно линейной) характерны большой ток, высокие напряжения и температура. Разряд молнии идёт по пути наименьше-

го электрического сопротивления, поэтому чаще ударяет в высокие области, в частности деревья. Реже поражаются молнией те деревья, чьи листья, ветви, ствол содержат больше масел, а потому их сопротивление (R) больше. Чем больше влаги содержит кора дерева, тем больше вероятность получения на этих участках ствола большого давления пара, образующегося при испарении влаги электрическим током разряда молнии. Пар под давлением, расширяясь, разрывает древесину. Чем более гладкий ствол у дерева, тем менее он содержит влаги в коре, и тем меньше вероятность разрушения его молнией.

12. Может (при торможении или движении под гору) после переключения двигателя в режим генератора электрического тока.

13. На лампочку подаётся напряжение U , и в ней выделяется мощность $P = \frac{U^2}{R}$, где R — сопротивление нити накала. Нить накала изготовлена из металла. В холодном состоянии нить накала имеет меньшее сопротивление, чем в рабочем — горячем. В момент включения лампочки в нити выделяется слишком большая мощность, что приводит к её перегоранию.

14. Даже в отсутствие разности потенциалов между анодом и катодом некоторые электроны достигают анода и в цепи течёт ток. При малых напряжениях не все фотоэлектроны достигают анода. С увеличением разности потенциалов между анодом и катодом сила тока растёт. При некотором значении разности потенциалов ток достигает насыщения. Если изменить полярность батареи, то сила тока уменьшится и при некоторой разности потенциалов станет равной нулю. При увеличении светового потока увеличится количество вырываемых электронов за единицу времени, а значит, увеличится и сила фототока насыщения, а также количество электронов, достигающих анода в единицу времени. Графики (см. рис. 128) для разных световых потоков будут иметь одну общую точку ($U_3, 0$), т.к. частота и начальная максимальная кинетическая энергия не изменятся.

15. При увеличении напряжения в первичной обмотке ток, текущий через неё, линейно возрастает. Это приводит к возникновению магнитного поля, пронизывающего поперечное сечение сердечника трансформатора. В области первичной обмотки магнитный поток через это сечение линейно возрастает. Сердечник замыкает магнитный поток в себе. Этот линейно увеличивающийся поток пронизывает витки вторичной обмотки.

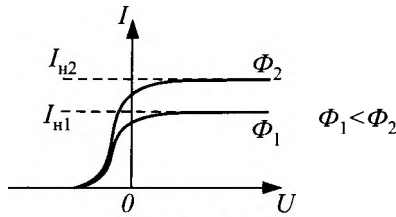


Рис. 128

В каждой из них наводится постоянная ЭДС электромагнитной индукции. Чем больше витков во вторичной обмотке, тем большее постоянное напряжение возникает между клеммами вторичной обмотки.

16. Скорость движения частицы можно разложить на компоненту V_{\perp} , направленную перпендикулярно полю \vec{B} , и на компоненту V_{\parallel} , направленную параллельно полю \vec{B} (см. рис. 129).

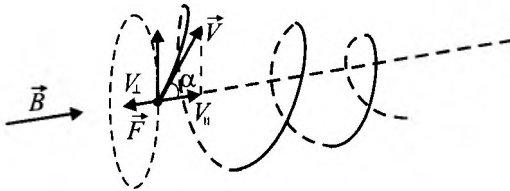


Рис. 129

$$V_{\perp} = V \sin \alpha,$$

где α — угол между \vec{B} и \vec{V} .

$$V_{\parallel} = V \cos \alpha.$$

На частицу действует сила Лоренца

$$F_L = |q|BV \sin \alpha = |q|BV_{\perp} = ma_{ц.с.} = m \frac{V_{\perp}^2}{R},$$

придающая телу центростремительное ускорение, таким образом частица будет двигаться по окружности уменьшающегося (т.к. индукция магнитного поля постепенно увеличивается) радиуса $R = \frac{mV \sin \alpha}{|q|B}$ перпендикулярно полю \vec{B} и иметь период обращения $T = \frac{2\pi R}{V \sin \alpha}$.

В направлении поля V_{\parallel} не меняется, т.к. сила не действует. Следовательно, в этом направлении движение равномерное, и за время обращения T частица пролетит расстояние

$$h = TV_{\parallel} = \frac{2\pi mV \cos \alpha}{|q|B},$$

это расстояние также будет уменьшаться.

Частица будет двигаться по винтовой линии с уменьшающимися со временем радиусом $R = \frac{mV \sin \alpha}{|q|B}$ и шагом $h = \frac{2\pi mV \cos \alpha}{|q|B}$.

17. Чтобы движение электрона было прямолинейным, необходимо равенство модулей и противоположность направлений сил, действующих со стороны электрического и магнитного полей $eE = eVB$, откуда скорость электрона должна быть

$$V = \frac{E}{B}.$$

Направление вектора скорости электрона должно быть таким, чтобы обеспечить противоположность действия на электрон электрической и магнитной сил.

Вектор скорости электрона должен быть перпендикулярен плоскости, в которой расположены векторы напряжённости электрического поля и магнитной индукции.

18. Разложим вектор скорости электрона на две проекции:

$$V_x = V \cdot \cos \alpha \quad \text{и} \quad V_y = V \cdot \sin \alpha.$$

Под действием магнитной силы электрон будет вращаться вокруг вектора магнитной индукции \vec{B} со скоростью $V \sin \alpha$ и перемещаться вдоль вектора магнитной индукции с начальной скоростью $V \cos \alpha$. Наличие электрического поля приводит к увеличению или уменьшению этой проекции скорости. Таким образом, электрон будет двигаться по винтовой линии с изменяющимся шагом винта в зависимости от направления вектора \vec{E} .

19. Вначале рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в соответствии с условием задачи (см. рис. 130а). В исходном положении в левом звене рамки ток направлен к нам, а в правом звене — от нас.

По правилу левой руки на левое звено рамки действует сила Ампера \vec{F}_{A1} , направленная вверх, а на правое звено рамки действует сила Ампера \vec{F}_{A2} , направленная вниз. Эти силы разворачивают рамку относительно неподвижной оси OM по часовой стрелке.

Рамка устанавливается перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» оказывается внизу. За счёт слабого трения рамка не проскакивает положение равновесия, при этом силы Ампера \vec{F}_{A1} и \vec{F}_{A2} обеспечивают равновесие рамки на оси OM (см рис. 130б).

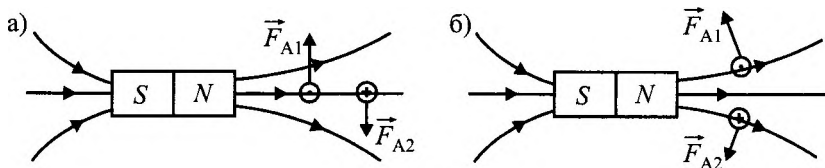
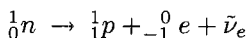


Рис. 130

20. При β -распаде радиоактивное ядро превращается в дочернее ядро с испусканием электрона. В процессе β -распада один из нейтронов превращается в протон



и выделяется энергия распада

$$E_k = (m_n - m_p - m_e)c^2,$$

$$E_k = 0,783 \text{ МэВ}.$$

При превращении нейтрона в протон возникает ещё электронное антинейтрино, которое приобретает импульс и уносит часть энергии с собой. Распределение энергии распада между электроном и антинейтрино носит случайный характер. В редких случаях вся энергия передаётся электрону. Этот случай соответствует верхней границе $E_k = 0,783 \text{ МэВ}$ электронного спектра.

39. Тело изменит направление движения тогда, когда скорость обратится в нуль. Скорость можно найти как площадь под графиком ускорения. Площадь треугольника (см. рис. 131), расположенного над осью абсцисс, будет положительна, а под осью — отрицательна. Тогда

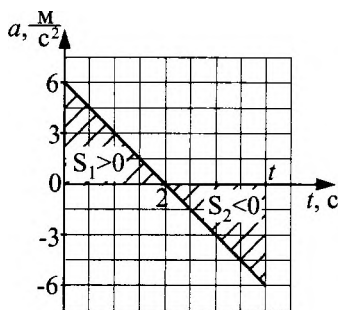


Рис. 131

$$v = S_1 + S_2 = 0,$$

откуда $S_1 = -S_2$, а соответствующий момент времени $t = 4 \text{ с}$.

Ответ: 4 с.

40. Уравнения движения тела в проекциях имеют вид

$$x = v_0 t \cos \alpha + \frac{at^2}{2}; \quad y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2},$$

а проекции скорости

$$v_x = v_0 \cos \alpha + at; \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt.$$

Время полёта тела $t_{\text{п}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$. Наибольшая высота подъёма

$$h_{\text{max}} = y_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \alpha;$$

$$x_{\text{max}} = v_0^2 \frac{2 \sin \alpha}{2g} \cos^2 \alpha + v_0^2 \frac{2a \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{2v_0^2}{g} \sin^2 \alpha \left(\text{ctg} \alpha + \frac{a}{g} \right).$$

Ответ: $\frac{2v_0^2}{g} \sin^2 \alpha \left(\text{ctg} \alpha + \frac{a}{g} \right)$.

41. Сделаем рисунок 132:

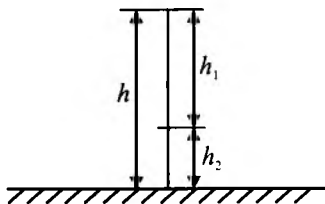


Рис. 132

Найдём время, затраченное на падение с высоты h . Т.к. движение происходит под действием силы тяжести, то

$$h = \frac{gt^2}{2},$$

откуда

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

тогда

$$h_2 = h - h_1,$$

где $h_1 = \frac{gt_1^2}{2}$ — путь, пройденный за время $t_1 = t - t_2$. Получим

$$h_2 = h - \frac{g}{2} \left(\sqrt{\frac{2h}{g}} - t_2 \right)^2.$$

Считаем

$$h_2 = 20 - \frac{10}{2} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}} - 0,1 \right)^2 = 1,95 \text{ м.}$$

Ответ: 1,95 м.

42. Запишем уравнение для скорости шарика, брошенного вертикально вверх:

$$v_1 = v_0 - gt.$$

Уравнение для скорости шарика, брошенного вертикально вниз:

$$v_2 = v_0 + gt.$$

Перейти в систему отсчёта одного из шариков (любого из них). Их относительное движение будет равномерным, т.к. они движутся с одинаковым ускорением. Относительная скорость их движения

$$v_{\text{отн}} = v_1 + v_2.$$

$$v_{\text{отн}} = v_0 - gt + v_0 + gt = 2v_0.$$

Расстояние между ними найдём по формуле

$$S = v_{\text{отн}} \cdot t,$$

$$S = 50 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} = 100 \text{ м.}$$

Ответ: 100 м.

43. В системе отсчёта, связанной с Землёй, закон изменения координаты тела имеет вид

$$y = H + ut - \frac{gt^2}{2}.$$

В момент падения на Землю $y = 0$. Из уравнения

$$gt^2 - 2ut - 2H = 0$$

время падения

$$t = \frac{u + \sqrt{u^2 + 2gH}}{g}.$$

Скорость падения находится из уравнения

$$v = u - gt = \sqrt{u^2 + 2gH}.$$

Ответ: $t = \frac{u + \sqrt{u^2 + 2gH}}{g}$, $v = \sqrt{u^2 + 2gH}$.

44. Для описания движения шариков выберем координатную систему с началом в точке бросания, направив ось OY вертикально вверх. Время будем отсчитывать с момента бросания первого шарика. Тогда координаты первого и второго шариков будут описываться следующими кинематическими уравнениями:

$$y_1 = v_0 t - \frac{gt^2}{2},$$

$$y_2 = v_0(t - T) - \frac{g(t - T)^2}{2},$$

где T — промежуток времени между бросаниями шариков. Поскольку полное время полёта каждого из шариков $t_0 = \frac{2v_0}{g}$, а по условию задачи жонглёр бросает пятый шарик в момент, когда первый шарик возвращается в исходную точку, $T = \frac{t_0}{4} = \frac{v_0}{2g}$, причём первый и второй шарик находятся в полёте одновременно при $T \leq t \leq 4T$ (см. рис. 133, на котором сплошными линиями изображены зависимости координат шариков от времени).

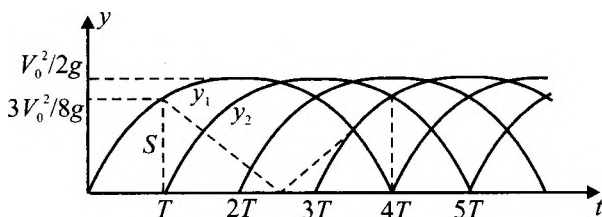


Рис. 133

Расстояние между первым и вторым шариками:

$$S = |y_1 - y_2| = |v_0T + \frac{gT^2}{2} - gTt| \quad \text{при} \quad T \leq t \leq 4T.$$

График зависимости этой величины от времени изображён на рисунке 133 штриховой линией. Анализ последнего выражения показывает, что оно достигает максимума при $t = T$ и при $t = 4T$, т.е. в момент бросания второго шарика и в момент возвращения первого шарика в исходную точку. Подставляя в выражение для расстояния между шариками любое из этих значений времени, получаем ответ:

$$S_{max} = \frac{3v_0^2}{8g} = 0,9375 \text{ м.}$$

Ответ: 0,9375 м.

55. По 2-у закону Ньютона:

$$\begin{aligned} F_{\text{тр}} &= ma. \\ F_{\text{тр}} &= \mu mg, \quad a = \omega^2 R. \end{aligned}$$

Решая уравнения совместно, получаем:

$$\mu = \frac{\omega^2 R}{g}.$$

Переводя в систему СИ $30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$ и подставляя численные значения, получаем:

$$\mu = 0,27.$$

Ответ: 0,27.

56. На вершине наклонной плоскости тело обладает потенциальной энергией mgh . После остановки механическая энергия тела равна нулю. Изменение механической энергии $-mgh$. Оно равно работе силы трения

$$A_{\text{тр}} = -\mu mg \cos \alpha \frac{h}{\cos \alpha} - \mu mg L,$$

$$L = \frac{h(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)}{\mu} = 36,5 \text{ м.}$$

Ответ: 36,5 м.

57. При торможении на вагон действуют силы, изображённые на рис. 134.

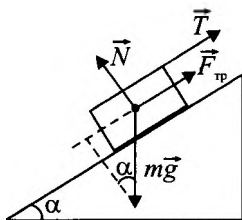


Рис. 134

Сумма проекций сил на направление, перпендикулярное рельсам,
 $N - mg \cos \alpha = 0.$

Поэтому сила трения $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha.$

Сумма проекций сил на направление рельсов создаёт ускорение
 $mg \sin \alpha - T - F_{\text{тр}} = ma.$

С другой стороны, $a = \frac{V_0}{t};$

$$T = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha + \frac{mV_0}{t} = 12\,260 \text{ Н.}$$

Ответ: 12 260 Н.

58. Силы, действующие на лётчика в верхней и нижней точках траектории, изображены на рисунке 135. Сумма проекций этих сил на радиус создаёт центростремительное ускорение. Оно одинаково, т.к. постоянны модуль скорости и радиус траектории. Могут быть увеличенные изображения.

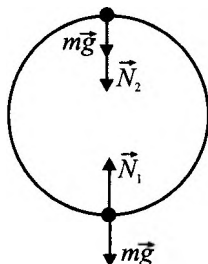


Рис. 135

$$N_1 - mg = \frac{mV^2}{R};$$

$$N_2 + mg = \frac{MV^2}{R}.$$

Вычтем почленно из первого уравнения второе: $N_1 - N_2 = 2mg = 1400 \text{ Н}$.

Ответ: На 1400 Н.

59. Сделаем рисунок 136. Сила сопротивления будет направлена противоположно векторной сумме силы тяги и ветра, т.к. она может только уменьшить скорость, а не изменить направление движения. Тогда

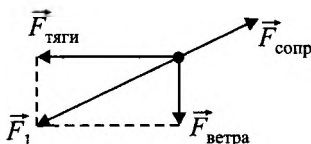


Рис. 136

$$a = \frac{F_1 - F_{\text{сопр}}}{m},$$

по теореме Пифагора

$$F_1 = \sqrt{F_{\text{тяги}}^2 + F_{\text{ветра}}^2}.$$

Считаем

$$a = \frac{\sqrt{1,5^2 \cdot 10^6 + 1^2 \cdot 10^6} - 0,5 \cdot 10^3}{10^3} = 1,3 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: 1,3 м/с².

60. При фиксированном положении тела относительно оси вращения работает максимальная сила трения покоя, равная силе трения скольжения $F_{\text{тр}} = mg$. Напишем основное уравнение динамики для движения точки по окружности: $m\omega^2 R = \mu mg$. Откуда следует, что

$$\mu = \frac{R\omega^2}{g} = \frac{0,25 \text{ м} \cdot 4,5^2 (\text{рад/с})^2}{10 (\text{м/с}^2)} \approx 0,5.$$

Ответ: $\approx 0,5$.

61. По второму закону Ньютона векторная сумма сил, приложенных к телу, равна (см. рис. 137)

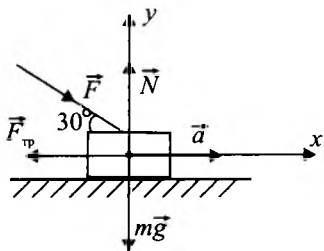


Рис. 137

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

Выберем систему координат, как показано на рисунке, и запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy :

$$\begin{aligned} Ox: F \cos 30^\circ - F_{\text{тр}} &= ma, \\ Oy: N - mg - F \sin 30^\circ &= 0. \end{aligned}$$

По определению силы трения

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Ускорение бруска можно найти с помощью кинематической формулы перемещения

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad a = \frac{2S}{t^2}.$$

Переводя в систему СИ $200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$ и $50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$ и решая уравнения совместно, получаем:

$$\mu = \frac{F \cos 30^\circ - ma}{mg + F \sin 30^\circ} = 0,73.$$

Ответ: $\mu = 0,73$.

62. Сделаем рисунок 138:

Согласно уравнению вращательного движения тела имеем:

$$\frac{mv^2}{R} = F_H \cdot \sin \alpha,$$

где очевидно, что $R = l \cdot \sin \alpha$. Проекция сил на вертикальную ось даёт $mg = F_H \cdot \cos \alpha$. Подставив в третье уравнение условие $F_H = 2mg$,

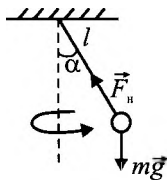


Рис. 138

получим, что $\cos \alpha = 0,5$, или $\alpha = 60^\circ$. Используя это значение при совместном решении первых двух уравнений, получим

$$v = \sqrt{\frac{3}{2}gl} = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot 10 \cdot 0,15} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: 1,5 м/с.

63. Направим ось x вдоль наклонной плоскости. Уравнение движения нижнего бруска в проекции на ось x :

$$Ma = Mg \sin \alpha - F_{\text{тр}1} - T,$$

где T — сила натяжения нити.

Сила реакции опоры:

$$N = Mg \cos \alpha + f,$$

где f — сила давления верхнего бруска.

Уравнение движения верхнего бруска:

$$ma = T - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}2}.$$

Здесь $F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}1} = F$.

По оси y имеем

$$N_1 = mg \cos \alpha \quad (N_1 = f).$$

Система двух брусков покоится, следовательно:

$$T = Mg \sin \alpha - Kmg \cos \alpha,$$

$$T = Kmg \cos \alpha + mg \sin \alpha.$$

Отсюда

$$k = \frac{M - m}{2m} \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Ответ: $\frac{\sqrt{3}}{2}$.

64. Для момента начала движения ($t = 2$ с) запишем соотношение, выражающее равенство между приложенной силой и максимальной силой трения:

$$bt_1 = \mu mg.$$

При $t > t_1$ запишем уравнение движения:

$$bt - \mu mg = ma.$$

При совместном решении этих двух уравнений

$$\mu = \frac{at_1}{g(t - t_1)}.$$

Используя график $a = a(t)$, рассчитываем значение $\mu = 0,2$.

Ответ: 0,2.

65. Т.к. требуется найти максимальное значение массы m , то в этом случае $F_{\text{тр}}$ будет направлена вниз вдоль наклонной плоскости. Сделаем соответствующий рисунок и расставим силы в этой системе (см. рис. 139). Ясно, что $T = T'$, т.к. эти силы действуют вдоль одной непрерывной нити. Система неподвижна, следовательно,

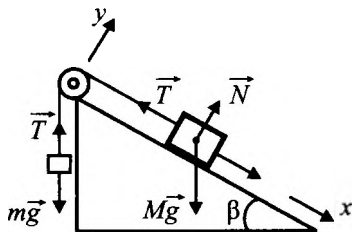


Рис. 139

$$mg = T. \quad (1)$$

Аналогично

$$\vec{T}' + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + M\vec{g} = 0. \quad (2)$$

Проекция (2) на ось Ox :

$$F_{\text{тр}} + Mg \sin \beta - T' = 0; \quad (3)$$

проекция на ось Oy :

$$N = Mg \cos \beta = 0,$$

следовательно,

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg \cos \beta.$$

Подставив $F_{\text{тр}}$ и выражение (1) в (3), получим: $m = M(\sin \beta + \mu \cos \beta)$.

Подставив значения, получим: $m = 1 \cdot (0,5 + 0,4 \cdot 0,866) = 0,85$ (кг).

Ответ: $m = 0,85$ кг.

66. Пусть угол между вертикалью и нитью, прикреплённой к грузу массой m_2 , равен α , а ускорение груза массой m_1 относительно стола равно a' . Тогда ускорение груза массой m_1 относительно земли равно $a - a'$, горизонтальная составляющая ускорения груза массой m_2 относительно земли равна $a - a' \sin \alpha$, а вертикальная — $a' \cos \alpha$.

Запишем второй закон Ньютона:

$$\begin{aligned} m_1(a - a') &= -T + km_1g, \\ m_2a' \cos \alpha &= m_2g - T \cos \alpha, \\ m_2(a - a' \sin \alpha) &= T \sin \alpha. \end{aligned}$$

Из двух последних уравнений при исключении угла α имеем

$$m_2a' = -T + m_2\sqrt{a^2 + g^2}.$$

При наличии проскальзывания ($a' > 0$) для T получаем:

$$T = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}(\sqrt{a^2 + g^2} + kg - a),$$

при $\sqrt{a^2 + g^2} > \frac{m_2}{m_1}kg - \frac{m_1}{m_2}a$.

Без проскальзывания ($a' = 0$) имеем

$$T = m_2\sqrt{a^2 + g^2},$$

при $\sqrt{a^2 + g^2} \leq \frac{m_2}{m_1}kg - \frac{m_1}{m_2}a$.

Ответ: $T = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}(\sqrt{a^2 + g^2} + kg - a)$ — в случае проскаль-

зывания груза по столу и $T = m_2\sqrt{a^2 + g^2}$ — при отсутствии проскаль-

67. 1) Рассмотрим движение тележки (см. рис. 140). Направим ось Ox вдоль наклонной плоскости вверх, ось Oy перпендикулярно вверх. Спроектируем все силы, действующие на тележку, на оси Ox и Oy и запишем соответствующие уравнения для второго закона Ньютона:

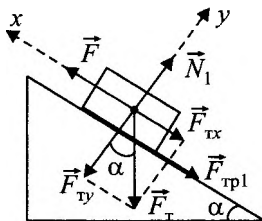


Рис. 140

На ось Ox : $F - F_{\text{тр}1} - F_{\text{тх}} = ma_1$, где F — сила, с которой тянут тележку, $F_{\text{тх}} = mg \sin \alpha$ — проекция силы тяжести, действующей на тележку, на ось Ox , $F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1$ — сила трения, действующая на тележку, m и a_1 — её масса и ускорение относительно наклонной плоскости соответственно.

На ось Oy : $N_1 - F_{Ty} = 0$, где N_1 — сила реакции опоры, действующая на тележку со стороны наклонной плоскости, $F_{Ty} = mg \cos \alpha$ — проекция силы тяжести, действующей на тележку, на ось Oy . Из последнего уравнения $N_1 = mg \cos \alpha$, подставив в первое, получим для ускорения тележки

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{F - \mu_1 mg \cos \alpha - mg \sin \alpha}{m} = \frac{F}{m} - g(\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha) = \\ &= 9,5 - 10 \left(0,3 \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 0,31 \text{ м/с}^2. \end{aligned}$$

2) Путь, пройденный тележкой,

$$L = v_{10}t + \frac{a_1 t^2}{2}$$

и т.к. $v_{10} = 0$, то $\frac{t^2}{2} = \frac{L}{a_1}$.

3) Рассмотрим движение клина (см. рис. 141). Направим ось Ox го-

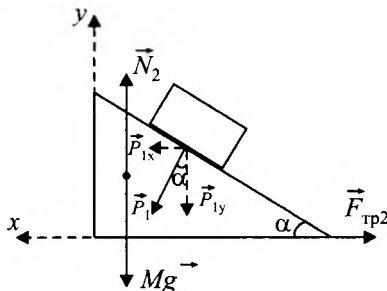


Рис. 141

ризонгально влево, ось Oy вертикально вверх. Спроектируем все силы, действующие на клин, на оси Ox и Oy и запишем соответствующие уравнения для второго закона Ньютона:

На ось Ox : $P_{1x} - F_{\text{тр}2} = Ma_2$, где $P_{1x} = N_1 \sin \alpha$ — проекция на ось Ox силы давления P_1 тележки на клин (P_1 по модулю равна в соответствии с третьим законом Ньютона N_1), $F_{\text{тр}2} = \mu_2 N_2$ — сила трения, действующая на клин, M и a_2 — масса и ускорение клина соответственно.

На ось Oy : $N_2 - P_{1y} - Mg = 0$, где N_2 — сила реакции опоры, действующая на клин, $P_{1y} = N_1 \cos \alpha$ — проекция на ось Oy силы давления P_1 тележки на клин.

Из последнего уравнения $N_2 = mg \cos^2 \alpha + Mg$, подставив в уравнение для оси Ox , получим для ускорения тележки

$$a_2 = \frac{g(m \cos \alpha \sin \alpha - \mu_2(m \cos^2 \alpha + M))}{M} =$$

$$= \frac{10 \left(2 \cdot \frac{1}{2} - 0,02 \left(2 \cdot \frac{1}{2} + 10 \right) \right)}{10} = 0,78 \text{ м/с}^2.$$

4) Путь, пройденный клином за время t , $S = v_{20}t + \frac{a_2 t^2}{2}$, и т.к. $v_{20} = 0$, то

$$S = \frac{a_2 t^2}{2} = \frac{a_2}{a_1} L = \frac{0,78}{0,31} \cdot 1,55 = 3,9 \text{ м.}$$

Ответ: 3,9 м.

88. Условие равновесия кубика ($\sum_i M_i = 0$) относительно точки 0 (см. рис. 142):

$$Na \cos \alpha - mg \frac{a}{\sqrt{2}} \cos \beta - F_{\text{тр}} a \sin \alpha = 0. \quad (1)$$

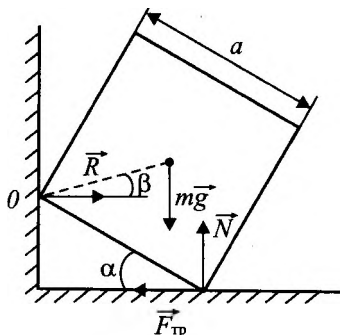


Рис. 142

Подставив в уравнение (1) $\beta = 45^\circ - \alpha$, $N = mg$, $F_{\text{тр}} = kmg$, получим

$$mga \cos \alpha - mg \frac{a}{\sqrt{2}} \cos(45^\circ - \alpha) - mgka \sin \alpha = 0. \quad (2)$$

Решая уравнение (2), находим

$$k = \frac{\sqrt{2} \cos \alpha - \cos(45^\circ - \alpha)}{\sqrt{2} \sin \alpha}.$$

Ответ: $k = \frac{\sqrt{2} \cos \alpha - \cos(45^\circ - \alpha)}{\sqrt{2} \sin \alpha}.$

89. Сумма проекций сил на направление, перпендикулярное к дну чаши, должна быть равна нулю. Проекция на это направление имеют только

сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции \vec{N} дна чаши (см. рис. 143).

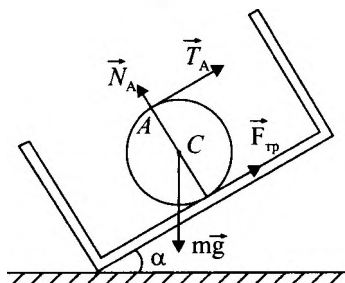


Рис. 143

Таким образом, $N = mg \cos \alpha$. Следовательно, сила трения

$$F_{\text{тр}} \leq kmg \cos \alpha. \quad (1)$$

Запишем уравнение моментов относительно оси, проходящей через точку A перпендикулярно плоскости рисунка: $2RF_{\text{тр}} - mgR \sin \alpha = 0$,

где R — радиус шара. Отсюда $F_{\text{тр}} = \frac{mg \sin \alpha}{2}$. Учитывая неравенство (1), получим при равновесии

$$kmg \cos \alpha \geq mg \sin \alpha / 2.$$

Следовательно, максимальный угол α определяется из условия

$$\text{tg } \alpha = 2k = 1,$$

откуда $\alpha = 45^\circ$.

Ответ: $\alpha = 45^\circ$.

90. Положение центра массы системы (см. рис. 144) за счёт действия внутренних сил не должно изменяться.

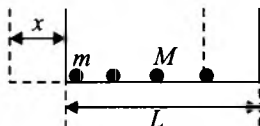


Рис. 144

$$X_c = \frac{\frac{1}{2}M}{M + m}.$$

$$X'_c = \frac{M\left(\frac{L}{2} - x\right) + m(L - x)}{M + m}, \quad \frac{M}{m} = 2.$$

$$X = \frac{mL}{M+m} = \frac{L}{\frac{M}{m}+1} = \frac{L}{3} = 2 \text{ м.}$$

Ответ: 2 м.

93. В верхней точке траектории у тела остаётся только горизонтальная компонента скорости $v_2 = v_0 \cos \alpha$. Из закона сохранения импульса $mv_0 \cos \alpha = \frac{m}{2}2v_0 \cos \alpha + \frac{m}{2}v'$. Здесь v' — скорость второй половины тела. Как видно из записанного уравнения, вторая половина останавливается в точке разрыва, а затем падает вертикально вниз.

Ответ: $v' = 0$.

94. Сохранение импульса по горизонтали

$$m_1 v_1 = m_2 v_2.$$

$$v_2 = \frac{m_1 v_1}{m_2} = \frac{5 \cdot 1}{2} = 2,5 \text{ м/с.}$$

Сохранение энергии

$$m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 + m_1 v_3^2.$$

Отсюда скорость шара после соударения

$$v_3 = \sqrt{\frac{m_1 v_1^2 - m_2 v_2^2}{m_1}} = \sqrt{v_1^2 - v_2^2 \frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{5^2 - 2,5^2 \frac{2}{1}} = 3,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: 3,5 м/с.

95. Перейдём в систему, связанную с центром масс шаров.

$$v_{\text{цм}} = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 2 - 1 \cdot 3}{2 + 3} = 0,2 \text{ м/с.}$$

Найдём скорости шаров в этой системе отсчёта:

$$v'_{10} = v_{10} - v_{\text{цм}} = 2 - 0,2 = 1,8 \text{ м/с,}$$

$$v'_{20} = v_{20} + v_{\text{цм}} = 1 + 0,2 = 1,2 \text{ м/с.}$$

В системе центра масс, при лобовом ударе, шары меняют свои импульс и скорость на противоположные, и для получения скоростей в лабораторной системе координат достаточно снова пересчитать скорости:

$$v'_{11} = v_{11} - v_{\text{цм}} = 1,8 - 0,2 = 1,6 \text{ м/с,}$$

$$v'_{21} = v_{21} + v_{\text{цм}} = 1,2 + 0,2 = 1,4 \text{ м/с.}$$

Ответ: 1,6 м/с; 1,4 м/с.

96. Применим к бруску и пуле (вместе они являются изолированной системой) закон сохранения импульса:

$$mv = Mv' + mu.$$

Здесь v' — скорость, которую получил брусок.

$$v' = \frac{m(v - u)}{M}.$$

Брусок приобрёл кинетическую энергию, которая по мере отклонения бруска на нити переходит в потенциальную. Применительно к бруску закон сохранения механической энергии имеет вид

$$\frac{Mv^2}{2} = Mgh.$$

Брусок поднимается на высоту

$$H = \frac{v^2}{2g} = \frac{m^2(v - u)^2}{2M^2g}.$$

Ответ: $\frac{m^2(v - u)^2}{2M^2g}$.

97. Воспользуемся законом сохранения проекции импульса на горизонтальную ось, т.к. платформа с орудием может двигаться только в горизонтальном направлении:

$$mv_0 \cos \alpha = Mv,$$

откуда $v = \frac{m}{M} v_0 \cos \alpha$.

По закону сохранения энергии

$$\frac{Mv^2}{2} = \mu MgS,$$

тогда $S = \frac{v^2}{2\mu g}$,

$$S = \frac{m^2 v_0^2 \cos^2 \alpha}{2M^2 \mu g}.$$

Считаем

$$S = \frac{20^2 \cdot 200^2 \cdot \frac{1}{2}}{2 \cdot 2^2 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10} = 1 \text{ м.}$$

Ответ: 1 м.

98. Воспользуемся законом сохранения импульса

$$mv = Mu,$$

откуда

$$u = \frac{mv}{M}.$$

Кинетическая энергия пули

$$E_{k1} = \frac{mv^2}{2},$$

ящика

$$E_{k2} = \frac{Mu^2}{2} = \frac{M}{2} \cdot \frac{m^2v^2}{M^2} = \frac{m^2v^2}{2M}.$$

Доля переданной энергии

$$\varepsilon = \frac{m^2v^2}{2M} \cdot \frac{2}{mv^2} = \frac{m}{M},$$

$$\varepsilon = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,0025.$$

Ответ: 0,0025.

99. Найдём отношение кинетических энергий спутника на этих орбитах:

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2.$$

Запишем уравнения движения спутника на орбитах с радиусами R_1 и R_2 :

$$\frac{GmM}{R_2^2} = \frac{mv_2^2}{R_2},$$

$$\frac{GmM}{R_1^2} = \frac{mv_1^2}{R_1}.$$

Отсюда следует:

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \frac{R_1}{R_2}.$$

Окончательно получим:

$$\frac{E_2}{E_1} = 1,08.$$

Ответ: 1,08.

100. Работа, затраченная на бросание ядра, равна его полной механической энергии:

$$A = \frac{mv_0^2}{2}.$$

Найдём начальную скорость ядра. Рассмотрим рисунок 145:

Зависимость проекции скорости на ось Oy от времени

$$v_y = v_{0y} + a_y t,$$

где $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$; $a_y = -g$,

тогда

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt.$$

В высшей точке траектории $v_y = 0$:

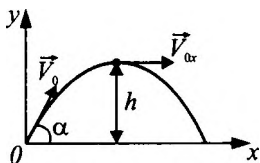


Рис. 145

$$v_0 \sin \alpha - gt = 0,$$

откуда

$$v_0 = \frac{gt}{\sin \alpha}.$$

Получаем

$$A = \frac{mg^2 t^2}{2 \sin^2 \alpha}.$$

Считаем

$$A = \frac{2 \cdot 10^2 \cdot 0,75^2}{2 \cdot 0,5^2} = 225 \text{ Дж.}$$

Ответ: 225 Дж.

101. По закону сохранения энергии $Q = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$.

Для нахождения кинетической энергии до удара запишем закон сохранения полной механической энергии:

$$mgh = \frac{mv_1^2}{2}.$$

Кинетическая энергия после удара

$$\frac{mv_2^2}{2} = \frac{m(v_1/2)^2}{2} = \frac{1}{4} \frac{mv_1^2}{2} = \frac{1}{4} mgh.$$

Тогда

$$Q = mgh - \frac{1}{4} mgh = \frac{3}{4} mgh.$$

Считаем

$$Q = \frac{3}{4} \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 3 = 2,25 \text{ Дж.}$$

Ответ: 2,25 Дж.

102. Т.к. ускорение в направлении, перпендикулярном наклонной плоскости, равно нулю, то сумма силы тяжести и нормальной реакции опоры направлена вдоль наклонной плоскости, величина реакции опоры $N = mg \cos \alpha$, $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$ (см. рис. 146). Работа всех сил, действовавших на брусок за время движения, равна нулю:

$$A = \frac{kx^2}{2} + mg \sin \alpha \cdot S - F_{\text{тр}} S = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{kx^2}{2} + mgS(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 0 \Rightarrow$$

$$x = \sqrt{\frac{2mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1 \cdot 10(0,8 \cdot 0,8 - 0,6)}{100}} = 0,02 \text{ м.}$$

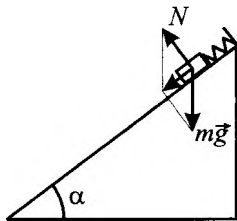


Рис. 146

Ответ: 0,02 м.

103. Т.к. в системе нигде трения нет, то выполняется закон сохранения механической энергии. За нулевой уровень потенциальной энергии в нашей системе возьмём уровень горизонтального диаметра трубы. Тогда в начальный момент движения полная механическая энергия грузиков равна нулю. В момент, когда малая масса m достигнет точки A , грузик M опустится, как видно, на четверть длины окружности ниже нулевого уровня. Т.е.

$$0 = \frac{mv^2}{2} + mgR + \frac{Mv^2}{2} - Mg\frac{\pi}{2}R, \quad (1)$$

где R — радиус трубы, v — скорость движения грузов, когда m находится в точке A . По условию груз t в этот момент перестаёт давить на опору, следовательно, его центростремительное ускорение вызвано только силой тяжести, т.е.

$$\frac{mv^2}{R} = mg. \quad (2)$$

Подставим из (1) значение квадрата скорости

$$v^2 = \frac{(\pi M - 2m)Rg}{M + m}$$

в (2) и получим: $M = \frac{3m}{\pi - 1} = 30 \text{ г.}$

Ответ: 30 г.

104. Из закона сохранения механической энергии (для консервативных систем) находим скорость мяча M перед ударом мяча m :

$$\frac{Mv_1^2}{2} = Mg(H - h) \Rightarrow v_1 = \sqrt{2g(H - h)},$$

скорость же мяча m перед ударом оказывается по модулю такой же, т.к.

$$\frac{mv_2^2}{2} = mg(H - h) \Rightarrow v_2 = \sqrt{2g(H - h)} = v_1.$$

Из закона сохранения проекции импульса на вертикальную ось y :

$$-mv_2 + Mv_1 = mv,$$

так что $v = \frac{M - m}{m}v_1$, и высота подъёма мяча m будет равна:

$$H_1 = h + \frac{v^2}{2g} = h + \left(\frac{M - m}{m}\right)^2 \cdot (H - h).$$

Отсюда

$$\frac{M - m}{m} = \left(\frac{H_1 - h}{H - h}\right)^{1/2},$$

так что

$$\frac{M}{m} = 1 + \sqrt{\frac{H_1 - h}{H - h}}.$$

При $H = 2$ м, $h = 1$ м, $H_1 = 1,25$ м $\Rightarrow \frac{M}{m} = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$.

Ответ: $\frac{3}{2}$.

105. В любой момент времени полёта тела, кроме нижней и верхней точек траектории, энергия тела состоит из суммы его кинетической и потенциальной энергии. Эта сумма энергий равна той кинетической энергии, какую тело имеет в момент броска.

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2}.$$

В момент равенства потенциальной и кинетической энергий

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

Отсюда

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{4g} = 22,5 \text{ м.}$$

Ответ: 22,5 м.

106. Направим ось Ox вертикально вверх, спроектируем на неё все силы (см. рис. 147).

Запишем 2-й закон Ньютона для верхней точки:

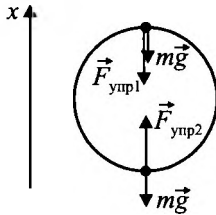


Рис. 147

$$-F_{упр1} - mg = -ma_1; \quad F_{упр1} = k\Delta x_1;$$

$$a_1 = \frac{v^2}{R_1} = \frac{\omega^2 R_1^2}{R_1} = \omega^2 R_1,$$

ω — угловая скорость, $R_1 = l + \Delta x_1$ или

$$k\Delta x_1 + mg = m\omega^2(l + \Delta x_1) \Rightarrow \Delta x_1 = \frac{m\omega^2 l - mg}{k - m\omega^2}.$$

Для нижней точки

$$F_{упр2} - mg = ma_2; \quad F_{упр2} = k\Delta x_2;$$

$$a_2 = \omega^2 R_2 = \omega^2(l + \Delta x_2)$$

или

$$k\Delta x_2 - mg = m\omega^2(l + \Delta x_2) \Rightarrow \Delta x_2 = \frac{m\omega^2 l + mg}{k - m\omega^2}.$$

$$\text{Окончательно, } \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{m\omega^2 l + mg}{m\omega^2 l - mg} = \frac{\omega^2 l + g}{\omega^2 l - g} = \frac{100 \cdot 0,2 + 10}{100 \cdot 0,2 - 10} = 3.$$

Ответ: 3.

107. По закону сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе:

$$m\vec{v} + m\vec{v} = 2m\vec{u}.$$

По теореме Пифагора:

$$(2mu)^2 = (mv)^2 + (mv)^2, \text{ откуда } u = v\sqrt{\frac{1}{2}}.$$

По закону сохранения и превращения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + Q.$$

Подставляя выражение для u , получаем:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + Q, \quad Q = \frac{mv^2}{2}.$$

Часть энергии, перешедшая в тепло:

$$\frac{Q}{\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2}} = \frac{mv^2}{2mv^2} = 0,5 = 50\%.$$

Ответ: 50%.

108. Поскольку трение отсутствует, то выполняется закон сохранения импульса:

$$mv_0 = MU_1 + \frac{mv_0}{2},$$

$$\frac{mv_0}{2} = (m + M)U_2.$$

Здесь U_1 и U_2 — скорости кубиков после столкновения с пулей. Время полёта пули с момента столкновения её с левым кубиком до момента столкновения с правым кубиком:

$$t_1 = \frac{2L}{v_0}.$$

За это время левый кубик сместится на расстояние

$$x_1 = U_1 t_1 = \frac{m}{M} L.$$

Время до столкновения кубиков:

$$t_2 = \frac{L - x_1}{U_{\text{отн}}} = \frac{2L(M^2 - m^2)}{m^2 v_0}.$$

Здесь $U_{\text{отн}} = U_1 - U_2 = \frac{m^2 v_0}{2M(m + M)}$.

Искомое время:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{2LM^2}{m^2 v_0}.$$

Ответ: $\frac{2LM^2}{m^2 v_0}$.

109. Уравнение движения спутника по орбите:

$$\frac{mv_1^2}{R + h} = \frac{GmM}{(R + h)^2},$$

где m — масса спутника, M — масса Земли. Отсюда скорость спутника

$$v_1^2 = \frac{GM}{R + h}.$$

Аналогично

$$v_2^2 = \frac{GM}{R + h - \Delta h}.$$

Окончательно получим

$$\eta = \frac{E_2 - E_1}{E_1} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{v_1^2} = \frac{\Delta h}{R + h - \Delta h} = 3,7 \cdot 10^{-3}.$$

Ответ: $3,7 \cdot 10^{-3}$.

110. Изобразим силы, действующие на тело в нижней точке (см. рис. 148).

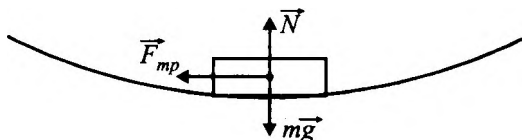


Рис. 148

Ускорение тела в нижней точке запишем в виде суммы тангенциального и нормального ускорения:

$$a^2 = a_n^2 + a_\tau^2.$$

Для этой точки можем записать уравнения движения:

$$ma_\tau = F_{\text{тр}} = \mu N,$$

$$ma_n = N - mg.$$

Далее, учтём, что $a_n = \frac{v^2}{R}$. По закону сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = mgR.$$

Окончательно имеем:

$$a = g\sqrt{9\mu^2 + 4} = 20,5 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $20,5 \text{ м/с}^2$.

111. В системе двух тел «кузнечик + соломинка» сохраняется горизонтальная проекция суммарного импульса, откуда следует, что в неподвижной системе отсчёта справедливо равенство

$$mv_0 \cos \alpha = MU,$$

где m и M — массы кузнечика и соломинки, U — скорость соломинки.

Отсюда

$$U = mv_0 \cos \alpha / M.$$

Время t_0 , которое кузнечик проводит в полёте, легко найти из уравнений кинематики для тела, подброшенного вверх со скоростью $v_0 \sin \alpha$. Элементарный расчёт даёт, что

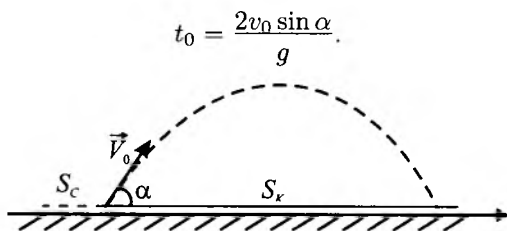


Рис. 149

За это время перемещение соломинки влево и горизонтальное перемещение кузнечика вправо примут следующие значения (см. рис. 149):

$$S_c = Ut_0 = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{m}{M} \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$S_k = v_0 t_0 \cos \alpha = \frac{2v_0^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha.$$

Для того чтобы кузнечик при приземлении попал точно на правый конец соломинки, эти величины должны быть связаны соотношением

$$S_c + S_k = l.$$

Объединяя записанные равенства и учитывая, что $\frac{m}{M} = \beta$, находим величину начальной скорости кузнечика:

$$v_0 = \sqrt{\frac{gl}{\sin 2\alpha \cdot (1 + \beta)}}.$$

Эта величина минимальна при $\sin 2\alpha = 1$, т.е. при $\alpha = 45^\circ$. Таким образом, ответ имеет следующий вид:

$$v_0 = \sqrt{\frac{gl}{1 + \beta}} = \frac{\sqrt{5}}{2} \approx 1,1 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\frac{\sqrt{5}}{2}$.

112. Согласно теореме об излучении энергии работа силы трения на пути L равна разности энергии тела в точке A и в точке B :

$$\mu Lmg \cos \alpha = \frac{mv_A^2}{2} - \left(\frac{mv_B^2}{2} - mgL \sin \alpha \right).$$

В точке B условием отрыва будет равенство нулю реакции опоры. В этом случае центростремительное ускорение в точке B равно проекции ускорения силы тяжести на радиус вращения, проведённый в точку B (см. рис. 150).

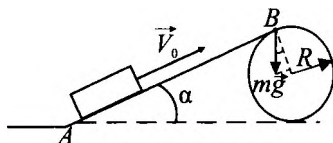


Рис. 150

$$\frac{v_B^2}{R} = g \cos \alpha \Rightarrow v^2 = gR \cos \alpha.$$

Решая совместно эти уравнения, получим:

$$R = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} - 2L(\mu + \operatorname{tg} \alpha),$$

или

$$R = \frac{4^2}{10 \cdot \cos 30^\circ} - 2 \cdot 1(0,2 + \operatorname{tg} 30^\circ) = 0,3 \text{ м.}$$

Ответ: 0,3 м.

113. Работа насоса складывается из работы по приданию откачиваемой воде скорости A_1 и работы по подъёму воды на поверхность земли A_2 .

$A_2 = \frac{mgH}{2}$, m — масса воды, её центр масс находится на глубине $\frac{H}{2}$.

$m = SH\rho$. Здесь ρ — плотность воды.

$$A_1 = \frac{mv^2}{2}; SH = v\tau \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow v = \frac{4SH}{\pi d^2 \tau}.$$

$$A_1 = \frac{SH\rho 16S^2 H^2}{2\pi^2 d^4 \tau^2} = \frac{8S^3 H^3 \rho}{\pi^2 d^4 \tau^2}.$$

$$A_2 = \frac{SH\rho g H}{2} = \frac{SH^2 \rho g}{2}.$$

Ответ: $\frac{SH^2 \rho g}{2} \left(1 + \frac{16S^2 H}{\pi^2 d^4 \tau^2 g}\right)$.

141. Поскольку проекция силы на ось X аналогична силе упругости, то уравнение движения тела представляет собой уравнение гармонических колебаний:

$$ma_x = F_x, \text{ или } mx''(t) + kx = 0.$$

Таким образом, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$, а период $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Во всех допустимых точках траектории тело побывает за время, равное половине периода,

$t = \pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Подставляя численные значения, имеем $t \approx 3,14$ с.

Ответ: 3,14 с.

149. Обозначим m_1 и μ_1 — массу и молярную массу кислорода и m_2 и μ_2 — массу и молярную массу гелия.

$$p = p_1 + p_2; \quad p_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \frac{RT}{V}; \quad p_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \frac{RT}{V}$$

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

Молярную массу смеси определим по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m_{\text{см}}}{\mu_{\text{см}}} RT = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) RT;$$

$$\mu_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} = \frac{(m_1 + m_2)\mu_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}.$$

Учитывая, что $\mu_1 = 0,032$ кг/моль, $\mu_2 = 0,004$ кг/моль, $T = 273$ К, $p = 10^5$ Па, получим

$$V = 12 \text{ м}^3, \quad \mu_{\text{см}} = 5,65 \text{ кг/моль}.$$

Ответ: 12 м³, 5,65 кг/моль.

150. Так как отсутствует теплообмен с окружающей средой, то

$$U_1 + U_2 = U$$

или

$$\frac{i}{2} \nu_1 RT_1 + \frac{i}{2} \nu_2 RT_2 = \frac{i}{2} \nu RT,$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T,$$

откуда

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}.$$

Согласно уравнению состояния идеального газа

$$p_1 V_1 = \nu_1 RT_1,$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 RT_2,$$

тогда

$$\nu_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1},$$

$$\nu_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2}.$$

Поэтому

$$T = \frac{\frac{p_1 V_1}{R} + \frac{p_2 V_2}{R}}{\frac{p_1 V_1}{RT_1} + \frac{p_2 V_2}{RT_2}}$$

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

Считаем

$$T = 300 \cdot 293 \frac{100 \cdot 44 + 90 \cdot 33}{100 \cdot 44 \cdot 293 + 90 \cdot 33 \cdot 300} = 297 \text{ K,}$$

или

$$t = 24^\circ \text{C.}$$

Ответ: 24°C .

151. Каждый газ расширяется в остальные сосуды. Парциальные давления газов из закона Бойля – Мариотта будут

$$p'_1 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2 + V_3}; p'_2 = \frac{p_2 V_2}{V_1 + V_2 + V_3}; p'_3 = \frac{p_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений.

$$\text{Ответ: } p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

152. 1) Определим массу смеси газов для первого состояния:

$$m = \rho V = 0,8 \cdot 0,3 = 0,24 = m_{\text{в}} + m_{\text{г}},$$

где $m_{\text{в}}$ и $m_{\text{г}}$ — масса водорода и гелия.

2) Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона для водорода:

$$p_{\text{в}} V = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{в}}} RT,$$

откуда $p_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{V M_{\text{в}}} RT$, т.к. $m_{\text{в}} = 0,24 - m_{\text{г}}$, то $p_{\text{в}} = \frac{0,24 - m_{\text{г}}}{V M_{\text{в}}} RT$.

3) Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона для гелия:

$$p_{\text{г}} V = \frac{m_{\text{г}}}{M_{\text{г}}} RT,$$

т.к. $p_{\text{в}} + p_{\text{г}} = p$, то $\frac{pV}{RT} = \frac{0,24 - m_{\text{г}}}{M_{\text{в}}} + \frac{m_{\text{г}}}{M_{\text{г}}}$ или

$$\frac{831 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{8,31 \cdot 300} = \frac{0,24 - m_{\text{г}}}{2 \cdot 10^{-3}} + \frac{m_{\text{г}}}{4 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow m_{\text{г}} = 0,08 \text{ кг,}$$

$$m_{\text{в}} = 0,16 \text{ кг.}$$

4) После откачки 75% молекул водорода $m'_{\text{в}} = 0,25 m_{\text{в}} = 0,04 \text{ кг}$ и новое давление

$$p' = p'_B + p_r = \frac{RT}{V} \left(\frac{m'_B}{M_B} + \frac{m_r}{M_r} \right) =$$

$$= \frac{8,31 \cdot 300}{0,3} \left(\frac{0,04}{2 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,08}{4 \cdot 10^{-3}} \right) = 332,4 \text{ кПа.}$$

Ответ: 332,4 кПа.

153. Запишем уравнение состояния газа во втором описанном случае:

$$pV = \frac{0,65m}{M} RT.$$

Отсюда

$$p = \frac{0,65mRT}{MV} = \frac{0,65 \cdot 1,5 \text{ кг} \cdot 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 323 \text{ К}}{12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 7,8 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Ответ: $7,8 \cdot 10^6$ Па.

154. Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона для левой и правой частей сосуда в этих двух случаях:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT, \quad p_2 V_1 = \frac{m_2}{M} RT,$$

$$p_1 2V = \frac{m_2}{M} R3T, \quad p_2 V_2 = \frac{m_1}{M} R3T.$$

Из этих соотношений можно найти отношение объёмов правой части:

$$\frac{V_2}{2V} = \frac{27}{22}.$$

Ответ: В $\frac{27}{22}$ раза.

155. По уравнению Менделеева – Клапейрона:

$$pV_1 = \nu_1 RT_1 \text{ — для 1-го баллона,}$$

$$pV_2 = \nu_2 RT_2 \text{ — для 2-го баллона,}$$

$$p(V_1 + V_2) = (\nu_1 + \nu_2) RT_3 \text{ — для обоих баллонов после открытия крана.}$$

Решая систему уравнений совместно, получаем:

$$T_3 = \frac{V_1 + V_2}{\frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_2}}.$$

Переводя в систему СИ $3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$, $127^\circ\text{C} = 400 \text{ К}$ и подставляя численные значения, получаем: $T_3 = 356 \text{ К}$.

Ответ: $T_3 = 356 \text{ К}$.

156. Давление воды в сосуде

$$P_B = \frac{N_B}{V} kT = \frac{N_A \cdot \frac{m_B}{M_B} kT}{V}.$$

Аналогично парциальное давление кислорода

$$P_K = \frac{N_A \cdot \frac{m_K}{M_K} kT}{V}.$$

По закону Дальтона давление в сосуде равно сумме парциальных давлений:

$$P = \frac{N_A kT}{V} \cdot \left(\frac{m_K}{M_K} + \frac{m_B}{M_B} \right) = \\ = \frac{6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 800 \text{ К}}{2 \text{ м}^3}.$$

$$\cdot \left(\frac{3,2 \text{ кг}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} + \frac{2,7 \text{ кг}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \right) = 8,3 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Ответ: $8,3 \cdot 10^5$ Па.

157. Изменение давления газа под поршнем обусловлено только пружиной. При перемещении поршня на расстояние x вверх объём увеличивается на $\Delta V = Sx$, давление увеличивается на

$$\Delta p = \frac{kx}{S} = \frac{k \cdot \Delta V}{S^2}.$$

Конечное давление $p = \alpha p_0 = 2p_0$, объём $V = \frac{\beta V_0}{\alpha} = \frac{3}{2} V_0$.

Изменение давления: $\Delta p = (\alpha - 1)p_0 = \frac{1}{2} p_0$.

$$\text{Окончательно: } p_0 = \frac{kV_0}{2S^2}, p_0 = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{k\nu RT}{2}}.$$

$$\text{Ответ: } p_0 = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{k\nu RT}{2}}.$$

158. Из условия следует, что сначала в сосуде было

$$21 \text{ г} - 12 \text{ г} = 9 \text{ г}$$

насыщенного водяного пара. Для него справедливо уравнение

$$p_n V_1 = \frac{m_1}{M} RT.$$

После испарения 12 г воды давление пара найдём из уравнения

$$7pV_1 = \frac{m_2}{M} RT.$$

Относительная влажность

$$\varphi = \frac{p}{p_H}.$$

Тогда

$$p_H = \frac{m_1}{MV_1} RT.$$

$$7p = \frac{\Delta m}{MV_1} RT.$$

После подстановки получим относительную влажность $\varphi = 33,3\%$.

Ответ: 33,3%.

159. Плотность смеси газов

$$\rho = n_1 \frac{\mu_1}{N_A} + n_2 \frac{\mu_2}{N_A}.$$

Отсюда

$$\rho N_A = n_1 \mu_1 + n_2 \mu_2.$$

Давление смеси газов, согласно закону Дальтона, равно сумме парциальных давлений p_1 и p_2 , а концентрация молекул смеси газов равна сумме концентраций компонентов n_1 и n_2 .

$$\begin{cases} p_1 = n_1 kT, \\ p_2 = n_2 kT \end{cases}$$

$$p = p_1 + p_2 = (n_1 + n_2)kT; \quad n = n_1 + n_2 = \frac{p_1 + p_2}{kT};$$

$$n_2 = \frac{p_1 + p_2}{kT} - n_1; \quad \rho N_A = n_1 \mu_1 + \left(\frac{p_1 + p_2}{kT} - n_1 \right) \mu_2;$$

$$\rho N_A = n_1 \mu_1 + \frac{p_1 + p_2}{kT} \mu_2 - n_1 \mu_2;$$

$$\rho N_A - \frac{p}{kT} \mu_2 = n_1 (\mu_1 - \mu_2);$$

$$n_1 = \frac{\rho N_A - \frac{p}{kT} \mu_2}{\mu_1 - \mu_2} = 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: $5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

160. Давление p влажного воздуха складывается из давлений воздуха и водяного пара: $p = p_v + p_H$. В закрытом сосуде давление воздуха пропор-

ционально температуре, т.е. $p_v = p_0 \frac{T}{T_0}$. Предположим, что введённая вода вся испарилась. Найдём, считая пар идеальным газом, давление паров воды при температуре T : $p_n = \frac{mRT}{\mu V}$. Для проверки правильности предположения нужно рассчитать p_n и сравнить полученное значение с давлением насыщенного пара при этой же температуре T . В нашем случае $p_n = \frac{(3 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 373)}{18 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}} = 5,1 \cdot 10^4$ Па, что меньше $p_{\text{нас}} = p_0 = 10^5$ Па.

Таким образом, пар не насыщен и давление влажного воздуха

$$p = p_0 \frac{T}{T_0} + p_n; \quad p = \left(10^5 \cdot \frac{373}{273} + 5,1 \cdot 10^4 \right) = 1,88 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ: $1,88 \cdot 10^5$ Па.

161. Из уравнения Менделеева – Клапейрона следует:

$$p_1 V = \frac{m_{\text{N}_2} RT}{\mu_{\text{N}_2}},$$

$$p_2 V = \frac{m_{\text{H}_2} RT}{\mu_{\text{H}_2}}.$$

По закону Дальтона

$$p = p_1 + p_2.$$

Окончательно:

$$m_{\text{H}_2} = \mu_{\text{H}_2} \left(\frac{pV}{RT} - \frac{m_{\text{N}_2}}{\mu_{\text{N}_2}} \right) = 9 \text{ г.}$$

Ответ: 9 г.

181. Процесс 1–2 — изотермический, $T_1 = T_2$.

Процесс 2–3 — изохорический, следовательно, работа не совершается и всё отводимое тепло происходит за счёт уменьшения внутренней энергии газа, т.е. $Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$. Найдём изменение температуры в изохорическом процессе 2–3.

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \frac{1}{3}, \quad T_3 = \frac{T_2}{3} = 100 \text{ К.}$$

Окончательно имеем:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = 2,5 \text{ кДж.}$$

Ответ: 2,5 кДж.

182. Сделаем рисунок 151.

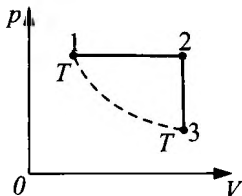


Рис. 151

а) Так как $\Delta T_{13} = 0$, то изменение внутренней энергии $\Delta U = 0$.

б) $A = A_1 + A_2$, так как на участке 2–3 $\Delta V = 0$, то $A_2 = 0$.

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right) = pV_1(\eta - 1) = \nu RT(\eta - 1).$$

в) Так как $\Delta U = 0$ $Q = \nu RT(\eta - 1)$.

Ответ: а) 0; б) $\nu RT(\eta - 1)$; в) $\nu RT(\eta - 1)$.

183. На участке 1–2 давление пропорционально температуре, объём не меняется и работа на этом участке равна нулю.

На участке 2–3 происходит изобарическое нагревание. $A = p(V_3 - V_2)$.

В соответствии с уравнением Менделеева – Клапейрона $pV = RT$,

$$A = pV_3 - pV_2 = \nu RT_3 - \nu RT_2 = 8,31 \cdot (200 - 100) = 831 \text{ Дж.}$$

Ответ: 831 Дж.

184. Сделаем рисунок 152.

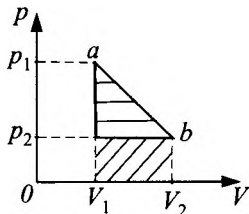


Рис. 152

При перемещении поршня объём изменился на $V_2 - V_1 = Sl$. Работа пара может быть рассчитана как площадь под графиком:

$$A = \frac{(p_1 - p_2)Sl}{2} + p_2Sl = \frac{p_1Sl - p_2Sl + 2p_2Sl}{2} = \frac{(p_1 + p_2)Sl}{2} = 14,4 \text{ кДж.}$$

Ответ: 14,4 кДж.

185. Работа газа за цикл численно равна площади фигуры, ограниченной циклом, в данном случае площади треугольника:

$$A = 0,5p \cdot 2V = pV = 700 \text{ Дж.}$$

Количество теплоты газ получит, когда его давление или объём увеличатся. По первому закону термодинамики:

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

В изохорном процессе:

$$Q = \Delta U = 1,5\nu R\Delta T = 1,5pV.$$

В изобарном процессе:

$$Q = 2,5A = 2,5\nu R\Delta T = 2,5 \cdot 2p \cdot 2V = 10pV.$$

Общее количество теплоты:

$$Q = 1,5pV + 10pV = 11,5pV = 8050 \text{ Дж.}$$

Ответ: 8050 Дж.

$$186. Q_{12} = \Delta_{12}U + A_{12}, \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1).$$

$$A_{12} = \nu R(T_2 - T_1), \quad Q_{12} = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1).$$

Применим закон Шарля для участка 2–3:

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}, \quad T_2 = 3T_1.$$

$$Q_{12} = 5\nu RT_1, \quad Q_{12} = 12,5 \text{ кДж.}$$

Ответ: 12,5 кДж.

187. Здесь работу совершают внешние силы. Таким образом, при адиабатном процессе:

$$A_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1),$$

$$A_{23} = -\nu R(T_3 - T_2).$$

$$\text{Вся работа: } A_{123} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) - \nu R(T_3 - T_2).$$

При этом $T_3 = T_1$ и работа:

$$A_{123} = \frac{3}{2}\nu RT_2 - \frac{3}{2}\nu T_1 - \nu RT_3 + \nu RT_2 = 5 \text{ кДж.}$$

$$A_{23} = \nu R(T_2 - T_1) = 2 \text{ кДж.}$$

Ответ: 2 кДж.

188. Количество теплоты, полученное газом на изобаре от нагревателя

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \text{ где } \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12} \text{ и } A_{12} = p\Delta V = \nu R\Delta T_{12}.$$

$$\text{Получим } Q_{12} = \frac{5}{2}\nu R\Delta T_{12} = \frac{5}{2}A_{12}.$$

Для адиабатного процесса 1–3 $A_{13} = -\Delta U_{13} = |U_3 - U_1|$. Тогда

$$x = \frac{Q_{12}}{|U_3 - U_1|} = \frac{\frac{5}{2}A_{12}}{A_{13}} = \frac{5}{2} \cdot \frac{A_{12}}{A_{13}} = \frac{5}{2} \cdot k = 5.$$

Ответ: $x = \frac{Q_{12}}{|U_3 - U_1|} = 5.$

189. 1) Запишем первый закон термодинамики: $Q = \Delta U + A'$. Для изменения внутренней энергии можно записать

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_1V_1) = \frac{3}{2}p_1(V_3 - V_1) = \\ &= \frac{3}{2} \cdot 10^5 \text{Па} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{м}^3 = 750 \text{Дж}. \end{aligned}$$

Работа A' равна площади под графиком функции $p(V)$:

$$A' = 1 \cdot 10^5 \text{Па} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{м}^3 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 \text{Па} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{м}^3 = 1250 \text{Дж}.$$

Окончательно имеем $Q = 2 \text{кДж}$.

Ответ: 2 кДж.

190. По первому закону термодинамики найдём количество теплоты Q_{23} , которое сообщили телу:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}.$$

Можем записать:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2).$$

По условию задачи $T_3 = T_1 = 300 \text{К}$. Найдём температуру T_2 из условия изохорности процесса 1–2:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2},$$

отсюда следует:

$$T_2 = \frac{T_1 \cdot p_2}{p_1} = \frac{300}{3} = 100 \text{К}.$$

Работу на участке 2–3 можно рассчитать по формуле

$$A_{23} = p_2(V_3 - V_2) = p_2V_3 - p_2V_2.$$

Из уравнения Менделеева – Клапейрона следует:

$$p_2V_3 = \nu RT_3,$$

$$p_2V_2 = \nu RT_2.$$

Таким образом,

$$A_{23} = \nu RT_3 - \nu RT_2 = \nu R(T_3 - T_2).$$

Окончательно можем записать:

$$Q_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) + \nu R(T_3 - T_2) = 41,55 \text{ кДж.}$$

Ответ: 41,55 кДж.

191. Запишем формулу I начала термодинамики:

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

Работа газа в изобарном процессе

$$A = p\Delta V.$$

Приращение внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T,$$

учтём, что $p\Delta V = \nu R\Delta T$, тогда

$$\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V.$$

Получаем

$$Q = p\Delta V + \frac{3}{2}p\Delta V = \frac{5}{2}p\Delta V.$$

Искомое отношение

$$\frac{A}{Q} = \frac{p\Delta V}{5/2p\Delta V} = \frac{2}{5} = 0,4, \text{ или } \frac{A}{Q} = 40\%.$$

Ответ: 40%.

192. По определению КПД

$$\eta = A/Q.$$

Работа газа за цикл численно равна площади фигуры, ограниченной циклом, в данном случае площади треугольника:

$$A = 0,5 \cdot 3p_0V_0 = 1,5p_0V_0.$$

Количество теплоты газ получает, когда его давление или объём увеличиваются. По первому закону термодинамики

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

В изохорном процессе

$$Q = \Delta U = 1,5\nu R\Delta T = 1,5 \cdot 3p_0V_0 = 4,5p_0V_0.$$

В изобарном процессе

$$Q = 2,5A = 2,5\nu R\Delta T = 2,5 \cdot 4p_0V_0 = 10p_0V_0.$$

Общее количество теплоты

$$Q = 4,5p_0V_0 + 10p_0V_0 = 14,5p_0V_0.$$

Подставляя в формулу КПД значения A и Q , получаем:

$$\eta = 0,1.$$

Ответ: 0,1.

193. На участке 2 – 3 происходит изохорный процесс, следовательно, работа на этом участке равна нулю. На участке 1 – 2 работа равна площади под соответствующим графиком (эта фигура — трапеция).

Общее количество теплоты из первого закона термодинамики определится следующим образом:

$$Q = \Delta U + A, \quad Q = Q_{12} + Q_{23}, \\ Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad Q_{23} = \Delta U_{23}.$$

Изменение внутренней энергии не зависит от формы пути, а зависит только от начального и конечного состояния, следовательно:

$$Q = \Delta U_{13} + A_{12}.$$

$$\text{Тогда } \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1).$$

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона, получим: $T = \frac{pV}{\nu R}$.

Найдём теперь изменение внутренней энергии: $\Delta U_{13} = 300$ Дж. Окончательно получим: $A_{13} = 400$ Дж и $Q = 700$ Дж.

Ответ: 700 Дж.

194. При нагревании газ перемещает поршень, совершая изобарное расширение. Используя для молярной теплоёмкости одноатомного идеального газа при постоянном давлении известное выражение

$$C_p = \frac{5}{2} R,$$

находим, что количество теплоты, сообщённое газу,

$$Q = \frac{5}{2} \nu R \Delta T,$$

где ν — число молей газа, ΔT — изменение его температуры.

Из уравнения Менделеева – Клапейрона для изобарного процесса следует, что

$$p \Delta V = \nu R \cdot \Delta T.$$

Тогда можно записать:

$$Q = \frac{5}{2} p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} p \cdot S \cdot l.$$

Здесь давление газа на поршень

$$p = p_0 + \frac{mg \sin \alpha}{S}.$$

Окончательный расчёт даёт $Q = 73,3$ Дж.

Ответ: 73,3 Дж.

195. Энергия системы в начальном состоянии (внутренняя энергия газа) $U = \frac{3}{2}\nu RT_0 = \frac{3}{2}p_0V_0$. В конечном состоянии, после того, как каждый поршень сдвинется на расстояние L , газ расширится до объёма $V = V_0 + 2LS$, его давление p находим из условия, что $pS = F$ (поршни находятся в покое), так что изменение энергии системы равно работе сил трения при движении поршней:

$$\frac{3}{2}(p_0V_0 - pV) = 2F \cdot L.$$

Подставляя выражения для V и p , получаем:

$$p_0V_0 - \frac{F}{S}(V_0 + 2SL) = \frac{4}{3}FL,$$

так что

$$L = \frac{3}{10F} \left(p_0V_0 - \frac{FV_0}{S} \right).$$

Ответ: $L = \frac{3}{10F} \left(p_0V_0 - \frac{FV_0}{S} \right).$

196. Согласно I закону термодинамики

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

где $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$.

Запишем уравнение состояния идеального газа для начального и конечного состояний:

$$\begin{aligned} p_1V_1 &= \nu RT_1, \\ p_2V_2 &= \nu RT_2, \end{aligned}$$

тогда

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1).$$

Работу, совершённую газом, можно найти как площадь под графиком процесса в координатах (V, p) . Сделаем рисунок 153.

Работа газа

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1).$$

Получаем

$$Q = \frac{3}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 + \frac{1}{2}p_1V_2 - \frac{1}{2}p_1V_1 + \frac{1}{2}p_2V_2 - \frac{1}{2}p_2V_1,$$

$$Q = 2(p_2V_2 - p_1V_1) + \frac{1}{2}(p_1V_2 - p_2V_1).$$

Считаем

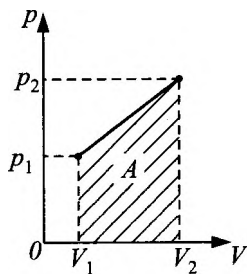


Рис. 153

$$Q = 2(0,5 \cdot 10^6 \cdot 5 - 0,2 \cdot 10^6 \cdot 2) + \frac{1}{2}(0,2 \cdot 10^6 \cdot 5 - 0,5 \cdot 10^6 \cdot 2) = 4,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 4,2 \text{ МДж.}$$

Ответ: 4,2 МДж.

197. Сделаем рисунок 154.

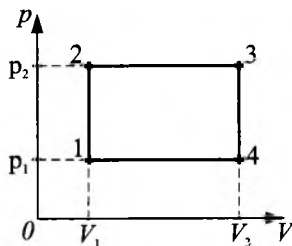


Рис. 154

КПД цикла определяется выражением

$$\eta = \frac{A}{Q},$$

где работа численно равна площади, ограниченной графиком цикла

$$A = (p_2 - p_1)(V_3 - V_1),$$

$$A = (3p_1 - p_1)(2V_1 - V_1) = 2p_1 V_1.$$

Найдём затраченное количество теплоты Q . Для этого определим, в каких процессах газ получал тепло, а в каких — отдавал.

1–2 — изохорное нагревание,

2–3 — изобарное нагревание,

3–4 — изохорное охлаждение,

4–1 — изобарное охлаждение.

Следовательно,

$$Q = Q_{12} + Q_{23}.$$

Согласно I закону термодинамики

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1),$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_2 (V_3 - V_1),$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + 3p_1 V_1.$$

Запишем уравнение Менделеева – Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1,$$

$$p_2 V_1 = \nu R T_2 \Rightarrow 3p_1 V_1 = \nu R T_2,$$

$$p_2 V_3 = \nu R T_3 \Rightarrow 6p_1 V_1 = \nu R T_3.$$

Тогда

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (3p_1 V_1 - p_1 V_1) = 3p_1 V_1,$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} (6p_1 V_1 - 3p_1 V_1) + 3p_1 V_1 = \frac{15}{2} p_1 V_1.$$

Получим

$$\eta = \frac{2p_1 V_1}{3p_1 V_1 + \frac{15}{2} p_1 V_1} = \frac{2}{3 + \frac{15}{2}} = 0,19,$$

или

$$\eta = 19\%.$$

Ответ: $\eta = 19\%$.

198. Работа над газом при переходе из состояния 2 в состояние 3 на pV -диаграмме равна площади трапеции ($V_0 - 3 - 2 - 3V_0$):

$$A_{23} = \frac{p_0 + 2p_0}{2} \cdot 2V_0 = 3p_0 V_0. \quad (1)$$

Количество теплоты, полученное от нагревателя, —

$$Q_H = Q_{31} + Q_{12}. \quad (2)$$

Процесс $3 \rightarrow 1$ изохорный, следовательно, учтём, что газ одноатомный,

$$Q_{31} = \Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}. \quad (3)$$

Процесс $1 \rightarrow 2$ изобарный, следовательно,

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad (4)$$

где $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$ и $A_{12} = \nu R \Delta T_{12}$.

Подставив эти выражения в формулу (4), получим: $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{12}$.

Для нахождения температур запишем уравнение Менделеева — Клапейрона для каждой точки цикла:

$$\text{точка 3} \quad \nu RT_3 = p_0 V_0;$$

$$\text{точка 1} \quad \nu RT_1 = 2p_0 V_0;$$

$$\text{точка 2} \quad \nu RT_2 = 6p_0 V_0.$$

Откуда легко получить: $T_1 = 2T_3$, $T_2 = 6T_3$, тогда $\Delta T_{31} = T_3$, а $\Delta T_{12} = 4T_3$. Подставив эти значения в (3) и (5), а затем в (2), получим

$$Q_H = \frac{23}{2} p_0 V_0 = 8 \text{ кДж},$$

решая совместно с (1), получим $A_{23} = 2,1 \text{ кДж}$.

Ответ: $A_{23} = 2,1 \text{ кДж}$.

199. Законы сохранения энергии и импульса для системы «газ + поршни» имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \\ m_1 v_1 = m_2 v_2; \end{cases}$$

здесь $\frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} \nu RT_0 = U_0$ — внутренняя энергия газа. Отсюда кинетические энергии поршней

$$T_1 = \frac{3}{2} p_0 V_0 \frac{m_2}{m_1 + m_2};$$

$$T_2 = \frac{3}{2} p_0 V_0 \frac{m_1}{m_1 + m_2},$$

т.е. $T_2 > T_1$, поэтому условие невылетания поршня из трубы означает $L \leq \frac{l}{2}$, где L находится из условия $T_2 = FL$, т.е. $\frac{l}{2} \geq \frac{3}{2} \frac{p_0 V_0 m_1}{(m_1 + m_2)F}$,

$$\text{или } F \geq \frac{3p_0 V_0 m_1}{(m_1 + m_2)l}.$$

$$\text{Ответ: } F \geq \frac{3p_0 V_0 m_1}{(m_1 + m_2)l}.$$

200. По первому закону термодинамики $Q = \Delta U + A$. Можем записать

$$\Delta U = \frac{3}{2} R \cdot \Delta T.$$

При $p = \text{const}$ газ совершает работу против внешних сил

$$A = p \cdot \Delta V = P \cdot S \cdot \Delta x,$$

где Δx — перемещение поршня.

Давление газа под поршнем

$$p = p_0 + \frac{Mg}{S}.$$

Из уравнения Менделеева–Клапейрона следует $p \cdot \Delta V = R \cdot \Delta T$. Тогда далее

$$Q = \frac{5}{2}p \cdot \Delta V = \frac{5}{2}p \cdot S \cdot \Delta x.$$

За время Δt нагреватель передаёт газу количество теплоты $Q = q \cdot \Delta t$. Окончательно получим

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2q}{5(p_0 S + Mg)}.$$

Ответ: $\frac{2q}{5(p_0 S + Mg)}$.

232. Лёд надо нагреть до температуры плавления, расплавить, воду нагреть до кипения и превратить в пар.

$$\begin{aligned} Q &= c_n(0^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C})m + m\lambda + mc_B(100^\circ\text{C} + 0^\circ\text{C}) + rm = \\ &= 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 50\text{К} \cdot 2\text{кг} + 2\text{кг} \cdot 332 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг} + \\ &+ 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 100\text{К} \cdot 2\text{кг} + 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot 2\text{кг} = 6,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Ответ: 6,3 МДж.

233. Теплота, выделившаяся при охлаждении воды:

$$Q = cM(t_1 - t_2).$$

Теплота, затраченная на испарение воды:

$$Q = rm \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{Q}{r} = \frac{cM(t_1 - t_2)}{r} = \frac{4200 \cdot 0,23(20 - 10)}{2,3 \cdot 10^6} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Ответ: 4,2 г.

234. В двигателе газ получает кинетическую энергию за счёт изменения внутренней энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = cm(T_2 - T_1).$$

Отсюда получаем:

$$T_2 = T_1 - \frac{v^2}{2c} = 1400 \text{ К}.$$

Ответ: 1400 К.

235. Запишем уравнение теплового баланса:

$$m_2 c_{\text{ж}}(t_2 - t_3) = (m_1 - m_{\text{п}})c_{\text{в}}(t_3 - t_1) + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(100^\circ\text{C} - t_1) + m_{\text{п}}r.$$

Отсюда:

$$m_{\text{п}} = \frac{m_2 c_{\text{ж}}(t_2 - t - 3) - m_1 c_{\text{в}}(t - 3 - t_1)}{c_{\text{в}}(100^\circ\text{C} - t_1) + r - c_{\text{в}}(t_3 - t_1)} = 168 \text{ г.}$$

Ответ: 168 г.

236. Теплота испарения воды

$$Q = rm.$$

Объём водяного пара массой m

$$V = \frac{m RT}{\mu p}.$$

Работа газа

$$A = pV = \frac{m RT}{\mu p} \cdot p = \frac{m RT}{\mu},$$

$$\frac{A}{Q} = \frac{m}{mr\mu} RT = \frac{RT}{r\mu} = \frac{8,31 \cdot 373}{2,3 \cdot 10^6 \cdot 0,018} = 0,07.$$

Ответ: 0,07.

237. Время, за которое автомобиль расходует 8 л бензина,

$$t = \frac{S}{v},$$

а количество теплоты, выделяющееся при сгорании бензина за это время,

$$Q = mq,$$

$$Q = \rho Vq.$$

КПД двигателя

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

тогда работа, совершаемая двигателем,

$$A = \eta Q = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \rho Vq,$$

а мощность, развиваемая двигателем,

$$N = \frac{A}{t} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \frac{\rho Vqv}{S}.$$

Считаем

$$N = \left(1 - \frac{373}{1173}\right) \frac{700 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 44 \cdot 10^6 \cdot \frac{60 \cdot 10^3}{3600}}{100 \cdot 10^3} = 28 \text{ кВт.}$$

Ответ: 28 кВт.

238. Из графика видно, что первые $\Delta\tau_1 = 50$ мин температура смеси оставалась равной 0°C : таял лёд, и на это шла вся подводимая к сме-

си теплота. Далее за $\Delta\tau_2 = 10$ мин температура воды поднялась на $\Delta\tau = 2^\circ$. Эти данные позволяют выразить скорость подвода теплоты $Q' = c_{\text{в}}m\Delta t\Delta\tau_2$ и количество теплоты, израсходованное на плавление льда,

$$Q = Q' \Delta\tau_1 = c_{\text{в}}m\Delta t\Delta\tau_1\Delta\tau_2.$$

Поскольку $Q = m_{\text{л}}\lambda$, то

$$m_{\text{л}} = \frac{c_{\text{в}}m\Delta t\Delta\tau_1}{\lambda\Delta\tau_2};$$

$$m_{\text{л}} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 50}{340 \cdot 10^3 \cdot 10} = 1,23 \text{ кг.}$$

Ответ: 1,23 кг.

243. Объем получившейся капли ртути

$$V = 2V_1,$$

или

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = 2 \cdot \frac{4}{3}\pi r_1^3,$$

откуда

$$r = \sqrt[3]{2}r_1.$$

Потенциалы капель до и после слияния

$$\varphi_1 = k\frac{q_1}{r_1},$$

$$\varphi = k\frac{q}{r} = k\frac{2q_1}{\sqrt[3]{2}r_1} = \sqrt[3]{4}\varphi_1.$$

Считаем

$$\varphi = \sqrt[3]{4} \cdot 10 \approx 16 \text{ В.}$$

Ответ: 16 В.

244. По закону сохранения энергии потенциальная энергия шарика в поле силы тяжести и в электростатическом поле превращается в кинетическую:

$$mgh + qEd = \frac{mv^2}{2}, \quad v = \sqrt{\frac{2(mgh + qEd)}{m}}.$$

Переводя в систему СИ $80 \text{ см} = 0,8 \text{ м}$, $50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$, $4 \text{ кВ/м} = 4000 \text{ В/м}$, $20 \text{ мкКл} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$ и подставляя численные значения, получаем:

$$v = 18,6 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 18,6 \text{ м/с}$.

245. По правилу равновесия

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0.$$

Равнодействующая сила, действующая на каждый заряд со стороны нитей, будет равна векторной сумме кулоновских сил. По теореме косинусов

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha,$$

$$F_1 = F_2 = \frac{kq^2}{R^2}.$$

Переводя в систему СИ $8 \text{ нКл} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$, $4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$, учитывая, что в равностороннем треугольнике углы равны 60° , и проводя численные расчёты, получаем:

$$F = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

Ответ: $6,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

246. Закон сохранения энергии при движении шарика имеет вид

$$mgR + W_A = \frac{mv_B^2}{2} + W_B, \quad (1)$$

где v_B — скорость движения шарика в точке B ; W_B — потенциальная энергия взаимодействия зарядов, когда q находится в точке B .

Запишем уравнение второго закона Ньютона, определяющее движение шарика в точке B :

$$F - mg = \frac{mv_B^2}{R}. \quad (2)$$

Выражая mv_B^2 из уравнения (2) и подставляя в (1), после преобразований окончательно находим

$$W_B = 0,5(3mg - F)R + W_A,$$

$$W_B = 0,5(3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 - 0,1)0,1 - 2 \cdot 10^{-3} = -4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ответ: $-4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$.

247. Заряд q_0 всегда будет в равновесии. Исследуем равновесие любого из четырёх угловых зарядов (см. рис. 155). Найдём сумму проекций сил на одну из диагоналей квадрата:

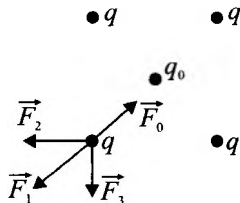


Рис. 155

$$F_1 = k \frac{q^2}{2a^2}; \quad F_2 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2}; \quad F_0 = 2k \frac{q \cdot q_0}{a^2}.$$

$$k \frac{q^2}{2a^2} + 2k \frac{q^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2k \frac{qq_0}{a^2} \rightarrow q_0 = q \frac{0,5 + \sqrt{2}}{2} = -0,96 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

Этот заряд должен быть отрицательным.

Ответ: $-0,96 \cdot 10^{-6}$ Кл.

248. В положении равновесия на неподвижный шарик действуют сила тяжести, сила натяжения нити и электрическая сила (см. рис. 156).

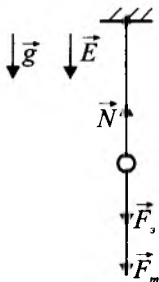


Рис. 156

Запишем условие равновесия шарика:

$$N = mg + qE.$$

Период колебаний такого шарика:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cdot m}{N}}.$$

При отсутствии электрического поля эта формула переходит в следующую:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Из условия $T = \frac{t}{n}$, где n — число колебаний, следует

$$\frac{t}{n} = 2\pi \sqrt{\frac{lm}{mg + qE}}.$$

Отсюда

$$l = \frac{t^2(mg + qE)}{4\pi^2 n^2 m} = 0,5 \text{ м.}$$

Ответ: 0,5 м.

249. Потенциал точки A (см. рис. 157) будет складываться из потенциала, созданного в точке A верхним кольцом с зарядом $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$, и потен-

циала, создаваемого зарядом $-q$ на нижнем кольце $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}}$.

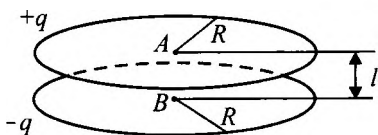


Рис. 157

Тогда

$$\varphi_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{R} - \frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}} \right),$$

$$\varphi_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}} - \frac{q}{R} \right),$$

$$\varphi_A - \varphi_B = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{R}\right)^2}} \right).$$

Ответ: $\varphi_A - \varphi_B = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{R}\right)^2}} \right).$

250. Потенциал кольца в месте первоначального расположения шарика

$$\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\pi R\gamma}{\sqrt{R^2 + l^2}},$$

а минимальный потенциал вдали от кольца $\varphi_2 = 0$. Если шарик отпустить, он улетает от кольца и его потенциальная энергия переходит в кинетическую:

$$q \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\pi R\gamma}{\sqrt{R^2 + l^2}} = E_k,$$

$$E_k = \frac{qR\gamma}{2\epsilon_0\sqrt{R^2 + l^2}}.$$

Ответ: $\frac{qR\gamma}{2\epsilon_0\sqrt{R^2 + l^2}}.$

251. Скорость электронов после ускорения определяем из уравнения сохранения энергии $v_0 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, где e , m — заряд и масса электрона. В электрическом поле пластин на электрон действует вдоль оси Oy

(см. рис. 158) сила $F_y = eE = \frac{eU_{\text{п}}}{d}$. В результате электрон приобретает в этом направлении ускорение $a_y = \frac{eU_{\text{п}}}{md}$. Время пролёта электроном пластин $t = \frac{l}{v_0}$. За это время он приобретает в направлении оси Oy скорость

$$v_y = a_y t = \frac{eU_{\text{п}}l}{mdv_0}$$

и отклоняется от оси Ox на расстояние

$$h_1 = \frac{a_y t^2}{2} = \frac{U_{\text{п}}l^2}{4dU}.$$

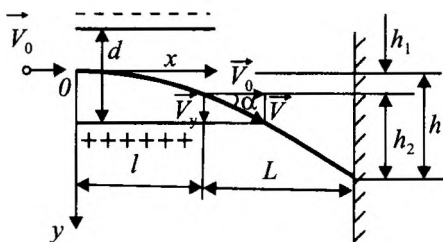


Рис. 158

За пластинами электрон летит по прямой линии под углом α к оси Ox .

Угол отклонения α определяется по формуле $\text{tg } \alpha = \frac{v_y}{v_0}$. Перемещение

электрона по оси Oy при движении за пластинами $h_2 = L \text{tg } \alpha = \frac{LU_{\text{п}}l}{2dU}$.

Тогда смещение луча на экране $h = h_1 + h_2$, или

$$h = \frac{U_{\text{п}}l}{4dU}(l + 2L).$$

Ответ: $\frac{U_{\text{п}}l}{4dU}(l + 2L)$.

252. Конденсатор с двухслойным диэлектриком можно представить как два последовательно соединённых конденсатора, внутри которых находится только один вид диэлектрика. Тогда

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2},$$

где $C_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1}$ и $C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d - d_1}$, получаем

$$C = \frac{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1} \cdot \frac{\varepsilon_0 S}{d - d_1}}{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1} + \frac{\varepsilon_0 S}{d - d_1}},$$

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_1(d - d_1)\left(\frac{\varepsilon}{d_1} + \frac{1}{d - d_1}\right)} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\varepsilon(d - d_1) + d_1}.$$

Считаем

$$C = \frac{7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 15 \cdot 10^{-4}}{(7 \cdot 1,3 + 0,7) \cdot 10^{-3}} = 9,5 \text{ пФ}.$$

Ответ: 9,5 пФ.

253. Сделаем рисунок 159. Расставим силы, действующие на шарики, и выберем ось координат, как показано на рисунке.

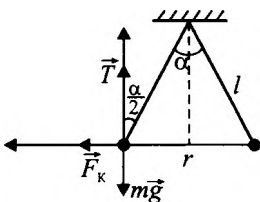


Рис. 159

Запишем для шарика второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy :

$$Ox: F_k = T \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$Oy: mg = T \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Исключим из уравнений силу натяжения нити

$$F_k = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

По закону Кулона

$$F_k = k \frac{q^2}{r^2},$$

где $r = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$.

Тогда

$$k \frac{q^2}{4l^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

откуда

$$m = k \frac{q^2}{4l^2 g \sin^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

$$m = 9 \cdot 10^9 \frac{9 \cdot 10^{-14}}{4 \cdot 9 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \sin^2 15^\circ \operatorname{tg} 15^\circ} = 125 \cdot 10^{-4} \text{ кг} = 12,5 \text{ г}.$$

Ответ: 12,5 г.

254. Сделаем рисунок 160:

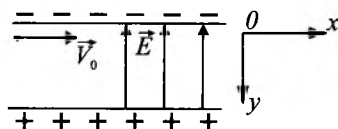


Рис. 160

Выберем систему координат, как показано на рисунке. Движение вдоль оси Ox происходит с неизменной скоростью v_0 , тогда время движения электрона в конденсаторе

$$t = \frac{l}{v_0}.$$

Вдоль оси Oy на электрон действует сила со стороны электрического поля конденсатора $F_y = eE$, сообщая электрону ускорение

$$a_y = \frac{F_y}{m} = \frac{eE}{m}.$$

Вдоль оси Oy действует также сила тяжести, но $mg \ll eE$ и ей можно пренебречь. Тогда

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где $y_0 = 0$, $v_{0y} = 0$, получаем

$$y = \frac{eEt^2}{2m} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l^2}{2v_0^2}.$$

Считаем

$$y = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 900 \cdot 10^{12}} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,4 \text{ мм}.$$

Ответ: 3,4 мм.

255. 1) Вначале движение капли равномерно, т.е. равнодействующая всех сил, действующих на каплю, равна нулю. И т.к. на каплю в этом случае действует 2 силы: сила тяжести $F_T = mg$, направленная вертикально вниз, и сила сопротивления воздуха $F = 0,1 \cdot S \cdot v^2$, направленная вертикально вверх, то можно записать условие движения без ускорения:

$mg = 0,1 \cdot S \cdot v^2$. Учитывая, что $m = \rho V = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ и $S = \pi R^2$, последнее уравнение запишем в виде

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho g = 0,1 \cdot \pi R^2 \cdot v^2,$$

откуда для R имеем:

$$R = \frac{0,1 \cdot 3 \cdot v^2}{4 \rho g} = \frac{0,1 \cdot 3 \cdot 100}{4 \cdot 1000 \cdot 10} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

2) После того как капля потеряла 1000 электронов, она получила избыточный положительный заряд $q = Ne$ и теперь на неё действуют сила тяжести F_T , направленная вертикально вниз, и сила $F_{эл} = q \cdot E$ со стороны электрического поля, направленная вертикально вверх. При остановке капли её скорость равна нулю и сила сопротивления обращается в нуль. Т.к. электрическое поле между облаком и землёй можно считать однородным, то напряжённость электрического поля

$$E = \frac{U}{d},$$

где U и d — разность потенциалов и расстояние между землёй и облаком.

3) Для того чтобы капля остановилась, необходимо, чтобы $F_T = F_{эл}$ или

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho g = Ne \frac{U}{d},$$

откуда

$$U = \frac{4 \pi R^3 \rho g d}{3 Ne} = \frac{4 \pi (0,75 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^3}{3 \cdot 1000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,1 \cdot 10^{14} \text{ В.}$$

Ответ: $1,1 \cdot 10^{14}$ В.

256. Период колебаний математического маятника можно записать через силу натяжения его нити N :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{N}}.$$

В нашем случае

$$N = mg - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} q.$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{mg - \frac{\sigma}{2\epsilon_0}q}}$$

Ответ: $2\pi \sqrt{\frac{mg}{mg - \frac{\sigma}{2\epsilon_0}q}}$

257. Выполним рисунок 161:

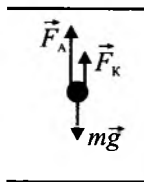


Рис. 161

Заряженный шарик находится в равновесии под действием трёх сил: силы тяжести $m\vec{g}$, кулоновской силы \vec{F}_K и силы Архимеда \vec{F}_A . Условие устойчивого положения шарика:

$$m\vec{g} + \vec{F}_K + \vec{F}_A = 0,$$

где $F_K = qE = q \cdot \frac{U}{d}$, $F_A = \rho g V$. Проекция уравнения устойчивого положения на вертикальную ось:

$$mg = q \cdot \frac{U}{d} + F_A.$$

Откуда легко получаем:

$$q = \frac{4\pi r^3 g (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}}) d}{3U} = 25,5 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Ответ: $25,5 \cdot 10^{-19}$ Кл.

258. По первому закону Ньютона векторная сумма сил, действующих на шарик, находящийся в равновесии, равна нулю (см. рис. 162).

$$m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_H = 0.$$

Равнодействующая силы тяжести $m\vec{g}$ и силы \vec{F} , действующей со стороны электрического поля незаряженной плоскости,

$$\vec{F}_p = m\vec{g} + \vec{F},$$

модуль этой силы $|\vec{F}_p| = |\vec{F}_H|$ и $F_p = F_H = \sqrt{(mg)^2 + F^2}$.

Найдём $\cos \alpha = \frac{mg}{F_p} = \frac{mg}{F_H}$, а с учётом того, что $m = \frac{4}{3}\pi\rho R^3$,

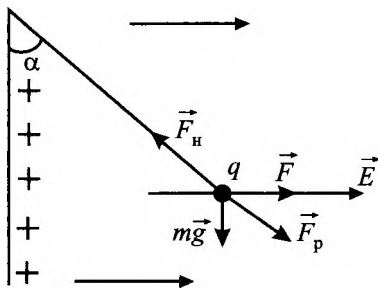


Рис. 162

$$\cos \alpha = \frac{4 \pi \rho g R^3}{3 F_H},$$

откуда $\alpha = \arccos\left(\frac{4 \pi \rho g R^3}{3 F_H}\right) = 78^\circ$.

Для определения поверхностной плотности σ воспользуемся соотно-

шением $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ и $F = \frac{q\sigma}{2\epsilon_0}$.

$$F = \sqrt{F_p^2 - (mg)^2} = \sqrt{F_H^2 - \left(\frac{4}{3}\pi\rho g R^3\right)^2},$$

$$\sigma = \frac{2\epsilon_0 \cdot \sqrt{F_H^2 - \left(\frac{4}{3}\pi\rho g R^3\right)^2}}{q} = 8,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

Ответ: $8,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$.

259. Рассмотрим силы при малом смещении бусинки от положения равновесия на расстояние x . Т.к. трение отсутствует, то только составляющая кулоновской силы будет вызывать возвращение бусинки назад с некоторым ускорением a . Тогда для этого движения основное уравнение динамики будет $ma = -F_{\text{Кл}} \sin \alpha$ (знак «минус» необходим потому, что ускорение бусинки и составляющая кулоновской силы противоположны по направлениям). Т.к. угол α мал, то $\sin \alpha \approx \alpha \approx \frac{x}{l}$ и $F_{\text{Кл}} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 l^2}$,

тогда имеем $ma = -\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 l^3}x$, или $a + \frac{Qq}{4\pi m\epsilon_0 l^3}x = 0$. Это уравнение

гармонических колебаний с круговой частотой $\omega = \sqrt{\frac{Qq}{4\pi m\epsilon_0 l^3}}$ или пе-

риодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{4\pi m \varepsilon_0 l^3}{Qq}}$, если поменяем заряды q на q_1 , Q на Q_1 и m на m_1 и при этом период не изменится, что означает $\frac{4\pi m \varepsilon_0 l^3}{Qq} = \frac{4\pi m_1 \varepsilon_0 l^3}{Q_1 q_1}$, откуда

$$m_1 = \frac{Q_1 q_1}{Qq} m = 2,25m.$$

Ответ: $m_1 = \frac{Q_1 q_1}{Qq} m = 2,25m.$

279. Из симметрии схемы следует, что ток через центральный резистор не течёт. Тогда общее сопротивление цепи равно 3 Ом. Силу тока (показание амперметра) найдём из закона Ома:

$$I = \frac{U}{R} = 4 \text{ A}.$$

Ответ: 4 А.

280. Определим параметры источника тока, собранного из двух батарей:

$$E = E_1 + (E_2 - E_1) \frac{r_1}{r_1 + r_2} = 3,6 + 0,9 \frac{1}{1 + 2} = 3,9 \text{ В},$$

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2} = 0,66 \text{ Ом}.$$

Ток, текущий через нагрузку,

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{3,9}{2 + 0,66} = 1,47 \text{ A}.$$

Ответ: 1,47 А.

281. По закону Ома для замкнутой цепи

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}; \quad I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}.$$

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{3 \text{ Ом} \cdot 1,2 \text{ A} - 5 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ A}}{1 \text{ A} - 1,2 \text{ A}} = 7 \text{ Ом}.$$

$$\mathcal{E} = I_1 (R_1 + r) = 12 \text{ В}.$$

Ток короткого замыкания $I_k = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{12 \text{ В}}{7 \text{ Ом}} = 1,7 \text{ A}.$

Ответ: 1,7 А.

282. Сопротивление проволок

$$R_H = \rho_H \frac{l_H}{S_H};$$

$$R_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \frac{l_{\text{ст}}}{S_{\text{ст}}}.$$

Объёмы проволок равны

$$l_{\text{н}} S_{\text{н}} = l_{\text{ст}} S_{\text{ст}}.$$

$$\frac{R_{\text{ст}}}{R_{\text{н}}} = \frac{\rho_{\text{ст}} S_{\text{н}} l_{\text{ст}}}{\rho_{\text{н}} l_{\text{н}} S_{\text{ст}}} = \frac{\rho_{\text{ст}} l_{\text{ст}}^2}{\rho_{\text{н}} l_{\text{н}}^2} = \frac{20^2}{10} = 40.$$

Ответ: в 40 раз.

283. Перерисуем электрическую цепь (см. рис. 163). После этого найти сопротивление цепи нетрудно из уравнения $r = 2\frac{1}{3}R$.

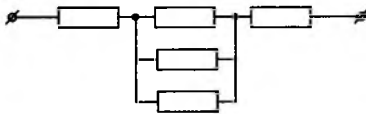


Рис. 163

Ответ: $2,33R$.

284. До замыкания ключа на конденсаторе накоплен заряд

$$q_1 = CE.$$

После замыкания ключа на конденсаторе будет заряд

$$q_2 = CU, \quad U = IR.$$

По закону Ома для полной цепи:

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

После совместного решения уравнений получаем:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R+r}{R} = 1,2.$$

$$r = 2 \text{ Ом.}$$

Ответ: 2 Ом.

285. До замыкания ключа суммарный заряд на внутренних обкладках был равен нулю. Если после замыкания ключа на внутренних обкладках будет обнаружен заряд, он и проходит через ключ. После замыкания ключа потенциалы на обеих обкладках конденсатора C_2 одинаковы. Конденсатор не заряжен. Разность потенциалов на C_1 равна \mathcal{E} , на его обкладках заряд $q = C_1 \mathcal{E}$. Этот заряд и прошёл через ключ.

Ответ: $C_1 \mathcal{E}$.

286. Энергия первого конденсатора $W_1 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$. Заряд конденсатора $q = C\mathcal{E}$. Этот заряд у системы остаётся после присоединения второго конденсатора. Новая энергия системы $W_2 = \frac{q^2}{2 \cdot 2C} = \frac{C\mathcal{E}^2}{4}$. Часть энергии пошла на нагрев проводов при зарядке второго конденсатора.

Ответ: $\frac{C\mathcal{E}^2}{4}$.

287. Заряд на конденсаторе $q = CU_C$. В установившемся режиме работы схемы ток через конденсатор и сопротивление R_2 не течёт. Напряжение на конденсаторе равно напряжению на сопротивлении R_1 , т.е.

$$U_C = U_{R_1}, \text{ где } U_{R_1} = I \cdot R_1. \text{ По закону Ома для полной цепи } I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r},$$

подставив в предыдущую формулу, получим $U_C = \frac{\mathcal{E}R_1}{R_1 + r}$. Окончательно

$$q = \frac{C\mathcal{E}R_1}{R_1 + r} = \frac{10^{-4} \cdot 24 \cdot 40}{40 + 8} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-3}$ Кл.

288. Ёмкость плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием d

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

$$C = \frac{0,05}{4 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 0,0005} = 8,85 \cdot 10^{-10} \text{ Ф.}$$

Заряд средней пластины равен заряду двух таких конденсаторов, заряженных до 100 и 200 В соответственно.

$$Q = CU_1 + CU_2 = 8,85 \cdot 10^{-10}(100 + 200) = 265 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Ответ: $265 \cdot 10^{-9}$ Кл.

289. При последовательном соединении тока в цепи нет, напряжение на конденсаторе равно \mathcal{E} , так что $q_1 = C\mathcal{E}$. При параллельном соединении напряжение на конденсаторе равно падению напряжения на сопротивлении R : $U = IR = \frac{\mathcal{E}R}{R + r}$, поэтому $q_2 = C \frac{\mathcal{E}R}{R + r}$.

Из полученных выражений для q_1 и q_2 получаем:

$$q_2 = \frac{q_1 R}{R + r},$$

откуда

$$r = R \left(\frac{q_1}{q_2} - 1 \right).$$

Ответ: $r = R \left(\frac{q_1}{q_2} - 1 \right).$

290. Сила тока в цепи

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

выделяющаяся на нагрузочном сопротивлении мощность

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}.$$

Эти мощности по условию равны между собой:

$$\frac{\mathcal{E}^2 R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2 R_2}{(R_2 + r)^2}.$$

После извлечения квадратного корня из обеих частей равенства

$$r = \frac{\sqrt{R_2 R_1} - \sqrt{R_1 R_2}}{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}} = \sqrt{R_1 R_2} = 8 \text{ Ом}.$$

Ответ: 8 Ом.

291. Поскольку в первом случае участок цепи, кроме ЭДС, содержит ещё разность потенциалов U , то результат будет зависеть от полярности приложенного напряжения.

1-й случай. $I r = U + \mathcal{E}$.

В этом случае

$$I = \frac{U + \mathcal{E}}{r}, \quad I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}.$$

Совместное решение даёт результат $R < 0$.

2-й случай. $I r = U - \mathcal{E}$.

Теперь получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} I = \frac{U - \mathcal{E}}{r}, \\ I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}. \end{cases}$$

Решив систему уравнений, получаем выражение для сопротивления резистора:

$$R = \frac{(2\mathcal{E} - U) \cdot r}{U - \mathcal{E}} = 390 \text{ Ом}.$$

Ответ: 390 Ом.

292. После замыкания ключа конденсаторы C_1 и C_2 включены последовательно. Их ёмкость $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Заряд на этих конденсаторах

$$q = \mathcal{E}C = \frac{\mathcal{E}C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Работа источника тока по зарядке конденсатора

$$A = q\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}^2 C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Энергия, запасённая в конденсаторе:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{\mathcal{E}^2 C_1^2 C_2^2 (C_1 + C_2)}{2(C_1 + C_2)^2 C_1 C_2} = \frac{\mathcal{E}^2 C_1 C_2}{2(C_1 + C_2)}.$$

А тепло, выделившееся в цепи:

$$Q = A - W = \frac{\mathcal{E}^2 C_1 C_2}{2(C_1 + C_2)} = \frac{10^4 \text{В}^2 \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-6} \text{Ф}}{2 \cdot 130} = 0,15 \text{ Дж}.$$

Ответ: 0,15 Дж.

293. По закону Ома для полной цепи можно написать для схемы 1:

$$\mathcal{E} = I_1(R_A + R'), \quad R' = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}.$$

В схеме 2 для контура, состоящего из \mathcal{E} , R и R_A , из правила Кирхгофа:

$$\mathcal{E} = I_2(R_A + R).$$

Решая совместно эти три уравнения, получим:

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{R + R_A}{R_A + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}} = 1,05 I_2.$$

Ответ: $I_1 = 1,05 I_2$.

294. Обозначим искомое сопротивление X , эквивалентная схема показана на рисунке 164. Сопротивление параллельно включённых резисторов

$$R_n = \frac{X R_1}{X + R_1}, \quad \text{общее сопротивление цепи } R_{06} = R_2 - X + R_n,$$

общий ток $I_{06} = \frac{\mathcal{E}}{R_{06}}$, сила тока через резистор X

$$\begin{aligned} I_X &= \frac{I_{06} R_n}{X} = \mathcal{E} \frac{X R_1}{(X + R_1) X \left(R_2 - X + \frac{X R_1}{X + R_1} \right)} = \\ &= \frac{\mathcal{E} R_1}{R_1 R_2 + \frac{R_2^2}{4} - \left(X - \frac{R_2}{2} \right)^2}, \end{aligned}$$

минимальный ток будет при $X = \frac{R_2}{2} = 1 \text{ Ом}$.

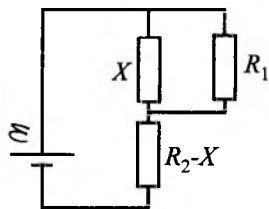


Рис. 164

Ответ: 1 Ом.

295. 1. До замыкания ключа.

Сопротивление цепи: $R = R_1 + R_2$.

Сила тока в цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2}$.

Напряжение на конденсаторе: $U = IR_2 = \frac{\mathcal{E}R_2}{R_1 + R_2}$.

Заряд конденсатора: $Q_1 = CU = \frac{CER_2}{R_1 + R_2} = \frac{10^{-5} \cdot 20 \cdot 6}{2 + 6} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$.

2. После замыкания ключа.

Сопротивление параллельно включённых $R_n = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2 \text{ Ом}$.

Сопротивление цепи: $R = R + R_n$.

Сила тока в цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_n}$.

Напряжение на конденсаторе: $U = IR_n = \frac{\mathcal{E}R_n}{R_1 + R_n}$.

Заряд конденсатора: $Q_2 = CU = \frac{CER_n}{R_1 + R_n} = \frac{10^{-5} \cdot 20 \cdot 2}{2 + 2} = 10^{-4} \text{ Кл}$.

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 1,5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}.$$

Ответ: 50 мкКл.

296. Сопротивление проволоки $R = \rho_3 \frac{l}{S}$. Здесь ρ_3 — удельное сопротивление материала. Отношение сопротивлений

$$\frac{R_H}{R_C} = \frac{(\rho_{3H}/\rho_{3C})l_H/l_C}{(S_H/S_C)}.$$

Масса проволоки $m = \rho l \cdot S$. Здесь ρ — плотность вещества. Массы равны по условию.

$$\rho_n l_n S_n = \rho_c l_c S_c.$$

Отсюда отношение

$$\frac{S_n}{S_c} = (\rho_n / \rho_c)(l_c / l_n).$$

$$\frac{R_c}{R_n} = \frac{(\rho_c / \rho_n)}{(\rho_{эн} / \rho_{эс})(l_n / l_c)^2} = \frac{(20)^2}{10 \cdot 1,07} = 37,4.$$

Ответ: В 37,4 раза.

297. Сделаем чертёж (см. рис. 165).

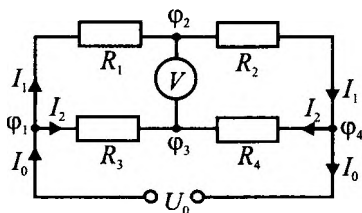


Рис. 165

Считая силу тока через вольтметр равной нулю, найдём общее сопротивление схемы. При этом можно считать, что участки R_1 и R_2 соединены параллельно с R_3 и R_4 .

$$R_{об} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}.$$

Напряжение, которое показывает вольтметр, равно разности потенциалов $\varphi_2 - \varphi_3$.

$$\begin{cases} \varphi_1 - \varphi_3 = I_2 R_3, & (1) \\ \varphi_1 - \varphi_2 = I_1 R_1. & (2) \end{cases}$$

Вычитая из (1) уравнение (2), получим:

$$\begin{aligned} \varphi_1 - \varphi_3 - \varphi_1 + \varphi_2 &= I_2 R_3 - I_1 R_1, \\ \varphi_2 - \varphi_3 &= I_2 R_3 - I_1 R_1. \end{aligned}$$

При этом

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}.$$

Тогда

$$I_2 = I_1 \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4},$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = I_1 \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} R_3 - I_1 R_1 = I_1 \left[\frac{(R_1 + R_2)R_3 - R_1(R_3 + R_4)}{R_3 + R_4} \right].$$

Силу тока I_1 найдём из уравнения $U_0 = I_1(R_1 + R_2) \Rightarrow I_1 = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$,

$$\begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_3 &= \frac{U_0}{R_1 + R_2} \left[\frac{R_1 R_3 + R_2 R_3 - R_1 R_3 - R_1 R_4}{R_3 + R_4} \right] = \\ &= \frac{U_0(R_2 R_3 - R_1 R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}. \\ \varphi_2 - \varphi_3 &= U_B = 48 \text{ В}. \end{aligned}$$

Ответ: 48 В.

298. Напряжённости полей найдём из соотношений (см. рис. 166):

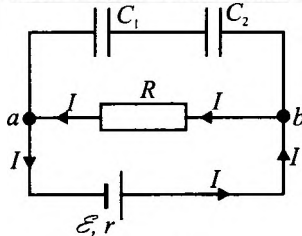


Рис. 166

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2; \quad q_1 = C_1 U_1; \quad q_2 = C_2 U_2.$$

$$q_1 = q_2 \Rightarrow C_1 U_1 = C_2 U_2; \quad U_2 = U_1 \frac{C_1}{C_2};$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_1 \frac{C_1}{C_2} = U_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right).$$

$$U_1 = \frac{U_{\text{общ}}}{1 + \frac{C_1}{C_2}} = \frac{C_2 U_{\text{общ}}}{C_2 + C_1}. \quad E_1 = \frac{C_2 U_{\text{общ}}}{d(C_1 + C_2)}.$$

Аналогично $E_2 = \frac{C_1 U_{\text{общ}}}{d(C_1 + C_2)}$.

Теперь найдём $U_{\text{общ}}$, т.е. напряжение на внешнем сопротивлении R :

$$U_{\text{общ}} = \frac{\mathcal{E}}{r + R} \cdot R.$$

Для нахождения r воспользуемся условием $I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$. Поскольку

$$I_{\text{к.з.}} = 3I, \text{ а } I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \text{ то}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{3\mathcal{E}}{R + r}.$$

Отсюда $r = \frac{R}{2}$. Подставив в соотношение для $U_{\text{общ}}$, получаем:

$$U_{\text{общ}} = \frac{\mathcal{E}}{r + R} \cdot R = \frac{\mathcal{E}}{\frac{R}{2} + R} \cdot R = \frac{2}{3} \mathcal{E}.$$

Теперь $E_1 = \frac{2C_2 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$; $E_2 = \frac{2C_1 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$.

Ответ: $E_1 = \frac{2C_2 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$; $E_2 = \frac{2C_1 \mathcal{E}}{3d(C_1 + C_2)}$.

299. После зарядки конденсатора ток через него прекратится, и, начиная с этого момента, конденсатор будет представлять собой разрыв цепи. Поскольку заряд конденсатора q связан с напряжением на нём U соотношением $q = CU$, для решения задачи достаточно найти отношение напряжений между соответствующими точками цепи в отсутствие конденсатора.

Найдём сначала напряжение между точками A и B при подключении источника с ЭДС \mathcal{E} к точкам C и D (см. рис. 167).

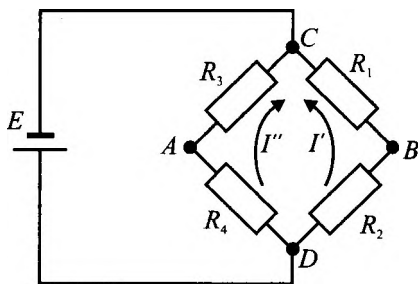


Рис. 167

Для токов I' и I'' справедливы выражения:

$$I' = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2}, \quad I'' = \frac{\mathcal{E}}{R_3 + R_4}.$$

В соответствии с этим падения напряжения на резисторах будут:

$$U_1 = I' R_1, \quad U_2 = I' R_2, \quad U_3 = I'' R_3, \quad U_4 = I'' R_4.$$

Величина искомого напряжения:

$$|U_{AB}| = |U_2 - U_4| = |U_1 - U_3| = \mathcal{E} \frac{|R_1 R_4 - R_2 R_3|}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}.$$

Аналогично можно найти величину напряжения между точками C и D при подключении источника к точкам A и B :

$$|U_{CD}| = \varepsilon \frac{|R_1 R_4 - R_2 R_3|}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}.$$

Из последних двух выражений получаем ответ:

$$\alpha = \frac{|U_{CD}|}{|U_{AB}|} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = 1,2.$$

Ответ: в 1,2 раза.

300. Запишем закон Ома для нижнего замкнутого контура:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2},$$

тогда напряжение на первом резисторе

$$U_1 = \frac{\mathcal{E} R_1}{R_1 + R_2}.$$

Напряжение на последовательно соединённых конденсаторах

$$U' = \mathcal{E},$$

с другой стороны:

$$U' = U'_1 + U'_2.$$

Так как конденсаторы соединены последовательно, то

$$C_1 U'_1 = C_2 U'_2,$$

откуда

$$U'_2 = \frac{C_1}{C_2} U'_1,$$

тогда

$$\mathcal{E} = U'_1 + \frac{C_1}{C_2} U'_1, \quad U'_1 = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{C_1}{C_2}}.$$

Искомая разность потенциалов

$$\varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} \left(\frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} - \frac{1}{1 + \frac{C_1}{C_2}} \right).$$

Считаем

$$\varphi_A - \varphi_B = 12 \left(\frac{1}{1 + \frac{30}{10}} - \frac{1}{1 + \frac{20}{5}} \right) = 0,6 \text{ В.}$$

Ответ: 0,6 В.

301. Сопротивление проводника до и после нагревания:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha(T_1 - T_0)),$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha(T_2 - T_0)),$$

тогда

$$\Delta R = R_0 \alpha (T_2 - T_1) = \rho_0 \frac{l}{S} \alpha (T_2 - T_1),$$

откуда

$$T_2 - T_1 = \frac{\Delta R S}{\rho_0 l \alpha}.$$

Изменение внутренней энергии проводника

$$\Delta U = mc(T_2 - T_1),$$

или

$$\Delta U = \rho V c (T_2 - T_1) = \rho l S c (T_2 - T_1).$$

После подстановки разности температур

$$\Delta U = \frac{\Delta R S^2 \rho c}{\rho_0 \alpha}.$$

Считаем

$$\Delta U = \frac{0,34 \cdot 10^{-12} \cdot 8900 \cdot 380}{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0043} = 16 \text{ кДж}.$$

Ответ: 16 кДж.

318. Запишем уравнение динамики для заряженной частицы: $qvB = \frac{mv^2}{R}$,

откуда $R = \frac{mv}{qB}$. Поток вектора \vec{B}

$$\Phi = B \cdot \pi R^2 = \frac{\pi m^2 v^2}{q^2 B} = \frac{2\pi E_k}{q^2 B} = \frac{2\pi E_{k0}}{q^2 B_0}.$$

Отсюда $E_k = \frac{E_{k0} B}{B_0}$.

Ответ: $\frac{E_{k0} B}{B_0}$.

319. Пролетев разность потенциалов U , ион приобретает кинетическую

энергию $qU = \frac{mv^2}{2}$ и движется со скоростью $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$. Вылетев со

скоростью v в магнитное поле, он движется по окружности радиусом R , и этот радиус находится из уравнения динамики иона

$$qvB = m \frac{v^2}{R};$$

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

После возведения этого соотношения в квадрат

$$\frac{q}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{В}}{0,04 \text{м}^2 \cdot 0,25 \text{Тл}^2} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Ответ: $2 \cdot 10^6 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

320. Проводник движется в магнитном поле под действием силы Ампера \vec{F}_A и силы тяжести $m\vec{g}$. Результирующая этих сил должна быть направлена вверх, т.е. $|\vec{F}_A| > m\vec{g}$. Следовательно, проводник расположен горизонтально и движется в горизонтальном магнитном поле (см. рис. 168). Уравнение движения проводника $ma = F_A - mg$. Сила Ампера

$$F_A = IBl \sin \alpha.$$

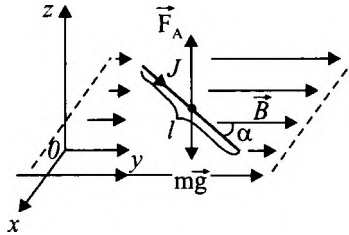


Рис. 168

$$l = \frac{F_A}{IB \sin \alpha}.$$

Используя уравнение движения проводника и заменяя $a = \frac{v}{t}$, окончательно находим

$$l = \frac{m(v/t + g)}{IB \sin \alpha},$$

$$l = \frac{0,03(4/2 + 10)}{5 \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 0,36 \text{ м.}$$

Ответ: 0,36 м.

321. На свободные электроны металлического шарика при его движении в магнитном поле действует сила Лоренца. В результате перераспределения электронов в шарике образуется электрическое поле. Перераспределение закончится тогда, когда сила Лоренца и сила, действующая на электрон со стороны образованного электрического поля, уравновесят одна другую: $\vec{F}_L + \vec{F}_3 = 0$, или $Eq = qBv \sin \alpha$. Отсюда находим напряжённость электрического поля:

$$E = vB \sin \alpha.$$

Из этого уравнения следует, что образованное электрическое поле является однородным. В однородном электрическом поле разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = El$, где l — расстояние между точками 1 и 2 вдоль силовой линии электрического поля. Следовательно, максимальная разность потенциалов возникает между крайними точками диаметра, параллельного силовым линиям,

$$\Delta\varphi_{max} = 2rvB \sin \alpha.$$

Ответ: $2rvB \sin \alpha$.

322. Сила, действующая на проводник в магнитном поле (см. рис. 169),

$$F = BIl.$$

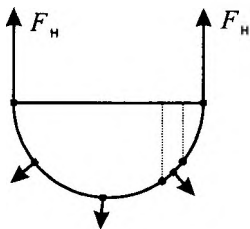


Рис. 169

Найдём проекцию суммы сил, действующих на круглый проводник. Возьмём небольшой участок, который можно считать прямолинейным. Для него проекция силы на вертикальную ось будет равна силе, действующей на проекцию этого отрезка на диаметр. Эта сила уравновешивается натяжением провода, таким образом

$$\begin{aligned} 2 \cdot F_n &= BId, \\ F_n &= BIR. \end{aligned}$$

Отсюда

$$I_{max} = \frac{F_{max}}{BR} = \frac{200}{90 \cdot 0,05} \approx 44 \text{ A}.$$

Ответ: 44 А.

323. При повороте плоскости контура изменение магнитного потока

$$\Delta\Phi = B\pi r^2(\cos \alpha - 1).$$

При этом в контуре возникнет ЭДС $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ и сила тока

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}.$$

При этом по контуру будет перенесён заряд

$$q = I\Delta t = -\frac{1}{R}\Delta\Phi = \frac{B\pi r^2(1 - \cos\alpha)}{R} =$$

$$= \frac{0,5 \text{ Тл} \cdot 3,14 \cdot (0,05 \text{ м})^2(1 - 0,5)}{0,2 \text{ Ом}} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Кл.}$$

Ответ: 0,01 Кл.

324. Магнитный поток, пронизывающий площадку S , ограниченную контуром, $\Phi = BS = aS \cos(bt)$, а ЭДС электромагнитной индукции, возникающая в контуре, $\mathcal{E} = (\Phi)'_t = aSb \sin(bt)$. Сила тока в контуре

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{aSb}{R} \sin(bt).$$

Её амплитуда $I_0 = \frac{aSb}{R}$, откуда

$$S = \frac{RI_0}{ab} = \frac{1,2 \text{ Ом} \cdot 35 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 3500 \text{ с}^{-1}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Ответ: 20 см².

325. В магнитном поле на альфа-частицу действует сила Лоренца

$$F = qvB,$$

по второму закону Ньютона при движении по окружности

$$F = \frac{mv^2}{R},$$

приравнивая и выражая вектор индукции магнитного поля, получаем:

$$B = \frac{mv}{qR}.$$

Скорость альфа-частицы находим из формулы разности потенциалов

$$U = \frac{A}{q}, \quad A = \frac{mv^2}{2},$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{M}}.$$

Заряд альфа-частицы равен удвоенному заряду электрона $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, её масса равна четырём массам протона $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг. Переводя 2 мм = $2 \cdot 10^{-3}$ м и подставляя численные значения, получаем: $B = 2,89$ Тл.

Ответ: $B = 2,89$ Тл.

326. Сила, действующая на электрон со стороны электрического и магнитного полей (см. рис. 170),

$$\vec{F} = -e\vec{E} + \vec{F}_L,$$

причём $\vec{F} \perp \vec{v}$, следовательно,

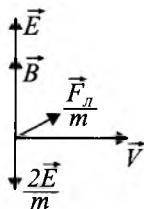


Рис. 170

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -\frac{e\vec{E}}{m} + \frac{\vec{F}_L}{m}.$$

Т.к. $\frac{e\vec{E}}{m} \perp \frac{\vec{F}_L}{m}$, то

$$a = \sqrt{\left(\frac{eE}{m}\right)^2 + \left(\frac{F_L}{m}\right)^2},$$

$$a = \frac{1}{m} \sqrt{(eE)^2 + (F_L)^2}.$$

Сила Лоренца

$$F_L = evB,$$

получаем

$$a = \frac{1}{m} \sqrt{(eE)^2 + (evB)^2},$$

$$a = \frac{e}{m} \sqrt{(E)^2 + (vB)^2}.$$

Считаем

$$a = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \sqrt{10^6 + 10^{10} \cdot 10^{-4}} = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $2,5 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2$.

327. 1) В магнитном поле на пылинку будет действовать сила Лоренца $F_{\perp} = |q|vB$. Эта сила перпендикулярна скорости, поэтому пылинка будет двигаться по окружности с центростремительным ускорением $a_{\text{ц.с.}} = \frac{F_L}{m}$ или $\frac{v^2}{R} = \frac{|q|vB}{m}$, следовательно,

$$R = \frac{vm}{|q|B} = \frac{150 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 5} = 1 \text{ м}.$$

2) Т.к. $R > S = 0,6 \text{ м}$ (см. рис. 171), то пылинка будет двигаться по дуге окружности и на выходе из области поля \vec{B} изменение импульса

$\Delta \vec{p} = \vec{p}_1 - \vec{p}_0$ по модулю $\Delta p = 2p_0 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$, т.к. $|\vec{p}_0| = |\vec{p}_1|$. Для $\sin \alpha$ в соответствии с рисунком имеем $\sin \alpha = \frac{S}{R}$.

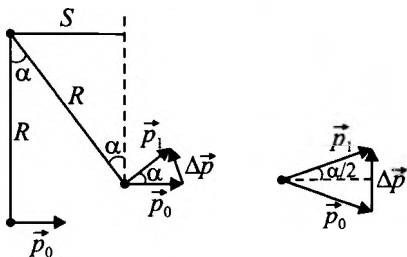


Рис. 171

$$\begin{aligned}
 3) \Delta p &= 2p_0 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 2mv \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} = 2mv \sqrt{\frac{1 - \sqrt{1 - \frac{S^2}{R^2}}}{2}} = \\
 &= 2mv \sqrt{\frac{R - \sqrt{R^2 - S^2}}{2R}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 150 \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,8}{2 \cdot 1}} = \\
 &= 3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{0,1} \approx 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.
 \end{aligned}$$

Ответ: $9,5 \cdot 10^{-4}$ кг·м/с.

328. Сделаем рисунок 172.

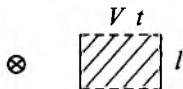


Рис. 172

За время t подвижная сторона пройдёт расстояние vt . Изменение магнитного потока $\Delta \Phi = Bvlt$.

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = Bvl.$$

Сопротивление контура $R_i(2l + 2vt) = 2R_i(l + vt)$.

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{Bvl}{2(l + vt)R_i}.$$

Ответ: $\frac{Bvl}{2(l + vt)R_i}$.

329. Сделаем рисунок 173.

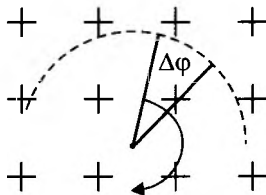


Рис. 173

$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, $\Delta\Phi = B\Delta S$, где ΔS — площадь сектора, описываемого стержнем. За время Δt стержень поворачивается на угол $\Delta\varphi$ и

$$\Delta S = \frac{\Delta\varphi l^2}{2} = \frac{\omega l^2 \Delta t}{2};$$

$$\Delta\Phi = B\Delta S = \frac{B\omega l^2 \Delta t}{2};$$

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\omega l^2}{2}.$$

Ответ: $\frac{B\omega l^2}{2}$.

330. Магнитный поток, пронизывающий рамку,

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

где $S = a^2$, $\alpha = \omega t = 2\pi\nu t$, тогда

$$\Phi = Ba^2 \cos 2\pi\nu t.$$

По закону Фарадея

$$\mathcal{E}_i = -\Phi' = 2\pi\nu Ba^2 \sin \omega t,$$

откуда

$$\mathcal{E}_{i\max} = 2\pi\nu Ba^2.$$

Считаем

$$\mathcal{E}_{i\max} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 4^2 \cdot 10^{-4} = 0,05 \text{ В.}$$

Ответ: 0,05 В.

331. В контуре возникает ЭДС электромагнитной индукции и индукционный ток (см. рис. 174). \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 — ЭДС, возникающая в каждом из витков, r_1 и r_2 — внутренние сопротивления каждой из окружностей воль-мётрки.

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\pi R_1^2 k \Delta t}{\Delta t} = \pi R_1^2 k.$$

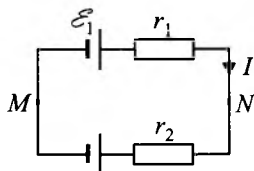


Рис. 174

$$r_1 = 2\pi R_1 r; \quad r_2 = 2\pi R_2 r; \quad \mathcal{E}_2 = \pi R_2^2 k.$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2} = \frac{\pi k(R_1^2 - R_2^2)}{2\pi r(R_1 + R_2)} = \frac{k(R_1 - R_2)}{2r}.$$

Здесь r — сопротивление единицы длины проводника.

$$\varphi_{MN} = \mathcal{E}_1 - I r_1 = \pi R_1^2 k - \frac{k(R_1 - R_2)}{2r} \cdot 2\pi R_1 r = \pi k R_1 R_2.$$

Ответ: $\pi k R_1 R_2$.

332. Сделаем рисунок 175:

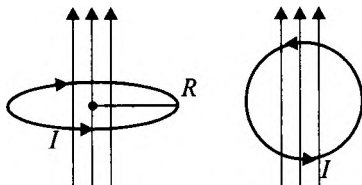


Рис. 175

Работа, затраченная на поворот контура с током в магнитном поле:

$$A = I \Delta \Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1).$$

Поток, пронизывающий контур в начальный момент:

$$\Phi_1 = B \cdot S \cos \alpha_1,$$

после поворота:

$$\Phi_2 = B \cdot S \cos \alpha_2,$$

тогда

$$A = IBS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1).$$

Учтём, что $S = \pi R^2$, получим

$$A = IB\pi R^2(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1).$$

Считаем

$$A = 2 \cdot 0,02 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-4}(0 - 1) = -1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} = -0,11 \text{ мДж}.$$

Ответ: $-0,11 \text{ мДж}$.

349. $q = q_0 \cos \omega t$; $\frac{1}{2} = \cos \omega t$.

$$\omega t = \frac{\pi}{3}; \quad \frac{2\pi}{T}t = \frac{\pi}{3}; \quad \frac{t}{T} = \frac{1}{6}; \quad t = \frac{T}{6}.$$

Ответ: $\frac{1}{6}$.

350. $U = U_0 \cos(2\pi\nu t)$; $71 = 100 \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot t)$; $0,71 = \cos(10^7 \pi \cdot t)$

$$\frac{\pi}{4} = 10^7 \pi t, \quad t = 25 \text{ нс.}$$

Ответ: 25 нс.

351. Энергия магнитного поля катушки максимальна в тот момент, когда энергия электрического поля конденсатора равна нулю. По закону сохранения энергии можем записать

$$W_{\max} = W_{\text{э}} + W_{\text{м}},$$

$$W_{\max} = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = 10^{-5} \text{ Дж.}$$

Ответ: 10^{-5} Дж.

352. До размыкания ключа ток течёт только через источник и катушку индуктивности. Причём катушка не оказывает сопротивления источнику, он замкнут накоротко, и напряжение на его клеммах равно нулю. Поэтому конденсатор не заряжен и не обладает энергией. В катушке существует магнитное поле. Его энергия $W = \frac{LI^2}{2}$. Ток I можно по-

считать из закона Ома для замкнутой цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{6 \text{ В}}{1 \text{ Ом}} = 6 \text{ А}$.

$W = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 36 \text{ А}^2}{2} = 72 \text{ мДж}$. После размыкания ключа в оставшейся цепи (это колебательный контур, содержащий сопротивление) возникают затухающие колебания. В итоге вся энергия контура W выделится на этом резисторе.

Ответ: 72 мДж.

353. В идеальном колебательном контуре сохраняется его полная энергия

$$E = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2}; \quad E = \frac{CU_{\text{м}}^2}{2} = \frac{LI_{\text{м}}^2}{2}.$$

Разделим обе части первого равенства на полную энергию:

$$1 = \frac{CU^2}{2E} + \frac{LI^2}{2E} = \frac{U^2}{U_{\text{м}}^2} + \frac{I^2}{I_{\text{м}}^2} \Rightarrow U = U_{\text{м}} \sqrt{1 - \frac{I^2}{I_{\text{м}}^2}} = 5 \sqrt{1 - \frac{16^2}{20^2}} = 3 \text{ В.}$$

Ответ: 3 В.

354. Запишем закон сохранения энергии

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{C\left(\frac{U}{2}\right)^2}{2} + \frac{LI^2}{2} + Q,$$

откуда

$$Q = \frac{CU^2}{2} \left(1 - \frac{1}{4}\right) - \frac{LI^2}{2},$$

$$Q = \frac{3CU^2}{8} - \frac{LI^2}{2}.$$

Считаем

$$Q = \frac{3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 120^2}{8} - \frac{0,5 \cdot 0,25^2}{2} = 11 \text{ мДж.}$$

Ответ: 11 мДж.

355. В идеальном колебательном контуре выполняется закон сохранения электромагнитной энергии, следовательно, для момента времени, когда сила тока в катушке равна I , справедливо

$$\frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}.$$

$$U^2 = \frac{L}{C}(I_{\max}^2 - I^2),$$

где $\frac{L}{C}$ найдём из равенства полной магнитной энергии и полной электрической энергии.

$$\frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2}.$$

Откуда $\frac{L}{C} = \frac{U_{\max}^2}{I_{\max}^2}$, тогда

$$U = U_{\max} \sqrt{1 - \frac{I^2}{I_{\max}^2}} = 15 \sqrt{1 - \left(\frac{6}{10}\right)^2} = 12 \text{ В.}$$

Ответ: 12 В.

356. В процессе электромагнитных колебаний суммарный заряд конденсаторов не меняется:

$$C_1 U_0 = q_1(t) + q_2(t).$$

Закон сохранения энергии в контуре (при $R = 0$) имеет вид:

$$\frac{q_1^2(t)}{2C_1} + \frac{q_2^2(t)}{2C_2} + \frac{L_1 I^2(t)}{2} + \frac{L_2 I^2(t)}{2} = \frac{C_1 U_0^2}{2} + \frac{L_1 I_0^2}{2} + \frac{L_2 I_0^2(t)}{2}.$$

Когда ток в контуре равен 0, энергия электрического поля максимальна, т.е.

$$\frac{q_1^2(t)}{2C_1} + \frac{q_2^2(t)}{2C_2} = \frac{(L_1 + L_2)I_0^2}{2} + \frac{C_1 U_0^2}{2}.$$

С учётом закона сохранения заряда, $q_1(t) = C_1 U_0 - q_2(t)$, решаем квадратное уравнение для q_2 и находим:

$$q_{2,\max} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \left[U_0 + \sqrt{U_0^2 + \frac{(C_1 + C_2)I_0^2(L_1 + L_2)}{C_1 C_2}} \right].$$

$$\text{Ответ: } q_{2,\max} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \left[U_0 + \sqrt{U_0^2 + \frac{(C_1 + C_2)I_0^2(L_1 + L_2)}{C_1 C_2}} \right].$$

357. После замыкания ключа K электрическая цепь будет представлять собой колебательный контур с параллельно соединёнными конденсаторами. Поэтому их общая ёмкость $C = C_1 + C_2$. Переходим к эквивалентной схеме (см. рис. 176).

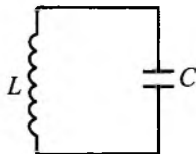


Рис. 176

Уравнение, определяющее изменение заряда в этом контуре, имеет вид

$$q = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

Ток, протекающий через катушку, найдём, взяв согласно (1) производную от q по времени:

$$i = -A\omega \sin(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Круговую частоту ω в уравнениях (1) и (2) определим по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)}}. \quad (3)$$

Согласно условию задачи, начальные условия для колебательного процесса при $t = 0$ будут следующие:

$$q = q_0 = \frac{U_0}{C_1} \quad (4)$$

$$i = 0. \quad (5)$$

Подставляя выражение (4) в уравнение (1), а (5) — в (2), находим, что

$$\varphi = 0; \quad A = \frac{U_0}{C_1}.$$

Тогда уравнение (1) примет вид

$$q = \frac{U_0}{C_1} \cos \omega t. \quad (6)$$

В любой момент времени на конденсаторах должны выполняться следующие условия:

$$q = q_1 + q_2, \quad (7)$$

$$U = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}. \quad (8)$$

Из совместного решения уравнений (7) и (8) получаем

$$q_1 = q \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad (9)$$

$$q_2 = q \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad (10)$$

где q_1 и q_2 — заряды на конденсаторах в произвольный момент времени. Подставляя уравнение (7) в (9) и (10), окончательно получаем

$$q_1 = \frac{U_0}{C_1 + C_2} \cos \omega t;$$

$$q_2 = \frac{C_2 U_0}{C_1(C_1 + C_2)} \cos \omega t.$$

$$\text{Ответ: } q_1 = \frac{U_0}{C_1 + C_2} \cos \omega t; \quad q_2 = \frac{C_2 U_0}{C_1(C_1 + C_2)} \cos \omega t.$$

363. Лучи, вышедшие из точек на фокальной плоскости, превращаются в параллельный пучок, направленный под углом $\text{tg } \alpha = \frac{a}{f}$ к оптической оси. Попадая на плоское зеркало, они отражаются под тем же углом и попадают обратно в линзу, создавая в фокальной плоскости изображение, расположенное симметрично относительно источника света. Расстояние от изображения до источника света

$$l = 2a = 8 \text{ см.}$$

Ответ: 8 см.

364. Коэффициент поперечного увеличения равен $f/d = 3$. Формула линзы

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

Отсюда

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{3d}$$

$$d = 1,33F = 35,9 \text{ см.}$$

Ответ: $d = 35,9$ см.

365. Из рисунка следует, что при повороте зеркала на угол α отражённый луч поворачивается на угол 2α . На рисунке 177 обозначим: A_1 — отражение точки A до поворота зеркала, A_2 — отражение точки A после поворота зеркала.

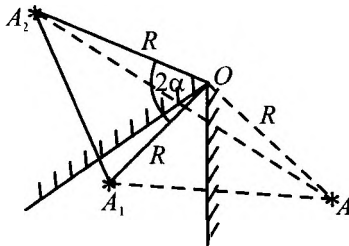


Рис. 177

Треугольник OA_1A_2 — равнобедренный с углом при вершине 2α . Его основание

$$A_1A_2 = 2R \sin \alpha.$$

Ответ: $2R \sin \alpha$.

366. Середина отрезка длиной 6 см находится на расстоянии 15 см от линзы, следовательно, края отрезка расположены соответственно на расстояниях 12 см и 18 см от линзы, т.е. дальше фокусного расстояния. Это означает, что изображение всего отрезка и его краёв действительно. Изображение точки, отстоящей от линзы на d , получается по другую сторону от линзы на расстоянии f от неё.

По формуле линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad f = \frac{d \cdot F}{d - F}.$$

Для одного края ($d_1 = 12$ см) $f_1 = 60$ см;

для другого ($d_2 = 18$ см) $f_2 = 22,5$ см.

Длина изображения: $f_1 - f_2 = 37,5$ см,

$$\Gamma = \frac{37,5 \text{ см}}{6 \text{ см}} = 6,25.$$

Ответ: 6,25.

367. Запишем, что дано в условии задачи: $f = 2$ м — расстояние до макета, $D = 8$ дптр — оптическая сила объектива, $S_1 = 8 \cdot 10^{-4}$ м² — площадь изображения. Найти S_2 — площадь самого макета. Увеличение линзы найдём по формуле

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{f}{d}\right)^2 \Rightarrow S_2 = S_1 \cdot \left(\frac{f}{d}\right)^2.$$

Запишем формулу линзы:

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = D.$$

Отсюда выразим d — расстояние до макета:

$$\frac{1}{d} = D - \frac{1}{f} = \frac{Df - 1}{f}.$$

$$d = \frac{f}{Df - 1}.$$

Подставим числа:

$$d = \frac{2}{16 - 1} = \frac{2}{15} \text{ м}.$$

Окончательно получим:

$$S_2 = 8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{2 \cdot 15}{2}\right)^2 = 0,18 \text{ м}^2.$$

Ответ: 0,18 м².

368. Используем формулу линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$; расстояние от лампы до экрана фиксировано $d + f = l$.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{l-d}.$$

Отсюда $F = \frac{(l-d) \cdot d}{l}$.

Уравнение сводится к квадратному уравнению относительно d .

$$d^2 - ld + Fl = 0; \quad l^2 - 5d + 4 = 0.$$

У этого уравнения 2 корня: $d_1 = 1$ м; $d_2 = 4$ м. Собирающая линза даёт действительное увеличенное изображение лишь в том случае, если предмет находится между фокусом и двойным фокусом. Физический смысл имеет только корень 1 м.

Ответ: 1 м.

369. По формуле тонкой линзы:

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

Увеличение линзы:

$$\frac{f}{d} = 4, \quad f = 4d.$$

Решая уравнения совместно, получаем: $d = 25$ см, $f = 100$ см. После передвижки уравнение тонкой линзы выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{d+5} + \frac{1}{f-1} = \frac{1}{F}.$$

Подставляя численные значения и решая уравнение, получаем: $l = 40$ см.

Ответ: $l = 40$ см.

370. Сделаем поясняющий рисунок (см. рис. 178).

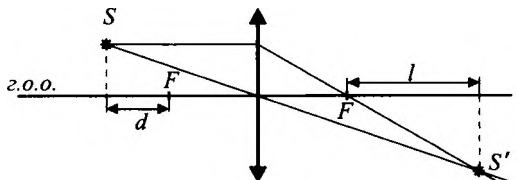


Рис. 178

Согласно формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d+f} + \frac{1}{l+f} = \frac{1}{f},$$

или

$$\frac{1}{d+f} + \frac{1}{4d+f} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{4d+f+d+f}{(d+f)(4d+f)} = \frac{1}{f},$$

$$5df + 2f^2 = 4d^2 + 5df + f^2,$$

$$f^2 = 4d^2,$$

откуда

$$f = 2d.$$

Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{l+f}{d+f} = \frac{4d+f}{d+f} = 2.$$

Ответ: 2.

371. Сделаем поясняющий рисунок (см. рис. 179).

Согласно закону преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v},$$

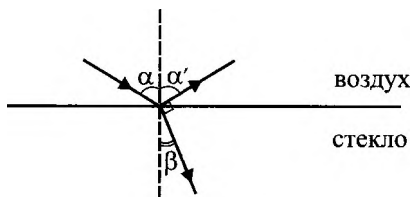


Рис. 179

где β — угол преломления. Из рисунка видно, что

$$\alpha' + \varphi + \beta = 180^\circ,$$

так как по закону отражения $\alpha' = \alpha$, а $\varphi = 90^\circ$ (по условию), то $\beta = 90^\circ - \alpha$. Получаем

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{v},$$

откуда

$$v = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Считаем:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8}{\operatorname{tg} 56^\circ} = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Ответ: $2 \cdot 10^8$ м/с.

372. Отметим на рисунке (см. рис. 180) углы падения лучей на грани призмы, а также углы преломления при переходе лучей в другую среду.

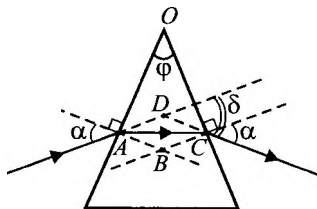


Рис. 180

Исходя из соображений симметрии можно сделать вывод, что угол падения на левую грань и угол выхода из правой грани равны, а также равны угол преломления на левой грани и угол падения на правую грань. В четырёхугольнике $ABCO$ $\angle A = \angle C = 90^\circ$, тогда

$$\angle B = 360^\circ - 2 \cdot 90^\circ - \varphi,$$

$$\angle B = 180^\circ - \varphi,$$

с другой стороны, в $\triangle ABC$

$$\angle B + 2\beta = 180^\circ,$$

$$\angle B = 180^\circ - 2\beta,$$

поэтому $\varphi = 2\beta$, $\beta = \frac{\varphi}{2} = 15^\circ$.

$$\alpha = \frac{\delta}{2} + \beta,$$

$$\alpha = 16^\circ + 15^\circ = 31^\circ.$$

Для $\triangle ACD$ угол δ — внешний, тогда $\delta = 2(\alpha - \beta)$. По закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n,$$

считаем $n = \frac{\sin 31^\circ}{\sin 15^\circ} \approx 2$.

Ответ: 2.

373. Так как на экране получают действительные изображения источника, то на основе формулы тонкой линзы можно записать:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f},$$

где a_1, a_2 — расстояния от источника до линзы, b_1, b_2 — расстояния от линзы до изображения.

Тогда

$$d = a_2 - a_1,$$

$$l = a_1 + b_1,$$

$$l = a_2 + b_2.$$

Решаем полученную систему из пяти уравнений относительно d :

$$b_1 = l - a_1,$$

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{l - a_1} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{l - a_1 + a_1}{a_1(l - a_1)} = \frac{1}{f},$$

$$lf = a_1l - a_1^2,$$

$$a_1^2 - a_1l + lf = 0,$$

$$a_1 = \frac{l \pm \sqrt{l^2 - 4lf}}{2},$$

$$a_1 = \frac{50 \pm \sqrt{2500 - 4 \cdot 50 \cdot 12}}{2} = 20, 30 \text{ см.}$$

Так как для a_2 получаем аналогичные значения, то $a_1 = 20$ см, $a_2 = 30$ см. Тогда

$$d = 30 - 20 = 10 \text{ см.}$$

Ответ: 10 см.

374. Пучок света испытывает преломление дважды: при входе в стеклянный шар и при выходе из него (см. рис. 181). При этом нормали к преломляющей поверхности в точках падения пучка совпадают с радиусами шара, проведёнными в эти точки.

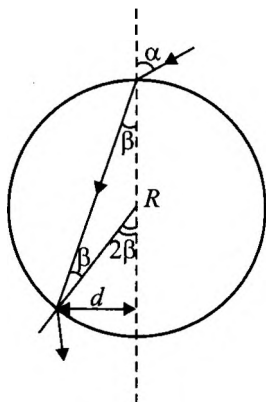


Рис. 181

Из рисунка видно, что искомое расстояние

$$d = R \sin 2\beta = 2R \sin \beta \cos \beta,$$

где β — угол преломления. По закону преломления

$$\sin \beta = \frac{1}{n} \sin \alpha.$$

Следовательно, $\cos \beta = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$. Объединяя записанные выражения, получаем ответ:

$$d = \frac{2R}{n^2} \sin \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Ответ: $\frac{2R}{n^2} \sin \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$.

375. После прохождения света через клин пучок останется параллельным, отклонившись на угол β (см. рис. 182) от первоначального направления: $\beta = r - \alpha$; угол r находится из закона преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin r} = \frac{1}{n},$$

т.е. $\varphi = \arcsin(n \sin \alpha) - \alpha$.

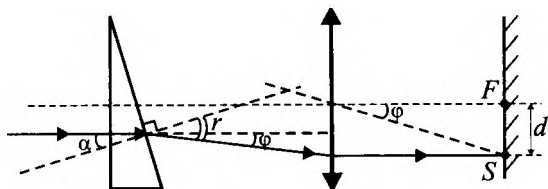


Рис. 182

Параллельный пучок света собирается в точку S на фокальной плоскости линзы, причём $d = F \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Поскольку все углы малы, $\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$, $\sin \alpha \approx \alpha$, $\arcsin(n \sin \alpha) \approx n\alpha$, тогда $\operatorname{tg} \varphi \approx n\alpha - \alpha$, и $d = F\alpha(n - 1)$.

Ответ: $d = F\alpha(n - 1)$.

376. Сделаем поясняющий рисунок (см. рис. 183).

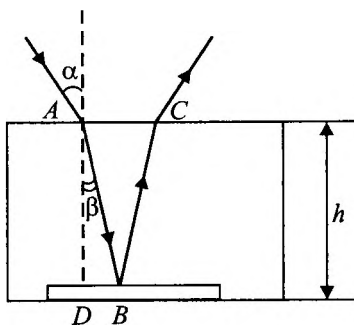


Рис. 183

По закону преломления света $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$. Откуда следует:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}.$$

Рассмотрим $\triangle ABD$. $\angle D$ — прямой. Тогда можем записать:

$$DB = AD \operatorname{tg} \beta = h \operatorname{tg} \beta = h \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = h \frac{\sin \beta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}} = h \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

Получаем следующее выражение:

$$AC = 2DB = 2h \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

После подстановки чисел получим: $AC = 2 \cdot 2 \frac{0,5}{\sqrt{1,33^2 - 0,5^2}} = 1,63 \text{ м.}$

Ответ: 1,63 м.

377. По формуле тонкой линзы для двояковыпуклой линзы

$$\frac{1}{F} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

оптическая сила линзы

$$D = \frac{1}{F} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

причём для воздуха $N = n$, так как показатель преломления близок к 1, а для сероуглерода $N = \frac{n}{n_1}$. Тогда в воздухе

$$D = (1,5 - 1) \left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{0,2} \right) = 4,5 \text{ дптр,}$$

в сероуглероде

$$D = \left(\frac{1,5}{1,62} - 1 \right) \left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{0,2} \right) = -0,67 \text{ дптр.}$$

Ответ: 4,5 дптр, -0,67 дптр.

378. Сделаем поясняющий рисунок (см. рис. 184).

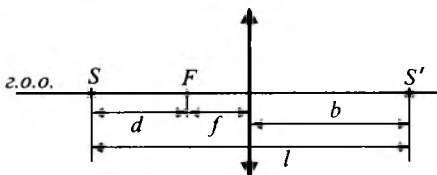


Рис. 184

На основе формулы тонкой линзы можно записать:

$$\frac{1}{d+f} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

из рисунка видно, что $b = l - (d + f)$, тогда

$$\frac{1}{d+f} + \frac{1}{l - (d+f)} = \frac{1}{f},$$

$$(d+f)(l - (d+f)) = lf,$$

$$dl + fl - d^2 - 2fd - f^2 = lf,$$

$$f^2 + 2df + d(d-l) = 0,$$

$$f_{1,2} = \frac{-2d \pm \sqrt{4d^2 - 4(d^2 - dl)}}{2} = -d \pm \sqrt{dl},$$

так как $f = -d - \sqrt{dl} < 0$, то его отбрасываем, поэтому $f = \sqrt{dl} - d$.
Считаем:

$$f = \sqrt{5 \cdot 20} - 5 = 5 \text{ см.}$$

Ответ: 5 см.

379. Угол $\varphi = 45^\circ$ по условию (см. рис. 185), на гранях AB и BC луч испытывает полное внутреннее отражение, так что

$$\begin{cases} \sin \alpha \geq \frac{1}{n}, \\ \sin \alpha' \geq \frac{1}{n}. \end{cases}$$

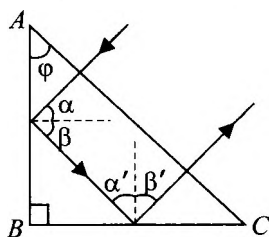


Рис. 185

Очевидно, что $\alpha = \beta$, $\alpha' = \beta'$, поэтому $\alpha' = \frac{\pi}{2} - \alpha$, и условие

$\sin \alpha' \geq \frac{1}{n}$ переходит в $\cos \alpha \geq \frac{1}{n}$.

Значит,
$$\begin{cases} \sin^2 \alpha \geq \frac{1}{n^2}, \\ \cos^2 \alpha \geq \frac{1}{n^2}, \end{cases} \text{ откуда } \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \geq \frac{2}{n^2}, \text{ т.е. } n \geq \sqrt{2}.$$

Ответ: $n \geq \sqrt{2}$.

380. Сделаем рисунок 186:

Запишем закон преломления для границы «воздух–стекло»:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_c.$$

На границе «стекло–вода» будет наблюдаться полное отражение, если

$$\beta \geq \beta_{\text{пр}},$$

где предельный угол находится из условия $\frac{\sin \beta_{\text{пр}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_b}{n_c}$,

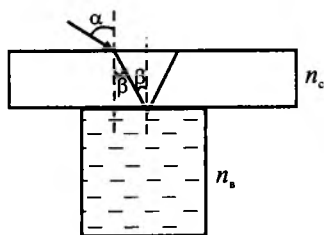


Рис. 186

$$\sin \beta_{\text{пр}} = \frac{n_b}{n_c}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= n_c \sin \beta, \\ \sin \alpha &\geq n_c \cdot \sin \beta_{\text{пр}}, \end{aligned}$$

$$\sin \alpha \geq n_c \cdot \frac{n_b}{n_c},$$

$$\sin \alpha \geq n_b,$$

значит, ни при каких углах падения полное отражение на границе «стекло—вода» происходить не будет.

Ответ: ни при каких углах падения полное отражение на границе «стекло—вода» происходить не будет.

392. Максимальный порядок дифракционного спектра будет при углах дифракции близких к 90° . Для 90° условие наблюдения максимумов приобретает вид $d = k_{\text{max}} \cdot \lambda$. Отсюда

$$k_{\text{max}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{650 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 4,6.$$

Пятый максимум в спектр уже не поместится. Максимальный порядок спектра 4.

Ответ: 4.

393. Из формулы дифракционной решётки

$$n\lambda = d \sin \varphi$$

следует, что наибольший порядок спектра $n_{\text{макс}}$ получится при условии $\sin \varphi = 1$.

Таким образом, получим: $n_{\text{макс}} = \frac{d}{\lambda_2}$.

Величину постоянной решётки определим из формулы решётки:

$$2\lambda_1 = d \sin \varphi.$$

Окончательно имеем:

$$n_{\text{макс}} = \frac{2\lambda_1}{\lambda_2 \sin 30^\circ} = 4.58.$$

Полных порядков спектра будет 4.

Ответ: 4.

394. Углы, под которыми мы можем наблюдать линии в спектре,

$$\varphi_m \leq \frac{\pi}{2},$$

поэтому условие главных максимумов для дифракционной решётки

$$\sin \frac{\pi}{2} \geq \frac{m\lambda}{d},$$

откуда

$$m \leq \frac{\lambda}{d},$$

$$m \leq \frac{2 \cdot 10^{-6}}{589 \cdot 10^{-9}} = 3,3,$$

тогда $m = 3$. Число максимумов в дифракционной картине

$$N = 2m + 1,$$

$$N = 7.$$

Ответ: 7.

395. Выполним рисунок 187:

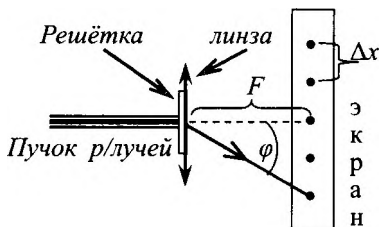


Рис. 187

Уравнение для главных максимумов дифракционной решётки

$$d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda, \quad (1)$$

где k — целое число.

Углы дифракции для первых максимумов, вблизи центрального, очень малы, т.е. $\sin \varphi \approx \text{tg } \varphi$. Из условия задачи и соответствующего условию рисунка следует, что

$$\sin \varphi \approx \text{tg } \varphi = \frac{k \cdot \Delta x}{F}. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим $d \cdot \frac{k \cdot \Delta x}{F} = k \cdot \lambda$, откуда следует, что

$$\lambda = \frac{d \cdot \Delta x}{F}.$$

Ответ: $\lambda = \frac{d \cdot \Delta x}{F}$.

401. В результате фотоэффекта электроны покидают шар и он приобретает положительный заряд. Этот заряд возрастёт до такого значения, при котором электрическое поле шара сможет удерживать все электроны, выбитые в результате фотоэффекта. Это станет возможным при равенстве кинетической энергии электронов $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ потенциальной энергии взаимодействия электронов с заряженным шаром $\left(W_p = e\varphi = ek\frac{q}{r}\right)$. Таким образом, имеем

$$ek\frac{q}{r} = \frac{mv^2}{2} = h\frac{c}{\lambda} - A_{\text{вых}},$$

откуда

$$ek\frac{q}{r} = h\frac{c}{\lambda} - A_{\text{вых}}$$

или

$$q = \frac{r}{k} \left(h\frac{c}{e\lambda} - \frac{A_{\text{вых}}}{e} \right) =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 9 \cdot 10^9} \left(6,6 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-7}} - 2,2 \right) = 5,35 \cdot 10^{-13} \text{ Кл.}$$

Ответ: $5,35 \cdot 10^{-13}$ Кл.

402. Согласно уравнению Эйнштейна, красная граница фотоэффекта определяется работой A выхода электрона из металла: $A = \frac{hc}{\lambda_0}$.

При освещении ультрафиолетовым светом кинетическая энергия вылетевшего электрона

$$E_k = \frac{hc}{\lambda} - A = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right).$$

Эта энергия расходуется на совершение работы против сил электрического поля, т.е. $E_k = eEl$. Отсюда

$$l = \frac{E_k}{eE} = \frac{hc}{eE} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right);$$

$$l = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 750} \left(\frac{1}{83 \cdot 10^{-9}} - \frac{1}{332 \cdot 10^{-9}} \right) = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Ответ: $1,5 \cdot 10^{-2}$ м.

403. Запишем уравнение движения электрона по окружности в магнитном поле, если его скорость перпендикулярна линиям индукции этого поля:

$$evB = \frac{mv^2}{R}.$$

Отсюда можно найти радиус окружности: $R = \frac{mv^2}{evB} = \frac{mv}{eB}$.

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Выразим отсюда скорость электрона:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)} = 7 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

Окончательно получим: $R \approx 4,8$ мм.

Ответ: 4,8 мм.

404. Уравнение Эйнштейна при первом освещении

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A + e \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{N_1 e}{r},$$

N_1 — число вылетевших электронов. Аналогично, если начать освещение λ_2 , то

$$\frac{hc}{\lambda_2} = A + e \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{N_2 e}{r},$$

N_2 — число электронов, покинувших шар в этот раз. Число дополнительных электронов

$$\Delta N = \frac{hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) 4\pi\epsilon_0 r}{e^2} = 7,2 \cdot 10^6.$$

Ответ: $7,2 \cdot 10^6$.

405. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$E = A + E_k.$$

Отсюда следует:

$$E_k = E - A.$$

С другой стороны, кинетическая энергия электрона

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Тогда легко получить

$$\frac{p^2}{2m} = E - A,$$

откуда

$$p = \sqrt{2m(E - A)}.$$

После подстановки исходных данных можно получить результат:

$$p = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}(5 - 4,7)} = 2,96 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $2,96 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

406. По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

$$\frac{mv^2}{2} = eU, \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

Частоту выражаем через длину волны и скорость света:

$$\nu = c/\lambda.$$

Работа выхода электрона из металла

$$A = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}.$$

Уравнение Эйнштейна примет вид:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + eU,$$

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} - eU}.$$

Переводя в систему СИ $400 \text{ нм} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ и подставляя численные значения, получаем: $\lambda_{\text{кр}} = 7,76 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Ответ: 776 нм.

407. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид

$$h\nu = A + eU.$$

Отсюда

$$h\nu = 5 \text{ эВ} = 8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Импульс фотона

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 2,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

Ответ: $2,67 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

408. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + E_k,$$

откуда

$$E_k = h\nu - A,$$

с другой стороны,

$$E_k = eU,$$

тогда

$$h\nu - A = eU,$$

где $U = Ed$.

Напряжённость поля в зазоре между обкладками

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

заряд, накапливающийся на обкладке, $q = eN\tau$, поэтому

$$U = \frac{eN\tau d}{S\varepsilon_0}.$$

Получаем

$$h\nu - A = \frac{e^2 N \tau d}{S\varepsilon_0},$$

искмое время

$$\tau = \frac{S\varepsilon_0}{e^2 N d} (h\nu - A).$$

Считаем:

$$\tau = \frac{10 \cdot 10^{-4} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{1,6^2 \cdot 10^{-38} \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} (6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 25 \text{ мс}.$$

Ответ: 25 мс.

409. По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda},$$

$$A = h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}, \quad \frac{mv^2}{2} = eU_3.$$

Тогда уравнение Эйнштейна принимает вид:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + eU_3.$$

Откуда

$$U_3 = \frac{\left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{кр}}\right)}{e}$$

По формуле взаимосвязи напряжения и напряжённости

$$U_3 = Ed,$$

где d — расстояние вдоль силовых линий поля. Отсюда:

$$d = \frac{U_3}{E},$$

$$d = \frac{\left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{кр}}\right)}{eE}$$

Переводя в систему СИ

$$350 \text{ нм} = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ м} \quad \text{и} \quad 400 \text{ нм} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

и подставляя численные значения, получаем:

$$d = 2 \text{ мм.}$$

Ответ: 2 мм.

410. Кинетическая энергия электрона

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m},$$

энергия фотона

$$E = h\nu,$$

где $\nu = \frac{c}{\lambda}$, тогда

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{hc}{\lambda},$$

откуда

$$p = \sqrt{\frac{2mhc}{\lambda}}$$

Считаем:

$$p = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{589 \cdot 10^{-9}}} = 7,8 \cdot 10^{-25} \text{ кг·м/с.}$$

Ответ: $7,8 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с.

411. Среднеквадратичная скорость молекулы

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

тогда импульс атома гелия

$$p = m_0 v = m_0 \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

где $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$ — масса атома гелия.

Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

$$\lambda = \frac{h}{\frac{\mu}{N_A} \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}} = \frac{h N_A}{\sqrt{3RT \mu}}.$$

Считаем:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{\sqrt{3 \cdot 8,31 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}} = 7,3 \cdot 10^{-11} \text{ м} = 73 \text{ пм}.$$

Ответ: 73 пм.

$$412. \quad \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad \frac{1}{\lambda_{\text{Л}}} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right);$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{Б}}} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right);$$

$$\lambda_{\text{Б}} = \lambda_{\text{Л}} \frac{\frac{1}{1^2} - \frac{1}{1^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}} = 0,648 \text{ мкм}.$$

Ответ: 0,648 мкм.

413. Как известно, $\Delta E = E_n - E_1$.

$$E_n = \Delta E + E_1 = 12,7 \text{ эВ} - 13,6 \text{ эВ} = 0,85 \text{ эВ}.$$

Из теории Бора

$$E_n = \frac{E_1}{n} \Rightarrow n^2 = \frac{E_1}{E_n}.$$

$$n^2 = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{-0,85 \text{ эВ}} = 16 \Rightarrow n = 4.$$

Полученной энергии (ΔE) достаточно, чтобы атом перешёл в возбуждённое состояние, соответствующее четвёртому уровню. Изобразим диаграмму уровней (см. рис. 188).

Для того чтобы атом излучил квант света с максимальной длиной волны, энергия кванта должна быть минимальна. Из приведённой диаграммы уровней очевидно, что это соответствует переходу с $n = 4$ на

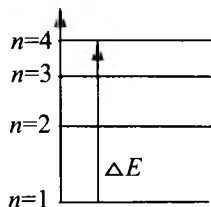


Рис. 188

$n = 3$.

$$\Delta E_{43} = E_4 - E_3 = E_1 \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{3^2} \right) = -13,6 \text{ эВ} \left(\frac{1}{16} - \frac{1}{9} \right) = 0,66 \text{ эВ}.$$

Но $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ согласно гипотезе Планка, откуда $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$.

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,66 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 1,88 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,88 \text{ мкм}.$$

Ответ: 1,88 мкм.

436. Пусть V_0 — объём раствора, который первоначально ввели больному. Тогда активность всего введённого раствора

$$A_0 = \alpha_0 \cdot V_0 \quad (1).$$

Со временем активность убывает в соответствии с законом радиоактивного распада, т.е.

$$A(t) = A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (2).$$

Активность одного кубического сантиметра крови пациента

$$a(t) = a = \frac{A(t)}{V} \quad (3),$$

где V — объём всей крови пациента.

Подставив (1) в (2) и затем в (3), получим: $a = \frac{\alpha_0 V_0}{V} \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$. Откуда

легко найти, что $V_0 = V \cdot \frac{a \cdot 2^{\frac{t}{T}}}{\alpha_0} \approx 1 \text{ см}^3$.

Ответ: $\approx 1 \text{ см}^3$.

437. Энергия одного распада $E_1 = \frac{P}{n}$. Кинетическая энергия α -частицы

$$E_1 = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_1}{m}}.$$

Масса α -частицы $m = \frac{\mu \text{He}}{N_A}$. Окончательно

$$\nu = \sqrt{\frac{2PN_a}{n\mu_{He}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{1,2 \cdot 10^{12} \cdot 0,004}} \approx 5 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Ответ: $5 \cdot 10^6$ м/с.

438. Согласно закону радиоактивного распада число нераспавшихся ядер

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T^{1/2}}}.$$

Тогда количество распавшихся ядер

$$N_0 - N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T^{1/2}}}\right),$$

а их доля

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T^{1/2}}}.$$

Считаем

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - 2^{-\frac{8}{143}} = 0,32.$$

Ответ: 0,32.

439. Количество атомов урана в образце массой m равно

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

При распаде этого количества ядер выделится энергия $W = NW_0$, где $W_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ эВ} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ — энергия распада одного атома. Энергия W равна полной энергии электростанции. По определению КПД имеем

$$\eta = \frac{P_{\text{полез}}}{P_{\text{полн}}} \cdot 100\%,$$

где $P_{\text{полез}}$ — полезная мощность, $P_{\text{полн}}$ — полная мощность. Следовательно, $P_{\text{полн}} = \frac{P_{\text{полез}} \cdot 100\%}{\eta} = \frac{P_{\text{полез}}}{0,15}$. С другой стороны, $P_{\text{полн}} = \frac{W}{t}$, следовательно,

$$\begin{aligned} t &= \frac{W}{P_{\text{полн}}} = \frac{W \cdot 0,15}{P_{\text{полез}}} = \\ &= 0,15 \cdot \frac{70,5 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}}{235 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^6} = 0,1728 \cdot 10^9 \text{ с} = 2000 \text{ суток.} \end{aligned}$$

Ответ: 2000 суток.

440. 1) Т.к. $10 \text{ кг} = 10^4 \text{ г}$, а $1 \text{ час} = 3600 \text{ секунд}$, определим количество распадов в живых тканях в 1 секунду на 10 кг углерода: $\frac{840 \cdot 10^4}{3600}$ распадов.

2) Т.к количество распадов в единицу времени пропорционально количеству атомов радиоактивного вещества, то можно записать

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1650 \cdot 3600}{840 \cdot 10^4} = \frac{59,4}{84},$$

где N_0 — количество радиоактивных ядер в начальный момент, пропорциональное количеству распадов в живых тканях в 1 секунду на 10 кг углерода и соответствующее моменту создания мумии, N — количество радиоактивных ядер по прошествии t лет (равное возрасту мумии), пропорциональное текущему количеству распадов в тканях мумии в 1 секунду на 10 кг углерода.

3) По закону радиоактивного распада

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}},$$

где T — период полураспада.

$$t = T \log_2 \frac{N_0}{N} = 5600 \log_2 \frac{84}{59,4} = 2800 \text{ лет.}$$

Ответ: 2800 лет.

Использованная литература

1. *Демидова М. Ю.* Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2018 года по физике. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fipi.ru>.

2. Методические материалы для председателей и членов предметных комиссий субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ 2018 г. / *М. Ю. Демидова* и др. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fipi.ru>.

3. *Демидова М. Ю., Лебедева И. Ю., Фрадкин В. Е.* Методические рекомендации по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом, 2014 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fipi.ru>.

4. *Демидова М. Ю., Нурминский А. И.* Методические рекомендации по оцениванию выполнения заданий с развёрнутым ответом, 2011 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fipi.ru>.

5. КИМ ЕГЭ по физике. ФИПИ 2002–2018 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fipi.ru>.

ЕГЭ

Учебное издание

Монастырский Лев Михайлович
Безуглова Галина Сергеевна

**ФИЗИКА. ЕГЭ.
ЗАДАНИЯ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ**

Под редакцией *Л. М. Монастырского*

Налоговая льгота: издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Обложка *М. Сафиуллина*
Компьютерная вёрстка *Г. Безуглова*
Корректор *Н. Пимонова*

Подписано в печать с оригинал-макета 18.06.2019.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага типографская.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,95.
Тираж 5 000 экз. Заказ № 9281.

ООО «ЛЕГИОН-М»
Для писем: 344000, г. Ростов-на-Дону, а/я 550.
Адрес редакции: 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Согласия, 7.
www.legionr.ru e-mail: legionrus@legionrus.com

Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Принт-М», 142300, М.О., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1