



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

ФИЗИКА

ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО
ЭКЗАМЕНА И ОЛИМПИАДЫ
“ЛОМОНОСОВ”

В МГУ – 2018

(с подробными решениями)



Москва
2018

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

ФИЗИКА
ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
И ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ»
В МГУ – 2018

(с подробными решениями)

МАКС ПРЕСС

Москва - 2018

УДК 53(075.3)
ББК 22.3я729

Коллектив авторов:

*Боков П.Ю., Буханов В.М., Грачев А.В., Зотеев А.В., Иванова О.С.,
Козлов С.Н., Лукашева Е.В., Мартышов М.Н., Невзоров А.Н.,
Никитин С.Ю., Плотников Г.С., Погожев В.А., Подымова Н.Б.,
Полякова М.С., Поляков П.А., Склянкин А.А., Чесноков С.С.,
Чистякова Н.И., Шленов С.А.*

Физика. Задачи профильного экзамена и олимпиады «Ломоносов» в МГУ – 2018 (с подробными решениями) / Боков П.Ю. и др. Под ред. В.А. Макарова – М.: МАКС Пресс, 2018. – 48 с.: ил.
ISBN 978-5317-05922-4

Сборник содержит материалы профильного вступительного экзамена и двухтуровой олимпиады для школьников «Ломоносов – 2017/2018» по физике, проводившейся в МГУ в 2017 – 2018 годах. В начале сборника помещена Программа по физике для поступающих в МГУ. Далее следуют условия задач олимпиады «Ломоносов» по физике, вошедшей в Перечень олимпиад школьников на 2017/2018 учебный год, утвержденный Минобразования РФ. В конце первой части сборника помещены задания профильного экзамена по физике, проводившегося в 2018 году на физическом факультете МГУ и в его Севастопольском филиале.

Во второй части сборника приведены подробные решения всех задач, содержащие обоснования применимости используемых законов и допущений, а также анализ полученных ответов.

Для учащихся старших классов, абитурантов, учителей и преподавателей, ведущих занятия по физике со школьниками.

УДК 53(075.3)
ББК 22.3я729

ISBN 978-5317-05922-4

© Авторский коллектив, 2018
© Физический факультет МГУ, 2018
© Оформление ООО «МАКС Пресс», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Программа вступительных испытаний по физике	4	
	Условия	Решения
Олимпиада «Ломоносов – 2017/2018»	15	28
I. Отборочный этап	15	28
Задание для 7-х – 9-х классов	15	28
Первый тур	15	28
Второй тур	16	30
Задание для 10-х – 11-х классов	17	31
Первый тур	17	31
Второй тур	18	34
II. Заключительный этап	20	37
Задание для 7-х – 8-х классов	20	37
Задание для 9-х классов	21	39
Задание для 10-х – 11-х классов	22	41
Профильный экзамен 2018	24	43
I. Механика	24	43
II. Молекулярная физика и термодинамика	25	44
III. Электродинамика	26	45
IV. Оптика	26	46

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В МГУ^{*)}

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящая программа составлена на основе ныне действующих учебных программ для школ и классов с углубленным изучением физики.

При подготовке к экзамену основное внимание следует уделить выявлению сущности физических законов и явлений, умению истолковывать физический смысл величин и понятий, а также умению применять теоретический материал к решению задач. Необходимо уметь пользоваться при вычислениях системой СИ и знать внесистемные единицы, указанные в программе.

Глубина ответов на пункты программы определяется содержанием опубликованных учебников для школ и классов с углубленным изучением физики, указанных в конце настоящей программы.

1. МЕХАНИКА

1.1. Кинематика

Механическое движение. Относительность механического движения. Материальная точка. Система отсчета. Траектория. Вектор перемещения и его проекции. Путь.

Скорость. Сложение скоростей.

Ускорение. Сложение ускорений.

Прямолинейное равномерное и равнопеременное движения. Зависимости скорости, координат и пути от времени.

Криволинейное движение. Движение по окружности. Угловая скорость. Период и частота обращения. Ускорение тела при движении по окружности. Тангенциальное и нормальное ускорения.

Свободное падение тел. Ускорение свободно падающего тела. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Дальность и высота полета.

Поступательное и вращательное движения твердого тела.

^{*)} Программа утверждена на заседании Ученого совета МГУ 8 декабря 2003 г.

1.2. Динамика

Взаимодействие тел. Первый закон Ньютона. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Принцип относительности Галилея.

Сила. Силы в механике. Сложение сил, действующих на материальную точку.

Инертность тел. Масса. Плотность.

Второй закон Ньютона. Единицы измерения силы и массы

Третий закон Ньютона.

Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Сила тяжести. Зависимость силы тяжести от высоты.

Силы упругости. Понятие о деформациях. Закон Гука. Модуль Юнга.

Силы трения. Сухое трение: трение покоя и трение скольжения. Коэффициент трения. Вязкое трение.

Применение законов Ньютона к поступательному движению тел. Вес тела. Невесомость. Перегрузки.

Применение законов Ньютона к движению материальной точки по окружности. Движение искусственных спутников. Первая космическая скорость.

1.3. Законы сохранения в механике

Импульс (количество движения) материальной точки. Импульс силы. Связь между приращением импульса материальной точки и импульсом силы. Импульс системы материальных точек. Центр масс системы материальных точек. Закон сохранения импульса. Реактивное движение.

Механическая работа. Мощность. Энергия. Единицы измерения работы и мощности.

Кинетическая энергия материальной точки и системы материальных точек. Связь между приращением кинетической энергии тела и работой приложенных к телу сил.

Потенциальная энергия. Потенциальная энергия тел вблизи поверхности Земли. Потенциальная энергия упруго деформированного тела.

Закон сохранения механической энергии.

1.4. Статика твердого тела

Сложение сил, приложенных к твердому телу. Момент силы относительно оси вращения. Правило моментов.

Условия равновесия тела. Центр тяжести тела. Устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесия тел.

1.5. Механика жидкостей и газов

Давление. Единицы измерения давления: паскаль, мм рт. ст.

Закон Паскаля. Гидравлический пресс. Давление жидкости на дно и стенки сосуда. Сообщающиеся сосуды.

Атмосферное давление. Опыт Торричелли. Изменение атмосферного давления с высотой.

Закон Архимеда для тел, находящихся в жидкости или газе. Плавание тел.

Движение жидкостей. Уравнение Бернулли.

1.6. Механические колебания и волны. Звук

Понятие о колебательном движении. Период и частота колебаний.

Гармонические колебания. Смещение, амплитуда и фаза при гармонических колебаниях.

Свободные колебания. Колебания груза на пружине. Математический маятник. Периоды их колебаний. Превращения энергии при гармонических колебаниях. Затухающие колебания.

Вынужденные колебания. Резонанс.

Понятие о волновых процессах. Поперечные и продольные волны. Длина волны. Скорость распространения волн. Фронт волны. Уравнение бегущей волны. Стоячие волны.

Интерференция волн. Принцип Гюйгенса. Дифракция волн.

Звуковые волны. Скорость звука. Громкость и высота звука.

2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.1. Основы молекулярно-кинетической теории

Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытное обоснование. Броуновское движение. Масса и размер молекул. Моль вещества. Постоянная Авогадро. Характер движения молекул в газах, жидкостях и твердых телах.

Тепловое равновесие. Температура и ее физический смысл. Шкала температур Цельсия.

Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа. Средняя кинетическая энергия молекул и температура. Постоянная Больцмана. Абсолютная температурная шкала.

Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа). Универсальная газовая постоянная. Изотермический, изохорный и изобарный процессы.

2.2. Элементы термодинамики

Термодинамическая система. Внутренняя энергия системы. Количество теплоты и работа как меры изменения внутренней энергии. Теплоемкость тела. Понятие об адиабатическом процессе. Первый закон термодинамики. Применение первого закона термодинамики к изотермическому, изохорному и изобарному процессам. Расчет работы

газа с помощью pV -диаграмм. Теплоемкость одноатомного идеального газа при изохорном и изобарном процессах.

Необратимость процессов в природе. Второй закон термодинамики. Физические основы работы тепловых двигателей. КПД теплового двигателя и его максимальное значение.

2.3. Изменение агрегатного состояния вещества

Парообразование. Испарение, кипение. Удельная теплота парообразования. Насыщенный пар. Зависимость давления и плотности насыщенного пара от температуры. Зависимость температуры кипения от давления. Критическая температура.

Влажность. Относительная влажность.

Кристаллическое и аморфное состояние вещества. Удельная теплота плавления.

Уравнение теплового баланса.

2.4. Поверхностное натяжение в жидкостях

Сила поверхностного натяжения. Явления смачивания и несмачивания. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Капиллярные явления.

2.5. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей

Тепловое линейное расширение. Тепловое объемное расширение. Тепловое расширение жидкостей. Особенности теплового расширения воды.

3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

3.1. Электростатика

Электрические заряды. Элементарный электрический заряд. Проводники и диэлектрики. Закон сохранения электрического заряда.

Взаимодействие электрически заряженных тел. Электроскоп. Точечный заряд. Закон Кулона.

Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Линии напряженности электрического поля (силовые линии). Однородное электрическое поле. Напряженность электростатического поля точечного заряда. Принцип суперпозиции полей. Теорема Гаусса. Поле равномерно заряженных плоскости, сферы и шара.

Работа сил электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь разности потенциалов с напряженностью электростатического поля. Потенциал поля точечного заряда. Эквипотенциальные поверхности.

Проводники и диэлектрики в электростатическом поле. Диэлектрическая проницаемость вещества. Электроемкость. Конденсаторы. Поле плоского конденсатора. Электроемкость плоского конденсатора. Последовательное и параллельное соединение конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора.

Энергия электрического поля.

3.2. Постоянный ток

Электрический ток. Сила тока. Условия существования тока в цепи. Электродвижущая сила (ЭДС). Напряжение.

Закон Ома для участка цепи. Омическое сопротивление проводника. Удельное сопротивление. Зависимость удельного сопротивления от температуры. Сверхпроводимость. Последовательное и параллельное соединение проводников. Измерение силы тока, напряжения и сопротивления.

Закон Ома для полной цепи. Источники тока, их соединение. Правила Кирхгофа.

Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.

Электрический ток в металлах.

Электрический ток в электролитах. Законы электролиза.

Электрический ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. Электронная лампа – диод. Электронно-лучевая трубка.

Полупроводники. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Зависимость проводимости полупроводников от температуры. *p-n* – переход и его свойства. Полупроводниковый диод. Транзистор. Термистор и фоторезистор.

Электрический ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Понятие о плазме.

3.3. Магнетизм

Магнитное поле. Действие магнитного поля на рамку с током. Индукция магнитного поля (магнитная индукция). Линии магнитной индукции. Картины магнитного поля прямого тока и соленоида. Понятие о магнитном поле Земли.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Закон Ампера.

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.

Магнитные свойства вещества. Гипотеза Ампера. Ферромагнетика.

3.4. Электромагнитная индукция

Магнитный поток. Опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца.

Самоиндукция. Индуктивность. ЭДС самоиндукции.

Энергия магнитного поля тока.

3.5. Электромагнитные колебания и волны

Переменный электрический ток. Амплитудное и действующее (эффективное) значение периодически изменяющегося напряжения и тока.

Получение переменного тока с помощью индукционных генераторов. Трансформатор. Передача электрической энергии.

Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Превращение энергии в колебательном контуре. Уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре, и его решение. Формула Томсона для периода колебаний. Затухающие электромагнитные колебания.

Вынужденные колебания в электрических цепях. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления в цепи гармонического тока. Резонанс в электрических цепях.

Открытый колебательный контур. Опыты Герца. Электромагнитные волны. Их свойства. Шкала электромагнитных волн. Излучение и прием электромагнитных волн. Принципы радиосвязи.

4. ОПТИКА

4.1. Геометрическая оптика

Развитие взглядов на природу света. Закон прямолинейного распространения света. Понятие луча.

Интенсивность (плотность потока) излучения. Световой поток. Освещенность.

Законы отражения света. Плоское зеркало. Сферическое зеркало. Построение изображений в плоском и сферическом зеркалах.

Законы преломления света. Абсолютный и относительный показатели преломления. Ход лучей в призме. Явление полного (внутреннего) отражения.

Тонкие линзы. Фокусное расстояние и оптическая сила линзы. Построение изображения в собирающих и рассеивающих линзах. Формула линзы. Увеличение, даваемое линзами.

Оптические приборы: лупа, фотоаппарат, проекционный аппарат, микроскоп. Ход лучей в этих приборах. Глаз.

4.2. Элементы физической оптики

Волновые свойства света. Поляризация света. Электромагнитная природа света.

Скорость света в однородной среде. Дисперсия света. Спектроскоп. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения.

Интерференция света. Когерентные источники. Условия образования максимумов и минимумов в интерференционной картине.

Дифракция света. Опыт Юнга. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционная решетка.

Корпускулярные свойства света. Постоянная Планка. Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Фотон. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Давление света. Опыты Лебедева по измерению давления света.

Постулаты теории относительности (постулаты Эйнштейна). Связь между массой и энергией.

5. АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

Опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц. Планетарная модель атома. Квантовые постулаты Бора. Испускание и поглощение энергии атомом. Непрерывный и линейчатый спектры. Спектральный анализ.

Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц: камера Вильсона, счетчик Гейгера, пузырьковая камера, фотоэмульсионный метод.

Состав ядра атома. Изотопы. Энергия связи атомных ядер. Понятие о ядерных реакциях. Радиоактивность. Виды радиоактивных излучений и их свойства. Цепные ядерные реакции. Термоядерная реакция.

Биологическое действие радиоактивных излучений. Защита от радиации.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физика: Механика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики /Под ред. Г.Я. Мякишева. – М.: Дрофа, 2001.
2. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2001.
3. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика. 10 – 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2001.
4. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Колебания и волны. 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2001.
5. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2001.
6. Буховцев Б.Б., Кривченков В.Д., Мякишев Г.Я., Сараева И.М. Задачи по элементарной физике. – М.: Физматлит, 2000 и последующие издания.
7. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.Г., Мякишев Г.Я. Физика. Для поступающих в вузы: Учебн. пособие. Для подготов. отделений вузов. – М.: Физматлит, 2000 и последующие издания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев А.В., Погожев В.А., Селиверстов А.В. Физика: 7 класс: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Граф, 2007.
2. Грачев А.В., Погожев В.А., Вишнякова Е.А. Физика: 8 класс: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Граф, 2008.
3. Грачев А.В., Погожев В.А., Боков П.Ю. Физика: 9 класс: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Граф, 2010.
4. Грачев А.В., Погожев В.А., Салецкий А.М., Боков П.Ю. Физика: 10 класс: Базовый уровень; профильный уровень: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Граф, 2011.

5. Грачев А.В., Погожев В.А., Салецкий А.М., Боков П.Ю. Физика: 11 класс: Базовый уровень; профильный уровень: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Граф, 2012.
6. Элементарный учебник физики /под ред. Г.С. Ландсберга. В 3-х кн. – М.: Физматлит, 2000 и последующие издания.
7. Яворский Б.М., Селезнев Ю.Д. Физика. Справочное пособие. Для поступающих в вузы. – М.: Физматлит, 2000 и последующие издания.
8. Физика. Учебники для 10 и 11 классов школ и классов с углубленным изучением физики /под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 2000 и последующие издания.
9. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика. В 3-х кн. М.: Физматлит, 2001.
10. Павленко Ю.Г. Физика. Полный курс для школьников и поступающих в вузы: Учебное пособие. – М.: Большая Медведица, 2002.
11. Сборник задач по физике /под ред. С.М. Козела – М.: Просвещение, 2000 и предшествующие издания.
12. Гольдфарб Н.И. Физика. Задачник. 9 – 11 кл.: Пособие для общеобразовательных учебных заведений. – М.: Дрофа, 2000 и последующие издания.
13. Задачи по физике /под ред. О.Я. Савченко – М.: Наука, 1988.
14. Задачи вступительных экзаменов и олимпиад по физике в МГУ – 1992–2013. – М.: Физический факультет МГУ, 2013 и предшествующие издания.
15. Отличник ЕГЭ. Физика. Решение сложных задач /под ред. В.А. Макарова, М.В. Семенова, А.А. Якуты; ФИПИ. – М.: Интеллект–Центр, 2010.
16. Драбович К.Н., Макаров В.А., Чесноков С.С. Физика. Подготовка к вступительным испытаниям в МГУ. – М.: Макс Пресс, 2009.
17. Драбович К.Н., Макаров В.А., Чесноков С.С. Физика. 770 задач с подробными решениями. – М.: Макс Пресс, 2009.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ – 2017/2018»

В 2017/2018 учебном году олимпиада «Ломоносов» по физике в МГУ проводилась в два этапа – отборочный и заключительный. Отборочный этап проходил в форме заочного испытания. На этом этапе каждый ученик 7-го – 11-го классов мог участвовать по собственному выбору в одном или двух турах, проводимых по единой форме. Задания каждого из туров были равноценными по сложности и составлялись отдельно для учащихся младших (7-х – 9-х) и старших (10-х – 11-х) классов. Эти задания были размещены в личных кабинетах участников на сайте <http://olymp.msu.ru>. Доступ к условиям заданий был открыт для участников дважды: с 13 по 17 ноября 2017 года (1-й тур) и с 6 по 10 декабря 2017 года (2-й тур). Прием решений и ответов по каждому из туров прекращался одновременно с их завершением.

Победители и призеры отборочного этапа были приглашены для участия в заключительном этапе олимпиады. Ниже приводятся примеры заданий для участников отборочного тура олимпиады Ломоносов.

I. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 9-х классов

Первый тур

I.1. Длина нерастянутой пружины l_0 , а коэффициент жесткости k . К пружине подвесили груз массой m . Найдите длину l пружины после того, как груз займет положение равновесия. Ускорение свободного падения g .

I.2. По гладкой горизонтальной поверхности скользят вдоль одной прямой навстречу друг другу массивный брусок со скоростью u и небольшая легкая шайба со скоростью v (рис. 1). В

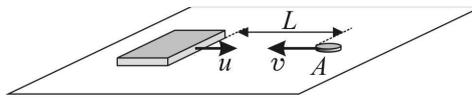


Рис. 1

момент времени $t = 0$ шайба оказалась в некоторой точке A , расстояние от которой до передней грани бруска в этот момент было равно L . Через какое время τ после этого шайба снова окажется в точке A , испытав абсолютно упругое столкновение бруском? Считайте, что скорость

Условия задач

шайбы перпендикулярна передней грани бруска, а масса шайбы пренебрежимо мала по сравнению с массой бруска.

I.3. В калориметре находится смесь воды и льда в состоянии термодинамического равновесия. Через время τ_1 после включения спирали, подсоединенной к источнику постоянного напряжения, весь лёд растаял, а ещё через время τ_2 вода нагрелась на Δt . Пренебрегая теплоёмкостью калориметра, определите, каково было отношение n массы воды m_v к массе льда m_l в момент включения спирали. Удельная теплоёмкость воды c_v , удельная теплота плавления льда λ .

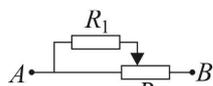


Рис. 2

I.4. Резистор сопротивлением R_1 подключен к реостату с сопротивлением R и длиной L (рис. 2). Найдите сопротивление R_{AB} цепи между точками A и B , если движок реостата находится на расстоянии x от его левого конца.

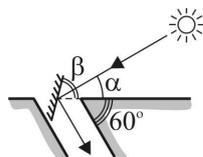


Рис. 3

I.5. Высота Солнца над горизонтом составляет угол α (рис. 3). Под каким углом β к горизонту следует расположить плоское зеркало для того, чтобы осветить солнечными лучами дно наклонной штольни, образующей угол 60° с горизонтом?

Второй тур

I.6. Какое давление p оказывает на снег мальчик массой m , стоя на сноуборде площадью S ? Ускорение свободного падения g .

I.7. Гирию медленно поднимают на высоту h с помощью привязанного к ней упругого шнура, который в исходном положении не растянут. При этом совершается работа A . Коэффициент упругости шнура k . Какова масса гири m ? Ускорение свободного падения g .

I.8. Горные туристы в походе вскипятили воду для чая, используя влажный снег, т.е. смесь кристалликов льда и воды при 0°C . В котелок они набрали снег массой m . При этом туристы решили провести эксперимент и следили за температурой содержимого котелка с того момента, как повесили его над костром. Сначала температура смеси не

менялась в течение времени τ_1 , а затем вода дошла до кипения при температуре t_k за время τ_2 . По результатам, измерений туристам удалось рассчитать исходную массу воды m_b в смеси. Какой ответ получили туристы, считая, что количество теплоты, передаваемое содержимому котелка в единицу времени, не менялось в течение всего процесса. Удельная теплота плавления льда λ , удельная теплоёмкость воды c . Теплоёмкостью котелка можно пренебречь.

I.9. Два резистора сопротивлениями R_1 и R_2 соединены параллельно и включены в цепь постоянного тока (рис. 4). Какая мощность N выделяется на участке между точками A и B , если идеальный амперметр, включенный последовательно с резистором R_2 , показывает силу тока I_2 ?

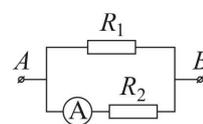


Рис. 4

I.10. Объектив фотоаппарата установлен на съемку объектов, удаленных на бесконечно большое расстояние. Определите, какой диаметр d будет иметь на фотопленке изображение точечного источника света, который находится на расстоянии a от фотоаппарата. Объектив фотоаппарата считайте тонкой линзой с фокусным расстоянием F . Отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию равно k .

Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

I.11. Груз массой m , подвешенный на пружине, совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой A и периодом T . Определите силу натяжения пружины F в тот момент, когда груз достигает нижней точки. Ускорение свободного падения g .

I.12. На горизонтальном столе покоится клин массой M (рис. 5). Сверху на клин падает шарик массой m . Определите угол α при основании клина, если известно, что после упругого удара о клин шарик отскочил по горизонтали, а клин начал двигаться поступательно. Трением между всеми поверхностями можно пренебречь.

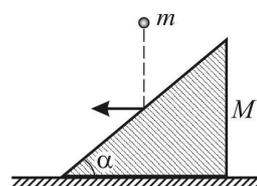
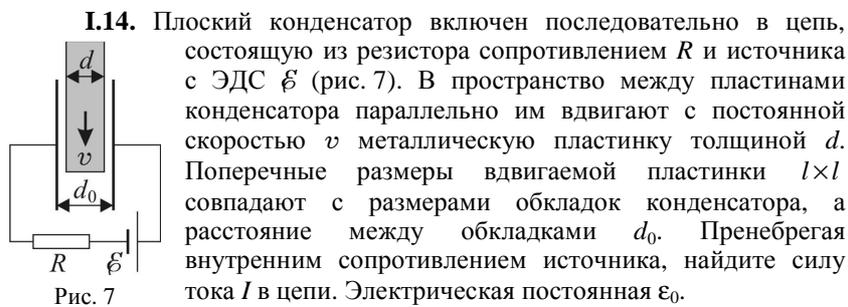
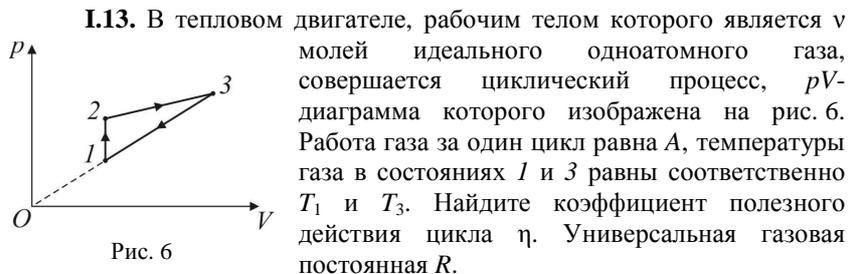
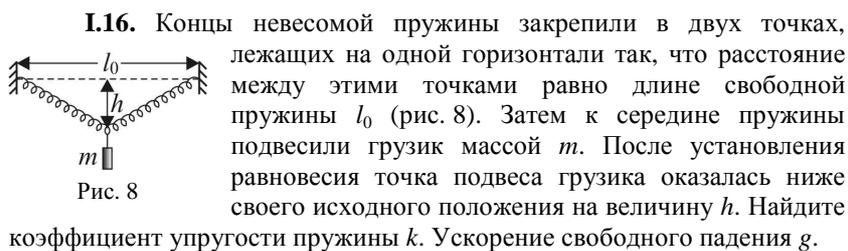


Рис. 5



I.15. Точечный источник света лежит на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F . Расстояние от источника до центра линзы равно $2F$. На какое расстояние x сместится изображение источника, если линзу повернуть на угол α так, чтобы центр линзы остался неподвижным?

Второй тур



I.17. Граната брошена от поверхности земли под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 . В верхней точке траектории

граната разрывается на два одинаковых осколка, скорости которых сразу после взрыва направлены горизонтально. На каком расстоянии l друг от друга упадут осколки, если кинетическая энергия, сообщенная им при взрыве, равна E , а масса гранаты m ? Сопротивлением воздуха можно пренебречь, ускорение свободного падения g .

I.18. Над одноатомным идеальным газом, взятым в количестве ν моль, осуществляется циклический процесс (рис. 9). При этом внутренняя энергия газа U меняется так, как показано на рисунке. Разность максимальной и минимальной температур в цикле равна ΔT . Какую работу A газ совершает за один цикл процесса? Универсальная газовая постоянная R .

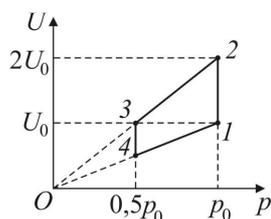


Рис. 9

I.19. В однородном магнитном поле, индукция B которого направлена вертикально, на двух невесомых гибких проводниках длиной l каждый подвешен горизонтально металлический стержень массой m и длиной L (рис. 10). По стержню пропускают кратковременный прямоугольный импульс постоянного тока силой I_0 . При каком минимальном значении τ длительности импульса тока стержень совершит полный оборот, двигаясь по окружности вокруг оси OO_1 , проходящей через точки подвеса гибких проводников? Считайте, что смещение стержня за время τ пренебрежимо мало. Ускорение свободного падения g .

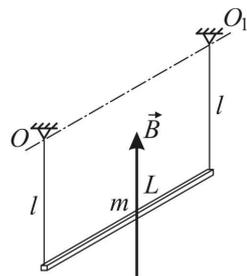


Рис. 10

I.20. В тонкой рассеивающей линзе получено изображение точечного источника, расположенного на расстоянии h от главной оптической оси линзы. Оказалось, что изображение находится на расстоянии h_1 от главной оптической оси линзы, а расстояние от источника до изображения равно l . Определите модуль D оптической силы этой линзы.

II. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Проведение заключительного этапа олимпиады «Ломоносов» было назначено на 22 февраля 2018 года. Для учащихся всех классов этот этап проводился в очной форме на физическом факультете МГУ и на трех региональных площадках в городах Белгород, Кострома и Тюмень.

Задание для учащихся 7-х – 8-х а также 9-х классов состояло из четырех задач по темам, изучаемым в рамках программы по физике для основной общеобразовательной школы. Задания для учащихся 10-х – 11-х классов были составлены в полном соответствии с Кодификатором ЕГЭ 2018 года по физике и охватывали основные разделы Кодификатора, а именно, 1) механику, 2) молекулярную физику и термодинамику, 3) электродинамику и 4) оптику. Типовое задание состояло из четырех различных разделов, состоящих из кратких вопросов по теории и дополняющих их задач. В первом разделе были помещены задания по механике, во втором разделе – задания по молекулярной физике и термодинамике, в третьем разделе – задания по электродинамике, в четвертом разделе – задания по оптике

Ниже приводятся задания заключительного этапа олимпиады «Ломоносов – 2017/2018»

Задание для 7-х – 8-х классов

II.1. Металлический брусок массой 800 г имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Если класть брусок на горизонтальную поверхность поочередно тремя разными гранями, то он будет оказывать на нее давления $p_1 = 1,6$ кПа, $p_2 = 5p_1$ и $p_3 = \frac{p_2}{2}$ соответственно. Определите плотность ρ материала бруска. Ответ выразите в г/см^3 . Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

II.2. Школьник решил приготовить чай. Он налил в чайник некоторое количество воды, поставил его на электрическую плитку и стал наблюдать за процессом нагрева воды. Школьник обнаружил, что за время $t_1 = 1$ мин температура воды повысилась на $\Delta T = 1$ °С. Решив продолжить наблюдения, он снял чайник с плитки, после чего температура воды в чайнике за время $t_2 = 0,5$ мин понизилась на ту же величину ΔT . Какова масса m воды в чайнике, если тепловая мощность, идущая на нагрев воды при работающей плитке, $W = 500$ Вт? Считайте, что тепловые потери воды за счет рассеяния энергии в окружающую

среду пропорциональны времени, а теплоемкость чайника пренебрежимо мала. Удельная теплоемкость воды $c = 4,2$ Дж/(г·°С).

П.3. Схема электрической цепи, состоящей из двух одинаковых ламп и двух резисторов, изображена на рис. 11. Между точками A и B поддерживается постоянное напряжение. Сопротивление каждого резистора равно $R = 3$ Ом. Известно, что если в этой цепи вместо одной из ламп подключить резистор с сопротивлением R , то мощность, выделяемая во всей цепи, увеличится в $k = 2$ раза. Найдите сопротивление лампы r .

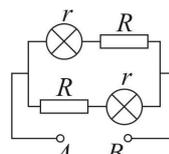


Рис. 11

П.4. На лабораторном штативе закреплены две лазерные указки, одна из них на высоте $h_1 = 25$ см, а вторая – на высоте $h_2 = 37$ см от уровня стола. Лучи света от указок направлены на маленькое плоское зеркало, лежащее плашмя на столе на расстоянии $l = 60$ см от стены. Найдите расстояние d между двумя световыми пятнами, образованными светом от лазерных указок на стене, если расстояние от штатива до стены равно $L = 1$ м. Считайте, что лазерные указки и зеркало расположены в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной стене.

Задание для 9-х классов

П.5. Маленький шарик бросают от поверхности Земли под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В точке падения шарика, находящейся на одном уровне с точкой бросания, установлена тяжелая гладкая пластинка. Под каким углом β к горизонту нужно расположить эту пластинку, чтобы после абсолютно упругого соударения с ней шарик вернулся в точку бросания?

П.6. В калориметре находится кусок льда при температуре $t_0 = 0$ °С. В калориметр доливают воду массой $m = 10$ кг, взятую при температуре $t_1 = 9,9$ °С. Чтобы удержать кусок льда под водой сразу после добавления в калориметр воды, к нему требуется приложить направленную вертикально вниз силу $F_1 = 3$ Н. Какую силу F_2 , направленную вертикально вниз, необходимо приложить к куску льда для его удержания под водой после установления теплового равновесия в калориметре? Теплообменом с калориметром и окружающими телами

Условия задач

можно пренебречь. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 0,33$ МДж/кг, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг·°С), плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

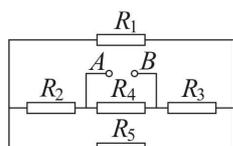


Рис. 12

II.7. В электрической цепи, схема которой показана на рис. 12, между точками A и B поддерживают постоянное напряжение $U = 10$ В. Сопротивления резисторов равны соответственно $R_1 = R_5 = 20$ Ом, $R_2 = R_4 = 10$ Ом, а $R_3 = 5$ Ом. Определите мощность N , выделяющуюся на резисторе R_1 .

II.8. На расстоянии $a = 20$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 10$ см на её главной оптической оси находится точечный источник света (рис. 13). По другую сторону линзы на расстоянии $l = 10$ см расположена рассеивающая линза, причем главные оптические оси обеих линз совпадают. Определите модуль фокусного расстояния рассеивающей линзы F_2 , если известно, что из неё выходит параллельный пучок света.

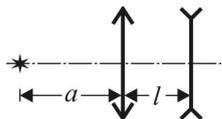


Рис. 13

Вариант задания для 10-х – 11-х классов

II.9. Дайте определение механической работы. Чему равна кинетическая энергия материальной точки и системы материальных точек?

Задача. На шероховатом горизонтальном столе находится брусок массой $M = 500$ г с прикрепленной к нему легкой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый неподвижный блок, причем отрезок нити от бруска до блока горизонтален (рис. 14). Ко второму концу нити привязана легкая пружина жесткостью $k = 10$ Н/м с подвешенным на ней грузом массой $m = 100$ г. В начальном состоянии груз удерживают в таком положении, что нить слегка натянута, а пружина не деформирована, причем правый конец нити и пружина занимают вертикальное положение. В некоторый момент груз отпускают из состояния покоя. Спустя время $\tau = \pi/30$ с $\approx 0,105$ с после этого брусок

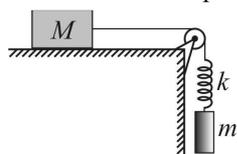


Рис. 14

сдвигается с места. Найдите коэффициент трения μ между бруском и столом.

П.10. Дайте определение идеального газа. Запишите уравнение состояния идеального газа, указав смысл входящих в это уравнение величин.

Задача. Над одноатомным идеальным газом совершают процесс, в котором давление газа линейно уменьшается с ростом его объема. При этом отношение конечного объема газа к начальному $\frac{V_2}{V_1} = m = 4$, а отношение конечного давления к начальному $\frac{p_2}{p_1} = n = \frac{1}{2}$. Найдите, во сколько раз k количество теплоты, полученное газом в этом процессе, больше изменения его внутренней энергии.

П.11. Что такое электродвижущая сила (ЭДС) источника? Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи.

Задача. На двух длинных параллельных рельсах, расположенных на горизонтальной поверхности на расстоянии $l = 1$ м друг от друга, лежит перпендикулярно рельсам проводящий стержень массой $m = 0,5$ кг. Коэффициент трения между стержнем и рельсами $\mu = 0,1$. Вся система находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого направлен вертикально и по модулю равен $B = 0,1$ Тл. Рельсы подключают к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 10,1$ В, в результате чего стержень приходит в движение. Пренебрегая сопротивлением рельсов и внутренним сопротивлением источника, а также считая сопротивление отрезка стержня между точками его контакта с рельсами равным $R = 2$ Ом, найдите, с какой установившейся скоростью v_0 будет двигаться стержень. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

П.12. Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

Задача. Светящаяся точка S приближается к собирающей тонкой линзе и пересекает ее главную оптическую ось на расстоянии $d = 30$ см от линзы. В этот момент скорость точки составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с осью

линзы. Найдите угол β между скоростью изображения S' точки S и главной оптической осью линзы в тот же момент времени. Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см.

ПРОФИЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН 2018

В 2018 профильный экзамен (дополнительное вступительное испытание) по физике в МГУ и в его Севастопольском филиале проводился в письменной форме. Типовое задание для абитуриента охватывало все основные разделы программы по физике для поступающих в МГУ: 1) механику, 2) молекулярную физику и термодинамику, 3) электродинамику и 4) оптику. По каждому разделу программы абитуриенту предлагались краткий вопрос по теории и дополняющая его задача. На выполнение всего задания отводилось четыре астрономических часа. Ниже приводятся примеры заданий профильного экзамена.

I. Механика

I.1. Дайте определение момента силы относительно оси вращения. Сформулируйте правило моментов.

Задача. Тяжелый однородный тонкий стержень, одним концом шарнирно прикрепленный к неподвижной опоре, другим концом опирается на доску, лежащую на гладком горизонтальном столе, причем угол между доской и стержнем $\alpha = 30^\circ$ (рис. 15). Если к доске приложить горизонтальную силу, по модулю равную $F_1 = 1$ Н и направленную вдоль доски влево, она будет двигаться в ту же сторону с постоянной скоростью. С какой по модулю силой F_2 можно привести доску в равномерное движение в противоположном направлении? Коэффициент трения между стержнем и доской $\mu = 0,3$. Трением доски о поверхность стола можно пренебречь.

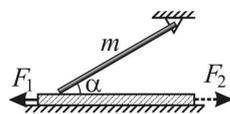


Рис. 15

I.2. Дайте определение потенциальной энергии механической системы. Чему равна потенциальная энергия тела вблизи поверхности Земли и потенциальная энергия деформированной упругой пружины?

Задача. Трасса для соревнований по бобслею имеет перепад высот от старта до финиша $h = 107$ м. На стартовом горизонтальном участке («полоса разгона») спортсмены разогнали боб до скорости $v_0 = 6$ м/с, с которой пересекли линию старта. В конце спуска по ледяному жёлобу сразу после финиша спортсмены используют специальное тормозное устройство для гашения скорости боба на горизонтальной поверхности. Тормозной путь боба составил при этом $s = 42$ м. Считая, что коэффициент трения увеличивается на этом участке пропорционально расстоянию x от линии финиша: $\mu(x) = \alpha \cdot x$ ($\alpha = 0,1 \text{ м}^{-1}$), определите, какая часть η всей механической энергии боба была потеряна за счёт сил трения на участке трассы от конца полосы разгона до финиша. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

II. Молекулярная физика и термодинамика

II.1. Сформулируйте определение внутренней энергии термодинамической системы. Укажите способы изменения внутренней энергии.

Задача. В двух достаточно высоких цилиндрических сосудах, расположенных вертикально, содержится по одному молю идеального одноатомного газа при одной и той же температуре (рис. 16). В левом сосуде, открытом сверху, газ сжат тяжелым поршнем и атмосферным давлением. В правом, герметично закрытом сосуде, газ находится под невесомым тонким поршнем, который удерживается в равновесии пружиной, помещенной между поршнем и крышкой сосуда. При этом длина недеформированной пружины равна высоте сосуда. В пространстве над поршнем создан вакуум. Оба сосуда нагревают до одной и той же конечной температуры. Найдите отношение n работы, совершенной газом в левом сосуде, к работе, совершенной газом в правом сосуде. Трением при перемещении поршней можно пренебречь.

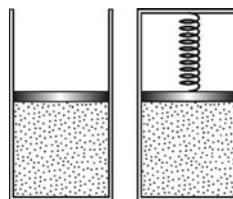


Рис. 16

II.2. Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.

Задача. Плотность влажного воздуха при температуре $t_0 = 27$ °С и давлении $p_0 = 10^5$ Па равна $\rho = 1,15 \text{ кг/м}^3$. Чему равна относительная влаж-

Условия задач

ность ϕ этого воздуха, если плотность насыщенного водяного пара при температуре t_0 равна $\rho_0 = 25,8 \text{ г/м}^3$? Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$, молярная масса сухого воздуха $M_1 = 29 \text{ г/моль}$, молярная масса воды $M_2 = 18 \text{ г/моль}$. Ответ приведите в процентах, округлив до целых.

III. Электродинамика

III.1. Дайте определение емкости. Запишите формулу для емкости плоского конденсатора.

Задача. Плоский конденсатор ёмкостью $C = 400 \text{ пФ}$ присоединён к источнику постоянного напряжения $U = 2 \text{ кВ}$. Не отключая конденсатор от источника, его пластины медленно раздвинули так, что расстояние между ними увеличилось в $n = 4$ раза. Определите работу $A_{\text{мех}}$, совершенную силами, раздвигавшими пластины конденсатора.

III.2. Что такое напряженность электрического поля? Чему равна напряженность электростатического поля точечного заряда?

Задача. Разность потенциалов между обкладками конденсатора ёмкостью $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ равна $V_1 = 20 \text{ В}$. Второй конденсатор ёмкостью $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ заряжен до разности потенциалов между обкладками $V_2 = 10 \text{ В}$. Разноименно заряженные пластины этих конденсаторов соединили проводниками (рис. 17). Определите, во сколько раз k при этом изменилась общая энергия конденсаторов. Ответ приведите в виде простой дроби.

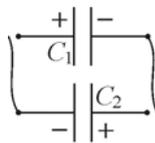


Рис. 17

IV. Оптика

IV.1. Сформулируйте закон отражения света. Приведите пример построения изображения предмета в плоском зеркале.

Задача. Два плоских зеркала образуют двугранный угол $\alpha = 60^\circ$. Вдоль биссектрисы этого угла равномерно движется светящаяся точка со скоростью $v = 2 \text{ см/с}$. Через какой промежуток времени Δt расстояние между первыми изображениями точки в зеркалах изменится на величину $\Delta x = 12 \text{ см}$?

IV.2. Сформулируйте закон преломления света. Дайте определения абсолютного и относительного показателей преломления.

Задача. На горизонтальном дне широкого сосуда лежит достаточно большое плоское зеркало. В сосуд наливают жидкость с показателем преломления $n = 1,5$, и кладут на верхнюю поверхность жидкости непрозрачный экран, закрывающий ее поверхность полностью. В центре экрана находится маленькое круглое отверстие, освещаемое рассеянным светом. Какова площадь S освещенной области на нижней стороне экрана, если толщина слоя жидкости равна $h = 10$ см? Ответ приведите в квадратных сантиметрах, округлив до целых.

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ – 2017/2018»

I. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 9-х классов

Первый тур

I.1. Поскольку сила тяжести, действующая на мальчика, равна mg , по закону Гука имеем $k \cdot \Delta x = mg$. Отсюда удлинение пружины под действием веса груза $\Delta l = \frac{mg}{k}$, и $l = l_0 + \frac{mg}{k}$. **Ответ:** $l = l_0 + \frac{mg}{k}$.

I.2. По закону сложения скоростей скорость шайбы относительно бруска $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v} - \vec{u}$. Поскольку векторы \vec{v} и \vec{u} направлены в противоположные стороны, модуль скорости сближения шайбы с бруском равен $v_{\text{отн}} = v + u$. Время, прошедшее до столкновения шайбы с бруском, $t_1 = \frac{L}{v + u}$ (см. рис. 18). За это

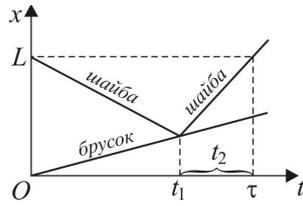


Рис. 18

время шайба переместится от точки A на расстояние $L_1 = vt_1 = \frac{Lv}{v + u}$.

После столкновения шайбы с массивным бруском скорость бруска не изменится. Для нахождения скорости шайбы после столкновения с бруском учтем, что в системе, связанной с бруском, в момент удара сохраняется кинетическая энергия шайбы, поэтому модуль скорости шайбы относительно бруска при ударе не изменится и остается равным $v_{\text{отн}} = v + u$, а вектор относительной скорости шайбы после удара будет направлен вперед по ходу бруска. Переходя вновь в неподвижную систему отсчета, по закону сложения скоростей получаем, что модуль скорости шайбы в этой системе станет равным $v + 2u$. После соударения с бруском шайба пройдет расстояние L_1 до точки A за время

$t_2 = \frac{Lv}{(v+u)(v+2u)}$. Время, через которое шайба снова окажется в

точке A , равно $\tau = t_1 + t_2 = \frac{2L}{v+2u}$. **Ответ:** $\tau = \frac{2L}{v+2u}$.

I.3. Пусть мощность, передаваемая спиралью содержимому калориметра, равна N . Поскольку в момент включения спирали смесь воды и льда находилась в состоянии термодинамического равновесия, т.е. при температуре таяния льда, то $m_{\text{л}}\lambda = N\tau_1$. По условию на нагрев образовавшейся и имевшейся ранее в калориметре воды потребовалось время τ_2 . Следовательно, $(m_{\text{л}} + m_{\text{в}})c\Delta t = N\tau_2$ и $n = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{л}}} = \frac{\lambda\tau_2}{c\Delta t\tau_1} - 1$.

Ответ: $n = \frac{\lambda\tau_2}{c\Delta t\tau_1} - 1$

I.4. Эквивалентная схема цепи изображена на рис. 19, где резисторы R_2 и R_3 представляют собой левый и

правый участки реостата. При этом $R_2 = \frac{Rx}{L}$, $R_3 = \frac{R(L-x)}{L}$. Сопротивление двух параллельно

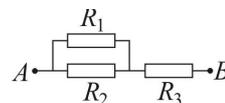


Рис. 19

соединенных резисторов $R' = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$. Полное сопротивление цепи

$R_{AB} = R' + R_3$. **Ответ:** $R_{AB} = R \cdot \left(\frac{R_1x}{R_1L + Rx} + \frac{L-x}{L} \right)$.

I.5. Ход луча, падающего на зеркало и отраженного от него, изображен на рис. 20. Видно, что угол γ между падающим лучом и нормалью к зеркалу равен

$\gamma = \frac{1}{2}(60^\circ + \alpha) = 30^\circ + \frac{\alpha}{2}$. Угол δ между нормалью к

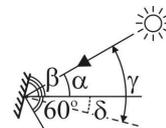


Рис. 20

зеркалу и горизонтом равен $\delta = \gamma - \alpha = 30^\circ - \frac{\alpha}{2}$.

Согласно теореме о равенстве углов с взаимно перпендикулярными

сторонами, такой же угол зеркало образует с вертикалью. Поэтому искомый угол $\beta = 90^\circ - \delta = 60^\circ + \frac{\alpha}{2}$. **Ответ:** $\beta = 60^\circ + \frac{\alpha}{2}$.

Второй тур

I.6. Поскольку сила тяжести, действующая на мальчика, равна mg , давление, оказываемое им на снег, $p = \frac{mg}{S}$. **Ответ:** $p = \frac{mg}{S}$.

I.7. При подъеме гири шнур растягивается на величину $\Delta L = \frac{mg}{k}$, при этом совершается работа $A_1 = \frac{k(\Delta L)^2}{2} = \frac{(mg)^2}{2k}$. Работа в поле силы тяготения $A_2 = mgh$. Полная работа, совершенная при подъеме гири, $A = A_1 + A_2 = \frac{(mg)^2}{2k} + mgh$. Отсюда следует квадратное уравнение относительно m , а именно $m^2 + \frac{2kh}{g} \cdot m - \frac{2kA}{g^2} = 0$. Условию задачи удовлетворяет положительный корень $m = \frac{kh}{g} \left(\sqrt{\frac{2A}{kh^2} + 1} - 1 \right)$.

Ответ: $m = \frac{kh}{g} \left(\sqrt{\frac{2A}{kh^2} + 1} - 1 \right)$.

I.8. Количество теплоты, необходимое для плавления льда массой $m_{\text{л}}$ при постоянной температуре 0°C , равно $Q_1 = \lambda \cdot m_{\text{л}}$. Количество теплоты Q_2 , которое идет на нагревание всей получившейся воды в сосуде до температуры кипения на $t_{\text{к}}$, равно $Q_2 = c(m_{\text{л}} + m_{\text{в}})(t_{\text{к}} - 0^\circ\text{C})$. Эта тепловая энергия получена системой за времена τ_1 и τ_2 от источника с постоянной мощностью теплопередачи N , т.е. $Q_1 = N \cdot \tau_1$, $Q_2 = N \cdot \tau_2$. Отсюда находим отношение масс воды и льда $\frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{л}}} = \frac{\lambda \tau_2}{c(t_{\text{к}} - 0^\circ\text{C})\tau_1} - 1$.

Затем, учитывая равенство $m = m_{\text{л}} + m_{\text{в}}$, находим искомую массу воды

$$m_B = \frac{\lambda\tau_2 - c(t_k - 0^\circ\text{C})\tau_1}{\lambda\tau_2} \cdot m. \quad \text{Ответ: } m_B = \frac{\lambda\tau_2 - c(t_k - 0^\circ\text{C})\tau_1}{\lambda\tau_2} \cdot m.$$

I.9. Поскольку резисторы соединены параллельно, справедливо равенство $I_1 R_1 = I_2 R_2$. Кроме того, ток в неразветвленной цепи

$$I = I_1 + I_2. \text{ Из этой системы уравнений находим, что } I = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot I_2. \text{ По}$$

закону Джоуля–Ленца $N = R_{\text{общ}} I^2$, где $R_{\text{общ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. Из записанных

выражений находим, что $N = \frac{(R_1 + R_2) R_2}{R_1} I_2^2$.

$$\text{Ответ: } N = \frac{(R_1 + R_2) R_2}{R_1} I_2^2.$$

I.10. Поскольку пленка находится в фокальной плоскости объектива, величина размытия точек изображения будет определяться крайними лучами, прошедшими через объектив. Пусть диаметр объектива равен D . На рис. 21 видно, что $\frac{D}{d} = \frac{b}{b-F}$. Из формулы тонкой линзы

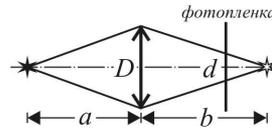


Рис. 21

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ следует, что $b = \frac{aF}{a-F}$. Подставляя это значение b в

приведенную выше формулу для D/d , получаем, что $\frac{D}{d} = \frac{a}{F}$.

Окончательно находим, что $d = \frac{k \cdot F^2}{a}$. **Ответ:** $d = \frac{k \cdot F^2}{a}$.

Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

I.11. Будем отсчитывать координату груза относительно точки подвеса пружины, координатную ось Ox направим вниз. Пусть длина недеформированной пружины l_0 , а ее жесткость k . Тогда координата

положения равновесия груза x_0 определится из условия: $mg = k(x_0 - l_0)$, откуда $x_0 = l_0 + mg/k$. Груз совершает колебания относительно положения равновесия с амплитудой A , поэтому в нижней точке координата груза будет $x_{\max} = x_0 + A$. По закону Гука сила растяжения пружины при этом равна: $F = k(x_{\max} - l_0) = mg + kA$.

Поскольку период колебаний груза равен $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, жесткость пружины $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$. Следовательно, $F = m\left(g + \frac{4\pi^2 A}{T^2}\right)$.

Ответ: $F = m\left(g + \frac{4\pi^2 A}{T^2}\right)$.

I.12. Поскольку смещения шарика и клина за время соударения пренебрежимо малы и трение отсутствует, то сила взаимодействия шарика и клина направлена по нормали к наклонной плоскости. Следовательно, изменение импульса шарика $\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}$ при ударе также будет направлено по нормали к наклонной плоскости клина (см. рис. 22, где \vec{v}_0 и \vec{v} – скорости шарика до и после удара соответственно, \vec{u} – скорость клина после удара).

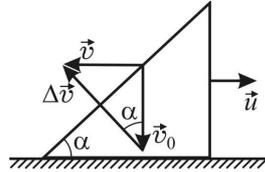


Рис. 22

Из рисунка видно, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{v_0}$. По закону сохранения импульса в

проекции на горизонтальное направление $mv = Mu$. По закону сохранения кинетической энергии при упругом ударе $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}$. Отсюда $u = v \frac{m}{M}$, $v_0 = v\sqrt{1 + \frac{m}{M}}$. Объединяя

записанные выражения, получаем, что $\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{M}{M+m}}$.

Ответ: $\alpha = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{M}{M+m}}$.

I.13. Работа газа в циклическом процессе равна алгебраической сумме количеств теплоты, которыми газ обменивается с нагревателем и холодильником, т.е. $A = Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-1}$. Полученное газом количество теплоты $Q = Q_{1-2} + Q_{2-3}$. Следовательно, КПД двигателя $\eta = \frac{A}{A - Q_{3-1}}$, причем $Q_{3-1} < 0$.

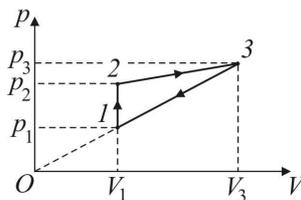


Рис. 23

По первому закону термодинамики $Q_{3-1} = \frac{3}{2} \nu R(T_1 - T_3) + A_{3-1}$, где $A_{3-1} = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)(V_1 - V_3)$ – работа газа на участке 1–3. Поскольку продолжение прямой 1–3 (рис. 23) проходит через начало координат, справедливо равенство $\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_3}{V_3}$, с учетом которого выражение для A_{3-1} преобразуется к виду: $A_{3-1} = \frac{1}{2}(p_1 V_1 - p_3 V_3)$. Используя уравнения состояния $p_1 V_1 = \nu R T_1$, $p_3 V_3 = \nu R T_3$, находим, что $A_{3-1} = \frac{1}{2} \nu R(T_1 - T_3)$. Следовательно $Q_{3-1} = 2\nu R(T_1 - T_3)$. **Ответ:** $\eta = \frac{A}{A + 2\nu R(T_3 - T_1)} \cdot 100\%$.

I.14. Пусть пластинка вдвинута в конденсатор на расстояние x , отсчитываемое от нижнего края пластинки до верхнего края обкладок конденсатора (рис. 24). Емкость конденсатора при этом равна $C(x) = \frac{\epsilon_0 l x}{d_0 - d} + \frac{\epsilon_0 l(l - x)}{d_0} = \frac{\epsilon_0 l[l(d_0 - d) + xd]}{d_0(d_0 - d)}$, а его заряд $q(x) = \frac{\epsilon_0 l[l(d_0 - d) + xd]}{d_0(d_0 - d)} U$, где U – напряжение между обкладками конденсатора. При равномерном движении пластины ток зарядки конденсатора, сначала равный нулю, довольно быстро возрастает до установившегося значения, то есть становится практически постоянным. В этом случае

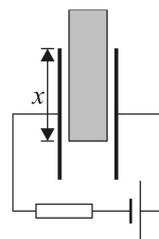


Рис. 24

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\epsilon_0 l v d}{d_0(d_0 - d)} U.$$

Учитывая, что напряжение на конденсаторе равно $U = \xi - IR$, находим окончательно, что $I = \frac{\epsilon_0 l v d \xi}{d_0(d_0 - d) + \epsilon_0 l v d R}$.

Ответ: $I = \frac{\epsilon_0 l v d \xi}{d_0(d_0 - d) + \epsilon_0 l v d R}$.

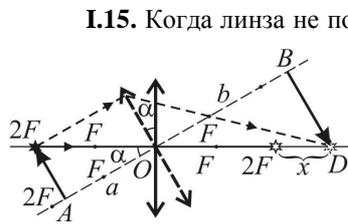


Рис. 25

I.15. Когда линза не повернута, изображение находится от нее на расстоянии, равном $2F$. Ход лучей при построении изображения, даваемого повернутой линзой, приведен на рис.25 штриховыми линиями. Так как один из лучей совпадает с главной оптической осью не повернутой линзы, изображение источника при повороте линзы останется на той же прямой. Введем следующие обозначения (см. рисунок): $OA = a$, $OB = b$, $OD = y$. Тогда

$x = y - 2F$. Из подобия треугольников имеем: $\frac{2F}{a} = \frac{y}{b}$, откуда

$y = \frac{2bF}{a}$, причем $a = 2F \cos \alpha$. Из формулы тонкой линзы следует, что

$b = \frac{aF}{a - F}$. Объединяя записанные выражения, находим, что

$y = \frac{2F}{2 \cos \alpha - 1}$. **Ответ:** $x = \frac{4F(1 - \cos \alpha)}{2 \cos \alpha - 1}$.

Второй тур

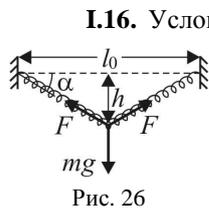


Рис. 26

I.16. Условие равновесия грузика имеет вид $mg = 2F \sin \alpha$, где F – сила натяжения одной из половин пружины, α – угол, который составляет половина пружины с горизонталью (рис. 26). По закону Гука

$F = k_1 \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{l_0}{2} \right)$, где k_1 – коэффициент упругости

половины пружины, $\frac{l}{2} = \sqrt{(l_0/2)^2 + h^2}$ – длина половины пружины в растянутом состоянии. Синус угла α определяется формулой $\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{(l_0/2)^2 + h^2}}$. Коэффициент упругости пружины равен

отношению силы упругости к удлинению пружины. Удлинение половины пружины вдвое меньше удлинения всей пружины. Отсюда $k_1 = 2k$. Из приведенных уравнений следует, что

$$mg = 4kh \frac{\sqrt{l_0^2 + 4h^2} - l_0}{\sqrt{l_0^2 + 4h^2}} \text{ и } k = \frac{mg}{4h} \frac{\sqrt{l_0^2 + 4h^2}}{\sqrt{l_0^2 + 4h^2} - l_0}.$$

Ответ: $k = \frac{mg}{4h} \frac{\sqrt{l_0^2 + 4h^2}}{\sqrt{l_0^2 + 4h^2} - l_0}$.

I.17. Перейдем в систему отсчета, равномерно движущуюся со скоростью, которую имела граната непосредственно перед разрывом. В этой системе суммарный импульс осколков равен нулю, поэтому их скорости после разрыва противоположны по направлению и, в силу равенства их масс, равны по величине. В результате взрыва осколки приобретают кинетическую энергию E , которая поровну делится между ними. Обозначив через v модуль скорости каждого из осколков,

имеем: $E = \frac{m}{2} \cdot \frac{v^2}{2} + \frac{m}{2} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{mv^2}{2}$, откуда $v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$. Время падения

осколков: $t_0 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$. За это время каждый из осколков смещается по

горизонтالي на расстояние vt_0 . Расстояние между точками падения равно $l = 2vt_0$. Объединяя записанные выражения, получаем, что

$$l = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \sqrt{\frac{2E}{m}}. \text{ Ответ: } l = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

I.18. Удобно перейти к представлению цикла в координатных осях p - V . График представляет собой прямоугольник (см. рис. 27), а работа газа

измеряется его площадью $A = \left(p_0 - \frac{p_0}{2}\right)(2V_0 - V_0) = \frac{1}{2} p_0 V_0$. Разность

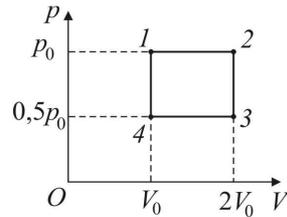


Рис. 27

внутренней энергии в состояниях 2 и 4 равна, как видно из рисунка в условии задачи, $\Delta U = \frac{3}{2} U_0$. Соответственно, разница максимальной и минимальной температур в цикле равна $\Delta T = \frac{3}{2} T_0$. Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия равна

$U = \frac{3}{2} \nu RT$. С учётом уравнения состояния идеального газа $pV = \nu RT$

работа равна $A = \frac{1}{2} \nu RT_0 = \frac{1}{3} \nu R \Delta T$. **Ответ:** $A = \frac{1}{3} \nu R \Delta T$.

I.19. Импульс силы Ампера за время τ равен $I_0 BL\tau$. По второму закону Ньютона $mv_0 = I_0 BL\tau$, откуда скорость, которую приобретает стержень по окончании импульса тока, $v_0 = \frac{I_0 BL\tau}{m}$. Уравнение

движения стержня по окружности в верхней точке траектории имеет вид: $\frac{mv^2}{l} = mg + T$, где T – суммарное натяжение нитей. Скорость стержня v в верхней точке минимальна, если $T = 0$. Следовательно $v^2 = gl$. Из закона сохранения энергии вытекает равенство:

$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgl + \frac{mv^2}{2} = \frac{5}{2} mgl$. Отсюда $v_0 = \sqrt{5gl}$. Объединяя записанные

выражения, находим, что $\tau = \frac{m\sqrt{5gl}}{BLI_0}$. **Ответ:** $\tau = \frac{m\sqrt{5gl}}{BLI_0}$.

I.20. По формуле тонкой линзы находим, что модуль оптической силы рассеивающей линзы равен $D = \frac{1}{b} - \frac{1}{a}$, где a и b расстояние от линзы до источника S и до его мнимого изображения S_1 соответственно.

Согласно рис. 28 $\frac{a}{b} = \frac{h}{h_1}$ и $a - b = \sqrt{l^2 - (h - h_1)^2}$. Из записанных

равенств следует, что $D = \frac{h - h_1}{ah_1}$ и

$$a = \frac{h}{h - h_1} \sqrt{l^2 - (h - h_1)^2}.$$

Окончательно

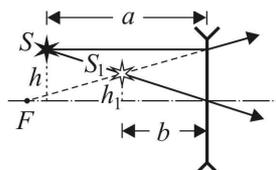


Рис. 28

получаем, что $D = \frac{(h - h_1)^2}{hh_1 \sqrt{l^2 - (h - h_1)^2}}$.

Ответ: $D = \frac{(h - h_1)^2}{hh_1 \sqrt{l^2 - (h - h_1)^2}}$.

II. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 8-х классов

II.1. Давления, оказываемые бруском на горизонтальную поверхность, $p_i = \frac{F}{S_i}$, где $F = mg$ – сила тяжести, действующая на брусок, S_i – площади поверхностей его граней ($i = 1, 2, 3$). Имеем

$$S_1 = ab, \quad S_2 = bc, \quad S_3 = ac. \quad \text{Таким образом} \quad p_1 = \frac{mg}{ab},$$

$$p_2 = \frac{mg}{bc} = 5p_1 = 5 \frac{mg}{ab} \quad \text{и} \quad p_3 = \frac{mg}{ac} = \frac{p_2}{2} = \frac{5p_1}{2} = \frac{5mg}{2ab}.$$

Отсюда следует, что $a = 5c$, $b = \frac{5}{2}c$ и $a = 2b$. Поэтому можно записать, что

$$p_1 = \frac{mg}{ab} = \frac{mg}{2b \cdot b}. \quad \text{Отсюда находим, что} \quad b = \sqrt{\frac{mg}{2p_1}} = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 10}{2 \cdot 1600}} = 0,05 \text{ м.}$$

$$\text{Так как} \quad p_2 = \frac{mg}{bc} = 5p_1, \quad \text{то} \quad c = \frac{mg}{b \cdot 5p_1} = \frac{0,8 \cdot 10}{0,05 \cdot 5 \cdot 1600} = 0,02 \text{ м. И, наконец,}$$

$$\text{из формулы} \quad p_1 = \frac{mg}{ab} \quad \text{находим, что} \quad a = \frac{mg}{b \cdot p_1} = \frac{0,8 \cdot 10}{0,05 \cdot 1600} = 0,1 \text{ м. Объем}$$

такого бруска равен $V = abc = 0,1 \cdot 0,05 \cdot 0,02 = 0,0001 \text{ м}^3$. Следовательно, плотность бруска $\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,8}{0,0001} = 8000 \text{ кг/м}^3 = 8 \text{ г/см}^3$.

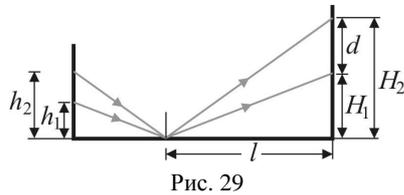
Ответ: $\rho = 8 \text{ г/см}^3$.

II.2. Поскольку по условию тепловые потери пропорциональны времени, количественной характеристикой потерь является их мощность w . Обозначив через m массу воды, по первому закону термодинамики имеем: $Wt_1 = cm\Delta T + wt_1$ (при нагревании воды), $cm\Delta T = wt_2$ (при остывании воды). Исключая отсюда w и m , получаем, что $m = \frac{Wt_1t_2}{c\Delta T(t_1 + t_2)}$. **Ответ:** $m = \frac{Wt_1t_2}{c\Delta T(t_1 + t_2)} \approx 2,4 \text{ кг}$.

II.3. Общее сопротивление цепи в первом случае равно $R_1 = \frac{R+r}{2} R_1$, а мощность, выделяемая в цепи в этом случае $P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{2U^2}{R+r}$, где U – напряжение между точками А и В. После того как одну из ламп заменили резистором, общее сопротивление цепи стало равным $R_2 = \frac{2R(R+r)}{3R+r}$, а мощность, выделяемая в ней, $P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{U^2(3R+r)}{2R(R+r)}$. По условию задачи $P_2 = kP_1$, т.е. $\frac{U^2(3R+r)}{2R(R+r)} = k \cdot \frac{2U^2}{R+r}$. Отсюда получаем, что $r = (4k - 3)R$.

Ответ: $r = (4k - 3)R = 15 \text{ Ом}$.

II.4. Ход лучей до и после отражения от зеркала представлен на рис 29. Расстояния от уровня стола до световых пятен на стене H_1 и H_2 . Найти значения H_1 и H_2 можно из подобных треугольников. Имеем следующие равенства: $\frac{h_1}{L-l} = \frac{H_1}{l}$ и



$$\frac{h_2}{L-l} = \frac{H_2}{l}. \text{ Искомое расстояние равно } d = H_2 - H_1 = \frac{l}{L-l}(h_2 - h_1).$$

Ответ: $d = \frac{l}{L-l}(h_2 - h_1) = 18 \text{ см.}$

Задание для 9-х классов

П.5. Из выражения для дальности полета шарика $L = \frac{2v_0^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha$ следует, что при фиксированной начальной скорости v_0 существуют две траектории, двигаясь по которым шарик попадет в заданную точку. Эти траектории соответствуют двум углам бросания α_1 и α_2 , связанным соотношением $\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1$. Поскольку модуль скорости шарика после упругого соударения с пластинкой не изменяется, вектор скорости шарика после удара должен составлять с горизонтом один из этих углов. Таким образом, пластинку следует установить либо перпендикулярно к направлению скорости шарика перед ударом, т. е. под углом $\beta_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha$ к горизонтали, либо перпендикулярно биссектрисе угла между двумя возможными направлениями скорости, т. е. под углом $\beta_2 = \frac{\pi}{4}$ к горизонтали. Таким образом, $\beta_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha$, $\beta_2 = \frac{\pi}{4}$. **Ответ:** $\beta_1 = 60^\circ$, $\beta_2 = 45^\circ$.

П.6. Если V_0 – начальный объем льда, то согласно закону Архимеда должно выполняться условие: $F_1 + \rho_{\text{л}} V_0 g = \rho_{\text{в}} V_0 g$. Отсюда $V_0 = \frac{F_1}{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})g} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а начальная масса льда $m_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{л}} F_1}{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})g} = 2,7 \text{ кг}$. Количество теплоты, которое отдаст вода при охлаждении до $t_0 = 0^\circ \text{C}$, равно $Q_1 = mc_{\text{в}}(t_1 - t_0) = 415,8 \text{ кДж}$. Количество теплоты, которое требуется для расплавления всего льда, $Q_2 = m_{\text{л}} \lambda = 891 \text{ кДж}$. Из сопоставления этих данных следует, что

тепловое равновесие в калориметре установится при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$, и расплавится не весь лед. После установления термодинамического равновесия в калориметре останется лед объемом V , который согласно уравнению теплового баланса можно определить из условия $\lambda\rho_{\text{л}}(V_0 - V) = mc_{\text{в}}(t_1 - t_0)$. По закону Архимеда при этом справедливо равенство $F_2 + \rho_{\text{л}}Vg = \rho_{\text{в}}Vg$. Из приведённых соотношений получаем, что $F_2 = F_1 - \frac{mgc_{\text{в}}(t_1 - t_0)(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})}{\lambda\rho_{\text{л}}}$.

Ответ: $F_2 = F_1 - \frac{mgc_{\text{в}}(t_1 - t_0)(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})}{\lambda\rho_{\text{л}}} = 1,6 \text{ Н}$.

П.7. Поскольку резисторы R_1 и R_5 соединены параллельно, их можно заменить одним резистором сопротивлением $R = \frac{R_1R_5}{R_1 + R_5}$,

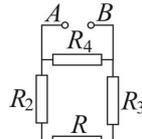


Рис. 30

который соединён последовательно с резисторами R_2 и R_3 (рис. 30). Согласно закону Ома, сила тока I через резисторы R_2 , R и R_3 равна $I = \frac{U}{R_2 + R_3 + R} = \frac{U(R_1 + R_5)}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_5) + R_1R_5}$. Токи, текущие

через параллельно соединенные резисторы R_1 и R_5 , распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям. Поэтому ток I_1 , текущий через резистор R_1 , равен $I_1 = I \frac{R_5}{R_1 + R_5} = \frac{UR_5}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_5) + R_1R_5}$. Согласно закону Джоуля –

Ленца искомая мощность $N = I_1^2 R_1 = \frac{U^2 R_5^2 R_1}{[(R_2 + R_3)(R_1 + R_5) + R_1R_5]^2}$.

Ответ: $N = \frac{U^2 R_5^2 R_1}{[(R_2 + R_3)(R_1 + R_5) + R_1R_5]^2} = 0,8 \text{ Вт}$.

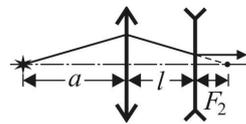


Рис. 31

П.8. Из рассеивающей линзы будет выходить параллельный пучок света, если изображение источника, создаваемое собирающей линзой, будет находиться в правом фокусе рассеивающей линзы. По формуле тонкой линзы имеем

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{l + F_2}. \text{ Отсюда } l + F_2 = \frac{a \cdot F_1}{a - F_1}. \text{ Следовательно, } F_2 = \frac{a \cdot F_1}{a - F_1} - l.$$

Ответ: $F_2 = \frac{a \cdot F_1}{a - F_1} - l = 10 \text{ см.}$

Вариант задания для 10-х – 11-х классов

П.9. Брусок сдвинется с места, когда сила натяжения нити T превысит максимальное значение силы трения покоя между бруском и столом, т.е. при $T > \mu Mg$, где g – ускорение свободного падения. В свою очередь по закону Гука $T = ky$, где y – удлинение пружины. Найдем величину $y(\tau) = y_0$ в момент времени τ . Совместим начало отсчета с нижним концом недеформированной пружины, координатную ось OY направим вертикально вниз. По второму закону Ньютона для груза имеем уравнение движения $m\ddot{y} = mg - ky$ с начальными условиями $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$, где точками над буквами обозначены

производные по времени. Заменой переменных $\eta = y - \frac{mg}{k}$ уравнение

движения груза приводится к уравнению $\ddot{\eta} + \frac{k}{m}\eta = 0$, описывающему

гармонические колебания с круговой частотой $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$. С учетом

начальных условий $\eta(0) = -\frac{mg}{k}$, $\dot{\eta}(0) = 0$ решение этого уравнения

имеет вид $\eta(t) = -\frac{mg}{k} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$. Переходя вновь к переменной y ,

находим, что $y_0 = \frac{mg}{k} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right]$. Подставляя это значение в

уравнение $\mu Mg = ky_0$, получаем, что искомый коэффициент трения

$$\mu = \frac{m}{M} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right]. \text{ Ответ: } \mu = \frac{m}{M} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right] = 0,1.$$

П.10. Работа, совершенная газом в рассматриваемом процессе,
 $A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)$, изменение внутренней энергии газа
 $\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$. Согласно первому закону термодинамики
 $\Delta Q = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$. Искомое отношение равно

$$k = \frac{4p_2V_2 - 4p_1V_1 + p_1V_2 - p_2V_1}{3(p_2V_2 - p_1V_1)} = \frac{4 \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} - 4 + \frac{V_2}{V_1} - \frac{p_2}{p_1}}{3 \left(\frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} - 1 \right)} = \frac{4mn - 4 + m - n}{3(mn - 1)}$$

Ответ: $k = \frac{4nm - 4 + m - n}{3(mn - 1)} = \frac{5}{2}$.

П.11. Стержень придет в движение под действием силы Ампера $F_A = IBl$, где I – сила тока в цепи. Используя закон электромагнитной индукции и правило Ленца, находим, что при движении стержня со скоростью v на его концах возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}} = Bvl$, направленная против ЭДС источника. По закону Ома для замкнутой цепи имеем: $I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_{\text{инд}}}{R}$. По второму закону Ньютона уравнение движения стержня имеет вид $ma = F_A - F_{\text{тр}}$, где a – ускорение стержня, а $F_{\text{тр}} = \mu mg$ – модуль силы трения скольжения. При установившемся движении стержня $a = 0$, а $v = v_0$. Из записанных выражений следует равенство $\frac{(\mathcal{E} - Bv_0l)Bl}{R} = \mu mg$, откуда $v_0 = \frac{1}{Bl} \left(\mathcal{E} - \frac{\mu mg R}{Bl} \right)$.

Ответ: $v_0 = \frac{1}{Bl} \left(\mathcal{E} - \frac{\mu mg R}{Bl} \right) = 1$ м/с. При $\mathcal{E} \leq \frac{\mu mg R}{Bl} = 10$ В стержень не сдвинется с места и его скорость будет равна нулю.

П.12. При прямолинейном движении светящейся точки её изображение будет двигаться также по

прямой. Из рис. 32 видно, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{d}$;

$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{f}$. Отсюда $\operatorname{tg} \beta = \frac{d}{f} \operatorname{tg} \alpha$. Применив

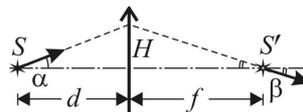


Рис. 32

формулу тонкой линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$, находим, что $\operatorname{tg} \beta = \frac{d-F}{F} \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

Ответ: $\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{d-F}{F} \cdot \operatorname{tg} \alpha\right) \approx \operatorname{arctg}(0,29) \approx 16^\circ$; изображение удаляется от линзы.

ПРОФИЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН 2018

I. Механика

I.1. При движении доски влево на стержень действуют силы, модули и направления которых указаны на рис 33, где N – модуль нормальной составляющей силы реакции доски, $F_{\text{тр}} = \mu N$ – модуль силы трения скольжения, mg – модуль силы тяжести (m – масса стержня), R – модуль силы реакции шарнира. Пусть l – длина стержня. Уравнение моментов, записанное относительно оси, проходящей через точку подвеса

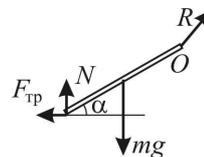


Рис. 33

стержня (точку O), имеет вид: $mg \frac{l}{2} \cos \alpha = Nl \cos \alpha + \mu Nl \sin \alpha$. Отсюда

$N = \frac{mg}{2(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)}$. Поскольку доска движется влево равномерно, то

$F_1 = F_{\text{тр}} = \mu N = \frac{\mu mg}{2(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)}$. При движении доски вправо сила трения

изменит направление на противоположное. Рассуждая аналогично, находим, что $F_2 = \frac{\mu mg}{2(1 - \mu \operatorname{tg} \alpha)}$. По условию задачи

$\mu \operatorname{tg} \alpha = 0,3 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \approx 0,17 < 1$, поэтому $F_2 = F_1 \frac{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha}$.

Ответ: $F_2 = F_1 \frac{1 + \mu \operatorname{tg} \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} \approx 1,42 \text{ Н.}$

I.2. Работа силы трения на этапе торможения боба равна $A_{\text{тр}} = -\frac{1}{2} \alpha s^2 mg$. Поэтому, по закону сохранения и превращения механической энергии $\left(\frac{mv_0^2}{2} + mgh \right) (1 - \eta) - \frac{1}{2} \alpha s^2 mg = 0$. Отсюда находим, что $\eta = 1 - \frac{\alpha \cdot s^2 g}{v_0^2 + 2gh} = 0,2$. **Ответ:** $\eta = 1 - \frac{\alpha \cdot s^2 g}{v_0^2 + 2gh} = 0,2$, или 20%.

II. Молекулярная физика и термодинамика

II.1. Нагревание газа в левом сосуде происходит при постоянном давлении. Совершаемая газом в этом процессе работа $A_{\text{лев}} = \nu R \Delta T$. Здесь ν – количество газа, R – универсальная газовая постоянная, ΔT – приращение температуры газа. Поскольку сжатие пружины x в правом сосуде совпадает с высотой поршня над дном сосуда, то давление газа в правом сосуде $p = kx/S$ пропорционально его объему ($p \sim V$). При этом прямая, изображающая график процесса на pV -диаграмме, проходит через начало координат. Если обозначить через p_0 , V_0 и T_0 начальные, а через p , V и T – конечные давление, объем и температуру газа, то $\frac{p}{V} = \frac{p_0}{V_0}$, и работа газа $A_{\text{прав}} = \frac{1}{2} (p - p_0)(V - V_0) = \frac{1}{2} (pV - p_0V_0) = \frac{1}{2} \nu R (T - T_0) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$. Таким образом, бóльшую работу при нагревании совершит газ в левом сосуде. Отношение работ, совершенных газами, $n = \frac{A_{\text{лев}}}{A_{\text{прав}}} = 2$. **Ответ:** $n = 2$.

II.2. Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона плотность идеального газа $\rho_{\text{ит}}$ выражается через его давление p , молярную массу M

и абсолютную температуру T по формуле $\rho_{\text{нг}} = \frac{pM}{RT}$. По закону Дальтона давление влажного воздуха p_0 равно сумме парциальных давлений сухого воздуха $p_{\text{св}}$ и водяного пара $p_{\text{п}}$. Поэтому плотность влажного воздуха может быть записана в виде $\rho = \frac{p_{\text{св}}M_1 + p_{\text{п}}M_2}{RT} = \frac{(p_0 - p_{\text{п}})M_1 + p_{\text{п}}M_2}{RT}$. Из последнего выражения находим, что $p_{\text{п}} = \frac{p_0M_1 - \rho RT}{M_1 - M_2}$. Учитывая, что относительная влажность воздуха по определению равна $\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}}$, а давление насыщенного пара $p_{\text{н}} = \frac{\rho_0 RT}{M_2}$, получаем, что $\varphi = \frac{(p_0M_1 - \rho RT)M_2}{(M_1 - M_2)\rho_0 RT}$.

Ответ: $\varphi = \frac{(p_0M_1 - \rho RT)M_2}{(M_1 - M_2)\rho_0 RT} \cdot 100\% \approx 84\%$.

III. Электродинамика

III.1. До начала раздвигания пластин энергия конденсатора была равна $W_{\text{н}} = \frac{CU^2}{2}$. После раздвигания пластин ёмкость конденсатора уменьшилась в n раз, а его энергия стала равной $W_{\text{к}} = \frac{CU^2}{2n}$. При этом через источник протёк заряд $\Delta q = \left(\frac{1}{n} - 1\right)CU$. Следовательно, работа сторонних сил источника за время раздвигания пластин равна $A_{\text{ист}} = U\Delta q = \left(\frac{1}{n} - 1\right)CU^2$. Согласно закону изменения энергии справедливо равенство $W_{\text{н}} + A_{\text{мех}} + A_{\text{ист}} = W_{\text{к}}$. Отсюда $A_{\text{мех}} = W_{\text{к}} - W_{\text{н}} - A_{\text{ист}}$. Окончательно получаем, что $A_{\text{мех}} = \frac{CU^2}{2} \left(\frac{n-1}{n}\right)$.

Ответ: $A_{\text{мех}} = \frac{CU^2}{2} \left(\frac{n-1}{n}\right) = 0,6$ мДж.

III.2. Начальная энергия двух заряженных конденсаторов $W_0 = \frac{C_1 V_1^2}{2} + \frac{C_2 V_2^2}{2}$. После соединения разноименно заряженных обкладок суммарный заряд на них станет $q = |C_2 V_2 - C_1 V_1|$. Поскольку конденсаторы соединили параллельно, их полная энергия после перезарядки будет $W_1 = \frac{q^2}{2(C_1 + C_2)}$. Искомое отношение энергий

$$k = \frac{W_1}{W_0} = \frac{(C_2 V_2 - C_1 V_1)^2}{(C_1 + C_2)(C_1 V_1^2 + C_2 V_2^2)}.$$

Ответ: $k = \frac{(C_2 V_2 - C_1 V_1)^2}{(C_1 + C_2)(C_1 V_1^2 + C_2 V_2^2)} = \frac{1}{28}$.

IV. Оптика

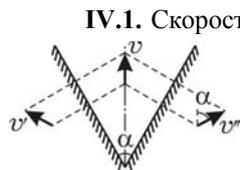


Рис. 34

IV.1. Скорость движущейся точки отражается в плоском зеркале так же, как любой объект. Поэтому скорости изображений точек в зеркалах имеют одинаковую величину, а их направления образуют угол $2\alpha = 120^\circ$ (см. рис. 44). Как легко видеть на том же рисунке, скорость взаимного сближения (или удаления) изображений $U = 2v \sin \alpha$. Из законов кинематики равномерного прямолинейного движения следует, что

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{U}. \text{ Таким образом, } \Delta t = \frac{\Delta x}{2v \sin \alpha}. \text{ Ответ: } \Delta t = \frac{\Delta x}{2v \sin \alpha} \approx 3,5 \text{ с.}$$

IV.2. Наибольший угол преломления на поверхности жидкости будет у лучей света, падающих по касательной к поверхности. Поэтому в толще жидкости образуется расходящийся конус лучей света, ограниченный предельным углом, для которого $\sin \alpha = \frac{1}{n}$. При отражении от зеркала на дне угол раствора конуса не изменяется, поэтому радиус освещенной области на нижней поверхности экрана равен $R = 2h \operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}$. **Ответ:** $S = \frac{4\pi h^2}{n^2 - 1} \approx 1005 \text{ см}^2$.

ДЛЯ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ РАБОТАЮТ:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

для учащихся 10-х и 11-х классов. Занятия платные, проходят два раза в неделю с 17.30 до 20.00. Набор в школу осуществляется ежегодно в сентябре-октябре по результатам собеседования. Занятия по математике и физике проводят ведущие профессора и доценты факультета. Получить информацию о школе Вы можете с 16.00 до 18.00 по телефону **(495) 939-38-78**.

ВЕЧЕРНЯЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

для учащихся 8-х – 9-х классов. Занятия ведут студенты-старшекурсники и аспиранты факультета. Обучение в школе бесплатное. Семинары проходят в вечернее время с 17 до 19 часов. Набор в школу производится в конце сентября и продолжается в течение учебного года. Получить информацию о ВФШ можно по телефону **(495) 939-11-19**.

ВЕЧЕРНЯЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

для учащихся 9-х – 11-х классов. Школа работает при Государственном астрономическом институте имени П.К. Штернберга (ГАИШ) и Астрономическом обществе. Обучение в школе бесплатное. Занятия проходят в ГАИШ. Набор в школу производится в течение всего учебного года. Получить информацию о школе можно по телефону **(495) 932-88 44**.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР МГУ (ШКОЛА им. А.Н.КОЛМОГорова)

для прошедших по конкурсу учащихся из Москвы и других регионов Российской Федерации. Обучение рассчитано на один год (11-й класс), или на 2 года (10-й – 11-й классы). Занятия ведут профессора и преподаватели Московского университета. Учащиеся, успешно окончившие школу, получают рекомендацию для поступления на физический и другие естественные факультеты МГУ.

Адрес СУНЦ МГУ: 121357, Москва, ул. Кременчугская, д.11. Телефон приемной комиссии **(499) 445-11-08**.

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

предлагает старшеклассникам дистанционные подготовительные курсы по физике и математике. Обучение платное. Курсы ведут профессора и преподаватели физфака МГУ. Для того чтобы стать слушателем Центра, необходимо наличие компьютера и доступ к сети Интернет. Справки по телефону **(495) 939-39-79** или на сайте <http://distant.phys.msu.ru/>.

Учебное издание

**ФИЗИКА. ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
И ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» В МГУ – 2018**

Оригинал-макет: *Чесноков С.С.*

Подписано в печать 26.09.2018 г. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 3 усл.п.л.
Тираж 2000 экз. Изд. № 197.

Физический факультет МГУ
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова

Типография МГУ им. М.В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы