



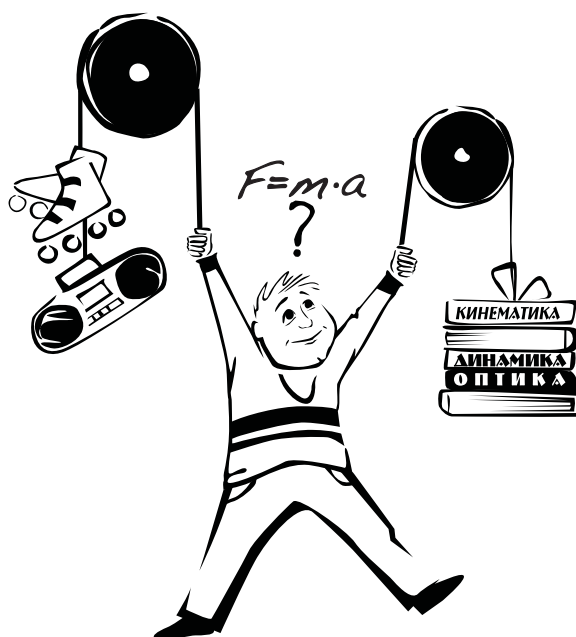
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

ФИЗИКА

ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО
ЭКЗАМЕНА И ОЛИМПИАДЫ
“ЛОМОНОСОВ”

В МГУ – 2019

(с подробными решениями)



Москва
2019

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

ФИЗИКА
ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
И ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ»
В МГУ – 2019

(с подробными решениями)

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Москва - 2019

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.,
Поляков П.А., Чесноков С.С., Чистякова Н.И., Шленов С.А.*

Физика. Задачи профильного экзамена и олимпиады «Ломоносов» в МГУ – 2019 (с подробными решениями) / Боков П.Ю. и др. Под ред. В.А. Макарова – Москва: физический факультет МГУ, 2019.– 52 с.: ил.
ISBN 978-5-8279-0180-8

Сборник содержит материалы профильного вступительного экзамена и двухтуровой олимпиады для школьников «Ломоносов – 2018/2019» по физике, проводившейся в МГУ в 2018 – 2019 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 2018/2019 учебный год, утвержденный Минобрнауки РФ. В конце первой части сборника помещены задания профильного экзамена по физике, проводившегося 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, абитуриентов, учителей и преподавателей, ведущих занятия по физике со школьниками.

УДК 53(075.3)
ББК 22.3я729

ISBN 978-5-8279-0180-8

© Авторский коллектив, 2019
© Физический факультет МГУ, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Программа вступительных испытаний по физике	4	
	Условия	Решения
Олимпиада «Ломоносов – 2018/2019»	15	29
I. Отборочный этап	15	29
Задание для 7-х – 9-х классов	15	29
Первый тур	15	29
Второй тур	16	31
Задание для 10-х – 11-х классов	17	32
Первый тур	17	32
Второй тур	19	35
II. Заключительный этап	20	38
Задание для 7-х – 8-х классов	21	38
Задание для 9-х классов	22	40
Задание для 10-х – 11-х классов	23	43
Профильный экзамен 2019	25	45
I. Механика	25	45
II. Молекулярная физика и термодинамика	26	46
III. Электродинамика	27	47
IV. Оптика	27	48
Для учащихся старших классов		50

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 – 2018/2019»

В 2018/2019 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 2018 года (1-й тур) и с 6 по 10 декабря 2018 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. Поскольку числовые данные в условиях задач для каждого участника были индивидуальными, приводимые здесь решения задач и ответы к ним приведены в общем виде.

I. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 9-х классов

Первый тур

I.1. Одной из характеристик писчей бумаги является ее плотность σ , для измерения которой обычно используется внесистемная единица г/м^2 . Какое давление p оказывает на стол лист бумаги плотностью σ ? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

I.2. Мальчик переплывает реку, двигаясь по прямой из точки A , находящейся на одном берегу реки, в точку B , находящуюся ниже по течению на противоположном берегу реки, за время t . Скорость течения реки $u = 1 \text{ м/с}$. Найдите ширину реки h , если известно, что модуль скорости мальчика относительно воды $v = 0,8 \text{ м/с}$, а вектор этой скорости перпендикулярен прямой AB .

- I.3.** Из медной проволоки площадью поперечного сечения $s = 0,5 \text{ мм}^2$ изготовлен контур, имеющий форму квадрата $ABCD$ со стороной $a = 1 \text{ м}$, а из алюминиевой проволоки того же сечения – его диагонали AC и BD , соединенные в точке O (см. рис. 1). Вершины A и C подключены к источнику постоянного напряжения U . Найдите мощность N , выделяющуюся в рассматриваемой цепи, если сопротивление подводящих проводов пренебрежимо мало. Удельное сопротивление меди $\rho_m = 0,018 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, удельное сопротивление алюминия $\rho_a = 0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

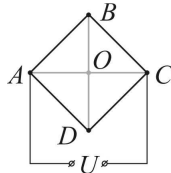


Рис. 1

- I.4.** С какой минимальной скоростью v_{\min} должен влететь в атмосферу Земли метеорит, состоящий из железа, чтобы полностью расплавиться в воздухе, если на нагрев метеорита расходуется относительная доля его начальной кинетической энергии, равная α ? Начальная температура метеорита $t_0 = -261 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельную теплоёмкость железа считайте равной $c = 460 \text{ Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$, температуру плавления железа – $t_{\text{пл}} = 1539 \text{ }^\circ\text{C}$, удельную теплоту плавления железа – $\lambda = 270 \text{ кДж}/\text{кг}$.

- I.5.** На поверхности воды плавает непрозрачный шар радиусом R , наполовину погруженный в воду. На какой максимальной глубине H_{\max} нужно поместить под центром шара точечный источник света, чтобы ни один световой луч не прошел в воздух? Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Второй тур

- I.6.** Бревно массой m плавает в воде, не касаясь дна реки. Какой объем V занимает погруженная в воду часть бревна? Плотность воды $\rho = 1 \text{ г}/\text{см}^3$.

- I.7.** Моторная лодка плывёт по реке вниз по течению. В тот момент, когда лодка проплывала мимо пристани, из неё выпал спасательный круг. Рыбак, находившийся в лодке, обнаружил пропажу только спустя $t = 20$ минут. Он сразу же развернул лодку и поплыл в обратном направлении, не изменяя режима работы мотора.

Спасательный круг он нашёл на расстоянии S от пристани. Определите скорость v течения реки, считая её постоянной.

I.8. Цепь, изображенная на рис. 2, составлена из четырех одинаковых резисторов сопротивлением $R = 7,5$ Ом каждый и резистора $R_1 = 1$ Ом. На клеммах AB поддерживается постоянное напряжение U . На какую величину ΔI изменится сила тока, текущего через резистор R_1 , после замыкания ключа K ? Сопротивлением проводов и ключа можно пренебречь.

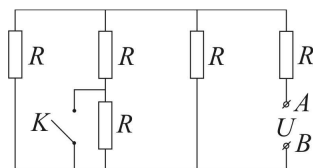


Рис. 2

I.9. При центральном соударении шарика, движущегося со скоростью v , с таким же неподвижным шариком последний приобретает скорость $v/2$. Найдите изменение температуры шариков Δt , если удельная теплоемкость вещества, из которого они состоят, $c = 0,25$ кДж/(кг·С°). Рассеянием теплоты в окружающую среду можно пренебречь.

I.10. Тонкий круглый деревянный диск плавает в бассейне, наполненном водой (рис. 3). В воде под диском на глубине h находится точечный источник света S , причем центр диска и источник находятся на одной вертикали. Пренебрегая отражением света от стенок и дна бассейна, определите минимальный диаметр диска d , при котором ни один световой луч не выйдет из воды. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

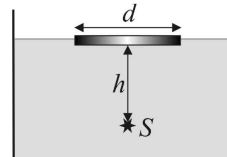


Рис. 3

Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

I.11. Два пластилиновых шарика массами m и $2m$ одновременно бросают навстречу друг к другу с одинаковыми скоростями $v_0 = 5$ м/с, лежащими в одной вертикальной плоскости и образующими с горизонтом углы $\alpha = 30^\circ$ (рис. 4). Точки бросания шариков находятся на поверхности

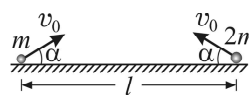
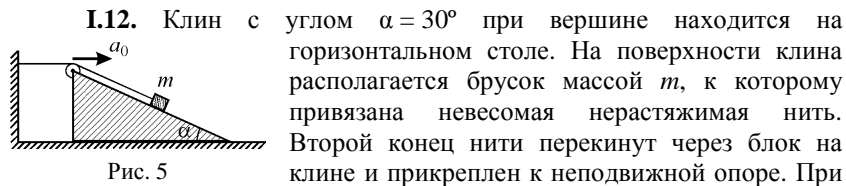


Рис. 4

Условия задач

земли на расстоянии l друг от друга. После соударения шарики слипаются и движутся далее как одно тело. Найдите время τ полета этого тела от момента соударения до момента падения на землю. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.



I.13. В вертикально расположенном цилиндрическом сосуде под невесомым подвижным поршнем содержится некоторое количество идеального газа. Газ медленно нагревают так, что он совершает работу A . Во сколько раз α изменяется при этом среднее число соударений молекул газа с единичной площадкой на стенке сосуда за единицу времени? Начальный объем газа $V_0 = 10 \text{ л}$, атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Трение между поршнем и стенками сосуда считайте пренебрежимо малым.

I.14. В демонстрационной модели генератора переменного тока плоская проволочная рамка площадью $S = 0,02 \text{ м}^2$ равномерно вращается в однородном магнитном поле. Ось вращения перпендикулярна вектору магнитной индукции поля, модуль которого равен $B = 0,3 \text{ Тл}$. Через токосъемные контактные кольца к рамке подключают лампочку от карманного фонарика с вольфрамовой нитью накаливания. До какой температуры t нагревается эта нить, если мощность светового излучения лампочки равна $P_{\text{св}}$? Относительная доля работы тока, преобразованной в это излучение, равна $\eta = 0,9$. Сопротивление нити накаливания при температуре 0°C равно $R_0 = 1 \text{ Ом}$. Температурный коэффициент сопротивления вольфрама

считайте равным $\alpha = 0,005 \text{ K}^{-1}$. Угловая скорость вращения рамки $\omega = 300 \text{ рад/с}$. Сопротивлением и индуктивностью рамки можно пренебречь.

I.15. Расстояние от предмета до экрана L . Какое максимальное увеличение Γ_{max} изображения предмета на экране можно получить с помощью тонкой линзы с фокусным расстоянием $F = 10 \text{ см}$? Ответ округлите до сотых.

Второй тур

I.16. Мальчик бросает мяч в направлении вертикальной стены так, чтобы мяч, отскочив от стены, упал точно к его ногам (рис. 6). Какова должна быть начальная скорость мяча v_0 , если бросок производится с высоты $h = 1,5 \text{ м}$ под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту? Расстояние от мальчика до стены l . Удар мяча о стену считайте абсолютно упругим, ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Размером мячика и сопротивлением воздуха можно пренебречь.

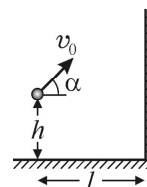


Рис. 6

I.17. Небольшой шарик массой $m = 0,1 \text{ кг}$ подвешен к потолку на невесомой нерастяжимой нити длиной $l = 1 \text{ м}$ (рис. 7) и совершает малые колебания с периодом T_0 . После того, как шарик дополнительно соединили с неподвижной стенкой посредством горизонтальной невесомой пружины, период его малых колебаний в плоскости нити и пружины стал равным T_1 . При этом пружина в положении равновесия маятника не деформирована. Определите коэффициент жесткости пружины k , если параметр $(T_0 - T_1)/T_0 = n$. Считайте, что модуль ускорения свободного падения равен $g = 10 \text{ м/с}^2$, а сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

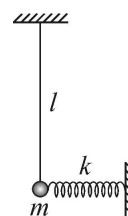


Рис. 7

I.18. В прочном горизонтальном цилиндре под поршнем находится смесь азота и гелия при температуре $T = 84 \text{ К}$ и давлении $p = 200 \text{ кПа}$. Поршень медленно вдвигают в цилиндр, изотермически сжимая смесь. При уменьшении объема в n раз на стенках сосуда появляются капельки жидкости. Давление насыщенных паров азота при температуре T равно $p_{\text{н.п.}} = 208 \text{ кПа}$. Пренебрегая массой и объемом

Условия задач

сконденсировавшейся жидкости, определите отношение k числа молекул гелия к числу молекул азота в цилиндре. Критическая температура для паров азота равна $T_1 = 126$ К, для паров гелия $T_2 = 4,2$ К.

I.19. Плоская рамка площадью $S = 25$ см², изготовленная из тонкой проволоки, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл, перпендикулярной плоскости рамки. Если рамку медленно повернуть на 180° вокруг оси, лежащей в её плоскости, то по рамке протечёт заряд q . Пренебрегая индуктивностью рамки, определите среднюю тепловую мощность $N_{\text{ср}}$, выделяющуюся в рамке при её вращении вокруг той же оси с угловой скоростью $\omega = 60$ рад/с. Ответ выразите в милливаттах, округлив до сотых.

I.20. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 10$ см на расстоянии a от нее находится точечный источник, испускающий узкий пучок света. По другую сторону линзы на расстоянии $l = 10$ см от неё расположен зеркальный шар, центр которого лежит на главной оптической оси линзы (рис 8). Определите радиус шара R , если лучи, отражённые от него собираются в фокусе линзы, ближайшем к источнику. Учтите, что для малых значений аргумента x , заданного в радианах, справедлива приближенная формула $\text{tg } x \approx x$.

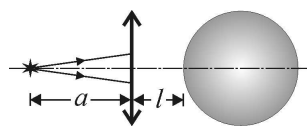


Рис. 8

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 Астана (Казахстан), Белгород и Невинномысск.

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 2019 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 задач и уточняющих вопросов по теории. 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 – 2018/2019»

Задание для 7-х – 8-х классов

П.1. Сплошной однородный цилиндр высотой $h = 8$ см и диаметром основания $D = 6$ см стоит на горизонтальной плоскости. Медленно наклоняя цилиндр, его опрокидывают. Во сколько раз n энергия, выделившаяся при падении цилиндра на стол, превысит минимальную работу, совершенную при его опрокидывании? Ответ округлите до десятых.

П.2. В чайник со свистком налили воду массой $m_1 = 1$ кг и поставили на электрическую плитку. Через время $\tau_1 = 6$ мин вода закипела и раздался свисток. Какова масса m_2 воды, оставшейся в чайнике после кипения воды, продолжавшегося в течение еще $\tau_2 = 2$ мин? Начальная температура воды $t = 20$ °С, температура кипения воды $t_k = 100$ °С. Удельная теплота парообразования воды $r = 2,3$ МДж/кг, а ее удельная теплоёмкость $c = 4,2$ кДж/(кг·°С). Теплоемкостью чайника и потерями теплоты за счет рассеяния в окружающую среду можно пренебречь.

П.3. Гальванометр с неизвестным внутренним сопротивлением включили в цепь источника постоянного тока один раз последовательно с резистором сопротивлением $R = 10$ Ом, а второй раз параллельно с ним. При этом в первый раз стрелка гальванометра отклонилась на $X_1 = 2$ деления шкалы, а во второй раз на $X_2 = 4$ деления. Определите по этим данным внутреннее сопротивление гальванометра r , если напряжение на клеммах источника в обоих случаях одно и то же.

П.4. Непрозрачный сосуд имеет форму куба с длиной ребра $a = 50$ см. Внутри сосуда параллельно одной из его боковых граней направляют луч света, как показано на рис. 9. Луч попадает в точку b , находящуюся на ребре куба. До какого уровня h необходимо заполнить сосуд водой, чтобы луч света попал в точку c , расположенную на дне сосуда на расстоянии $a/4$

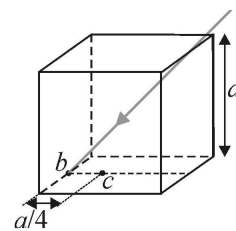


Рис. 9

от точки b . Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Задание для 9-х классов

II.5. Гепард, заметив антилопу, убегающую от него со скоростью $v_A = 20$ м/с, начинает ее преследовать. Разгоняясь равноускоренно, он за $\tau_1 = 4$ с развивает скорость $v_T = 30$ м/с, с которой бежит в течение $\tau_2 = 10$ с. Затем, почувствовав перегрев своего тела, гепард прекращает преследование, останавливаясь с тем же по модулю ускорением, что и при разгоне. На каком максимальном расстоянии S_{\max} должны находиться друг от друга в начальный момент эти животные, чтобы гепард смог полакомиться пойманной антилопой?

Замечание. Вследствие отсутствия потовых желез на теле и плохого отвода теплоты через шкуру гепард не может развивать максимальную скорость (примерно 110 км/ч) в течение длительного времени без опасного для его организма перегрева.

II.6. В калориметр с водой, имеющей температуру $t_1 = 8$ °С, помещают кусок льда, причем масса льда равна массе воды. После установления теплового равновесия оказалось, что отношение массы льда к массе воды равно $k = 8/7$. Пренебрегая теплообменом калориметра с окружающей средой, определите начальную температуру t_2 льда. Удельные теплоёмкости льда и воды считайте равными $c_{\text{л}} = 2,1$ кДж/(кг·°С) и $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг·°С), соответственно, удельную теплоту плавления льда – $\lambda = 0,33$ МДж/кг, а температуру плавления льда $t_0 = 0$ °С. Ответ приведите в градусах Цельсия.

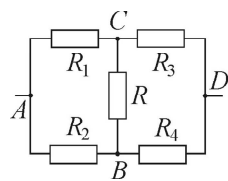


Рис. 10

II.7. Электрическая цепь, схема которой изображена на рис. 10, подключена к источнику постоянного напряжения в точках A и D . Известно, что сила тока через резистор R_2 равна $I_2 = 0,6$ А. Пренебрегая сопротивлением проводов, определите силу тока I_1 , текущего через резистор R_1 . Считайте, что $R_1 = R_4 = 2R$, $R_2 = R_3 = R$, где $R = 1$ Ом.

П.8. С помощью тонкой собирающей линзы получено мнимое изображение предмета с увеличением $\Gamma_1 = 20$. Когда, не двигая линзу, сместили предмет параллельно самому себе на расстояние $\Delta a = 4$ мм, увеличение изображения предмета стало равным $\Gamma_2 = 25$. Найдите оптическую силу линзы D .

Вариант задания для 10-х – 11-х классов

П.9. Задача. Вертолёт Ми-171 массой $m = 7 \cdot 10^3$ кг неподвижно завис над поверхностью Земли (рис. 11). Какую мощность N развивает при этом его двигатель, если диаметр винта вертолётa $d = 20$ м. Считайте, что доля мощности двигателя, расходуемая на образование вертикальной струи воздуха, составляет $\eta = 80\%$ от его полной мощности, а скорость воздуха в этой струе примерно одинакова по всему ее сечению. Плотность воздуха $\rho = 1,3$ кг/м³. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².



Рис. 11

Вопросы. Сформулируйте второй и третий законы Ньютона.

П.10. Задача. Цилиндр A соединён с сосудом B короткой трубкой с краном (рис. 12). В исходном состоянии в сосуде и в цилиндре справа от поршня находились равные количества гелия при одинаковой температуре и давлении $p_0 = 1$ атм. Закрыв кран, объём гелия в цилиндре изобарно уменьшили в $n = 3$ раза, а гелий в сосуде нагрели так, что его давление возросло в $k = 3$ раза. Затем, зафиксировав положение поршня, открыли кран. Пренебрегая объемом трубки и теплообменом гелия с окружающими телами, определите установившееся давление p в сосуде. Ответ выразите в атмосферах.

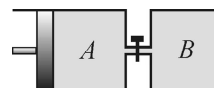
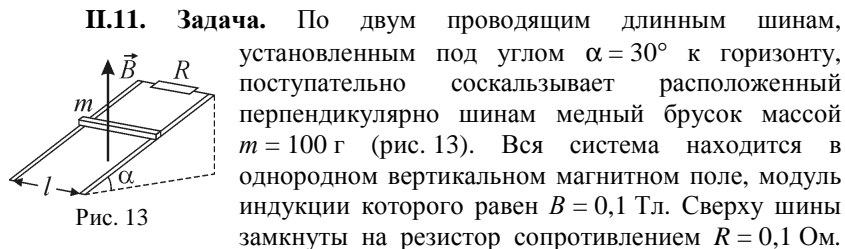


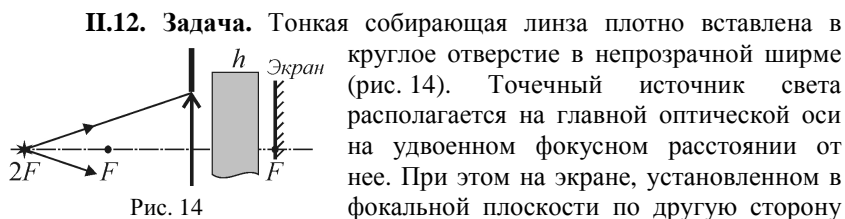
Рис. 12

Вопросы. Запишите уравнение Менделеева–Клапейрона (уравнение состояния идеального газа). Какими уравнениями описываются изотермический, изобарный и изохорный процессы?



II.11. Задача. По двум проводящим длинным шинам, установленным под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, поступательно соскальзывает расположенный перпендикулярно шинам медный брусок массой $m = 100$ г (рис. 13). Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого равен $B = 0,1$ Тл. Сверху шины замкнуты на резистор сопротивлением $R = 0,1$ Ом. Коэффициент трения между поверхностями шин и бруска равен $\mu = 0,5$, а расстояние между шинами $l = 1$ м. Пренебрегая сопротивлением шин, бруска и мест контакта между ними, найдите тепловую мощность N , выделяющуюся в резисторе при движении бруска с установившейся скоростью. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

Вопросы. Сформулируйте закон электромагнитной индукции и правило Ленца.



II.12. Задача. Тонкая собирающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме (рис. 14). Точечный источник света располагается на главной оптической оси на удвоенном фокусном расстоянии от нее. При этом на экране, установленном в фокальной плоскости по другую сторону от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, наблюдается светлое пятно диаметра $d = 1$ см. Каким станет диаметр d_1 светлого пятна на экране, если между ним и линзой поместить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $h = 2$ см с показателем преломления $n = 2$? Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Учтите, что для малых значений аргумента x , заданного в радианах, справедливы приближенные формулы $\sin x \approx \text{tg } x \approx x$.

Вопросы. Какие линзы называют тонкими? Что такое фокусное расстояние и оптическая сила тонкой линзы?

ПРОФИЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН 2019

В 2019 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. Запишите формулы для зависимости от времени координаты и скорости точки, совершающей прямолинейное равнопеременное движение.

Задача. Два одинаковых груза массами $M = 1$ кг каждый соединены между собой легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через невесомый блок, причем правый груз находится выше левого (рис. 15). На правый груз осторожно положили перегрузок в виде диска с прорезью, выступающего за края груза, после чего система грузов пришла в движение. Переместившись вниз на некоторое расстояние, правый груз встретил ограничитель в виде горизонтально закрепленного кольца, сквозь которое груз прошел беспрепятственно, а перегрузок был удержан кольцом. На какую величину ΔT изменится сила натяжения нити после прохождения правым грузом кольца ограничителя, если масса перегрузка $m = 250$ г? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

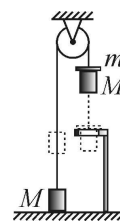


Рис. 15

I.2. Сформулируйте закон сохранения механической энергии системы материальных точек. Поясните смысл входящих в этот закон величин.

Задача. На краю стола лежит шайба 1 радиуса $R = 10$ см. Такая же шайба 2 находится на расстоянии $S = 15$ см от первой шайбы (см. рис. 16). Какую минимальную скорость v_{\min} надо ударом сообщить второй шайбе в направлении первой, чтобы та упала со стола?

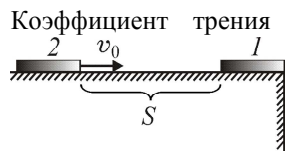


Рис. 16

Коэффициент трения шайб о поверхность стола равен $\mu = 0,2$. Соударение шайб считайте центральным и абсолютно упругим. Центры шайб расположены на одном перпендикуляре к краю стола. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

II. Молекулярная физика и термодинамика

II.1. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории. Каковы по порядку величины масса и размеры молекул?

Задача. В два одинаковых цилиндрических сообщающихся сосуда, герметично закрытых крышками, налита жидкость плотностью $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ (рис. 17).

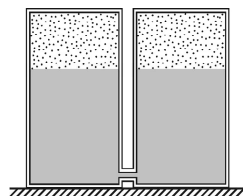


Рис. 17

Сверху над жидкостью находится идеальный газ. Расстояние между уровнем жидкости и крышками сосудов равно $h = 50 \text{ см}$. В начальном состоянии температура и давление газа в обоих сосудах были одинаковыми и соответственно равными $T_0 = 300 \text{ К}$ и $p_0 = 10^3 \text{ Па}$. Определите, до какой температуры T надо нагреть газ в правом сосуде, чтобы в левом сосуде жидкость поднялась на высоту $\Delta h = 1 \text{ см}$, если температуру газа в левом сосуде поддерживать равной T_0 . Давлением паров жидкости, тепловым расширением жидкости и сосудов можно пренебречь. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

II.2. Сформулируйте определение внутренней энергии термодинамической системы. Укажите способы изменения внутренней энергии.

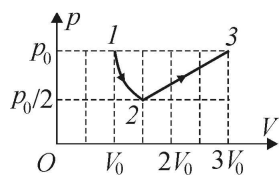


Рис. 18

Задача. Над некоторым количеством идеального одноатомного газа осуществляют процесс, график которого представлен на рис. 18, где участок $1-2$ – адиабатное расширение. Найдите отношение η работы, совершенной газом, к количеству теплоты, полученному газом от нагревателя.

III. Электродинамика

III.1. Дайте определение потенциала электростатического поля. Запишите формулу, связывающую разность потенциалов с напряженностью однородного электростатического поля.

Задача. Три одинаковых маленьких шарика массой $m = 10$ г каждый, несущие заряды $q = 10^{-8}$ Кл, связаны тремя непроводящими нитями длиной $l = 5$ см каждая и располагаются на гладком непроводящем горизонтальном столе, образуя правильный треугольник (см. рис. 19). Нить, соединяющую шарики 1 и 2, перерезают и шарики приходят в движение. Пренебрегая поляризацией поверхности стола, найдите максимальную скорость v_3 шарика 3. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

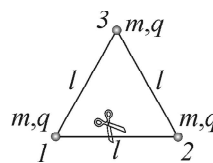


Рис. 19

III.2. Как определяются величина и направление вектора магнитной индукции?

Задача. Деревянный цилиндр массой $m = 25$ г и длиной $l = 10$ см лежит на наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, так, что ось цилиндра горизонтальна (рис. 20). Цилиндр плотно (без зазора) охватывает закрепленная на нем тонкая прямоугольная проволочная рамка, плоскость которой проходит через ось цилиндра. Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл, вектор которой направлен вертикально. Какой минимальный ток I_{\min} нужно пропустить по рамке, чтобы цилиндр не скатывался по наклонной плоскости? Трение между цилиндром и наклонной плоскостью достаточно велико для того, чтобы цилиндр не скользил. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

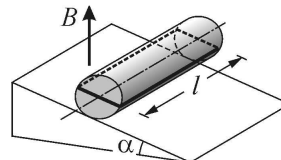


Рис. 20

IV. Оптика

IV.1. Какие линзы называются тонкими? Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

Условия задач

Задача. Предмет высотой $h = 2$ см расположен на расстоянии $a = 20$ см от плосковыпуклой тонкой линзы с фокусным расстоянием $F = 16$ см перпендикулярно её главной оптической оси. Выпуклая поверхность линзы обращена к предмету. Определите высоту H изображения предмета, даваемого этой линзой после того, как её плоскую поверхность посеребрят.

IV.2. Постройте ход световых лучей в призме. Что такое полное внутреннее отражение?

Задача. Перед плоским зеркалом, расположенным вертикально, стоит горящая свеча, изображение пламени которой рассматривают, направив взгляд по нормали к поверхности зеркала (рис. 21). На какое расстояние x сместится изображение пламени, если между свечой и зеркалом поместить плоскопараллельную стеклянную пластинку, параллельную зеркалу? Толщина пластинки $d = 1,2$ см, показатель преломления стекла $n = 1,5$. Углы падения света на пластинку и преломления в ней считайте малыми. Учтите, что для малых значений аргумента α , заданного в радианах, справедливо приближенное равенство $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$.

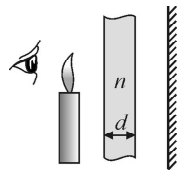


Рис. 21

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ – 2018/2019»

I. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 9-х классов

Первый тур

I.1. Сила тяжести, действующая на лист бумаги площадью S , равна $P = \sigma S g$. Давление, оказываемое листом на стол, $p = \frac{P}{S}$. **Ответ:**
 $p = \sigma g$.

I.2. Скорость мальчика относительно берега \vec{V} складывается из скорости мальчика относительно воды и скорости течения, т.е. $\vec{V} = \vec{v} + \vec{u}$. При этом вектор \vec{V} направлен вдоль отрезка AB . По условию задачи вектор \vec{v} направлен перпендикулярно этому отрезку, поэтому эти три вектора образуют прямоугольный треугольник, как показано на рис. 22. Из рисунка видно, что

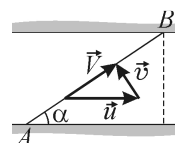


Рис. 22

$\sin \alpha = \frac{v}{u} = \frac{L}{AB}$. Отсюда $L = \frac{v}{u} AB$. Длина отрезка AB равна $V\tau$, причем значение скорости V можно найти по теореме Пифагора. Имеем $AB = V\tau = \sqrt{u^2 - v^2} \cdot \tau$. Окончательно для ширины реки получаем выражение $L = \frac{v}{u} AB = \frac{v\tau}{u} \sqrt{u^2 - v^2}$. **Ответ:** $L = \frac{v\tau}{u} \sqrt{u^2 - v^2}$.

I.3. Из соображений симметрии ясно, что по диагонали BD ток не течет и ее можно удалить из схемы. Используя стандартные формулы для расчета сопротивления последовательно и параллельно соединенных проводников, находим, что сопротивление цепи

$$R = \frac{R_{AB} R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC}}, \quad \text{где} \quad R_{AB} = \frac{\rho_m a}{s}, \quad R_{AC} = \frac{\rho_a a \sqrt{2}}{s}. \quad \text{Следовательно,}$$

$$R = \frac{\rho_m \rho_a a \sqrt{2}}{s(\rho_m + \rho_a \sqrt{2})}. \quad \text{Согласно закону Джоуля-Ленца имеем}$$

$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 s(\rho_m + \rho_a \sqrt{2})}{\rho_m \rho_a a \sqrt{2}}. \quad \text{Ответ: } N = \frac{U^2 s(\rho_m + \rho_a \sqrt{2})}{\rho_m \rho_a a \sqrt{2}}.$$

I.4. Метеор нагревается и плавится в результате превращения части его кинетической энергии во внутреннюю энергию. Уравнение теплового баланса имеет вид $\alpha \frac{mv_{\min}^2}{2} = mc(t_{\text{пл}} - t_0) + \lambda m$, где m – масса метеорита. Отсюда $v_{\min} = \sqrt{\frac{2c(t_{\text{пл}} - t_0) + 2\lambda}{\alpha}}$.

Ответ: $v_{\min} = \sqrt{\frac{2(c(t_{\text{пл}} - t_0) + \lambda)}{\alpha}}$.

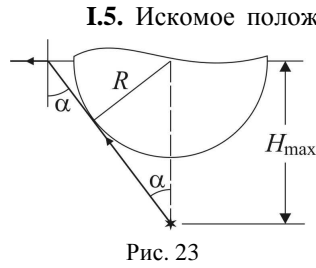


Рис. 23

I.5. Искомое положение источника изображено на рис. 23. Оно определяется из условия, что касательные к шару лучи света, испущенные источником, падают на границу раздела "вода – воздух" под предельным углом полного отражения. В этом случае действительно ни один луч от источника не выйдет в воздух, т.к. часть лучей будет перекрыта шаром, а все остальные лучи заведомо испытают полное отражение на границе раздела сред. Если переместить источник на меньшую глубину, свет по-прежнему не выйдет из воды, если же наоборот погрузить источник глубже, чем H_{\max} , то найдется часть лучей, которые будут падать на границу под углами, меньшими предельного угла полного отражения, и пройдут в воздух. Минимальный угол α падения луча на границу "вода – воздух" определяется равенством $\sin \alpha = \frac{R}{H_{\max}}$. Поскольку при полном отражении $\sin \alpha = \frac{1}{n}$, то $H_{\max} = Rn$. **Ответ:** $H_{\max} = Rn$.

Второй тур

I.6. Условие плавания бревна имеет вид $mg = \rho Vg$. Отсюда $V = \frac{m}{\rho}$. **Ответ:** $V = \frac{m}{\rho}$.

I.7. Будем решать задачу в системе отсчёта, связанной с водой. В этой системе лодка движется с постоянной по модулю скоростью, определяемой только режимом работы мотора. В системе отсчёта, связанной с водой, плот неподвижен, поэтому расстояния, пройденные лодкой относительно воды при движении по течению и против течения одинаковы. Следовательно, времена движения "туда" и "обратно" совпадают. Значит время, прошедшее между моментами потери спасательного круга и его обнаружения, равно $2t$. За это время плот, двигаясь со скоростью течения v , прошел относительно берега расстояние S , т.е. $S = 2vt$. **Ответ:** $v = \frac{S}{2t}$.

I.8. Когда ключ разомкнут, полное сопротивление цепи равно $R' = R_1 + \frac{2R}{5}$. При замкнутом ключе ток течет в обход резистора, к которому подсоединен ключ, и полное сопротивление цепи становится равным $R'' = R_1 + \frac{R}{3}$. Изменение силы тока, текущего через резистор R_1 , определяется как $\Delta I = \frac{U}{R''} - \frac{U}{R'}$.
Ответ: $\Delta I = \frac{UR}{(3R_1 + R)(5R_1 + 2R)}$.

I.9. Обозначим через m массу каждого из шариков, а через u – скорость первоначально двигавшегося шарика, которую он приобретет после соударения. По закону сохранения импульса: $mv = tu + m\frac{v}{2}$, откуда $u = \frac{v}{2}$. Следовательно, после соударения оба шарика движутся с одной скоростью. По закону изменения механической энергии имеем

$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv^2}{8} + \frac{mv^2}{8} + Q$. Отсюда находим, что выделившееся при ударе количество теплоты $Q = \frac{mv^2}{4}$. Из уравнения теплового баланса следует равенство $2mc\Delta t = Q$. **Ответ:** $\Delta t = \frac{v^2}{8c}$.

I.10. Условие задачи будет выполнено, если луч SA , идущий от источника в край диска, будет падать на поверхность воды под критическим углом полного внутреннего отражения $\alpha_{кр}$, для которого выполняется условие $\sin \alpha_{кр} = \frac{1}{n}$. При падении луча на границу раздела воды и воздуха под таким углом, преломленный луч будет идти по поверхности воды. Лучи, падающие на границу раздела воды и воздуха под большими углами, испытают на этой границе полное отражение и в воздух не выйдут. Из рисунка

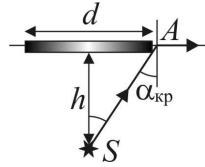


Рис. 24

видно, что $\sin \alpha_{кр} = \frac{d}{2\sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}}$. Таким образом, $\frac{d}{\sqrt{4h^2 + d^2}} = \frac{1}{n}$.

Отсюда $d = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}$. **Ответ:** $d = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}$.

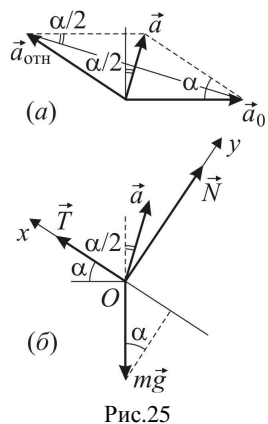
Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

I.11. Столкновение шариков произойдет в воздухе на равных расстояниях от точек бросания. Пренебрегая импульсом силы тяжести за время соударения, по закону сохранения импульса в проекции на вертикальную ось имеем: $mv_y + 2mv_y = 3mv'_y$. Отсюда следует, что вертикальная составляющая скорости шариков после соударения не изменится. Полное время движения шариков от момента бросания до момента падения на землю $t_0 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$, а время движения до

соударения $t_1 = \frac{l}{2v_0 \cos \alpha}$. Искомое время $\tau = t_0 - t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{l}{2v_0 \cos \alpha}$. **Ответ:** $\tau = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{l}{2v_0 \cos \alpha}$.

I.12. Ускорение \vec{a} бруска в неподвижной системе отсчета равно $\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}_{\text{отн}}$. При этом относительное ускорение бруска $\vec{a}_{\text{отн}}$ направлено вдоль наклонной поверхности клина вверх и, поскольку длина нити постоянна, по модулю совпадает с a_0 . Из рис. 25а видно, что $a = 2a_0 \sin \frac{\alpha}{2}$, а вектор \vec{a} образует с вертикалью угол $\alpha/2$. Силы, действующие на брусок в неподвижной системе отсчета, изображены на рис. 25б, где $m\vec{g}$ – сила тяжести, \vec{T} – сила натяжения нити, \vec{N} – сила реакции наклонной поверхности клина. Записывая уравнение движения бруска в проекции на ось Ox , имеем:



$ma \sin \frac{\alpha}{2} = T - mg \sin \alpha$. Используя полученное выше выражение для a , а также формулу $2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \cos \alpha$, получаем, что $T = mg \sin \alpha + ma_0(1 - \cos \alpha)$. **Ответ:** $T = m \cdot (g \sin \alpha + a_0(1 - \cos \alpha))$.

I.13. Число соударений молекул с единичной площадкой за единицу времени равно $\bar{Z} = \frac{1}{2} n \overline{|v_x|}$, где n – концентрация молекул, а $\overline{|v_x|}$ – средний модуль проекции скоростей молекул на направление, перпендикулярное стенке. Чтобы оценить $\overline{|v_x|}$, воспользуемся выражением для среднеквадратичной скорости молекул, а именно $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$, где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, а M – молярная масса газа. Поскольку

$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$, а в силу хаотичности движения молекул $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$,
 то $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$ и $\sqrt{\overline{v_x^2}} = \sqrt{\frac{\overline{v^2}}{3}} = \sqrt{\frac{RT}{M}}$. Из соображений размерности ясно,
 что $|\overline{v_x}|$ отличается от $\sqrt{\overline{v_x^2}}$ только некоторым числовым множителем.
 Поэтому $\overline{Z} \sim n\sqrt{T}$. Следовательно, искомое отношение числа
 соударений $\alpha = \frac{\overline{Z}_1}{\overline{Z}_0} = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} = \frac{V_0}{V_1} \sqrt{\frac{T_1}{T_0}}$, где V_1 и T_1 – объем и
 температура газа в конечном состоянии, T_0 – начальная температура
 газа. Работа газа в изобарном процессе $A = p_0(V_1 - V_0) = \nu R(T_1 - T_0)$, где
 $\nu = \frac{p_0 V_0}{RT_0}$ – количество газа. Из этих равенств находим, что
 $\frac{V_1}{V_0} = \left(1 + \frac{A}{p_0 V_0}\right)$, $\frac{T_1}{T_0} = \left(1 + \frac{A}{p_0 V_0}\right)$. Подставляя найденные соотношения в
 формулу для α , получаем, что $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + A/(p_0 V_0)}}$.

Ответ: $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + A/(p_0 V_0)}}$.

I.14. Мощность, выделяющаяся в лампочке, равна $P = \frac{1}{2} \frac{\mathcal{E}_0^2}{R}$, где
 R – сопротивление лампочки, $\mathcal{E}_0 = BS\omega$ – амплитудное значение ЭДС
 электромагнитной индукции. Сопротивление нити накаливания
 лампочки при рабочей температуре $R = R_0(1 + \alpha(t - 0^\circ\text{C}))$.
 Относительная доля работы тока, преобразованной в световое
 излучение лампочки, равна $\eta = \frac{P_{\text{св}}}{P}$. Решая совместно записанную
 систему уравнений, получаем, что $t = \frac{\eta \cdot B^2 \cdot S^2 \cdot \omega^2}{2P_{\text{св}}R_0\alpha} - \frac{1}{\alpha}$.

Ответ: $t = \frac{\eta \cdot B^2 \cdot S^2 \cdot \omega^2}{2P_{\text{св}}R_0\alpha} - \frac{1}{\alpha}$.

I.15. Обозначим через a и b расстояния от предмета до линзы и от линзы до экрана. По формуле тонкой линзы $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, а по условию $b = L - a$. Из записанных выражений получаем квадратное уравнение относительно a , а именно $a^2 - La + LF = 0$. Корни этого уравнения $a_{1,2} = \frac{L}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - 4F/L} \right)$. Поэтому $b_{1,2} = \frac{L}{2} \left(1 \mp \sqrt{1 - 4F/L} \right)$. Увеличение, даваемое линзой, $\Gamma = \frac{b}{a}$. Это выражение максимально, если

$$b = b_{\max} = b_2, \quad a = a_{\min} = a_2. \quad \text{Следовательно, } \Gamma_{\max} = \frac{1 + \sqrt{1 - 4F/L}}{1 - \sqrt{1 - 4F/L}}.$$

Ответ: $\Gamma_{\max} = \frac{1 + \sqrt{1 - 4F/L}}{1 - \sqrt{1 - 4F/L}}.$

Второй тур

I.16. Для того чтобы мяч, отскочив от стены, упал точно к ногам мальчика, траектория мяча должна иметь вид, изображенный на рис.26. При упругом ударе о неподвижную стенку угол между нормалью к стенке и скоростью мяча перед ударом равен по величине углу между нормалью к стенке и скоростью мяча после удара. Обозначим через t_0 время полета мяча. За это время он проходит по горизонтали путь $2l$. Горизонтальная составляющая скорости мяча равна $v_0 \cos \alpha$ и при полете не меняется по величине, следовательно $v_0 \cos \alpha \cdot t_0 = 2l$. С другой стороны, в момент времени t_0 вертикальная координата мяча должна

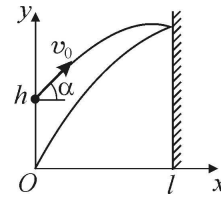


Рис. 26

обратиться в нуль: $h + v_0 \sin \alpha \cdot t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = 0$. Исключая из полученных

соотношений t_0 , находим, что $v_0 = \frac{l}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{2g}{h + 2l \operatorname{tg} \alpha}}.$

Ответ: $v_0 = \frac{l}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{2g}{h + 2l \operatorname{tg} \alpha}}.$

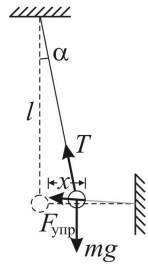


Рис. 27

I.17. Шарик движется под действием сил, модули и направления которых изображены на рис. 27, где mg – модуль силы тяжести, T – модуль силы натяжения нити, $F_{упр}$ – модуль силы упругости. Рассмотрим вначале колебания маятника в отсутствие пружины. Уравнение движения шарика при малых углах α отклонения маятника в этом случае имеет вид $ma = -mg \sin \alpha \approx -mg\alpha$. Учитывая, что $\alpha \approx \frac{x}{l}$, где x – горизонтальное смещение шарика, перепишем это уравнение в виде $a = -\frac{g}{l}x$. Оно описывает

гармонические колебания шарика на нити с периодом $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. При

наличии пружины к силам mg и T добавляется сила упругости, проекция которой на горизонтальное направление приблизительно равна $(F_{упр})_x \approx -kx$. Уравнение движения шарика, прикрепленного к стене

пружиной, $ma = -\frac{mg}{l}x - kx$, или $a = -\left(\frac{g}{l} + \frac{k}{m}\right)x$. Решение этого

уравнения представляет собой гармонические колебания с периодом

$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l} + \frac{k}{m}}}$. Параметр n , заданный в условии, удобно преобразовать к

$$\text{виду } n = \frac{T_0 - T_1}{T_0} = 1 - \frac{T_1}{T_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{kl}{mg}}}. \text{ Отсюда } k = \frac{mg}{l} \cdot \frac{n(2-n)}{(1-n)^2}.$$

Ответ: $k = \frac{mg}{l} \cdot \frac{n(2-n)}{(1-n)^2}.$

I.18. Согласно закону Дальтона давление в цилиндре равно сумме парциальных давлений гелия и азота. Согласно уравнению

Менделеева–Клапейрона $p = \frac{\nu_{He} + \nu_{N_2}}{V} RT$, где V – начальный объём

смеси газов, ν_{He} и ν_{N_2} – количества молей гелия и азота. При указанной температуре гелий конденсироваться не может, так как находится при

температуре, выше критической, а азот может. При изотермическом сжатии в n раз давление азота становится равным давлению его насыщенных паров, а потому давление в цилиндре становится равным

$$np = \frac{nV_{\text{He}}}{V}RT + p_{\text{н.п.}}. \quad \text{Отсюда} \quad v_{\text{He}} = (np - p_{\text{н.п.}}) \frac{V}{nRT}. \quad \text{Поскольку}$$

$$v_{\text{N}_2} = \frac{p_{\text{н.п.}}V}{nRT}, \quad \text{то искомое отношение числа молекул гелия к числу}$$

$$\text{молекул азота в цилиндре} \quad k = \frac{N_{\text{He}}}{N_{\text{N}_2}} = \frac{v_{\text{He}}}{v_{\text{N}_2}} = \frac{np}{p_{\text{н.п.}}} - 1.$$

Ответ: $k = \frac{np}{p_{\text{н.п.}}} - 1.$

I.19. При повороте рамки изменяется пронизывающий ее магнитный поток Φ , поэтому в рамке возникает электрический ток

$$I = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad \text{где } R \text{ – сопротивление рамки. Отсюда получаем связь}$$

между изменением магнитного потока $\Delta\Phi$ и протекшим по рамке зарядом $\Delta q = I\Delta t$, а именно $\Delta q = \frac{\Delta\Phi}{R}$. Поскольку $R = \text{const}$, такая же

связь справедлива и для конечных приращений заряда и магнитного потока. При повороте рамки на 180° магнитный поток меняется на $\Delta\Phi = 2BS$. Следовательно, $q = \frac{2BS}{R}$, откуда сопротивление рамки

$$R = \frac{2BS}{q}. \quad \text{При вращении рамки с угловой скоростью } \omega \text{ и при}$$

надлежащем выборе начала отсчёта времени магнитный поток через плоскость рамки меняется по закону $\Phi(t) = BS \sin(\omega t)$. Протекающий

по рамке индукционный ток равен $I(t) = \frac{\dot{\Phi}}{R} = \frac{BS\omega}{R} \cos(\omega t)$, где точкой над буквой обозначена производная по времени. Выделяющаяся в рамке

мгновенная мощность $N(t) = I^2(t)R$. Учитывая, что среднее значение квадрата гармонической функции за период равно $\frac{1}{2}$, находим искомую

среднюю тепловую мощность $N_{\text{ср}} = \frac{BSq\omega^2}{4}$. **Ответ:** $N_{\text{ср}} = \frac{BSq\omega^2}{4}$.

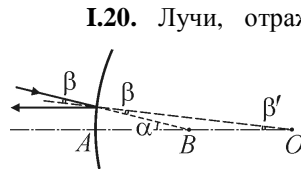


Рис. 28

I.20. Лучи, отражённые от зеркального шара, соберутся в переднем фокусе линзы, если они параллельны главной оптической оси линзы. Рассмотрим луч, падающий под малым углом β на поверхность зеркального шара (см. рис. 28, на котором точка O – центр шара). Согласно закону отражения, угол $\alpha = 2\beta$, а в силу того, что отраженный луч параллелен главной оптической оси системы, $\beta' = \beta$. Из рисунка видно, что $AB \cdot \operatorname{tg} \alpha = AO \cdot \operatorname{tg} \beta$. С учетом малости углов α и β приближенно получаем, что $AB \approx \frac{AO}{2} = \frac{R}{2}$. Следовательно, условие задачи будет выполнено, если изображение источника, создаваемое линзой, находится внутри шара на расстоянии $\frac{R}{2}$ от его поверхности.

Используя формулу линзы, находим, что $\frac{a \cdot F}{a - F} = l + \frac{R}{2}$. Отсюда $R = 2 \left(\frac{a \cdot F}{a - F} - l \right)$. **Ответ:** $R = 2 \left(\frac{a \cdot F}{a - F} - l \right)$.

II. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Задание для 7-х – 8-х классов

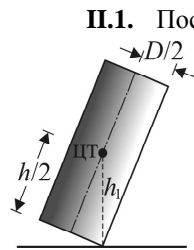


Рис. 29

II.1. Поскольку в начальном, промежуточном и конечном состояниях цилиндра его кинетическая энергия равна нулю, совершенная при опрокидывании цилиндра работа и выделившаяся при его падении энергия равны соответствующим изменениям его потенциальной энергии. Потенциальная энергия цилиндра относительно стола определяется высотой над столом его центра тяжести, который совпадает с геометрическим центром цилиндра. Начальная

потенциальная энергия цилиндра $E_{\text{П0}} = \frac{mgh}{2}$, где m – масса цилиндра, g – модуль ускорения свободного падения. Цилиндр начнет опрокидываться при таком угле наклона, при котором вертикаль, проведенная из центра тяжести, выйдет за пределы опоры (см. рис. 29). Потенциальная энергия в момент опрокидывания

$$E_{\text{П1}} = mgh_1 = \frac{mg\sqrt{h^2 + D^2}}{2}. \text{ Конечная потенциальная энергия цилиндра}$$

$$E_{\text{П2}} = \frac{mgD}{2}. \text{ Выделившаяся при падении цилиндра энергия}$$

$$E = E_{\text{П1}} - E_{\text{П2}} = \frac{mg}{2}(\sqrt{h^2 + D^2} - D). \text{ Работа, затраченная на приведение}$$

$$\text{цилиндра в наклонное положение, } A = E_{\text{П1}} - E_{\text{П0}} = \frac{mg}{2}(\sqrt{h^2 + D^2} - h).$$

$$\text{Из записанных выражений находим, что } n = \frac{E}{A} = \frac{\sqrt{h^2 + D^2} - D}{\sqrt{h^2 + D^2} - h}.$$

$$\text{Ответ: } n = \frac{\sqrt{h^2 + D^2} - D}{\sqrt{h^2 + D^2} - h} \approx 2.$$

II.2. Количество теплоты, необходимое для того чтобы нагреть воду до температуры кипения, $Q_1 = cm_1(t_k - t)$, где t_k температура кипения. Количество теплоты, требующееся для превращения воды массой Δm в пар, $Q_2 = r\Delta m$. Количество теплоты, полученное от плитки мощностью N за время τ , равно $N\tau$. Согласно уравнению теплового баланса имеем $N\tau_1 = cm_1(t_k - t)$, $N\tau_2 = r\Delta m$. Отсюда

$$\Delta m = \frac{cm_1(t_k - t)\tau_2}{r\tau_1} \text{ и } m_2 = m_1 - \Delta m = m_1 \left(1 - \frac{c\tau_2(t_k - t)}{r\tau_1} \right).$$

$$\text{Ответ: } m_2 = m_1 - \Delta m = m_1 \left(1 - \frac{c\tau_2(t_k - t)}{r\tau_1} \right) \approx 0,95 \text{ кг.}$$

II.3. Отклонения стрелки гальванометра X в обоих случаях пропорциональны силе тока I , протекающего по прибору. Применяя закон

Решения задач

Она для соответствующих однородных участков цепи, нетрудно найти, что $I_1 = \frac{U}{R+r}$, а $I_2 = \frac{U}{r}$, где U – напряжение на клеммах источника.

Отношение этих показаний прибора равно $\frac{X_2}{X_1} = \frac{R+r}{r}$. Отсюда уже легко выразить искомую величину $r = \frac{X_1}{X_2 - X_1} R$.

Ответ: $r = \frac{X_1}{X_2 - X_1} R = 10$ Ом.

П.4. Поскольку сосуд имеет форму куба, угол падения луча на поверхность воды равен $\alpha = 45^\circ$ (рис. 30). Для того чтобы луч попал в точку c , должно выполняться равенство

$h \cdot \operatorname{tg} \beta + a - h = a - a/4$. Отсюда $h = \frac{a}{4(1 - \operatorname{tg} \beta)}$. По закону преломления света $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$. Тогда

$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$. Следовательно,

$h = \frac{a\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{4(\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \sin \alpha)}$. Учитывая, что $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$, получаем

окончательно, что $h = \frac{a\sqrt{n^2 - 0,5}}{4\sqrt{n^2 - 0,5} - 2\sqrt{2}}$.

Ответ: $h = \frac{a\sqrt{n^2 - 0,5}}{4\sqrt{n^2 - 0,5} - 2\sqrt{2}} \approx 34$ см.

Задание для 9-х классов

П.5. Поместим начало системы координат в точку старта гепарда, а координатную ось Ox направим вдоль прямой, по которой движутся животные. На рисунке изображены графики зависимости координат (рис. 31а) и скоростей (рис. 31б) гепарда и антилопы от времени. Из рис. 31а видно, что гепард догонит антилопу, если расстояние между

животными в момент начала погони не превышает S_{\max} . В свою очередь, S_{\max} находится из условия, что в тот момент, когда гепард догоняет антилопу, одновременно с равенством координат животных достигается и равенство их скоростей (если в этот момент гепард не схватил антилопу, то в последующем он будет от нее отставать).

Из рис. 31б видно, что время T движения животных до момента, когда их скорости сравниваются, равно:

$T = \tau_1 + \tau_2 + (\tau_1 - \tau)$. При этом входящий в это

выражение промежуток времени τ может быть найден из отношения:

$\frac{v_{\Gamma}}{\tau_1} = \frac{v_A}{\tau}$, которое следует из подобия треугольников на графиках

$v = v(t)$. Отсюда $\tau = \frac{v_A}{v_{\Gamma}} \tau_1$. Пути, пройденные гепардом и антилопой за

время T , равны: $S_{\Gamma} = v_{\Gamma}(\tau_1 + \tau_2) - \frac{1}{2}v_A\tau$, $S_A = v_A(2\tau_1 + \tau_2 - \tau)$.

Начальное расстояние между гепардом и антилопой равно разности их путей $S_{\max} = S_{\Gamma} - S_A$.

Ответ: $S_{\max} = v_{\Gamma}(\tau_1 + \tau_2) - v_A(2\tau_1 + \tau_2) + \frac{1}{2} \frac{v_A^2}{v_{\Gamma}} \tau_1 \approx 86,7$ м.

П.6. Пусть m – первоначальная масса воды, равная первоначальной массе льда. Если m_1 – масса кристаллизовавшейся воды, то после установления теплового равновесия полная масса льда будет $m_{\text{л}} = m + m_1$, а масса оставшейся воды $m_{\text{в}} = m - m_1$. По условию

$\frac{m + m_1}{m - m_1} = k$, откуда $m_1 = m \frac{k - 1}{k + 1}$. Согласно уравнению теплового

баланса, $mc_{\text{в}}(t_0 - t_1) + mc_{\text{л}}(t_0 - t_2) - m_1\lambda = 0$. Отсюда получаем, что

$$t_2 = \frac{(c_{\text{в}} + c_{\text{л}})t_0 - c_{\text{в}}t_1 - \lambda(k - 1)/(k + 1)}{c_{\text{л}}}.$$

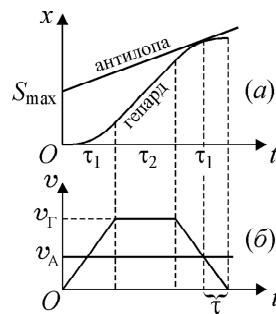


Рис. 31

Ответ: $t_2 = \frac{(c_B + c_L)t_0 - c_B t_1 - \lambda(k-1)/(k+1)}{c_L} \approx -26,5^\circ\text{C}.$

П.7. На рис. 32 указаны токи, текущие через резисторы. Из этого рисунка, соотношения между величинами сопротивлений и соображений симметрии следует, что $I_1 = I_4$, $I_2 = I_3$. Для узла C справедливо равенство $I_3 = I_1 - I$, или $I_1 = I_2 + I$.

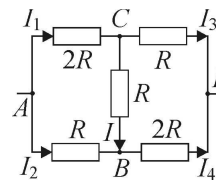


Рис. 32

По закону Ома $U_{AB} = I_2 R$, $U_{AC} = I_1 2R$, $U_{CB} = IR$. Кроме того, $U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$. Из записанных равенств находим, что $I_1 = \frac{2}{3} I_2$.

Ответ: $I_1 = \frac{2}{3} I_2 = 0,4 \text{ А}.$

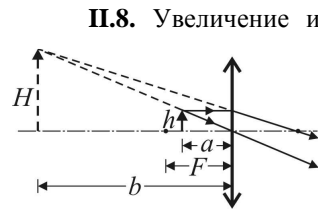


Рис. 33

П.8. Увеличение изображения предмета Γ , определяемое как отношение поперечного размера изображения H к поперечному размеру предмета h (см. рис. 33), равно $\Gamma = \frac{b}{a}$. С учетом того, что изображение мнимое, по формуле тонкой линзы имеем $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$,

откуда $b = \frac{aF}{F-a}$. Следовательно, $\Gamma = \frac{F}{F-a}$. По условию задачи

$\Gamma_1 = \frac{F}{F-a_1}$, $\Gamma_2 = \frac{F}{F-a_2}$, $a_2 - a_1 = \Delta a$. Исключая из этих соотношений

a_1 и a_2 , получаем, что $D = \frac{1}{F} = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Delta a \cdot \Gamma_1 \cdot \Gamma_2}$.

Ответ: $D = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Delta a \cdot \Gamma_1 \cdot \Gamma_2} = 2,5 \text{ дптр}.$

Вариант задания для 10-х – 11-х классов

П.9. Масса отбрасываемого за время Δt винтом вертолѐта воздуха равна $\Delta m = \frac{\rho v \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$, где v – скорость струи воздуха от винта.

Импульс, переданный воздуху за это время, $\Delta p = \Delta m \cdot v = \frac{\rho v^2 \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$.

Подъёмная сила, действующая на вертолѐт, $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\rho v^2 \pi d^2}{4}$.

Поскольку вертолѐт неподвижен, $F = mg$, откуда получаем, что $v = \sqrt{\frac{4mg}{\pi \rho d^2}}$. Энергия, передаваемая воздуху за время Δt , равна

$\Delta E = \frac{\Delta m v^2}{2} = \frac{\pi \rho v^3 d^2 \Delta t}{8}$. Мощность, развиваемая двигателем вертолѐта,

$N = \frac{\Delta E}{\eta \Delta t} = \frac{\pi \rho v^3 d^2}{8\eta} = \frac{mg}{d\eta} \sqrt{\frac{mg}{\pi \rho}}$. **Ответ:** $N = \frac{100\%}{\eta} \cdot \frac{mg}{d} \sqrt{\frac{mg}{\pi \rho}} \approx 573$ кВт.

П.10. Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона абсолютная температура T_0 , объѐм V_0 и число молей гелия в сосуде ν удовлетворяют соотношению: $p_0 V_0 = \nu R T_0$, где R – универсальная газовая постоянная.

После закрытия крана согласно закону Гей-Люссака температура в цилиндре понизится до $T_A = \frac{T_0}{n}$, а согласно закону Шарля температура в сосуде станет равной $T_B = k T_0$.

После открывания крана внутренняя энергия гелия не изменяется, т.е. $\frac{3}{2} \nu R (T_A + T_B) = \frac{3}{2} 2 \nu R T$, где T –

установившаяся температура, причѐм $p V_0 \left(1 + \frac{1}{n}\right) = 2 \nu R T$. Из

записанных выражений получаем, что $p = p_0 \frac{kn+1}{n+1}$.

Ответ: $p = p_0 \frac{kn+1}{n+1} = 2,5$ атм.

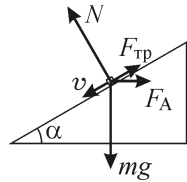


Рис. 34

П.11. Брусок движется по шинам под действием сил, модули и направления которых изображены на рис. 34, где mg – модуль силы тяжести, N – модуль нормальной составляющей силы реакции шин, F_A – модуль силы Ампера, $F_{тр}$ – модуль силы трения скольжения. На концах бруска возникает ЭДС индукции, обусловленная действием силы Лоренца на свободные заряды в движущемся проводнике, и по модулю равная $\mathcal{E} = Blv \cos \alpha$. По контуру, образованному шинами, бруском и резистором, начинает течь ток силой $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$. В результате появляется

сила Ампера, действующая на брусок, и по модулю равная $F_A = Ibl$. Она нарастает до тех пор, пока скорость движения бруска не перестаёт увеличиваться, достигая значения $v_{уст}$. Соответствующее уравнение движения имеет вид $0 = mg \sin \alpha - \mu(mg \cos \alpha + F_A \sin \alpha) - F_A \cos \alpha$. Сила протекающего в контуре тока равна при этом $I = \frac{Blv_{уст} \cos \alpha}{R}$, а сила

Ампера: $F_A = \frac{B^2 l^2 v_{уст} \cos \alpha}{R}$. Подставляя полученное выражение для силы Ампера в уравнение движения, найдем установившуюся скорость движения бруска: $v_{уст} = \frac{mgR}{B^2 l^2 \cos \alpha} \cdot \frac{(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}$. Используя это

выражение, находим, что сила тока в контуре $I = \frac{mg}{Bl} \cdot \frac{(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}$.

Тепловая мощность, выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля–Ленца равна $N = I^2 R = \left[\frac{mg}{Bl} \cdot \frac{(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)} \right]^2 R$.

Ответ: $N = \left[\frac{mg}{Bl} \cdot \frac{(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{(\cos + \mu \sin \alpha)} \right]^2 R \approx 0,036 \text{ Вт} \approx 36 \text{ мВт}$.

П.12. Ход одного из крайних лучей, ограничивающих световое пятно на экране, изображен на рис. 35. В отсутствие пластинки ход луча показан штриховой линией, а при наличии пластинки – сплошной. Видно, что преломление света на боковых поверхностях пластинки приводит к тому, что луч смещается параллельно самому себе на некоторое расстояние, что вызывает изменение размеров светлого пятна на экране. Как следует из рисунка, $\Delta r = h(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)$, где α и β – углы падения и преломления на левой поверхности пластинки, причем $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{2F}$. По условию $\frac{d}{2F} = 0,05 \ll 1$, поэтому справедливы приближенные формулы $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, $\operatorname{tg} \beta \approx \beta$. Кроме того, $\sin \alpha \approx \alpha$, $\sin \beta \approx \beta$ и закон преломления на гранях пластинки принимает вид $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\alpha}{\beta} \approx n$. Из записанных равенств следует, что $\Delta r \approx \frac{dh}{2F} \cdot \frac{n-1}{n}$. Учитывая, что $d_1 = d + 2\Delta r$, получаем окончательно, что

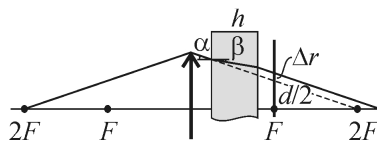


Рис. 35

$d_1 = d \left(1 + \frac{h}{F} \cdot \frac{n-1}{n} \right)$. **Ответ:** $d_1 = d \left(1 + \frac{h}{F} \cdot \frac{n-1}{n} \right) = 1,1$ см.

ПРОФИЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН 2019

I. Механика

I.1. Уравнения движения грузов на начальном этапе имеют вид: $Ma = T - Mg$ (для левого груза), $(M + m)a = (M + m)g - T$ (для правого груза с перегрузком). Отсюда натяжение нити при ускоренном движении системы $T_1 = \frac{2M(M + m)}{2M + m}g$. При равномерном движении системы, когда перегрузок удален с правого груза, натяжение нити равно $T_2 = Mg$. Искомая величина $\Delta T = T_2 - T_1 = -\frac{Mmg}{2M + m}$.

Ответ: $\Delta T = -\frac{Mmg}{2M + m} \approx -1,11$ Н. Натяжение нити уменьшится.

I.2. Скорость налетающей шайбы непосредственно перед ударом можно определить из закона сохранения энергии, а именно $\frac{mv_0^2}{2} - \mu mgS = \frac{mv_1^2}{2}$. Здесь учтено, что работа силы трения скольжения μmg до удара отрицательна. Из законов сохранения импульса и механической энергии при абсолютно упругом центральном ударе одинаковых шайб следует, что шайбы «обмениваются скоростями». Таким образом, v_1 будет начальной скоростью движения шайбы, лежавшей на краю стола. Эта шайба упадёт, если после удара сместится на расстояние R . Поэтому v_1 должна быть больше значения, которое можно найти из равенства $\frac{mv_1^2}{2} - \mu mgR = 0$. Используя записанные уравнения, приходим к выводу, что искомая скорость должна удовлетворять неравенству $v \geq \sqrt{2\mu g(S+R)}$. **Ответ:** $v_{\min} = \sqrt{2\mu g(S+R)} = 1$ м/с.

II. Молекулярная физика и термодинамика

II.1. После того, как в правом сосуде из-за нагревания газа его объём увеличится, жидкость в правом сосуде опустится на Δh и (с учётом одинаковых площадей сосудов) на столько же поднимется в левом сосуде. Разность давлений газа в этих сосудах станет равной $p_2 - p_1 = 2\rho g\Delta h$. Поскольку температура в левом сосуде остаётся постоянной, то согласно закону Бойля-Мариотта, $p_0 h = p_1(h - \Delta h)$, откуда $p_1 = \frac{p_0 h}{h - \Delta h}$. Для правого сосуда, используя объединённый газовый закон, получим, что $\frac{p_0 h}{T_0} = \frac{p_2(h + \Delta h)}{T}$, откуда $p_2 = \frac{p_0 h T}{(h + \Delta h)T_0}$. Следовательно, справедливо равенство $\frac{p_0 h T}{(h + \Delta h)T_0} - \frac{p_0 h}{h - \Delta h} = 2\rho g\Delta h$. Отсюда находим, что $T = T_0 \frac{(h + \Delta h)}{p_0 h} \left(2\rho g\Delta h + \frac{p_0 h}{h - \Delta h} \right)$. **Ответ:** $T = T_0 \frac{(h + \Delta h)}{p_0 h} \left(2\rho g\Delta h + \frac{p_0 h}{h - \Delta h} \right) \approx 373$ К.

II.2. Работа A газа равна сумме работ $A_{12} + A_{23}$. На этапе адиабатного расширения ($Q = 0$) работа равна

$A_{12} = -\Delta U_{12} = -\frac{3}{2} \left(\frac{p_0}{2} \cdot \frac{3}{2} V_0 - p_0 V_0 \right) = \frac{3}{8} p_0 V_0$. На втором этапе работа

вычисляется как площадь под графиком зависимости $p(V)$, т.е.

$A_{23} = \frac{1}{2} \left(p_0 + \frac{p_0}{2} \right) \cdot \frac{3}{2} V_0 = \frac{9}{8} p_0 V_0$. Таким образом, полная работа газа

равна $A = \frac{3}{2} p_0 V_0$. Теплоту газ получает только на этапе увеличения

давления. Она равна сумме приращения внутренней энергии и работы, совершенной газом, т.е.

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \left(p_0 \cdot 3V_0 - \frac{p_0}{2} \cdot \frac{3}{2} V_0 \right) + \frac{9}{8} p_0 V_0 = \frac{9}{2} p_0 V_0.$$

Искомое отношение равно $\eta = \frac{3p_0V_0/2}{9p_0V_0/2} = \frac{1}{3}$. **Ответ:** $\eta = \frac{1}{3}$.

III. Электродинамика

III.1. Поскольку силы взаимодействия между шариками являются внутренними и консервативными, в системе из трех шариков сохраняется импульс и полная механическая энергия. В проекции на ось Ox (рис. 36) закон сохранения импульса дает равенство $mv_3 - mv_1 - mv_2 = 0$. Так как массы шариков одинаковы, из закона сохранения импульса и из соображений симметрии

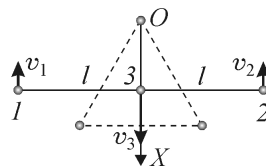


Рис. 36

следует, что $v_1 = v_2 = \frac{v_3}{2}$. Используя формулу для потенциальной

энергии взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии x друг от друга, а именно, $W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 x}$, находим

потенциальную энергию системы в начальном состоянии. Она равна

$W_{\text{нач}} = W_{12} + W_{13} + W_{23} = 3 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l}$. Здесь W_{ij} – энергия отталкивания i -го и

j -го зарядов. Потенциальная энергия системы будет минимальной, когда

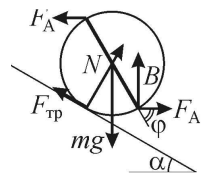
заряды удалятся на максимальное расстояние, т.е. будут располагаться на одной прямой. Следовательно, конечная потенциальная энергия

равна $W_{\text{кон}} = W_{13} + W_{23} + W'_{12} = 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 2l} = \frac{5q^2}{4\pi\epsilon_0 2l}$. По закону

сохранения механической энергии $\frac{3q^2}{4\pi\epsilon_0 l} = \frac{mv_3^2}{2} + \frac{2m(v_3/2)^2}{2} + \frac{5q^2}{4\pi\epsilon_0 2l}$.

Отсюда $v_3 = \frac{q}{\sqrt{6\pi m \epsilon_0 l}}$. **Ответ:** $v_3 = \frac{q}{\sqrt{6\pi m \epsilon_0 l}} \approx 3,5$ см/с.

III.2. Цилиндр находится в равновесии под действием сил, модули и направления которых показаны на рис. 37, где mg – модуль силы тяжести, N – модуль нормальной составляющей силы реакции наклонной плоскости, $F_{\text{тр}}$ – модуль силы трения покоя, F_A – модуль силы Ампера. Записывая уравнение моментов относительно оси цилиндра, имеем:



$2F_A R \sin \varphi = F_{\text{тр}} R$, где R – радиус цилиндра, φ – угол, который плоскость рамки образует с горизонтом. Из условия равновесия цилиндра следует, что $F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha$. По закону Ампера $F_A = IBl$. Учитывая эти соотношения, находим ток $I = \frac{mg \sin \alpha}{2Bl \sin \varphi}$.

Минимальное значение найденный ток принимает при $\sin \varphi = 1$, т.е. при $\varphi = 90^\circ$. **Ответ:** $I_{\text{min}} = \frac{mg \sin \alpha}{2Bl} = 0,625$ А.

IV. Оптика

IV.1. Ход лучей, формирующих изображение предмета, изображен на рис. 38. Для простоты расчета удобно воспользоваться тем, что посеребрённая линза эквивалентна системе двух плосковыпуклых линз, прижатых плоскими поверхностями вплотную друг к другу. Оптическая сила такой системы $D = \frac{2}{F}$, а ее фокусное

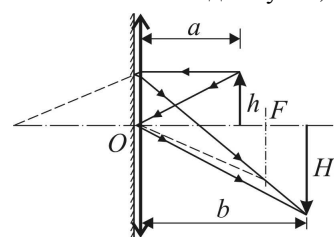


Рис. 38

расстояние $F_1 = \frac{F}{2}$. Согласно формуле тонкой линзы $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F_1} = \frac{2}{F}$, где b – расстояние от линзы до изображения предмета. Следовательно, $b = \frac{aF}{2a - F}$. Поскольку $\frac{H}{h} = \frac{b}{a}$, то искомая высота изображения предмета равна $H = \frac{Fh}{2a - F}$. **Ответ:** $H = \frac{Fh}{2a - F} \approx 13$ мм.

IV.2. Ход одного из лучей, дающих изображения I и I_1 пламени свечи C , показан на рис. 39. Буквой A отмечен луч, распространяющийся в отсутствие пластинки, буквой B – при наличии пластинки. Пусть α – угол падения луча на пластинку, а β – угол преломления в ней. Учитывая малость углов α и β , запишем закон преломления в виде $\alpha \approx n\beta$. Из рисунка видно, что наличие пластинки приводит к смещению вертикально вниз отраженного от зеркала луча B на расстояние $y \approx 2(\alpha - \beta)d \approx 2\alpha d \frac{n-1}{n}$.

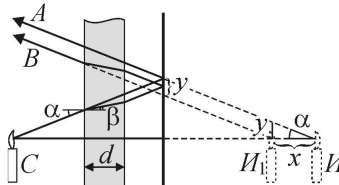


Рис. 39

Поскольку $\frac{y}{x} \approx \alpha$, то искомая величина $x = \frac{y}{\alpha} = 2d \frac{n-1}{n}$.

Ответ: $x = 2d \frac{n-1}{n} = 0,8$ см.

ДЛЯ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ РАБОТАЮТ:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА «АРХИМЕД»

для учащихся 9-х – 11-х классов. Занятия платные, проходят в период с октября по май. По каждому из курсов (физика и математика) занятия проводятся один раз в неделю. Курсы подготовлены ведущими профессорами физического факультета МГУ. Занятия проводят преподаватели, имеющие большой опыт работы со школьниками, участвующие в проведении олимпиад МГУ. Получить информацию о школе Вы можете с 16.00 до 18.00 по телефону **(495) 939-38-78**.

ЭКСПРЕСС-КУРСЫ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЕГЭ ПО ФИЗИКЕ

для учащихся 11-х классов. Занятия на курсах ведут преподаватели физического факультета, имеющие большой опыт работы в качестве экспертов ЕГЭ, а также опыт успешной подготовки школьников к ЕГЭ по физике. Продолжительность курсов: 17 платных занятий (раз в неделю, по 3 часа) + дополнительные бесплатные лекции-консультации ведущих специалистов по ЕГЭ + пробный экзамен. Набор на экспресс-курсы по подготовке к ЕГЭ по физике проводится в октябре. Более подробная информация и запись на курсы доступны 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 и аспиранты факультета. Обучение в школе бесплатное. Набор производится по результатам тестирования. Семинары проходят один раз в неделю в вечернее время с 17:00 до 19:00. Программа школы рассчитана в основном для школьников 8-х – 9-х классов. Ученики 10-х классов могут учиться по программе для 9-х классов. Расписание занятий устанавливается после прохождения тестирования. Занятия проходят по принципу «занимательной физики», поскольку обучение в школе ставит целью дать школьникам понять, что физика – это интересно. На тестировании достаточно знать программу по физике для 8-го класса. Более подробно о записи на школу можно узнать по электронной почте phys-school@rambler.ru, а также 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**. Кроме того, доступна группа «ВКонтакте» <https://vk.com/club4414514>. Сайт школы <http://astronomy-school.ru/>.

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

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ МГУ

организует для старшеклассников подготовительные курсы по физике и математике, экспресс курсы по подготовке к ЕГЭ и к конкурсам олимпиадного типа для поступления в МГУ. Цель курсов: развить умение школьников в области решения задач современной школьной физики. Участвовать в занятиях можно из любой точки мира по сети Интернет. Занятия обеспечивают мгновенный доступ к учебным материалам после совершения оплаты через электронную форму, расположенную на каждом курсе (кроме занятий, открытых в свободном доступе). Каждое занятие состоит из материалов подготовки, включающих в себя краткую теорию и примеры решений задач, видеолекций по теме занятия, заданий, проверяемых и комментируемых преподавателем в режиме онлайн, и/или тестов автопроверки с задачами или теоретическими заданиями. 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/>. Все вопросы можно также задать куратору курсов по адресу электронной почты polina@physics.msu.ru, указав тему письма «Онлайн физмат».

Учебное издание

**ФИЗИКА. ЗАДАЧИ ПРОФИЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
И ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» В МГУ – 2019**

Оригинал-макет: *Чесноков С.С.*

Подписано в печать 2019 г. Формат 60x90 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 3,25 п.л.
Тираж 1000 экз. Заказ № .

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

Напечатано с готового оригинал-макета
Отдел оперативной печати физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва
Ленинские горы, д. 1, стр. 2
Тираж 1000 экз. Заказ №