

М. А. Петрова, В. В. Кудрявцев

# МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к учебнику Г. Я. Мякишева, М. А. Петровой

# ФИЗИКА

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

# 10

К Л А С С



**М. А. Петрова, В. В. Кудрявцев**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

к учебнику Г. Я. Мякишева, М. А. Петровой

---

# ФИЗИКА

---

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

класс

Москва



2019

 | российский учебник

УДК 372.853  
ББК 74.262.22  
П41

**Петрова, М. А.**

П41 **Физика. Базовый уровень. 10 класс : методическое пособие / М. А. Петрова, В. В. Кудрявцев. — М. : Дрофа, 2019. — 255, [1] с. : ил. — (Российский учебник).**

**ISBN 978-5-358-22342-4**

Пособие адресовано учителям, работающим по учебнику Г. Я. Мякишева, М. А. Петровой и др. «Физика. Базовый уровень. 10 класс». В нем приводятся поурочное планирование с методическими рекомендациями к каждому уроку, задания для экспериментальной и проектной деятельности, примерные темы рефератов и проектов, дополнительные учебные материалы и примерные варианты контрольных работ.

**УДК 372.853  
ББК 74.262.22**

Данное методическое пособие адресовано учителям физики, работающим по учебнику «Физика. Базовый уровень. 10 класс» авторов Г. Я. Мякишева, М. А. Петровой и др. Методическое описание каждой темы (за исключением вводной темы) выстроено по единой схеме, в которую включены следующие элементы.

- Методические особенности изложения (наиболее важные моменты, на которых следует сфокусировать внимание при изучении темы).

- Подготовка к ЕГЭ по физике (распределение элементов содержания темы по контрольно-измерительным заданиям, разбор решения некоторых количественных и качественных задач).

- Задания для экспериментальной и проектной деятельности (дополнительные творческие задания, не представленные в учебнике).

- Примерные темы рефератов и проектов (дополнительные темы творческих заданий, не представленные в учебнике).

- Методические разработки уроков (цели уроков — предметные, личностные, метапредметные и межпредметные, организация образовательного пространства, методические комментарии и домашнее задание).

В пособии также приведен дополнительный учебный материал, который может быть использован при подготовке учебно-исследовательской и проектной деятельности, при решении сложных задач по физике (в том числе заданий части С ЕГЭ по физике). Кроме того, в пособии содержатся примерные варианты контрольных работ с ответами к заданиям.

В пособии приведены методические разработки 98 уроков (из расчета 3 часа в неделю, всего 105 ч, резерв времени 7 часов). Данный вариант планиро-

вания курса физики старшей школы позволяет лучше усвоить материал учебника и подготовиться к сдаче ЕГЭ по физике. В планах уроков элементы содержания, которые рассматриваются только при трехчасовом изучении курса физики, отмечены звездочкой (\*).

При двухчасовом планировании курса физики данные элементы не изучаются. В этом случае для построения процесса обучения физике рекомендуется использовать таблицу, приведенную на с. 5 пособия.

Часть заданий для экспериментальной и проектной деятельности взята из учебно-методического пособия В. Г. Разумовского, В. В. Майера «Творческие задачи и лабораторные исследования по физике для средней школы» (М.: Дрофа, 2016). При составлении тестовых заданий использовались материалы учебного пособия для довузовской подготовки А. В. Славова, В. С. Спивака, В. В. Цуканова «Сборник задач по физике» (М.: Издательство МЭИ, 1998). При проведении уроков рекомендуется использовать как печатные материалы, так и цифровые образовательные ресурсы, например, электронную форму учебника (ЭФУ).

Обратите внимание, что в старшей школе процесс обучения физике можно организовать на основе технологии «перевернутого обучения» (или «перевернутого класса»). Она предполагает, что учащиеся изучают новый материал по учебнику дома, прорабатывают вопросы после параграфа, а в классе вместе с учителем выполняют практические задания, обсуждают возникшие вопросы, решают задачи, выступают с докладами. Подобную технологию рекомендуется использовать при работе с мотивированными учащимися, которые интересуются физикой и планируют поступать в вузы физико-математического и естественно-научного профилей.

Отметим, что предлагаемые авторами методические рекомендации следует рассматривать как возможный, но не единственный вариант создания учителем собственной структуры урока.

## Примерное тематическое и поурочное планирование учебного материала

(I вариант — 2 часа в неделю, всего 70 часов, II вариант — 3 часа в неделю, всего 105 часов)

Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
<b>Физика и естественно-научный метод познания природы</b>					
1	1	1	Физика и объекты ее изучения. Методы научного исследования в физике	1	1
		2			
<b>Кинематика</b>					
3	2	3	Различные способы описания механического движения	1	1
4	3	4	Перемещение. Радиус-вектор	1	1
5	4	5	Равномерное прямолинейное движение	1	1
6	5	6	Движение тела на плоскости. Средняя скорость. Мгновенная скорость	1	1
				<b>11</b>	<b>13</b>

Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
7	6	7	Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение	1	1
	7	8	Лабораторная работа № 1 «Исследование равноускоренного прямолинейного движения»	1	1
8	8	9	Свободное падение тел	1	1
	9	10	Лабораторная работа № 2 «Исследование движения тела, брошенного горизонтально»	1	1
9*		11	Движение тела, брошенного под углом к горизонту		1
10	10	12	Относительность механического движения. Закон сложения скоростей	1	1
11	11	13	Кинематика вращательного движения	1	1
		14	Решение задач		1
	12	15	Контрольная работа по теме «Кинематика»	1	1

Динамика				11	16
12	13	16	Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона	1	1
13	14	17	Сила. Принцип суперпозиции сил	1	1
14	15	18	Инертность. Масса. Второй закон Ньютона	1	1
15	16	19	Третий закон Ньютона. Принцип относительности Галилея	1	1
16	17	20	Сила всемирного тяготения. Закон всемирного тяготения	1	1
17	18	21	Сила тяжести. Движение искусственных спутников Земли	1	1
	19	22	Лабораторная работа № 3 «Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести»	1	1
18	20	23	Сила упругости. Закон Гука	1	1
19	21	24	Вес тела. Невесомость. Перегрузки	1	1
		25	Лабораторная работа № 4 «Исследование изменения веса тела при его движении с ускорением»		1



Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
20	22	26	Сила трения	1	1
		27	Сила сопротивления при движении тел в жидкостях и газах		1
	21*	28	Лабораторная работа № 5 «Измерение коэффициента трения скольжения»		1
22*		29	Динамика вращательного движения тела по окружности		1
		30	Решение задач (§ 16, 22)		1
	23	31	Контрольная работа по теме «Динамика»	1	1
<b>Законы сохранения в механике</b>				<b>8</b>	<b>12</b>
23	24	32	Импульс материальной точки. Другая формулировка второго закона Ньютона	1	1
24	25	33	Закон сохранения импульса. Реактивное движение	1	1

25*		34	Реактивные двигатели. Успехи в освоении космического пространства		1	1
26	26	35	Центр масс. Теорема о движении центра масс		1	1
27	27	36	Работа силы. Мощность. КПД механизма		1	1
		37	Решение задач (§ 27)			1
28	28	38	Механическая энергия. Кинетическая энергия		1	1
29	29	39	Потенциальная энергия		1	1
30	30	40	Закон сохранения механической энергии		1	1
31*		41	Абсолютно упругое и абсолютно неупругое соударения тел			1
		42	Решение задач (§ 24, 30)			1
	31	43	Контрольная работа по теме «Законы сохранения в механике»		1	1
		Статика. Законы гидро- и аэростатики			4	7
32	32	44	Условия равновесия твердых тел		1	1

Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
33	33	45	Центр тяжести твердого тела. Виды равновесия	1	1
34	34	46	Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля	1	1
35	35	47	Закон Архимеда	1	1
36*		48	Ламинарное и турбулентное течение жидкостей. Уравнение Бернулли		1
		49	Решение задач (§ 32—35)		1
		50	Контрольная работа по теме «Статика. Законы гидро- и аэростатики»		1
	Основы молекулярно-кинетической теории			10	15
37	36	51	Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытные обоснования	1	1
38	37	52	Общие характеристики молекул	1	1

39	38	53	Температура. Измерение температуры	1	1
40	39	54	Газовые законы. Абсолютная шкала температур	1	1
		55	Лабораторная работа № 6 «Изучение изотермического процесса»		
41	40	56	Уравнение состояния идеального газа	1	1
		57	Решение задач (§ 40, 41)		
42	41	58	Лабораторная работа № 7 «Изучение уравнения состояния идеального газа»	1	1
		59	Основное уравнение МКТ		
43	42	60	Температура и средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул	1	1
44	43	61	Измерение скоростей молекул газа	1	1
45*		62	Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления		1
46	44	63	Строение и свойства твердых тел	1	1
		64	Решение задач (§ 37—46)		

Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
	45	65	Контрольная работа по теме «Основы молекулярно-кинетической теории»	1	1
	<b>Основы термодинамики</b>			<b>6</b>	<b>9</b>
47	46	66	Работа газа в термодинамике. Количество теплоты. Уравнение теплового баланса	1	1
48	47	67	Первый закон термодинамики	1	1
49	48	68	Применение первого закона термодинамики к изопроцессам	1	1
		69	Решение задач (§ 48, 49)		1
50	49	70	Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики	1	1
51	50	71	Тепловые машины. Цикл Карно	1	1
52		72	Экологические проблемы использования тепловых машин		1

		73	Решение задач (§ 48, 51)			1
	51	74	Контрольная работа по теме «Основы термодинамики»		1	1
Изменения агрегатных состояний вещества						
53	52	75	Испарение и конденсация. Насыщенный пар		1	1
54	53	76	Кипение жидкости		1	1
55	54	77	Влажность воздуха		1	1
		78	Лабораторная работа № 8 «Измерение относительной влажности воздуха»			1
56	55	79	Плавление и кристаллизация вещества		1	1
		80	Лабораторная работа № 9 «Измерение температуры кристаллизации и удельной теплоты плавления вещества»			1
		81	Решение задач (§ 53—56)			1
	56	82	Контрольная работа по теме «Изменения агрегатных состояний вещества»		1	1

Номер параграфа	Номер урока		Название урока	Количество часов	
	I вариант	II вариант		I вариант	II вариант
	<b>Электростатика</b>			<b>11</b>	<b>16</b>
57	57	83	Электрический заряд. Электризация тел. Закон сохранения электрического заряда	1	1
58	58	84	Закон Кулона	1	1
59	59	85	Электрическое поле. Напряженность электрического поля	1	1
60	60	86	Графическое изображение электрических полей	1	1
61*		87	Напряженность поля различной конфигурации зарядов		1
62	61	88	Работа кулоновских сил. Энергия взаимодействия точечных зарядов	1	1
63	62	89	Потенциал электростатического поля и разность потенциалов	1	1

64*		90	Потенциал поля различной конфигурации зарядов		1	1
65	63	91	Проводники в электростатическом поле	1	1	1
		92	Решение задач (§ 62, 63, 65)		1	1
66		93	Диэлектрики в электростатическом поле		1	1
67	64	94	Электрическая емкость. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов	1	1	1
	65	95	Лабораторная работа № 10 «Измерение электрической емкости конденсатора»	1	1	1
68	66	96	Энергия электрического поля	1	1	1
		97	Решение задач (§ 67, 68)		1	1
	67	98	Контрольная работа по теме «Электростатика»	1	1	1
			<b>Итого</b>	<b>67</b>	<b>98</b>	<b>98</b>
			<b>Резервное время</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>7</b>



# ФИЗИКА И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ ПРИРОДЫ (2 ч)

## Методические особенности изложения

Вводная глава содержит учебный материал о методах научного исследования в физике, которые позволяют спланировать, организовать и контролировать процесс научного познания. В качестве ведущего научного метода опытного познания природы выступает естественно-научный метод (или метод Галилея). Он используется во всех естественных науках, поэтому его обсуждению следует уделить особое внимание.

К важнейшим физическим методам относятся эксперимент и метод моделирования. С их особенностями учащиеся познакомились при изучении курса физики основной школы. Описанию измерений в физике предшествует повторение учебного материала из курса физики основной школы.

С учащимися необходимо вспомнить основные и производные единицы физических величин, Международную систему единиц (СИ), важнейшие характеристики шкал измерительных приборов (пределы измерений, цену деления), виды (прямые и косвенные) и погрешности (инструментальная, абсолютная и относительная) измерения.

У учащихся важно сформировать представление о том, что физические величины измеряются всегда с определенной погрешностью, т. е. результат любого измерения всегда приближенный.

Новым является материал о вычислении погрешностей косвенных измерений физических величин, приведенный в конце учебника. К данной теоретической справке следует обращаться при выполнении лабораторных работ в течение всего учебного года.

**Физика и объекты ее изучения.  
Методы научного исследования  
в физике (§ 1)****Цели урока**

*Предметные:* формировать представления об объектах изучения физики и методах научного исследования в физике.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* развивать умение различать в учебно-исследовательской деятельности методы научного познания (наблюдение, описание, измерение, эксперимент, выдвижение гипотезы, моделирование и т. д.), демонстрируя на примерах их роль и место в научном познании.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и другими естественными науками.

**Организация  
образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Цифровые образовательные ресурсы*

- Компьютерная презентация «Физические законы и теории»: <http://gotourl.ru/7843>.
- Демонстрационная таблица «Методы физического исследования»: <http://gotourl.ru/7844>.

**Методические комментарии**

Урок рекомендуется начать с обсуждения предмета и целей физики как науки. При этом можно привести краткую историческую справку о

становлении физической науки. Учащимся важно показать актуальность физических методов при их использовании в различных областях науки и техники, а также продемонстрировать многогранные связи физики и других естественных наук. Особое внимание уделите рассмотрению схемы естественно-научного метода познания природы (метода Галилея). Обсудите с учащимися его элементы (наблюдение, гипотеза, следствия, эксперимент) на конкретных примерах. Подчеркните важность данного метода для изучения физических явлений и процессов. Вспомните с учащимися основные методы научного исследования в физике. Особое внимание обратите на метод моделирования. Попросите учащихся привести примеры моделей в физике и рассказать об условиях их применимости.

После изучения материала § 1 учащимся необходимо ответить на вопросы № 1—6 и разобрать вопрос для обсуждения № 1.

**Домашнее задание:** § 1, вопрос для обсуждения № 2.

## Урок 2/2

## Измерение физических величин (§ 2)

### Цели урока

*Предметные:* развивать представление о формах выражения научного знания (физические величины, законы, теории); формировать умение проводить прямые и косвенные измерения физических величин, оценивать погрешности измерения.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать представление о роли измерений в процессе научного познания.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и метрологией — наукой об измерениях.

## Организация образовательного пространства

### *Учебные пособия*

- *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.
- *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

- Амперметр демонстрационный.
- Вольтметр демонстрационный.
- Секундомер демонстрационный.
- Линейка демонстрационная.
- Штангенциркуль.
- Весы рычажные и электронные.
- Цифровая лаборатория по физике (на выбор из имеющихся в физическом кабинете).

### **Методические комментарии**

В начале урока следует рассмотреть на примерах из курса физики основной школы различные формы выражения научного знания. Значительное внимание необходимо уделить особенностям измерения физических величин. Рекомендуется провести демонстрационный эксперимент с различными средствами измерения. Важно показать, какую физическую величину измеряет тот или иной физический прибор.

Учащимся необходимо объяснить на конкретных примерах различие прямых и косвенных измерений (например, прямое измерение длины бруска с помощью линейки и косвенное измерение электрического сопротивления проводника), а также обсудить понятие погрешности измерений. При этом следует вос-

пользоваться приложением «Вычисление погрешностей в лабораторных работах по физике» в конце учебника.

Для того чтобы материал § 2 был лучше усвоен, рекомендуется раздать учащимся штангенциркули (или другие средства измерения) и выполнить с ними ряд экспериментальных заданий в режиме «Делай как я». Допустим, можно измерить длину или ширину любого предмета, имеющегося на столе у учащегося (учебника, тетради, калькулятора и т. п.), и вычислить абсолютную и относительную погрешности измерения (см., например, задачу 1.4 из сборника задач\*). Затем на числовой оси учащиеся изображают доверительный интервал, в котором находится истинное значение измеряемой физической величины.

**Домашнее задание:** § 2, вопросы после параграфа, задачи 1.5, 1.6, 1.8 из задачника.

---

\* Далее для краткости будем писать просто «Задачник».

### Методические особенности изложения

Системообразующими понятиями темы являются: система отсчета, различные способы описания механического движения, относительность механического движения. Особое внимание следует уделить решению основной задачи кинематики для конкретных случаев. С учащимися важно обсудить проблему описания движения тела в целом и обоснованность выбора его модели (точки) в рамках решаемой задачи.

Знакомство с элементами кинематики закладывает основу последующего изучения курса физики старшей школы. Это связано с тем, что при рассмотрении вопросов динамики, молекулярной физики и термодинамики, электростатики необходимо в той или иной форме отвечать на следующие вопросы.

- 1) Где находится изучаемый объект?
- 2) Какое движение совершает данный объект?

Разница заключается только в природе изучаемого объекта: в динамике — это материальная точка, в молекулярной физике — это частица газа, жидкости или твердого тела, в электростатике — это движущаяся заряженная частица в электрическом поле.

При изучении кинематики формируются прочные межпредметные связи курсов физики и математики старшей школы. Хотя представление о функциональной зависимости учащимися уже получено, именно в 10—11 классах понятие функции приобретает четкий физический смысл: описывает движение точечного тела (или молекулы, или заряженной частицы). При этом описывать движение рассматриваемого объекта можно разными способами: аналитически, графически, в виде таблицы.

Кроме того, у учащихся необходимо сформировать представление о кинематическом уравнении как универсальном инструменте механики, который используется при описании равномерного и равноускоренного движений, поступательного и вращательного движений.

### Подготовка к ЕГЭ по физике

В содержание контрольно-измерительных материалов (КИМ) по физике обязательно включают задачи по кинематике. В задании № 1 учащимся необходимо определить кинематические характеристики движения по графикам зависимости координаты или скорости тела от времени. В заданиях № 5—7 элементы кинематики могут встретиться наряду с элементами динамики и законами сохранения. В задании № 5 часто требуется определить характер движения тела по указанным графикам. В заданиях № 6 и 7, как правило, рассматриваются более сложные виды движения: свободное падение и движение тела, брошенного под углом к горизонту. Задание № 25 может содержать расчетное задание по кинематике, в которой может описываться равноускоренное прямолинейное движение, свободное падение или движение тела, брошенного под углом к горизонту.

Решение задач по кинематике требует умения получать формулы определения кинематических величин, записывать и анализировать соответствующие кинематические уравнения.

Для отработки умений работать с графиками движения и определять с их помощью кинематические характеристики движения тела рекомендуется решить задачи № 2.24—2.26, 2.28, 2.66, 2.67, 2.69 из задачника.

Для формирования умений применять кинематические уравнения в нестандартных ситуациях следует решить задачи № 2.77, 2.87, 2.91, 2.170, 2.107,

2.108, 2.112, 2.114, 2.139, 2.141, 2.142, 2.143, 2.160, 2.168 из задачника.

В качестве примера рассмотрим решение задачи на движение тела, брошенного горизонтально.

### Задача

Мальчик бросил горизонтально мяч из окна, находящегося на высоте 20 м относительно поверхности Земли. Сколько времени мяч летел до поверхности Земли? С какой по модулю скоростью был брошен мяч, если он упал на расстоянии 6 м от основания дома? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$$h = 20 \text{ м}$$

$$l = 6 \text{ м}$$

$$t_{\text{пад}} \text{ — ?}$$

$$v_0 \text{ — ?}$$

Решение:

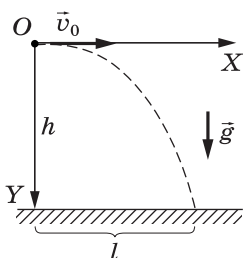


Рис. 1

Запишем кинематические уравнения движения мяча для случая, показанного на рисунке 1:

$$x(t) = v_0 t \text{ (равномерное движение),}$$

$$y(t) = \frac{gt^2}{2} \text{ (равноускоренное движение).}$$

В момент падения мяча на поверхность Земли

$$y(t_{\text{пад}}) = h; \quad h = \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2}.$$

$$\text{Отсюда } t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{40}{10}} = 2 \text{ с.}$$



Определим модуль скорости  $v_0$  мяча:

$$x(t_{\text{пад}}) = l; l = v_0 t_{\text{пад}} \Rightarrow v_0 = \frac{l}{t_{\text{пад}}}; v_0 = \frac{6}{2} = 3 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $t_{\text{пад}} = 2 \text{ с}$ ,  $v_0 = 3 \text{ м/с}$ .

Вопросы, связанные с кинематикой вращательного движения, традиционно считаются сложными для изучения. У учащихся необходимо сформировать представление о том, что математическая база для описания такого движения — это кинематические уравнения (как и в случае поступательного движения), в которых фигурируют характеристики вращательного движения.

В одном из вариантов КИМ по физике учащимся может встретиться задача, в которой требуется выполнить разложение вектора ускорения свободного падения на нормальную и тангенциальную составляющие. В связи с этим ниже приведен теоретический материал, который позволит учащимся дать необходимые сведения о кинематике вращательного движения. Данный материал предназначен для учащихся, которые интересуются физикой.

### Дополнительный материал

#### *Кинематическое уравнение при равнопеременном вращении*

В случае переменной угловой скорости вводится новая физическая величина, характеризующая быстроту ее изменения, — *угловое ускорение*:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}.$$

В СИ единица углового ускорения — *радиан на секунду в квадрате* ( $\text{рад/с}^2$ ).

Если  $\varepsilon = \text{const}$ , то  $\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon(t - t_0)$ , где  $\omega_0$  — угловая скорость в начальный момент времени  $t_0$ . При  $t_0 = 0$

$$\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon t.$$

Эта формула подобна формуле проекции скорости  $v_x = v_{0x} + a_x t$  при равноускоренном прямолинейном движении тела.

Соответственно кинематическое уравнение при равнопеременном вращении имеет вид:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

*Ускорение при неравномерном криволинейном движении*

Пусть в некоторый момент времени  $t$  тело занимает положение  $A$  (рис. 2, *а*) и имеет скорость  $\vec{v}_1$ , а спустя малый промежуток времени  $\Delta t$  тело переместилось в положение  $B$ , приобретя скорость  $\vec{v}_2$ .

Разложим вектор изменения скорости  $\Delta\vec{v}$  на составляющие  $\Delta\vec{v}_\tau$  и  $\Delta\vec{v}_n$  (рис. 2, *б*). Первая составляющая направлена по скорости  $\vec{v}_1$ , т. е. по касательной к траектории, проведенной в точке  $A$ . Она называется *тангенциальной (касательной) составляющей* вектора  $\Delta\vec{v}$  скорости. Составляющая  $\Delta\vec{v}_n \perp \vec{v}_1$ . Поэтому  $\Delta\vec{v}_n$  называют *нормальной составляющей* вектора скорости  $\Delta\vec{v}$ . По правилу сложения векторов

$$\Delta\vec{v} = \Delta\vec{v}_\tau + \Delta\vec{v}_n.$$

Разделим почленно это равенство на  $\Delta t$  и перейдем к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}_\tau}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}_n}{\Delta t}.$$

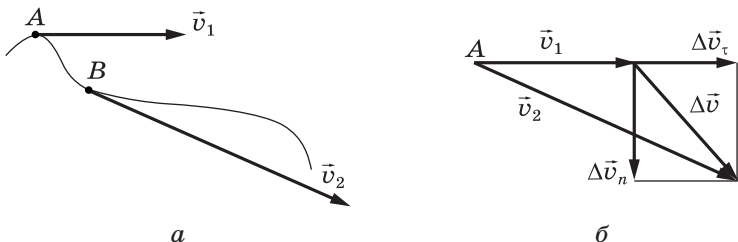


Рис. 2

Каждое слагаемое этого равенства — составляющая ускорения. Левая часть равенства является полным ускорением тела. Первое слагаемое в правой его

части — тангенциальное (касательное) ускорение, второе слагаемое — нормальное ускорение. Тангенциальное ускорение направлено по касательной к траектории, так как  $\vec{a}_\tau \uparrow\uparrow \vec{v}$  (рисунок 3). При ускоренном движении тела (модуль скорости возрастает) касательное ускорение имеет то же направление, что и скорость. При замедленном движении оно направлено противоположно скорости.

*Тангенциальное ускорение характеризует быстроту изменения модуля скорости. Нормальное ускорение  $\vec{a}_n$  перпендикулярно скорости и характеризует быстроту изменения направления скорости.*

Полное ускорение  $\vec{a}$  тела равно сумме тангенциального и нормального ускорений:

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

На рисунке 3, а изображен случай ускоренного движения, а на рисунке 3, б — замедленного движения тела.

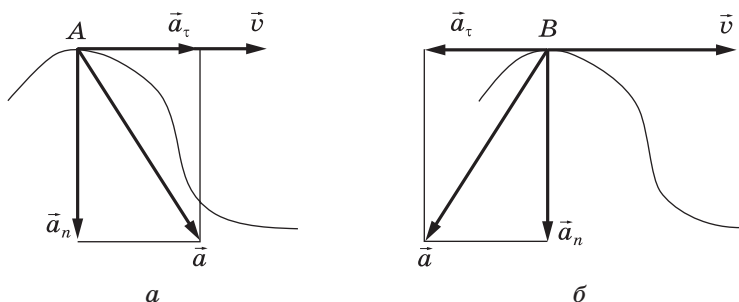


Рис. 3

Рассмотрим пример решения задачи на кинематику равнопеременного вращения.

### Задача

Маховик получил начальную угловую скорость  $\omega_0 = 2\pi$  рад/с. Сделав 10 оборотов, он вследствие трения в подшипниках остановился. Найдите угловое ускорение маховика, считая его постоянным.

**Дано:**

$$\omega_0 = 2\pi \text{ рад/с}$$

$$N = 10$$

$\varepsilon$  — ?

**Решение:**

По формуле  $\varphi = 2\pi N$  можно определить полный угол, на который повернется тело:

$$\varphi = 2\pi \cdot 10 = 20\pi.$$

Запишем кинематическое уравнение равнопеременного вращения:

$$\varphi(t) = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

Для рассматриваемого случая оно имеет вид:

$$20\pi = \omega_0 t_0 - \frac{\varepsilon t_0^2}{2}, \quad (1)$$

где  $t_0$  — время остановки маховика.

Запишем закон изменения угловой скорости:

$$\omega(t_0) = \omega_0 - \varepsilon t_0.$$

Так как в момент остановки  $\omega(t_0) = 0$ , то  $t_0 = \frac{\omega_0}{\varepsilon}$ .

Подставляя полученное выражение для времени остановки маховика в (1), получим:

$$\begin{aligned} 20\pi &= \frac{\omega_0^2}{\varepsilon} - \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon} = \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon} \Rightarrow \\ \Rightarrow \varepsilon &= \frac{\omega_0^2}{2 \cdot 20\pi} = \frac{4\pi^2}{2 \cdot 20\pi} = \frac{2\pi}{20} = 0,314 \text{ рад/с}^2. \end{aligned}$$

Ответ:  $\varepsilon = 0,314 \text{ рад/с}^2$ .

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

После выполнения задания этой рубрики учащимся необходимо выступить в классе с докладом, в котором должны быть представлены полученные результаты, проведен их анализ, сформулированы выводы. Доклад может быть оформлен в виде компьютерной презентации или небольшого учебного фильма.

1. Используя штатив с муфтой и лапкой, лабораторную скамью с опорами, полиуретановый коврик, секундомер с датчиками, брусок с пусковым магнитом, проверьте гипотезу Галилея. «Если при равноускоренном прямолинейном движении без начальной скорости пути  $s_1, s_2, s_3, s_4$  относятся как  $1 : 3 : 5 : 7$ ,

то промежутки времени прохождения этих путей одинаковы».

2. Используя оборудование из задания 1, проверьте следующую гипотезу: при равноускоренном движении без начальной скорости квадрат начальной скорости движения тела прямо пропорционален пройденному пути.

### Примерные темы рефератов и проектов

1. Изучение сложения движений.
2. Исследование свободного падения тел.
3. Измерение высоты подъема тела при свободном падении.

## Урок 3/1

### Различные способы описания механического движения (§ 3)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о различных способах описания и видах механического движения, об основной задаче кинематики; повторить понятие о системе отсчета.

*Личностные:* формировать умение представлять результат своей деятельности.

*Метапредметные:* развивать навыки обработки информации, представленной в виде графика, формулы или таблицы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (понятие функции, графическое представление функции, табличное представление функции, система координат как составная часть системы отсчета).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика,

молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Тело отсчета», «Поступательное движение» (ЭФУ).

- Разработка урока с анимацией на тему «Механическое движение»: <http://gotourl.ru/7753>.

- Анимация «Наблюдение за траекторией движения спортсмена, прыгающего с трамплина»: <http://gotourl.ru/7754>.

- Анимация «Наблюдение за траекторией движения горнолыжника и скачущей лошадки»: <http://gotourl.ru/7755>.

- Разработка урока с анимацией на тему «Равномерное и неравномерное движение»: <http://gotourl.ru/7756>.

### **Методические комментарии**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Механическое движение», «Относительность движения. Система отсчета», «Траектория».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

- 1) Сколько координат достаточно, чтобы описать движение тележки по направляющей в эксперименте?

- 2) Приведите примеры траекторий различных тел, которые встречались вам в жизни.

**Домашнее задание:** § 3, вопросы после параграфа, вопросы для обсуждения № 1, 2.

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о радиусе-векторе, векторе перемещения, проекции вектора перемещения; повторить понятия векторных и скалярных величин.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (скалярные и векторные величины, модуль вектора, направление вектора).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

#### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Перемещение. Путь» (ЭФУ).
- Компьютерная презентация «Основные характеристики движения точки»: <http://gotourl.ru/7757>.

### Методические комментарии

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») ре-

комендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Перемещение», «Относительность траектории и перемещения», «Поступательное движение».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему измеренный путь и перемещение оказались различными?

2) Какие системы отсчета используются в данном демонстрационном эксперименте?

3) Как формулируется главный признак поступательного движения?

**Домашнее задание:** § 4, вопросы после параграфа.

## Урок 5/3

## Равномерное прямолинейное движение (§ 5)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о равномерном прямолинейном движении, скорости равномерного прямолинейного движения, кинематическом уравнении равномерного прямолинейного движения; представлять графически равномерное прямолинейное движение; понимать основные свойства графика зависимости пути от времени.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать умение воспринимать информацию, представленную в знаково-символьной форме; читать и анализировать графики и рисунки.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (графики линейной функции, графики пути и перемещения



при равномерном движении, функция одной переменной — любое кинематическое уравнение).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

Комплект ФГОС-лаборатория (набор «Механика»).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Равномерное прямолинейное движение болида» (ЭФУ).
- Анимация «Путь — сумма модулей перемещений на элементарных интервалах»: <http://gotourl.ru/7758>.
- Анимация «Кусочно-равномерное прямолинейное движение»: <http://gotourl.ru/7759>.
- Анимация «Взаимосвязь траектории и закона движения»: <http://gotourl.ru/7760>.

## **Методические комментарии**

Для демонстрации равномерного прямолинейного движения удобно воспользоваться ФГОС-лабораторией. Можно также наблюдать равномерное движение шарика, помещенного внутрь трубки с глицерином. Учащихся следует попросить измерить время прохождения шариком одинаковых расстояний в трубке с глицерином. При этом используется цифровой секундомер (например, в любом мобильном телефоне). Результаты наблюдений можно фиксировать на доске. Это позволит рассчитать скорость равномерного прямолинейного движения шарика в трубке.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему через некоторое время после начала движения шарик начинает двигаться равномерно?

2) Как можно определить скорость установившегося (равномерного) движения шарика в трубке с глицерином?

Кроме того, на уроке следует рассмотреть пример решения задачи.

В конце урока учащимся необходимо ответить на вопрос для обсуждения № 1 и решить задачи № 1—3 из рубрики «Упражнения»\*.

**Домашнее задание:** § 5, вопросы после параграфа, задачи № 4 и 5.

## Урок 6/4

### Движение тела на плоскости. Средняя скорость. Мгновенная скорость (§ 6)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о движении тела на плоскости, мгновенной, средней и средней путевой скоростях; понимать различие в описании движения тела на плоскости и его движения по прямой линии.

*Личностные:* развивать готовность к самообразованию и решению творческих задач.

*Метапредметные:* развивать умение работать с информацией, представленной в графическом виде.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (скалярные и векторные величины); развивать умения читать и анализировать график зависимости одной величины от другой, представлять информацию о движении в аналитическом виде.

---

\* Далее для краткости будем писать просто «задачи».

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Мгновенная скорость», «Направление вектора мгновенной скорости при криволинейном движении» (ЭФУ).

## **Методические комментарии**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Неравномерное движение. Средняя скорость» и «Мгновенная скорость».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Можно ли по определенной средней скорости движения тележки получить информацию о том, в каком конкретном месте находилась тележка?

2) Что можно сказать о направлении и модуле мгновенной скорости движения тележки, если известно, что она движется почти равномерно?

С учащимися важно разобрать пример решения задачи и решение расчетной задачи № 1 после параграфа. Необходимо выработать у них умения читать и анализировать графики зависимости координаты движущегося тела от времени. Учащиеся должны уметь определять кинематические параметры движения по графику. Кроме того, следует рассмотреть

решение расчетной задачи № 3. Это позволит показать учащимся различие между средней и средней путевой скоростями.

**Домашнее задание:** § 6, вопросы после параграфа, задача № 2.5 из задачника.

## Урок 7/5

### Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение (§ 7)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о равноускоренном прямолинейном движении, среднем и мгновенном ускорениях, скорости, координате и радиусе-векторе при движении тела с постоянным ускорением; представлять графически равноускоренное прямолинейное движение.

*Личностные:* развивать навыки самостоятельной работы, анализа результата своей деятельности.

*Метапредметные:* развивать умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме; отрабатывать навыки чтения текста с научным содержанием.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональная зависимость одной переменной от другой).

#### Организация образовательного пространства

##### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

##### Цифровые образовательные ресурсы

• Интерактивная модель «Траектория движения шайбы на клине»: <http://gotourl.ru/7761>.

• Интерактивная модель «Графики характеристик равноускоренного прямолинейного движения»: <http://gotourl.ru/7762>.

### Методические комментарии

Урок целесообразно провести в форме решения задач и отработки правил построения графиков равноускоренного прямолинейного движения. С учащимися необходимо рассмотреть пример решения задачи и вопросы для обсуждения № 2, 3.

Для формирования умений работать с графическим представлением равноускоренного прямолинейного движения тела рекомендуется решить задачи № 1—3.

**Домашнее задание:** § 7, вопросы после параграфа, задачи № 2.70, 2.72 из задачника.

## Урок 8/6

### Лабораторная работа № 1 «Исследование равноускоренного прямолинейного движения»

#### Цели урока

*Предметные:* рассмотреть экспериментально признак равноускоренного прямолинейного движения тела.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

**Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о свободном падении, опытах Галилея, об ускорении свободного падения, о свободном падении тел без начальной скорости, графиках зависимости координат от времени при движении тела с постоянным ускорением.

*Личностные:* формировать целостное мировоззрение, соответствующее современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки чтения текстов с научным содержанием; отрабатывать умения анализировать информацию, представленную в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (график квадратичной функции — параболы, правила построения графиков).

**Организация  
образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Демонстрационное оборудование*

Трубка Ньютона.

*Цифровой образовательный ресурс*

Анимация «Опыт с трубкой Ньютона» (ЭФУ).

**Методические комментарии**

На уроке рекомендуется провести демонстрационный эксперимент с трубкой Ньютона, описанный в § 8, и разобрать пример решения задачи.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему пушинка в трубке Ньютона, заполненной воздухом, падает медленнее, чем дробь?

2) Как будут падать в трубке Ньютона другие тела, например гирька и волан для бадминтона? Рассмотрите два случая: в трубке с откачанным воздухом и в трубке с воздухом.

Проанализируйте вместе с учащимися вопрос для обсуждения № 2. Затем перейдите к вопросу для обсуждения № 1. При его рассмотрении постройте график зависимости координат движущихся тел от времени, а затем решите задачу аналитически.

После этого решите задачи № 1, 2. Каждое решение необходимо сопровождать графиком зависимости координаты движущегося тела от времени или скорости от времени.

## Дополнительный материал

### *Равнозамедленное движение тела*

Данный материал предназначен для учащихся, которые интересуются физикой.

Можно рассмотреть все случаи равнозамедленного движения (проекция ускорения тела отрицательна) в зависимости от выбора направления оси  $X$  и значения начальной координаты  $x_0$ . Так, движениям, показанным на рисунках 4, *a*, *б*, соответствуют графики на рисунках 5, *a*, *б*.

Если мы будем рассматривать дальнейшие движения шаров после их остановки, то получим полные графики их движения, которые изображены на рисунке 6, *a*, *б*. Действительно, шар имел начальную скорость, направленную вверх по желобу. Сначала он поднимается равнозамедленно, а потом начинает скатываться равноускоренно. Его координата (см. рис. 5, *a*) уменьшается по модулю до нуля, затем становится положительной, а далее вновь будет уменьшаться до нуля, после чего начинает при-

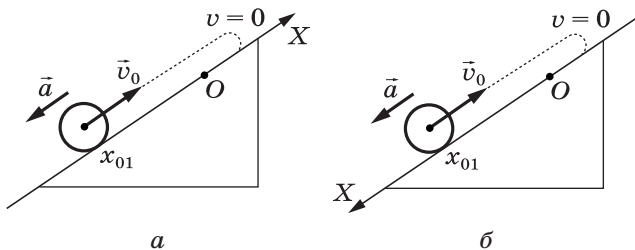


Рис. 4

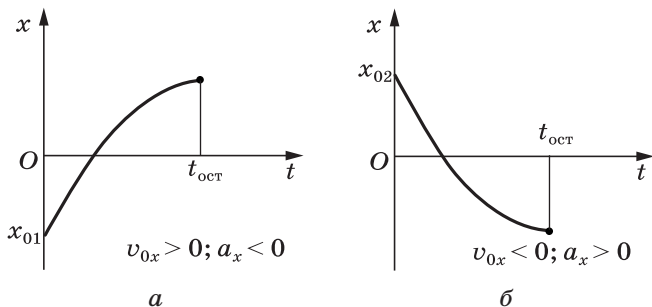


Рис. 5

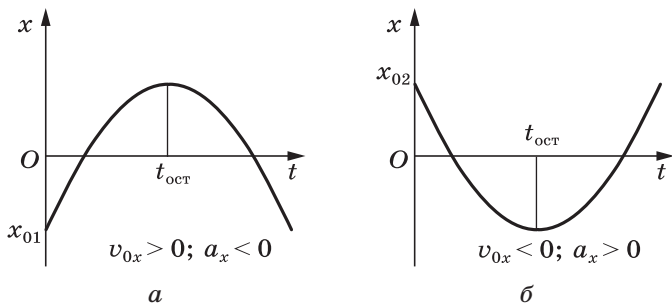


Рис. 6

нимать отрицательные значения (график изображен на рис. 6, а).

Для случая, соответствующего рисунку 5, б, имеем следующее: координата шара сначала уменьшается до нуля, затем принимает отрицательные значения, а затем (после остановки) начинает возрастать. График этого движения показан на рисунке 6, б.



**Домашнее задание:** § 8, вопросы после параграфа, задачи № 3—5.

## Урок 10/8

### Лабораторная работа № 2 «Исследование движения тела, брошенного горизонтально»

#### Цели урока

*Предметные:* рассмотреть экспериментально движение тела, брошенного горизонтально.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и техникой (баллистика), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

#### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 11/9

### Движение тела, брошенного под углом к горизонту (§ 9\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 10.

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о движении тела, брошенного под углом к горизонту (траектория, время подъема, время полета, дальность полета тела и максимальная высота подъ-

ема тела); рассмотреть случай движения тела, брошенного горизонтально.

*Личностные:* развивать навыки самостоятельной работы, анализа результата своей деятельности.

*Метапредметные:* развивать навыки обрабатывать информацию, представленную в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики квадратичных зависимостей), физикой и техникой (баллистика, основная задача баллистики, оптимизация задач баллистики, стробоскопическая фотография тела, брошенного горизонтально).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Время движения тела, брошенного под углом к горизонту»: <http://gotourl.ru/7763>.
- Анимация «Скорость тела, брошенного под углом к горизонту»: <http://gotourl.ru/7764>.

## **Методические комментарии**

Прежде всего, учащихся следует попросить привести примеры движения тела, брошенного под углом к горизонту. Далее рекомендуется перейти к решению задач. При ответе на вопрос № 2 после параграфа выведите с учащимися уравнение траектории, которое описывает движение тела, брошенного под углом к горизонту. В результате будет решена основная задача баллистики. На уроке необходимо разобрать пример решения задачи.

Задачи из упражнения учащиеся решают в следующем порядке: № 1, № 3, № 2 и № 4. При этом решение задач необходимо сопроводить построением графиков зависимости координаты ( $x$  или  $y$ ) движущегося тела от времени.

**Домашнее задание:** § 9\*, вопросы после параграфа, задачи № 2.174, 2.177, 2.180, 2.182 из задачника.

## Урок 12/10 Относительность механического движения. Закон сложения скоростей (§ 10)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об относительности механического движения, о преобразованиях Галилея и их следствиях, законе сложения скоростей, сложении векторов по правилу параллелограмма или по правилу треугольника, об абсолютной, относительной и переносной скоростях.

*Личностные:* формировать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (правила сложения векторов).

### Методические комментарии

Урок рекомендуется начать с рассмотрения вопросов для обсуждения № 1—3. При этом результат каждого из них следует представить в численном виде. После этого необходимо разобрать задачи на закон сложения скоростей для тел, движу-

щихся вдоль одной прямой, и для тел, движущихся под углом друг к другу.

Далее с учащимися нужно решить задачи № 1 и 2. Если учащиеся испытывают трудности при сложении векторных величин, то можно решить только задачи, в которых тела движутся сонаправленно.

**Домашнее задание:** § 10, вопросы после параграфа, задачи № 3—5.

## Урок 13/11 Кинематика движения по окружности (§ 11)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о кинематических параметрах движения по окружности, нормальном (центростремительном) ускорении при движении тела по окружности, об угловой скорости, периоде и частоте обращения, о связи между линейной и угловой скоростями; записывать кинематическое уравнение равномерного движения тела по окружности.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости).

### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

## Методические комментарии

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Равномерное вращение точки по окружности», «Угловая скорость», «Период и частота вращения», «Линейная скорость. Связь между линейной и угловой скоростями».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Приведите примеры равномерного движения тел по окружности.

2) От какого параметра зависит линейная скорость диска при его вращательном движении?

Учащихся, интересующихся физикой и обладающих хорошей математической подготовкой, можно познакомить с кинематическим уравнением при равнопеременном вращении (этот материал был приведен в начале данной темы).

С учащимися необходимо разобрать пример решения задачи, а также задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 11, вопросы после параграфа, задачи № 3, 4.

### Урок 14/12 Решение задач (§ 11)

#### Цели урока

*Предметные:* закрепить знания о кинематических параметрах движения по окружности, связи между линейной и угловой скоростями, нормальном (центростремительном) ускорении при движении тела по окружности.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на осно-

ве условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (связь параметров вращательного движения небесных тел: Земли, Солнца, Луны, решение задач астрономического содержания).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## Методические комментарии

С учащимися рекомендуется сначала решить задачи на расчет кинематических параметров равномерного движения тела по окружности. При этом обратите внимание на задачи, в которых прослеживается связь физики и астрономии (задачи № 2.107, 2.108, 2.110, 2.111, 2.114 из задачника).

После этого можно рассмотреть задачи на неравномерное вращение (например, задачи № 2.105, 2.106, 2.115 из задачника).

**Домашнее задание:** § 11, задача № 5 из § 11, подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

## Урок 15/13

## Контрольная работа по теме «Кинематика»

### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Кинематика».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, скалярные и векторные величины).

### Методические комментарии

Контрольная работа состоит из двух частей. В части 1 приведены задания базового уровня, в части 2 — задания повышенного уровня. За выполнение каждого задания части 1 учащийся получает 2 балла, задания части 2 — 3 балла.

#### Вариант 1

##### Часть 1

1. Материальная точка движется с постоянной скоростью по окружности радиусом  $R$ , совершая один оборот за время  $T$ . Как изменятся перечисленные в первом столбце физические величины, если радиус окружности увеличится, а период обращения останется прежним?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

#### ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) линейная скорость
- Б) угловая скорость
- В) нормальное (центростремительное) ускорение

#### ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

А	Б	В

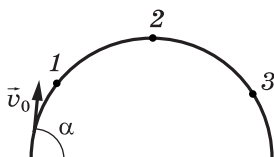
2. Под каким углом к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 4$  м/с брошено тело, если в верхней точке траектории оно имело скорость  $v = 2,83$  м/с?

3. Модуль скорости точек на ободе колеса 25 м/с. Диаметр колеса 50 см. Сколько оборотов сделает колесо за 10 с?

4. С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через 10 с он упал на расстоянии 50 м от вышки. Определите начальную скорость камня.

### Часть 2

5. Тело брошено со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. В точках 1, 2 и 3 траектории тела (см. рисунок) укажите направления векторов: а) скорости тела; б) нормального, тангенциального и полного ускорений тела. Сопротивлением воздуха пренебречь.

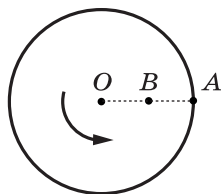


6. Тело, брошенное под углом  $30^\circ$  к горизонту, дважды побывало на некоторой высоте  $h$  спустя 2 и 4 с после начала движения. Найдите начальную скорость тела и максимальную высоту подъема. Сопротивлением воздуха пренебречь.

### Вариант 2

#### Часть 1

1. На поверхность диска с центром в точке  $O$  нанесли две точки  $A$  и  $B$  так, что  $OB = BA$ , (см. рисунок). Диск привели во вращение с постоянной линейной скоростью. Как изменятся перечисленные в левом столбце физические величины при переходе от точки  $A$  к точке  $B$ ?



К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

А) угловая скорость

1) увеличится

Б) период вращения

2) уменьшится

В) центростремительное ускорение

3) не изменится



Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

А	Б	В

2. С башни высотой 45 м горизонтально брошен камень со скоростью 10 м/с. На каком расстоянии от башни он упадет на поверхность Земли?

3. Модуль скорости конца минутной стрелки Кремлевских курантов равна 6 мм/с. Определите длину минутной стрелки.

4. Диск, брошенный под углом  $45^\circ$  к горизонту, достиг наибольшей высоты 40 м. Определите начальную скорость диска. Сопротивлением воздуха пренебречь.

### Часть 2

5. Если спортсмен перед прыжком делает разбег, то дальность прыжка увеличивается. Почему?

6. Тело, брошенное со скоростью 10 м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту, дважды было на высоте 1,6 м. На каком расстоянии друг от друга находятся точки прохождения этой высоты? Сопротивлением воздуха пренебречь.

### Ответы. Вариант 1

Часть 1. 1. А1, Б3, В1. 2.  $\cos \alpha = \frac{v}{v_0}$ ;  $\alpha \approx 45^\circ$ .

3.  $N = \frac{\omega t}{2\pi}$ ;  $N \approx 160$ . 4.  $v_0 = \frac{s}{t}$ ;  $v_0 = 5$  м/с.

Часть 2. 6.  $v_0 = \frac{g(t_2 + t_1)}{2\sin \alpha}$ ;  $v_0 = 60$  м/с;  $h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ ;  $h_{\max} = 45$  м.

### Вариант 2

Часть 1. 1. А3, Б3, В2. 2.  $s = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ;  $s = 30$  м.

3.  $l = \frac{vT}{2\pi}$ ;  $l \approx 3,4$  м. 4.  $v_0 = \sqrt{\frac{2gh}{\sin^2 \alpha}}$ ;  $v_0 \approx 40$  м/с.

Часть 2. 6.  $\Delta x = 6,85$  м.

### Методические особенности изложения

Системообразующими понятиями темы являются: законы Ньютона, законы Кеплера, закон всемирного тяготения, силы в механике.

Необходимо обратить внимание учащихся на то, что первый закон Ньютона постулирует существование инерциальных систем отсчета (ИСО). При решении задач всегда можно найти (выбрать) систему отсчета, которую с требуемой степенью точности можно считать инерциальной. С учащимися следует проанализировать особенности геоцентрической и гелиоцентрической систем отсчета и сделать вывод, что систему отсчета, связанную с Землей, можно приближенно считать инерциальной.

При изучении второго закона Ньютона следует рассмотреть модель материальной точки, которая является простейшей моделью реального тела. Для такой модели может быть определено ускорение (в отличие от реального тела, состоящего из большого числа точек, каждая из которых в общем случае может иметь свое ускорение). Важно отметить, что все законы Ньютона формулируются именно для материальных точек.

Обратите внимание на то, что силы, о которых идет речь в третьем законе Ньютона, приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга.

Законы и принципы (например, принцип суперпозиции сил) механики позволяют составить уравнения движения тел (материальных точек) по известным силам, действующим на них, и описать движение и взаимодействие тел в инерциальных системах отсчета.

При изложении закона всемирного тяготения важно опираться на историко-физический материал, законы Кеплера и законы Ньютона. Для того чтобы записать закон всемирного тяготения в математическом виде, следует рассмотреть опыт Кавендиша по определению гравитационной постоянной и установить ее физический смысл. Важно подчеркнуть, что закон всемирного тяготения справедлив только для таких тел, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними. Практическим приложением закона всемирного тяготения является описание движения искусственных спутников Земли.

### Подготовка к ЕГЭ по физике

В заданиях № 2, 5—7, 25 КИМ по физике содержатся элементы динамики. Например, в некоторых из них предлагается проанализировать данные физического эксперимента при движении тел под действием силы трения и силы упругости и построить соответствующие графики зависимостей. При этом часто требуется определить равнодействующую сил.

Законы Кеплера и закон всемирного тяготения используются в задании № 24 на тему «Орбитальное движение планет, спутников и малых тел Солнечной системы». Данное задание включает в себя следующие элементы содержания: тип орбиты небесного тела, эксцентриситет орбиты, период обращения орбиты, третий закон Кеплера.

В заданиях № 6 и 7 необходимо проанализировать либо движение тела по наклонной плоскости, либо движение тела по окружности. В связи с этим обратите внимание на вопросы динамики движения тела по окружности. Традиционно эта тема вызывает затруднения у учащихся, так как формулы и основные соотношения вращательного движения практически не рассматриваются при изучении курса физики на базовом уровне.

Рассмотрим пример решения качественной задачи на эту тему.

## Задача

Объясните, от чего зависит угол наклона корпуса конькобежца при его движении на закруглении пути.

### Решение:

При движении на прямолинейном участке пути сила тяжести и сила реакции опоры со стороны льда, действующие на конькобежца, уравновешивают друг друга. Движение на закругленном участке пути происходит с нормальным ускорением  $\vec{a}_n$ , направленным к центру окружности. В случае наклона корпуса конькобежца внутрь закругления векторная сумма двух сил:

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_n,$$

где  $\vec{a}_n$  — нормальное ускорение, модуль которого равен  $\frac{v^2}{R}$ .

Угол наклона корпуса конькобежца (и корпуса мотоциклиста на гонке) к горизонтальной плоскости зависит от скорости и от радиуса закругления пути. Спортсмены хорошо знают, что чем больше скорость и меньше радиус закругления, тем сильнее необходимо наклонить корпус внутрь круга.

## Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Сконструируйте акселерометр — прибор для измерения ускорения тележки, движущейся по горизонтальной плоскости.

2. В вашем распоряжении имеется пружинный пистолет. Каким образом, не конструируя специальный баллистический маятник, определить модуль начальной скорости вылетающего из него снаряда?

3. Если к веревке длиной 1 м привязать маленькое ведро с водой, то это ведро можно вращать по кругу и вода при этом из него не выльется. Рассчитайте минимальную угловую скорость, с которой необходимо вращать это ведро, чтобы вода не вылилась. Изготовьте такое ведро, выполните эксперимент и подтвердите результаты ваших расчетов.

## Примерные темы рефератов и проектов

1. История открытия планеты Нептун.
2. Космические скорости ракет.

3. Силы упругости в твердых телах, жидкостях и газах.

4. Силы трения: виды, причины возникновения, примеры применения.

5. Принцип работы центробежных машин (центробежного насоса, центробежной сушильной машины, тахометра).

6. Роль регулятора Уатта в изобретении паровой машины и его использование в современных устройствах и механизмах.

7. Принципы передачи вращения вала от двигателя машины на вал станка. Ременная, фрикционная и зубчатая передачи.

## Урок 16/1

### Первый закон Ньютона.

#### Инерциальные системы отсчета (§ 12)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о модели материальной точки, законе (принципе) инерции, первом законе Ньютона, об инерциальных системах отсчета, о геоцентрической и гелиоцентрической системах отсчета.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать умение использовать метод моделирования.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (геоцентрическая и гелиоцентрическая системы отсчета, вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика,

молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Материальная точка» (ЭФУ).
- Разработка урока с анимацией «Первый закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7765>.
- Анимация «Первый закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7766>.
- Демонстрационная таблица «Первый закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7767>.
- Тест «Первый закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7768>.

### **Методические комментарии**

Урок рекомендуется начать с изучения рубрики «Это любопытно...» и обсудить взгляды Аристотеля и Г. Галилея на движение тел. После этого перейдите к вопросам для обсуждения № 1 и 3. Их рассмотрение позволит учащимся лучше разобраться в понятии инерциальной системы отсчета. Кроме того, следует привести примеры неинерциальных систем отсчета.

**Домашнее задание:** § 12, вопросы после параграфа, вопрос для обсуждения № 2, интерактивное задание (§ 12 ЭФУ).

## **Урок 17/2**

### **Сила. Принцип суперпозиции сил (§ 13)**

#### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о силе как векторной физической величине, об эталоне силы, о динамометре, сложении сил, связи между ускорением и силой, принципе суперпозиции сил, равнодействующей сил.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать умения проводить измерения, оценивать значение величины, получаемой в результате измерения.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов), физикой и метрологией (эталоны физических величин, измерение физических величин, сравнение физической величины с эталоном).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Сила», «Динамометр» (ЭФУ).
- Интерактивная модель «Вычисление проекций векторов сил и проекций равнодействующей сил»: <http://gotourl.ru/7769>.
- Слайд компьютерной презентации «Равнодействующая двух сил»: <http://gotourl.ru/7770>.
- Интерактивная модель «Построение равнодействующей сил»: <http://gotourl.ru/7771>.

### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

## **Методические комментарии**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрацион-

ные эксперименты: «Взаимодействие тел. Сила», «Измерение силы», «Сложение сил».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Что происходит с телами в результате взаимодействия?

2) Как определить модуль измеряемой силы по деформации тел?

3) Какие правила сложения векторов можно применить для определения равнодействующей силы?

После этого с учащимися следует разобрать задачи № 2 и 3, в которых рассматривается векторное (геометрическое) сложение сил, направленных вдоль прямой и под углом друг к другу. При этом следует изобразить на доске векторную сумму складываемых сил для обоих случаев.

**Домашнее задание:** § 13, вопросы после параграфа, задачи № 1 и 4, вопросы для обсуждения № 1 и 2.

## Урок 18/3

### Инертность. Масса.

### Второй закон Ньютона (§ 14)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об инертности тел, о массе, втором законе Ньютона, измерении массы, об единицах силы и массы в СИ.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать умения проводить измерения, оценивать значение величины, получаемой в результате измерения.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и метрологией (измерение физических величин, эталоны физических величин,



Международная система единиц, погрешность при измерении любой физической величины).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Экспериментальное подтверждение закона инерции» (ЭФУ).
- Разработка урока с анимацией «Второй закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7772>.
- Интерактивная задача «Второй закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7773>.
- Тест «Второй закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7774>.

### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

## **Методические комментарии**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Взаимодействие тел. Масса», «Второй закон Ньютона».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

- 1) Какая из тележек более инертна?
- 2) Как изменяется ускорение тела при увеличении его массы?
- 3) Как изменяется ускорение тела при увеличении массы перегрузка?

После этого перейдите к вопросу для обсуждения № 2. С учащимися рекомендуется решить задачу № 4.

**Домашнее задание:** § 14, вопросы после параграфа, задачи № 1—3, 5.

## Урок 19/4

### Третий закон Ньютона. Принцип относительности Галилея (§ 15)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о третьем законе Ньютона, принципе относительности Галилея, прямой и обратной задачах механики.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, проекции векторных величин).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### Демонстрационное оборудование

- Сильный магнит.
- Металлический брусок.

- Две одинаковые пружины.
- Деревянные катки.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Разработка урока с анимацией «Третий закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7775>.
- Анимация «Третий закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7776>.
- Иллюстрации к третьему закону Ньютона: <http://gotourl.ru/7777>.
- Интерактивная задача «Третий закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7778>.
- Тест «Третий закон Ньютона»: <http://gotourl.ru/7779>.

### **Методические комментарии**

При изучении нового материала рекомендуется провести демонстрационный эксперимент, описанный в § 15. Учащиеся активно участвуют в обсуждении его результатов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

- 1) Почему оба катка, с металлическим бруском и с магнитом, покоятся?
- 2) Как соотносятся между собой силы взаимодействия магнита и бруска?

После этого перейдите к обсуждению примера решения задачи и решению задач № 1 и 2. В конце урока для проверки уровня усвоения теоретического материала проведите тест, рассчитанный на 10 мин.

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Принцип относительности впервые сформулировал

- |              |             |
|--------------|-------------|
| 1) Ломоносов | 3) Ньютон   |
| 2) Галилей   | 4) Эйнштейн |

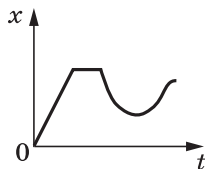
2. При свободном падении ускорение всех тел одинаково. Этот факт объясняется тем, что

- 1) Земля имеет очень большую массу
- 2) все земные предметы очень малы по сравнению с Землей
- 3) сила тяжести пропорциональна массе Земли
- 4) сила тяжести пропорциональна массе тела

3. Измеряемая при помощи рычажных весов масса тела на некоторой планете будет

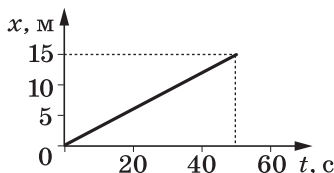
- 1) равна массе этого тела, измеряемой на Земле
- 2) больше массы этого тела, измеряемой на Земле
- 3) меньше массы этого тела, измеряемой на Земле
- 4) среди ответов 1)–3) нет правильного

4. На рисунке приведен график зависимости координаты тела от времени  $x(t)$ . Что можно сказать о равнодействующей сил, действующих на тело?



- 1) равна нулю
- 2) постоянная
- 3) зависит от времени
- 4) среди ответов 1)–3) нет правильного

5. На рисунке представлен график зависимости координаты  $x$  движущегося тела массой  $m = 63$  кг от времени  $t$ . Используя этот график, определите модуль равнодействующей всех сил, действующих на тело.



- 1) 30 Н      2) 315 Н      3) 0
- 4) по данному графику ничего нельзя сказать о модуле равнодействующей сил

6. Какое из следующих утверждений о направлениях скорости  $\vec{v}$  тела, его ускорения  $\vec{a}$  и силы  $\vec{F}$ , приложенной к нему, верно?

- 1)  $\vec{a}$  и  $\vec{F}$  всегда совпадают по направлению, а  $\vec{v}$  может как совпадать с  $\vec{a}$  и  $\vec{F}$ , так и не совпадать
- 2)  $\vec{a}$  и  $\vec{F}$  всегда совпадают по направлению, а  $\vec{v}$  всегда направлена противоположно им
- 3)  $\vec{v}$ ,  $\vec{a}$  и  $\vec{F}$  всегда совпадают по направлению
- 4)  $\vec{v}$  и  $\vec{F}$  всегда совпадают по направлению, а  $\vec{a}$  направлено противоположно им

Ответы: 1. 2). 2. 4). 3. 1). 4. 3). 5. 3). 6. 1).

**Домашнее задание:** § 15, вопросы после параграфа, задачи № 3—5, вопросы для обсуждения № 1—3.

## Урок 20/5

### Сила всемирного тяготения. Закон всемирного тяготения (§ 16)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о трех законах Кеплера, законе всемирного тяготения Ньютона, об опыте Кавендиша по измерению гравитационной постоянной, о равенстве инертной и гравитационной масс.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (законы Кеплера, закон всемирного тяготения, перигелий, афелий).

#### Организация образовательного пространства

##### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

##### *Цифровые образовательные ресурсы*

• Демонстрационная таблица «Сила всемирного тяготения»: <http://gotourl.ru/7780>.

• Тест «Закон всемирного тяготения»: <http://gotourl.ru/7781>.

## Методические комментарии

Материал параграфа является важным с мировоззренческой точки зрения, так как закладывает современные представления о движении планет в Солнечной системе. В дальнейшем он будет использован при описании движения искусственных спутников Земли и изучении вопросов астрофизики в курсе физики 11 класса. Обратите внимание, что с целью упрощения расчетов орбиты планет считаются не эллиптическими, а круговыми.

Урок рекомендуется начать с рассмотрения вопросов для обсуждения № 1 и 2. Обратите внимание на условия применимости формулы закона всемирного тяготения. Для иллюстрации опыта Кавендиша найдите в сети Интернет его анимацию или компьютерную модель.

**Домашнее задание:** § 16, вопросы после параграфа, интерактивные задания (§ 16 ЭФУ).

### Урок 21/6

#### Сила тяжести.

#### Движение искусственных спутников Земли (§ 17)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о силе тяжести, центре тяжести тела, об ускорении свободного падения, о движении искусственных спутников, первой и второй космической скоростях.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (первая кос-

мическая скорость, движение искусственных спутников Земли, вторая космическая скорость).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

- Пластина неправильной формы.
- Штатив с лапкой и муфтой.
- Отвес (тяжелый грузик на нити).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

• Видеоурок «Сила тяготения и спутники»: <http://gotourl.ru/7782>.

• Демонстрационная таблица «Искусственные спутники Земли»: <http://gotourl.ru/7783>.

## **Методические комментарии**

В начале урока рекомендуется провести демонстрационный эксперимент по определению центра масс пластины неправильной формы. Для этого закрепите в штативе исследуемую пластину и тяжелый грузик на нити, с помощью которого можно провести вертикальную линию. Отметьте карандашом линию отвеса на нижнем и верхнем краях пластины. Сняв пластину, проведите на ней линию, соединяющую отмеченные точки. Повторите опыт, подвесив пластину в двух других точках. В результате получите точку пересечения прямых, которая и будет центром тяжести пластины.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Как будет двигаться тело, если подействовать на него с силой, линия действия которой проходит через центр тяжести пластины?

2) Как будет двигаться тело, если линия действия силы не будет проходить через центр тяжести пластины?

После этого рассмотрите вопросы для обсуждения № 1 и 3, разберите пример решения задачи и решите задачи № 2 и 5.

**Домашнее задание:** § 17, вопросы после параграфа, задачи № 1, 3, 4. По усмотрению учителя учащимся можно предложить одну из задач № 6—8.

## Урок 22/7

### Лабораторная работа № 3 «Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести»

#### Цели урока

*Предметные:* рассмотреть экспериментально движение тела по окружности под действием сил упругости и тяжести.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

#### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.



### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о силе упругости, об упругих деформациях, о законе Гука, жесткости.

*Личностные:* развивать интерес к самопознанию и творческой деятельности.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме, графиками и таблицами.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Демонстрационное оборудование*

- Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).
- Держатель со спиральной пружиной.
- Грузы.
- Демонстрационный метр.

#### *Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Возникновение силы упругости», «Закон Гука» (ЭФУ).

### Методические комментарии

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести демонстрационный экспери-

мент «Закон Гука». Учащиеся активно участвуют в обсуждении его результатов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Как вы думаете, существует ли ограничение на массу груза в эксперименте? С чем это ограничение может быть связано?

2) Что произойдет, если пластину подвесить за центр тяжести?

Обратите внимание учащихся на то, что закон Гука справедлив только для упругих деформаций. Обсудите условия применимости этого закона.

В конце урока разберите с учащимися задачи № 1—3.

**Домашнее задание:** § 18, вопросы после параграфа.

## Урок 24/9

### Вес тела. Невесомость. Перегрузки (§ 19)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о весе тела, перегрузке, невесомости.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (понятие о перегрузках при взлете космических кораблей).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика,

молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Вес тела», «Вес тела. Невесомость», «Вес тела. Перегрузка» (ЭФУ).

### **Методические комментарии**

На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3. Фактически они представляют собой качественные задачи, решение которых необходимо сопроводить формулами и рисунками.

После этого следует разобрать пример решения задачи и решить задачи № 1, 2. Обсудите с учащимися, как соотносятся между собой модуль веса тела и модуль силы тяжести, действующей на тело в случае, если: а) тело и опора неподвижны или движутся без ускорения; б) опора (или подвес) совершает ускоренное движение.

**Домашнее задание:** § 19, вопросы после параграфа.

## **Урок 25/10**

### **Лабораторная работа № 4**

#### **«Исследование изменения веса тела при его движении с ускорением»**

#### **Цели урока**

*Предметные:* рассмотреть экспериментально веса тела при его движении с ускорением.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

## Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

### Урок 26/11 Сила трения (§ 20)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о природе сил трения, силе трения покоя, силе трения скольжения, роли сил трения в окружающей жизни.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме, графиками.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (движение колесного транспорта).

#### Организация образовательного пространства

##### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

##### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

#### Методические комментарии

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») ре-

комендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Трение покоя и скольжения», «Трение качения». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему брусок остается в покое, если на него действует сила тяги, направленная горизонтально?

2) Как изменяется сила трения скольжения бруска о доску, если увеличивать вес бруска?

3) Зависит ли сила трения скольжения от материала трущихся поверхностей?

4) Приведите примеры проявления трения качения.

5) Какое соотношение по результатам эксперимента можно установить между силой трения скольжения и силой трения качения?

После этого следует разобрать вопросы для обсуждения № 1 и 2 и пример решения задачи. Обратите внимание на задачу № 1, так как по ее содержанию можно провести лабораторную работу по определению коэффициента трения тела о поверхность. С учащимися также решите задачи № 2 и 4.

**Домашнее задание:** § 20, вопросы после параграфа, задачи № 3 и 5, интерактивное задание (§ 20 ЭФУ).

## **Урок 27/12**    **Сила сопротивления при движении тел в жидкостях и газах (§ 21\*)**

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики § 21, 22 не рассматриваются. С учащимися можно перейти к выполнению лабораторной работы № 5, а затем повторить и обобщить основные понятия темы. Тем самым, учащиеся лучше подготовятся к контрольной работе.

## Цели урока

*Предметные:* формировать представления о силе вязкого трения, зависимости силы сопротивления от скорости движущегося тела, зависимости силы сопротивления среды от площади поверхности тела, движущегося в среде.

*Личностные:* развивать готовность к саморазвитию и самообразованию.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме, графиками.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (учет силы сопротивления воздуха при проектировании парашютов, в авиационной технике, быту).

## Методические комментарии

На уроке обратите внимание на описание установившегося движения в вязкой среде. С учащимися рекомендуется разобрать пример решения задачи. После этого следует перейти к решению задач № 2, 3 и рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3. Дополнительно можно обсудить устройство и принцип действия анемометра.

**Домашнее задание:** § 21\*, вопросы после параграфа, задача № 4.

### Урок 28/13

## Лабораторная работа № 5

### «Измерение коэффициента трения скольжения»

## Цели урока

*Предметные:* научиться экспериментально измерять коэффициент трения скольжения.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 29/14 Динамика движения по окружности (§ 22\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой.

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о движении материальной точки по окружности с постоянной скоростью, втором законе Ньютона для динамики движения материальной точки по окружности.

*Личностные:* формировать готовность к саморазвитию и самообразованию.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (устройство рельсов железнодорожных путей, «мертвая петля»).

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1 и 2. Особое внимание уделите описанию вращательного движения тела под действием равнодействующей сил, направленной к центру окружности. Разберите с учащимися пример решения задачи и решение задач № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 22\*, вопросы после параграфа, задачи № 3 и 4.

## Урок 30/15 Решение задач (§ 16, 22\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой.

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на динамику движения материальной точки по окружности и применение закона всемирного тяготения.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (решение задач на определение параметров движения искусственных спутников Земли и небесных тел).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется провести самостоятельную работу. Примерные варианты задач приведены ниже. Учащимся следует выбрать три задачи из предложенного списка и решить их. После



выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Канат выдерживает нагрузку 2,5 кН. С каким наибольшим ускорением можно поднимать груз массой 200 кг с помощью этого каната?

2. Какую скорость должен иметь конькобежец, чтобы въехать с разгона на гору на высоту 1 м? Подъем горы составляет 0,3 м на 10 м пути. Коэффициент трения коньков о лед 0,01.

3. Стальной шарик массой 200 г подбросили вверх. При подъеме шарика в некоторый момент времени сила сопротивления воздуха оказалась равной 0,5 Н. Найдите в этот момент ускорение шарика. Считайте, что  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

4. Стальной шарик массой 200 г подбросили вверх. На этапе спуска в некоторый момент времени сила сопротивления воздуха оказалась равной 0,5 Н. Найдите в этот момент ускорение шарика. Считайте, что  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

5. Определите вес автомобиля, едущего со скоростью 72 км/ч, в верхней точке выпуклого моста. Вблизи этой точки форма моста совпадает с окружностью радиусом 500 м. Масса автомобиля 500 кг. Считайте, что  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

6. Определите силу, прижимающую летчика к сиденью самолета в верхней точке «мертвой петли» (самолет движется по окружности в вертикальной плоскости), если масса летчика 75 кг, радиус петли 250 м, скорость самолета постоянна по модулю и равна 360 км/ч. Считайте, что  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

7. Ленточный подъемник (транспортёр) образует угол  $30^\circ$  с горизонтом. С каким максимальным ускорением можно поднимать ящик на таком подъемнике, если коэффициент трения между лентой и ящиком равен 0,5? Лента подъемника не прогибается.

8. Период обращения спутника Марса Фобоса равен 7 ч 39 мин. Фобос удален от центра Марса на расстояние 9380 км. Определите по этим данным массу Марса.

9. Два искусственных спутника обращаются вокруг Земли по круговым орбитам. Период обращения одного спутника в 27 раз больше второго. Найдите отношение радиусов

$\frac{r_1}{r_2}$  их орбит.

Ответы: 1. 2,5 м/с. 2. 5 м/с. 3. 12,5 м/с<sup>2</sup>. 4. 7,5 м/с<sup>2</sup>.  
5. 4600 Н. 6. 2250 Н. 7. 6 м/с<sup>2</sup>. 8. 6,4 · 10<sup>23</sup> кг. 9. 9.

С учащимися решите задачи № 6—9 из § 17, если они не были разобраны ранее. Далее рассмотрите решение задач на движение взаимодействующих тел. Пример решения подобной задачи приведен ниже.

### Задача

Через неподвижный и невесомый блок перекинута нить, к концам которой привязаны два тела массой  $m_1$  и  $m_2$ . Ко второму телу на нити привязано третье тело массой  $m_3$ . Определите силу натяжения нити и ускорение тел. Считать, что нить невесомая и нерастяжимая.

Дано:

$m_1, m_2, m_3$

$T_1$  — ?

$T_2$  — ?

$a$  — ?

Решение:

Предположим, что  $m_2 + m_3 > m_1$ , тогда ускорения  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  тел будут направлены так, как указано на рисунке 7.

Запишем второй закон Ньютона для каждого тела:

$$\begin{cases} \vec{T}_1 + m_1\vec{g} = m_1\vec{a}_1, \\ \vec{T}'_1 + m_2\vec{g} + \vec{T}'_2 = m_2\vec{a}_2, \\ \vec{T}'_2 + m_3\vec{g} = m_3\vec{a}_2. \end{cases}$$

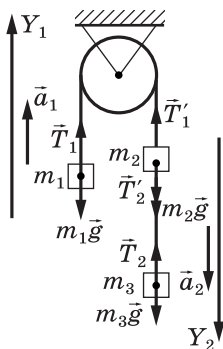


Рис. 7

Оси  $Y_1$  и  $Y_2$ , на которые будем проецировать векторные уравнения, направим вдоль ускорений  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  соответственно. После проецирования получим систему уравнений:

$$\begin{cases} T_1 - m_1g = m_1a_1, \\ -T'_1 + T'_2 + m_2g = m_2a_2, \\ -T_2 + m_3g = m_3a_2. \end{cases}$$

Учтем, что  $a_1 = a_2 = a$  (в силу нерастяжимости нити), а  $T_1 = T'_1$  и  $T_2 = T'_2$  (в силу невесомости блока и нити).

Решая полученную систему уравнений, находим:

$$T_1 = \frac{2m_1(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}g; \quad a = \frac{m_3 + m_2 - m_1}{m_1 + m_2 + m_3}g;$$

$$T_2 = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2 + m_3}g.$$

**Ответ:**  $T_1 = \frac{2m_1(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}g, T_2 = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2 + m_3}g,$

$$a = \frac{m_3 + m_2 - m_1}{m_1 + m_2 + m_3}g.$$

С учащимися решите аналогичные задачи № 3.159—3.163 из задачника.

**Домашнее задание:** подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

## Урок 31/16 Контрольная работа по теме «Динамика»

### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Динамика».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций, скалярные и векторные величины).

### Методические комментарии

Контрольная работа состоит из двух частей. В части 1 приведены задания базового уровня, в части 2 — задания повышенного уровня. За вы-

полнение каждого задания части 1 учащийся получает 2 балла, задания части 2 — 3 балла.

### Вариант 1

#### Часть 1

1. Брусок скользит по наклонной плоскости, образующей угол  $\alpha$  с горизонтом. Коэффициент трения бруска о плоскость  $\mu$ , масса бруска  $m$ , ускорение свободного падения  $g$ . К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА
А) сила трения	1) $mg \sin \alpha$
Б) сила реакции опоры	2) $mg \cos \alpha$
	3) $mg \tan \alpha$
	4) $\mu N$

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б

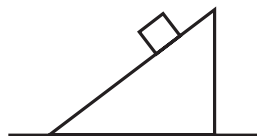
2. Магнит массой 50 г прикреплен к вертикальной железной стене. Какой должна быть сила притяжения магнита к доске, чтобы он не соскользнул с нее вниз? Коэффициент трения магнита о доску равен 0,02.

3. Автомобиль массой  $m = 1000$  кг движется со скоростью  $v = 10$  м/с по выпуклому мосту, представляющему собой окружность радиусом  $R = 100$  м. С какой силой давит автомобиль на мост, проезжая через его середину?

4. Брусок массой  $m = 1$  кг движется равномерно по горизонтальной плоскости под действием силы  $F = 10$  Н, приложенной под углом  $\alpha = 60^\circ$  к плоскости. Определите коэффициент трения бруска о плоскость.

#### Часть 2

5. Кубик покоится на трехгранной призме (см. рисунок). Покажите действующие на кубик и призму силы. Покажите природу этих сил.



6. Чему равна первая космическая скорость для планеты, масса и радиус которой в 3 раза больше, чем у Земли? Радиус Земли  $R_3 = 6400$  км, масса Земли  $M_3 = 6 \cdot 10^{24}$  кг.

## Вариант 2

### Часть 1

1. Установите соответствие между физическими величинами и формулами их определения.

ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ

- А) сила упругости
- Б) сила трения скольжения
- В) сила гравитационного взаимодействия двух тел

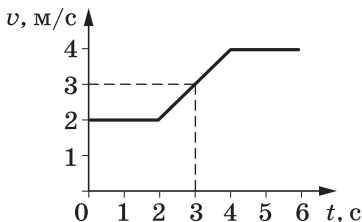
ФОРМУЛЫ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- 1)  $F = ma$
- 2)  $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$
- 3)  $(F_{\text{упр}})_x = -kx$
- 4)  $F_{\text{тр}} = \mu N$
- 5)  $F_{\text{г}} = mg$

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б	В

2. Скорость автомобиля массой 500 кг изменяется в соответствии с графиком, приведенным на рисунке. Определите равнодействующую сил в момент времени  $t = 3$  с.

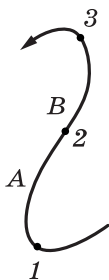


3. Вычислите первую космическую скорость спутника, движущегося по круговой орбите вблизи поверхности Земли. Радиус Земли  $R_3 = 6400$  км.

4. Автомобиль массой  $m = 2 \cdot 10^3$  кг движется со скоростью  $v = 60$  км/ч по вогнутому мосту. Радиус кривизны моста  $R = 100$  м. С какой силой давит автомобиль на мост, проезжая через его середину?

## Часть 2

5. Траектория материальной точки и направление ее движения показаны на рисунке. Участок  $AB$  — прямая линия. Укажите, как направлен вектор равнодействующей всех сил в положениях 1, 2 и 3.



6. Тележку ставят на вершину гладкой наклонной плоскости длиной 1 м, расположенной под углом  $30^\circ$  к горизонту, и отпускают. Найдите ускорение тележки. Какой будет скорость тележки к окончанию ее спуска с наклонной плоскости?

**Ответы. Вариант 1**

**Часть 1.** 1. А4, Б2. 2.  $F = \frac{mg}{\mu}$ ;  $F = 25$  Н.

3.  $P = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right)$ ;  $P = 9 \cdot 10^3$  Н. 4.  $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{(mg - F \sin \alpha)}$ ;  $\mu \approx 0,2$ .

**Часть 2.** 6.  $v_1 = \sqrt{gR_3}$ ;  $v_1 = 8$  км/с.

**Вариант 2**

**Часть 1.** 1. А3, Б4, В2. 2.  $F = m\frac{v}{t}$ ;  $F = 500$  Н.

3.  $v_1 = \sqrt{gR_3}$ ;  $v_1 = 8$  км/с. 4.  $P = m\left(g + \frac{v^2}{R}\right)$ ;  $P \approx 26 \cdot 10^3$  Н.

**Часть 2.** 6.  $a = g \sin \alpha$ ;  $a = 5$  м/с<sup>2</sup>;  $v = \sqrt{2al}$ ;  $v \approx 3,3$  м/с.

# ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ (12 ч)

## Методические особенности изложения

Основная задача механики состоит в определении положения (координат) тела (или системы тел) и его скорости в любой момент времени, если известны его положение и скорость в начальный момент времени и действующие на него силы. Эту задачу решают на основе законов Ньютона, с помощью которых можно получить уравнения движения для любой механической системы в инерциальной системе отсчета.

Но, когда силы, действующие на тело (систему тел), неизвестны, такой подход реализовать нельзя. В подобных случаях можно использовать законы сохранения. Они являются универсальными физическими законами, согласно которым при определенных условиях некоторые физические величины (например, импульс, энергия, момент импульса, электрический заряд), характеризующие замкнутую систему тел (материальных точек), не изменяются со временем.

Подчеркнем, что материал о законах сохранения в механике обладает высокой методологической ценностью, так как используется при решении некоторых комбинированных задач термодинамики, электродинамики и др.

Рассмотрим методические особенности решения некоторых задач на применение законов сохранения. При решении задач на закон сохранения импульса рекомендуется использовать следующий алгоритм.

1. Выбрать и указать состав системы взаимодействующих тел.

2. Сделать два рисунка, на которых следует изобразить силы, действующие на систему тел до и после взаимодействия.

3. Записать выражения для импульсов системы тел до и после взаимодействия.

4. Проанализировать наличие внутренних и внешних сил, действующих на систему тел, возможность применения закона сохранения импульса.

5. Записать закон сохранения импульса в векторной форме и в проекциях на соответствующую координатную ось.

6. Решить полученную систему уравнений.

Рассмотрим пример решения задачи, используя данный алгоритм.

### Задача

Лягушка массой  $m_1$  сидит на конце доски массой  $m_2$  и длиной  $L$  (рис. 8). Доска плавает на поверхности пруда. Лягушка прыгает под углом  $\alpha$  к горизонту в направлении противоположного конца доски. Какой должна быть начальная скорость  $v_0$  лягушки относительно Земли, чтобы она приземлилась на конец доски? Силой сопротивления воздуха пренебречь.

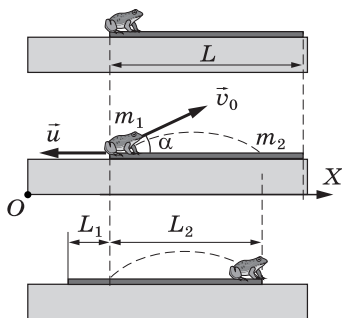


Рис. 8

Дано:

$$m_1, m_2, L, \alpha$$

$$v_0 - ?$$

Решение:

В задаче рассматривается система взаимодействующих тел «лягушка — доска». Будем считать данные тела материальными точками. Запишем выражения для импульсов системы тел до и после взаимодействия:

$$\vec{p}_H = 0; \vec{p}_K = m_1 \vec{v}_0 + m_2 \vec{u},$$

где  $\vec{u}$  — скорость доски относительно неподвижной поверхности пруда.

Поскольку в горизонтальном направлении (ось  $Ox$ ) на систему тел не действуют внешние силы, то

$$p_{Hx} = p_{Kx}.$$



Запишем это выражение в проекциях на ось  $OX$ :

$$0 = m_1 v_0 \cos \alpha - m_2 u.$$

Отсюда

$$u = \frac{m_1 v_0 \cos \alpha}{m_2}.$$

Для того чтобы лягушка оказалась на другом конце доски, должно выполняться условие:  $L = L_1 + L_2$ ,

$$L = ut_{\text{п}} + (v_0 \cos \alpha)t_{\text{п}},$$

где  $t_{\text{п}}$  — время полета лягушки, равное  $\frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ .

С учетом этого

$$L = u \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} + v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Из этого уравнения можно получить выражение для скорости  $v_0$ :

$$v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\left(\frac{m_1}{m_2} + 1\right) \sin 2\alpha}}.$$

Ответ:  $v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\left(\frac{m_1}{m_2} + 1\right) \sin 2\alpha}}.$

При решении некоторых задач следует использовать оба закона сохранения: закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии. При этом учащиеся должны составить и решить систему из двух уравнений с двумя неизвестными.

Рассмотрим пример решения подобной задачи.

### Задача

Тело массой  $m = 1$  кг скользит по гладкой горизонтальной поверхности и въезжает на неподвижную горку массой  $M = 5$  кг (рис. 9). Высота горки  $h = 1,2$  м. При какой минимальной скоро-

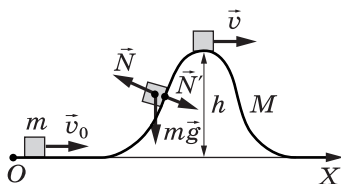


Рис. 9

сти  $v_0$  тело сможет преодолеть горку? Горка имеет плавные переходы к горизонтальной поверхности. Трением между горкой и поверхностью пренебречь. Считайте, что тело движется, не отрываясь от горки. Ускорение свободного падения принять равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

**Дано:**

$$\begin{aligned} m &= 1 \text{ кг} \\ M &= 5 \text{ кг} \\ h &= 1,2 \text{ м} \\ g &= 10 \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

$$v_0 \text{ — ?}$$

**Решение:**

Силы  $\vec{N}$ ,  $\vec{N}'$  (вес тела, который действует на горку),  $m\vec{g}$  — консервативные (работа этих сил не зависит от вида траектории, а определяется только начальным и конечным положениями тела). Поэтому к системе взаимодействующих тел «тело — горка» можно применить закон сохранения механической энергии и закон сохранения импульса:

$$\begin{cases} \frac{mv_0^2}{2} = \frac{(M+m)v^2}{2} + mgh, & (1) \\ mv_0 = (M+m)v. & (2) \end{cases}$$

Выразим из формулы (2) скорость  $v = \frac{mv_0}{M+m}$  и подставим ее в выражение (1):

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{(M+m)m^2v_0^2}{2(M+m)^2} + mgh \Rightarrow \frac{v_0^2}{2} \left( 1 - \frac{m}{M+m} \right) = gh;$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh(M+m)}{M}}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 1,2}{5}} = \frac{12}{\sqrt{5}} \approx 5,4 \text{ м/с}.$$

**Ответ:**  $v_0 \approx 5,4 \text{ м/с}$ .

При изучении темы и подготовке к ЕГЭ по физике могут встретиться задачи на определение работы переменной силы. Обсудим методику решения таких задач. Данный материал предназначен для учащихся, которые интересуются физикой.

### Задача

Брусок массой  $m$  и длиной  $l$  лежит у границы двух соприкасающихся полуплоскостей 1 и 2 (рис. 10, а), изготовленных из разных материалов. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы передвинуть брусок на вторую полуплоскость? Коэффициенты трения полуплоскостей с бруском равны  $\mu_1$  и  $\mu_2$  соответственно.

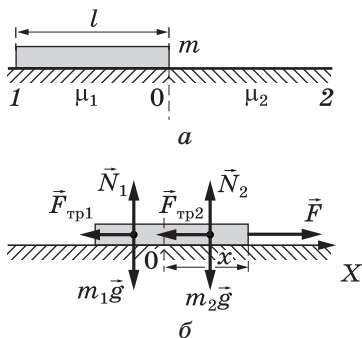


Рис. 10

Дано:

$$m, l, \mu_1, \mu_2$$

А — ?

Решение:

Рассмотрим промежуточное положение бруска, соответствующее длине  $x$  его части, находящейся на второй полуплоскости. Силы, действующие на брусок в этот момент времени, показаны на рисунке 10, б. Для того чтобы совершить минимальную работу по перемещению бруска, к нему необходимо приложить в горизонтальном направлении силу  $\vec{F}$ . Она должна быть по модулю равна:

$$F = F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2}.$$

Поскольку силы реакции опоры каждой поверхности

$$N_1 = m_1 g, \quad N_2 = m_2 g,$$

то силы трения

$$F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 m_1 g, \quad F_{\text{тр}2} = \mu_2 N_2 = \mu_2 m_2 g,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы частей бруска, находящихся в данный момент времени на полуплоскостях 1 и 2.

При этом

$$m_1 = \frac{m}{l}(l - x), \quad m_2 = \frac{m}{l}x.$$

Следовательно

$$F_{\text{тр}1} = \mu_1 \frac{m}{l}(l - x)g, \quad F_{\text{тр}2} = \mu_2 \frac{m}{l}xg.$$

$$F = F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} \Rightarrow F = \mu_1 mg \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \mu_2 mg \frac{x}{l}.$$

При  $x = 0 \rightarrow F = \mu_1 mg$ , при  $x = l \rightarrow F = \mu_2 mg$ .

Сила  $F$  будет меняться в зависимости от пройденного брусом пути  $x$  по линейному закону. Определим работу  $A$  этой силы, используя график (рис. 11). Она будет численно равна площади закрашенной фигуры (трапеции):

$$A = \frac{1}{2}mg(\mu_1 + \mu_2)l.$$

Ответ:  $A = \frac{1}{2}mg(\mu_1 + \mu_2)l.$

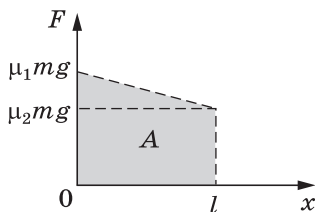


Рис. 11

### Подготовка к ЕГЭ по физике

В задачах № 3, 5—7 и 25, 29 КИМ по физике, как правило, необходимо использовать законы сохранения. В задании № 3 могут проверяться следующие элементы содержания: импульс материальной точки, закон сохранения импульса, работа силы, мощность силы, кинетическая энергия, потенциальная энергия, закон сохранения механической энергии. В заданиях № 5—7 могут быть представлены как элементы кинематики и динамики, так и материал, связанный с законами сохранения.

Задание № 25 — это расчетная задача на совместное применение закона сохранения импульса и закона сохранения механической энергии. Это могут быть задачи на применение закона сохранения импульса для неупругого удара, закона сохранения механической энергии совместно с законами динамики, а также определение КПД различных тепловых процессов.

В КИМ по физике часто встречается задание № 29 с развернутым ответом. Его решение предполагает совместное использование формул кинематики, законов динамики и законов сохранения.

Рассмотрим пример решения комбинированной задачи.

#### Задача

Маленький шарик массой  $m$  начинает скользить из верхней точки неподвижной гладкой полусферы радиусом  $R$ . На какой высоте  $h_1$  от основания полусферы

шарик оторвется от ее поверхности? На какую высоту  $h_2$  шарик подскочит после абсолютно упругого удара о горизонтальную поверхность, на которой стоит полусфера? Считать, что полусфера жестко закреплена на плоскости.

**Дано:**

$R, m$

$h_1, h_2$  — ?

**Решение:**

1. Когда шарик оторвется от полусферы, сила реакции опоры  $N = 0$ . Допустим, это произойдет в момент, когда прямая, соединяющая шарик и центр полусферы, составляет с вертикалью угол  $\alpha$  (рис. 12).

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось  $Y$ , которая совпадает с данной прямой:

$$-mg \cos \alpha + N = -ma.$$

Поскольку  $N = 0$  и нормальное ускорение  $a = \frac{v_1^2}{R}$ , то

$$mg \cos \alpha = \frac{mv_1^2}{R}. \quad (1)$$

Так как трением по условию задачи можно пренебречь, воспользуемся законом сохранения механической энергии:

$$mgR = mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2}. \quad (2)$$

Из формулы (1) выразим скорость  $v_1$ :

$$v_1^2 = gR \cos \alpha.$$

Подставим это выражение в формулу (2):

$$gR = gh_1 + \frac{1}{2}gR \cos \alpha.$$

$$\cos \alpha = \frac{h_1}{R} \Rightarrow R = h_1 + \frac{1}{2}R \cdot \frac{h_1}{R},$$

$$h_1 = \frac{2}{3}R.$$

2. Определим высоту  $h_2$ , используя рисунок 13 и решение из п. 1.

$$\cos \alpha = \frac{h_1}{R} = \frac{2R}{3R} = \frac{2}{3},$$

$$v_1^2 = gR \cos \alpha = \frac{2}{3}gR,$$

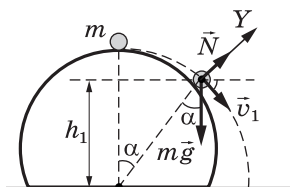


Рис. 12

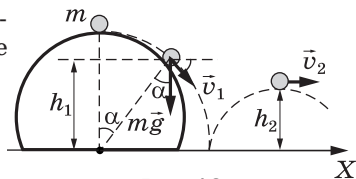


Рис. 13

$$v_2 = v_{1x} = v_1 \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_2^2 = v_1^2 \cos^2 \alpha = \frac{2}{3}gR \cdot \frac{4}{9} = \frac{8}{27}gR. \quad (3)$$

Запишем закон сохранения механической энергии:

$$mgR = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} \Rightarrow h_2 = R - \frac{v_2^2}{2g},$$

Используя выражение (3), в результате получим:

$$h_2 = R \left( 1 - \frac{4}{27} \right) = \frac{23}{27}R \approx 0,85R.$$

Ответ:  $h_1 = \frac{2}{3}R$ ,  $h_2 \approx 0,85R$ .

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Изучите устройство и принцип действия маятника Максвелла. Обратите внимание, что маятник Максвелла движется неравномерно: при движении вниз — ускоряется, при движении вверх — замедляется. Сконструируйте устройство, которое выровнивало бы скорость движения маятника вниз и вверх. Регулятор скорости должен работать не за счет сил трения, иначе колебания будут сильно затухать. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод.

2. Проведите эксперимент по изучению скатывания тел по наклонной плоскости. Заполните одну пластиковую бутылку водой, а другую такую же бутылку — песком. Позвольте бутылкам скатиться с наклонной плоскости без проскальзывания. Какая из бутылок скатится быстрее? Почему? Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод.

### Примерные темы рефератов и проектов

1. Закон сохранения импульса: из истории установления, формулировки, примеры и границы применения.

2. Особенности реактивного движения (на примере модели ракеты).

3. Движение тел переменной массы (уравнение Мещерского, формула Циолковского).

## Импульс материальной точки. Другая формулировка второго закона Ньютона (§ 23)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об импульсе материальной точки, о втором законе динамики в формулировке Ньютона, об изменении импульса системы тел (материальных точек), о системе тел, внутренних и внешних силах.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

### Методические рекомендации

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Импульс силы», «Изменение импульса тела». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспери-

ментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) От чего зависит импульса силы?

2) От каких физических величин зависит изменение импульса тела?

После этого следует разобрать вопросы для обсуждения № 1 и 2. По усмотрению учителя на уроке может быть рассмотрен вопрос для обсуждения № 3, который фактически представляет собой качественную задачу.

**Домашнее задание:** § 23, вопросы после параграфа.

## Урок 33/2

### Закон сохранения импульса. Реактивное движение (§ 24)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о законе сохранения импульса, об условиях выполнения закона сохранения импульса и его использовании при решении задач по механике, о реактивном движении.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (движение ракеты).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.



## *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Сохранение суммарного импульса шаров» (ЭФУ).

- Разработка урока с анимацией «Импульс. Закон сохранения импульса»: <http://gotourl.ru/7784>.

- Анимация «Импульс тел при взаимодействии»: <http://gotourl.ru/7785>.

- Анимация «Закон сохранения импульса»: <http://gotourl.ru/7786>.

### **Методические комментарии**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести демонстрационный эксперимент на тему «Закон сохранения импульса». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему вторая тележка после столкновения движется примерно с той же скоростью, что и первая тележка до удара?

2) В каких случаях закон сохранения импульса можно применить к описанию незамкнутых систем?

После этого рассмотрите вопросы для обсуждения № 1—3. С учащимися разберите пример решения задачи и решение задач № 1, 2 на отработку понятий «импульс силы» и «изменение импульса тела». В конце урока решите задачу № 3 на применение закона сохранения импульса.

**Домашнее задание:** § 24, вопросы после параграфа, задача № 4, подготовить доклады к мини-конференции (по содержанию § 25\*; в качестве тем докладов можно использовать вопросы после § 25\*).

## Успехи в освоении космического пространства (§ 25\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 26.

## Цели урока

*Предметные:* формировать представления об устройстве и принципе действия реактивных двигателей, успехах в освоении космического пространства.

*Личностные:* формировать уважение к историческим символам и памятникам Отечества, ценностное отношение к научным достижениям и традициям своей Родины — России.

*Метапредметные:* развивать умения работать с информацией научного содержания, анализировать исторические факты.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и астрономией (успехи в освоении космического пространства, первые пилотируемые запуски ракет, околоземные станции, высадка человека на Луну).

## Организация образовательного пространства

## Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

## Цифровые образовательные ресурсы

- Анимация «Принцип действия ракеты» (ЭФУ).
- Разработка урока с анимацией «Реактивное движение. Ракеты»: <http://gotourl.ru/7787>.

- Демонстрационная таблица «Ракетные двигатели»: <http://gotourl.ru/7788>.

- Анимация «Реактивное движение»: <http://gotourl.ru/7789>.

- Анимация «Полет многоцветного космического корабля»: <http://gotourl.ru/7790>.

- Видеоурок «Изменения импульса. Импульс ракеты»: <http://gotourl.ru/7791>.

### Методические комментарии

Урок рекомендуется провести в форме мини-конференции. Заинтересованные учащиеся выступают с докладами (компьютерными презентациями). На один доклад учащегося отводится не более 7 мин. В конце урока следует подвести итоги мини-конференции и, если останется время, рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3.

**Домашнее задание:** § 25\*.

## Урок 35/4

### Центр масс. Теорема о движении центра масс (§ 26)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать у учащихся представления о центре масс тела, \*об импульсе системы материальных точек, \*о теореме о движении центра масс.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов), физикой и техникой (центр масс системы «ракета — отработанные газы»).

## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### Цифровой образовательный ресурс

Анимация «Определение центра масс несимметричной гантели» (ЭФУ).

### Методические комментарии

Материал об импульсе системы материальных точек и о теореме о движении центра масс предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3. Их следует решать как качественные задачи с применением формул и законов. После этого перейдите к решению задач № 1—3.

**Домашнее задание:** § 26, вопросы после параграфа, задача № 4.

## Урок 36/5

### Работа силы. Мощность. КПД механизма (§ 27)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о работе в физике, свойствах работы силы, графическом смысле работы, мощности, КПД механизма.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в виде формул, графиков.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (КПД механизма).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Мощность» (ЭФУ).
- Видеоурок «Работа и механическая энергия»: <http://gotourl.ru/7792>.

## Методические комментарии

При изучении материала параграфа учащиеся должны усвоить основные свойства работы силы. На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3 с применением формул и законов. С учащимися решите задачи № 2 и 4 и, если останется время, разберите решение остальных задач.

**Домашнее задание:** § 27, вопросы после параграфа, задачи № 1, 3, 5.

## Урок 37/6 Решение задач (§ 27)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 28.

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на определение работы силы и мощности.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в графической и знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (КПД механизма).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## Методические комментарии

Урок рекомендуется начать с проведения теста, рассчитанного на 10 мин по теме «Работа силы и мощность».

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Работа каких сил по замкнутому контуру равна нулю?

- 1) силы трения и силы упругости
- 2) силы трения и силы тяжести
- 3) силы трения, силы тяжести и силы упругости
- 4) силы тяжести и силы упругости

2. На горизонтальной поверхности находится тело массой 2 кг, на которое действует сила 10 Н, направленная под углом  $60^\circ$  к горизонту. Под действием этой силы тело переместилось по поверхности на расстояние 5 м. Чему равна работа этой силы?

- |           |          |
|-----------|----------|
| 1) 200 Дж | 3) 0     |
| 2) 100 Дж | 4) 25 Дж |

3. Пружину растягивают на 2 см, при этом работа, совершаемая силой упругости, 2 Дж. Какую работу необходимо совершить, чтобы растянуть пружину еще на 4 см?

- |          |         |
|----------|---------|
| 1) 18 Дж | 3) 8 Дж |
| 2) 4 Дж  | 4) 2 Дж |



*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (понятие кинетической энергии).

## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### Цифровой образовательный ресурс

Анимация «Теорема об изменении кинетической энергии» (ЭФУ).

## Методические комментарии

На уроке следует рассмотреть вопросы для обсуждения № 1 и 2, а также пример решения задачи. Обсудите с учащимися основные свойства кинетической энергии и вывод теоремы о кинетической энергии.

Для закрепления материала параграфа учащимся рекомендуется выполнить тест, рассчитанный на 15 мин. Учащимся следует выбрать любые 4 задания.

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Определите кинетическую энергию  $E_k$  тела массой  $m = 2$  кг через  $t = 5$  с после начала движения, если оно начало двигаться из состояния покоя с ускорением  $a = 1$  м/с<sup>2</sup>.

- |          |          |
|----------|----------|
| 1) 10 Дж | 3) 25 Дж |
| 2) 5 Дж  | 4) 50 Дж |





## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### Цифровой образовательный ресурс

Анимация «Работа силы упругости и потенциальная энергия» (ЭФУ).

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3, а также решить задачи № 4.119, 4.120, 4.122 из задачника. При этом учащимся следует объяснить отличия потенциальной энергии от кинетической, выбор нулевого уровня потенциальной энергии для конкретных случаев.

Как правило, вопросы, связанные с потенциальной энергией упругой деформации, являются сложными для усвоения учащимися. В связи с этим в конце урока рекомендуется провести тест, рассчитанный на 10 мин.

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Тяжелый молот падает на сваю и вбивает ее в почву. В этом процессе происходит преобразование

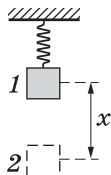
1) потенциальной энергии молота во внутреннюю энергию сваи

2) кинетической энергии молота во внутреннюю энергию молота, сваи, почвы

3) внутренней энергии молота в кинетическую и потенциальную энергию сваи

4) внутренней энергии молота во внутреннюю энергию сваи и почвы

2. Тело массой  $m$  подвешено на пружине жесткостью  $k$ . Его сместили вниз от положения равновесия 1 в положение 2 на расстояние  $x$  (см. рисунок) и отпустили. Какой кинетической энергией оно будет обладать, когда вернется в положение равновесия?



- 1) 0  
 2)  $\frac{kx^2}{2} + mgx$   
 3)  $\frac{kx^2}{2} - mgx$   
 4)  $\frac{kx^2}{2}$

3. Из закрепленного пружинного пистолета стреляют вертикально вверх. Чему равна масса пули, если высота ее подъема в результате выстрела  $h$ , жесткость пружины  $k$ , а деформация пружины перед выстрелом  $\Delta l$ ? Трением и массой пружины пренебречь. Считайте, что  $\Delta l \ll h$ .

- 1)  $\frac{k(\Delta l)^2}{4gh}$   
 2)  $\frac{k(\Delta l)^2}{gh}$   
 3)  $\frac{2k(\Delta l)^2}{gh}$   
 4)  $\frac{k(\Delta l)^2}{2gh}$

4. Груз массой  $m$  тянут за нить по горизонтальной шероховатой поверхности. На какое расстояние переместится груз после обрыва нити, если его скорость в момент обрыва  $v$ , а коэффициент трения груза о поверхность  $\mu$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь.

- 1)  $\frac{2v^2}{\mu g}$   
 2)  $\frac{v^2}{2\mu g}$   
 3)  $\frac{v^2}{\mu g}$   
 4)  $\frac{4v^2}{\mu g}$

Ответы: 1. 2). 2. 4). 3. 4). 4. 2).

Домашнее задание: § 29, вопросы после параграфа, задачи № 4.116—4.118 из задачника.

## Урок 40/9

## Закон сохранения механической энергии (§ 30)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о механической энергии системы тел, об изменении механической энергии системы тел, о законе сохранения механической энергии.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (понятие механической энергии системы).

## Организация образовательного пространства

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Видеоурок «Закон сохранения и превращения энергии»: <http://gotourl.ru/7793>.

- Демонстрационная таблица «Закон сохранения в механике»: <http://gotourl.ru/7794>.

- Видеоурок «Закон сохранения энергии в больших масштабах»: <http://gotourl.ru/7795>.

## Методические комментарии

На уроке рекомендуется разобрать с учащимися пример решения задачи, рассмотреть вопрос для обсуждения № 2 и решение задачи № 2. В конце урока решите задачи № 1 и 3.

**Домашнее задание:** § 30, вопросы после параграфа, вопрос для обсуждения № 1, задачи № 4—6.

### Урок 41/10

## Абсолютно упругое и абсолютно неупругое соударения тел (§ 31\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к решению задач по § 24 и 30.

## Цели урока

*Предметные:* формировать представления об абсолютно упругом и абсолютно неупругом соударениях тел.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (автосцепка вагонов, амортизация толчков и ударов).

## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### Цифровые образовательные ресурсы

- Анимация «Упругий удар шаров»: <http://gotourl.ru/7796>.
- Интерактивная модель «Центральный удар двух тел»: <http://gotourl.ru/7797>.

## Методические комментарии

На уроке разберите с учащимися пример решения задачи и вопрос для обсуждения № 3. После этого можно решить задачи № 3 и 4 с развернутым решением. Учащиеся могут также попробовать решить задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 31\*, вопросы после параграфа, вопросы для обсуждения № 1 и 2, задачи № 4.187—4.189 из задачника.

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения комбинированных задач на применение законов сохранения энергии и импульса.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные и скалярные величины, проекции векторных величин, графики зависимости).

### Методические комментарии

На уроке разберите с учащимися тренировочный вариант контрольной работы. Это позволит отработать умения решать типовые задачи на применение законов сохранения в механике. Если после выполнения всех заданий контрольной работы останется свободное время, заинтересованным учащимся можно предложить решить дополнительную задачу.

Каждое задание части 1 оценивается в 1 балл, части 2 — 2 балла, части 3 — 3 балла. Правильное выполнение задания 1 в части 2 оценивается в 2 балла (с одной ошибкой — 1 балл). При решении задач 2 и 3 части 2 необходимо сделать рисунок. В заданиях 2 и 3 части 3 следует привести полное решение.

### Часть 1

1. Пластилиновый шарик массой  $m$ , движущийся со скоростью  $v$ , налетает на покоящийся пластилиновый шарик массой  $2m$ . После удара шарики, слипшись, движут-



### Часть 3

7. Почему нагруженный автомобиль при той же мощности двигателя имеет меньшую скорость, чем ненагруженный? Ответ обоснуйте, используя физические законы.

8. Пуля, летевшая горизонтально со скоростью  $v = 500$  м/с, попадает в шар, подвешенный на длинной нити, и застревает в нем. Масса пули  $m = 10$  г, масса шара  $M = 5$  кг. Определите высоту  $h$ , на которую поднимается шар с застрявшей в нем пулей.

9. Тело массой  $m = 1$  кг соскальзывает с наклонной плоскости длиной  $l = 20$  м, которая образует с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . Скорость тела у основания наклонной плоскости  $v = 3$  м/с. Какое количество теплоты  $Q$  выделилось при трении тела о плоскость, если начальная скорость тела  $v_0 = 2$  м/с?

#### Дополнительная задача

10. Два шарика, массы которых различаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях. Легкий шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и опускают без начальной скорости. Каким будет отношение кинетических энергий тяжелого и легкого шариков сразу же после их абсолютно упругого центрального удара?

Ответы. Часть 1. 1. 1). 2. 1). 3. 2). 4. 1).

Часть 2. 5.  $v_1 = \frac{-(m_1 + m_2)v_0 + m_2v_2}{m_1}$ ;  $v_1 = 12,5$  м/с.

6.  $F_c = mg + \frac{mv^2}{2h}$ ;  $F_c = 55$  Н.

Часть 3. 8.  $h = \frac{m^2v^2}{2g(M + m)^2}$ ;  $h = 5$  см. 9.  $Q = m\left(gh + \frac{1}{2}(v_0^2 - v^2)\right)$ ;  $Q = 97,5$  Дж.

#### Дополнительная задача

10.  $\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = 3$ .

**Домашнее задание:** подготовиться к контрольной работе: оставшиеся задания тренировочного варианта контрольной работы, повторить основные понятия и формулы темы.



## Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Законы сохранения в механике».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций, скалярные и векторные величины).

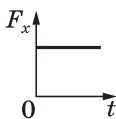
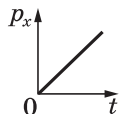
## Методические комментарии

Из предложенных ниже вариантов учитель может самостоятельно разработать содержание контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся. Учащимся, которые справились со всеми заданиями контрольной работы, можно предложить решить дополнительную задачу.

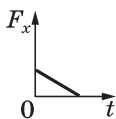
## Вариант 1

## Часть А

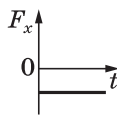
1. На рисунке показан график зависимости проекции импульса  $p_x$  тележки от времени  $t$ . Каким будет график изменения проекции равнодействующей всех сил  $F_x$ , действующих на тележку, от времени?



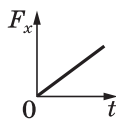
1)



2)



3)



4)

2. С тележки, движущейся без трения по горизонтальной поверхности, сброшен груз с нулевой начальной скоростью (в системе отсчета, связанной с тележкой). В результате скорость тележки

- 1) уменьшилась
- 2) возросла
- 3) не изменилась
- 4) уменьшилась или возросла в зависимости от того, что больше — масса тележки или масса груза

3. Груз массой  $m$  тянут за нить по горизонтальной шероховатой поверхности. На какое расстояние  $s$  переместится груз после обрыва нити, если его скорость в момент обрыва  $v$ , а коэффициент трения груза о поверхность  $\mu$ ? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) $\frac{2v^2}{\mu g}$ | 3) $\frac{v^2}{2\mu g}$ |
| 2) $\frac{v^2}{\mu g}$  | 4) $\frac{4v^2}{\mu g}$ |

4. Шары движутся со скоростями, показанными на рисунке, и при столкновении слипаются. Как будет направлен импульс шаров после столкновения?



- 1) ←      2) ↑      3) ↙      4) ↗

5. Как изменится потенциальная энергия упруго деформированной пружины при увеличении ее удлинения в 3 раза?

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) увеличится в 9 раз  | 3) уменьшится в 3 раза |
| 2) увеличится в 3 раза | 4) уменьшится в 9 раз  |

### Часть В

6. Шайба массой  $m$  соскальзывает без трения с горки высотой  $h$  из состояния покоя. Ускорение свободного падения  $g$ . Чему равны модуль импульса шайбы и ее кинетическая энергия у подножия горки?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

**ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

**ФОРМУЛА**

- А) модуль импульса шайбы  
 Б) кинетическая энергия шайбы

- 1)  $\sqrt{2gh}$
- 2)  $m\sqrt{2gh}$
- 3)  $mgh$
- 4)  $mg$

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б

7. С неподвижной лодки, масса которой вместе с человеком 255 кг, бросают на берег весло массой 5 кг с горизонтальной скоростью 10 м/с относительно поверхности Земли. Какую скорость приобретает лодка?

8. Пружину динамометра растянули на  $\Delta x = 1$  см. Динамометр показал силу  $F = 20$  Н. Какую при этом совершила работу сила упругости?

### Часть 3

9. Когда расходуется меньше энергии: при запуске искусственного спутника Земли вдоль меридиана или вдоль экватора в сторону вращения Земли? Ответ обоснуйте, используя физические законы.

10. Тело массой  $m = 100$  г, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0 = 15$  м/с, достигло максимальной высоты  $h = 10$  м. Определите работу сил сопротивления воздуха на этом участке.

11. Камень массой  $m$  падает с высоты  $H$ . Определите глубину погружения камня в землю, если средняя сила сопротивления, с которой земля действует на камень, равна  $F$ .

### Дополнительная задача

12. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 10 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка, массы которых относятся как 1 : 2. Осколок меньшей массы упал на поверхность Земли со скоростью 20 м/с. Определите скорость большего осколка при падении на поверхность Земли. Считать поверхность Земли плоской и горизонтальной.

## Вариант 2

### Часть 1

1. Мяч массой  $m$  брошен вертикально вверх с начальной скоростью  $\vec{v}_0$ . Каким будет изменение импульса мяча за



- 1) кинетическая энергия вагона преобразуется в потенциальную энергию пружины
- 2) кинетическая энергия вагона преобразуется в его потенциальную энергию
- 3) потенциальная энергия пружины преобразуется в ее кинетическую энергию
- 4) внутренняя энергия пружины преобразуется в кинетическую энергию вагона

### Часть 2

**6.** Пластилиновый шар, двигаясь по гладкой горизонтальной плоскости, столкнулся с покоящимся металлическим шаром и прилип к нему. Как в результате их взаимодействия изменились перечисленные в первом столбце физические величины?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

#### ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

#### ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

А) суммарная кинетическая энергия шаров

1) увеличилась

2) уменьшилась

Б) модуль суммарного импульса шаров

3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б

**7.** Стоящий на коньках на льду человек массой 60 кг ловит мяч массой 0,5 кг, который летит горизонтально со скоростью 20 м/с. С какой скоростью покатится человек с мячом по горизонтальной поверхности льда?

**8.** Определите энергию, которую получает буферная пружина при сжатии ее на 5 см, если известно, что для сжатия пружины на 1 см нужно приложить силу 30 кН.

### Часть 3

**9.** Покоящийся шар получает центральный удар от другого такого же шара. Когда первый шар приобретет большую скорость — при упругом или неупругом ударе? Ответ обоснуйте, используя физические законы.

10. Шарик висит на легкой нерастяжимой нити длиной  $L$ . Определите минимальную горизонтальную скорость, которую необходимо сообщить шарика, чтобы он совершил полный оборот в вертикальной плоскости.

11. К нижнему концу вертикально висящей невесомой пружины жесткостью  $k = 10$  Н/см подвесили груз массой  $m = 3$  кг и отпустили без начальной скорости. Определите максимальное растяжение пружины.

#### Дополнительная задача

12. Брусок массой  $m_1 = 500$  г соскальзывает по наклонной поверхности с высоты  $h = 0,8$  м и, двигаясь по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным бруском массой  $m_2 = 300$  г. Считая столкновение абсолютно неупругим, определите изменение кинетической энергии первого бруска в результате столкновения. Трением при движении пренебречь. Считать, что наклонная плоскость плавно переходит в горизонтальную.

Ответы. *Вариант 1*

Часть 1. 1. 1). 2. 3). 3. 3). 4. 3). 5. 1).

Часть 2. 6. А2, В3. 7.  $u = \frac{mv}{M}$ ;  $u \approx 0,2$  м/с.

8.  $A = \frac{1}{2}F\Delta x$ ;  $A = 0,1$  Дж.

Часть 3. 10.  $A_{\text{сопр}} = -\left(\frac{mv_0^2}{2} - mgh\right)$ ;  $A_{\text{сопр}} = -1,25$  Дж. 11.  $h = \frac{mgH}{F_{\text{сопр}} - mg}$ .

Дополнительная задача 12.  $v_2 \approx 75,6$  м/с.

*Вариант 2*

Часть 1. 1. 3). 2. 2). 3. 3). 4. 3). 5. 1).

Часть 2. 6. А2, В3. 7.  $v_1 \approx 0,17$  м/с. 8.  $W = 3750$  Дж.

Часть 3. 10.  $v_{\text{min}} = \sqrt{5Lg}$ . 11.  $\Delta x_{\text{max}} = 6$  см.

Дополнительная задача 12.  $\Delta E_{k1} = -2,4$  Дж.

## Методические особенности изложения

При изложении темы необходимо акцентировать внимание на условиях равновесия твердого тела. Прежде всего с учащимися следует обсудить модель абсолютно твердого тела и условия ее применения. Первое условие равновесия следует из теоремы о движении центра масс. Рассматривая второе условие равновесия, повторите материал по определению момента силы и алгебраической суммы моментов действующих на тело сил. Значительное внимание следует уделить решению задач, в том числе тех, в которых используются оба условия равновесия.

Рассмотрим примеры решения задач двух типов. При решении задач первого типа необходимо использовать законы динамики и первое условие равновесия твердого тела, а при решении задач второго типа — понятие момента силы и двух условий равновесия твердого тела.

### Задача первого типа

К кронштейну  $ABC$  на гладкой невесомой и нерастяжимой нити подвешен груз массой  $m = 200$  кг. Найдите силы упругости, возникающие в стержнях  $AB$  и  $AC$ , если  $AB = 1,5$  м,  $AC = 3$  м (рис. 14).

Дано:

$m = 200$  кг  
 $AB = 1,5$  м  
 $AC = 3$  м

$F_{AB} = ?$   
 $F_{AC} = ?$

Решение:

Запишем первое условие равновесия твердого тела для груза

$$m\vec{g} + \vec{T}_1 = 0,$$

для точки  $A$

$$\vec{T}_2 + \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{AC} = 0.$$

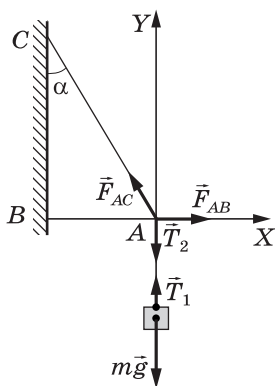


Рис. 14

Запишем эти условия в проекциях на оси  $X$  и  $Y$ :

$$X: F_{AB} - F_{AC} \sin \alpha = 0,$$

$$Y: F_{AC} \cos \alpha - T_2 = 0,$$

$$T_1 - mg = 0.$$

Согласно условию задачи,  $T_1 = T_2$ .

Из треугольника  $ABC$  следует, что  $\sin \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{1,5}{3} = 0,5 \Rightarrow \alpha = 30^\circ$ ,  $\cos \alpha = 0,87$ ,

$$F_{AC} \cos \alpha = mg, F_{AC} = \frac{mg}{\cos \alpha}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$F_{AC} = \frac{2000}{0,87} \approx 2310 \text{ Н},$$

$$F_{AB} = F_{AC} \sin \alpha.$$

С учетом данных  $F_{AB} = 2310 \cdot 0,5 \approx 1155 \text{ Н}$ .

Ответ:  $F_{AC} \approx 2310 \text{ Н}$ ,  $F_{AB} \approx 1155 \text{ Н}$ .

### Задача второго типа

Тяжелая балка массы  $M$  шарнирно закреплена на конце  $O$  (рис. 15). Балка удерживается горизонтально с помощью невесомой и нерастяжимой нити, прикрепленной к другому концу балки и перекинутой через неподвижный блок. Нить образует с вертикалью угол  $\alpha$ . Определите силу реакции шарнира  $R$ , если масса груза равна  $m$ . Трением в блоке пренебречь.

Дано:

$M, m, \alpha$

$R - ?$

Решение:

Запишем второй закон Ньютона для груза:

$$\vec{T}_1 + m\vec{g} = 0.$$

Спроецируем это выражение на ось  $Y$ :

$$T_1 - mg = 0 \Rightarrow T_1 = mg.$$

Запишем второе условие равновесия твердого тела для балки:

$$M_D(T_2) + M(Mg) + M_D(R) = 0,$$

$$0 + 0 + M_D(R) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_D(R) = 0.$$

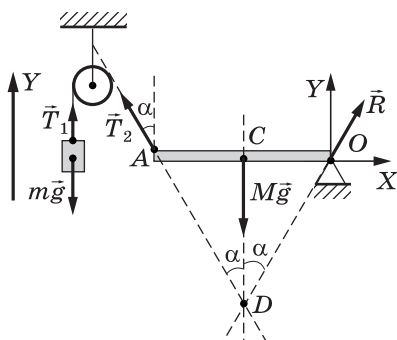


Рис. 15



Линия действия силы  $R$  проходит через точку  $D$ .

$$\triangle ACD = \triangle OCD \Rightarrow \angle ADC = \angle ODC = \alpha.$$

Второй закон Ньютона для балки имеет вид:

$$\vec{T}_2 + M\vec{g} + \vec{R} = 0.$$

В проекциях на ось  $OX$ :

$$-T_2 \sin \alpha + 0 + R \sin \alpha = 0 \Rightarrow T_2 = R.$$

Так как нить невесома и трения в блоке нет, то

$$T_2 = T_1 = mg \Rightarrow R = mg.$$

Ответ:  $R = mg$ .

Изучение материала по гидро- и аэростатике желательнее сопроводить обсуждением качественных задач и выполнением демонстрационных экспериментов.

Рассмотрим пример решения качественной задачи.

### Задача

На весах уравновесили сосуд с водой и затем опустили в воду конец деревянной палочки, держа другой ее конец в руке (рис. 16). Изменится ли равновесие весов? Если изменится, то какой груз нужно положить (или снять?) на другую чашку весов для восстановления равновесия? Объем погруженной части палочки  $V$ . Плотность воды  $\rho$ . Вода из сосуда не выливается.

Решение:

Опускаем палочку в воду



При этом поднимается уровень воды



Следовательно, увеличивается давление воды на дно сосуда, равновесие весов нарушается.

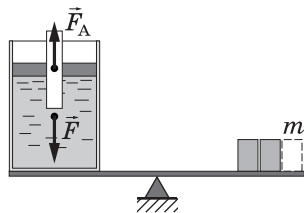


Рис. 16

По третьему закону Ньютона  $F = F_A = \rho g V$ ,

$m = \rho V$ ,  $V$  — объем погруженной в воду части палочки.

## Подготовка к ЕГЭ по физике

Часто в ЕГЭ по физике встречаются задания на применение законов и основных понятий статики, гидро- и аэростатики. В качестве примеров можно привести задания № 4, 6 и 25 КИМ по физике. В задании № 4 проверяется знание учащимися условий равновесия твердого тела, формулы для определения давления жидкости и закона Архимеда. При решении задания № 6 необходимо использовать условие плавания тел. Задание № 25 — это задача на условие (правило) равновесия рычага, применение правила моментов или закона сообщающихся сосудов.

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Сконструируйте экспериментальную установку для проверки правила разложения силы на клине.

2. Сконструируйте устройство для регулирования давления пара в котле. При давлении в котле выше номинального устройство должно выпускать часть пара, а при номинальном давлении — вновь закрывать котел. Устройство должно позволять в определенных пределах изменять максимальное давление в котле.

3. При сборке некоторых конструкций требуется большая точность затяжки болтов. При недостаточном усилии болты плохо скрепляют детали, а при слишком большом — может произойти неупругая деформация болта, и резьба будет сорвана. Сконструируйте гаечный ключ, который позволял бы затягивать болты и гайки всегда определенным образом.

4. Сконструируйте прибор, который позволил бы определить разность статического давления над крылом и под крылом самолета, находящегося в воздушном потоке.

5. Выполните опытную проверку уравнения Бернулли. Для этого проведите эксперименты с двумя листами бумаги, с картонным кружком и катушкой, с воронкой и шариком.

## Примерные темы рефератов и проектов

1. Закон Паскаля: из истории установления, физический смысл, примеры и границы применения.
2. Приборы для измерения атмосферного давления.
3. Закон Архимеда: из истории установления, физический смысл, примеры и границы применения.
4. Исследование условия плавания тел.
5. Устройство и физические основы работы карбюратора и водоструйного насоса. Недостатки этих устройств.
6. Роль русского ученого Н. Е. Жуковского в изобретении воздушного транспорта.

## Дополнительный материал

При изучении вопросов гидростатики и/или выполнения проекта может оказаться полезным материал об истории открытия и исследования атмосферного давления.

До середины XVII в. считалось незыблемым мнение Аристотеля, что вода поднимается за поршнем насоса, потому что «природа боится пустоты». Однако флорентийские колодезники сообщали, что вода не вытягивается насосом на высоту более некоторого определенного значения (немного более 10 м). Отсюда Галилей сделал вывод, что аристотелевская «боязнь пустоты» не превышает некоторого измеряемого значения. Весомый вклад в разрешение спора между сторонниками и противниками существования пустоты внес итальянский ученый, ученик Галилея Эванджелиста Торричелли (1608—1647). Он вошел в историю физики как человек, впервые доказавший существование атмосферного давления и получивший вакуум («торричеллиеву пустоту»).

Исходя из представления о том, что мы живем на дне воздушного океана, оказывающего на нас давление, он предложил Винченцо Вивиани (1622—1703) измерить это давление. Для этого была использована

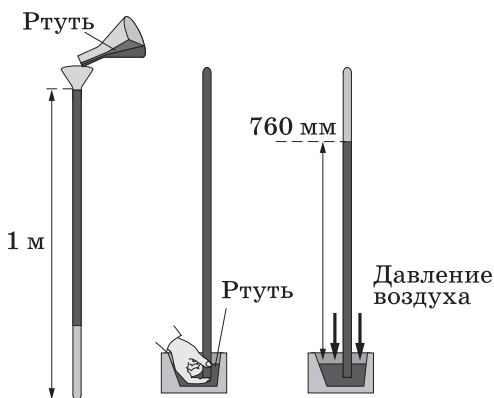


Рис. 17

запаянная с одного конца стеклянная трубка (длиной 1 м), заполненная ртутью (рис. 17). Свободный конец трубки закрывали и трубку переворачивали. Затем трубку помещали в сосуд с ртутью и открывали отверстие. При этом часть ртути из трубки выливалась в сосуд. Столбик ртути в трубке устанавливался на определенной высоте (в современных единицах — 760 мм).

Пустота, образовавшаяся над ртутью в верхней части трубки, была названа торричеллиевой. Открытие Торричелли вызвало огромный резонанс. Рене Декарт (1596—1650) предложил идею измерения атмосферного давления на различных высотах, которая была реализована Блезом Паскалем (1623—1662). Он провел измерения атмосферного давления у подножия и на вершине горы Пюи де Дом и установил факт падения давления воздуха с высотой.

Эти опыты были продолжены магдебургским бургомистром Отто фон Герике (1602—1686). В 1672 г. вышла в свет его книга «Новые магдебургские опыты о пустом пространстве». Приведенные в ней данные наглядно демонстрировали силу атмосферного давления (вы, конечно, помните эффектный опыт с магдебургскими полушариями). Тем самым утверждение о существовании пустоты в природе было окончательно доказано.

**Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о равновесии материальной точки, первом и втором условиях равновесия твердого тела.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов), физикой и техникой (пара сил).

**Организация  
образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Демонстрационное оборудование*

- Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).
- Демонстрационный рычаг.
- Набор грузов.

*Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Абсолютно твердое тело», «Условие равновесия для поступательного движения», «Условие равновесия для вращательного движения» (ЭФУ).

## Методические комментарии

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Правило моментов сил», «Общее условие равновесия», «Равновесие тела, имеющего неподвижную ось вращения». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Находится ли демонстрационный рычаг в равновесии только при одном положении грузов или при нескольких возможных положениях? Почему?

2) Влияет ли на равновесие твердого тела положение центра тяжести тела относительно оси вращения?

Рассмотрите с учащимися вопросы для обсуждения № 1—3, а затем перейдите к разбору примера решения задачи и решению задач № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 32, вопросы после параграфа, задачи № 3—5.

### Урок 45/2

## Центр тяжести твердого тела. Виды равновесия (§ 33)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о центре тяжести твердого тела, видах равновесия твердых тел, принципе минимума потенциальной энергии.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов), физикой и техникой (виды равновесия).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

Лаборатория L-micro (набор лабораторный «Механика»).

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Виды равновесия» (ЭФУ).
- Дополнительный текстовый материал «Симон Стевин. Что вы о нем знаете»: <http://gotourl.ru/7798>.

## **Методические рекомендации**

С помощью инструментов лаборатории L-micro (набор лабораторный «Механика») рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Безразличное равновесие», «Равновесие тела, имеющего площадь опоры». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Что происходит с высотой центра тяжести тела в эксперименте по изучению безразличного равновесия?

2) Почему опрокидывается параллелограмм в эксперименте по изучению равновесия тела, имеющего площадь опоры?

После этого рассмотрите вопросы для обсуждения № 1—3. Обсудите с учащимися материал рубрики

«Это любопытно». Ответьте на вопрос: «Почему гипотенуза, содержащая большее число шаров, уравновешена катетами, содержащими меньшее и неравное число шаров?»

**Домашнее задание:** § 33, вопросы после параграфа.

## Урок 46/3

### Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля (§ 34)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о давлении в жидкостях и газах, законе Паскаля.

*Личностные:* формировать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов, подобие треугольников), физикой и техникой (давление в жидкостях и газах, постройка подводных лодок и батискафов).

#### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Демонстрационное оборудование*

Шар Паскаля.



## Методические комментарии

На уроке проведите демонстрационный эксперимент с шаром Паскаля. Рассмотрите с учащимися вопрос для обсуждения № 2, а затем перейдите к разбору примера решения задачи. По аналогии решите с учащимися задачу № 5 после параграфа. В зависимости от уровня математической подготовки учащихся можно рассмотреть вывод закона Паскаля. При этом обратите внимание на использование принципа отвердевания.

**Домашнее задание:** § 34, вопросы после параграфа, задачи № 1—4.

### Урок 47/4

## Закон Архимеда (§ 35)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представление о выталкивающей силе, законе Архимеда, об условии плавания тел.

*Личностные:* формировать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с векторными величинами, умение работать с информацией, представленной в виде формул.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (условие плавания тел, плавание судов, воздухоплавание).

### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

## *Демонстрационное оборудование*

Ведерко Архимеда.

### *Цифровой образовательный ресурс*

Анимация «Вывод формулы выталкивающей силы» (ЭФУ).

### **Методические рекомендации**

На уроке проведите демонстрационный эксперимент с ведром Архимеда по описанию в учебнике. Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на вопрос: «Как доказать, что вес вытесненной воды равен по модулю архимедовой силе?»

На уроке желательно обсудить материал рубрики «Это любопытно», а также рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3. После этого разберите с учащимися решение задач № 1—3, используя пример решения задачи.

**Домашнее задание:** § 35, вопросы после параграфа, задачи № 4, 5, подготовка докладов на тему «Технические применения уравнения Бернулли».

## **Урок 48/5**

### **Ламинарное и турбулентное течение жидкости. Уравнение Бернулли (§ 36\*)**

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к решению задач по § 32—35.

### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о модели идеальной жидкости, об уравнении неразрывности для несжимаемой жидкости, уравне-

нии Бернулли, о технических применениях уравнения Бернулли.

*Личностные:* развивать готовность к саморазвитию и самообразованию, работе в коллективе и нахождению согласованных решений; формировать уважение к историческим символам и памятникам Отечества, ценностное отношение к достижениям и традициям своей Родины — России.

*Метапредметные:* формировать умение самостоятельно определять цели своего обучения.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (пульверизатор, водоструйный насос, подъемная сила крыла самолета).

### Методические рекомендации

На уроке учащиеся выступают с докладами на тему «Технические применения уравнения Бернулли». На выступление каждого учащегося отводится примерно 5—7 мин. На уроке также рассмотрите вопросы для обсуждения № 1—2.

**Домашнее задание:** § 36\*, вопросы после параграфа.

## Урок 49/6

### Решение задач (§ 32—35)

#### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на применение условий равновесия твердого тела, правила моментов, закона сообщающихся сосудов, закона Архимеда.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения

задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов).

## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

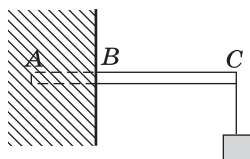
*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## Методические комментарии

На уроке проведите самостоятельную работу по теме «Статика. Законы гидро- и аэростатики». Обсудите ход решения каждой задачи и проверьте полученные ответы.

Ниже приведены примерные задания самостоятельной работы. После выполнения самостоятельной работы учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Гладкий невесомый стержень длиной 1 м вставлен в вертикальную стенку (см. рисунок) на глубину  $AB$ , равную 0,2 м. К концу  $C$  стержня подвесили груз весом 100 Н. Найдите силу реакции стенки в точке  $B$ .



2. Однородная доска массой 20 кг лежит на острой опоре, отстоящей на четверть длины доски от одного из ее концов. Какую силу, перпендикулярную доске, необходимо приложить к ее короткому концу, чтобы удержать доску в горизонтальном положении?

3. Ширина обуха клина 4 см, а длина его щеки 24 см. По клину, вставленному в углубление полена, ударяют с силой 500 Н. С какой силой клин разрывает полено? Трение не учитывать.

4. В цилиндрический сосуд диаметром 25 см налита вода, занимающая объем 12 л. Какое гидростатическое давление оказывает вода на стенку сосуда на высоте 10 см от дна?

5. В подводной части корабля образовалась пробоина площадью  $5 \text{ см}^2$ . Отверстие находится ниже уровня воды на глубине 3 м. Какая минимальная сила требуется, чтобы удержать заплату, закрывающую отверстие с внутренней стороны корабля?

6. У основания здания давление в водопроводе равно  $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Под каким давлением вытекает вода из крана на четвертом этаже здания на высоте 15 м от его основания?

7. В U-образной трубке одинакового сечения находится ртуть. На сколько повысится уровень в правой части трубки, если в левую налить воды так, чтобы она образовала столб высотой 13,6 см? Плотность ртути  $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

8. Два одинаковых вертикальных сообщающихся сосуда заполнены водой и закрыты легкими поршнями. На какую высоту поднимется правый поршень после установления равновесия, если на левый поставить груз массой 3 кг? Площадь каждого поршня  $200 \text{ см}^2$ .

9. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на высоту 0,2 м, а большой поршень поднимается на высоту 0,01 м. С какой силой действует пресс на зажатое в нем тело, если на малый поршень действует сила 500 Н?

Ответы: 1. 500 Н. 2. 200 Н. 3. 3000 Н. 4.  $1,4 \cdot 10^3 \text{ Па}$ .  
5. 15 Н. 6.  $3,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . 7. 0,5 см. 8. 7,5 см. 9.  $10^4 \text{ Па}$ .

**Домашнее задание:** подготовка к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

## Урок 50/7

### Контрольная работа по теме «Статика. Законы гидро- и аэростатики»

#### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Статика. Законы гидро- и аэростатики».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций, скалярные и векторные величины).

### Методические комментарии

Из предложенных ниже вариантов учитель может самостоятельно разработать сохранение контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся. Каждое задание части 1 (базовый уровень) оценивается в 2 балла, части 2 (повышенный уровень) — в 3 балла.

#### Вариант 1

##### Часть 1

1. Тело некоторой массы вначале плавает в воде, а затем — в ртути. Как изменятся значения величин, приведенных в первом столбце?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ
А) сила Архимеда	1) увеличится
Б) сила тяжести	2) уменьшится
В) вес тела	3) не изменится

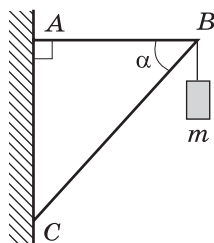
Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

А	Б	В

2. Два человека несут трубу массой  $m = 80$  кг и длиной  $l = 5$  м. Первый человек поддерживает трубу на расстоянии

$a = 1$  м от ее конца, а второй — держит противоположный конец трубы. Найдите силу давления трубы, испытываемую каждым человеком.

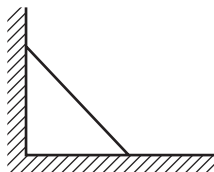
3. На кронштейне, изображенном на рисунке, висит груз массой  $m = 100$  г. Найдите силы упругости, возникающие в стержнях  $AB$  и  $BC$ , если они образуют угол  $\alpha = 60^\circ$ .



4. Какая часть  $\eta_1$  от всего объема айсберга находится над поверхностью воды? Какая часть  $\eta_2$  от всего объема айсберга находится под поверхностью воды? Плотность льда  $\rho_1 = 0,9 \cdot 10^2$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_2 = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

### Часть 2

5. Лестница массой  $m$  опирается на гладкую вертикальную стенку и находится в равновесии. Изобразите силы, действующие на лестницу. Укажите их природу. Как направлена равнодействующая сил, действующих со стороны пола и стенки на лестницу? Центр тяжести лестницы находится посередине.



6. В U-образной трубке одинакового сечения находится ртуть. Затем в одно колено наливают слой воды высотой  $h_1 = 50$  см, а в другое — слой керосина высотой  $h_2 = 20$  см. Определите разность уровней ртути в обоих коленах сосуда. Плотность воды  $\rho_1 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, керосина  $\rho_2 = 800$  кг/м<sup>3</sup>, ртути  $\rho_3 = 13\,600$  кг/м<sup>3</sup>.

7. Прутик опирается на гладкую вертикальную стенку, образуя с ней угол  $\alpha = 30^\circ$ . Нижний конец прутика находится на шероховатом полу. При каком коэффициенте трения между прутиком и полом жук, взбирающийся вверх по прутику, сможет достичь его вершины? Масса жука в 4 раза меньше массы прутика.

## Вариант 2

### Часть 1

1. Железный ( $\rho_1 = 8$  г/см<sup>3</sup>) и алюминиевый ( $\rho_2 = 3$  г/см<sup>3</sup>) шарики одинаковых объемов погружены в воду. Как соотносятся величины, приведенные в первом столбце?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

**ФИЗИЧЕСКИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ**

**СООТНОШЕНИЕ  
ФИЗИЧЕСКИХ  
ВЕЛИЧИН**

- А) сила Архимеда ( $F_{A1} \dots F_{A2}$ )  
 Б) сила тяжести ( $F_1 \dots F_2$ )  
 В) вес вытесненной воды ( $P_1 \dots P_2$ )

- 1) больше  
 2) меньше  
 3) равна

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

А	Б	В

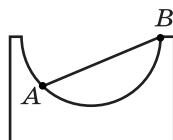
2. На плоту, состоящем из  $n = 20$  одинаковых бревен, можно перевозить максимальный груз массой  $m = 1800$  кг. Определите плотность древесины  $\rho_d$ , если объем каждого бревна  $V = 0,3$  м<sup>3</sup>, а плотность воды  $\rho_v = 1,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3. У основания здания давление в водопроводе равно  $p_1 = 5 \cdot 10^5$  Па. Под каким давлением  $p_2$  вытекает вода из крана на четвертом этаже здания на высоте  $H = 15$  м от его основания?

4. Небольшой фонарь массой 20 кг подвешен на двух одинаковых невесомых тросах, образующих угол  $\alpha = 120^\circ$ . Найдите силу натяжения тросов.

**Часть 2**

5. Однородный стержень  $AB$  имеет массу  $m$  и лежит внутри чаши (см. рисунок). Изобразите силы, действующие на стержень  $AB$ . Укажите их природу. Как направлена равнодействующая сил, действующих со стороны чаши на стержень?



6. К стене прислонена лестница массой  $m$  под углом  $\alpha$  к вертикали. Центр масс лестницы находится на расстоянии  $\frac{3}{4}$  длины от ее нижнего конца. Какую горизонтальную

силу  $F$  требуется приложить к середине лестницы, чтобы оторвать ее верхний конец от стены? Считайте, что нижний конец лестницы не скользит.



7. Определите плотность  $\rho_T$  однородного тела, действующего на нить подвеса в воздухе с силой  $F_1 = 2,8$  Н, а в воде с силой  $F_2 = 1,68$  Н. Плотность воды  $\rho_B = 1,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Выталкивающей силой воздуха пренебречь.

**Ответы. Вариант 1**

**Часть 1.** 1. А3, Б3, В3. 2.  $N_1 = 300$  Н;  $N_2 = 500$  Н.  
3.  $F_1 \approx 0,6$  Н.  $F_2 \approx 1,15$  Н. 4.  $\eta_1 = 0,1$ ;  $\eta_2 = 0,9$ .

**Часть 2.** 6.  $\Delta h = 0,025$  м. 7.  $\mu = \frac{3}{5} \operatorname{tg} \alpha$ ;  $\mu \approx 0,35$ .

**Вариант 2**

**Часть 1.** 1. А3, Б1, В3. 2.  $\rho_d = 700$  кг/м<sup>3</sup>. 3.  $p_2 =$   
 $= 3,5 \cdot 10^5$  Па. 4.  $T = \frac{mg}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$ ;  $T = 200$  Н.

**Часть 2.** 6.  $F = \frac{mg}{2} \operatorname{tg} \alpha$ . 7.  $\rho_T = 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

# ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (15 ч)

## Методические особенности изложения

При изучении темы систематизируются сведения о строении и свойствах вещества в различных агрегатных состояниях, полученные учащимися в основной школе. При этом рассматриваются основные понятия, величины, законы, уравнения и практические применения молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа. Экспериментальным подтверждением ее теоретических представлений являются опыты Штерна по измерению значений скоростей теплового движения частиц (молекул, атомов). Для изучения свойств газа применяют физическую модель — идеальный газ, элементы теории вероятностей, законы сохранения импульса и энергии.

При изложении материала учителю следует обратить внимание на три важных момента.

1. Необходимо понимать различия между микро- и макропараметрами системы. Величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета их молекулярного строения, называют макроскопическими параметрами. К ним относят такие физические величины, как температура, давление, объем. Значения макропараметров можно измерить с помощью физических приборов. В отличие от макропараметров, микропараметры (например, скорость хаотического движения молекул) характеризуют каждую частицу вещества в отдельности.

После обсуждения данного вопроса следует остановиться на выводе основного уравнения МКТ. Оно устанавливает связь между макро- и микропараметрами системы. При этом основное уравнение МКТ можно записать в виде:

$$p = \frac{1}{3}nm_0\overline{v^2}, \quad p = \frac{2}{3}n\overline{E}, \quad p = nkT.$$

Рассмотрим пример решения задачи на применение основного уравнения МКТ.

### Задача

Считая воздух идеальным газом, состоящим из одинаковых молекул, оцените примерную скорость теплового движения молекул при нормальных условиях ( $p = 10^5$  Па,  $T = 273$  К), если плотность газа  $\rho = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>.

Дано:

$$p = 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$$\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$$

$\bar{v}$  — ?

Решение:

Запишем основное уравнение МКТ:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2.$$

Так как

$$m_0 = \frac{M}{N_A}, \quad n = \frac{N}{V}, \quad V = \frac{m}{\rho}, \quad N = \frac{m}{M} N_A,$$

то можно записать:

$$p = \frac{1}{3} \frac{M}{N_A} \cdot \frac{m}{M} \cdot \frac{N_A \rho}{m} \cdot \bar{v}^2 = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2.$$

Отсюда

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^5}{1,3}} \approx 480 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $\bar{v} \approx 480$  м/с.

2. При изучении темы учащиеся должны усвоить физический смысл газовых законов и научиться представлять газовые законы на диаграммах в координатах:  $p, V$ ;  $p, T$ ;  $V, T$ . Полученные знания позволят учащимся разбираться в решении базовых задач МКТ, а также решать задачи по термодинамике. Владение техникой построения графиков изопроцессов поможет учащимся и при решении качественных задач.

Рассмотрим пример решения подобной задачи.

### Задача

На рисунке 18 в координатах  $p, t$  представлены процессы перехода идеального газа из состояния 1 в состояние 6. Масса газа в ходе процессов не изменяется. Укажите, как меняются в этих процессах: а) давление; б) температура; в) объем газа.

а) Давление  $p$  газа увеличивается от состояния 1 до состояния 4, а затем уменьшается от состояния 4 до состояния 6.

б) Температура  $t$  газа уменьшается от состояния 1 до состояния 2, затем растет от состояния 4 до состояния 5, после чего уменьшается от состояния 5 до состояния 6.

в) Объем  $V$  газа уменьшается от состояния 1 до состояния 3, затем увеличивается от состояния 3 до состояния 6, причем  $V_6 > V_1$ .

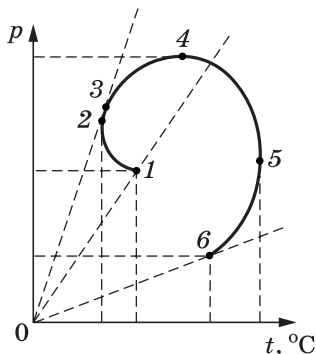


Рис. 18

**3.** При изучении газовых законов важное место занимают комбинированные задачи типа «трубки» или «стаканы». Их решение позволяет проверить несколько умений учащихся, начиная со знания второго закона Ньютона и заканчивая применением газовых законов и знанием условий плавания тел.

Приведем пример решения задачи типа «трубки».

### Задача

В узкой стеклянной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца и расположенной горизонтально, находится столбик воздуха длиной  $l = 30,7$  см, запертый столбиком ртути длиной  $h = 21,6$  см. Найдите длину воздушного столбика, если: 1) трубку расположить вертикально отверстием вверх; 2) трубку расположить под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту отверстием вниз (ртуть при этом не выливается). Атмосферное давление нормальное ( $p_0 = 10^5$  Па), плотность ртути  $\rho = 13\,600$  кг/м<sup>3</sup>. Температуру воздуха в трубке считать постоянной. Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

**Дано:**

$$l = 30,7 \text{ см}$$

$$h = 21,6 \text{ см}$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$l_1 - ? \quad l_2 - ?$$

**СИ:**

$$0,307 \text{ м}$$

$$0,216 \text{ м}$$

**Решение:**

1) В горизонтальном положении столбик ртути находится в равновесии. Следовательно,

$$p_1 = p_0,$$

$$V_0 = Sl.$$

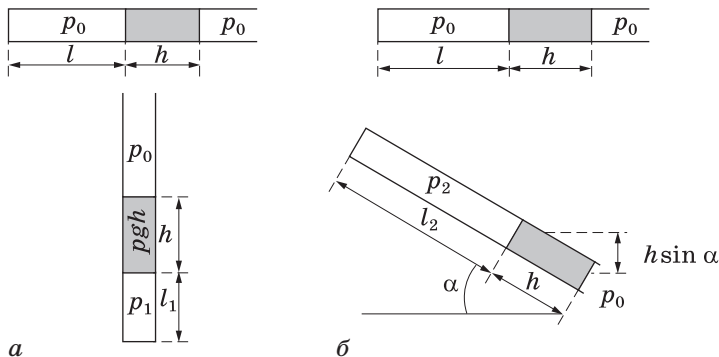


Рис. 19

Когда трубка расположена вертикально отверстием вверх (рис. 19, а), объем закрытой части трубки и давление воздуха в ней соответственно равны:

$$V_1 = Sl_1, p_1 = p_0 + \rho gh.$$

Так как  $T = \text{const}$ ,  $m_b = \text{const}$ , то по закону Бойля—Мариотта:

$$p_0 V_0 = p_1 V_1,$$

$$p_0 l S = (p_0 + \rho gh) l_1 S \Rightarrow l_1 = \frac{p_0 l}{p_0 + \rho gh},$$

$$l_1 = \frac{10^5 \cdot 0,307}{10^5 + 13\,600 \cdot 10 \cdot 0,216} \approx 0,238 \text{ м} = 23,8 \text{ см.}$$

2) Для второй ситуации (рис. 19, б)  $V_0 = Sl$ , объем закрытой части трубки  $V_2 = Sl_2$ .

По закону Паскаля:

$$p_0 = p_2 + \rho gh \sin \alpha,$$

$$p_2 = p_0 - \rho gh \sin \alpha.$$

Так как  $T = \text{const}$ ,  $m_b = \text{const}$ , то по закону Бойля—Мариотта:

$$p_0 V_0 = p_2 V_2,$$

$$p_0 l S = (p_0 - \rho gh \sin \alpha) l_2 S \Rightarrow l_2 = \frac{p_0 l}{p_0 - \rho gh \sin \alpha},$$

$$l_2 = \frac{10^5 \cdot 0,307}{10^5 - 13\,600 \cdot 10 \cdot 0,216 \cdot 0,5} \approx 0,359 \text{ м} = 35,9 \text{ см.}$$

Ответ:  $l_1 = 23,8 \text{ см}$ ,  $l_2 = 35,9 \text{ см}$ .

## Подготовка к ЕГЭ по физике

При решении заданий № 8, 11, 12 и 26 КИМ по физике необходимо использовать основные понятия и формулы МКТ идеального газа. В задании № 8 проверяется знание учащимися основного уравнения МКТ, понимание смысла уравнения Менделеева—Клапейрона. В задании № 11 требуется рассмотреть изопроцесс и определить графически или аналитически характер изменения какого-либо макропараметра идеального газа. Выполнение задания № 12 предполагает анализ изменения величин в различных изопроцессах или определение уравнения изопроцессов. Задание № 26 — это расчетная задача на применение основного уравнения МКТ и газовых законов. Полученные учащимися знания в области МКТ могут быть использованы при решении одной из задач части С ЕГЭ по физике.

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Каким образом, не имея динамометра, с помощью цилиндра с поршнем можно измерить силу рук человека на растяжение и сжатие?

2. Поставьте эксперимент на тему «Как температура влияет на скорость диффузии?». Для этого используйте две банки: с горячей и с холодной водой и жидкие чернила с пипеткой.

3. Почему запах распространяется медленно, хотя молекулы движутся очень быстро? Имея часы с секундной стрелкой, можно оценить примерную скорость распространения запаха. Как согласовать такую скорость распространения запаха с большой скоростью движения молекул, порядка сотен метров в секунду?

4. Проведите самостоятельное экспериментальное исследование на тему «Горит ли свеча в невесомости?».

5. Сконструируйте пневматические весы для взвешивания почтовых конвертов, используя манометр и резиновый воздушный шарик.

6. Соедините цилиндр, закрытый поршнем, с манометром. На поршень резко поставьте гирю массой 20 кг. Наблюдайте за показаниями манометра некоторое время и объясните наблюдаемое явление.

7. Придумайте конструкцию механической модели опыта О. Штерна по определению скорости движения молекул.

8. Придумайте конструкцию механической модели опыта по определению размеров молекул.

### Примерные темы рефератов и проектов

1. Температура атмосферы и космический корабль.

2. М. В. Ломоносов и молекулярно-кинетическая теория строения вещества.

3. Опыты Ж. Перрена по изучению броуновского движения.

4. Опыт О. Штерна по измерению скоростей теплового движения молекул.

5. Вклад Р. Клаузиуса в становление молекулярно-кинетической теории идеального газа.

6. Опыты с мыльными пленками на каркасах.

7. Конструирование моделей кристаллических решеток.

8. Рост кристаллов.

9. Учет и использование теплового расширения тел в технике.

## Урок 51/1

### Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытные обоснования (§ 37)

#### Цели урока

*Предметные:* повторить основные положения МКТ и их экспериментальные подтверждения; формировать представления о силах взаимодействия между молекулами.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умение самостоятельно определять цели своего обучения.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (туннельные микроскопы), физикой и математикой (графики зависимостей).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебные пособия*

• *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

• Анимации «Броуновское движение», «Взаимодействие молекул» (ЭФУ).

• Иллюстрация «График зависимости силы взаимодействия между атомами от расстояния между их центрами» (ЭФУ).

• Анимация «Траектория молекулы в газе»: <http://gotourl.ru/7799>.

• Интерактивная модель «Броуновское движение»: <http://gotourl.ru/7800>.

• Интерактивная модель «Движение атомов газа»: <http://gotourl.ru/7801>.

• Интерактивная исследовательская лаборатория «Движение молекул»: <http://gotourl.ru/7802>.

• Интерактивная модель «Зависимость давления газа от микропараметров» (шариковая модель): <http://gotourl.ru/7803>.

## **Методические комментарии**

Для демонстрации основных положений МКТ идеального газа рекомендуется использовать интерактивную исследовательскую лабораторию



рию или шариковую модель. Перед этим необходимо изучить методические руководства к данным средствам обучения. Обсудите с учащимися результаты интерактивного демонстрационного эксперимента. После этого рассмотрите вопросы для обсуждения № 1 и 2. Разберите на уроке качественные задачи № 7.1—7.6 из задачника.

**Домашнее задание:** § 37, вопросы после параграфа, задачи № 7.8—7.11 из задачника.

## Урок 52/2

### Общие характеристики молекул (§ 38)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об общих характеристиках молекул.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать умение работать с информацией, представленной в виде формул; сравнивать и оценивать значения величин.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами), физикой и химией (общие характеристики молекул).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебные пособия

• Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

• Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Меха-

ника, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Демонстрационная таблица «Количество вещества»: <http://gotourl.ru/7804>.
- Разработка урока «Масса молекул, количество вещества»: <http://gotourl.ru/7805>.

### **Методические комментарии**

На уроке рекомендуется провести физический диктант, заданиями которого могут быть вопросы после § 38. Это позволит закрепить знания учащимися формул для определений микропараметров молекул. После этого перейдите к решению задач № 1—5.

**Домашнее задание:** § 38, задачи № 7.17—7.21 из задачника, интерактивное задание (§ 38 ЭФУ).

## **Урок 53/3**

### **Температура. Измерение температуры (§ 39)**

#### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о макропараметрах системы, температуре и ее измерении, тепловом (термодинамическом) равновесии, нулевом законе термодинамики, молекулярно-кинетическом объяснении температуры.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать умения проводить измерения, оценивать значение получаемой величины и результаты измерения.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (измерение температуры, температурные шкалы, виды термометров).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Разработка урока с анимацией «Температура и тепловое равновесие»: <http://gotourl.ru/7806>.
- Интерактивная модель «Температурные шкалы»: <http://gotourl.ru/7807>.
- Иллюстрация «Термометры»: <http://gotourl.ru/7808>.
- Иллюстрация «Термоскоп»: <http://gotourl.ru/7809>.

### Методические рекомендации

При изучении материала рекомендуется использовать историко-физический подход. Для этого следует обсудить материал рубрики «Это любопытно». Учащиеся рассмотрят различные температурные шкалы и усвоят смысл нулевого закона термодинамики. На уроке также необходимо рассмотреть вопросы для обсуждения № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 39, вопросы после параграфа.

#### Урок 54/4

### Газовые законы.

#### Абсолютная шкала температур (§ 40)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о модели идеального газа, изопроцессах, газовых законах, газовой шкале температур, абсолютной температуре, шкале Кельвина.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной и графической формах.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (измерение температуры, температурные шкалы, виды термометров).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Изотермический процесс», «Изобарный процесс», «Изохорный процесс» (ЭФУ).
- Интерактивная модель «Движение атомов газа и абсолютная температура»: <http://gotourl.ru/7810>.
- Анимация изотермического процесса: <http://gotourl.ru/7811>.
- Анимация изохорного процесса: <http://gotourl.ru/7812>.
- Анимация изобарного процесса: <http://gotourl.ru/7813>.

## **Методические рекомендации**

С учащимися необходимо обсудить модель идеального газа и условия ее применимости. При изучении изопроцессов рекомендуется использовать анимации. Значительное внимание следует уделить построению графиков изопроцессов и описанию шкалы Кельвина. С учащимися рассмотрите

вопрос для обсуждения, а затем перейдите к построению графиков замкнутых и незамкнутых процессов в различных координатах (задачи № 1, 5).

**Домашнее задание:** § 40, вопросы после параграфа, задачи № 2—4, 6.

## Урок 55/5

### Лабораторная работа № 6 «Изучение изотермического процесса»

#### Цели урока

*Предметные:* рассмотреть экспериментально изотермический процесс.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

#### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 56/6

### Уравнение состояния идеального газа (§ 41)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об уравнении Клапейрона (объединенном газовом законе), уравнении Менделеева—Клапейрона.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной и графической формах.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами, графики зависимостей).

## Организация образовательного пространства

### Учебные пособия

• *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

## Методические рекомендации

На уроке следует обсудить результаты экспериментального исследования уравнения состояния идеального газа (см. рис. 6.19, 6.20 учебника). Для закрепления знаний о газовых законах и уравнении состояния идеального газа рекомендуется разобрать задачи № 1—4, а также задачи № 7.77 и 7.78 из задачника на анализ графиков изопроцессов.

**Домашнее задание:** § 41, вопросы после параграфа, задачи № 7.72—7.75 из задачника.

## Урок 57/7

## Решение задач (§ 40, 41)

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на применение газовых законов и уравнения состояния идеального газа.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами, графики зависимостей).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## **Методические рекомендации**

Урок рекомендуется начать с решения задач № 7.87 и 7.90 из задачника. При этом учащиеся должны понимать условия применимости уравнения состояния идеального газа. Затем перейдите к решению комбинированных задач на применение газовых законов типа «трубки». Для этого разберите задачу № 5 (§ 41), задачу № 8.61 из задачника.

**Домашнее задание:** § 40, 41, задачи № 7.88, 7.89, 7.93, 7.94 из задачника.

## **Урок 58/8**

### **Лабораторная работа № 7 «Изучение уравнения состояния идеального газа»**

#### **Цели урока**

*Предметные:* проверить экспериментально уравнение состояния идеального газа.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 59/9

### Основное уравнение МКТ (§ 42)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о давлении газа в МКТ, об основном уравнении МКТ, о среднеквадратичной скорости.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, проекции векторных величин).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.



Анимации «Соударение молекулы с поршнем», «Физическая природа давления» (ЭФУ).

### Методические рекомендации

На уроке необходимо решить задачи № 8.1—8.5 из задачника. Учащихся, интересующихся физикой, рекомендуется познакомить с выводом основного уравнения МКТ. Рассмотрите физические модели и законы, которые при этом используются.

Уделите внимание решению задач на применение основного уравнения МКТ, которые предлагаются учащимся при подготовке к ЕГЭ по физике.

Приведем пример решения подобной задачи.

### Задача

С одним молем гелия, находящегося в цилиндре под поршнем, осуществили процесс 1—2, график которого показан на рисунке 20. Во сколько раз изменилась при этом частота столкновений атомов со стенками сосуда, т. е. число ударов атомов в единицу времени о единичную площадку стенок? Начальные и конечные параметры процесса 1—2 приведены на рисунке.

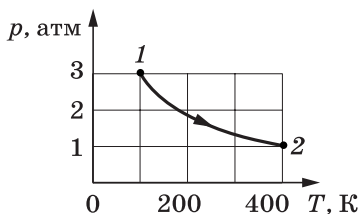


Рис. 20

### Решение:

При выводе основного уравнения МКТ идеального газа предполагается, что каждая из молекул может двигаться только вдоль одной из трех координатных осей. В силу того, что все направления скоростей равновероятны, то вдоль каждой из трех взаимно перпендикулярных осей движется одинаковое число молекул, т. е. одна треть всех молекул. С учетом этого частота  $\nu$  ударов молекул о стен-

ки сосуда пропорциональна концентрации  $n$  молекул и их среднеквадратичной скорости  $v_{\text{ср.кв}}$ :

$$v = \frac{1}{6} n v_{\text{ср.кв}}.$$

Из уравнения состояния идеального газа  $p = nkT$  следует, что  $n = \frac{p}{kT}$ . Из формулы, связывающей среднюю кинетическую энергию хаотического движения молекул газа с температурой  $\frac{mv_{\text{ср.кв}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$ , следует, что

$$v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

где  $m$  — масса молекул (в данном случае атомов) газа. Таким образом,

$$v = \frac{1}{6} \frac{p}{kT} \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \text{ т. е. } v \sim \frac{p}{\sqrt{T}}.$$

С учетом параметров процесса 1—2 получим:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_2/p_1}{\sqrt{T_2/T_1}} = \frac{1/3}{\sqrt{4}} = \frac{1}{6}.$$

Ответ:  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{6}$ .

С учащимися разберите пример решения задачи и решение задач № 1—3.

**Домашнее задание:** § 42, вопросы после параграфа, задача № 4, задачи № 7.50—7.52 из задачника.

## Урок 60/10

### Температура и средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул (§ 43)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представление о связи температуры и средней кинетической энергии хаотического поступательного движения молекул идеального газа, зависимости давления газа от

температуры и концентрации, физическом смысле постоянной Больцмана, законе Дальтона, внутренней энергии идеального одноатомного газа.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами), физикой и химией (инертные газы, постоянная Авогадро, парциальное давление).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### *Цифровой образовательный ресурс*

Интерактивная модель «Движение атомов газа и абсолютная температура»: <http://gotourl.ru/7814>.

## **Методические рекомендации**

На уроке рекомендуется рассмотреть пример решения задачи. После этого следует перейти к решению задачи № 2. Затем необходимо обсудить формулировку и математическую запись закона Дальтона. На уроке также важно разобрать задачу № 3 на применение этого закона.

При изучении § 43 уделите значительное внимание понятию внутренней энергии идеального газа. Учащиеся должны уметь объяснять физический смысл этой величины и записывать формулу для внутренней энергии идеального одноатомного газа.

С учащимися, интересующимися физикой, можно рассмотреть внутреннюю энергию молекулярных газов и решить задачу № 5.

**Домашнее задание:** § 43, вопросы после параграфа, задачи № 7.103—7.106 из задачника.

## **Урок 61/11** Измерение скоростей молекул газа (§ 44)

### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о скорости теплового движения молекул, об экспериментальном определении скоростей молекул газа (опыте Штерна).

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной и графической формах.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами, графики функций).

### **Организация образовательного пространства**

#### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

#### *Цифровой образовательный ресурс*

Анимация «Опыт Штерна» (ЭФУ).

### **Методические рекомендации**

На уроке рекомендуется рассмотреть вопросы для обсуждения № 1—3. При этом важно разобрать пример решения задачи и решить задачи № 1 и 2. Значительное внимание следует уделить описанию опыта Штерна по экспериментальному определению скоростей молекул газа.

**Домашнее задание:** § 44, вопросы после параграфа, задачи № 7.55—7.59 из задачника. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 46.

## Урок 62/12

### Свойства жидкостей.

#### Поверхностное натяжение.

#### Капиллярные явления (§ 45\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 46.

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об основных свойствах жидкостей, о поверхностной энергии, силе поверхностного натяжения, явлениях смачивания и несмачивания, капиллярных явлениях, тепловом расширении жидкостей.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* формировать умение различать физические явления в окружающей жизни.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь: между физикой и химией (молекулярное строение жидкостей), физикой и техникой (капиллярные явления); проявление физических явлений в природе (теплообмен в водоемах, явления смачивания и несмачивания, капиллярные явления).

#### Организация

#### образовательного пространства

#### Учебные пособия

• Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

• Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Меха-

ника, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Тепловое расширение жидкости» (ЭФУ).
- Иллюстрации «Смачивание», «Несмачивание» (ЭФУ).

### **Методические рекомендации**

При изучении материала рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Изучение свойств поверхности жидкости с помощью мыльных пленок», «Опыт Плато», «Смачивание и несмачивание твердого тела жидкостью», «Капиллярные явления».

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Куда направлена сила поверхностного натяжения в мыльной пленке?

2) Почему несколько капель меньшего размера сливаются в одну в опыте Плато?

3) Почему не выполняется закон сообщающихся сосудов при налипании жидкости в капиллярные трубки различных диаметров?

С учащимися рассмотрите вопросы для обсуждения № 1—3, а также разберите пример решения задачи. После этого решите по аналогии задачи № 1, 2.

**Домашнее задание:** § 45\*, задачи № 3—6, задачи № 9.47—9.50 из задачника.

## **Урок 63/13**

### **Строение и свойства твердых тел (§ 46)**

#### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о строении и свойствах кристаллических и аморфных тел, \*тепловом расширении твердых тел.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* формировать умение различать физические явления в окружающей жизни.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и химией (молекулярное строение твердых тел), физикой и техникой (конструирование сооружений с учетом теплового расширения твердых тел, например, железнодорожных рельс).

### **Организация образовательного пространства**

#### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Полиморфизм», «Анизотропия свойств кристаллических тел», «Тепловое расширение твердых тел» (ЭФУ).

- Таблица «Строение кристаллов и аморфных тел» (ЭФУ).

- Демонстрационная таблица «Кристаллы»: <http://gotourl.ru/7815>.

- Анимация «Кристаллическая решетка алмаза»: <http://gotourl.ru/7816>.

- Иллюстрация «Ближний и дальний порядок в структуре кристаллических и аморфных тел»: <http://gotourl.ru/7817>.

### **Методические рекомендации**

На уроке проведите физический диктант, содержанием которого могут стать вопросы после параграфа. После этого разберите вопросы для обсуждения № 1, 2 и решите задачи № 1, 2. Учащихся, интересующихся физикой, можно познакомить с тепловым расширением твердых тел.

**Домашнее задание:** § 46.

**Цели урока**

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на применение основных понятий и формул МКТ.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов, графики функций).

**Организация образовательного пространства***Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

**Методические рекомендации**

На уроке разберите с учащимися решение типовых задач МКТ. Примерные варианты задач можно подобрать из задачника:

- основные положения МКТ: задачи № 7.28—7.31;
- основное уравнение МКТ: задачи № 7.65—7.69;
- уравнение состояния идеального газа и закон Дальтона: задачи № 7.89—7.93, 7.97, 7.103, 7.104;
- газовые законы: задачи № 7.127—7.129, 7.143—7.145, 7.153—7.155.

**Домашнее задание:** подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.



**Цели урока**

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Основы молекулярно-кинетической теории».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

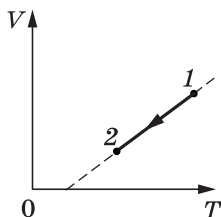
*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

**Методические комментарии**

Из предложенных ниже вариантов учитель может самостоятельно разработать содержание контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся. Каждое задание части 1 оценивается в 1 балл, части 2 — 2 балла, части 3 — 3 балла.

**Часть 1**

**1.** Как изменится давление идеального газа данного количества при переходе из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок)?



- 1) не изменится
- 2) увеличится
- 3) уменьшится
- 4) в зависимости от газа давление может уменьшиться, а может увеличиться.

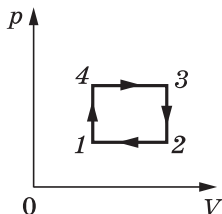
2. Единицей в СИ физической величины определяемой выражением  $pV/RT$ , является

- |                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| 1) $\text{м}^3$ | 3) $\text{кг}/\text{м}^3$ |
| 2) Па           | 4) моль                   |

3. Единицей измерения в СИ физической величины, определяемой выражением  $Mp/RT$ , является

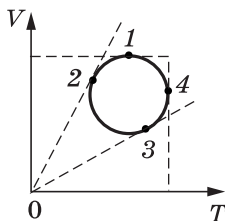
- |                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| 1) $\text{м}^3$ | 3) $\text{кг}/\text{м}^3$ |
| 2) Па           | 4) моль                   |

4. В замкнутом процессе  $1-2-3-4$  (см. рисунок) произведенном с идеальным газом



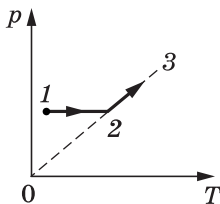
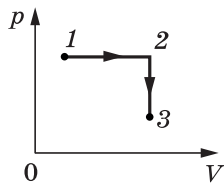
- 1)  $T_3 < T_2 < T_1$
- 2)  $T_3 < T_4 < T_1$
- 3)  $T_1 < T_4 < T_3$
- 4)  $T_1 > T_4 > T_3$

5. На рисунке в координатах  $V, T$  изображен замкнутый процесс, произведенный с идеальным газом. Определите, в каком состоянии давление газа минимально.

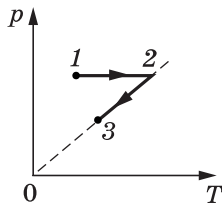


- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1) 1 | 2) 2 | 3) 3 | 4) 4 |
|------|------|------|------|

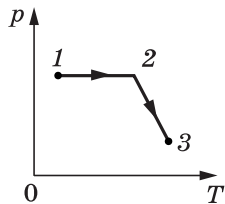
6. На рисунке приведен график изменения состояния идеального газа в координатах  $p, V$ . Какой из приведенных на рисунках  $a—в$  графиков в координатах  $p, T$  соответствует данному процессу?



$a$



$б$



$в$

- 1)  $a$                       2)  $б$                       3)  $в$   
 4) данный процесс в координатах  $p, T$  построить нельзя

### Часть 2

7. При какой температуре молекулы гелия ( $M_1 = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) имеют такую же среднеквадратичную скорость, как и молекула водорода ( $M_2 = 2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) при  $27^\circ\text{C}$ ?

8. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Во сколько раз возрастет его давление, если среднеквадратичная скорость молекул увеличится на 20%?

9. Среднеквадратичная скорость молекул газа  $400$  м/с. Какой объем займет  $1$  кг этого газа при давлении  $1 \cdot 10^5$  Па?

10. Найдите среднюю кинетическую энергию хаотического движения атома аргона, если  $2$  кмоль этого газа в баллоне объемом  $10$  л создают давление  $10^6$  Па.

11. Под каким давлением находится в баллоне кислород, если емкость баллона  $5$  л, а средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул кислорода  $6$  кДж?

12. Баллон содержит идеальный газ при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении  $200$  кПа. Из баллона выпустили 80% газа и охладили его до  $12^\circ\text{C}$ . Какое давление установится в баллоне?

13. В баллоне вместимостью  $40$  л находятся  $1$  кг углекислого газа и  $0,5$  кг кислорода. Баллон выдерживает давле-

ние не более  $3 \cdot 10^6$  Па. При какой температуре возникает опасность разрыва баллона?

**14.** Объем пузырька газа, всплывающего на поверхность со дна озера, увеличился в 3 раза. Оцените глубину озера, если считать, что температура воды постоянна. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , атмосферное давление нормальное.

**15.** Газ сжали изотермически от объема 8 л до объема 6 л. Давление при этом возросло на 4 кПа. Каким было первоначальное давление газа?

**16.** Два одинаковых стеклянных шара соединены трубкой. При этом капля ртути, перекрывающая трубку, находится посередине трубки при температуре  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Объем воздуха в каждом шаре и части трубки до капли  $200 \text{ см}^3$ . На какое расстояние сместится капля, если один шар нагреть до  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , а другой охладить до  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Площадь поперечного сечения трубки  $200 \text{ мм}^2$ .

### Часть 3

**17.** Закрытый с обеих сторон цилиндр длиной 84 см разделен пополам тонким теплонепроницаемым поршнем. С обеих сторон цилиндра находятся порции газа при нормальных условиях. На каком расстоянии от левого края цилиндра установится поршень, если нагреть его правую половину до  $57 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

**18.** Воздушный шар, оболочка которого имеет массу 145 кг и объем  $230 \text{ м}^3$ , наполняется горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Температура окружающего воздуха  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Какую минимальную температуру должен иметь воздух внутри шара, чтобы он стал подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет небольшое отверстие.

**19.** Воздушный шар объемом  $2500 \text{ м}^3$  с оболочкой массой 400 кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Чему равна максимальная масса груза, который может поднять шар, если воздух в нем нагреть до  $77 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Температура воздуха снаружи  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ , атмосферное давление нормальное. Оболочка шара нерастяжима.

**20.** Открытая с двух концов трубка длиной  $l = 0,76 \text{ м}$  до половины погружена вертикально в ртуть. Какой будет длина  $x$  столбика ртути, если, плотно закрыв верхнее отверстие, вынуть трубку из ртути? Атмосферное давление считайте нормальным.

## ОТВЕТЫ

### Часть 1

1. 2). 2. 4). 3. 2). 4. 3). 5. 2). 6. 2).

### Часть 2

7. 600 К. 8. 1,44. 9. 0,5 м<sup>3</sup>. 10.  $1,2 \cdot 10^{-23}$  Дж.  
11.  $8 \cdot 10^5$  Па. 12. 38 кПа. 13. 377 К. 14. 20 м.  
15. 12 кПа. 16. 0,73 см.

### Часть 3

17. 0,38 м. 18.  $T_{\min} = T_0 \frac{pMV}{pMV - mRT_0}$ ;  $T_{\min} \approx 538$  К.

19.  $m_{\text{гр}} = 600$  кг. 20.  $x = l \frac{2 - \sqrt{2}}{2}$ ;  $x \approx 23$  см.

## Методические особенности изложения

Термодинамика — физическая теория, изучающая наиболее общие свойства макроскопических физических систем, которые находятся в состояниях термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями. В основе термодинамики лежат фундаментальные принципы (начала), которые являются обобщением множества наблюдений и выполняются независимо от природы тел, образующих систему. По этой причине закономерности и соотношения между физическими величинами, установленные в рамках термодинамики, имеют универсальный характер. В частности, они используются в теплотехнике, теплоэнергетике и криогенной технике при конструировании тепловых и холодильных машин.

Для формирования целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки, учащиеся должны понимать смысл первого и второго законов термодинамики, устройство и принцип действия тепловых двигателей, экологические проблемы использования тепловых двигателей.

При изложении темы учителю следует обратить внимание на три важных момента.

1. Построение диаграмм в координатах  $p$ ,  $V$  позволяет раскрыть смысл того, что происходит в рассматриваемом тепловом процессе. При этом важно обсудить графический смысл работы газа в термодинамике.

Приведем пример решения задачи.

### Задача

В цилиндре компрессора в результате адиабатического процесса сжимают 4 моль идеального одноатомного газа. Определите, на сколько градусов (в кельвинах) подня-

лась температура газа за один ход поршня, если работа внешних сил  $A = 500$  Дж.

**Дано:**

$$\nu = 4 \text{ моля}$$

$$f = 3$$

$$A = 500 \text{ Дж}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

$$\Delta T = ?$$

**Решение:**

Построим график рассматриваемого процесса (адиабатическое сжатие) в координатах  $p, V$  (рис. 21).

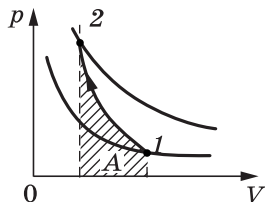


Рис. 21

Запишем первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A', \quad (1)$$

где  $A'$  — работа, совершаемая газом.

Так как процесс адиабатический, то  $Q = 0$ ,  $A' = -A$ .

С учетом этого запишем формулу (1):

$$0 = \Delta U - A, \quad \Delta U = A.$$

По определению изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{f}{2} \nu R \Delta T.$$

Таким образом,

$$\frac{f}{2} \nu R \Delta T = A.$$

Отсюда

$$\Delta T = \frac{2A}{f\nu R}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$\Delta T = \frac{2 \cdot 500}{4 \cdot 3 \cdot 8,31} = 10 \text{ К}.$$

**Ответ:**  $\Delta T = 10$  К.

**2.** Важным для усвоения основных понятий и законов термодинамики является материал о применении первого закона термодинамики к изопроцессам (§ 49). Для удобства необходимые формулы могут быть сведены в следующей таблице.

Процесс	Работа газа	Полученное газом количество теплоты	Молярная теплоемкость газа
Изохорный $V = \text{const}$	$A = 0$	$Q = U_2 - U_1 =$ $= \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$	$c_V = \frac{i}{2} R$
Изобарный $p = \text{const}$	$A = p(V_2 - V_1) =$ $= \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$	$Q = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \Delta T =$ $= \frac{i+2}{2} p \Delta V$	$c_p = \frac{i+2}{2} R$
Изотермический $T = \text{const}$	$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$Q = A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$	$c_T = \infty$
Адиабатический $Q = 0$	$A = -\Delta U =$ $= \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_2)$	$Q = 0$	$c_{\text{ад}} = 0$

Рассмотрим пример решения задачи.

### Задача

Идеальный одноатомный газ, расширяясь в некотором процессе, переходит из состояния 1 ( $p_1, V_1$ ) в состояние 2 ( $p_2, V_2$ ). При этом работа, совершаемая газом в данном процессе, может быть рассчитана по формуле  $A' = p_1 V_1 - p_2 V_2$ . Найдите удельную и молярную теплоемкости газа в этом процессе. Молярная масса газа  $M$ .

Дано:

$$p_1, V_1, p_2, V_2, M$$

$$A' = p_1 V_1 - p_2 V_2$$

$$i = 3$$

$$c - ?$$

$$c_M - ?$$

Решение:

Запишем первый закон термодинамики:

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

где  $A'$  — работа, совершаемая газом в данном процессе.

Определим изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1).$$

Для состояний 1 и 2 уравнение Менделеева—Клапейрона имеет вид:



$$\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1, \\ p_2 V_2 = \nu R T_2. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}, \\ T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R}. \end{cases}$$

С учетом этого  $\Delta U = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$ .

Подставим выражения для  $\Delta U$  и  $A'$  в первый закон термодинамики:

$$Q = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) + p_1 V_1 - p_2 V_2,$$

$$Q = \frac{1}{2}p_2 V_2 - \frac{1}{2}p_1 V_1.$$

По определению удельная теплоемкость вещества  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ .

Учитывая, что

$$\Delta T = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\nu R}, \quad c = \frac{\frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)\nu R}{m p_2 V_2 - p_1 V_1} = \frac{1}{2} \frac{\nu R}{m}.$$

Так как  $\nu = \frac{m}{M}$ , то  $c = \frac{R}{2M}$ .

По определению молярная теплоемкость вещества  $c_M = \frac{Q}{\nu\Delta T}$ . Следовательно,

$$c_M = \frac{\frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)\nu R}{\nu(p_2 V_2 - p_1 V_1)} = \frac{R}{2}.$$

Ответ:  $c = \frac{R}{2M}$ ,  $c_M = \frac{R}{2}$ .

**3.** Тепловые явления были изучены учащимися в 8 классе. Возвращение к этой теме в старшей школе происходит на качественно другом уровне: с использованием закона сохранения энергии в теплоизолированной системе. При этом необходимо записывать закон сохранения энергии для каждого теплового процесса (уравнение теплового баланса), рассматриваемого в задаче. Это позволит решать более сложные задачи, в которых теплообмен происходит между тремя и более телами системы.

Приведем пример решения задачи.

### Задача

Для приготовления ванны вместимостью 200 л смешали холодную воду температурой  $10^\circ\text{C}$  с горячей — температурой  $60^\circ\text{C}$ . Какие объемы той и другой воды нужно взять, чтобы температура смеси после установления теплового равновесия стала равной  $40^\circ\text{C}$ ? Теплообменом воды с окружающей средой пренебречь.

Дано:

$$V = 200 \text{ л}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 60^\circ\text{C}$$

$$\theta = 40^\circ\text{C}$$

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = ?$$

СИ:

$$200 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Решение:

Запишем выражения для расчета количеств теплоты, полученных телами системы при теплообмене.

Вода объемом  $V_1$  с температурой  $t_1$  нагрелась до температуры  $\theta$ :

$$Q_1 = cm_1(\theta - t_1) = c\rho V_1(\theta - t_1).$$

Вода объемом  $V_2$  с температурой  $t_2$  охладилась до температуры  $\theta$ :

$$Q_2 = cm_2(\theta - t_2) = c\rho V_2(\theta - t_2).$$

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = 0,$$

так как рассматриваемая система теплоизолирована.

Подставив выражения для  $Q_1$  и  $Q_2$ , получим:

$$c\rho V_1(\theta - t_1) + c\rho V_2(\theta - t_2) = 0.$$

Учтем также, что  $V_1 + V_2 = V \Rightarrow V_2 = V - V_1$ .

Тогда

$$c\rho(V - V_1)(\theta - t_2) + c\rho V_1(\theta - t_1) = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{V(t_2 - \theta)}{t_2 - t_1}.$$

С учетом числовых данных

$$V_1 = \frac{200 \cdot (60 - 40)}{50} = 80 \text{ л};$$

$$V_2 = 200 - 80 = 120 \text{ л}.$$

**Ответ:** необходимо взять  $V_1 = 80$  л холодной воды и  $V_2 = 120$  л горячей воды.

## Подготовка к ЕГЭ по физике

При решении заданий № 9, 10—12, 26 и 28 КИМ по физике необходимо использовать основные понятия и формулы термодинамики. При выполнении задания № 9 проверяются следующие элементы содержания: графический смысл работы газа (по  $p$ — $V$ -диаграмме), применение первого закона термодинамики к изопроцессам, КПД тепловых машин.

В задании № 10 учащимся необходимо использовать формулы для определения количества теплоты, удельной теплоты парообразования, удельной теплоты плавления, уравнение теплового баланса.

В задании № 11 в основном рассматриваются циклические процессы в газах, но иногда — изопроцессы, требующие записи первого закона термодинамики. В задании № 12, как правило, требуется выполнить анализ графиков тепловых процессов. В задании № 26 необходимо применить первый закон термодинамики к изобарному процессу и рассчитать КПД с использованием графиков процесса.

При решении задания № 28 (качественная задача) учащимся следует проанализировать тот или иной газовый процесс с применением первого закона термодинамики.

Приведем пример качественной задачи.

### Задача

Идеальный одноатомный газ находится в цилиндре и закрыт тяжелым поршнем, перемещающимся без трения. Цилиндр может занимать положения, показанные на рисунке 22. Одинаковые ли количества теплоты необходимо сообщить газу, чтобы нагреть его на  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ?

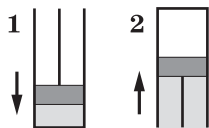


Рис. 22

### Решение:

Определим модули сил, действующих на поршень цилиндра для положений 1 и 2 (рис. 23).

Сила давления наружного воздуха  $\vec{F}_0$  по модулю равна:

$$F_0 = p_0 S,$$

где  $p_0$  — атмосферное давление,  $S$  — площадь поршня.

Положение 1 поршня  
 $F_1 = p_1 S$  — сила давления газа на поршень  
 ( $p_1$  — давление газа в цилиндре).

$$\begin{aligned} Y: -F_1 + F_0 + mg &= 0, \\ -p_1 S + p_0 S + mg &= 0, \\ p_1 &= p_0 + \frac{mg}{S} = \text{const.} \end{aligned}$$

В обоих случаях происходят изобарные процессы (происходящий с газом процесс считаем равновесным, внешнее давление  $p_0$  не изменяется).

$$\begin{aligned} \text{При этом } Q &= \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \\ &+ \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T. \end{aligned}$$

В обоих случаях газу необходимо сообщить одинаковые количества теплоты:  $Q_1 = Q_2$  (рис. 24).

**Ответ:** в обоих случаях газу необходимо сообщить одинаковые количества теплоты.

Одна из задач части С ЕГЭ по физике, как правило, посвящена термодинамике.

Приведем пример решения подобной задачи.

### Задача

Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu$  моль совершает процесс, в котором зависимость температуры от объема задается уравнением  $T = \alpha V^2$ , где  $\alpha = \text{const} > 0$ . Объем газа меняется от  $V_1$  до  $V_2$ . Найдите работу газа и изменение его внутренней энергии.

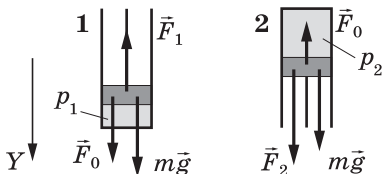


Рис. 23

Положение 2 поршня  
 $F_2 = p_2 S$  — сила давления газа на поршень  
 ( $p_2$  — давление газа в цилиндре).

$$\begin{aligned} Y: -F_0 + F_2 + mg &= 0, \\ -p_0 S + p_2 S + mg &= 0, \\ p_2 &= p_0 - \frac{mg}{S} = \text{const.} \end{aligned}$$

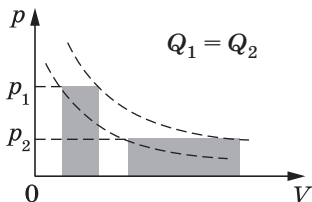


Рис. 24

Дано:

$$V_1, V_2 \\ T = \alpha V^2$$

$$A — ? \\ \Delta U — ?$$

Решение:

Используя формулу  $T = \alpha V^2$  и уравнение состояния идеального газа  $pV = \nu RT$ , получим зависимость  $p = f(V)$  в виде:

$$p = \nu R \alpha V.$$

График процесса в координатах  $p, V$  представлен на рисунке 25. Работа газа численно равна площади под графиком процесса:

$$A = 0,5(p_1 + p_2)(V_2 - V_1),$$

где  $p_1 = \nu R \alpha V_1, p_2 = \nu R \alpha V_2$ .

Таким образом,

$$A = 0,5 \nu R \alpha (V_2^2 - V_1^2).$$

Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа можно рассчитать по формуле:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T,$$

где  $T_1 = \alpha V_1^2, T_2 = \alpha V_2^2$ .

Следовательно,

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \alpha (V_2^2 - V_1^2).$$

Ответ:  $A = 0,5 \nu R \alpha (V_2^2 - V_1^2), \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \alpha (V_2^2 - V_1^2)$ .

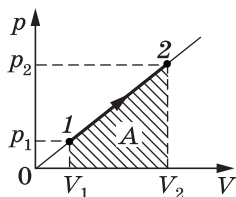


Рис. 25

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Выполните исследование на тему «Идеальная холодильная машина. Устройство, принцип действия, КПД».

2. Выполните исследование на тему «Кондиционер, тепловой насос. Устройство, принцип действия, КПД». Какой максимальный отопительный коэффициент достижим на сегодняшний день?

3. Сконструируйте самописец для автоматической записи диаграммы работы газа в цилиндре теплового двигателя.

## Примерные темы рефератов и проектов

1. Опыты Дж. Джоуля и их значение в истории физики.
2. Из истории установления первого закона термодинамики.
3. Тепловые машины: виды, устройство, физические основы работы, значения КПД, применение.
4. Иван Иванович Ползунов — уральский самородок.

### Урок 66/1

## Работа газа в термодинамике. Количество теплоты. Уравнение теплового баланса (§ 47)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о работе газа в термодинамике, графическом смысле работы газа, количестве теплоты, об уравнении теплового баланса, удельной теплоемкости и молярной теплоемкости вещества, о теплоемкости тела.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умение самостоятельно определять цели своего обучения, ставить и формулировать для себя новые задачи в учебе и познавательной деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (калориметры), физикой и математикой (векторные величины, графики зависимостей).

### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика,

молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Иллюстрация «Графический смысл работы газа в термодинамике»: <http://gotourl.ru/7818>.
- Разработка урока с анимацией «Количество теплоты»: <http://gotourl.ru/7819>.
- Разработка урока с анимацией «Удельная теплоемкость»: <http://gotourl.ru/7820>.

### **Методические комментарии**

Урок целесообразно начать с физического диктанта, заданиями которого могут быть вопросы после параграфа. После этого перейдите к рассмотрению вопросов для обсуждения № 1, 2, разбору примера решения задачи и решению задач № 1, 2 и 5.

**Домашнее задание:** § 47, задачи № 3, 4, 6.

## **Урок 67/2**

## **Первый закон термодинамики (§ 48)**

### **Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о законе сохранения энергии, первом законе термодинамики, невозможности создания вечного двигателя первого рода.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (проекты «вечных двигателей»).

## Организация образовательного пространства

### Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### Цифровой образовательный ресурс

Анимация «Внутренняя энергия»: <http://gotourl.ru/7821>.

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется обсудить материал рубрики «Это любопытно». После этого следует перейти к вопросу для обсуждения и разбору примера решения задачи. Учащиеся должны уметь объяснять смысл закона сохранения энергии и первого закона термодинамики. В конце урока решите задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 48, вопросы после параграфа, задачи № 3, 4.

### Урок 68/3

## Применение первого закона термодинамики к изопроцессам (§ 49)

### Цели урока

*Предметные:* формировать умение применять первый закон термодинамики к описанию изопроцессов; изучить особенности адиабатического процесса; объяснять физический смысл универсальной газовой постоянной; \*описывать теплоемкость газа в изопроцессах.



*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии.

*Межпредметные:* показывать на примерах: взаимосвязь между физикой и техникой (дизельные двигатели); проявление физических явлений в природе (образование облаков в атмосфере).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «График адиабатного процесса», «Адиабатное сжатие», «Адиабатическое расширение» (ЭФУ).
- Текст с иллюстрациями «Изотермический процесс»: <http://gotourl.ru/7822>.
- Текст с иллюстрациями «Изохорный процесс»: <http://gotourl.ru/7823>.
- Текст с иллюстрациями «Изобарный процесс»: <http://gotourl.ru/7824>.
- Интерактивная модель «Адиабатический процесс»: <http://gotourl.ru/7825>.

## **Методические комментарии**

На уроке следует рассмотреть применение первого закона термодинамики к изопроцессам и заполнить приведенную ниже таблицу. Последний ее столбец заполняется учащимися, интересующимися физикой.

Изопроцесс	Работа газа	Полученное газом количество теплоты	Молярная теплоемкость
Изотермический			
Изобарный			
Изохорный			
Адиабатический			

После заполнения таблицы перейдите к вопросам для обсуждения № 1 и 2. С учащимися разберите пример решения задачи и решите задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 49, вопросы после параграфа, задачи № 3, 4.

## Урок 69/4

## Решение задач (§ 48, 49)

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на применение первого закона термодинамики к изопроцессам.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (графики зависимости).

# Организация образовательного пространства

## Учебное пособие

Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

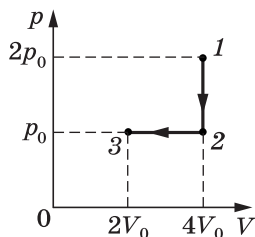
### Методические комментарии

В начале урока рекомендуется провести тест, рассчитанный на 15 мин.

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

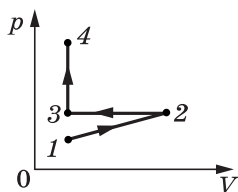
1. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике (см. рисунок). Работа внешних сил равна

- 1)  $0,5p_0V_0$       3)  $2p_0V_0$   
2)  $p_0V_0$         4)  $4p_0V_0$



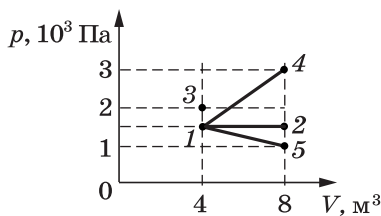
2. Идеальный газ участвует в процессах 1—2, 2—3 и 3—4 (см. рисунок). В каком процессе модуль работы, совершаемой газом, наибольший?

- 1) 1—2      2) 2—3      3) 3—4  
4) о работе газа в каждом процессе ничего сказать нельзя



3. В результате некоторого процесса идеальный газ совершил работу, равную 6 кДж. На рисунке исходное состояние обозначено цифрой 1. В какое состояние перешел газ после совершения работы?

- 1) 2      3) 4  
2) 3      4) 5



4. В двух сосудах при одинаковой температуре находятся гелий (He) и кислород (O<sub>2</sub>). Количество вещества этих газов одинаково. Какой из газов обладает большей внутренней энергией?

- 1) гелий
- 2) кислород
- 3) внутренние энергии одинаковые
- 4) для ответа на вопрос не хватает данных

5. В каком процессе все переданное идеальному газу количество теплоты идет на изменение его внутренней энергии?

- |                |                     |
|----------------|---------------------|
| 1) в изобарном | 3) в адиабатическом |
| 2) в изохорном | 4) в изотермическом |

6. Газ, занимающий объем  $V_1$  и имеющий давление  $p_1$ , расширяется до объема  $V_2$  в первый раз изотермически, а во второй раз изобарно. В каком случае работа газа больше?

- 1) в первом случае
- 2) во втором случае
- 3) работа газа одинакова
- 4) однозначно ответить на вопрос нельзя

**Ответы:** 1. 3). 2. 1). 3. 1). 4. 2). 5. 2). 6. 2).

Проверьте с учащимися решения заданий теста и проанализируйте ошибки. После этого перейдите к решению задач № 5, 6 из § 49.

**Домашнее задание:** § 49, задачи № 7, 8.

## Урок 70/5

## Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики (§ 50)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представление о необратимости тепловых процессов, втором законе термодинамики.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (вероятность, независимые события), физикой и техникой (проекты «вечных двигателей»).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## Методические комментарии

На уроке рекомендуется решить ряд задач на применение первого закона термодинамики к изопроцессам (например, задачи № 8.5—8.8 с графическим представлением процессов из задачника). Материал § 50 имеет большое значение для формирования естественно-научного мировоззрения учащихся. Они должны усвоить смысл формулировок второго закона термодинамики, данных Р. Клаузиусом и У. Томсоном. Обсудите также три вывода, приведенные в конце § 50.

**Домашнее задание:** § 50, вопросы после параграфа, задачи № 8.80—8.82 из задачника.

## Урок 71/6

## Тепловые машины. Цикл Карно (§ 51)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представление о принципе действия теплового двигателя, КПД теплового двигателя, об идеальной тепловой машине Карно, идеальной холодильной машине.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* развивать умение воспринимать информацию, представленную в знаково-символьной форме; читать и анализировать графики и рисунки.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (тепловые и холодильные машины, КПД теплового двигателя, холодильный коэффициент).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Тепловой двигатель» (ЭФУ).
- Схема «Принцип действия теплового двигателя»: <http://gotourl.ru/7826>.
- Схема «Принцип действия теплового насоса»: <http://gotourl.ru/7827>.
- Иллюстрация «Цикл Карно»: <http://gotourl.ru/7828>.
- Демонстрационная таблица «Компрессионный холодильник»: <http://gotourl.ru/7829>.

## Методические комментарии

Урок можно начать с обсуждения материала рубрики «Это любопытно» и рассмотрения вопроса для обсуждения № 2. После этого разберите с учащимися пример решения задачи и решите задачи № 1—3. При этом учащиеся должны уверенно описывать схему работы теплового двигателя и процессы, происходящие в цикле Карно. Важно также

обсудить способы повышения КПД теплового двигателя.

**Домашнее задание:** § 51, вопросы после параграфа, задачи № 4, 5, подготовить доклады к мини-конференции (по содержанию § 52; в качестве тем докладов можно использовать вопросы после § 52).

## Урок 72/7

### Экологические проблемы использования тепловых машин (§ 52)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о применении тепловых двигателей, об экологических проблемах использования тепловых машин и мерах по уменьшению вредных воздействий на окружающую среду.

*Личностные:* формировать основы экологической культуры.

*Метапредметные:* самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и экологией («парниковый эффект», образование смога, ускоренное таяние ледников и повышение уровня Мирового океана).

#### Организация образовательного пространства

##### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Влияние тепловых двигателей на окружающую среду» (ЭФУ).

- Демонстрационная таблица «Паровая машина Ползунова»: <http://gotourl.ru/7830>.

- Демонстрационная таблица «Паровая турбина»: <http://gotourl.ru/7831>.

- Демонстрационная таблица «Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания»: <http://gotourl.ru/7832>.

- Демонстрационная таблица «Газотурбинный двигатель»: <http://gotourl.ru/7833>.

### Методические комментарии

Урок рекомендуется провести в форме мини-конференции. Учащиеся выступают с докладами (компьютерными презентациями). На один доклад учащегося отводится не более 7 мин.

Домашнее задание: § 52.

## Урок 73/8 Решение задач (§ 48, 51)

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на расчет КПД тепловых двигателей и применение первого закона термодинамики.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами, графики зависимостей).

### Организация образовательного пространства

#### *Цифровой образовательный ресурс*

Подборка вопросов и заданий на тему «Законы термодинамики»: <http://gotourl.ru/7834>.



## Методические комментарии

Урок рекомендуется провести в виде самостоятельной работы. Каждый учащийся должен решить два типа задач: задачи с выбором ответа (не более трех) и три задачи с кратким ответом.

Ниже приведены примерные задания самостоятельной работы. После выполнения каждого типа задач нужно проверить решения, с тем чтобы учащиеся смогли исправить ошибки и перейти к следующему типу задач. При выполнении самостоятельной работы они могут обращаться к учебнику.

### Задачи с выбором ответа

1. При сжигании бензина в автомобиле за 5 с выделилось  $10^3$  кДж энергии. При этом двигатель совершил работу 400 кДж. Определите КПД двигателя.

- 1) 30%
- 2) 60%
- 3) 45%
- 4) 40%

2. В тепловой машине, работающей по циклу Карно, температура холодильника 300 К, а температура нагревателя на 200 К больше. Определите КПД цикла этой тепловой машины.

- 1) 1,5%
- 2) 40%
- 3) 67%
- 4) 90%

3. Тепловой двигатель получает за цикл от нагревателя количество теплоты, равное 200 Дж, и отдает холодильнику количество теплоты, равное 150 Дж. КПД двигателя равен

- 1) 25%
- 2) 33%
- 3) 67%
- 4) 75%

4. У идеальной тепловой машины КПД равен 30%. Чему равна температура нагревателя, если температура холодильника 20 °С? Ответ округлите до целого числа.

- 1) 419 °С
- 2) 419 К
- 3) 29 °С
- 4) 10 К

5. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 425 К, а температура холодильника 300 К. Двигатель получил от нагревателя количество теплоты 40 кДж. Какую работу совершило рабочее тело?

- 1) 3 кДж
- 2) 11,8 кДж
- 3) 16,7 кДж
- 4) 97 Дж

6. Идеальный тепловой двигатель каждую секунду получает количество теплоты 300 Дж, а отдает — 100 Дж. Определите, во сколько раз температура нагревателя больше температуры холодильника.

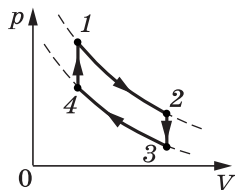
- 1) в  $1/3$  раз                      3) в  $2/3$  раз  
2) в  $3/2$  раз                      4) в 3 раза

7. Тепловой двигатель, работающий по циклу Карно, имеет температуру нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$ . Найдите работу двигателя за один цикл, если за это время он отдает холодильнику количество теплоты  $Q$ .

- 1)  $Q\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)$                       3)  $Q\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right)$   
2)  $Q\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$                       4)  $Q\left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)$

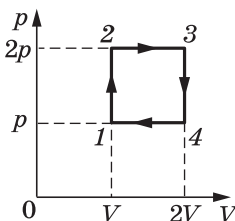
8. Тепловой двигатель работает по циклу, состоящему из двух адиабат и двух изохор (см. рисунок). На каких участках цикла газ получает количество теплоты?

- 1) на участках 3—4, 4—1  
2) на участке 1—2  
3) на участках 1—2, 2—3  
4) на участке 4—1

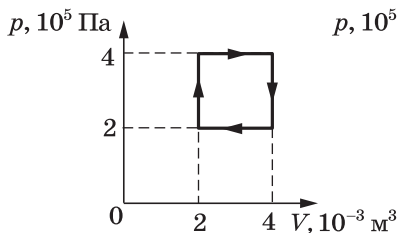


9. Определите КПД цикла (см. рисунок), рабочим телом которого является идеальный одноатомный газ.

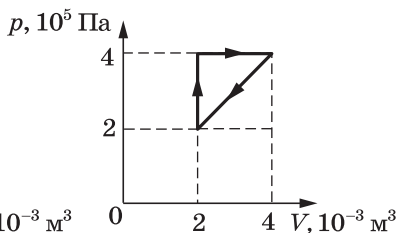
- 1) 8,5%                                  3) 25%  
2) 17%                                  4) 33%



10. Две тепловые машины работают по циклам, изображенным на рисунках а, б. Сравните КПД циклов.



а



б

- 1)  $\eta_1 > \eta_2$                                   3)  $\eta_1 = \eta_2$   
2)  $\eta_1 < \eta_2$                                   4) для ответа не хватает данных

### Задачи с кратким ответом

1. На сколько изменится внутренняя энергия одного моля идеального одноатомного газа при его нагревании на 100 К?
2. При изотермическом расширении идеальному газу сообщили количество теплоты 10 Дж. Какую работу совершил газ?
3. Определите удельную теплоемкость гелия в изобарном процессе. Молярная масса гелия 0,004 кг/моль.
4. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится одноатомный газ массой 2 кг. При повышении температуры газа на 5 К его внутренняя энергия увеличилась на 3120 Дж. Определите удельную теплоемкость газа.
5. Какое количество теплоты выделяется при изобарном охлаждении 0,01 кг гелия от 200 °С до 20 °С? Молярная масса гелия 0,004 кг/моль.
6. Для повышения температуры газа, имеющего массу 20 кг и молярную массу 0,028 кг/моль, на 50 К при постоянном давлении необходимо сообщить количество теплоты 1 МДж. Какое количество теплоты следует отнять от данного газа при постоянном объеме, чтобы его температура понизилась на 50 К?
7. В двух вертикальных цилиндрах находятся при одной температуре две равные массы одного и того же газа. Подвижный поршень первого цилиндра в 2 раза тяжелее, чем во втором цилиндре. Оба цилиндра нагрели до одной и той же температуры. Газ в первом цилиндре совершил работу 100 Дж. Какую работу совершил газ во втором цилиндре?

Ответы: *задачи с выбором ответа:* 1. 4). 2. 2). 3. 1). 4. 1). 5. 2). 6. 4). 7. 2). 8. 4). 9. 2). 10. 1);

*задачи с кратким ответом:* 1. 1246 Дж. 2. 10 Дж. 3. 5200 Дж/(кг · К). 4. 1562 Дж/(кг · К). 5. 9349 Дж. 6. 742 Дж. 7. 100 Дж.

**Домашнее задание:** подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

#### Урок 74/9

### Контрольная работа по теме «Основы термодинамики»

#### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Основы термодинамики».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

### Методические комментарии

Из предложенных ниже вариантов учитель может самостоятельно разработать содержание контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся.

#### Вариант 1

##### Часть 1

1. Установите соответствие между названием процесса и условиями его протекания. Масса идеального газа остается неизменной.

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

#### ИЗОПРОЦЕСС

- А) изобарный
- Б) изотермический
- В) адиабатический

#### УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ

- 1)  $A = -\Delta U$
- 2)  $A = p \Delta V$
- 3)  $PV = \text{const}$

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б	В

##### Часть 2

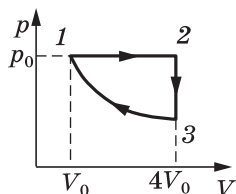
2—6. Задачи № 9.45—9.49 (по выбору) из задачника.

##### Часть 3

7. В цилиндре под массивным подвижным поршнем находится 2 кг кислорода ( $O_2$ ). Для повышения его температу-

ры на 5 К ему сообщили 9160 Дж теплоты. Какую работу при этом совершил газ?

8. Над идеальным одноатомным газом проводят цикл, включающий изобару, изохору и изотерму (см. рисунок). При этом за цикл газ совершает работу 5 кДж. В процессе 3—1 изотермического сжатия внешние силы совершают над газом работу 3 кДж. Найдите КПД тепловой машины, работающей по этому циклу.



## Вариант 2

### Часть 1

1. Идеальный одноатомный газ совершает положительную механическую работу в адиабатическом процессе. Как изменяются в этом процессе давление, объем и температура газа?

К каждой позиции из первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ  
ВЕЛИЧИНА

ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

А) давление

1) уменьшается

Б) объем

2) не изменяется

В) температура

3) увеличивается

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

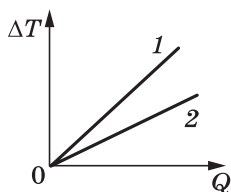
А	Б	В

### Часть 2

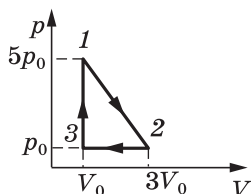
2—6. Задачи № 9.45—9.49 (по выбору) из задачника.

### Часть 3

7. На графике в координатах  $\Delta T$ ,  $Q$  ( $\Delta T$  — изменение температуры идеального газа,  $Q$  — полученное им количество теплоты) изображены два изопроцесса. Какие это процессы? Обоснуйте ответ, используя законы физики.



8. Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс, изображенный на рисунке. Определите КПД данного цикла.



Ответы. **Вариант 1**

Часть 1. 1. А2, Б3, В1.

Часть 3. 7.  $A = 2620$  Дж. 8.  $\eta = 0,25$ .

**Вариант 2**

Часть 1. 1. А1, Б3, В1.

Часть 3. 8.  $\eta = 0,67$ .

## ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА (8 ч)

### Методические особенности изложения

При изучении темы систематизируются сведения об изменении агрегатных состояний вещества, полученные учащимися в основной школе. При рассмотрении взаимных превращений жидкостей и газов (испарения, конденсации, кипения, плавления и кристаллизации) используются термодинамический и статистический методы. При изучении свойств насыщенного пара учащиеся, интересующиеся физикой, познакомятся с изотермой реального газа и зависимостью давления насыщенного пара от температуры. Кроме того, учащиеся повторяют и обобщают знания о влажности воздуха (абсолютной и относительной), способах ее измерения (с помощью конденсационного гигрометра, волосного гигрометра, психрометра, по точке росы).

В этой теме учащиеся отрабатывают умения решать задачи на применение уравнения Менделеева—Клапейрона, составление уравнения теплового баланса, на вычисление относительной влажности воздуха и физических величин, характеризующих изменения агрегатных состояний.

При изложении материала учителю следует обратить внимание на несколько важных моментов.

1. В курсе физики старшей школы могут встретиться задачи, в которых неясен результат теплообмена. При этом необходимо либо произвести предварительный (оценочный) расчет, либо точно предсказать результат теплообмена и затем определить значения требуемых величин. Однако реализовать второй вариант решения затруднительно, поэтому нужно быть готовым к нескольким вариантам расчета.

Приведем пример решения подобной задачи.

### Задача

В сосуд, содержащий воду массой  $m_1 = 0,2$  кг при температуре  $t_1 = 8$  °С, погружают лед массой  $m_2 = 0,3$  кг при  $t_2 = -20$  °С. В результате теплообмена установилась температура содержимого сосуда  $\theta = 0$  °С. Сколько в сосуде будет находиться льда? Удельная теплоемкость воды  $c_1 = 4200$  Дж/(кг·°С), льда —  $c_2 = 2100$  Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг. Теплоемкостью калориметра и тепловыми потерями пренебречь.

#### Дано:

$m_1 = 0,2$  кг  
 $t_1 = 8$  °С  
 $m_2 = 0,3$  кг  
 $t_2 = -20$  °С  
 $\theta = 0$  °С  
 $c_1 = 4200$  Дж/(кг·°С)  
 $c_2 = 2100$  Дж/(кг·°С)  
 $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг

---

$m_{\text{л}}$  — ?

#### Решение:

Будем считать, что теплообмен происходит только между водой и льдом. Тогда

$Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$  — количество теплоты, отданное водой при остывании до  $\theta = 0$  °С,

$Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_2)$  — количество теплоты, необходимое для нагревания льда до  $\theta = 0$  °С.

Найдем числовые значения данных количеств теплоты:

$$Q_1 = 4200 \cdot 0,2 \cdot (-8) = -6,72 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

$$Q_2 = 2100 \cdot 0,3 \cdot 20 = 12,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Таким образом,  $|Q_1| < |Q_2| \Rightarrow$  часть воды кристаллизуется, чтобы лед нагрелся до  $\theta = 0$  °С.

При кристаллизации вода отдает количество теплоты  $\Delta Q$ :

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 5,88 \cdot 10^3 \text{ Дж},$$

$$\Delta m = \frac{\Delta Q}{\lambda} = \frac{5,88 \cdot 10^3}{3,3 \cdot 10^5} = 0,018 \text{ кг},$$

$$m_{\text{л}} = m_2 + \Delta m = 0,3 + 0,018 = 0,318 \text{ кг}.$$

Ответ:  $m_{\text{л}} = 0,318$  кг.

**2.** В задачах на расчет параметров насыщенного пара и влажности воздуха очень сложно реализовать один алгоритм решения (как, например, в задачах по динамике). В зависимости от числовых данных решение задачи будет варьироваться.

Рассмотрим пример решения подобной задачи.



### Задача

В сосуде емкостью  $V = 10$  л находится сухой воздух при нормальных условиях ( $p_0 = 10^5$  Па,  $T_0 = 273$  К). Каким будет давление влажного воздуха в сосуде, если в него налить воду: а) массой  $m_1 = 2$  г и нагреть сосуд до  $t_1 = 100$  °С; б) массой  $m_2 = 7$  г и нагреть сосуд до  $t_2 = 100$  °С?

Дано:	СИ:	Решение:
$T_0 = 273$ К $p_0 = 10^5$ Па $V = 10$ л $t_1 = t_2 = 100$ °С $m_1 = 2$ г $m_2 = 7$ г	$10 \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> $T_1 = T_2 = 373$ К $2 \cdot 10^{-3}$ кг $7 \cdot 10^{-3}$ кг	Определим массу $m_{\text{в}}$ воды, которую необходимо добавить, чтобы пар стал насыщенным при $T_1 = 373$ К. При $T_1$ давление насыщенного пара $p_{\text{н}} = p_0 = 10^5$ Па.
$p_1$ — ? $p_2$ — ?		

Запишем уравнение Менделеева—Клапейрона:

$$p_0 V = \frac{m_{\text{в}}}{M} R T_1 \Rightarrow m_{\text{в}} = \frac{M p_0 V}{R T_1}.$$

С учетом числовых данных получим:

$$m_{\text{в}} = \frac{0,018 \cdot 10^5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 373} = 5,8 \text{ г.}$$

а)  $m_1 = 2$  г — пар ненасыщенный,  $p_1 = p_{\text{п}} + p_{\text{возд}}$ ,

$$p_{\text{п}} V = \frac{m_1}{M} R T_1 \Rightarrow p_{\text{п}} = \frac{m_1 R T_1}{M V}.$$

$$p_{\text{п}} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 373}{0,018 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Учитывая, что  $V = \text{const}$ , запишем закон Шарля:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_{\text{возд}}}{T_1} \Rightarrow p_{\text{возд}} = \frac{T_1}{T_0} p_0.$$

$$p_{\text{возд}} = \frac{373}{273} \cdot 10^5 = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$p_1 = p_{\text{п}} + p_{\text{возд}} = (0,3 + 1,4) \cdot 10^5 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

б)  $m_2 = 7$  г — пар насыщенный: 5,8 г воды испарится, 1,2 г воды останется в сосуде (не сможет испариться).

$$p_{\text{п}} = p_0 = 10^5 \text{ Па, } p_{\text{возд}} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$p_2 = p_{\text{п}} + p_{\text{возд}} = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ:  $p_1 = 1,7 \cdot 10^5$  Па,  $p_2 = 2,4 \cdot 10^5$  Па.

3. При изучении свойств насыщенного пара следует уделить значительное внимание работе с графиками изотермы реального газа и зависимости парциального давления водяного пара от температуры.

Рассмотрим пример решения задачи.

### Задача

В цилиндре под поршнем находится водяной пар при температуре  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 40$  кПа. Объем пара изотермически уменьшают в 5 раз. Найдите давление  $p_2$  пара в цилиндре. Во сколько раз нужно уменьшить первоначальный объем, чтобы пар стал насыщенным?

Дано:

$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 40 \text{ кПа}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{5}$$

$$p_2 = ?$$

$$\delta = \frac{V_1}{V_2} = ?$$

Решение:

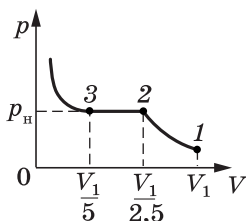


Рис. 26

Построим изотерму реального газа (рис. 26).

В состоянии 1 пар ненасыщенный.

При  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  пар является насыщенным, его давление  $p_n \approx 10^5$  Па.

Запишем закон Бойля—Мариотта:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow \delta = \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}; \delta = \frac{10^5}{40 \cdot 10^3} = 2,5,$$

$$p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2}; p_2 = 40 \cdot 10^3 \cdot 2,5 = 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ:  $p_2 = 10^5$  Па,  $\delta = 2,5$ .

4. Часто задачи на определение влажности воздуха имеют достаточно простое решение, но сложный для понимания физический смысл.

Для доказательства этого рассмотрим пример решения задачи.

### Задача

Человек в очках вошел с улицы в комнату и обнаружил, что его очки запотели. Какой должна быть температура на улице, чтобы наблюдалось это явление? Температура воздуха в комнате  $20^\circ\text{C}$ , относительная влаж-

ность воздуха 53%. Поясните, как вы получили ответ. При ответе на этот вопрос воспользуйтесь таблицей значений давления насыщенных паров воды при различных температурах.

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{кПа}$
-5	0,40	25	3,17
0	0,61	50	12,3
5	0,88	70	31,0
10	1,23	80	47,3
15	1,71	90	70,0
20	2,33	100	101,3

**Дано:**

$$t_1 = 20 ^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 0,53$$

$$t_2 = ?$$

**Решение:**

Когда человек входит в дом, температура стекол его очков практически равна температуре на улице. Очки запотевают, если в тонком слое холодного воздуха, прилегающего к стеклам, водяной пар становится насыщенным: в этом случае на них образуется роса:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{н1}}}$$

По таблице при  $t_1 = 20 ^\circ\text{C}$   $p_{\text{н1}} = 2,33 \cdot 10^3 \text{ Па} \Rightarrow p = \varphi p_{\text{н1}} = 0,53 \cdot 2,33 \cdot 10^3 = 1,23 \cdot 10^3 \text{ Па}$ .

По таблице находим, что такой пар становится насыщенным ( $p = p_{\text{н}}$ ) при температуре  $10 ^\circ\text{C}$ .

Температура на улице должна быть не выше  $10 ^\circ\text{C}$ , т. е.  $t_2 \leq 10 ^\circ\text{C}$ .

**Ответ:**  $t_2 \leq 10 ^\circ\text{C}$ .

### Подготовка к ЕГЭ по физике

При выполнении задания № 10 ЕГЭ по физике необходимо использовать знания об изменениях агрегатных состояний вещества. Учащиеся должны понимать, что давление насыщенных паров воды при температуре  $100 ^\circ\text{C}$  равно нормальному атмосферному давлению, значение которого приведено в справочных материалах к КИМ.

Кроме того, в задании № 10 может потребоваться определить удельную теплоемкость вещества, удельную теплоту парообразования, удельную теплоту плавления, а также записать уравнение теплового баланса. Часть данных для решения задания № 10 необходимо узнать из справочных материалов к КИМ, а также использовать графики зависимости, описывающие тепловые процессы.

Приведем пример решения задачи.

### Задача

В алюминиевую кастрюлю массой  $m_1 = 0,5$  кг налит  $V = 1$  л воды. Кастрюля долго стоит на газовой горелке, от которой она каждую секунду ( $\tau_1 = 1$  с) получает количество теплоты  $Q = 100$  Дж, а температура воды не становится больше  $t_1 = 95$  °С. Плиту выключают. Через какое время  $\tau_2$  температура воды станет  $t_2 = 94$  °С? Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость алюминия  $c_1 = 900$  Дж/(кг · К), воды  $c_2 = 4200$  Дж/(кг · К). Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Дано:

$m_1 = 0,5$  кг  
 $V = 1$  л  
 $\tau_1 = 1$  с  
 $Q = 100$  Дж  
 $t_1 = 95$  °С  
 $t_2 = 94$  °С  
 $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>  
 $c_1 = 900$  Дж/(кг · К)  
 $c_2 = 4200$  Дж/(кг · К)

$\tau_2$  — ?

СИ:

0,001 м<sup>3</sup>

Решение:

Температура кастрюли с водой не изменяется. Следовательно, все количество теплоты  $Q$ , получаемое от газовой горелки, расходуется на потери ( $Q_{\text{потерь}1}$ ) в окружающую среду.

После выключения плиты потери  $Q_{\text{потерь}2}$  происходят за счет остывания воды и кастрюли.

Запишем выражения для тепловых мощностей  $p_1$  и  $p_2$ :

$$p_1 = \frac{Q_{\text{потерь}1}}{\tau_1}, p_2 = \frac{Q_{\text{потерь}2}}{\tau_2}.$$

Учитывая, что  $p_1 = p_2$ , получим:

$$\frac{Q_{\text{потерь}2}}{\tau_2} = \frac{Q_{\text{потерь}1}}{\tau_1} \Rightarrow \Rightarrow \frac{c_1 m_1 (t_2 - t_1) + \rho V c_2 (t_2 - t_1)}{\tau_2} = \frac{Q}{\tau_1},$$

$$\tau_2 = \frac{[c_1 m_1 (t_2 - t_1) + \rho V c_2 (t_2 - t_1)] \tau_1}{Q}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \frac{[900 \cdot 0,5 \cdot (94 - 95) + 1000 \cdot 0,001 \cdot 4200 \cdot (94 - 95)] \cdot 1}{100} = \\ &= 46,5 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ответ:  $\tau_2 = 46,5 \text{ с.}$

В последнее время в задании № 28 ЕГЭ встречаются качественные задачи на тему «Реальные газы. Влажность воздуха». Приведем пример такой задачи.

### Задача

В запаянной U-образной трубке находится вода. Как узнать, воздух или насыщенный пар находится над водой в трубке?

**Решение:**

Резко перевернем трубку. Если над водой находился насыщенный пар, то при его сжатии давление пара меняться не будет и вода резко опустится на дно трубки (послышится «хлопок»). Если над водой был воздух, то при его сжатии увеличивающееся давление воздуха уравновесит давление столба воды и не позволит ему достичь дна.

### Задания для экспериментальной и проектной деятельности

1. Используя банку с водой, яичную скорлупу, проволоку, монеты, термометр, выполните исследование на тему «Самая большая плотность воды при 4 °С».

2. Выполните исследование на тему «Уникальные свойства воды».

3. Выполните исследование на тему «Опыты Авенариуса по исследованию критического состояния вещества».

### Примерные темы рефератов и проектов

1. Экспериментальное исследование фазовых переходов, происходящих между жидкостью и газом.

2. Анализ графика процесса кипения воды.

3. Измерение влажности воздуха разными способами.

4. Опыты М. П. Авенариуса по исследованию критического состояния вещества.

5. Экспериментальное исследование процессов плавления и кристаллизации вещества.

6. Роль теплоты плавления льда и кристаллизации воды в природе.

### Дополнительный материал

При изучении агрегатных состояний вещества и/или выполнении проекта может оказаться полезным материал о критической температуре вещества и сжиженных газах.

### Критическая температура вещества. Сжиженные газы

**Критическая температура.** Вещество может находиться в жидком состоянии не при любой температуре. При достаточно высоких температурах горизонтальный участок изотермы реального газа (рис. 27) становится совсем коротким и при некоторой температуре обращается в точку (на рис. 27 — точка  $K$ ). Эту температуру называют *критической*.

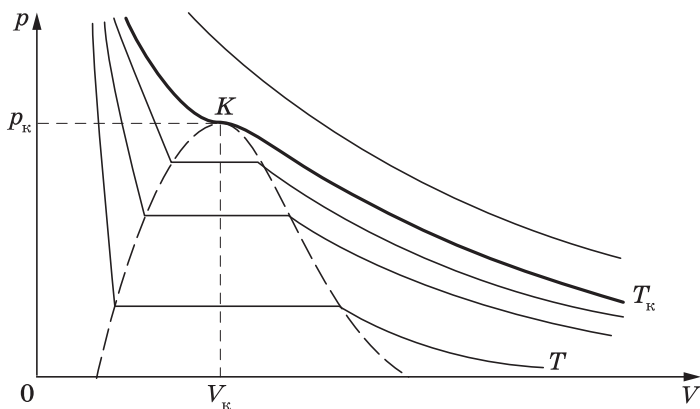


Рис. 27

**Критическая температура** — температура, при которой исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и паром, находящимся с ней в динамическом равновесии.

Каждое вещество имеет свою критическую температуру. Например, критическая температура для углекислого газа  $\text{CO}_2$  —  $t_k = 31^\circ\text{C}$ , а для воды —  $t_k = 374^\circ\text{C}$ .

Состояние, соответствующее точке  $K$ , в которую обращается горизонтальный участок изотермы при температуре  $T = T_k$ , называют *критическим состоянием*. Критическое давление для углекислого газа равно  $7,4 \cdot 10^6$  Па (73 атм), а для воды —  $2,2 \cdot 10^7$  Па (218 атм). В критическом состоянии жидкость имеет максимальный (критический) объем, а насыщенный пар — максимальное (критическое) давление.

При увеличении температуры возрастает плотность насыщенного пара. Плотность жидкости, находящейся в равновесии со своим паром, наоборот, уменьшается вследствие ее расширения при нагревании.

Если на одном рисунке начертить графики зависимости плотности жидкости и ее насыщенного пара от температуры, то для жидкости кривая пойдет вниз, а для пара — вверх (рис. 28). При критической температуре обе кривые сливаются, т. е. плотность жидкости становится равной плотности пара. Другими словами, различие между жидкостью и паром исчезает.

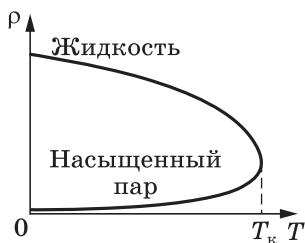


Рис. 28

**Экспериментальное исследование критического состояния.** Эксперименты по изучению критического состояния выполнил в 1863 г. русский физик Михаил Петрович Авенариус (1835—1895).

Прибор, с помощью которого можно наблюдать критическое состояние (прибор Авенариуса), состо-

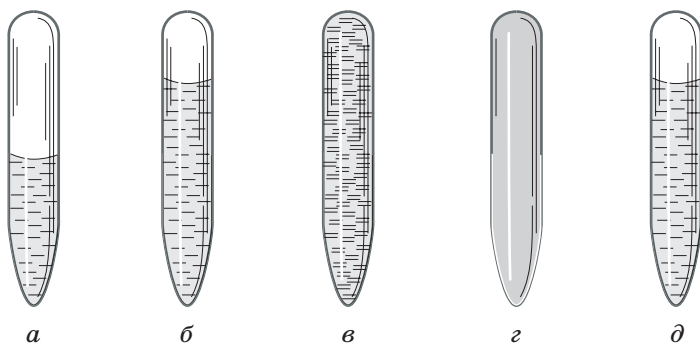


Рис. 29

ит из воздушной ванны (рис. 29) и находящейся внутри ванны запаянной стеклянной трубочки (ампулы) с жидким эфиром.

Объем ампулы (ее вместимость) равен критическому объему эфира, налитого в трубочку. Пространство над эфиром в ампуле заполнено насыщенным паром эфира. При помощи газовой горелки или другого нагревателя воздушную ванну подогревают. За состоянием эфира наблюдают через стеклянное окошко в приборе. При комнатной температуре можно отчетливо видеть границу между жидкостью и паром (рис. 29, а). По мере приближения к критической температуре объем жидкого эфира увеличивается, а граница раздела «жидкость — пар» становится слабовыраженной, неустойчивой (рис. 29, б). При подходе к критическому состоянию граница между ними исчезает совсем (рис. 29, в). При охлаждении появляется плотный туман, заполняющий всю трубочку (рис. 29, г). Это образуются капельки жидкости. Далее они сливаются вместе, и опять возникает граница раздела между жидкостью и паром (рис. 29, д).

Для опыта выбран эфир, так как он имеет сравнительно низкое критическое давление (около 36 атм). Критическая температура его тоже небольшая: 194 °С. Эксперименты Авенариуса показали, что *при температуре выше критической газ нельзя обратить в жидкость ни при каких значениях давления.*



**Диаграмма равновесных состояний жидкости и газа.** Еще раз вернемся к рисунку 27, на котором изображены изотермы реального газа. Соединим все левые концы горизонтальных участков изотерм, т. е. те точки, которые соответствуют окончанию конденсации насыщенного пара и началу сжатия жидкости. Тем самым у нас получится плавная кривая, оканчивающаяся в критической точке  $K$ . На рисунке 30 это — кривая  $AK$ . Слева от кривой  $AK$ , между ней и критической изотермой (участок изотермы  $СК$ ), расположена область, соответствующая жидкому состоянию вещества (на рисунке 30 эта область выделена горизонтальной штриховкой). Каждой точке этой области соответствуют параметры  $p$ ,  $V$  и  $T$ , характеризующие жидкость в состоянии теплового равновесия.

Соединим теперь плавной кривой все правые концы горизонтальных участков изотерм. Так мы получим кривую на рисунках 30, которая также будет оканчиваться в точке  $K$ . Две линии  $AK$  и  $BK$  ограничивают область, каждая точка которой соответствует состоянию равновесия между жидкостью и насыщенным паром (на рис. 30 эта область выделена вертикальной штриховкой).

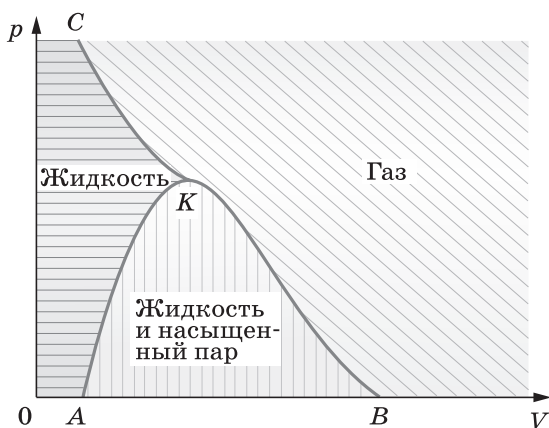


Рис. 30

За исключением области жидкого состояния и области равновесия жидкости и насыщенного пара, вся остальная область графика соответствует газообразному состоянию вещества. На рисунке 30 она отмечена кривой штриховкой.

Итак, мы проанализировали диаграмму равновесных состояний жидкости и газа. Каждой точке на этой диаграмме соответствует определенное состояние системы: газ, жидкость или равновесие между жидкостью и паром. *При критической температуре свойства жидкости и насыщенного пара становятся неразличимыми.* Выше критической температуры жидкость не может существовать.

**Сжижение газов.** Любой газ можно превратить в жидкость простым сжатием, если только его температура ниже критической. Поэтому деление веществ на жидкости и газы в значительной мере условно. Те вещества, которые мы привыкли считать газами, просто имеют очень низкие критические температуры и поэтому при температуре, близкой к комнатной, не могут находиться в жидком состоянии. Наоборот, у веществ, которые мы относим к жидкостям, критические температуры достигают больших значений.

К настоящему времени создано множество типов машин для получения жидких газов, в частности жидкого воздуха. В современных промышленных установках охлаждение достигается путем расширения газа в условиях теплоизоляции (адиабатное расширение). Такие машины называют *детандерами*. Газ при расширении совершает работу за счет своей внутренней энергии, перемещая при этом поршень (поршневые детандеры) или вращая турбину (турбинные детандеры). В результате газ охлаждается.

Высокопроизводительные турбодетандеры низкого давления были разработаны отечественным физиком, академиком Петром Леонидовичем Капицей (1894—1984). Начиная с 1950-х гг. все крупные установки в мире для сжижения воздуха работают по схеме Капицы.

На рисунке 31, *а* приведена упрощенная схема поршневого детандера, а на рис. 31, *б* показан внешний вид современного поршневого детандера. Атмосферный воздух поступает в компрессор 1, где сжимается до давления в несколько десятков атмосфер. Нагретый при сжатии воздух охлаждается в теплообменнике 2 проточной водой и поступает в цилиндр 3 детандера. Здесь он, расширяясь, совершает работу, толкая поршень, и охлаждается настолько сильно, что конденсируется в жидкость. Сжиженный воздух поступает в сосуд 4. Температура кипения жидкого воздуха очень низка. При атмосферном давлении она составляет  $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поэтому жидкий воздух в открытом сосуде, когда давление его паров равно атмосферному давлению, кипит. Так как окружающие тела значительно теплее, то приток теплоты к жидкому воздуху, если бы он хранился в обычных сосудах, был бы настолько значителен, что за очень короткий промежуток времени весь жидкий воздух испарился бы.



П. Л. Капица

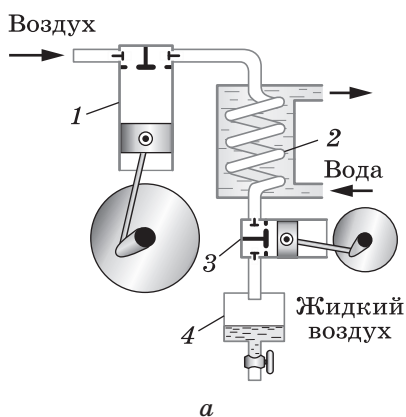


Рис. 31

**Хранение жидких газов.** Для того чтобы сохранить воздух в жидком состоянии, необходимо максимально уменьшить его теплообмен с окружающей средой. С этой целью жидкий воздух (и другие жидкие газы) помещают в особые сосуды, называемые *сосудами Дьюара*. Сосуд Дьюара устроен так же, как и обычный термос. Он имеет двойные стеклянные стенки, из пространства между которыми выкачан воздух (рис. 32, а). Это уменьшает теплопроводность сосуда. Внутреннюю стенку делают блестящей (посеребренной) для уменьшения нагревания в результате излучения. У сосудов Дьюара имеется узкое горлышко. При хранении в них сжиженных газов их оставляют открытыми, чтобы содержащийся в сосуде газ имел возможность постепенно испаряться.

Благодаря затрате количества теплоты на испарение сжиженный газ остается все время холодным. В хорошем сосуде Дьюара жидкий воздух сохраняется в течение нескольких недель. На рисунке 32, б показаны современные сосуды Дьюара.

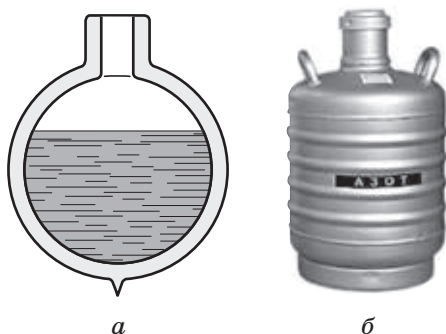


Рис. 32

**Применение сжиженных газов.** Сжижение воздуха используют в технике для разделения воздуха на составные части. Метод основан на том, что различные газы, из которых состоит воздух, кипят при различных температурах. Наиболее низкие температуры кипения имеют гелий, неон, азот, аргон. У кис-

лорода температура кипения несколько выше, чем у аргона. По этой причине сначала испаряется гелий, неон, азот, а затем аргон, кислород.

Сжиженные газы находят широкое применение в технике. Так, жидкий кислород используется в качестве окислителя для двигателей космических ракет. Двигатели ракеты-носителя, поднявшей в космос первого космонавта Ю. А. Гагарина, работали на жидком кислороде. Жидкий водород используется как топливо в космических ракетах.

Газы, применяемые в промышленности, медицине и т. п., легче перевозить, когда они находятся в сжиженном состоянии, так как при этом в том же объеме заключается большее количество вещества. Так, например, доставляют в стальных баллонах жидкую углекислоту на заводы по производству газированных вод. Жидкий аммиак нашел широкое применение в холодильниках. Охлаждение, возникающее при испарении сжиженных газов, используют в рефрижераторах при перевозке скоропортящихся продуктов.

### **Это любопытно...**

#### **Из истории развития физики и техники**

Первый газ (аммиак) был обращен в жидкость уже в 1799 г. В 1822 г. чиновник министерства внутренних дел Франции Шарль Каньяр де Латур (1777—1859) установил, что при определенных условиях различие между жидкостью и газом исчезает. Дальнейшие успехи в сжижении газов связаны с именем английского физика Майкла Фарадея (1791—1867), который обратил в жидкость такие газы, как аммиак, углекислый газ, хлор и др. Ирландский физик и химик Томас Эндрюс (1813—1885) в 1863 г. получил изотермы углекислого газа и обратил его в жидкость. Он же ввел понятие критической температуры. Проблемами сжижения газов занимался и Д. И. Менделеев.

Однако такие газы, как кислород, азот, водород, оксид азота и метан, не обращались в жидкость даже

при сжатии до 3000 атм и при охлаждении до  $-110^{\circ}\text{C}$ . В 1877 г. французскому инженеру Луи-Полу Кайете (1832—1913) и швейцарскому ученому Раулю Пикте (1846—1929) удалось сжигить кислород, азот и оксид углерода. Немецкий физик и инженер Карл Линде (1842—1934) разработал установку для сжижения воздуха, а в 1898 г. шотландский физик и химик Джеймс Дьюар (1842—1923) получил жидкий водород.

В 1908 г. голландский ученый Хейке Камерлинг-Оннес (1853—1926) получил жидкий гелий, а в 1913 г. — твердый водород; его температура оказалась равна  $-257,1^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $-271,9^{\circ}\text{C}$  и давлении 26 атм был получен в твердом состоянии гелий. В 1913 г. Камерлинг-Оннес был удостоен Нобелевской премии по физике «за исследования свойств вещества при низких температурах, которые привели к получению жидкого гелия».

## Урок 75/1

### Испарение и конденсация. Насыщенный пар (§ 53)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о процессах испарения и конденсации, насыщенном паре, \*об изотерме реального газа, \*о давлении насыщенного пара.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и химией (механизм испарения и конденсации с точки зрения молекулярной теории).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Испарение», «Конденсация», «Насыщенный и ненасыщенный пар» (ЭФУ).
- Анимация «Снижение температуры кипения воды в стакане при снижении давления под колпаком»: <http://gotourl.ru/7835>.

### Методические комментарии

В параграфе приводится большое количество теоретической информации, которую желательно прочесть учащимся до урока. С учащимися проанализируйте вопросы № 4 и 5 после параграфа. Обратите внимание на дополнительный материал, обсудите смысл изотермы реального газа и зависимость давления насыщенного пара от температуры.

Рассмотрите вопросы для обсуждения № 1 и 2 и проведите тест, рассчитанный на 10 мин. Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

**1.** При повышении температуры скорость испарения жидкости возрастает. Это обусловлено:

А. Увеличением числа молекул, обладающих энергией, необходимой для их выхода из жидкости.

Б. Уменьшением давления насыщенного пара. Какое утверждение правильно?

1) только А

3) и А, и Б

2) только Б

4) ни А, ни Б

2. Кипение жидкости происходит при температуре

- 1)  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 2) при которой жидкость переходит в пар
- 3) при которой гидростатическое давление жидкости на дно сосуда равно внешнему давлению на свободную поверхность жидкости
- 4) при которой давление насыщенных паров жидкости равно внешнему давлению на свободную поверхность жидкости

3. Как изменятся масса жидкости и масса ее насыщенного пара, если объем сосуда уменьшить при постоянной температуре?

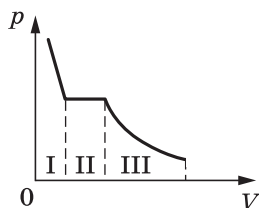
- 1) масса жидкости и масса насыщенного пара не изменятся
- 2) масса жидкости уменьшится, а масса насыщенного пара увеличится
- 3) масса жидкости и масса насыщенного пара увеличатся
- 4) масса жидкости увеличится, а масса насыщенного пара уменьшится

4. В сосуде под поршнем находятся водяной пар и вода. При перемещении поршня давление остается постоянным. Температура при этом

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается
- 4) может как уменьшиться, так и увеличиться

5. На рисунке изображена изотерма реального газа. В какой области газ можно рассматривать как идеальный?

- 1) в области I
- 2) в области II
- 3) в области III
- 4) ни в какой области



6. В сосуде находится насыщенный водяной пар. Почему при его сжатии давление и температура не изменились?

- 1) пар перешел из насыщенного в ненасыщенное состояние
- 2) часть молекул водяного пара ионизировалась
- 3) произошло разложение водяного пара на кислород и водород
- 4) часть пара сконденсировалась



Ответы: 1. 1). 2. 2). 3. 4). 4. 1). 5. 3). 6. 4).

Домашнее задание: § 53, вопросы № 1—3.

## Урок 76/2

## Кипение жидкости (§ 54)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о процессе кипения жидкости, зависимости температуры кипения жидкости от внешнего давления, об удельной теплоте парообразования жидкости.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и химией (механизм кипения с точки зрения молекулярной теории).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Кипение жидкости», «Зависимость температуры кипения от давления» (ЭФУ).

### Методические комментарии

При изучении материала рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты: «Свойства насыщенных паров», «Переход не-

насыщенных паров в насыщенные при уменьшении объема», «Кипение воды при пониженном давлении». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Что происходит с давлением насыщенных паров воды при уменьшении объема пара?

2) Что происходит с давлением насыщенных паров при повышении температуры пара?

3) При каком значении объема пара давление в сильфоне перестает изменяться?

4) При каких условиях в эксперименте температура кипения воды значительно снижается?

После этого перейдите к вопросам для обсуждения № 1—3 и обсудите пример решения задачи. Разберите на уроке хотя бы одну из задач № 1—3.

**Домашнее задание:** § 54, вопросы после параграфа, задачи № 3—5.

## Урок 77/3

## Влажность воздуха (§ 55)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об абсолютной и относительной влажности воздуха, о точке росы, об измерении влажности воздуха, значении влажности воздуха в жизни человека.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (психрометр, гигрометры), физикой и метеорологией (предсказание погоды), проявление физических явлений в природе (образование тумана, выпадение росы) и жизни человека.

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

- Волосной гигрометр.
- Конденсационный гигрометр.
- Психрометр.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Влажность воздуха», «Принцип действия гигрометра», «Принцип действия волосного гигрометра», «Принцип действия психрометра» (ЭФУ).
- Разработка урока с анимацией «Кипение. Удельная теплота парообразования»: <http://gotourl.ru/7836>.
- Разработка урока с анимацией «Влажность воздуха»: <http://gotourl.ru/7837>.
- Психометрическая таблица: <http://gotourl.ru/7838>.

### **Методические комментарии**

Урок рекомендуется начать с демонстрации гигрометров и психрометра. Покажите учащимся, как измерять влажность воздуха с помощью этих приборов, измерьте влажность воздуха в классе. Объясните принцип действия приборов для измерения влажности воздуха. Обсудите материал рубрики «Это любопытно...». После этого рассмотрите вопросы для обсуждения № 1—2. Разберитесь с учащимися пример решения задачи и решите задачи № 1—3.

**Домашнее задание:** § 55, вопросы после параграфа, задачи № 4, 5 (задача № 4 разобрана в методических рекомендациях к изучению темы).

## Лабораторная работа № 8 «Измерение относительной влажности воздуха»

### Цели урока

*Предметные:* научиться измерять относительную влажность воздуха.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Плавление и кристаллизация вещества (§ 56)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о плавлении кристаллических и аморфных тел, температуре плавления, об удельной теплоте плавления вещества, \*особенностях поведения льда при плавлении.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и химией (механизм плавления с точки зрения молекулярной теории), физикой и техникой (прокладка труб водопровода и канализации, водяного отопления в зимнее время), проявление физических явлений в природе (увеличение объема воды при ее замерзании в водоемах).

## **Организация образовательного пространства**

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

Анимации «Таяние льда», «Кристаллизация» (ЭФУ).

## **Методические комментарии**

Урок рекомендуется начать с демонстрации и обсуждения экспериментов «Рост кристаллов» и «Кристаллизация переохлажденной жидкости». С учащимися разберите пример решения задачи и решите задачи № 3 и 4.

**Домашнее задание:** § 56, вопросы после параграфа, задачи № 1, 2, 5.

## **Урок 80/6**

## **Лабораторная работа № 9 «Измерение температуры кристаллизации и удельной теплоты плавления вещества»**

### **Цели урока**

*Предметные:* научиться определять температуру кристаллизации и удельную теплоту плавления вещества.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения, погрешности измерений).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 81/7

### Решение задач (§ 53—56)

#### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на применение уравнения теплового баланса и расчет физических величин, характеризующих изменения агрегатных состояний вещества.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (связи между величинами, графики зависимостей).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.



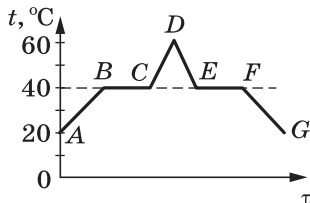
5. На столе под лучами Солнца стоят три одинаковых кувшина, наполненных водой. Кувшин 1 закрыт пробкой, кувшин 2 открыт, а стенки кувшина 3 пронизаны множеством пор, по которым вода медленно просачивается наружу. В каком из кувшинов будет самая низкая температура воды?

- 1) в кувшине 1
- 2) в кувшине 2
- 3) в кувшине 3
- 4) во всех трех кувшинах температура воды будет одинаковая

6. При какой температуре молекулы могут покидать поверхность воды?

- 1) только при температуре кипения
- 2) только при температуре выше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3) только при температуре выше  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 4) при любой температуре

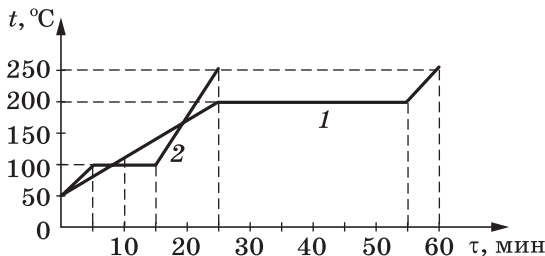
7. На рисунке показан график зависимости температуры  $t$  эфира от времени  $\tau$  его нагревания и охлаждения. Какой участок графика соответствует процессу кипения эфира? В точке А эфир находится в жидком состоянии.



- 1) AB
- 2) BC
- 3) ABC
- 4) CD

8. На рисунке показаны кривые нагревания двух жидкостей одинаковой массы при постоянной мощности подводимого количества теплоты. Отношение удельной теплоты парообразования жидкости 1 к удельной теплоте парообразования жидкости 2 равно

- 1) 1/3
- 2) 1/2
- 3) 2
- 4) 3





Ответы: 1. 1). 2. 1). 3. 1). 4. 3). 5. 1). 6. 4). 7. 2). 8. 4).

Обсудите с учащимися решения задач теста и приведите правильные ответы. Решите задачи № 9.97, 9.105, 9.116 из задачника.

**Домашнее задание:** задачи № 9.117, 9.119, 9.121 из задачника, подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

## Урок 82/8

### Контрольная работа по теме «Изменения агрегатных состояний вещества»

#### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Изменение агрегатных состояний вещества».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости).

#### Методические комментарии

Из предложенных ниже вариантов рекомендуется разработать структуру контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся. Обязательно добавьте в содержание контрольной работы качественные задачи и задачи на определение влажности воздуха. Каждое задание части 1 оценивается в 2 балла, части 2 — 3 балла.

## Вариант 1

### Часть 1

1. Установите соответствие между записанным в первом столбце процессом и изменением средней кинетической энергии хаотического движения молекул.

#### ПРОЦЕСС

- А) парообразование
- Б) конденсация
- В) плавление

#### ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

- 1) средняя кинетическая энергия выделяется
- 2) средняя кинетическая энергия поглощается
- 3) средняя кинетическая энергия не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами (цифры в ответе могут повторяться).

А	Б	В

2. Кусок свинца массой  $m = 1$  кг расплавился наполовину при сообщении ему количества теплоты  $Q = 50$  кДж. Чему была равна начальная температура свинца? Температура плавления свинца  $t = 327$  °С.

### Часть 2

3. При выстреле из ствола винтовки пуля массой 9 г приобретает скорость 800 м/с. Определите массу порохового заряда, если КПД выстрела 24%. Удельная теплота сгорания пороха 3,8 МДж/кг.

4. В чайник со свистком налили воду массой 1 кг и поставили на электрическую плитку мощностью 900 Вт. Через 7 мин раздался свисток. Сколько воды останется в чайнике после кипения воды в течение 2 мин? Определите КПД плитки. Начальная температура воды 20 °С.

5. Относительная влажность воздуха в аудитории при 20 °С равна 20%. Сколько воды нужно испарить в этой аудитории, чтобы поднять влажность до 50%? Вместимость аудитории 40 м<sup>3</sup>, плотность насыщенных водяных паров при 20 °С составляет  $\rho_{\text{н}} = 1,73 \cdot 10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>.

6. Можно ли всасывающим водяным насосом поднять кипящую воду?
7. Почему в ясный летний день, когда нагретый воздух поднимается вверх, появляются облака?
8. Почему не бывает росы под густым деревом?
9. Можно ли заставить воду кипеть без нагревания?

## Вариант 2

### Часть 1

1. Установите соответствие между записанным в первом столбце явлением/процессом и видом теплообмена.

ЯВЛЕНИЕ/ПРОЦЕСС	ВИД ТЕПЛООБМЕНА
А) измерение температуры ртутным термометром	1) излучение
Б) нагревание воды в чайнике	2) теплопроводность
В) печное отопление	3) конвекция

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А	Б	В

2. В бак с горячей водой, имеющей температуру  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  и массу  $20\text{ кг}$ , долили  $10\text{ кг}$  холодной воды с температурой  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какая температура воды установится в баке? Тепловыми потерями пренебречь.

### Часть 2

3. Гусеничный трактор развивает мощность  $60\text{ кВт}$ , и при этой мощности в нем за  $1\text{ ч}$  расходуется  $18\text{ кг}$  дизельного топлива. Найдите КПД двигателя. Удельная теплота сгорания дизельного топлива  $42\text{ МДж/кг}$ .

4. Лед массой  $5\text{ кг}$  при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  нужно нагреть до температуры  $\theta = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  путем пропускания водяного пара при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите необходимое количество пара.

5. В герметически закрытый сосуд вместимостью  $V = 5\text{ м}^3$  поместили  $m = 20\text{ кг}$  воды и нагрели до температуры

$T = 453 \text{ К}$ . Найдите массу и давление пара в сосуде. Плотность насыщенного пара при данной температуре составляет  $\rho_{\text{н}} = 5,05 \text{ кг/м}^3$ . Молярная масса воды  $M = 0,018 \text{ кг/моль}$ .

**Ответы. Вариант 1**

**Часть 1. 1.** А2, Б1, В2. **2.**  $t_1 = 34,7 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Часть 2. 3.**  $m_2 \approx 3 \text{ кг}$ . **4.**  $m_2 = 0,96 \text{ кг}$ ,  $\eta \approx 0,88$ .

**5.**  $0,21 \text{ кг}$ .

**Вариант 2**

**Часть 1. 1.** А2, Б3, В1. **2.**  $\theta = 60 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Часть 2. 3.**  $\eta \approx 0,29$ . **4.**  $m_2 = 1,13 \text{ кг}$ . **5.**  $25,2 \text{ кг}$ ,  $836 \text{ кПа}$ .

### Методические особенности изложения

В курсе физики 10 класса учащиеся приступают к изучению электродинамики — раздела физики, в котором рассматриваются свойства и закономерности электромагнитного взаимодействия заряженных тел или частиц. Это взаимодействие осуществляется посредством электромагнитного поля. Знакомство с электродинамикой учащиеся начинают с вопросов электростатики — раздела электродинамики, в котором рассматриваются покоящиеся электрически заряженные тела.

При изложении материала учителю следует обратить внимание на несколько важных моментов.

1. При изучении закона сохранения электрического заряда следует использовать демонстрационный эксперимент. Учащимся необходимо разъяснить смысл физической модели «электрически изолированная система тел» и решить ряд задач на взаимодействие двух и более изолированных заряженных тел.

2. Закон Кулона — основной закон электростатики. Обратите внимание учащихся на сходство математической записи закона всемирного тяготения и закона Кулона. Оно связано с тем, что электростатическое поле, как и гравитационное, является потенциальным полем. Учащимся необходимо объяснить, что закон Кулона применим только для точечных заряженных тел (подобно тому, как закон всемирного тяготения применим для тел, обладающих сферической симметрией). Другими словами, формула закона Кулона не может быть применена в случае взаимодействия, например, заряженной плоскости и точечного заряда.

3. Изучение принципов суперпозиции электрических полей и принципа суперпозиции для потенциа-

ла (материал для учащихся, интересующихся физикой) позволяет учащимся успешно решать ряд важнейших задач электростатики. Напряженность, созданную несколькими различными конфигурациями точечных зарядов, можно рассчитать как векторную сумму напряженностей каждой конфигурации зарядов. Аналогично можно определить потенциал поля, созданного несколькими точечными зарядами. Для этого нужно сложить алгебраически потенциалы каждого заряда.

### Подготовка к ЕГЭ по физике

При подготовке к ЕГЭ по физике необходимо научить учащихся решать качественные задачи по электростатике. Для этого рекомендуется решить следующие задачи из задачника:

- Задачи на электризацию тел (№ 10.1, 10.2, 10.3, 10.5, 10.8, 10.9).

- Задачи на определение напряженности электростатического поля заряженных тел (10.47, 10.49, 10.50—10.52).

- Задачи на расчет работы сил электростатического поля и на тему «Проводники и диэлектрики в электростатическом поле» (10.144, 10.145, 10.147, 10.90, 10.91).

Рассмотрим пример решения качественной задачи по электростатике.

#### Задача

Как изменятся напряженность  $E$  и потенциал электростатического поля, созданного положительным зарядом  $Q$ , в точке  $A$ , если в точку  $B$  поместить незаряженную металлическую сферу?

Решение:

Ситуация «до» (рис. 33, *a*)

$E_A = \frac{kQ}{x_A^2}$  — напряженность поля, созданная точечным зарядом  $Q$  в точке  $A$ .

$\varphi_A = \frac{kQ}{x_A}$  — потенциал поля точечного заряда в точке  $A$ .

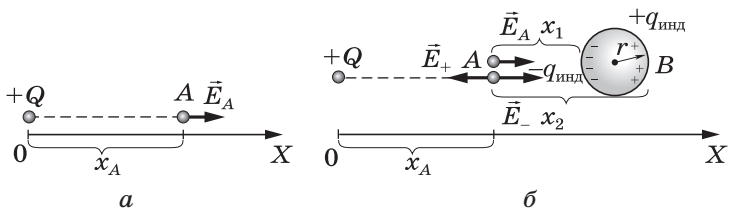


Рис. 33

### Ситуация «после» (рис. 33, б)

При внесении незаряженной металлической сферы в электростатическое поле в ней произойдет перераспределение заряда вследствие явления электростатической индукции. Используя принцип суперпозиции электрических полей, можно записать выражение для напряженности результирующего поля:

$$\vec{E}_{A \text{ рез}} = \vec{E}_A + \vec{E}_- + \vec{E}_+,$$

так как  $|\vec{E}_-| > |\vec{E}_+|$ , то  $|\vec{E}_{A \text{ рез}}| > |\vec{E}_A|$ , т. е. напряженность поля в точке A увеличится.

Определим потенциал результирующего поля в точке A:

$$\varphi_{A \text{ рез}} = \varphi_A + \varphi_- + \varphi_+,$$

так как  $\varphi_- = \frac{-kq_{\text{инд}}}{x_1}$ ,  $\varphi_+ = \frac{-kq_{\text{инд}}}{x_2}$ ,  $x_1 < x_2$ , то  $|\varphi_{A \text{ рез}}| < |\varphi_A|$ , т. е.

потенциал результирующего поля в точке A уменьшится.

**Ответ:** напряженность поля в точке A возрастет, а его потенциал уменьшится.

Обратите внимание на материал, посвященный описанию движения заряженных частиц в электрических полях. При решении задач на эту тему необходимо обязательно представлять себе, однородное это электростатическое поле или неоднородное. В зависимости от этого будет изменяться метод решения задач.

## Дополнительный материал

### Движение заряженной частицы в однородном электростатическом поле

В этом случае в каждой точке такого поля на частицу действует постоянная электрическая сила, модуль которой равен

$$F = qE,$$

где  $q$  — модуль заряда частицы, влетевшей в однородное электростатическое поле;  $E$  — модуль его напряженности.

Для решения задач мы можем применить второй закон Ньютона и уравнения кинематики, так как движение заряженной частицы происходит в поле постоянной силы.

Рассмотрим решение задачи.

### Задача

Электрон влетает в область однородного электростатического поля между двумя разноименно заряженными обкладками плоского конденсатора под углом  $15^\circ$  к поверхности обкладок (рис. 34). Длина обкладки конденсатора 5 см, разность потенциалов между обкладками 50 В, а расстояние между ними 1 см. Определите: а) при какой наименьшей (минимальной) скорости электрон вылетит из конденсатора; б) при какой наибольшей (максимальной) скорости электрон вылетит из конденсатора.

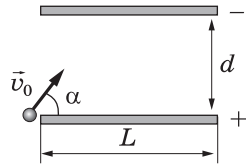


Рис. 34

Дано:

$$\begin{aligned} L &= 5 \text{ см} \\ \alpha &= 15^\circ \\ U &= 50 \text{ В} \\ d &= 1 \text{ см} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{\min} &— ? \\ v_{\max} &— ? \end{aligned}$$

СИ:

$$\begin{aligned} 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ \\ 1 \cdot 10^{-2} \text{ м} \end{aligned}$$

Решение:

На электрон действует сила электростатического поля  $\vec{F}_{\text{эл}}$ , направленная против вектора напряженности  $\vec{E}$ .

Модуль этой силы  $F_{\text{эл}} = |e|E$ .

В однородном электростатическом поле  $E = \frac{U}{d}$ .

Согласно второму закону Ньютона, ускорение, с которым движется электрон,

$$a = \frac{F_{\text{эл}}}{m_e} = \frac{|e|U}{dm_e}.$$

а) При  $v_0 = v_{\min}$  траекторией движения электрона будет парабола (рис. 35).

Запишем кинематические уравнения для проекции скорости движения электрона  $v_y$  и его координаты  $x$ :

$$v_y = v_0 \sin \alpha - at. \quad (1)$$

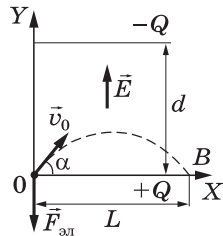


Рис. 35



$x(t) = v_0 t \cos \alpha$  (движение по оси  $X$  происходит без ускорения).

В точке  $B$   $v_y(t_B) = -v_0 \sin \alpha$ ,  $x(t_B) = L \Rightarrow L = v_0 t_B \cos \alpha$ ;

$$t_B = \frac{L}{v_0 \cos \alpha}.$$

Подставим время  $t_B$  в выражение (1):

$$-v_0 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha - a \frac{L}{v_0 \cos \alpha}.$$

Подставим в данную формулу выражение для ускорения  $a$ :

$$2v_0 \sin \alpha = \frac{|e|U}{dm} \frac{L}{v_0 \cos \alpha},$$

$$2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha = \frac{|e|UL}{dm} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{|e|UL}{dm \cdot 2 \sin \alpha \cos \alpha}}.$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot \frac{1}{2}}} \approx 9 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

б) При  $v_0 = v_{\max}$  траекторией движения электрона будет половина параболы (рис. 36). При этом электрон может вылететь из конденсатора.

Запишем кинематическое уравнение для проекции скорости  $v_y$  движения электрона:

$$v_y(t) = v_0 \sin \alpha - at. \quad (1)$$

В точке  $B$   $v_y(t_B) = 0$ ,  $L = v_0 t_B \cos \alpha \Rightarrow t_B = \frac{L}{v_0 \cos \alpha}$ ,

$$a = \frac{F_{\text{эл}}}{m} = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{dm}.$$

Подставим время  $t_B$  в выражение (1):

$$0 = v_0 \sin \alpha - \frac{|e|U}{dm} \frac{L}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{|e|UL}{dm \cos \alpha \sin \alpha}}.$$

$$v_0 \approx \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,25}} \approx 13 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v_{\min} \approx 9 \cdot 10^6$  м/с,  $v_{\max} \approx 13 \cdot 10^6$  м/с.

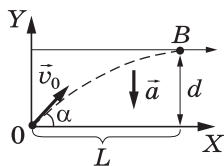


Рис. 36

## Движение заряженной частицы в неоднородном электрическом поле

В этом случае в каждой точке такого поля значение напряженности изменяется, и поэтому меняется действующая на частицу сила. Оптимальным будет решение задачи с помощью закона сохранения энергии и закона сохранения импульса.

В качестве примера рассмотрим решение следующей задачи.

### Задача

От поверхности металлического шара массой  $M$  и радиусом  $R$ , отрывается одноименно заряженный точечный заряд  $q$  массой  $m$  (рис. 37). Заряд шара  $Q$ . Определите скорость точечного заряда  $v_\infty$  на большом удалении от шара.

Дано:

$M, R, Q$

$q, m$

$v_\infty = ?$

Решение:

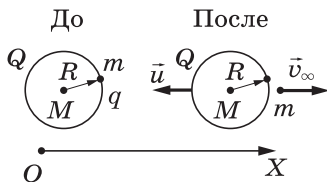


Рис. 37

В начальном положении заряд  $q$  обладает потенциальной энергией:

$$W_p = \frac{k(Q - q)q}{R}.$$

Эта энергия на большом ( $\infty$ ) удалении от шара  $W_{p_\infty} = 0$ . После отрыва заряда  $q$  точечный заряд и шар приобретают кинетическую энергию:

$$W_k = \frac{mv_\infty^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}.$$

Запишем закон сохранения импульса:

$$0 = mv_\infty - Mu \Rightarrow u = \frac{mv_\infty}{M}$$

и закон сохранения энергии:

$$\frac{k(Q - q)q}{R} = \frac{mv_\infty^2}{2} + \frac{Mm^2v_\infty^2}{2M^2}.$$

Выразим из полученной формулы скорость  $v_\infty$ :

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2k(Q-q)qM}{R(mM+m^2)}}.$$

Ответ:  $v_\infty = \sqrt{\frac{2k(Q-q)qM}{R(mM+m^2)}}.$

### **Задания для экспериментальной и проектной деятельности**

1. Предложите несколько способов электризации тел в домашних условиях и проверьте их экспериментально. Результаты экспериментов представьте в виде фотоотчета.

2. Если воздушный шарик потереть куском шерсти, то он наэлектризуется и будет притягивать мелкие сухие кусочки бумаги, пенопласта и других материалов. Как изменится сила притяжения к шарiku, если его объем уменьшить, частично спустив из него воздух?

3. Как, располагая только весами и двумя металлическими пластинами известной площади, измерить разность потенциалов на зажимах источника постоянного напряжения?

### **Примерные темы рефератов и проектов**

1. Получение и анализ картин электростатических полей.

2. Построение эквипотенциальных поверхностей для электрических зарядов и их систем. Метод электрических изображений.

3. Исследование способа электризации через влияние.

4. Конденсаторы: типы, устройство, принцип действия, применение.

5. Расчет параметров батареи конденсаторов, состоящей из последовательно (или параллельно) соединенных конденсаторов: метод симметрии, универсальный метод, метод «детектива», метод «сборки схемы», метод составления уравнений, метод размыкания узлов.

**Цели урока**

*Предметные:* формировать представления об электризации тел, основных свойствах электрических зарядов, устройстве и принципе действия электроскопа, электрометра, о законе сохранения электрического заряда.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (электроскоп, электрометр).

**Организация образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Демонстрационное оборудование*

- Машина электрофорная.
- Султаны электрические.
- Штативы изолирующие.
- Электрометры с принадлежностями.

*Цифровые образовательные ресурсы*

• Видеофрагмент «Электризация тел. Два вида электрических зарядов» (ЭФУ).

• Разработка урока с анимацией «Делимость электрического заряда. Электрон»: <http://gotourl.ru/7839>.

## Методические комментарии

При изучении материала рекомендуется провести следующие демонстрационные эксперименты по электростатике: обнаружение электрических зарядов, определение знаков зарядов, выполнение закона сохранения электрического заряда и т. п.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему физические эксперименты с электризацией тел лучше получаются зимой, чем летом?

2) Возможна ли электризация проводников и жидких тел?

3) Как можно объяснить, что не наэлектризованные тела притягиваются к наэлектризованным?

4) Как устроен электрометр?

5) Как с помощью эксперимента доказать делимость электрического заряда?

6) Не противоречит ли явление электризации трением закону сохранения электрического заряда?

Для закрепления полученных знаний необходимо рассмотреть вопросы для обсуждения № 2 и 3. Далее целесообразно перейти к решению задач на применение закона сохранения электрического заряда. Для этого разберите пример решения задачи и решите задачу № 1.

В конце урока желательно разобрать текст после параграфа «Это любопытно...» (либо задать этот материал на дом). Обсудите с учащимися вопросы: «Почему электрический указатель Рихмана был неточным прибором? В чем состоят его основные недостатки?» Предложите учащимся сравнить устройство и принцип действия указателя Рихмана с современным электрометром.

**Домашнее задание:** § 57, вопросы после параграфа, задачи № 2 и 3, провести домашние опыты с электризацией тел (самые эффектные опыты можно провести в начале урока № 85), интерактивное задание (§ 57 ЭФУ).

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о модели точечных зарядов, об опытах Кулона, о законе Кулона, кулоновских силах, взаимодействии неподвижных зарядов внутри диэлектрика.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональная зависимость).

### Организация образовательного пространства

#### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### *Демонстрационное оборудование*

Электростатический маятник или чувствительные весы для иллюстрации справедливости закона Кулона.

#### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимация «Опыт Кулона» (ЭФУ).
- Интерактивный рисунок «Закон Кулона»: <http://gotourl.ru/7840>.

### Методические комментарии

Прежде всего, рекомендуется привести небольшую справку из истории науки. Об откры-

тии основного закона электростатики (закона Кулона) стало известно в 1785 г. из публикации ученого. Но впоследствии оказалось, что первым этот закон описал Г. Кавендиш в 1772 г. Но своих работ по электричеству Кавендиш не опубликовал. Около 100 лет рукописи находились в архиве семьи Кавендиша, пока не были переданы для печати Дж. К. Максвеллу. Произошло это через много лет (а именно в 1879 г.) после того, как закон взаимодействия зарядов был уже установлен Кулоном.

Если в кабинете физики имеется экспериментальная установка «электростатический маятник», то рекомендуется выполнить демонстрационный эксперимент для иллюстрации зависимости силы взаимодействия неподвижных зарядов от модуля взаимодействующих зарядов и от расстояния между ними.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Как уменьшить заряд шарика на изолирующем штативе в 2 раза; в 4 раза; в 8 раз? Как подобную задачу решал Кулон?

2) Как экспериментально исследовать зависимость кулоновской силы от расстояния между шариками?

Если же нет возможности провести демонстрацию, то решите с учащимися задачи № 1—3.

С учащимися, интересующимися физикой, разберите пример решения задачи. Это позволит отработать умение применять формулу закона Кулона и сформировать представление об уменьшении силы взаимодействия между зарядами в однородном диэлектрике. После этого рассмотрите вопрос для обсуждения № 2.

**Домашнее задание:** § 58, вопросы после параграфа, вопрос для обсуждения № 1, задачи № 4 и 5, интересные задания (§ 58 ЭФУ).

**Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о теории близкодействия и дальнего действия, об электрическом поле и его основных свойствах, о напряженности электрического поля, принципе суперпозиции электрических полей, напряженности точечного заряда.

*Личностные:* развивать основы целостного мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки.

*Метапредметные:* формировать умение самостоятельно определять цели своего обучения, ставить и формулировать для себя новые задачи в учебе и познавательной деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов).

**Организация образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Цифровой образовательный ресурс*

Анимация «Принцип суперпозиции электрических полей» (ЭФУ).

**Методические комментарии**

Перед введением понятия напряженности электрического поля необходимо остановиться на свойствах электрического поля и модели проб-



ного заряда. После этого обсудите напряженность как силовую характеристику электрического поля, имеющую модуль и направление. Рассмотрите, какое направление имеет вектор напряженности положительного и отрицательного точечного заряда в пространстве вблизи этого точечного заряда.

Предложите учащимся ответить на вопрос № 3 после параграфа. Задайте вопрос учащимся о том, всегда ли сила, действующая на заряд, который помещен в электрическое поле, совпадает по направлению с вектором напряженности этого поля. Затем перейдите к вопросу для обсуждения № 1.

Если уровень математической подготовки класса невысок, то рассмотрите решение задач № 1 и 2, в которых осуществляется сложение векторов, лежащих на одной прямой. Можно также разобрать пример решения задачи.

**Домашнее задание:** § 59, вопросы после параграфа № 1, 2, 4 и 5, пример решения задачи (с другим условием).

## Урок 86/4

### Графическое изображение электрических полей (§ 60)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о линиях напряженности электрического поля и их свойствах.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины).

## Организация образовательного пространства

### *Учебные пособия*

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

• *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### *Демонстрационное оборудование*

• Кюветы для показа картин электрических полей.

• Набор электродов.

• Высоковольтный выпрямитель.

• Документ-камера для проецирования картины электрических полей разной конфигурации на экран.

### *Цифровой образовательный ресурс*

Видеофрагмент «Картин электрических полей» (ЭФУ).

### **Методические комментарии**

На уроке рекомендуется провести демонстрацию картин электрических полей, создаваемых различной конфигурацией зарядов. При этом необходимо обсудить принципиальное различие картин однородных и неоднородных электрических полей.

Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Как передается действие наэлектризованного тела на другие тела?

2) В чем состоит отличие картины электрического поля, созданного двумя плоскими электродами в форме круга, от картины поля, созданного двумя плоскими пластинами?

Рассмотрите с учащимися вопросы для обсуждения № 1 и 2, а затем перейдите к решению задач № 3 и 4 из § 59.

**Домашнее задание:** § 60, вопросы после параграфа, задачи № 10.27, 10.29, 10.32, 10.36—10.38 из задачника.

## Урок 87/5

### Напряженность поля различной конфигурации зарядов (§ 61\*)

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к рассмотрению § 62.

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о поверхностной плотности заряда, напряженности поля равномерно заряженной сферы, плоскости, двух бесконечных параллельных равномерно заряженных пластин.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (векторные величины, сложение векторов, сфера, подобие фигур).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

## Методические комментарии

С учащимися необходимо рассмотреть решение задач на определение напряженности электрического поля, созданного различной конфигурацией зарядов. При этом следует использовать принцип суперпозиции электрических полей. На уроке рекомендуется разобрать задачи № 10.75—10.77 из задачника.

**Домашнее задание:** § 61\*, вопросы после параграфа, задачи № 10.73, 10.74, 10.78—10.80 из задачника, интерактивные задания (§ 61 ЭФУ).

### Урок 88/6

## Работа кулоновских сил. Энергия взаимодействия точечных зарядов (§ 62)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о работе кулоновских сил, потенциальном поле, потенциальной энергии заряда в однородном электростатическом поле, нулевом уровне потенциальной энергии в электростатике, \*энергии взаимодействия точечных зарядов, \*потенциальной энергии системы точечных зарядов.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

### Организация образовательного пространства

#### Учебные пособия

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика,

молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

• *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### *Демонстрационное оборудование*

- Кювета для показа картин электрических полей.
- Модель электрометра.
- Модель электростатического измерительного механизма.
- Изолирующий штатив.
- Металлический шарик, подвешенный на проволоке.

### **Методические комментарии**

На уроке рекомендуется провести два демонстрационных эксперимента. В первом из них демонстрируется работа сил электростатического поля при перемещении шарика на изолирующем штативе, а во втором — принцип действия электростатического вольтметра (на модели). Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Какой вид энергии превращается в потенциальную энергию поднявшегося шарика?

2) Чему равна сила, с которой электростатическое поле действует на стрелку электрометра?

3) Будет ли отклоняться стрелка электрометра, если его корпус заземлить?

4) От чего зависит сила, действующая на измерительный механизм в электрометре?

После этого следует решить задачи № 11.92—11.94 из задачника.

**Домашнее задание:** § 62, вопросы после параграфа, задача № 10.99 из задачника, интерактивное задание (§ 62 ЭФУ).

**Цели урока**

*Предметные:* формировать представления о потенциале электростатического поля, разности потенциалов, об эквипотенциальных поверхностях, о связи между напряженностью электрического поля и разности потенциалов.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости).

**Организация  
образовательного пространства***Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

*Демонстрационное оборудование*

- Кондуктор.
- Электрометр.
- Пробный шарик.
- Провод.
- Высоковольтный выпрямитель.

**Методические комментарии**

На уроке рекомендуется провести демонстрационные эксперименты. При этом следует показать, что потенциалы всех точек заряженного проводника одинаковы. Учащиеся активно участву-







*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме, графиками.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

### Методические комментарии

Изучение потенциала поля различной конфигурации зарядов рекомендуется проводить с опорой на графики зависимости  $\varphi(r)$ . Для обсуждения теоретического материала воспользуйтесь вопросами № 1 и 2 после параграфа. Для перехода к решению количественных задач разберите пример решения задачи и решите задачи № 1 и 2. При наличии свободного времени следует рассмотреть вопрос для обсуждения и вопрос № 3 после параграфа.

**Домашнее задание:** § 64, задачи № 3 и 4.

## Урок 91/9

### Проводники в электростатическом поле (§ 65)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления о свободных зарядах, свойствах электростатического поля внутри проводника, явлении электростатической индукции, явлении электризации через влияние.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (электростати-

ческая защита чувствительных измерительных приборов).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

- Проводник сложной формы с выступающей поверхностью.
- Электрометр.
- Электроскоп.
- Большой металлический шар.
- Металлический лист.
- Пробный шарик.
- Провод.
- Высоковольтный выпрямитель.

### *Цифровые образовательные ресурсы*

- Анимации «Модель строения проводника и диэлектрика», «Проводник во внешнем электростатическом поле», «Опыт Кавендиша» (ЭФУ).
- Видеофрагмент «Экранирующее действие проводника» (ЭФУ).

## Методические комментарии

На уроке рекомендуется выполнить два демонстрационных эксперимента: «Распределение зарядов на поверхности проводника», «Экранирующее действие проводников». Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационных экспериментов. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) В каких местах поверхности проводника сложной геометрической формы наблюдается наибольшая поверхностная плотность заряда?

2) В чем состоит различие электростатического и гравитационного полей?

3) Почему поверхность проводника является эквипотенциальной?

После этого перейдите к изучению основных свойств электростатического поля внутри проводника. При изложении нового материала можно опираться на вопросы после параграфа. Далее логично рассмотреть вопросы для обсуждения № 1 и 2. С учащимися желательно разобрать пример решения задачи, что позволит объяснить электростатическую защиту чувствительных измерительных приборов и заземление. Затем решите задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 65, задачи № 3 и 4 (по желанию), интерактивное задание (§ 65 ЭФУ).

## Урок 92/10 Решение задач (§ 62, 63, 65)

### Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки решения задач на расчет потенциала электростатического поля, разности потенциалов, потенциальной энергии заряда в электростатическом поле, работы сил однородного электростатического поля, описание свойств электростатического поля внутри проводника.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций).

# Организация образовательного пространства

## Учебное пособие

Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А. Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

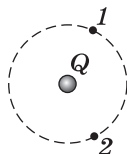
### Методические комментарии

Урок рекомендуется начать с теста, рассчитанного на 10 мин. Учащимся следует предложить не более 5 задач.

Ниже приведены примерные задания теста. После выполнения теста учащимся необходимо поменяться тетрадями и проверить ответы друг у друга. Учитель заранее должен подготовить ответы к тесту на закрытой части доски.

1. Электростатическое поле создано зарядом  $Q$  (см. рисунок). Точки 1 и 2 находятся на одинаковом расстоянии от заряда. Разность потенциалов между точками 1 и 2

- 1)  $> 0$
- 2)  $< 0$
- 3)  $> 0$  или  $< 0$  в зависимости от знака заряда  $Q$
- 4) 0



2. Заряд  $-1 \cdot 10^{-3}$  Кл под действием сил электростатического поля перемещается из точки 1 в точку 2 (см. рисунок к задаче 1). Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна 3000 В. Какую работу совершают внешние силы при данном перемещении?

- 1)  $-3$  Дж
- 2)  $3$  Дж
- 3)  $3 \cdot 10^{-6}$  Дж
- 4)  $-3 \cdot 10^{-6}$  Дж

3. Потенциальная энергия электростатического взаимодействия зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , находящихся на расстоянии  $l$  друг от друга, равна  $W$ . Чему равна потенциальная энергия взаимодействия зарядов  $q_1$  и  $2q_2$ , находящихся на расстоянии  $4l$ ?

- 1)  $2W$
- 2)  $8W$
- 3)  $0,5W$
- 4)  $W$

4. Точечный заряд  $1 \cdot 10^{-8}$  Кл находится на расстоянии 50 см от поверхности проводящей сферы, радиус которой



- 1-й тип задач на тему «Работа сил электростатического поля» (задачи № 10.125—10.127).

- 2-й тип задач на тему «Движение заряженных частиц в электростатическом поле» (задачи № 10.119—10.122). Данный тип задач особенно важен. При их решении учащиеся повторяют основные кинематические уравнения, законы динамики, законы сохранения энергии и импульса. Обратите внимание на дополнительный теоретический материал, приведенный в начале этой темы.

- 3-й тип задач на тему «Проводники в электростатическом поле» (задачи № 10.148—10.152). Задачи данного типа решают учащиеся, проявляющие интерес к физике.

После решения задач каждая группа делегирует одного учащегося для объяснения хода решения на доске.

**Домашнее задание:** нерешенные на уроке задачи.

## Урок 93/11 Диэлектрики в электростатическом поле (§ 66)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об электрических свойствах диэлектриков, о явлении поляризации диэлектрика, диэлектрической проницаемости.

*Личностные:* развивать интерес к изучению темы и мотивировать желание применять приобретенные умения и навыки.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и химией (внутримолекулярные химические связи).

## Организация образовательного пространства

### Учебные пособия

• *Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

• *Комиссаров В. Ф., Заболотский А. А., Петрова М. А.* Сборник задач по физике. 10 класс. — М.: Дрофа, 2019.

### Демонстрационное оборудование

- Электрометр.
- Толстый лист диэлектрика.
- Провод.
- Высоковольтный выпрямитель.

### Цифровые образовательные ресурсы

• Видеофрагмент «Диэлектрик в электростатическом поле» (ЭФУ).

• Анимация «Неполярный диэлектрик во внешнем электростатическом поле» (ЭФУ).

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется провести демонстрационный эксперимент, описанный в учебнике. Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему при поднесении толстого стекла к диску электрометра его стрелка отклонится — приблизится к стержню?

2) Что произойдет, если это стекло в электростатическом поле разделить на две части? Будут ли эти части заряжены?

Рассмотрите с учащимися вопросы для обсуждения № 1 и 2. Уровень этих вопросов соответствует уровню качественных задач ЕГЭ по физике. После этого можно перейти к решению задач № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 66, вопросы после параграфа, задача № 10.165 из задачника (для учащихся, интересующихся физикой).

## Урок 94/12

### Электрическая емкость. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов (§ 67)

#### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об электрической емкости уединенного проводника, о типах конденсаторов, об электрической емкости конденсатора, о зависимости емкости плоского конденсатора от его геометрических характеристик и свойств диэлектрика между его обкладками, \*последовательном и параллельном соединениях конденсаторов.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* формировать умения делать обобщения, устанавливать аналогии, моделировать физические явления и процессы.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (конденсаторы).

#### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

#### Демонстрационное оборудование

- Электромметр.
- Полый металлический шар с отверстием.
- Металлический шарик на изолирующей ручке.
- Полый металлический шар меньшего радиуса.



## Цифровые образовательные ресурсы

- Анимации «Зависимость электрической емкости проводника от окружающих тел», «Виды конденсаторов» (ЭФУ).
- Видеофрагмент «От чего зависит электрическая емкость конденсатора» (ЭФУ).
- Анимация «Емкость конденсатора»: <http://gotourl.ru/7841>.
- Интерактивная задача «Емкость конденсатора»: <http://gotourl.ru/7842>.

### Методические комментарии

На уроке рекомендуется провести демонстрацию, описанную в учебнике. Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Почему меняется потенциал проводника, если поднести к нему ладони рук?

2) Что происходит с электрической емкостью шара при уменьшении его размера?

После изучения материала рубрики «Это любопытно...» рассмотрите с учащимися вопрос для обсуждения № 2. Затем разберите пример решения задачи и решите задачи № 1 и 2.

**Домашнее задание:** § 67, задачи № 3—5, интерактивные задания (§ 67 ЭФУ).

### Урок 95/13

### Лабораторная работа № 10

### «Измерение электрической емкости конденсатора»

#### Цели урока

*Предметные:* научиться определять электрическую емкость конденсатора.

*Личностные:* развивать готовность к выполнению экспериментальных исследований.

*Метапредметные:* отрабатывать умение планировать учебную деятельность.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (соотношения между величинами), физикой и метрологией (прямые и косвенные измерения).

### Методические комментарии

Описание цели работы, оборудования, необходимых теоретических сведений и хода выполнения работы приведено в учебнике.

## Урок 96/14 Энергия электрического поля (§ 68)

### Цели урока

*Предметные:* формировать представления об энергии заряженного конденсатора и проводника, объемной плотности энергии электрического поля; \*применять закон сохранения энергии к расчету энергии электрического поля конденсатора.

*Личностные:* вызвать заинтересованность в изучении физики.

*Метапредметные:* развивать навыки работы с информацией, представленной в знаково-символьной форме.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (применение закона сохранения энергии к расчету энергии электрического поля конденсатора).

### Организация образовательного пространства

#### Учебное пособие

Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

## *Демонстрационное оборудование*

- Конденсаторы большой емкости.
- Источник постоянного напряжения (5—10 В).
- Лампочка от карманного (автомобильного) фонаря.
- Провод.

### **Методические комментарии**

Урок рекомендуется начать с рассмотрения вопроса № 1 после параграфа. Далее следует провести демонстрационный эксперимент и показать, что заряженный конденсатор обладает электрической энергией. Учащиеся активно участвуют в обсуждении результатов демонстрационного эксперимента. В ходе дискуссии они отвечают на следующие вопросы.

1) Что произойдет, если напряжение, подаваемое на пластины конденсатора, постепенно уменьшать?

2) Включите последовательно в батарею три или четыре конденсатора одинаковой емкости. Разрядите эту батарею через ту же лампочку. Опишите наблюдаемые явления.

Затем перейдите к вопросам для обсуждения № 1—3. С учащимися, интересующимися физикой, рекомендуется разобрать решение задачи со звездочкой из текста параграфа.

**Домашнее задание:** § 68, вопросы № 2 и 3 после параграфа, задачи № 1 и 2, интерактивное задание (§ 68 ЭФУ).

## **Урок 97/15    Решение задач (§ 67, 68)**

Материал данного урока предназначен для учащихся, которые интересуются физикой. При двухчасовом изучении курса физики можно перейти к выполнению контрольной работы, предварительно повторив основные понятия и формулы темы.

## Цели урока

*Предметные:* закрепить навыки расчета параллельного и последовательного соединений конденсаторов, решения комплексных задач на применение формул энергии электрического поля конденсатора и закона сохранения энергии.

*Личностные:* формировать умение планировать свои действия в соответствии с учебным заданием.

*Метапредметные:* формировать умение преобразовывать известные модели и схемы в соответствии с поставленной задачей; строить модель/схему на основе условий задачи и (или) способа решения задачи; самостоятельно планировать и осуществлять текущий контроль своей деятельности.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и техникой (расчет различных соединений конденсаторов).

## Организация образовательного пространства

### *Учебное пособие*

*Шахмаев Н. М., Павлов Н. И.* Физический эксперимент в средней школе. В 2 ч. — Ч. 1. Механика, молекулярная физика, электродинамика. — М.: Мнемозина, 2010.

### *Демонстрационное оборудование*

- Стойка с высоковольтными конденсаторами.
- Электрометр.
- Высоковольтный выпрямитель.
- Цифровая лаборатория с датчиком тока.
- Провод.

## Методические комментарии

На уроке рекомендуется провести демонстрационные эксперименты на темы: «Параллельное соединение конденсаторов», «Последовательное соединение конденсаторов», «Процесс разрядки и зарядки конденсаторов».



ния, подключили к нему второй конденсатор такой же емкости. Что произойдет с энергией электрического поля?

- 1) уменьшится
- 2) увеличится
- 3) не изменится
- 4) для ответа на вопрос не хватает данных

5. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C$  зарядили до напряжения  $U$  и отключили от источника напряжения. Конденсатор заполнили жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Чему равна энергия электрического поля заряженного конденсатора?

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1) $CU^2/2$               | 3) $CU^2/2\varepsilon$    |
| 2) $(\varepsilon CU^2)/2$ | 4) $(\varepsilon^2 CU)/2$ |

Ответы: 1. 1). 2. 2). 3. 1). 4. 3). 5. 3).

**Домашнее задание:** подготовиться к контрольной работе: повторить основные понятия и формулы темы.

## Урок 98/16

## Контрольная работа по теме «Электростатика»

### Цели урока

*Предметные:* проверить усвоение основных понятий и законов по теме «Электростатика».

*Личностные:* развивать готовность к самоконтролю полученных знаний и сформированных умений.

*Метапредметные:* способствовать развитию умений анализировать, сравнивать, обобщать, делать выводы, применять полученные знания в новой ситуации.

*Межпредметные:* показывать на примерах взаимосвязь между физикой и математикой (функциональные зависимости, графики функций, скалярные и векторные величины).

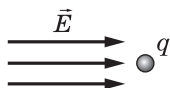
## Методические комментарии

Из предложенных ниже вариантов учитель может самостоятельно разработать содержание контрольной работы в зависимости от уровня подготовки учащихся. Каждое задание части 1 оценивается в 1 балл, части 2 — 3 балла.

### Вариант 1

#### Часть 1

1. В однородном электростатическом поле напряженностью  $E = 4 \cdot 10^5$  В/м расположено небольшое тело, заряд которого  $q = 2 \cdot 10^{-8}$  Кл (см. рисунок). Чему равна и куда направлена сила, действующая на этот заряд?



- 1)  $8 \cdot 10^{-3}$  Н, вправо                      3)  $0,5 \cdot 10^{-13}$  Н, вправо  
2)  $8 \cdot 10^{-3}$  Н, влево                      4)  $0,5 \cdot 10^{-13}$  Н, влево

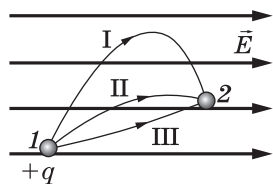
2. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние между ними уменьшить в 3 раза?

- 1) увеличится в 3 раза                      2) уменьшится в 3 раза  
3) увеличится в 9 раз                        4) уменьшится в 9 раз

3. Пылинка, имевшая положительный заряд  $+e$ , потеряла один электрон. Каким в результате этого стал электрический заряд пылинки?

- 1) 0    2)  $-2e$     3)  $-e$     4)  $+2e$

4. Положительный заряд  $+q$  может перемещаться в однородном электростатическом поле из точки 1 в точку 2 по разным траекториям (см. рисунок). При перемещении по какой траектории сила электростатического поля совершает меньшую работу?



- 1) I    2) II    3) III  
4) работа одинакова при движении по всем траекториям

5. На расстоянии  $r$  от центра заряженной сферы радиусом  $R$  потенциал электростатического поля равен

- 1)  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$     3)  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$   
2)  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$     4)  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon(R+r)}$

## Часть 2

6. Два точечных одноименных заряда  $2 \cdot 10^{-10}$  Кл находятся на концах гипотенузы длиной 15 см. Определите напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 12 см от первого и 9 см от второго заряда.

7. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальную силу натяжения 10 мН. На этой нити подвешен шарик массой 0,6 г, имеющий положительный заряд 11 нКл. Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят второй шарик, имеющий отрицательный заряд  $-13$  нКл. При каком расстоянии между шариками нить разорвется?

8. Постоянные потенциалы двух проводников относительно поверхности Земли соответственно равны  $\varphi_1 = 24$  В и  $\varphi_2 = -6$  В. Какую работу необходимо совершить, чтобы перенести заряд  $Q = 1 \cdot 10^{-7}$  Кл со второго проводника на первый?

9. Два проводящих шара радиусами  $R_1$  и  $R_2$  расположены на большом расстоянии друг от друга. На шаре радиусом  $R_1$  помещен заряд  $Q_1$ , на шаре радиусом  $R_2$  — заряд  $Q_2$ . Каким будут заряды на шарах после их соединения проводником? Электрической емкостью проводника, соединяющего шары, пренебречь.

## Вариант 2

### Часть 1

1. Напряженность электрического поля измеряют с помощью пробного заряда  $q$ . Если модуль пробного заряда уменьшить в  $n$  раз, то модуль напряженности поля

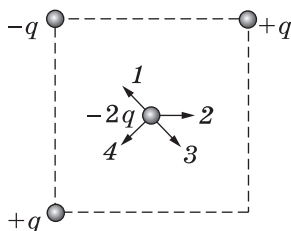
- 1) не изменится                      2) увеличится в  $n$  раз  
3) уменьшится в  $n$  раз            4) увеличится в  $n^2$  раз

2. От капли, имевшей электрический заряд  $-2e$ , отделилась капля с зарядом  $+e$ . Каким стал электрический заряд оставшейся части капли?

- 1)  $-e$                                       3)  $+e$   
2)  $-3e$                                     4)  $+3e$

3. В трех вершинах квадрата размещены точечные заряды:  $+q$ ,  $-q$ ,  $+q$  (см. рисунок). Как направлена кулоновская сила, действующая на точечный заряд  $-2q$ , находящийся в центре квадрата?

- 1) 1    3) 3  
2) 2    4) 4





4. Как изменится работа электростатического поля по перемещению электрона из одной точки поля в другую при увеличении разности потенциалов между точками в 3 раза?

- 1) уменьшится в 9 раз                      2) уменьшится в 3 раза  
3) увеличится в 3 раза                    4) не изменится

5. В однородном электростатическом поле напряженностью  $E$  разность потенциалов между точками 1 и 2 определяется выражением

1)  $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{E}{x_1 - x_2}$                       3)  $\varphi_1 - \varphi_2 = E(x_1 - x_2)$

2)  $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{E_x}{x_2 - x_1}$                       4)  $\varphi_1 - \varphi_2 = E_x(x_2 - x_1)$

### Часть 2

6. Два точечных заряда  $4 \cdot 10^{-9}$  Кл и  $10^{-9}$  Кл находятся на расстоянии 24 см друг от друга. В какой точке на линии, соединяющей эти заряды, нужно поместить заряд, чтобы он оказался в равновесии?

7. На шелковой нити в воздухе висит неподвижно шарик массой 2 г, имеющий заряд  $3 \cdot 10^{-8}$  Кл. Определите, какой будет сила натяжения нити, если под шариком на расстоянии 10 см от него поместить другой шарик с одноименным зарядом  $2,4 \cdot 10^{-7}$  Кл.

8. Сфера равномерно заряжена по поверхности. Потенциал центра сферы  $\varphi_1 = 120$  В, а потенциал на расстоянии  $r = 36$  см от центра сферы  $\varphi_2 = 20$  В. Определите радиус  $R$  сферы.

9. Две частицы одинаковой массы  $m_1 = m_2$  движутся навстречу друг другу из бесконечности с одинаковыми начальными скоростями ( $v_1 = v_2 = v$ ). Заряды частиц  $Q_1$  и  $Q_2$  ( $Q_1 \neq Q_2$ ). Определите наименьшее расстояние, на которое сблизятся частицы.

**Ответы. Вариант 1**

Часть 1. 1. 1). 2. 3). 3. 4). 4. 4). 5. 3).

Часть 2. 6.  $E = 25$  В/м. 7.  $x = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{T - mg}}$ ;  $x = 3,6$  см.

8.  $A = 3 \cdot 10^{-6}$  Дж. 9.  $q_1 = \frac{R_1 Q}{R_1 + R_2}$ ,  $q_2 = \frac{R_2 Q}{R_1 + R_2}$ .

**Вариант 2**

Часть 1. 1. 2). 2. 2). 3. 3). 4. 3). 5. 2).

Часть 2. 6.  $x = 0,16$  м. 7.  $T = 1,35 \cdot 10^{-2}$  Н. 8.  $R = 6$  см. 9.  $r_{\min} = \frac{kQ_1Q_2}{v^2}$ .

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Примерное тематическое и поурочное планирование учебного материала</b> .....	5
<b>Физика и естественно-научный метод познания природы (2 ч)</b>	
Методические особенности изложения .....	16
Урок 1/1. Физика и объекты ее изучения. Методы научного исследования в физике (§ 1) .....	17
Урок 2/2. Измерение физических величин (§ 2) .....	18
<b>Кинематика (13 ч)</b>	
Методические особенности изложения .....	21
Подготовка к ЕГЭ по физике .....	22
Дополнительный материал .....	24
Задания для экспериментальной и проектной деятельности .....	27
Примерные темы рефератов и проектов .....	28
Урок 3/1. Различные способы описания механического движения (§ 3) .....	28
Урок 4/2. Перемещение. Радиус-вектор (§ 4) .....	30
Урок 5/3. Равномерное прямолинейное движение (§ 5) .....	31
Урок 6/4. Движение тела на плоскости. Средняя скорость. Мгновенная скорость (§ 6) .....	33
Урок 7/5. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение (§ 7) .....	35

Урок 8/6. Лабораторная работа № 1 «Исследование равноускоренного прямолинейного движения» . . . . .	36
Урок 9/7. Свободное падение тел (§ 8) . . . . .	37
Дополнительный материал . . . . .	38
Урок 10/8. Лабораторная работа № 2 «Исследование движения тела, брошенного горизонтально» . . . . .	40
Урок 11/9. Движение тела, брошенного под углом к горизонту (§ 9*) . . . . .	40
Урок 12/10. Относительность механического движения. Закон сложения скоростей (§ 10) . . . . .	42
Урок 13/11. Кинематика движения по окружности (§ 11) . . . . .	43
Урок 14/12. Решение задач (§ 11) . . . . .	44
Урок 15/13. Контрольная работа по теме «Кинематика» . . . . .	45

## Динамика (16 ч)

Методические особенности изложения . . . . .	49
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	50
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	51
Примерные темы рефератов и проектов . . . . .	51
Урок 16/1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета (§ 12) . . . . .	52
Урок 17/2. Сила. Принцип суперпозиции сил (§ 13) . . . . .	53
Урок 18/3. Инертность. Масса. Второй закон Ньютона (§ 14) . . . . .	55
Урок 19/4. Третий закон Ньютона. Принцип относительности Галилея (§ 15) . . . . .	57
Урок 20/5. Сила всемирного тяготения. Закон всемирного тяготения (§ 16) . . . . .	60
Урок 21/6. Сила тяжести. Движение искусственных спутников Земли (§ 17) . . . . .	61

Урок 22/7. Лабораторная работа № 3 «Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести» . . .	63
Урок 23/8. Сила упругости. Закон Гука (§ 18) . . . . .	64
Урок 24/9. Вес тела. Невесомость. Перегрузки (§ 19) . . . . .	65
Урок 25/10. Лабораторная работа № 4 «Исследование изменения веса тела при его движении с ускорением» . . . . .	66
Урок 26/11. Сила трения (§ 20) . . . . .	67
Урок 27/12. Сила сопротивления при движении тел в жидкостях и газах (§ 21*) . . . . .	68
Урок 28/13. Лабораторная работа № 5 «Измерение коэффициента трения скольжения» . . . . .	69
Урок 29/14. Динамика движения по окружности (§ 22*) . . . . .	70
Урок 30/15. Решение задач (§ 16, 22*) . . . . .	71
Урок 31/16. Контрольная работа по теме «Динамика» . . . . .	74

### **Законы сохранения в механике (12 ч)**

Методические особенности изложения . . . . .	78
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	83
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	85
Примерные темы рефератов и проектов . . . . .	85
Урок 32/1. Импульс материальной точки. Другая формулировка второго закона Ньютона (§ 23) . . . . .	86
Урок 33/2. Закон сохранения импульса. Реактивное движение (§ 24) . . . . .	87
Урок 34/3. Реактивные двигатели. Успехи в освоении космического пространства (§ 25*) . . . . .	89

Урок 35/4. Центр масс. Теорема о движении центра масс (§ 26) . . . . .	90
Урок 36/5. Работа силы. Мощность. КПД механизма (§ 27) . . . . .	91
Урок 37/6. Решение задач (§ 27) . . . . .	92
Урок 38/7. Механическая энергия. Кинетическая энергия (§ 28) . . . . .	94
Урок 39/8. Потенциальная энергия (§ 29) . . .	96
Урок 40/9. Закон сохранения механической энергии (§ 30) . . . . .	98
Урок 41/10. Абсолютно упругое и абсолютно неупругое соударения тел (§ 31*) . . . . .	99
Урок 42/11. Решение задач (§ 24, 30) . . . . .	101
Урок 43/12. Контрольная работа по теме «Законы сохранения в механике» . . . . .	104

### **Статика. Законы гидро- и аэростатики (7 ч)**

Методические особенности изложения . . . . .	110
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	113
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	113
Примерные темы рефератов и проектов . . . . .	114
Дополнительный материал . . . . .	114
Урок 44/1. Условия равновесия твердых тел (§ 32) . . . . .	116
Урок 45/2. Центр тяжести твердого тела. Виды равновесия (§ 33) . . . . .	117
Урок 46/3. Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля (§ 34) . . . . .	119
Урок 47/4. Закон Архимеда (§ 35) . . . . .	120
Урок 48/5. Ламинарное и турбулентное течение жидкости. Уравнение Бернулли (§ 36*) . . . . .	121
Урок 49/6. Решение задач (§ 32—35) . . . . .	122
Урок 50/7. Контрольная работа по теме «Статика. Законы гидро- и аэростатики» . . .	124

## Основы молекулярно-кинетической теории (15 ч)

Методические особенности изложения . . . . .	129
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	133
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	133
Примерные темы рефератов и проектов . . . . .	134
Урок 51/1. Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытные обоснования (§ 37) . . . . .	134
Урок 52/2. Общие характеристики молекул (§ 38) . . . . .	136
Урок 53/3. Температура. Измерение температуры (§ 39) . . . . .	137
Урок 54/4. Газовые законы. Абсолютная шкала температур (§ 40) . . . . .	138
Урок 55/5. Лабораторная работа № 6 «Изучение изотермического процесса» . . . . .	140
Урок 56/6. Уравнение состояния идеального газа (§ 41) . . . . .	140
Урок 57/7. Решение задач (§ 40, 41) . . . . .	141
Урок 58/8. Лабораторная работа № 7 «Изучение уравнения состояния идеального газа» . . . . .	142
Урок 59/9. Основное уравнение МКТ (§ 42) . . . . .	143
Урок 60/10. Температура и средняя кинетическая энергия хаотического движения молекул (§ 43) . . . . .	145
Урок 61/11. Измерение скоростей молекул газа (§ 44) . . . . .	147
Урок 62/12. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления (§ 45*) . . . . .	148
Урок 63/13. Строение и свойства твердых тел (§ 46) . . . . .	149

Урок 64/14. Решение задач (§ 37—46) . . . . .	151
Урок 65/15. Контрольная работа по теме «Основы молекулярно-кинетической теории» . . . . .	152

### **Основы термодинамики (9 ч)**

Методические особенности изложения . . . . .	157
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	162
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	164
Примерные темы рефератов и проектов . . . . .	165
Урок 66/1. Работа газа в термодинамике. Количество теплоты. Уравнение теплового баланса (§ 47) . . . . .	165
Урок 67/2. Первый закон термодинамики (§ 48) . . . . .	166
Урок 68/3. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам (§ 49) . . . . .	167
Урок 69/4. Решение задач (§ 48, 49) . . . . .	169
Урок 70/5. Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики (§ 50) . . . . .	171
Урок 71/6. Тепловые машины. Цикл Карно (§ 51) . . . . .	172
Урок 72/7. Экологические проблемы использования тепловых машин (§ 52) . . . . .	174
Урок 73/8. Решение задач (§ 48, 51) . . . . .	175
Урок 74/9. Контрольная работа по теме «Основы термодинамики» . . . . .	178

### **Изменения агрегатных состояний вещества (8 ч)**

Методические особенности изложения . . . . .	182
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	186
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	188

Примерные темы рефератов и проектов . . . .	188
Дополнительный материал . . . . .	189
Урок 75/1. Испарение и конденсация. Насыщенный пар (§ 53) . . . . .	197
Урок 76/2. Кипение жидкости (§ 54) . . . . .	200
Урок 77/3. Влажность воздуха (§ 55) . . . . .	201
Урок 78/4. Лабораторная работа № 8 «Измерение относительной влажности воздуха» . . . . .	203
Урок 79/5. Плавление и кристаллизация вещества (§ 56) . . . . .	203
Урок 80/6. Лабораторная работа № 9 «Измерение температуры кристаллизации и удельной теплоты плавления вещества» . .	204
Урок 81/7. Решение задач (§ 53—56) . . . . .	205
Урок 82/8. Контрольная работа по теме «Изменения агрегатных состояний вещества» . . . . .	208

### **Электростатика (16 ч)**

Методические особенности изложения . . . . .	212
Подготовка к ЕГЭ по физике . . . . .	213
Дополнительный материал . . . . .	214
Задания для экспериментальной и проектной деятельности . . . . .	218
Примерные темы рефератов и проектов . . . .	218
Урок 83/1. Электрический заряд. Электризация тел. Закон сохранения электрического заряда (§ 57) . . . . .	219
Урок 84/2. Закон Кулона (§ 58) . . . . .	221
Урок 85/3. Электрическое поле. Напряженность электрического поля (§ 59) . . . . .	223
Урок 86/4. Графическое изображение электрических полей (§ 60) . . . . .	224



Урок 87/5. Напряженность поля различной конфигурации зарядов (§ 61*)	226
Урок 88/6. Работа кулоновских сил. Энергия взаимодействия точечных зарядов (§ 62)	227
Урок 89/7. Потенциал электростатического поля и разность потенциалов (§ 63)	229
Урок 90/8. Потенциал поля различной конфигурации зарядов (§ 64*)	231
Урок 91/9. Проводники в электростатическом поле (§ 65)	232
Урок 92/10. Решение задач (§ 62, 63, 65)	234
Урок 93/11. Диэлектрики в электростатическом поле (§ 66)	237
Урок 94/12. Электрическая емкость. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов (§ 67)	239
Урок 95/13. Лабораторная работа № 10 «Измерение электрической емкости конденсатора»	240
Урок 96/14. Энергия электрического поля (§ 68)	241
Урок 97/15. Решение задач (§ 67, 68)	242
Урок 98/16. Контрольная работа по теме «Электростатика»	245