

Муниципальное бюджетное образовательное учреждение города Ульяновска
«Средняя школа №5 им. С.М. Кирова»

Анализ типичных ошибок участников ЕГЭ
2016-2018 годов
при решении задач в разделе
"Молекулярная физика"

(В помощь учителю физики).

Титова О.А.- учитель физики
Заслуженный учитель РФ

Оглавление

Введение	2
1. Структура и содержание КИМ в соответствии с видами деятельности	4
2. Анализ результатов выполнения групп заданий, направленных на оценку различных способов действий, формируемых в процессе обучения физике.	4
3. Анализ результатов выполнения отдельных заданий или групп заданий в разделе «Молекулярная физика (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика) ».....	7
4. Основные модели заданий по теме «Молекулярная физика».....	10
4.1 Задание 8.....	10
4.2 Задание 10.....	12
4.3. Задание 11	15
4.4.Задание 12.....	17
4.5. Задание 22.....	19
4.6. Задание 23	22
4.7. Задание 25	32
4.8. Задание 26.....	34
4.9. Задание 28.....	38
4.10.Задание 30.....	42
5. Заключение.....	46
6. Используемая литература	47

Введение

Мировоззренческое значение раздела «Молекулярная физика» трудно переоценить. При его изучении происходит углубление понятия материи. Молекулы и атомы являются вещественной формой материи, объективно существующей в окружающем мире. Являясь видом материи, молекулы и атомы имеют присущие материи свойства, одно из которых — движение. Молекулы и атомы участвуют в особом движении, называемом тепловым, которое отличается от простейшего механического движения большой совокупностью участвующих в нем частиц и хаотичностью. Тепловое движение описывается статистическими законами. В связи с этим важно показать школьникам различие между статистическими и динамическими закономерностями, соотношение между ними и обратить внимание учащихся на отражение в этих закономерностях категорий необходимого и случайного.

Раздел «Молекулярная физика» дает прекрасную возможность для демонстрации дедуктивного метода изучения явлений природы. Применение дедукции в преподавании вносит свой вклад в развитие абстрактного мышления учащихся.

Велико политехническое значение этого раздела курса физики. Достижения молекулярной физики являются научной основой такой отрасли промышленности, как материаловедение. Знание внутреннего строения тел позволяет создавать материалы с заранее заданными свойствами, целенаправленно работать над повышением твердости, термостойкости, теплопроводности металлов и сплавов.

Изучение тепловых явлений дает возможность ознакомить учащихся с основами теплоэнергетики, отрасли, занимающей в нашей стране первое место в обеспечении энергией нужд промышленности и быта.

Раздел «Молекулярная физика» изучается в старших классах после раздела «Механика». Такое расположение материала, с одной стороны, соответствует методическому принципу рассмотрения физических явлений в порядке усложнения форм движения Материи, а с другой — позволяет изучать микроявления на количественном уровне и использовать известные из курса механики величины: масса, скорость, сила, импульс, энергия и т. д.

В данных методических рекомендациях представлен анализ выполнения и решения заданий, предложенных в КИМах по физике на протяжении последних трёх лет из раздела «Молекулярная физика». Анализ показал, что данные задания вызвали наибольшее затруднение при решении на ЕГЭ по физике.

1. Структура и содержание КИМ в соответствии с видами деятельности

Наиболее важные с точки зрения продолжения образования в высших учебных заведениях содержательные элементы контролировались в одном и том же варианте заданиями разных уровней сложности.

Выполнение заданий базового уровня сложности позволяет оценить уровень освоения наиболее значимых содержательных элементов курса физики средней школы и овладение наиболее важными видами деятельности. Среди заданий базового уровня выделяются задания, содержание которых соответствует стандарту базового уровня. Минимальное количество баллов ЕГЭ по физике, подтверждающее освоение выпускником программы среднего общего образования по физике, устанавливается исходя из требований освоения стандарта базового уровня. Использование в экзаменационной работе заданий повышенного и высокого уровней сложности позволяет оценить степень подготовленности выпускника к продолжению образования в вузе. Приоритетом при конструировании КИМ является необходимость проверки предусмотренных стандартом видов деятельности:

- усвоение понятийного аппарата курса физики;
- овладение методологическими умениями;
- применение знаний при объяснении физических процессов и решении задач.

2. Анализ результатов выполнения групп заданий, направленных на оценку различных способов действий, формируемых в процессе обучения физике.

Наиболее важным видом деятельности с точки зрения успешного продолжения образования в вузе является решение задач. Каждый вариант включал в себя задачи по всем разделам разных уровней сложности, позволяющие проверить умение применять физические законы и формулы, как в типовых учебных ситуациях, так и в нетрадиционных ситуациях, требующих проявления достаточно высокой степени самостоятельности при комбинировании известных алгоритмов действий или создании собственного плана выполнения задания.

Для ЕГЭ по физике значимым является и диапазон от 61 до 100 тестовых баллов, который демонстрирует готовность выпускников к успешному продолжению образования в организациях высшего образования.

В таблице 1 приведены результаты выполнения заданий экзаменационной работы по содержательным разделам школьного курса физики.

Раздел курса физики	Средний % выполнения по группам заданий 2018	Средний % выполнения по группам заданий 2017
Механика	60,8	59,5
Молекулярная физика	53,3	53,3
Электродинамика	49,9	49,2

Квантовая физика и элементы астрофизики	60,3	47,7
--	------	------

По механике, **молекулярной физике** и электродинамике средние результаты по блокам содержания можно сравнивать, так как в этом году по этим разделам процент заданий базового, повышенного и высокого уровней сложности был одинаковым. По квантовой физике в работу не включались задачи высокого уровня сложности, поэтому средний процент выполнения этой группы заданий отражает только выполнение заданий базового и повышенного уровней сложности. Для заданий этих уровней сложности результаты по квантовой физике несколько повысились. Как и в прошлом году, четко прослеживаются приоритет механики и **более низкие результаты по молекулярной физике** и электродинамике. Это еще раз подтверждает существующее в тематическом планировании курса несоответствие учебного времени, отводимого на изучение электродинамики, объему содержания этого раздела и требованиям к глубине его освоения.

В таблице 2 приведены результаты выполнения групп заданий, направленных на оценку различных способов действий, формируемых в процессе обучения физике.

Таблица 2

Способы действий	Средний % выполнения по группам заданий	
	2017 г.	2018 г.
Применение законов и формул в типовых учебных ситуациях	67,1	68,8
Анализ и объяснение явлений и процессов	63,1	61,4
Методологические умения	75,3	65,3
Решение задач	19,3	20,6

На рис. 2 приведена диаграмма средних процентов выполнения по каждой линии заданий для экзаменационной работы 2018 г.



Рис. 2

Анализ результатов выполнения экзаменационной работы по физике в:

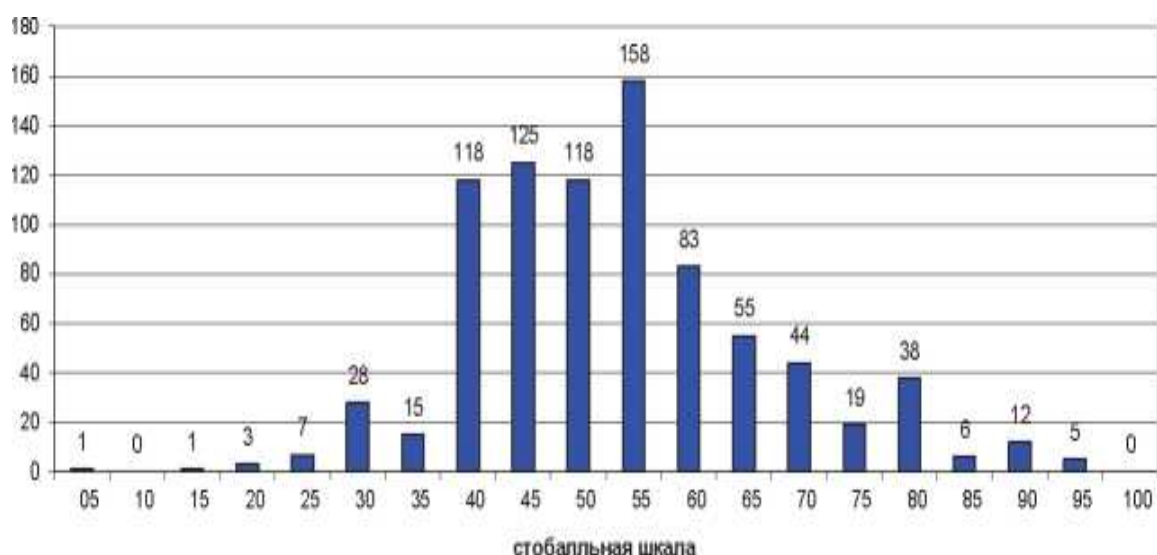
Городе Ульяновск (Код МОУО 1)

Физика 2018

Всего экзаменуемых 836

Средний балл - 51,50

Порог	Диапазон баллов	Количество экзаменуемых	
не преодолен	0 — 35	55	6,6%
преодолен	36 — 100	781	93,4%
Всего		836	
Параметр		Значение	
Количество образовательных учреждений		79	
Минимальный балл		0	
Максимальный балл		92	
Количество 100 балльников		0	



ВЫВОД о характере изменения результатов ЕГЭ по физике в сравнении с 2017 годом. (По Ульяновской области).

На основе анализа результатов сдачи ЕГЭ по физике можно сделать вывод о том, что в целом выпускники демонстрируют средний уровень подготовки к ЕГЭ по физике. В 2018 году по сравнению с 2017 годом увеличилось количество выпускников, не преодолевших минимальный порог, на 36 человек (65 чел., 3,9 % в 2017 г., 101 чел., 6,9 % в 2018 г.). При этом по сравнению с прошлым годом наблюдается также незначительное снижение среднего балла с 52,1 в 2017 году до 50,38 в 2018 году. При этом число получивших достаточно высокий балл (от 81 до 100 баллов) также снизилось с 56 чел. (3,4 %) в 2017 году до 33 чел. (2,2 %) в 2018 году. Выпускников, набравших 100 баллов по физике, в 2018 году нет. Для сравнения: в 2017 году была одна 100-балльная работа.



Исходя из общепринятых норм, содержательный элемент или умение считается усвоенным, если средний процент выполнения соответствующей группы заданий с кратким и развернутым ответом превышает 50%.

3. Анализ результатов выполнения отдельных заданий или групп заданий в разделе «Молекулярная физика (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика)».

По результатам выполнения групп заданий, проверяющих одинаковые элементы содержания и требующие для их выполнения одинаковых умений, можно говорить об усвоении элементов содержания и умений, проверяемых заданиями части 1 экзаменационной работы.

К ним относятся **умения:**

- вычислять значение физической величины с использованием изученных законов и формул в типовой учебной ситуации: зависимость средней кинетической энергии теплового движения молекул от температуры, основное уравнение МКТ, уравнение

состояния идеального газа, работа газа, первый закон термодинамики, КПД тепловой машины, влажность воздуха, количество теплоты;

- анализировать изменения характера физических величин для следующих процессов и явлений: изменение параметров газов в изопроцессе;
- проводить комплексный анализ физических процессов: изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графиков; сравнение изопроцессов, представленных в виде pV - или Tr -диаграммы; насыщенные и ненасыщенные пары;
- записывать показания измерительных приборов (манометр, барометр, мензурка) с учетом погрешности измерений, выбирать недостающее оборудование для проведения косвенных измерений и экспериментальную установку для проведения исследования;

К проблемным можно отнести группы заданий, которые контролировали **умения**:

- определять удельную теплоту парообразования и удельную теплоту плавления вещества с использованием графика зависимости времени нагревания от полученного количества теплоты, записывать показания манометра, применять первый закон термодинамики для циклического процесса с использованием pV - и pT -диаграмм;
- решать качественные задачи повышенного уровня сложности, решать расчетные задачи повышенного и высокого уровней сложности.

Рассмотрим более подробно особенности выполнения групп заданий, проверяющих наиболее важные способы действий

В экзаменационной работе по физике в разделе «Молекулярная физика (молекулярно-кинетическая теория, термодинамика)» были представлены задания разных уровней сложности: базового, повышенного и высокого.

Часть 1 содержала задания с кратким ответом: задания с записью ответа в виде числа, слова или двух чисел; задания на установление соответствия и множественный выбор, в которых ответы необходимо записать в виде последовательности цифр. Задание 21 проверяло освоение понятийного аппарата по молекулярной физике. Задания в конце части 1 были направлены на оценку методологических умений.

Часть 2 содержала 4 задания, объединенных общим видом деятельности - решение задач. Из них задания с кратким ответом и задания, для которых необходимо было привести развернутый ответ.

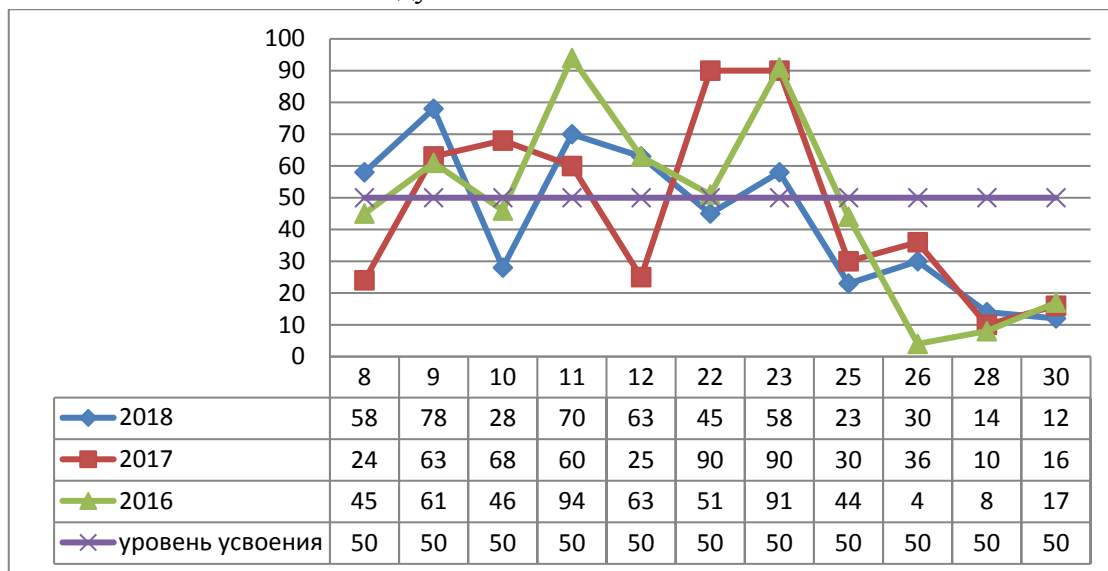
Уровень сложности заданий	Количество заданий	Максимальный первичный балл	Процент максимального первичного балла за задания данного уровня сложности от максимального первичного балла за всю работу, равного 17
Базовый	6	7	41
Повышенный	4	4	24
Высокий	1	6	35
Итого	11	17	100

Задания базового уровня были включены в часть 1 работы:

задания 8–10, 22 и 23. Это простые задания, которые проверяли усвоение наиболее важных физических понятий, моделей, явлений и законов.

Задания повышенного уровня распределялись между частями 1 и 2 экзаменационной работы: Задания 11, 12 части 1 оцениваются 2 баллами, если верно указаны оба элемента ответа. Задания 25,26 части 2 оцениваются 1 баллом, являясь заданиями повышенного уровня. Эти задания были направлены на проверку умения использовать понятия и законы физики для анализа различных процессов и явлений, а также умения решать задачи на применение одного - двух законов (формул) по какой либо из тем школьного курса физики. Во второй части задание 28 – повышенного уровня оценивалось в 3 балла, задание 30 части 2 являлись заданием высокого уровня сложности и проверяли умение использовать законы и теории физики в измененной или новой ситуации. Выполнение таких заданий требует применения знаний не только раздела «Молекулярной физики», но сразу из двух-трех разделов физики, т.е. высокого уровня подготовки учащихся.

Рассмотрим типичные ошибки и особенности решения заданий, выполненных менее чем 50 % выпускников. На диаграмме представлены обобщенные результаты выполнения заданий экзаменационной работы ЕГЭ по физике раздела Молекулярная физика» в Ульяновской области в этом году.



Согласно выбранному критерию в 1-ой части КИМ ЕГЭ по физике в 2018 году выпускники не справились с двумя заданиями: **10 (28,00 %)** и **22 (45,20 %)**. Все эти задания относятся к заданиям базового уровня. Это обусловлено недостаточностью проработки тем, соответствующих данным заданиям, незнанием физических законов и формул, ошибками при выполнении математических расчетов.

Стабильно вызывает затруднение задание **8 (2016г- 45%, 2017-24,1%, 2018-58%)**. Это обусловлено недостаточностью проработки тем: связь между давлением и средней кинетической энергией, абсолютной температурой, связи температуры со средней кинетической энергией, смысла уравнения Менделеева – Клапейрона, изопроцессов, умению показать примеры практического использования физических знаний, описывать и объяснять физические явления и свойства тел, результаты экспериментов.

Вызвало затруднение задание **23 (58%)**, хотя в предыдущие годы с ним справлялись практически 90-97% выпускников. Это обусловлено недостаточностью проработки тем, соответствующих данным заданиям, умению отличать гипотезы от научной теории, делать выводы на основе эксперимента и т.д.

Наряду с этим традиционно у выпускников вызвали затруднения задания 2-ой части экзаменационной работы повышенного уровня сложности: **25 (22,80 %), 26 (30,00 %), 28 (13,60 %)** и высокого уровней сложности: **30 (12,40 %)**. Следует особо подчеркнуть, что, к сожалению, ни для одного из заданий с развернутым ответом (задачи **28, 30**) не был также преодолен порог выполнения в 50% от общего количества работ.

Анализ выполненных заданий части 1 (1-24) КИМ ЕГЭ по физике различного уровня сложности показал, что затруднения вызвали вопросы и задачи по следующим темам курса физики:

4. Основные модели заданий по теме «Молекулярная физика».

Задания, проверяющие элементы содержания темы «Молекулярная физика», расположены в КИМ на линиях 8, 10, 11, 12, 25.

В линиях 8 и 10 проверяют основные формулы этой темы на уровне применения в стандартных ситуациях с использованием простейших расчётов.

4.1 Задание 8.

В линии 8 части 1 проверяют следующие элементы содержания:

- связь между давлением и средней кинетической энергией поступательного теплового движения молекул идеального газа (основное уравнение МКТ);

- связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его частиц;

- уравнение $p = nkT$;

- уравнение Менделеева-Клапейрона.

➤ Связь между давлением и средней кинетической энергией поступательного теплового движения молекул идеального газа, связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его частиц и уравнение $p = nkT$ проверяются примерно одинаковыми моделями заданий, преимущественно с использованием сравнения величин (изменится во столько-то раз). *Обратите внимание на необходимость перевода температуры в абсолютную шкалу.*

Пример1.

Во сколько раз уменьшится средняя кинетическая энергия движения молекул идеального газа, если давление увеличится в 2 раза, а концентрация молекул увеличится в 6 раз?

Решение

Основное уравнение МКТ связывает макроскопические параметры (давление, объём, температура) термодинамической системы с микроскопическими (масса молекул, средняя скорость их движения) $p = nkT$, где n — концентрация молекул газа. Из этого следует, что увеличение давления газа в 2 раза и увеличение концентрации частиц в 6 раз приведёт к уменьшению температуры в 3 раза.

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа прямо

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT.$$

пропорциональна абсолютной температуре:

При понижении абсолютной температуры в 3 раза средняя кинетическая энергия также уменьшится в 3 раза.

Ответ: 3.

➤ Наиболее сложными являются задания на уравнение Менделеева-Клапейрона, так как в них используются графики или таблицы. Для проведения математических расчётов необходимо определить отношение величин.

Пример 2.

В процессе, проводимом с неизменным количеством идеального газа, давление P газа изменяется прямо пропорционально квадратному корню из объема V газа: $P \sim \sqrt{V}$. Во сколько раз изменяется его абсолютная температура T при возрастании давления газа в 2 раза?

Решение:

Для неизменного количества идеального газа величина $\frac{pV}{T}$ остаётся постоянной согласно уравнению Клапейрона — Менделеева $pV = \nu RT$.

Согласно условию над фиксированным количеством газа проводится процесс, в ходе которого давление P газа изменяется прямо пропорционально квадратному корню из объема V газа: $p \sim \sqrt{V} \Leftrightarrow p^2 \sim V$. Поэтому для удобства введем коэффициент пропорциональности α , который связывает объём и квадрат давления: $V = \alpha p^2$.

Для данного конкретного процесса, выполняется следующий закон:

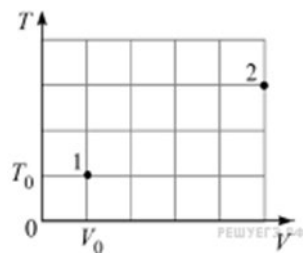
$$const = \frac{p \cdot V}{T} = \frac{p \cdot \alpha p^2}{T} = \alpha \frac{p^3}{T}.$$

Таким образом, в данном процессе возрастание давления в 2 раза приводит к увеличению абсолютной температуры в 8 раз.

Ответ: 8

Пример 3

На графике изображена диаграмма «температура — объём» (TV диаграмма). Изменное количество идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Определите, во сколько раз давление газа в состоянии 2 отличается от давления



газа в состоянии 1.

Решение

Из графика следует, что в таком процессе температура газа увеличилась в 3 раза, а объём вырос в 5 раз.

Запишем уравнение Менделеева — Клапейрона для двух состояний газа.

$$\begin{cases} p_1 = \frac{\nu RT_1}{V_1}, \\ p_2 = \frac{\nu RT_2}{V_2}. \end{cases} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{V_1}{V_2} = 0,6.$$

Ответ: 0,6.

Пример 4

Газ в цилиндре переводится из состояния А в состояние В, причём масса газа не изменяется. Параметры, определяющие состояние идеального газа, приведены в таблице.

	Р, 10 ⁵ Па	V, 10 ⁻³ м ³	T, К
Состояние А	1,0	4	
Состояние В	1,5	8	900

Какое число следует внести в свободную клетку таблицы?

Решение

Согласно уравнению Клапейрона — Менделеева, для фиксированного количества идеального газа в ходе любых процессов величина $\frac{pV}{T}$ остается неизменной. Следовательно, недостающее в таблице значение температуры равно

$$T_1 = T_2 \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = 900 \text{ К} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{1,5 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 300 \text{ К}.$$

Ответ: 300.

Большое внимание в КИМах по физике уделяется проверке понимания различных графических зависимостей. Здесь используются как задания с кратким ответом в виде числа, в которых необходимо определить значение величины при помощи предложенного графика, так и задания на соответствие, в которых необходимо установить соответствие между схематичными графиками и величинами, которые эти графики описывают в заданном процессе

4.2 Задание 10

Обучение комплексному анализу различных физических процессов возможно в рамках повторительно-обобщающих уроков и подготовки к экзаменам, так как для такого анализа требуется освоение достаточно большого блока теоретического материала. Но и в процессе изучения темы целесообразно чаще использовать обучающие задания, требующие проведения анализа отдельных характеристик процессов. При этом важно отбирать описания процессов, которые использовали бы разные способы представления информации (словесный, табличный, графический или при помощи схем и схематичных рисунков). Пример таких ситуаций (взяты из открытого банка ЕГЭ).

Согласно выбранному критерию в 1-ой части КИМ ЕГЭ по физике в 2018 году выпускники не справились с заданием 10 (28,00 %). Затруднения вызвали вопросы и задачи по следующим темам курса физики: Относительная влажность воздуха, количество теплоты (задание 10)

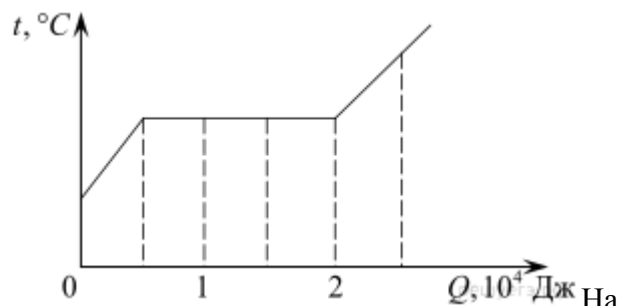
Количество теплоты:

Затруднения в 2018 году вызвали графики плавления и кипения вещества, по которым необходимо было определить удельную теплоту плавления/парообразования.

Пример такого задания приведен:

В задаче 10 затруднение вызвано необходимостью установления по графику границ фазового перехода из жидкого в газообразное состояние (горизонтальный участок) и определения количества теплоты, требуемое для парообразования указанной в задаче массы вещества. Причем ответ необходимо было записать в кДж/кг, что могло привести также к наличию ошибок математического характера.

Пример 1.



На рисунке показан график изменения температуры вещества по мере поглощения им количества теплоты. Вещество находится в сосуде под поршнем. Масса вещества равна 0,5 кг. Первоначально вещество было в жидком состоянии. Какова удельная теплота парообразования вещества? Ответ дайте в кДж/кг.

Решение.

Фазовому переходу из жидкости в газ соответствует горизонтальный участок графика. В этом переходе вещество поглотило $1,5 \cdot 10^4$ Дж теплоты. Значит, удельная теплота

парообразования равна
$$\frac{1,5 \cdot 10^4 \text{ Дж}}{0,5 \text{ кг}} = 30 \text{ кДж/кг}.$$

Ответ: 30.

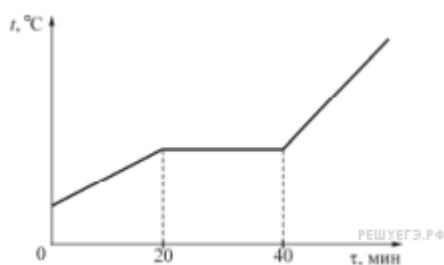
Пример 2.

Образец массой 3,6 кг, находящийся в твёрдом состоянии, поместили в электропечь и начали нагревать. На рисунке приведён график зависимости температуры t этого образца от времени τ . Известно, что мощность электропечи равна 0,6 кВт. Какова удельная теплота плавления образца (в кДж/кг)? Потерями теплоты при нагревании пренебречь.

Решение.

Плавление соответствует часть графика от 20 мин до 40 мин (т. е. 1200 с). $Q = A$, значит, $\lambda m = P\tau$, отсюда найдем удельную теплоту плавления:

$$\lambda = \frac{P\tau}{m} = \frac{600 \cdot 1200}{3,6} = 200000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 200 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$



Ответ: 200

Относительная влажность

Типовые задания требуют рассчитать относительную влажность. При этом предполагается, что выпускники должны знать о том, что давление насыщенных паров воды при температуре кипения (100°C) равно атмосферному давлению, значение которого приведено в материалах.

Пример 3.

Парциальное давление водяных паров, содержащихся в воздухе при температуре 100°C, равно 65кПа. Определите относительную влажность воздуха.

Ответ: 65%

Пример 4.

Давление пара в помещении при температуре 5 °С равно 756 Па. Давление насыщенного пара при этой же температуре равно 880 Па. Какова относительная влажность воздуха? (Ответ дать в процентах, округлив до целых.)

Решение.

Относительная влажность воздуха определяется следующим

образом: $\varphi = \frac{P}{P_{\text{н.п.}}} \cdot 100\%$, где P — давление пара в помещении, а $P_{\text{н.п.}}$ — давление насыщенного пара при той же температуре (эта величина зависит только от температуры воздуха в сосуде). Таким образом, относительная влажность воздуха в помещении равна

$$\varphi = \frac{756 \text{ Па}}{880 \text{ Па}} \cdot 100\% \approx 86\%.$$

Ответ: 86

Затруднения этой линии вызывают задания на определение относительной влажности при условиях частичной конденсации пара, понимание того факта, что относительная влажность не бывает больше 100%

Пример 5.

Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна 60 %. Воздух изотермически сжали, уменьшив его объём в два раза. Какова стала относительная влажность воздуха? (Ответ дать в процентах.)

Решение.

Относительная влажность воздуха определяется следующим

$$\phi = \frac{n}{n_{\text{н.п.}}} \cdot 100$$

образом: где n — концентрация пара в сосуде, а $n_{\text{н.п.}}$ — концентрация насыщенного пара при той же температуре (эта величина зависит только от температуры воздуха в сосуде). Воздух в сосуде сжимают изотермически, поэтому величина $n_{\text{н.п.}}$ не изменяется. В начальный момент, согласно условию, концентрация пара в сосуде равна $n = 0,6n_{\text{н.п.}}$. При сжатии концентрация начинает расти. На первый взгляд кажется, что уменьшение объема сосуда в два раза приведет к увеличению концентрации пара в два раза и она станет равной $n = 1,2n_{\text{н.п.}}$. Однако, это не так. Концентрация насыщенного пара определяет максимально возможную при данной температуре концентрацию пара, она показывает, какое максимальное количество пара может находиться в единице объема при заданной температуре. Следовательно, конечная концентрация пара в сосуде станет равной $n = n_{\text{н.п.}}$. Пар станет насыщенным, избытки влаги из воздуха сконденсируются. Конечная относительная влажность воздуха станет равно 100%.

Ответ: 100.

4.3. Задание 11

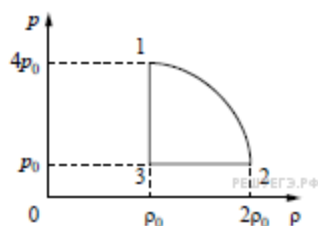
В экзаменационной модели 2017 г. появилось три задания на множественный выбор. Утверждения в этих заданиях затрагивают различные стороны рассматриваемого процесса: от узнавания названия явления до оценочных расчетов различных величин, которые характеризуют данный процесс. Для этих заданий характерен высокий (более 50) процент участников, набравших 1 балл, и разительно более низкий процент участников, набравших 2 балла.

➤ Умение анализировать и объяснять протекание различных физических явлений и процессов проверялось в экзаменационной работе двухбалльными заданиями на изменение величин и на множественный выбор.

Участники экзамена успешно справились с заданиями по молекулярной физике на изменение параметров газов в различных изопроцессах (65%);

Определение изменения физических величин, характеризующих различные процессы **Пример 1.**

На рисунке показана зависимость давления газа p от его плотности ρ в циклическом процессе, совершаемом 2 моль идеального газа в идеальном тепловом двигателе. Цикл состоит из двух отрезков прямых и четверти окружности.



На основании анализа этого циклического процесса выберите два верных утверждения.

- 1) В процессе 1–2 температура газа уменьшается.
- 2) В состоянии 3 температура газа максимальна.
- 3) В процессе 2–3 объём газа уменьшается.
- 4) Отношение максимальной температуры к минимальной температуре в цикле равно 8.
- 5) Работа газа в процессе 3–1 положительна.

Решение.

Перепишем уравнение Менделеева — Клапейрона $pV = \frac{m}{M}RT$ в виде $p = \frac{RT}{M}\rho$.

Изотермами на диаграмме $p - \rho$ являются прямые, выходящие из начала координат, причём, чем больше наклон прямой, тем выше температура. Исходя из этого, можно сделать выводы, что в процессе 1–2 температура газа уменьшается, а в состоянии 3 температура газа не максимальна (максимальная температура в состоянии 1).

В процессе 2–3 плотность газа уменьшается, значит, объём $V = \frac{m}{\rho}$ увеличивается.

Выразим температуру $T = \frac{Mp}{R\rho}$, и найдём её в состояниях 1 и 2:
 $T_1 = \frac{M4p_0}{R\rho_0}, T_2 = \frac{Mp_0}{R2\rho_0}$.
 Отношение максимальной температуры к минимальной
 $\frac{T_1}{T_2} = 8$.
 равно

В процессе 3–1 плотность, а следовательно, и объём постоянны. Работа газа равна нулю.
 Ответ: 14.

Пример 2.

При изучении процессов, происходящих с гелием, ученик занёс в таблицу результаты измерения температуры и давления одного и того же количества газа в различных равновесных состояниях. Какие два из утверждений, приведённых ниже, соответствуют результатам этих опытов? Газ считать идеальным.

№ состояния	1	2	3	4	5	6	7
p кПа	100	90	75	50	55	75	100
t °C	27	27	27	27	27	177	327

- 1) В состояниях 4–7 объём газа был одинаковым.
- 2) Объём газа в состоянии 4 в 2 раза меньше объёма газа в состоянии 1.
- 3) Внутренняя энергия газа в состоянии 6 в 3 раза больше, чем в состоянии 5.
- 4) При переходе от состояния 2 к состоянию 3 в ходе изотермического процесса газ получал тепло.
- 5) При переходе от состояния 5 к состоянию 6 в ходе изохорного процесса газ совершал работу.

Ответ: 1 4

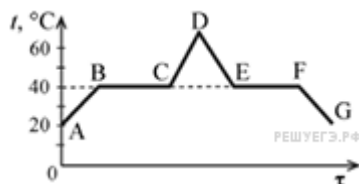
4.4.Задание 12

Для выполнения этого задания нужно выделить из таблицы изотермический процесс (1–4) и изохорный процесс 4–7 (предварительно выразив температуры в абсолютной шкале). Каждое из утверждений проверяет одно из свойств процессов: 1 и 2 – формулы для изопроцессов; 3 – внутреннюю энергию идеального газа; 4 и 5 – применение первого закона термодинамики к изопроцессам. Как и в прошлом году, для этих заданий характерен более высокий процент участников, набравших 1 балл, и существенно более низкий процент участников, набравших 2 балла. Это связано с комплексным характером анализа процессов в этих заданиях и подбором ответов, один из которых, как правило, проверяет понимание ситуации на качественном уровне, а для другого необходимо провести какие-либо расчеты. Анализ средних процентов выполнения этих заданий показывает, что их можно отнести к освоенным: изопроцессы в идеальном газе, представленные при помощи графиков (84%); сравнение изопроцессов (61%), представленных в виде pV - или ur -диаграммы (62% и 64% соответственно), насыщенные и ненасыщенные пары (78%);

Задания, требующие комплексного применения знаний о различных свойствах процесса и различных физических величинах, описывающих данный процесс, очень полезны в рамках систематизации и обобщения материала.

Пример 1

В начальный момент в сосуде под лёгким поршнем находится только жидкий эфир. На рисунке показан график зависимости температуры t эфира от времени τ его нагревания и последующего охлаждения. Установите соответствие между процессами, происходящими с



эфиром, и участками графика.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРОЦЕССЫ

УЧАСТКИ
ГРАФИКА

- А) Охлаждение паров эфира
Б) Кипение эфира

- 1) BC
2) CD
3) DE
4) EF

А	Б

Решение.

Опыт показывает, что процессы кипения и конденсации происходят при постоянной температуре, а значит, участки ВС и EF графика соответствуют превращению жидкости в пар и пара в жидкость соответственно (Б — 1). Таким образом, охлаждение паров эфира отвечает участок графика DE (А — 3).

Ответ: 31.

Пример 2

Ученица проводила наблюдение процесса испарения жидкости. С этой целью она обернула шарик термометра кусочком ваты и с помощью пипетки накапала на вату воды. Как изменялись внутренняя энергия и температура воды на ватке в процессе испарения? Относительная влажность окружающего воздуха меньше 100%.

Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

- 1) не изменялась
- 2) увеличивалась
- 3) уменьшалась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Внутренняя энергия	Температура

Решение.

Испарение жидкости, в отличие от кипения, происходит при любой температуре. Процесс испарения воды из ватки представляет собой вылет молекул воды с ее поверхности. При этом преимущественно вылетают самые быстрые молекулы, тем самым средняя кинетическая энергия движения молекул воды в ватке уменьшается, а значит, уменьшается и температура ватки с водой, что отображается на показаниях термометра. Конечно, присутствует и обратный процесс, молекулы жидкости конденсируют обратно из водяного пара, но при относительной влажности окружающего воздуха меньше 100 % процесс испарения преобладает. Внутренняя энергия также уменьшается, поскольку, во-первых, уменьшается температура, во-вторых, уменьшается количество воды в ватке.

Ответ: 33.

Пример 3

Аргон помещают в открытый сверху сосуд под лёгкий подвижный поршень и начинают охлаждать. Давление воздуха, окружающего сосуд равно 10^5 Па. Начальный объем газа 9л, начальная $T = 450$ К. масса газа в сосуде остаётся неизменной. Трением между поршнем и стенками сосуда можно пренебречь.

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими их зависимость от абсолютной температуры T газа в условиях данной задачи. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Физические величины	Формулы
А) объём газа $V(T)$ В) внутренняя энергия газа $U(T)$	1. $a \cdot T, a = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{К}$ 2. $b \cdot T, b = 4050 \text{ м}^3 / \text{К}$ 3. $c \cdot T, c = 20 \text{ Дж} / \text{К}$ 4. $d \cdot T, d = 3 \text{ Дж} / \text{К}$

Ответ:

А	Б
1	4

4.5. Задание 22

Методологические умения

Каждый вариант содержал 2 задания базового уровня сложности, которые были направлены на оценку методологических умений.

Задание 22 проверяло умение записывать показания измерительных приборов с учетом заданной погрешности измерений. В тексте задания либо указывалось, что погрешность равна цене деления прибора, либо предлагалось конкретное значение абсолютной погрешности. Средний процент выполнения этой линии заданий оказался ниже, чем в прошлом году, и составил 63 (в 2017 г. - 74,4). Проблемными оказались задания с использованием фотографий двухпредельных приборов.

Анализ спектра ответов, представленных участниками экзамена к этому заданию, показывает, что почти треть из них используют неверную шкалу для снятия показаний, а остальные ошибки связаны с неверной записью самих показаний или погрешности измерений.

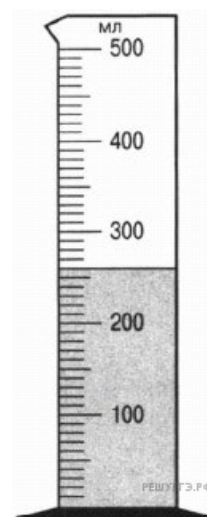
Пример1:

В мерный стакан налита вода. Укажите объём воды с учётом погрешности измерения, учитывая, что погрешность составляет половину цены деления мерного стакана. В ответе запишите значение и погрешность слитно без пробела.

Решение.

Найдём цену деления: $(500 - 400) \text{ мл} / 10 = 10 \text{ мл}$. Значит, погрешность прямого измерения составляет 5 мл. Из рисунка ясно, что объём воды составляет $(260 \pm 5) \text{ мл}$.

Ответ: 2605

**Пример 2:**

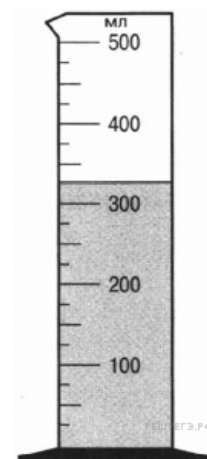
В мерный стакан налита вода. Укажите объём воды (в мл) с учётом погрешности измерения, учитывая, что погрешность составляет половину цены деления мерного стакана. В ответе запишите значение и погрешность слитно без пробела.

Решение.

Найдём цену деления: $(500 - 400) \text{ мл} / 4 = 25 \text{ мл}$. Значит, погрешность прямого измерения составляет 12,5 мл. Из рисунка ясно, что объём воды составляет $(325,0 \pm 12,5) \text{ мл}$.

Ответ: 325,012,5.

Ответ: 325,012,5|32512,5|32513

**Пример3:**

Для проведения опыта ученик налил воду в мензурку. Шкала мензурки проградуирована в миллилитрах (мл). Погрешность измерений объёма равна цене деления шкалы мензурки. Чему равен объём налитой учеником воды (в мл)? В ответе запишите значение и погрешность слитно без пробела.



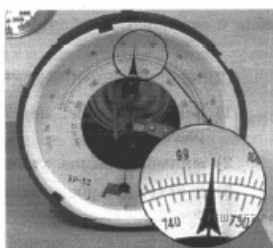
Решение.

Из рисунка видно, что между пронумерованными делениями (130 и 150) находится 10 делений, значит, цена деления составляет 2 мл. Граница воды находится на отметке 150 мл. Объём воды равен (150 ± 2) мл.

Ответ: 1502.

Пример 4:

С помощью барометра проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в кПа, а нижняя шкала — в мм рт. ст. Погрешность измерений давления равна цене деления шкалы барометра. Запишите в ответ величину атмосферного давления, выраженного в кПа, с учётом погрешности измерений. В



ответе запишите значение и погрешность слитно без пробела.

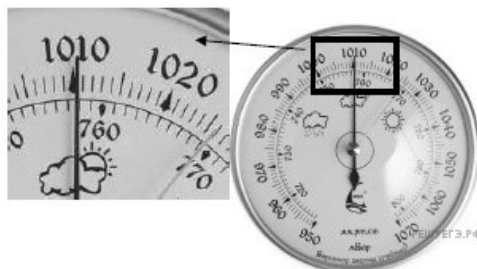
Решение.

Из рисунка видно, что между метками «99» и «100» находится 10 делений. Цена деления составляет $(100 - 99) : 10 = 0,1$ кПа. По условию погрешность измерений равна цене деления. Стрелка указывает на значение 99,4 кПа. Атмосферное давление равно $(99,4 \pm 0,1)$ кПа.

Ответ: 99,40,1

Пример 5:

С помощью барометра проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в гПа, а нижняя шкала — в мм рт. ст. Погрешность измерений давления равна цене деления шкалы барометра. Запишите в ответ величину атмосферного давления, выраженного в мм рт. ст., с учётом погрешности измерений. В ответе запишите значение и погрешность слитно без пробела.

Решение.

Из рисунка видно, что между метками «760» и «770» находится 10 делений. Цена деления составляет $(770 - 760) : 10 = 1$ мм рт. ст. По условию погрешность измерений равна цене деления. Стрелка указывает на значение 758 мм рт. ст. Атмосферное давление равно (758 ± 1) мм рт. ст.

Ответ: 7581.

Второе задание из этого блока проверяло умение выбирать оборудование для проведения опыта. В тексте заданий была сформулирована цель опыта (измерение какой-либо величины) или гипотеза исследования (зависимости одной физической величины от другой). Использовались три модели заданий:

- словесное описание опыта, перечисление имеющегося оборудования, а в качестве ответов - набор дополнительного оборудования, из которого необходимо было выбрать два недостающих элемента (средний процент выполнения - 70,5);
- характеристики экспериментальной установки указывались в виде таблицы, а ответом являлся выбор двух строк таблицы (65%);
- представление экспериментальных установок в виде схематичных рисунков (63%).

4.6. Задание 23

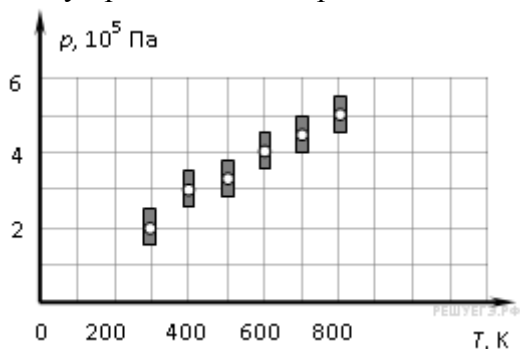
Задания 23 проверяло умение измерять физические величины, представлять результаты измерений с учетом их погрешностей. С заданием **базового** уровня в 2018 году справились 58 % участников ЕГЭ

Раздел «Молекулярная физика» был представлен задачами типа:

Анализ графиков

Пример1.

На рисунке показаны результаты измерения давления постоянной массы разреженного газа при повышении его температуры. Погрешность измерения температуры $\Delta T = \pm 10$ К, давления $\Delta p = \pm 2 \cdot 10^4$ Па. Газ занимает сосуд объемом 5 л. Чему приблизительно равно число молей газа (с точностью до 0,2 молей)?



Решение

Рассчитаем для каждого измерения количество вещества $\nu = \frac{pV}{RT}$ и усредним получившиеся значения ($5 \text{ л} = 0,005 \text{ м}^3$).

$p, 10^5 \text{ Па}$	2	2,9	3,2	3,8	4,3	5
$T, \text{ К}$	300	400	500	600	700	800
$\nu, \text{ моль}$	0,40	0,44	0,39	0,38	0,37	0,38

Среднее значение

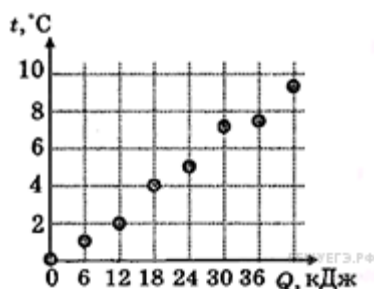
$$\frac{0,40 + 0,44 + 0,39 + 0,38 + 0,37 + 0,38}{6} \text{ моль} \approx 0,4 \text{ моль.}$$

 равно

Ответ: 0,4.

Пример2.

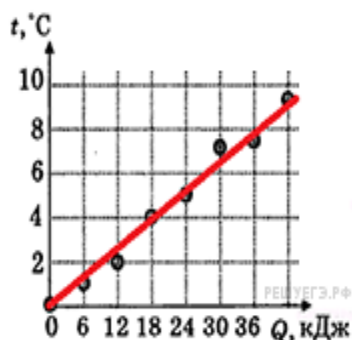
С использованием нагревателя известной мощности исследовалась зависимость температуры 1 кг вещества от количества теплоты, полученного от нагревателя. Результаты измерений указаны на рисунке точками. Чему примерно равна удельная теплоёмкость данного вещества? (Ответ дайте в $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ с точностью до 0,5 $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.)



Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой 1 кг на температуру t , определяется выражением $Q = c \cdot 1 \text{ кг} \cdot t$. Таким образом, удельная теплоемкость представляет собой коэффициент пропорциональности между Q и t , выразим теплоемкость

из этой формулы:
$$c = \frac{1}{1 \text{ кг}} \cdot \frac{Q}{t}.$$



На графике приведена зависимость температуры вещества массой 1 кг от переданного ему тепла. Аппроксимируем результаты измерений с учетом погрешностей линейной зависимостью. Для определения величины теплоемкости необходимо знать

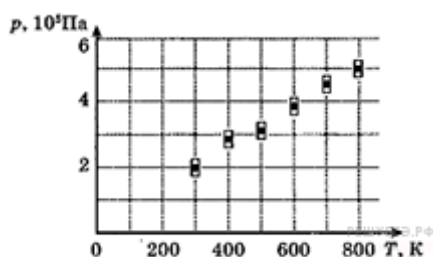
$\frac{Q}{t}$, величину $\frac{Q}{t}$, графически ее можно найти, как котангенс угла наклона проведенной нами прямой. Определив котангенс (для этого можно взять любую удобную точку на прямой), получаем приблизительное значение удельной теплоемкости:

$$c \approx \frac{1}{1 \text{ кг}} \cdot \frac{36 \text{ кДж}}{8 \text{ °C}} = 4,5 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C}).$$

Ответ: 4,5

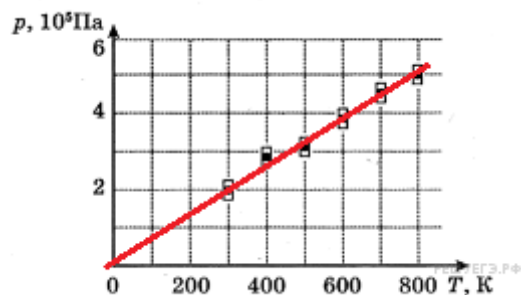
Пример3.

На рисунке показаны результаты измерения давления постоянной массы разреженного газа при повышении его температуры. Погрешность измерения температуры $\Delta T = \pm 10 \text{ К}$, давления $\Delta p = \pm 2 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Число молей газа равно 0,4 моль. Какой объём занимает газ? (Ответ выразите в литрах с точностью до целых.)



Решение

Можно считать, что разреженный газ подчиняется уравнению Клапейрона — Менделеева, согласно которому, давление, объём и температура газа связаны соотношением $pV = \nu RT$. При фиксированном объёме и количестве вещества давление должно быть прямо пропорционально температуре. Аппроксимируем результаты измерений линейно зависимостью и из наклона получившейся линии оценим объём, который занимает газ:



$$V = \nu R \frac{T}{p} = 0,4 \cdot 8,31 \cdot \frac{800}{5 \cdot 10^5} \approx 0,005 \text{ м}^3 = 5 \text{ л}.$$

Ответ: 5.

Анализ таблиц

Пример1.

Идеальный одноатомный газ расширяется при постоянном давлении. В таблице приведена зависимость внутренней энергии U этого газа от занимаемого им объёма V . Чему равно давление газа? (Ответ дать в атмосферах.)

$V, \text{ м}^3$	1	2	3	4	5
$U, \text{ кДж}$	300	600	900	1200	1500

Решение

Внутренняя энергия одноатомного газа вычисляется по

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

формуле: Воспомнив уравнение состояния идеального

газа: $pV = \frac{m}{\mu} RT$, представим энергию одноатомного газа в виде: $U = \frac{3}{2} pV$. Подставляя любые два парных значения V и U из таблицы найдём давление газа:

$$p = \frac{2}{3} \frac{U}{V} = \frac{2}{3} \frac{300 \cdot 10^3}{1} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па} = 2 \text{ атм.}$$

Ответ: 2.

Пример 2

Идеальный одноатомный газ нагревается при постоянном объёме. В таблице приведена зависимость внутренней энергии U этого газа от его давления p . Чему равен объём газа? (Ответ дать в метрах в кубе.)

p , атм	1	2	3	4	5
U , кДж	300	600	900	1200	1500

Решение

Внутренняя энергия одноатомного газа вычисляется по формуле:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

Вспомнив уравнение состояния идеального газа: $pV = \frac{m}{\mu} RT$, представим энергию одноатомного газа в виде:

$$U = \frac{3}{2} pV.$$

Подставляя какие-либо два парных значения p и U из таблицы найдём объём газа:

$$V = \frac{2}{3} \frac{U}{p} = \frac{2}{3} \cdot \frac{300 \cdot 10^3}{10^5} = 2 \text{ м}^3.$$

Ответ: 2.

Экспериментальное исследование

Пример1.

Для определения относительной влажности воздуха используют разность показаний сухого и влажного термометров (см. рисунок). Используя данные рисунка и психрометрическую таблицу, определите, какую температуру (в градусах Цельсия) показывает сухой термометр, если относительная влажность воздуха в помещении 60 %.

Температура сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C			
	3	4	5	6
15	71	61	52	44
16	71	62	54	45
17	72	64	55	47
18	73	64	56	48
19	74	65	58	50
20	74	66	59	51
21	75	67	60	52
22	76	68	61	54
23	76	69	61	55
24	77	69	62	56
25	77	70	63	57



Решение

В таблице есть всего лишь одна клетка, соответствующая влажности 60%. Она стоит в таблице напротив значения температуры сухого термометра в 21°C . Это и есть искомая величина.

Ответ: 21.

Пример 2.

Показания сухого и влажного термометров, установленных в некотором помещении, соответственно равны 20°C и 15°C . Используя данные таблиц, определите абсолютную влажность воздуха в помещении, где установлены данные термометры. В первой таблице приведена относительная влажность, выраженная в %. (Ответ дать в г/м^3 , округлив до десятых.)

Температура сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С			
	3	4	5	6
15	71	61	52	44
16	71	62	54	45
17	72	64	55	47
18	73	64	56	48
19	74	65	58	50
20	74	66	59	51
21	75	67	60	52
22	76	68	61	54
23	76	69	61	55
24	77	69	62	56
25	77	70	63	57

Температура, °С	Плотность насыщенных паров воды ρ , г/м ³
15	12,8
16	13,6
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3
21	18,3
22	19,4
23	20,6
24	21,8
25	23,0

Решение

Абсолютная влажность ρ – это плотность водяных паров. Она связана с относительной влажностью и плотностью насыщенных паров при данной температуре

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\%.$$

соотношением:

Используя первую таблицу определим относительную влажность. Разность показаний сухого и влажного термометров составляет $t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}} = 20^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$. Находим в таблице пересечение соответствующих строки и столбца и получаем, что относительная влажность равна 59%. Используя вторую таблицу находим, что при температуре 20°C плотность насыщенных паров равна $17,3 \text{ г/м}^3$. Следовательно,

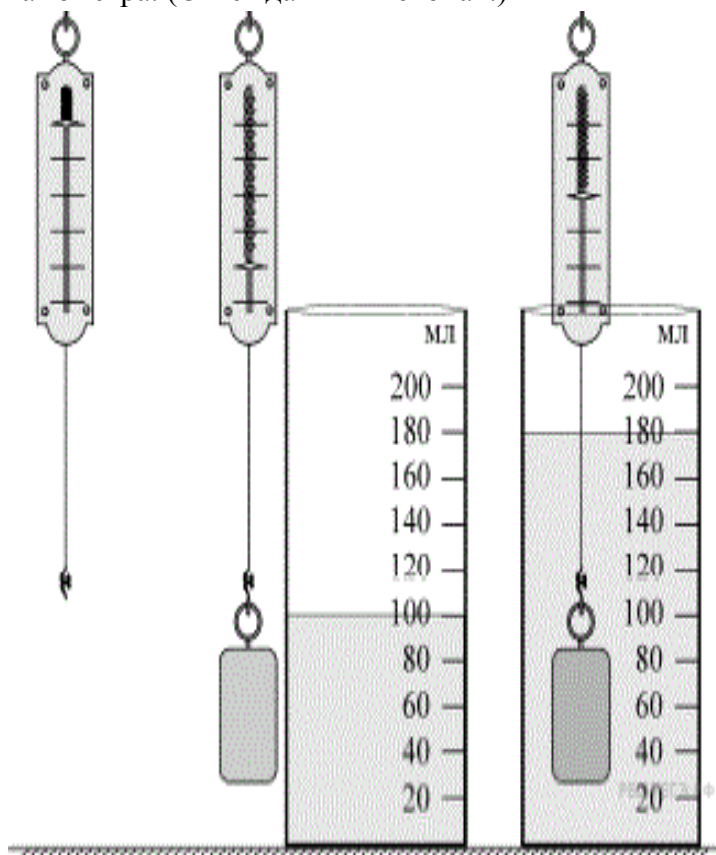
$$\rho = \rho_{\text{нп}} \cdot \frac{\varphi}{100\%} = 17,3 \text{ г/м}^3 \cdot \frac{59\%}{100\%} \approx 10,2 \text{ г/м}^3.$$

абсолютная влажность равна:

Ответ: 10,2.

Пример 3.

Для выполнения лабораторной работы ученику выдали динамометр, груз неизвестной плотности и мензурку с водой. К сожалению, на динамометре не была указана цена деления шкалы. Используя зарисовки хода эксперимента, определите цену деления шкалы динамометра. (Ответ дать в ньютонах.)



Решение

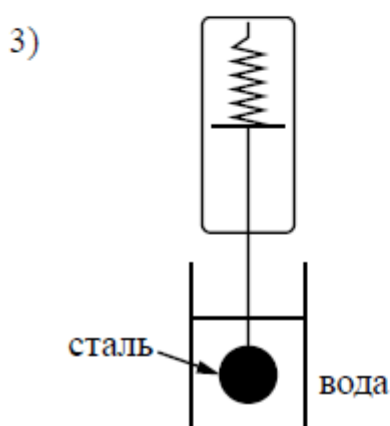
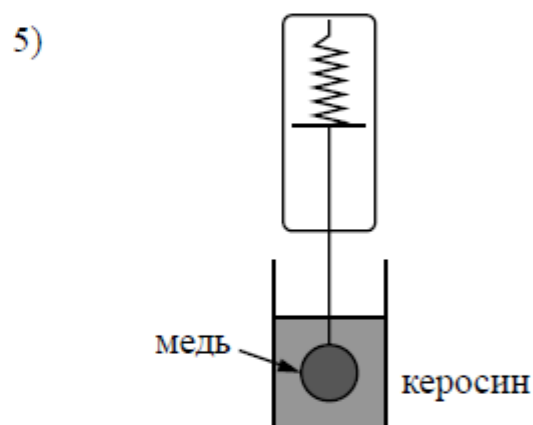
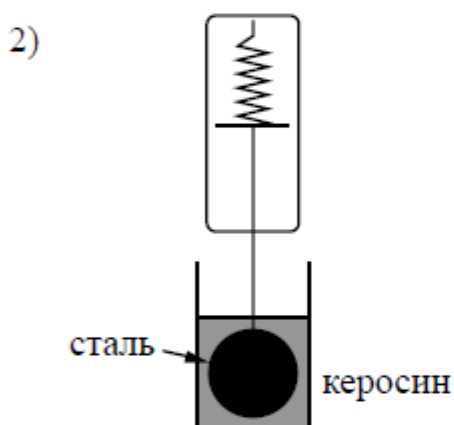
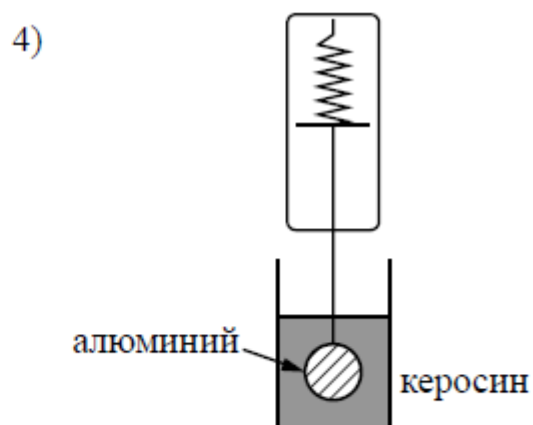
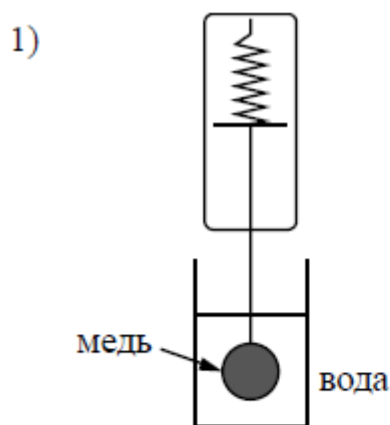
По закону Архимеда на тело со стороны жидкости действует сила, равная весу вытесненной жидкости. Следовательно, разность показаний динамометра в первом и во втором случае будет равна силе Архимеда. Сила Архимеда $F_A = \rho g V = 1000 \cdot 10 \cdot (180 - 100) \cdot 10^{-6} = 0,8 \text{ Н}$. При этом показание динамометра изменилось на 2 деления, значит, цена деления динамометра $0,8/2 = 0,4 \text{ Н}$.

Ответ: 0,4.

Пример 4.

Необходимо экспериментально изучить зависимость силы Архимеда, действующей на тело, погружённое в жидкость, от плотности жидкости.

Какие две установки следует использовать для проведения такого исследования?



РЕШУЕГЭ.РФ

Решение

Для экспериментального изучения зависимости силы Архимеда, действующей на тело, погружённое в жидкость, от плотности жидкости нужно взять установки с разными жидкостями и одинаковыми телами. Такими установками являются 1 и 5.

Ответ: 15

Пример 5.

При выполнении лабораторной работы по физике ученики должны были экспериментально определить удельную теплоёмкость вещества, из которого изготовлено некоторое тело. Данное тело сначала помещали в калориметр с холодной водой и дожидались установления теплового равновесия. Затем тело погружали в другой калориметр — с горячей водой — и также дожидались установления теплового равновесия.

В ходе работы проводились необходимые измерения, пользуясь результатами которых, в дальнейшем можно было определить удельную теплоёмкость вещества.

Для выполнения этой лабораторной работы ученикам было выдано следующее оборудование: два пустых калориметра, сосуды с холодной и горячей водой, исследуемое тело на нити, мензурку.

Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента, если теплоёмкостью калориметров экспериментаторы решили пренебречь и удельная теплоёмкость воды считается известной?

- 1) термометр
- 2) часы
- 3) электронные весы
- 4) линейку
- 5) штатив

Решение

Для определения удельной теплоемкости тела необходимо знать массу тела и воды, а также температуру воды в начале и конце процесса передачи тепла.

Ответ: 13.

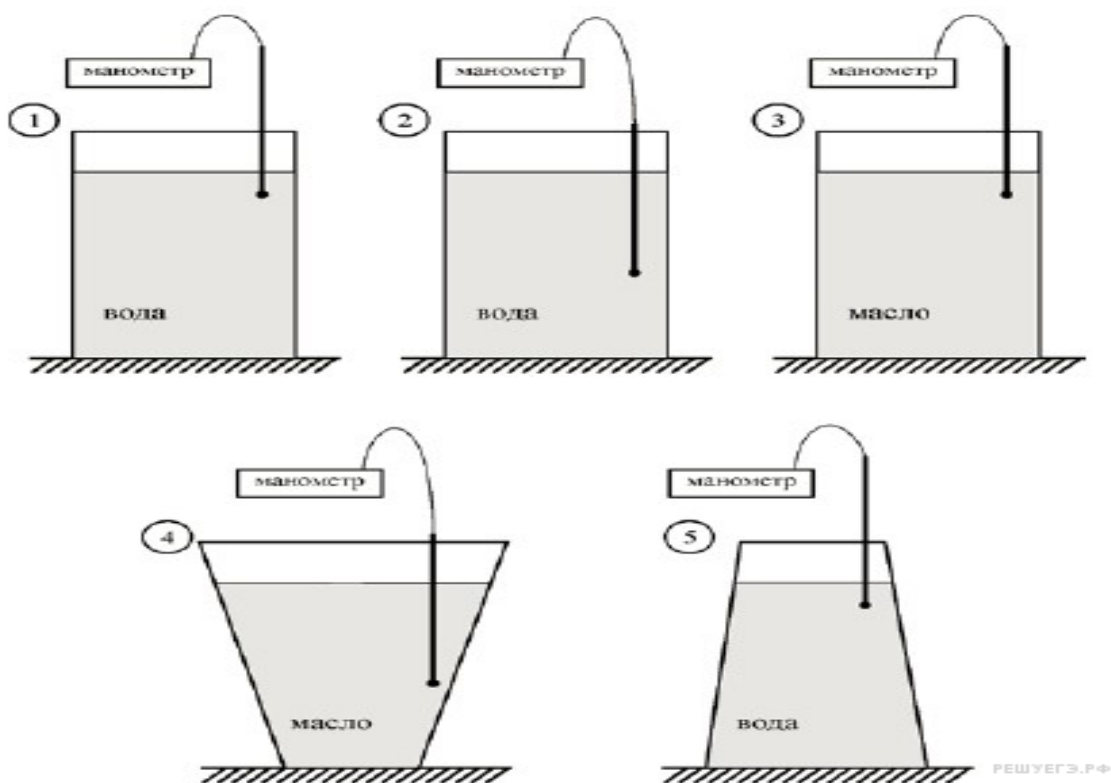
Пример 6.

Необходимо экспериментально установить наличие зависимости давления в жидкости от глубины погружения в неё. Для измерения давления используется маленький датчик, который при помощи длинного прямого щупа можно погружать в разные сосуды с разными жидкостями. Результаты измерения давления фиксируются при помощи электронного манометра, к которому присоединён провод, идущий от датчика. Какие два эксперимента следует провести для установления указанной зависимости? В ответе запишите номера экспериментов слитно без пробела.

Решение

Для проведения такого эксперимента необходимо использовать одинаковые сосуды, с одинаковыми жидкостями, но погружать датчик на разную глубину. Таким образом, для установления зависимости давления в жидкости от глубины погружения надо провести опыт 1 и 2.

Ответ: 12.



Решение задач

Задания с кратким ответом включали в себя задачи по механике, молекулярной физике и квантовой физике. Как и в прошлые годы, наиболее высокие результаты продемонстрированы для заданий по механике, средний процент выполнения по всем видам этих заданий - 38,1. Несколько ниже оказались результаты по молекулярной физике и термодинамике - 30,2% (в Ульяновской области - 22,8%)

Уровень освоения, достигнут для силы натяжения на применение уравнения теплового баланса для нагревания и плавления части вещества.

По молекулярной физике предлагались задачи на уравнение теплового баланса с использованием процесса конденсации пара (средний процент выполнения - 28) и на применение первого закона термодинамики к изобарному процессу (35%), а также задачи на расчет КПД теплового двигателя, которые вызвали наибольшие затруднения (см. пример).

Пример

Тепловая машина с максимально возможным КПД имеет в качестве нагревателя резервуар с водой, а в качестве холодильника - сосуд со льдом при 0°C . При совершении машиной работы 1 МДж растаяло 12,1 кг льда. Определите температуру воды в резервуаре. Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ К.

Несмотря на то явное указание в условии, что в качестве холодильника используется сосуд со льдом, выпускники не смогли понять, что количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику, можно определить, подсчитав количество теплоты, необходимое для плавления указанной массы льда.

4.7. Задание 25

Задание 25 При решении задания требовалось показать умение применять полученные знания для решения физических задач на повышенном уровне. Только 22,8% выпускников, сдающих ЕГЭ в разделе «Молекулярная физика» справились с этим заданием.

Пример 1:

Из стеклянного сосуда стали выпускать сжатый воздух, одновременно охлаждая сосуд. При этом температура воздуха упала вдвое, а его давление уменьшилось в 3 раза. Масса воздуха в сосуде уменьшилась в k раз. Найдите k .

Решение.

В начальный момент времени воздух в стеклянном сосуде удовлетворял следующему уравнению состояния: $p_0 V = \nu_0 R T_0$. В конечный момент — другому уравнению: $p V = \nu R T$. При этом, согласно условию, $T = \frac{T_0}{2}$ а $p = \frac{p_0}{3}$. Таким образом,

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{2}{3}$$

аналогичное соотношение верно и для массы газа. Следовательно, масса воздуха в сосуде уменьшилась в 1,5 раза.

Ответ: 1,5

Пример 2:

В кубическом метре воздуха в помещении при температуре 20 °С находится водяных паров. Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, определите относительную влажность воздуха. Ответ приведите в процентах, округлите до целых.

$t, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23
$\rho, 10^{-2}, \text{кг/м}^3$	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06

Решение.

Определим сперва плотность водяных паров в комнате. Согласно условию, в кубическом метре воздуха в помещении находится $1,12 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$ водяных паров, следовательно, плотность водяного пара равна $\rho = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$. Используя таблицу, определяем, что при температуре 20°С плотность насыщенных паров равна $\rho_{\text{н.п.}} = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$. Поскольку концентрация газа пропорциональна его плотности ($\rho = m_0 n$, где m_0 — масса молекулы газа), заключаем, что относительная влажность воздуха в комнате равна

$$\varphi = \frac{n}{n_{\text{н.п.}}} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_{\text{н.п.}}} \cdot 100\% = \frac{1,12 \cdot \frac{10^{-2} \text{ кг}}{\text{м}^3}}{1,73 \cdot \frac{10^{-2} \text{ кг}}{\text{м}^3}} \cdot 100\% \approx 65\%.$$

Ответ: 65

«Лидерами» здесь стали задачи на применение первого закона термодинамики к

изопроцессам (средний процент выполнения - 26) и задачи на расчет КПД циклического процесса (27).

Пример 3:

У теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя 500 К, а температура холодильника 300 К. Рабочее тело за один цикл получает от нагревателя количество теплоты, равное 40 кДж. Какую работу совершает за цикл рабочее тело двигателя? Ответ укажите в килоджоулях.

Решение.

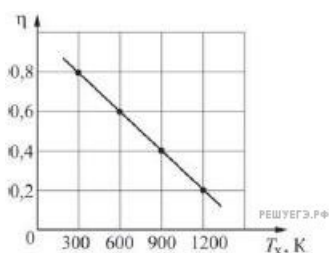
Приравняем две формулы для КПД цикла Карно: $\frac{T_H - T_X}{T_H} = \frac{A}{Q}$, отсюда для работы, которую совершает рабочее тело за один цикл, имеем:

$$A = \frac{Q(T_H - T_X)}{T_H} = \frac{40 \text{ кДж} \cdot (500 \text{ К} - 300 \text{ К})}{500 \text{ К}} \approx 16 \text{ кДж}.$$

Ответ: 16

Пример 4:

На графике приведена зависимость КПД η идеальной тепловой машины от температуры T_X её холодильника. Чему равна температура нагревателя этой тепловой машины? Ответ приведите в кельвинах.



Решение.

1 способ.

КПД идеальной машины Карно связан с температурами нагревателя и холодильника соотношением $\eta = -\frac{T_X}{T_H}$. Таким образом, при фиксированной температуре нагревателя, КПД линейно зависит от температуры холодильника, что и отражает представленная на графике зависимость. Из выписанной выше формулы видно, что угловой коэффициент наклона графика связан с температурой нагревателя следующим образом $k = -\frac{1}{T_H}$.

Определим из графика угловой коэффициент, посчитав для этого тангенс угла наклона:

$$k = \frac{\eta(300\text{ К}) - \eta(1200\text{ К})}{300\text{ К} - 1200\text{ К}} = \frac{0,8 - 0,2}{-900\text{ К}} = \frac{0,6}{-900\text{ К}} = -\frac{1}{1500} \text{ К}^{-1}.$$

Следовательно, температура нагревателя тепловой машины равна

$$T_H = -\frac{1}{k} = -\frac{1}{-1/1500\text{ К}^{-1}} = 1500\text{ К}.$$

2 способ.

Возьмём любую точку графика, например, (1200 К, 0,2) и подставим значения в формулу для КПД машины Карно:

$$\eta = 1 - \frac{T_x}{T_H},$$

$$0,2 = 1 - \frac{1200}{T_H},$$

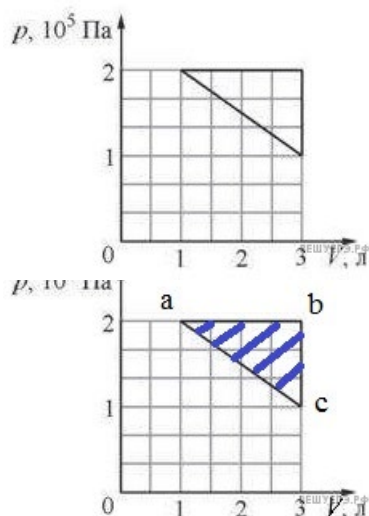
$$T_H = 1500 \text{ K}.$$

Ответ: 1500

Пример 6:

Идеальный одноатомный газ изобарно расширили от объема 1 л до объема 3 л, затем изохорно охладили так, что его давление уменьшилось от $2 \cdot 10^5$ Па до 10^5 Па, после чего газ вернули в исходное состояние так, что его давление линейно возрастало при уменьшении объема. Какую работу совершил газ в этом процессе? Ответ приведите в джоулях.

Решение.



На диаграмме p — V работе, совершаемой газом в ходе циклического процесса, соответствует площадь цикла. Для процесса a — b — c — a эта площадь показана на рисунке штриховкой. Таким образом, в результате данного цикла газ совершает работу

$$A = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 10^5 \text{ Па} - 1 \cdot 10^5 \text{ Па}) \cdot (3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3) = 100 \text{ Дж}$$

Ответ: 100

4.8. Задание 26

Задание 26 При решении задания требовалось показать умение применять полученные знания для решения физических задач на повышенном уровне. Только 30% выпускников, сдающих ЕГЭ в разделе «Молекулярная физика» справились с этим заданием.

Пример 1

В закрытом сосуде под поршнем находится 4 г насыщенного водяного пара. Двигая поршень, занимаемый паром объем уменьшили в 2 раза, поддерживая температуру сосуда и его содержимого постоянной и равной 100°C . Какое количество теплоты было при этом отведено от сосуда?

Справочные данные: удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Ответ округлите до целого числа кДж.

Решение

Насыщенный пар — это пар, имеющий максимально возможную концентрацию при данной температуре, при этом концентрация пара зависит только температуры. Поскольку при уменьшении объема в два раза, температуру сосуда и его содержимого поддерживали постоянной, заключаем, что концентрация насыщенного пара не изменялась, а значит, в результате такого сжатия сконденсировалась ровно половина всего пара, то есть 2 г.

По первому началу термодинамики изменение внутренней энергии системы равно разности работы, совершаемой над системой, и количеством теплоты, забираемой у системы

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

При конденсировании 2 г пара его внутренняя энергия уменьшается

$$\Delta U = -r\Delta m = -2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 0,002 \text{ кг} = -4600 \text{ Дж}.$$

При сжатии над паром совершается работа

$$A = p\Delta V = \frac{pV_0}{2} = \frac{m}{2M}RT = \frac{4 \text{ г}}{2 \cdot 18 \text{ г/моль}} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 373 \text{ К} \approx 344 \text{ Дж}.$$

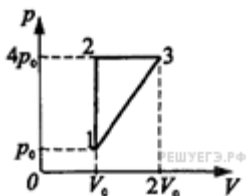
Количество забираемой теплоты равно

$$Q = 4600 \text{ Дж} + 344 \text{ Дж} \approx 5 \text{ кДж}.$$

Ответ: 5.

Пример 2

Чему равен КПД цикла, проводимого с идеальным одноатомным газом? Ответ приведите в процентах, округлить до целых.



Решение

КПД тепловой машины определяется как отношение полезной работы и переданного

работе телу тепла за цикл: $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1} \cdot 100\%$. Определим сперва полезную работу за

цикл, на диаграмме $P - V$ этой величине соответствует площадь

цикла: $A = \frac{1}{2} \cdot (4p_0 - p_0) \cdot (2V_0 - V_0) = \frac{3p_0V_0}{2}$. Передаваемое газу тепло рассчитаем

при помощи первого начала термодинамики: $Q = \Delta U + A$. Рассмотрим последовательно

все участки цикла. На участке 1 — 2 газ не совершает работы, а изменение его внутренней энергии (с учетом уравнения Клапейрона-Менделеева)

равно: $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (4p_0 - p_0)V_0 = \frac{9}{2} p_0V_0$. Так как изменение

внутренней энергии положительно, газ получает тепло на этом участке. На участке 2 — 3

газ совершает работу $A_{23} = 4p_0(2V_0 - V_0) = 4p_0V_0$. Изменение его внутренней энергии на этом участке:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2} 4p_0(2V_0 - V_0) = 6p_0V_0.$$

Следовательно,

на этом участке газ получает тепло $A_{23} + \Delta U_{23} = 10p_0V_0$. На участке 3 — 1 газ совершает отрицательную работу, он остывает, а значит, его внутренняя энергия уменьшается, следовательно, на этом участке он отдает тепло, а не получает. Окончательно, все полученное газом за цикл тепло

равно $Q_1 = \frac{9}{2} p_0V_0 + 10p_0V_0 = \frac{29}{2} p_0V_0$. Таким образом, КПД цикла

равно $\eta = \frac{3p_0V_0/2}{29p_0V_0/2} \cdot 100\% \approx 10\%$.

Ответ: 10.

Пример 3

Кусок льда, имеющий температуру 0°C , помещён в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лёд в воду температурой 20°C , требуется количество теплоты 100 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лёд получит от нагревателя количество теплоты 75 кДж? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Решение

Чтобы превратить лёд в воду, необходимо затратить энергию на плавление льда и на нагрев получившейся воды: $Q_1 = \lambda m + mc(t_2 - t_1)$, где λ — удельная теплота плавления льда, c — удельная теплоёмкость воды. Найдём массу льда в калориметре:

$$m = \frac{Q_1}{\lambda + c(t_2 - t_1)} = \frac{100 \text{ кДж}}{330 \text{ кДж/кг} + 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 20^\circ\text{C}} = \frac{100}{414} \text{ кг} \approx 0,24 \text{ кг}.$$

Проверим, хватит ли 75 кДж теплоты для расплавления такой массы льда:

$$Q_{\text{необх}} = 0,24 \text{ кг} \cdot 330 \text{ кДж/кг} = 79,2 \text{ кДж} > 75 \text{ кДж}.$$

Следовательно, 75 кДж теплоты недостаточно для расплавления всего имеющегося льда. Таким образом, при получении 75 кДж теплоты от внешней среды в калориметре установится температура 0°C .

Ответ: 0.

Ниже ожидаемого выполнены задачи на изопроцессы в столбике воздухе, запёртого столбиком ртути в запаянной с одного конца стеклянной трубке. Здесь 7% участников экзамена смогли, верно, записать условия равновесия для горизонтального и вертикального положений трубки, но довести решение до верного ответа удалось лишь 5% выпускников.

Пример 4

Высокий вертикальный цилиндр закрыт тонким поршнем массой 1 кг и площадью 100 см^2 . Под поршнем находится идеальный газ. Атмосферное давление над поршнем равно 101 кПа, расстояние между дном цилиндра и поршнем 50 см. Цилиндр перевернули так,

что поршень оказался снизу, но не выпал из цилиндра. На сколько увеличилось расстояние между дном цилиндра и поршнем в состоянии равновесия? Температура газа в исходном и конечном состоянии одинакова. Ответ дайте в см.

Решение

В первом случае давление газа в цилиндре равно

$$p_1 = p_0 + \frac{mg}{S} = 102 \text{ кПа.}$$

Во втором случае давление газа в цилиндре равно

$$p_2 = p_0 - \frac{mg}{S} = 100 \text{ кПа.}$$

Объем цилиндра связан с его площадью и высотой

$$V = Sh.$$

Процесс изотермический и согласно уравнению Менделеева — Клапейрона справедливо

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Leftrightarrow p_1 h_1 = p_2 h_2.$$

Отсюда

$$h_2 = \frac{p_1 h_1}{p_2} = 51 \text{ см.}$$

Таким образом, расстояние между дном цилиндра и поршнем увеличилось на 1 см.

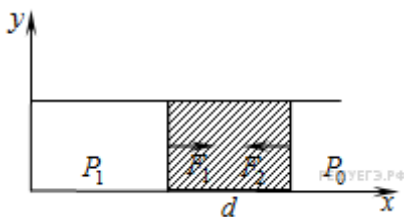
Ответ: 1.

Пример 5:

В горизонтально расположенной трубке с одним закрытым концом с помощью столбика ртути заперт воздух при температуре 27°C . Затем трубку переворачивают вертикально открытым концом вверх и нагревают на 60°C , в результате чего объём запертого воздуха становится таким же, как и был в горизонтальном положении. Найдите d — высоту столбика ртути, если атмосферное давление равно 750 мм рт. ст.

Решение.

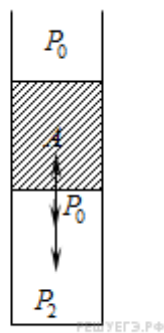
Рассмотрим процесс до и после нагревания.



В горизонтальном положении трубки давление воздуха равно внешнему давлению $p_1 = p_0$. Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона

$$p_1 V_1 = \nu RT_0 \Leftrightarrow V_1 = \frac{\nu RT_0}{p_0}.$$

В вертикальном положении трубки давление воздуха равно $p_2 = p_0 + \rho g d$, где ρ — плотность ртути. Запишем уравнение Менделеева — Клапейрона для воздуха после



нагрева:

$$p_2 V_2 = \nu R T_2 \Leftrightarrow V_2 = \frac{\nu R T_2}{p_2}.$$

По условию $V_1 = V_2$, значит

$$\frac{\nu R T_0}{p_0} = \frac{\nu R T_2}{p_2},$$

количество вещества не менялось

$$\frac{T_0}{p_0} = \frac{T_2}{p_0 + \rho g d}.$$

Пусть $T_2 = T_0 + \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = T_2 - T_0$, тогда

$$\frac{T_0}{p_0} = \frac{T_0 + \Delta T}{p_0 + \rho g d} \Leftrightarrow p_0 T_0 + p_0 \Delta T = p_0 T_0 + T_0 \rho g d \Leftrightarrow d = \frac{p_0 \Delta T}{\rho g T_0},$$

$$d = \frac{750 \text{ мм} \cdot \rho g \cdot 60 \text{ К}}{\rho g \cdot 300 \text{ К}} = \frac{750 \text{ мм} \cdot 60 \text{ К}}{300 \text{ К}} = 150 \text{ мм} = 15 \text{ см}.$$

$$\text{Ответ: } d = \frac{p_0 \Delta T}{\rho g T_0} = 15 \text{ см}.$$

4.9. Задание 28

К дефицитам относятся качественные задачи повышенного уровня, при решении которых выпускники демонстрируют понимание общей физической ситуации, но не способны выстроить аргументированное объяснение всех рассматриваемых процессов.

Требования к уровню подготовки выпускников, освоение которых проверяется на ЕГЭ при выполнении задания 28 следующие:

Уметь применять полученные знания при решении физических задач

Использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни для:

-обеспечения безопасности жизнедеятельности в процессе использования транспортных средств, бытовых электроприборов, средств радио- и телекоммуникационной связи; оценки влияния на организм человека и другие организмы загрязнения окружающей среды; рационального природопользования и охраны окружающей среды

-определения собственной позиции по отношению к экологическим проблемам и поведению в природной среде.

Эти знания умения проверялись при выполнении задания 28 повышенного уровня и процент выполнения таких задач составил 13,6%

Остановимся на особенностях обучения решению качественных задач. Как правило, в любой качественной задаче рассматривается один или несколько процессов. Решение такой задачи представляет собой доказательство, в котором присутствует несколько логических шагов. По сути, каждый логический шаг – это описание изменений физических величин (или других характеристик), происходящих в данном процессе, и обоснование этих изменений. Обязательным является указание на законы, формулы или известные свойства явлений, на основании которых были сделаны заключения о тех или иных изменениях величин или характеристик.

Общий план решения качественных задач состоит из следующих этапов.

1. Работа с текстом задачи (внимательное чтение текста, определение значения всех терминов, встречающихся в условии, краткая запись условия и выделение вопроса).
2. Анализ условия задачи (выделение описанных явлений, процессов, свойств тел и т.п., установление взаимосвязей между ними, уточнение существующих ограничений (чем можно пренебречь)).
3. Выделение логических шагов в решении задачи.
4. Осуществление решения:
 - 4.1. Построение объяснения для каждого логического шага.
 - 4.2. Выбор и указание законов, формул и т.п. для обоснования объяснения для каждого логического шага.
5. Формулировка ответа и его проверка (при возможности).

В процессе обучения решению качественных задач целесообразно использовать «вопросный» метод. При этом для каждого логического шага объяснения (доказательства) в самом общем случае можно задавать следующие вопросы:

- Что происходит?
- Почему это происходит?
- Чем это можно подтвердить (на основании какого закона, формулы, свойства можно сделать этот вывод)?

Пример 1

Каким образом установка батарей отопления под окном помогает выравниванию температур в комнате в зимнее время? Ответ поясните, используя физические закономерности.

Решение.

1. Перемешивание воздуха и выравнивание его температуры в комнате при работающих батареях происходит за счет конвекции.
2. В соответствии с уравнением Клапейрона — Менделеева, или плотность воздуха при одном и том же значении p выше у холодного воздуха и ниже у теплого воздуха.

Поэтому воздух, нагретый батареей, в соответствии с законом Архимеда поднимается вверх, к окну, а воздух, остывший от соприкосновения с холодным стеклом окна, опускается к батарее для нагрева. Это перемешивание выравнивает температуру в комнате.

Пример 2.

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Поршень начинают медленно выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

Решение.

1. Ответ: масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
2. Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.
3. При выдвигании поршня пар изотермически расширяется. Давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, для пополнения количества вещества пара будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Пример 3.

В эксперименте установлено, что при температуре воздуха в комнате 23 °С на стенке стакана с холодной водой начинается конденсация паров воды из воздуха, если снизить температуру стакана до 12 °С. По результатам этих экспериментов определите абсолютную и относительную влажность воздуха. Для решения задачи воспользуйтесь таблицей. Поясните, почему конденсация паров воды в воздухе может начинаться при различных значениях температуры. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различной температуре показано в таблице:

t град д С	7	9	11	12	13	14	15	16	19	23	25	27	29	40	60
P г Па	10	11	13	14	15	16	17	18	22	28	32	36	40	74	200
ρ г\м³	7,7	8,8	10,0	10,7	11,4	12,11	12,8	13,6	16,3	20,6	23,0	25,8	28,7	51,2	130,5

Решение

1. Водяной пар в воздухе становится насыщенным при температуре 12 °С. Следовательно, давление p водяного пара в воздухе равно давлению насыщенного пара при температуре 12 °С, из таблицы 14 гПа.

Абсолютная влажность равна плотности водяных паров. Плотность пара при 23 °С можно найти, применив уравнение Клапейрона — Менделеева. Первое состояние: насыщенный пар при 12 °С. Второе: пар при 23 °С. Пар охлаждается от 23 до 12 °С изобарический, поэтому $p_2 = p_1 = 14$ гПа.

Имеем:

$$p_1 = \frac{\rho_{\text{н.п.12}}}{\mu} RT_1, p_2 = \frac{\rho_2}{\mu} RT_2.$$

Плотность насыщенного пара при 12 °С равна $\rho_{\text{н.п.12}} = 10,7 \text{ г/м}^3$.

Объединяя

два

последних

уравнения:
$$\rho_2 = \rho_{\text{н.п.12}} \frac{T_1}{T_2} = 10,7 \text{ г/м}^3 \cdot \frac{285 \text{ К}}{296 \text{ К}} \approx 10,3 \text{ г/м}^3.$$

2. Давление P_0 насыщенного водяного пара при температуре 23 °С равно 28 гПа. Относительной влажностью воздуха φ называется

отношение:
$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100 \% = \frac{14 \text{ гПа}}{28 \text{ гПа}} \cdot 100 \% = 50 \%.$$

3. Конденсация паров воды происходит при условии равенства давления водяного пара, имеющегося в воздухе, давлению насыщенного водяного пара при данной температуре воздуха. Давление насыщенного водяного пара зависит от температуры. Поэтому при разной плотности водяного пара в воздухе температура начала конденсации пара (точка росы) оказывается различной.

Пример 4

Летом в ясную погоду над полями и лесами к середине дня часто образуются кучевые облака, нижняя кромка которых находится на одинаковой высоте. Объясните, опираясь на известные вам законы и закономерности, физические процессы, которые приводят к этому.

Решение.

1. Когда лучи Солнца нагревают за счет поглощения света влажную землю и воздух около нее, из земли и растений активно испаряется вода, и более легкий нагретый за счет теплопроводности воздух с парами воды из-за действия выталкивающей силы Архимеда поднимается вверх, образуя восходящие потоки.

2. В процессе подъема давление воздуха падает, а теплообмена с окружающими телами практически нет. Поэтому процесс изменения состояния влажного воздуха близок к адиабатному, и его температура падает, а относительная влажность растет.

3. На определенной высоте, в момент достижения «точки росы», пары воды становятся насыщенными и конденсируются в капли — образуется туман, то есть облака. Туман с восходящим потоком воздуха продолжает подниматься и охлаждаться, так что мы наблюдаем образование кучевых облаков с четкой нижней кромкой.

Пример 5

Зимой школьник решил поставить опыт: налил в две тонкие пластиковые бутылки с практически нерастяжимыми стенками горячую воду (почти кипятком) до самого горлышка, одну плотно закрыл крышкой, а из другой сначала вылил воду и потом сразу же плотно закрыл крышкой, и выставил обе бутылки на мороз на всю ночь. В результате одна бутылка лопнула, а другая сплюснулась. Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, какая из бутылок сплюснулась и почему.

Решение.

1. В первой бутылке была только горячая вода, а во второй — насыщенные пары воды и малое количество воздуха.

2. Ночью на морозе обе бутылки за счёт всех видов теплоотдачи — конвекции, теплопроводности и теплового излучения — остыли до температуры окружающего холодного воздуха.

3. В первой бутылке вода сначала охлаждалась до 0 °С, а потом при фазовом переходе из жидкого состояния в твёрдое отдала теплоту кристаллизации, замёрзла и охлаждалась до

низкой температуры окружающей среды. При этом объём воды вырос примерно на 10 % (это следует из таблицы плотностей веществ), что привело к сильному росту давления в бутылке с нерастяжимыми стенками, и она лопнула.

4. Пары воды во второй бутылке сконденсировались и замёрзли, сильно уменьшив свой объём, а давление в бутылке упало до очень низкого значения. Поэтому бутылка под действием наружного атмосферного давления сплюснулась.

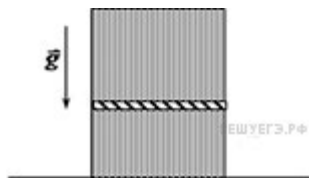
4.10.Задание 30

На позиции 30 находится расчётная задача **высокого уровня** из раздела «Молекулярная физика».

Выполняя задание 30, выпускник должен **уметь** применять полученные знания для решения физических задач, применяя полученные знания для решения физических задач ч. С такой задачей справились **12,4%**

Пример 1

Вертикально, расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К.



Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.

Решение.

Запишем уравнения состояния газа верхней и нижней частей:

$$p_1 V_1 = \nu RT, p_2 V_2 = \nu RT, (1)$$

где $V_1 = S(H - h)$ и $V_2 = Sh$ — объёмы верхней и нижней частей (S — площадь сечения поршня, H — высота сосуда, h — высота, на которой находится поршень). Условие равновесия поршня

$$p_1 S + P - p_2 S = 0, (2)$$

где P — вес поршня.

Подставляя выражения (1) в (2), получим для количества молей газа

$$\nu = \frac{P}{RT \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{H-h} \right)} = \frac{110}{8,31 \cdot 361 \cdot \left(\frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,5-0,2} \right)} \approx 0,022 \text{ моль.}$$

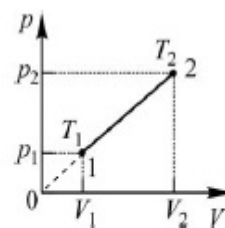
Ответ: $\nu \approx 0,022$ моль.

Пример 2

Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. В результате плотность газа уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Газ в ходе процесса получает количество теплоты $Q = 20 \text{ кДж}$. Какова температура газа в состоянии 1 ?

Решение.

1. Изобразим процесс на pV -диаграмме и обозначим давления и объёмы газа в состояниях 1 и 2 через (p_1, V_1) и (p_2, V_2) соответственно. Температуру газа в состоянии 1 обозначим через T_1 , а в состоянии 2 – через T_2 .



2. Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты идёт на увеличение внутренней энергии газа и на совершение им работы: $Q = \Delta U_{12} + A_{12}$.

3. Используем термодинамическую модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2} \nu RT. \end{cases} \quad \text{Изменение его внутренней энергии равно}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

4. Совершённая газом работа численно равна площади трапеции под графиком процесса на pV -диаграмме, т.е. разности площадей треугольников:

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

РЕШУЕГЭ.РФ

5. С учётом этого получаем $Q = \Delta U_{12} + A_{12} = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1)$. Из графика процесса следует, что $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$. Поэтому $\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$ и выражение для количества теплоты приобретает вид

$$Q = 2p_1 V_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu R T_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right).$$

6. Заметим, что искомое отношение плотностей газа массой m в состояниях 1 и 2 равно $\alpha = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m/V_1}{m/V_2} = \frac{V_2}{V_1}$.

$$\text{Поэтому } Q = 2\nu R T_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu R T_1 (\alpha^2 - 1), \text{ откуда } T_1 = \frac{Q}{2\nu R (\alpha^2 - 1)}.$$

Подставляя в полученную формулу числовые данные, находим T_1 .

Ответ: $T_1 \approx 400 \text{ К}$.

РЕШУЕГЭ.РФ

Пример3

В калориметре находился 1 кг льда. Чему равна первоначальная температура льда, если после добавления в калориметр 20 г воды, имеющей температуру 20°C , в калориметре установилось тепловое равновесие при -2°C ? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

Решение.

Количество теплоты, необходимое для нагрева льда, находящегося в калориметре, до температуры t :

$$Q = c_1 m_1 (t - t_1). \quad (1)$$

Количество теплоты, отдаваемое водой при охлаждении ее до 0°C :

$$Q_1 = c_2 m_2 (t_2 - 0). \quad (2)$$

Количество теплоты, выделяющееся при отвердевании воды при 0°C :

$$Q_2 = \lambda m_2. \quad (3)$$

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении льда, полученного из воды, до температуры t :

$$Q_3 = c_1 m_2 (0 - t). \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (5)$$

Объединяя (1)—(5), получаем:

$$t_1 = \frac{m_1 c_1 t - m_2 (c_2 (t_2 - 0) + \lambda + c_1 (0 - t))}{m_1 c_1} \approx -6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

ОТВЕТ: $t_1 \approx -6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Пример 4

С разреженным азотом, который находится в сосуде под поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты $Q_1 = 742 \text{ Дж}$, в результате чего его температура изменилась на некоторую величину ΔT . Во втором опыте, предоставив азоту возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты $Q_2 = 1039 \text{ Дж}$, в результате чего его температура изменилась также на ΔT . Каким было изменение температуры в опытах? Масса азота $m = 1 \text{ кг}$.

Решение.

Согласно первому началу термодинамики

$$Q_1 = \Delta U, \quad (1)$$

$$Q_2 = \Delta U + A, \quad (2)$$

где ΔU — приращение внутренней энергии газа (одинаковое в двух опытах), A — работа газа во втором опыте. Вычитая (1) из (2), получаем

$$Q_2 - Q_1 = A. \quad (3)$$

Работа A совершалась газом в ходе изобарного расширения, так что

$$A = p\Delta V \quad (4)$$

(ΔV — изменение объёма газа).

С помощью уравнения Клапейрона — Менделеева эту работу можно выразить через приращение температуры газа:

$$p\Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T. \quad (5)$$

Из уравнений (3), (4) и (5) получаем

$$\Delta T = \frac{(Q_2 - Q_1)M}{mR} = \frac{(1039 - 742) \cdot 0,028}{1 \cdot 8,31} \approx 1 \text{ К}.$$

ОТВЕТ: $\Delta T \approx 1 \text{ К}$.

Примечание.

Существует более короткое решение, однако для него требуется знание формулы для

изменения внутренней энергии двухатомного газа: $\Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$. В этой формуле стоит 5/2 вместо привычных 3/2, это отражает тот факт, что у двухатомных молекул 5 степеней свободы (два вращения + три поступательных движения) в отличие от одноатомных молекул, у которых есть только три поступательных движения. (Замечание: для многоатомных молекул (состоящих из трех и более атомов) справедлива

формула $\Delta U = \frac{6}{2} \nu R \Delta T$, так как для них есть шесть степеней свободы: три вращения + три поступательных движения).

Рассмотрим первый опыт. Согласно первому началу термодинамики, все переданное газу тепло идет на изменение его внутренней энергии, поскольку поршень фиксирован, и газ не может совершать работу:

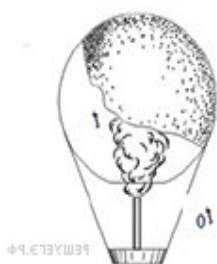
$$Q_1 = \Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \Delta T.$$

Отсюда сразу находим изменение температуры азота:

$$\Delta T = \frac{2Q_1 M}{5mR} \approx 1 \text{ K}.$$

Обратите внимание, что данные задачи избыточны, в этом способе решения нам вообще не потребовались данные о втором опыте.

Ниже ожидаемого выполнены задачи **(9,8%)** на подъем воздушного шара, наполненного горячим воздухом. Здесь основная ошибка - непонимание того, что давление внутри шара с отверстием в нижней части равно атмосферному давлению.



Воздух в воздушном шаре, оболочка которого имеет массу $M = 400$ кг и объём $V = 2500 \text{ м}^3$, нагревают горелкой через отверстие снизу при нормальном атмосферном давлении. Окружающий воздух имеет температуру $t_0 = 17^\circ \text{C}$. При какой минимальной разности температур шар сможет поднять груз массой $m = 200$ кг? Оболочка шара нерастяжима.

Решение.

Условие подъёма шара: $F_A \geq Mg + m_{\text{в}}g + mg$, где $m_{\text{в}}$ — масса воздуха внутри оболочки. Отсюда

$$\rho_0 g V \geq Mg + m_{\text{в}}g + mg \Leftrightarrow \rho_0 V \geq M + m_{\text{в}} + m, \quad (1)$$

где ρ_0 — плотность окружающего воздуха.

Используя уравнение Менделеева — Клапейрона $pV = \frac{m}{\mu}RT$ для воздуха внутри и снаружи оболочки, находим:

$$\rho_0 = \frac{p\mu}{RT_0}, \quad m_{\text{в}} = \frac{pV\mu}{RT}.$$

После подстановки в неравенство (1) получаем:

$$\frac{p\mu V}{RT_0} \geq M + \frac{p\mu V}{RT} + m \Leftrightarrow T \geq \frac{\frac{p\mu V}{R}}{\frac{p\mu V}{RT_0} - M - m} = \frac{\frac{10^5 \cdot 0,029 \cdot 2500}{8,31}}{\frac{10^5 \cdot 0,029 \cdot 2500}{8,31 \cdot 290} - 400 - 200} \approx 362 \text{ К.}$$

Минимальная разность температур составляет $362 - 290 = 72 \text{ К.}$

Ответ: 72 К.

5. Заключение

Оценивая содержание и объем предлагаемого для изучения учащимся материала, следует сделать соотнесение времени, отведенного для изучения, со сложностью изучаемого содержания. Нельзя не отметить, что времени для глубокого и осмысленного рассмотрения всех вопросов такого важного раздела физики недостаточно. Поэтому, как показывает практика, зачастую знания формируются поверхностно. Учитель часто не имеет возможности уделить внимание решению задач, демонстрирующих взаимосвязь явлений, и выполнению системы лабораторных работ. Выход может только один - увеличение количества часов на изучение вопросов, имеющих принципиальное значение в мировоззренческом аспекте.

6. Используемая литература

1. Демидова М.Ю. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2018 года по физике. М., 2018.
 2. Демидова М.Ю. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2017 года по физике. М., 2017.
 3. Демидова М. Ю., Грибов В. А., Гиголо А И. Я сдам ЕГЭ! Физика. Модульный курс. Методика подготовки. Ключи и ответы: учебное пособие для общеобразовательных организаций М.: Просвещение, 2017. — 81 с
 4. Демидова М. Ю., Грибов В. А., Гиголо А И Я сдам ЕГЭ! Физика. Модульный курс. Практикум и диагностика: учебное пособие для общеобразовательных организаций М.: Просвещение, 2017. — 388с
 5. 5.Литвинов О.А., Парфентьева Н.А. Физика. 25 лучших вариантов от «Просвещения» Учебное пособие для общеобразовательных организаций М.: Просвещение, 2018. — 255с
 6. Лукашева Е.В. ЕГЭЖ 2019 Физика 14 вариантов. Типовые тестовые задания от разработчиков ЕГЭ. М.: Издательство «Экзамен», 2019.-167с
 7. Хананов Н.К, В.А. Орлов, М.Ю. Демидова, Г.Г. Никифоров. Единый государственный экзамен. Физика. Комплекс материалов для подготовки учащихся. Учебное пособие.- Москва: Интеллект Центр, 2018.-192с.
 8. Н.К. Ханнанов, Г.Г.Никифоров, В.А. Орлов ЕГЭ 2018. Физика: сборник заданий Москва: Эксмо, 2017. — 288 с.
 9. Государственная итоговая аттестация по образовательным программам основного общего и среднего общего образования в Ульяновской области в 2016 году: итоги, проблемы, пути решения. – Ульяновск: Областное государственное автономное учреждение «Центр обработки информации и мониторинга в образовании Ульяновской области», 2016. Статсборник.
 10. Государственная итоговая аттестация по образовательным программам основного общего и среднего общего образования в Ульяновской области в 2017 году: направления развития. – Ульяновск: Областное государственное автономное учреждение «Институт развития образования», 2017. Статсборник
 11. Государственная итоговая аттестация по образовательным программам основного общего и среднего общего образования в Ульяновской области в 2018 году: направления развития. – Ульяновск: Областное государственное автономное учреждение «Институт развития образования», 2018. Статсборник
1. <http://www.fipi.ru/>
 2. <http://www.ege.edu.ru/ru/>
 3. <https://www.ctege.info/>
 4. <https://educon.by/index.php/materials/phys/molekuliarnaja>
 5. <https://phys-ege.sdamgia.ru/?redir=1>
 6. http://self-edu.ru/ege2018_phis_30.php
 7. <http://www.eduspb.com/node/2032>