

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. термодинамика

Основное уравнение МКТ

Задание.

Концентрацию молекул одноатомного идеального газа уменьшили в 5 раз. Одновременно в 2 раза увеличили среднюю энергию хаотичного движения молекул газа. Чему равно отношение конечного давления к начальному?

Раздел

кодификатора

ФИПИ:

[2.1.6 Связь между давлением и средней кинетической энергией](#)

Решение.

Давление одноатомного идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул газа и средней энергии хаотического движения:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}$$

При увеличении средней энергии теплового движения в два раза и уменьшении концентрации молекул в пять раз конечное давление одноатомного идеального газа составит от начального.

Ответ: 0,4.

Задание .

Давление идеального газа при постоянной концентрации уменьшилось в 2 раза. Чему равно отношение конечной температуры к начальной?

Раздел кодификатора ФИПИ: [2.1.9 Уравнение \$p = nkT\$](#)

Решение. Давление идеального газа связано с концентрацией молекул газа и абсолютной температурой соотношением:

$$[p = nkT](#)$$

Следовательно, при постоянной концентрации уменьшение давления в 2 раза приводит к уменьшению абсолютной температуры также в 2 раза.

Ответ: 0,5.

Задание.

Во сколько раз изменится абсолютная температура газа при увеличении средней кинетической энергии теплового движения молекул в 2 раза?

Раздел кодификатора ФИПИ:

[2.1.8 Связь температуры газа со средней кинетической энергией](#)

Решение.

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа прямо пропорциональна абсолютной температуре:

$$\bar{\epsilon} = 3/2 kT$$

Следовательно, при увеличении средней кинетической энергии теплового движения в 2 абсолютная температура газа также увеличится в 2 раза.

Ответ: 2.

Задание

Броуновская частица массой $1,3 \cdot 10^{-15}$ кг находится в жидкости при температуре 300 К. Чему равна среднеквадратичная скорость этой частицы, если в системе установилось термодинамическое равновесие? Ответ дайте в мм/с и округлите до целого числа.

Раздел

кодификатора

ФИПИ:

2.1.5 Модель идеального газа в МКТ: частицы газа движутся хаотически и не взаимодействуют друг с другом

Решение.

Среднеквадратичная скорость частицы равна

$$v = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 / 1,3 \cdot 10^{-15}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 3 \text{ мм/с}$$

Ответ: 3.

Уравнение

Клапейрона — Менделеева

Задание

Во сколько раз изменяется давление идеального газа при уменьшении объёма идеального газа в 2 раза и увеличении его абсолютной температуры в 4 раза?

Раздел кодификатора ФИПИ: [2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрона](#)

Решение.

Согласно уравнению Клапейрона — Менделеева, давление, объем и абсолютная температура идеального газа связаны соотношением

$$pV = \nu RT$$
$$p = \nu RT / V$$

Следовательно, при уменьшении объёма газа в 2 раза и увеличении его абсолютной температуры в 4 раза давление газа увеличится в 8 раз.

Ответ: 8.

Задание 8 № 3505

Какая масса воздуха выйдет из комнаты, если температура воздуха возросла с 10 °С до 20 °С? Объём комнаты 60м³, давление нормальное. Ответ выразите в килограммах и округлите до десятых.

Раздел кодификатора ФИПИ: [2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрон](#)

Решение.

Значение нормального давления можно найти в справочном материале, оно равно $p = 10^5 \text{ Па}$. Воздух в комнате подчиняется уравнению Клапейрона — Менделеева.

Выпишем это уравнение для воздуха до и после нагревания:

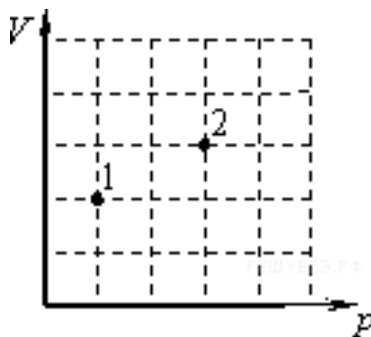
$$pV = m_1 R T_1 / \mu \quad pV = m_2 R T_2 / \mu \quad (m = pV\mu / RT) \quad \text{Следовательно, масса вышедшего}$$

воздуха равна $m_1 - m_2 = (pV\mu / R) \cdot (1/T_1 - 1/T_2) = (10^5 \cdot 60 \cdot 0,029 / 8,31) \cdot (1/283 - 1/293) \approx 2,5 \text{ кг}$

Ответ: 2,5.

Задание

В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Во сколько раз изменится температура газа, если он перейдёт из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок)?



Раздел кодификатора ФИПИ: [2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрона](#)

Решение.

Согласно уравнению Клапейрона — Менделеева, при любых процессах с фиксированным количеством идеального газа величина pV/T остаётся постоянной. Из диаграммы видно, что $p_2=3p_1$, а $V_2=3V_1$. $p_1V_1/T_1=p_2V_2/T_2$

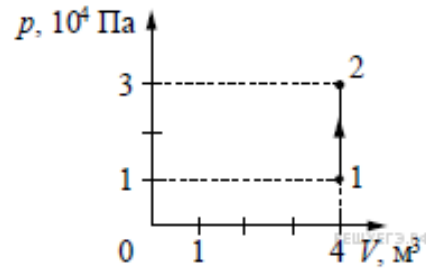
Следовательно,

$$T_2 = T_1 p_2 V_2 / p_1 V_1 = 9T_1/2$$

Ответ: 4,5.

Задание 8 № 8002

На рисунке изображено изменение состояния постоянной массы разреженного аргона. Температура газа в состоянии 1 равна 27°C . Какая температура соответствует состоянию 2? Ответ выразите в градусах Кельвина.



Раздел кодификатора ФИПИ: [2.1.10 Уравнение Менделеева - Клапейрона](#)

Решение.

Из графика видно, что процесс изохорный. В таком процессе выполняется соотношение

$$p_1/T_1 = p_2/T_2, \text{ откуда получаем } T_2 = p_2 T_1 / p_1 = 3 \cdot 10^4 \cdot 300 / 1 \cdot 10^4 = 900$$

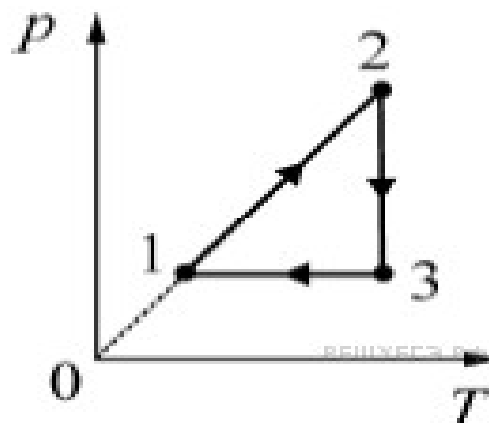
Ответ: 900.

Объяснение явлений

Задание

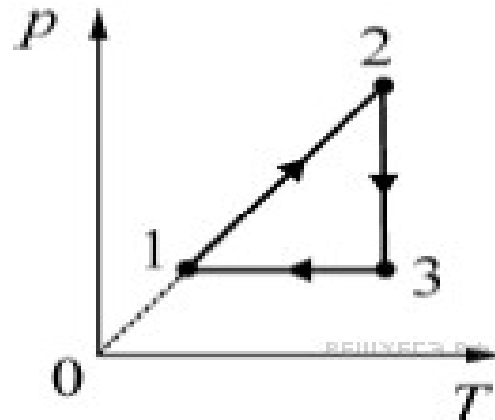
В результате эксперимента по изучению циклического процесса, проводившегося с некоторым постоянным количеством одноатомного газа, который в условиях опыта можно было считать идеальным, получилась зависимость давления p от температуры T , показанная на графике. Выберите два утверждения, соответствующие результатам этого эксперимента, и запишите в таблицу цифры, под которыми указаны эти утверждения.

- 1) В процессе 2–3 газ не совершал работу.
- 2) В процессе 1–2 газ совершал положительную работу.
- 3) В процессе 2–3 газ совершал положительную работу.
- 4) В процессе 3–1 газ совершал положительную работу.
- 5) Изменение внутренней энергии газа на участке 1–2 было равно модулю изменения внутренней энергии газа на участке 3–1.



Раздел кодификатора ФИПИ: [2.2.2 Внутренняя энергия](#)

1) В процессе 2–3 газ не совершал работу

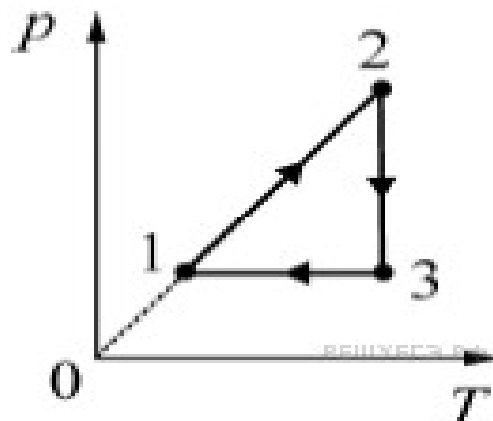


Решение.

1) Процесс 2–3 — изотермическое уменьшение давления, следовательно, по закону Бойля — Мариотта: $pV = \text{const}$ значит, газ расширялся, то есть совершал положительную работу.

Утверждение 1 неверно

2) В процессе 1–2 газ совершал положительную работу.

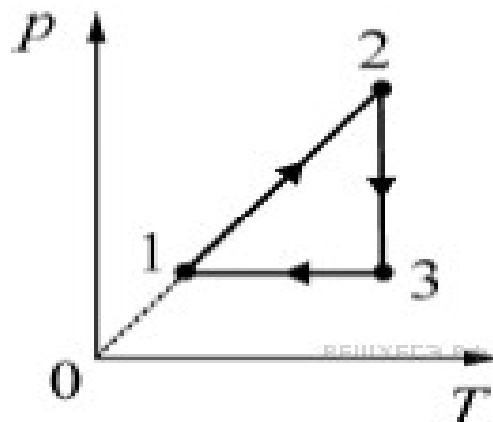


Решение.

2) Заметим, что график построен в переменных p – T , процесс 1–2 — линейный, следовательно, процесс 1–2 — изохора, значит, работа не совершается.

Утверждение 2 неверно

3) В процессе 2–3 газ совершал положительную работу.

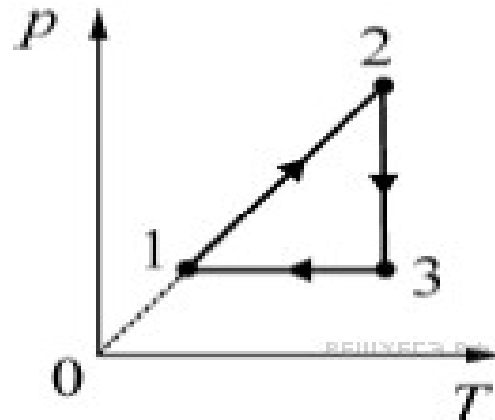


Решение.

3) Процесс 2–3 — изотермическое уменьшение давления, следовательно, газ расширялся, то есть совершал положительную работу.

. Утверждение 3 верно

4) В процессе 3–1 газ совершал положительную работу.

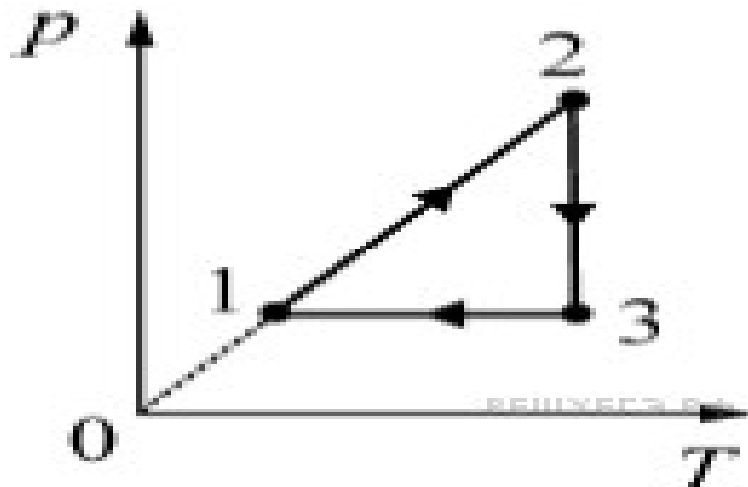


Решение.

4) Процесс 3–1 — это изобарическое уменьшение температуры, следовательно, по закону Гей-Люссака $V/T = \text{const}$, то есть объём также уменьшался. Следовательно, над газом совершают работу, то есть газ совершает отрицательную работу.

Утверждение 4 неверно

5) Изменение внутренней энергии газа на участке 1–2 было равно модулю изменения внутренней энергии газа на участке 3–1



Решение.

5) Изменение внутренней энергии идеального газа прямо пропорционально изменению температуры, Изменение температуры в процессах 1–2 и 3–1 одинаково по модулю, следовательно, модуль изменения внутренней энергии на участке 1–2 равно модулю изменения внутренней энергии на участке 3–1.

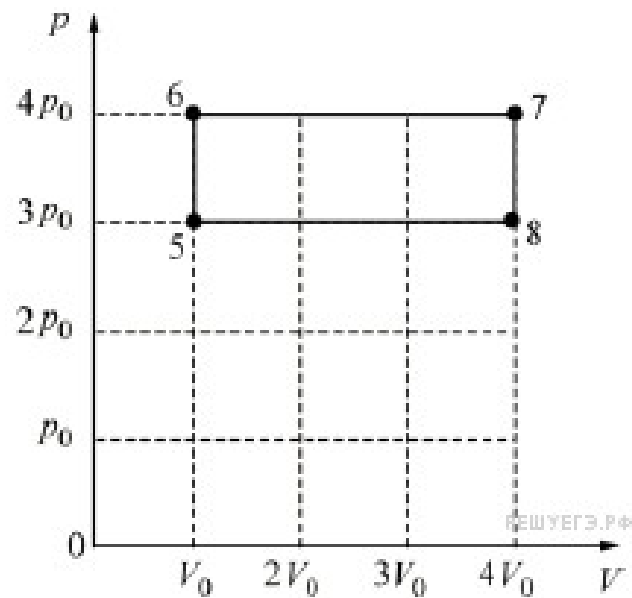
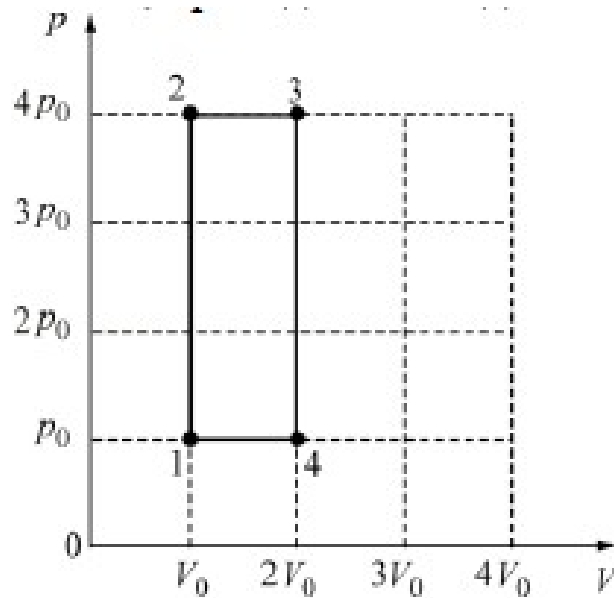
Утверждение 5 верно

Ответ: 35.

Раздел кодификатора ФИПИ: [2.2.7 Первый закон термодинамики](#)

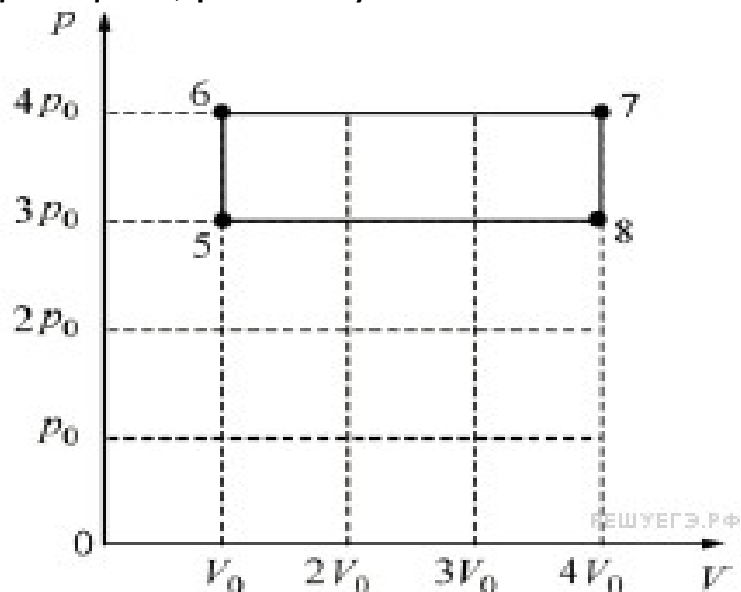
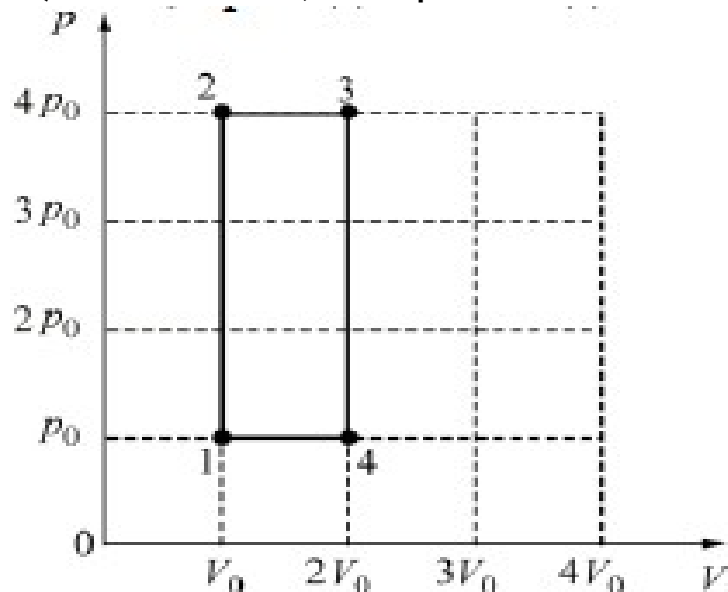
Задание

На pV -диаграммах изображены два циклических процесса 1–2–3–4–1 и 5–6–7–8–5, проводимые с одним и тем же количеством гелия



На основании анализа приведённых графиков, выберите два верных утверждения и укажите в ответе их номера.

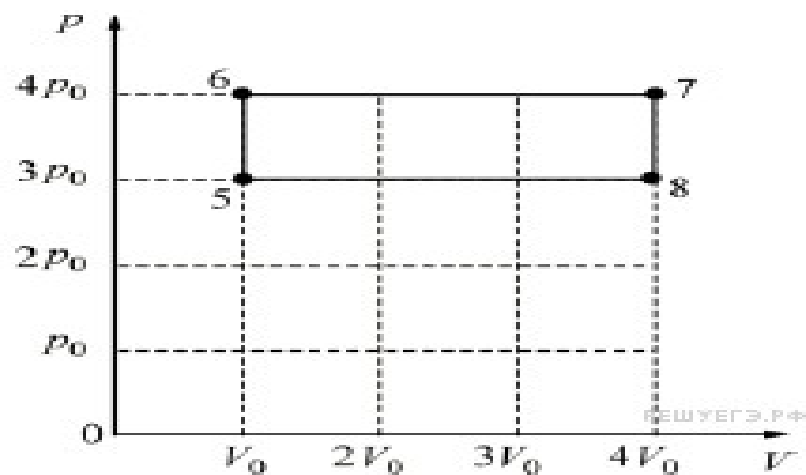
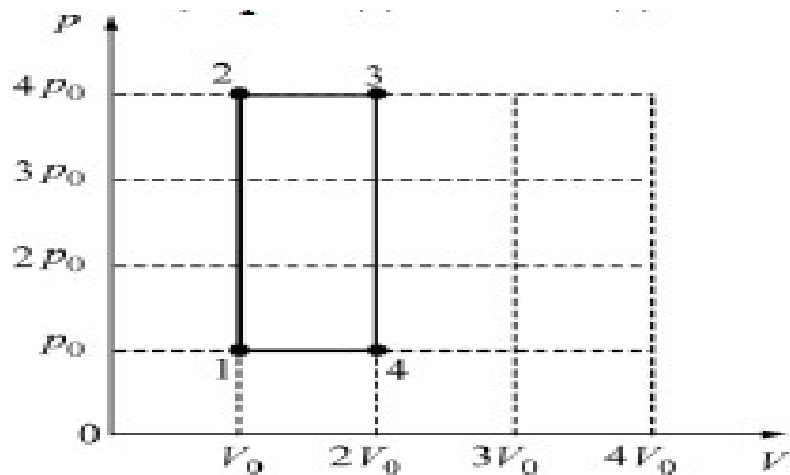
1) Работа газа, совершённая за каждый цикл, равна нулю.



Решение.

Работа газа в замкнутом цикле на диаграмме p — V равна площади фигуры, которую очерчивает этот цикл. Как видно из рисунка, работа газа в обоих циклах не равна нулю (**утверждение 1 неверно**)

2) Количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе в цикле 1–2–3–4–1, больше, чем количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе в цикле 5–6–7–8–5.

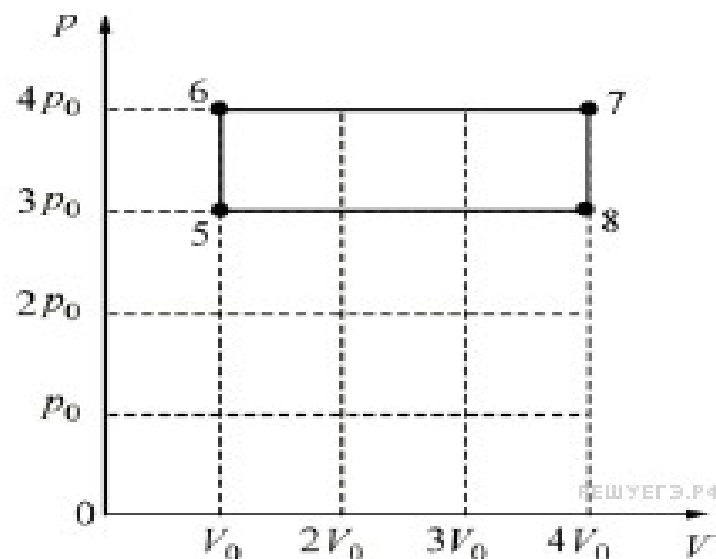
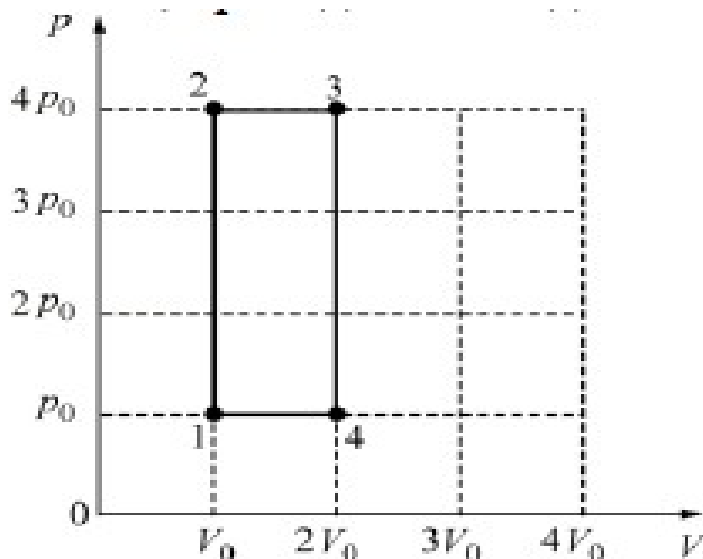


Решение.

Согласно первому началу термодинамики $Q=A+\Delta U$. Газ получает тепло в изобарных процессах 2–3 и 6–7. В этих процессах газ совершает работу, а также его внутренняя энергия изменяется следующим образом: $Q=A+\Delta U = p\Delta V + 3/2\nu R\Delta T = 5/2 p\Delta V$

Количество теплоты, полученное газом в процессе 2–3 $Q_{23} = 5/2 \cdot 4p_0 V_0 = 10p_0 V_0$ меньше, чем количество теплоты, полученное газом в процессе 6–7 $Q_{67} = 5/2 \cdot 4p_0 3V_0 = 30p_0 V_0$ (**утверждение 2 неверно**).

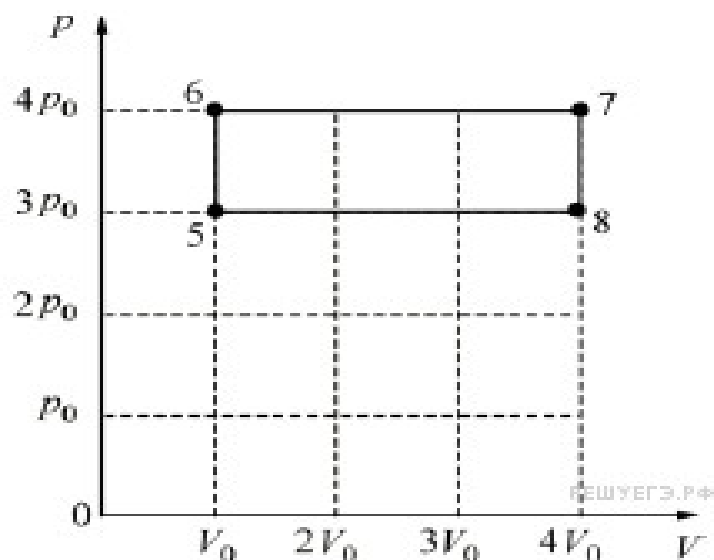
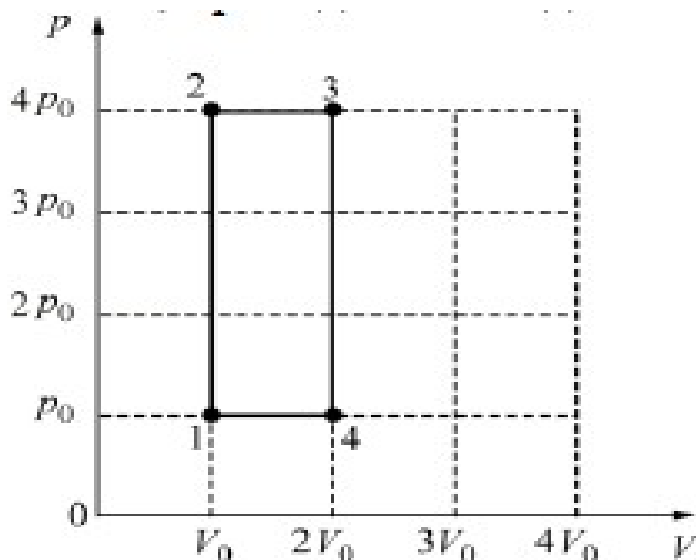
3) Количество теплоты, полученное газом в изохорном процессе в цикле 1-2-3-4-1, больше, чем количество теплоты, полученное газом в изохорном процессе в цикле 5-6-7-8-5.



В изохорном процессе работа газа равна нулю, а изменение внутренней энергии равно количеству теплоты, которое получил газ: $Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta p V$

Тепло, полученное газом в изохорном процессе 1-2 $Q_{12} = \frac{3}{2} \cdot 3p_0 V_0 = 4,5p_0 V_0$ больше, чем тепло, полученное газом в изохорном процессе 5-6 $Q_{56} = \frac{3}{2} \cdot p_0 V_0 = 1,5p_0 V_0$ (утверждение 3 верно).

4) Модуль количества теплоты, отданной газом в изобарном процессе в цикле 1–2–3–4–1, меньше, чем модуль количества теплоты, отданной газом в изобарном процессе в цикле 5–6–7–8–5.



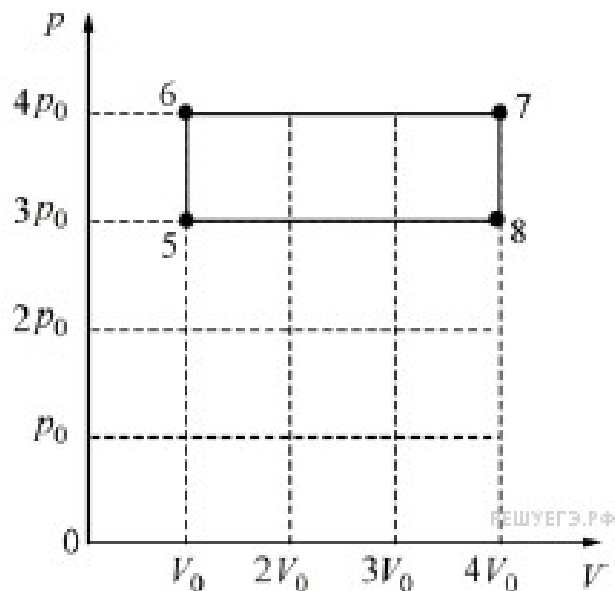
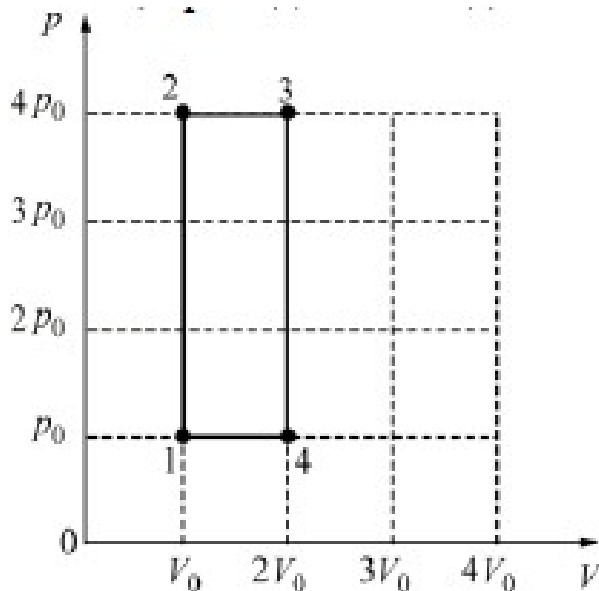
Решение.

Модуль количества теплоты, отданной газом в изобарном процессе 4–1

$Q_{41} = 5/2 \cdot p_0 V_0 = 2,5 p_0 V_0$ меньше, чем модуль количества теплоты, отданной газом в изобарном процессе 8–5

$Q_{85} = 5/2 \cdot 3p_0 \cdot 3V_0 = 22,5 p_0 V_0$ (утверждение 4 верно).

5) Модуль количества теплоты, отданной газом в изохорном процессе в цикле 1-2-3-4-1, меньше, чем модуль количества теплоты, отданной газом в изохорном процессе в цикле 5-6-7-8-5.



Решение. В изохорном процессе работа газа равна нулю, а изменение внутренней энергии равно количеству теплоты, которое получил газ: $Q = \Delta U = 3/2 \nu R \Delta T = 3/2 \Delta p V$

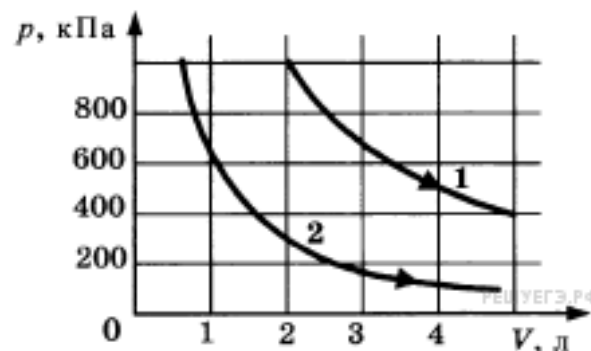
Модуль количества теплоты, отданной газом в изохорном процессе 3-4

$Q_{34} = 3/2 \cdot 3p_0 \cdot 2V_0 = 9p_0 V_0$ больше, чем модуль количества теплоты, отданной газом в изохорном процессе 7-8 $Q_{78} = 3/2 \cdot p_0 \cdot 4V_0 = 6p_0 V_0$ (утверждение 5 неверно).

Задание

На рисунке приведены графики двух изотермических процессов, проводимых с одной и той же массой газа. На основании графиков выберите два верных утверждения о процессах, происходящих с газом.

- 1) Оба процесса идут при одной и той же температуре.
- 2) В процессе 1 внутренняя энергия газа увеличивается.
- 3) Процесс 1 идет при более высокой температуре.
- 4) Процесс 2 идет при более высокой температуре.
- 5) В процессе 1 объем увеличивается.



Решение.

График 1 находится выше графика 2, значит, процесс 1 идёт при более высокой температуре. В изотермическом процессе внутренняя энергия идеального газа не изменяется. Исходя из направления стрелки, видно, что объём в процессе 1 увеличивается. Верны третье и пятое утверждения.

Ответ: 35.

Раздел кодификатора ФИПИ: [2.2.2 Внутренняя энергия](#)

Влажность

Задание

Какова относительная влажность воздуха при температуре 20 °С, если точка росы 12 °С? Давление насыщенного водяного пара при 20 °С равно 2,33 кПа, а при 12 °С — 1,40 кПа. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

Решение.

Точка росы — это значение температуры газа, при достижении которой водяной пар, содержащийся в газе, охлаждаемом изобарически, становится насыщенным. Поскольку в нашем случае точке росы соответствует температура 12 °С заключаем, что парциальное давление пара в воздухе равно 1,40 кПа. Следовательно, относительная влажность воздуха при 20 °С равна

$$\varphi = p_{\text{парц}} / p_{\text{нас.пар.при } 20} \cdot 100\% = 1,4 / 2,33 \cdot 100\% = 60\%$$

Ответ: 60.

Раздел кодификатора ФИПИ:

2.1.14 Влажность воздуха. Относительная влажность

Задание

Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 30%. Какой станет относительная влажность, если объём сосуда при неизменной температуре уменьшить в 2 раза? (Ответ дать в процентах.)

Решение.

Относительной влажностью называют отношение давления пара к давлению насыщенного пара при той же температуре. В силу того, что пар можно описывать при помощи уравнения для идеального газа: $p = nkT$. Для относительной влажности имеем:

$$\varphi = p_{\text{парц}} / p_{\text{нас.пар.}} \cdot 100\% = nkT / n_{\text{н.п.}} \cdot kT \cdot 100\% = n / n_{\text{н.п.}} \cdot 100\%$$

Если объем газа уменьшить в 2 раза, его концентрация возрастет в 2 раза. ($n = N/V$) Следовательно, относительная влажность также увеличится в 2 раза и станет равна 60%.

Ответ: 60.

Раздел кодификатора ФИПИ:

2.1.14 Влажность воздуха. Относительная влажность