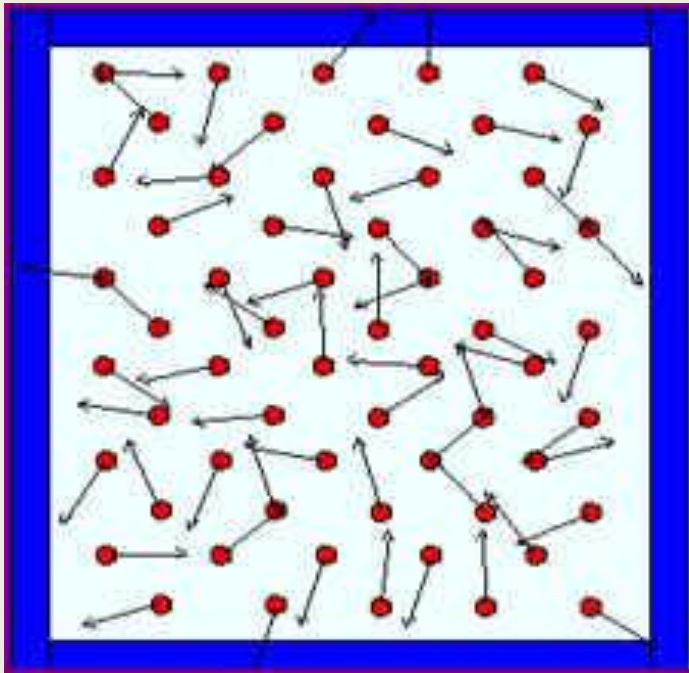


МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

В СООТВЕТСТВИИ С КОДИФИКАТОРОМ ЕГЭ.

1. Модели строения газов, жидкостей и твердых
2. Тепловое движение атомов и молекул
3. Броуновское движение
4. Диффузия
5. Взаимодействие частиц вещества
6. Модель идеального газа
7. Связь между давлением и средней кинетической энергией теплового движения молекул идеального газа
8. Абсолютная температура
9. Абсолютная температура как мера средней кинетической энергии его частиц
10. Уравнение Менделеева-Клапейрона
11. Изопроцессы: изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы
12. Насыщенные и ненасыщенные пары
13. Влажность воздуха
14. Изменение агрегатных состояний вещества: испарение и конденсация, кипение жидкости
15. Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация

Математическая модель – это приближенное описание какого-либо класса явлений или объектов реального мира на языке математики. Основная *цель* моделирования – исследовать эти объекты и предсказать результаты будущих наблюдений. Однако, моделирование – это еще и метод познания окружающего мира, дающий возможность управлять им.

- При изучении явлений в природе и технической практике невозможно учесть все факторы, влияющие на ход того или иного явления. Однако, из опыта всегда можно установить важнейшие из них. Тогда всеми другими факторами, не имеющими решающего влияния, можно пренебречь. На этой основе создается идеализированное (упрощенное) представление о таком явлении. Созданная на этой основе модель помогает изучить реально происходящие процессы и предвидеть их ход в различных случаях.

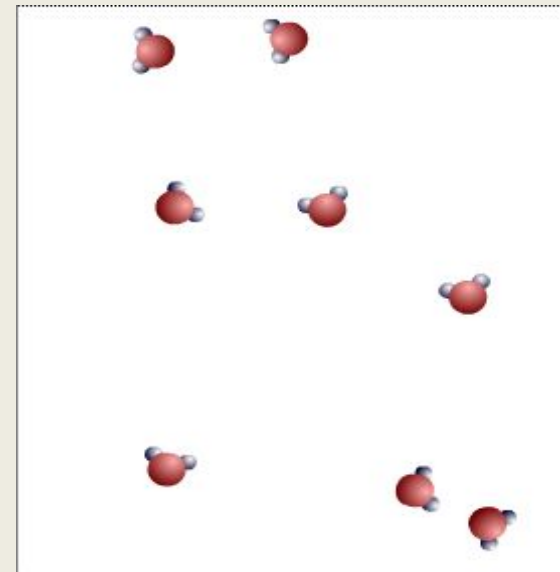
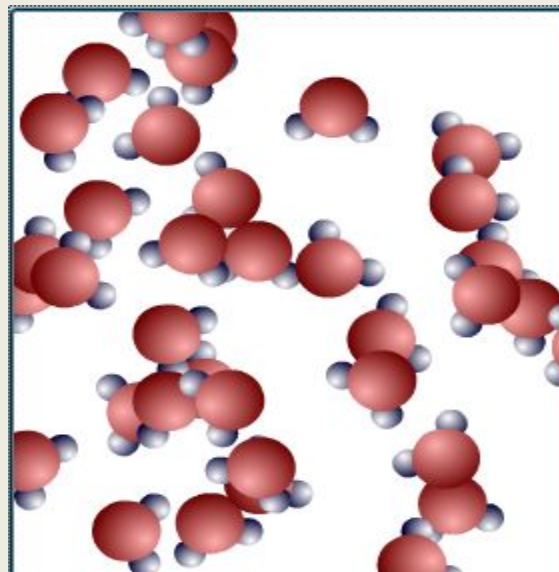
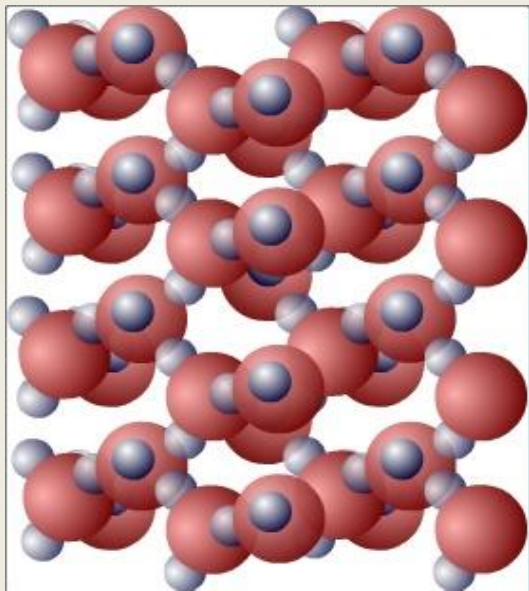
Основные положения МКТ

Молекулярно-кинетической теорией называют учение о строении и свойствах вещества на основе представления о существовании атомов и молекул как наименьших частиц химического вещества.

В основе молекулярно-кинетической теории лежат

- три основных положения:**
1. Все вещества – жидкие, твердые и газообразные – образованы из мельчайших частиц – молекул, которые сами состоят из атомов («элементарных молекул»).
 2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
 3. Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.

1. Модели строения газов, жидкостей и твердых



В **твердых телах** молекулы совершают **беспорядочные колебания около фиксированных центров** (положений равновесия).

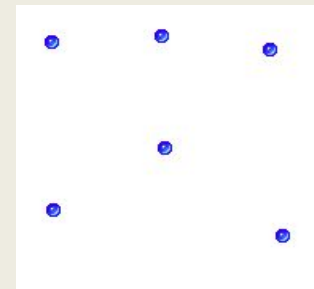
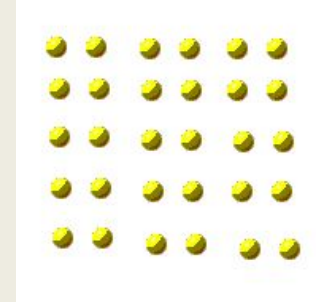
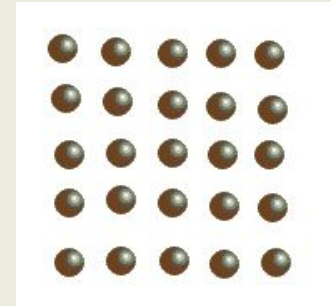
В **жидкостях** молекулы имеют значительно **большую свободу** для теплового движения. Они не привязаны к определенным центрам и **могут перемещаться по всему объему** жидкости. Этим объясняется **текучесть** жидкостей.

В **газах** расстояния между молекулами обычно значительно больше их размеров, каждая молекула **движется** вдоль прямой линии до очередного **столкновения с другой молекулой** или со стенкой сосуда.

2. Тепловое движение атомов и молекул

Беспорядочное хаотическое движение молекул называется **тепловым движением**.

- Тепловое движение атомов в твердых телах:
- Тепловое движение молекул в жидкости:
- Тепловое движение молекул в газе:



Установите соответствие:

1. Молекулы движутся с огромными скоростями.
2. Тела сохраняют форму и объем.
3. Атомы колеблются около положения равновесия.
4. Расстояние между молекулами превышает размер молекул.
5. Молекулы колеблются, периодически перескакивая на новое место.
6. Тела сохраняют форму, но не сохраняют объем.

А. Твердые тела.

Б. Жидкости.

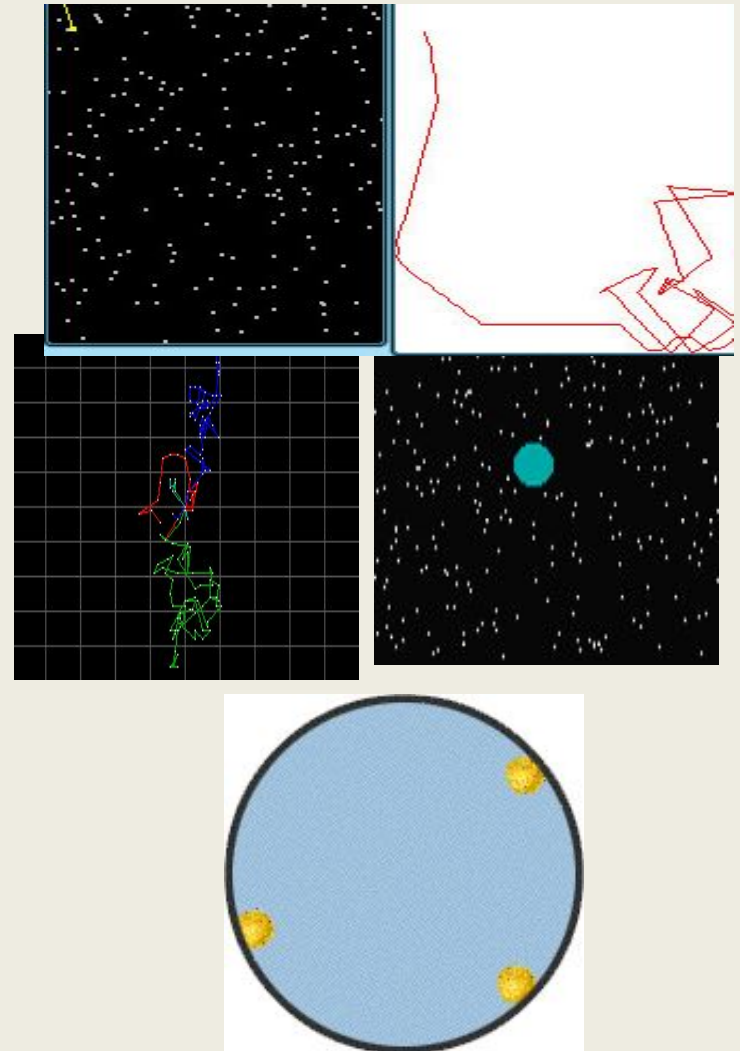
В. Газы.

Ответы: 1-В 2-А 3-А 4-В 5-Б 6-Б

3. Броуновское движение

Броуновское движение - это тепловое движение мельчайших частиц, взвешенных в жидкости или газе

1. Броуновское движение :
2. Броуновская частица среди молекул:
3. Траектория движения проникновения двух или нескольких соприкасающихся веществ друг в друга. 3-х броуновских частиц :



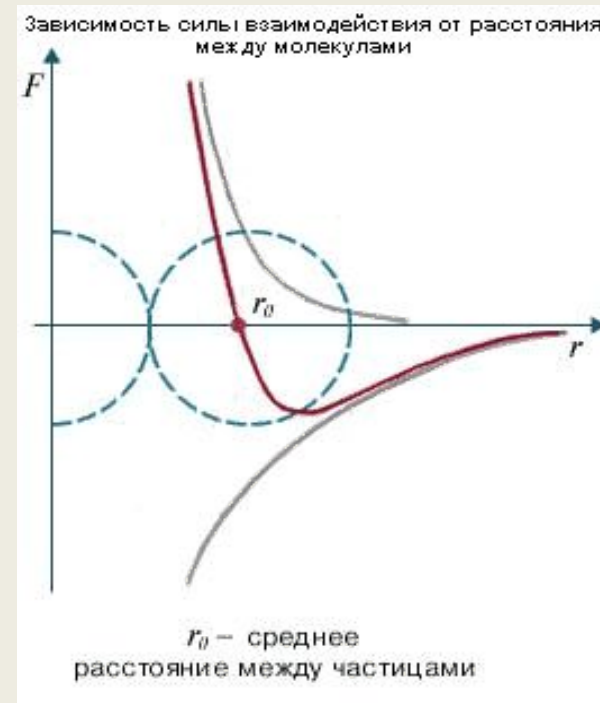
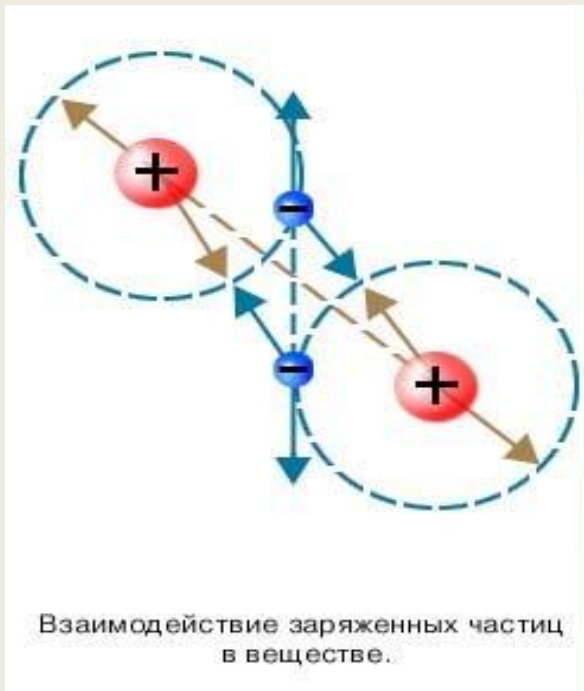
4. Диффузия

ДИФФУЗИЯ – это взаимное проникновение молекул одного вещества в межмолекулярные промежутки другого вещества в результате их хаотического движения и столкновений друг с другом.

Диффузия приближает систему к состоянию **термодинамического равновесия**

5. Взаимодействие частиц вещества

Силы взаимодействия между молекулами.



- На **очень малых** расстояниях между молекулами **обязательно** действуют **силы отталкивания**.

- На расстояниях, **превышающих 2 - 3 диаметра молекул**, действуют **силы**

6.ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

Известно, что частицы в газах, в отличие от жидкостей и твердых тел, располагаются друг относительно друга на расстояниях, существенно превышающих их собственные размеры. В этом случае взаимодействие между молекулами пренебрежимо мало и кинетическая энергия молекул много больше энергии межмолекулярного взаимодействия. Для выяснения наиболее общих свойств, присущих всем газам, используют упрощенную модель реальных газов -

идеальный газ

**Реальный газ можно считать
идеальным, если он сильно
разрежен и хорошо нагрет**

водород гелий

Идеальный газ (модель)

1. Совокупность большого числа молекул массой m_0 , размерами молекул пренебрегают (принимают молекулы за материальные точки).
2. Молекулы находятся на больших расстояниях друг от друга и движутся хаотически.
3. Молекулы взаимодействуют по законам упругих столкновений, силами притяжения между молекулами пренебрегают.
4. Скорости молекул разнообразны, но при определенной температуре средняя скорость молекул остается постоянной.
5. Для отдельно взятой молекулы

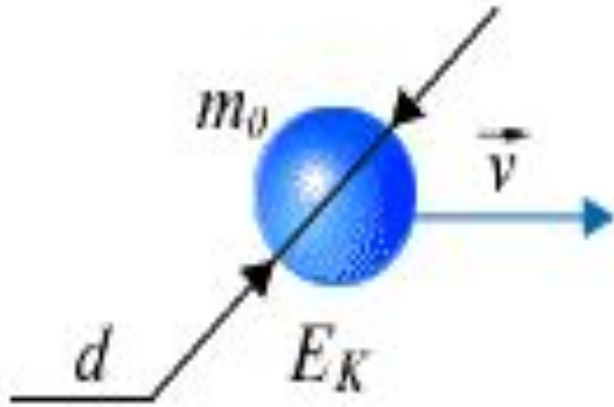
Реальный газ

1. Молекулы реального газа не являются точечными образованиями, диаметры молекул лишь в десятки раз меньше расстояний между молекулами.
2. Молекулы не взаимодействуют по законам упругих столкновений.

Модель идеального газа

- в кинетической модели *идеального газа* молекулы рассматриваются как идеально упругие шарики, взаимодействующие между собой и со стенками только во время упругих столкновений.
- Суммарный объем всех молекул предполагается малым по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ.
- **Микроскопические параметры** (масса, скорость, кинетическая энергия молекул)
- **Макроскопическими параметрами** (давление, газ, температура)

- Какие параметры, характеризующие газ и процессы, проходящие в нем, называются **микроскопическими параметрами (микропараметрами)**



Каждая частица газа обладает микроскопическими параметрами.

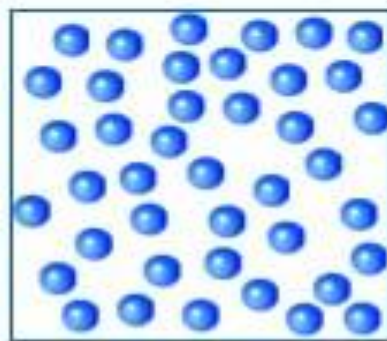
Микропараметры

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

$$M = N_A \cdot m_0$$

- **Моль** – это количество вещества, содержащее столько же частиц (молекул), сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода ^{12}C .
- в одном моле любого вещества содержится одно и то же число частиц (молекул). Это число называется **постоянной Авогадро N_A** :
 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.
- Массу одного моля вещества принято называть **молярной массой M** .
- Молярная масса выражается в килограммах на моль (**кг/моль**)
- Отношение массы атома или молекулы данного вещества к 1/12 массы атома углерода ^{12}C называется **относительной массой**.

- Температуру, объем, давление и некоторые другие параметры принято называть параметрами состояния газа . Выведем уравнение, устанавливающее зависимость между этими параметрами.



m – масса газа

V – объём газа

T – температура газа

p – давление газа

n – концентрация

7.Связь между давлением и средней кинетической энергией теплового движения молекул

идеального газа

Основное уравнение МКТ газов.

$$p = \bar{p} = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

Давление газа равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема

$$p = nkT,$$

где $n = N/V$ – концентрация молекул (т. е. число молекул в единице объема сосуда)

k – постоянной Больцмана, в честь австрийского физика. Ее численное значение в СИ равно:

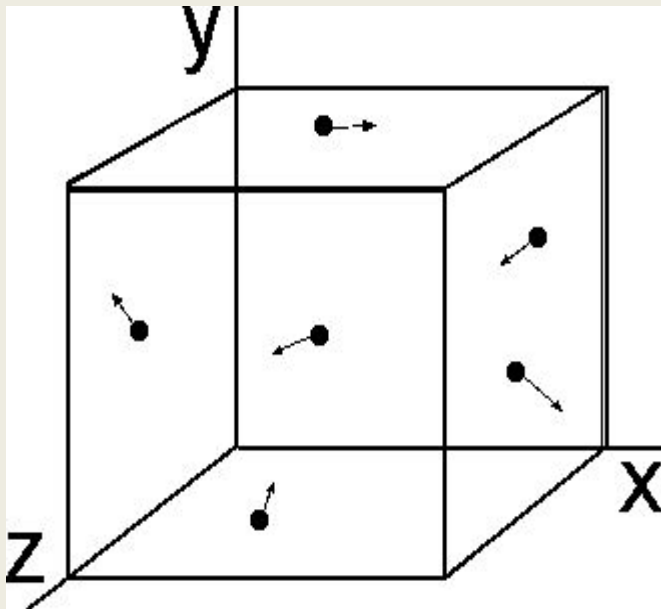
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

Закон Дальтона: давление в смеси химически невзаимодействующих газов равно сумме их парциальных давлений

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots)kT.$$

- **Среднеквадратичная скорость**
- Так как движение молекул газа хаотическое, то направление и величина скорости могут быть любыми.
- Если v_1 v_2 v_3 v_N – скорости отдельных молекул, то сумма скоростей молекул $v_1 + v_2 + \dots + v_N = 0$
- Среднеквадратичная скорость [формула]

Средняя квадратичная скорость движения молекул



$$\frac{N}{3}$$

– молекул
движется по
каждой оси.

$$\frac{N}{6}$$

– молекул
движутся в одном
направлении
вдоль каждой оси

Среднее значение квадрата скорости молекул

В различных газах молекулы имеют разные скалярные скорости, но средняя кинетическая энергия остается величиной постоянной.

Ек молекул зависит от квадрата скорости, поэтому....

Пусть $V_1, V_2, V_3, \dots, V_N$,
модули скоростей молекул

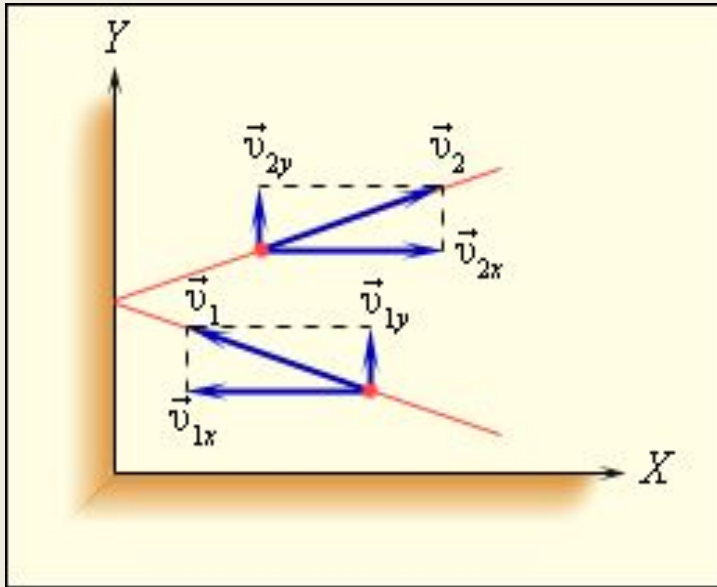
$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_N}{N} = 0$$

$$v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = v^2. \quad \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}.$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

- **Уравнение состояния** - первое из замечательных обобщений в физике, с помощью которых свойства разных веществ выражаются через одни и те же основные величины. Именно к этому стремиться физика - к нахождению общих законов, не зависящих от тех или иных веществ. Газы, существенно простые по своей природе, дали первый пример такого обобщения.

Вывод основного уравнения МКТ



Пусть Z – число столкновений всех молекул со стенкой за 1 с. Эта величина пропорциональна: концентрации частиц в единице объема, скорости молекул, площади стенки, следовательно

$$Z = \frac{1}{2} n S v_x \Delta t.$$

полное изменение импульса всех молекул, столкнувшихся за время Δt с площадкой S , равно

$$n m_0 v_x^2 S \Delta t.$$

• $p = \frac{\overline{F}}{S}$ – давление, создаваемое ударами молекул

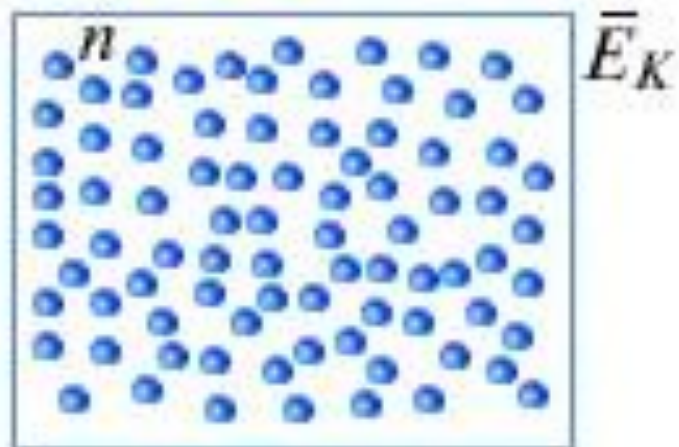
Основное уравнение идеального газа [формула]

- p - давление газа
- m_0 - масса молекулы
- v – среднеквадратичная скорость
- n – концентрация частиц

$$p = \frac{1}{3} m_0 \overline{v^2} \cdot n$$

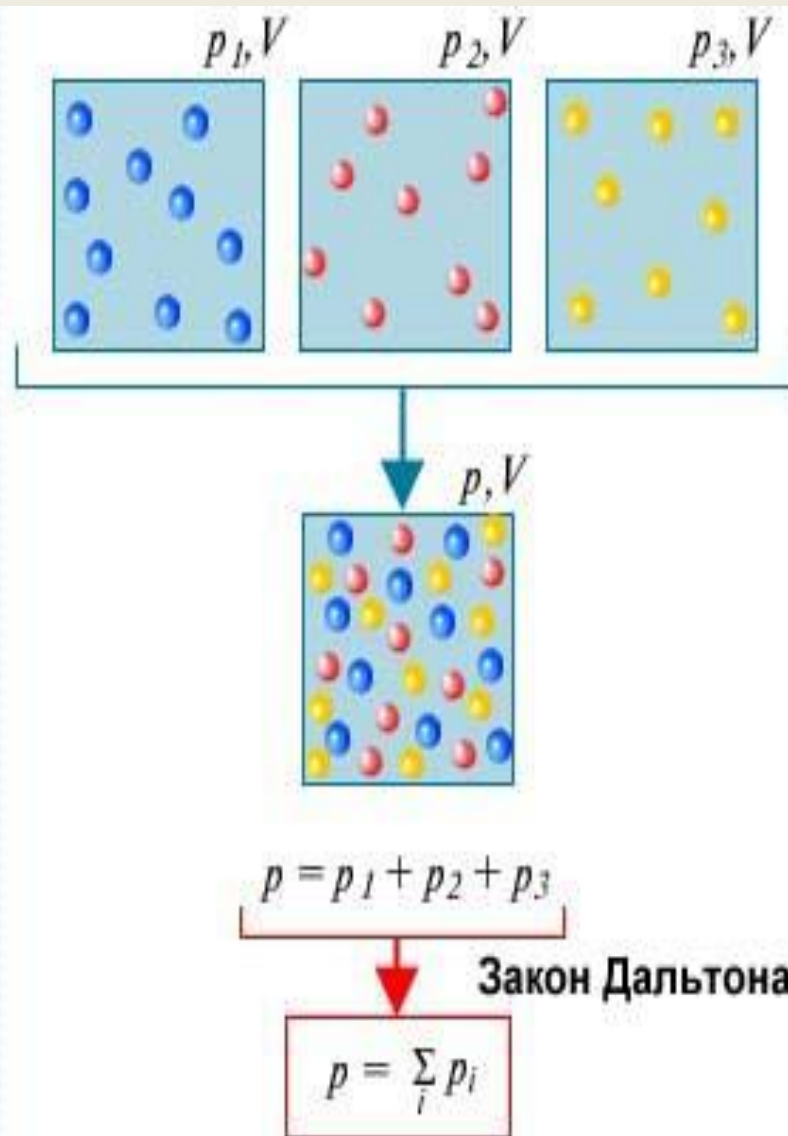
$$p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \overline{E_{k_0}}$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \cdot \overline{v^2}$$



$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

Основное уравнение МКТ
идеального газа



Задача: Каково давление азота, если средняя квадратичная скорость его молекул 500 м/с, а его плотность 1,35 кг/м³?

Решение задачи:

Дано :

$$P = \frac{1}{3} \rho V^2$$

$V = 500$ /

$$P = \frac{1}{3} \cdot 1,35 \cdot 500^2 =$$

$\rho = 1,35 \text{ кг} / \text{м}^3$

Найти :

$$= 112500 \text{ Па} \approx$$

$P = ?$

$$\approx 112,5 \text{ кПа}$$

Задача:

При температуре -27°C давление газа в закрытом сосуде было 75 кПа . Каким будет давление при температуре -13°C ?

Дано:

$$T_1 = 27^{\circ}\text{C}$$
$$T_2 = -13^{\circ}\text{C}$$
$$P_1 = 75\text{ кПа}$$

$$P_2 = ?$$

Си

$$300\text{К}$$
$$260\text{ К}$$
$$75000\text{ ПА}$$

Решение

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$
$$P_2 = (P_1 \cdot T_2) / T_1$$
$$P_2 = (75000\text{ПА} \cdot 260\text{ К}) : 300\text{ К} = 65000\text{ Па} = 65\text{кПА}$$

Ответ: $P_2 = 65\text{ кПА}$

8. Абсолютная температура

Связь абсолютной шкалы со шкалой Цельсия



Уильям Томсон,
лорд Кельвин
· британский физик
и механик.
1824 - 1907



Андерс Цельсий —
шведский астроном,
геолог и метеоролог
1701 - 1744

9. Абсолютная температура как мера средней кинетической энергии его частиц

- **Тепловое равновесие** – это такое состояние системы тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не происходит теплопередачи от одного тела к другому, и все макроскопические параметры тел остаются неизменными.
- **Температура** – это физический параметр, одинаковый для всех тел, находящихся в тепловом равновесии.
- Для измерения температуры используются физические приборы – **термометры**
- В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть кельвином и обозначать буквой К.

$$T_K = T_C + 273,15$$

- Температурная шкала Кельвина называется **абсолютной шкалой температур**.
- Кроме **точки нулевого давления** газа, которая называется **абсолютным нулем температуры**, достаточно принять еще одну фиксированную **опорную точку** - **температура тройной точки воды** ($0,01^\circ \text{C}$), в которой в **тепловом равновесии** находятся все три фазы – **лед, вода и пар** -

- **Средняя кинетическая энергия** хаотического движения молекул газа прямо пропорциональна **абсолютной температуре**.

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT.$$

- Температура есть **мера** средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

Давление газа

Вследствие теплового движения, частицы газа время от времени ударяются о стенки сосуда. При каждом ударе молекулы действуют на стенку сосуда с некоторой силой. Складываясь друг с другом, силы ударов отдельных частиц образуют в некоторую сторону давление, постоянно действующую на стенку.

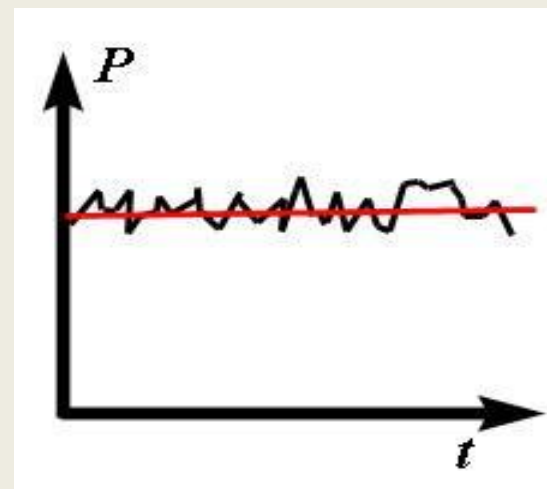
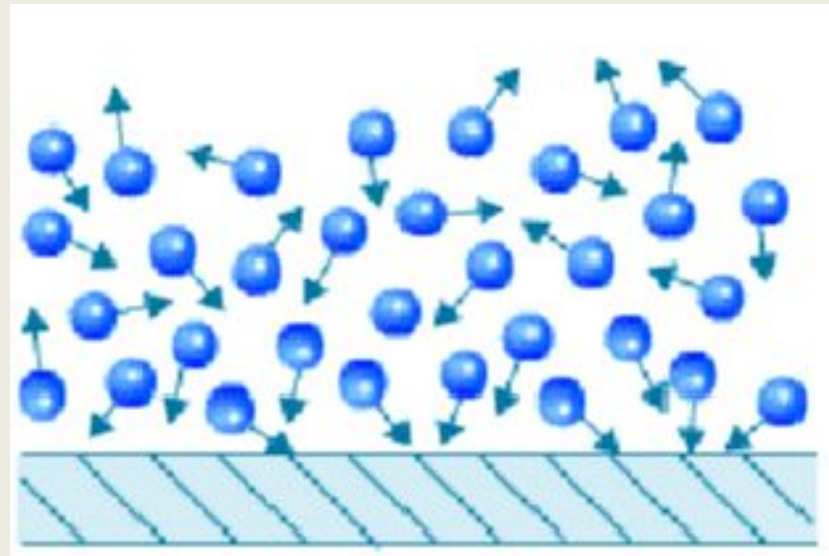
Давление газа создается ударами молекул.

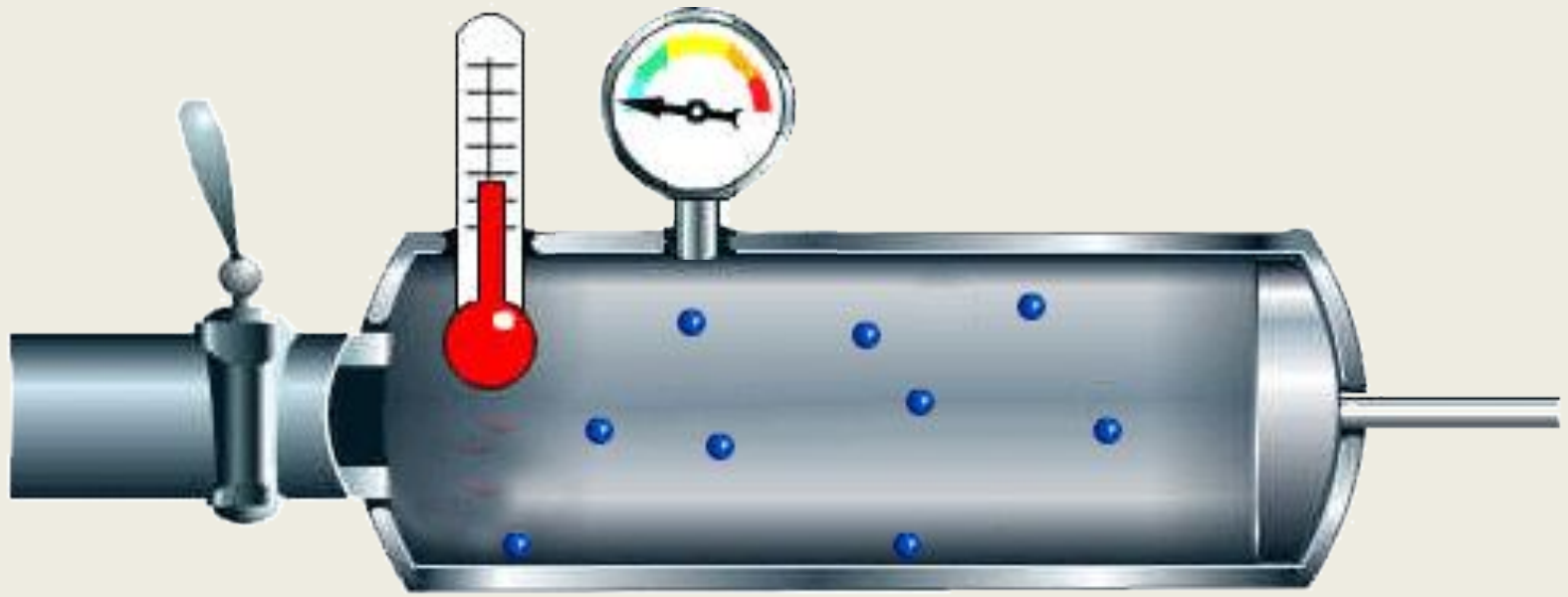


малые силы отдельных ударов складываются в постоянную силу давления

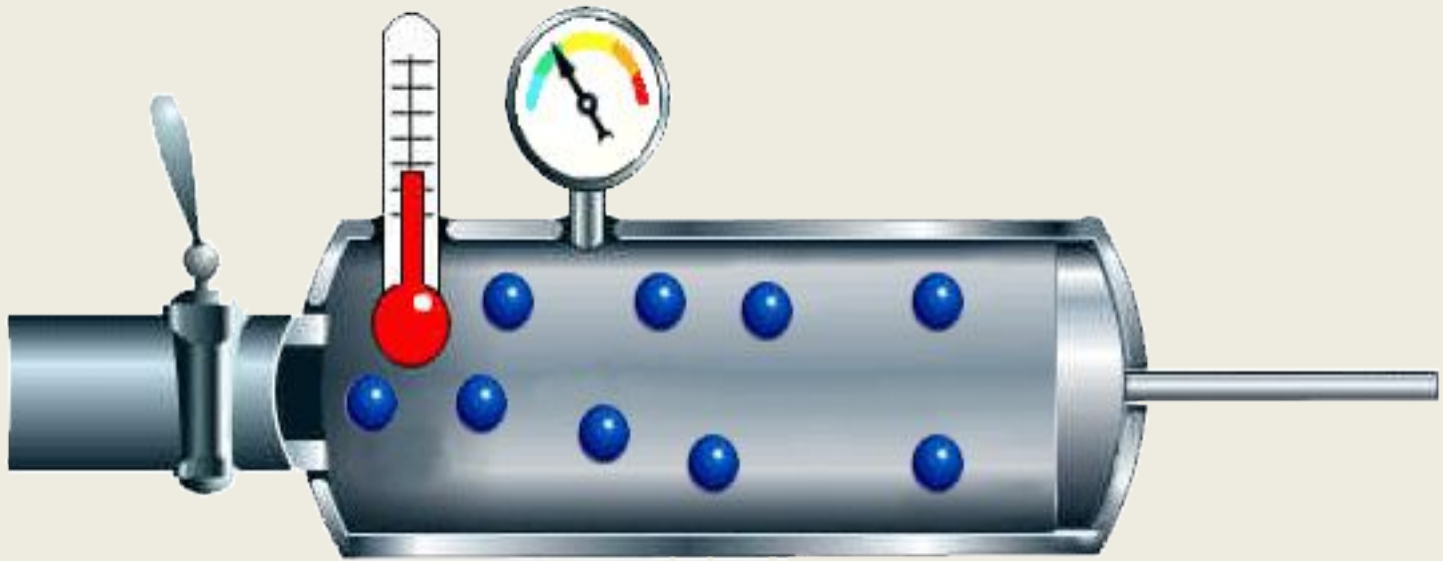
Зависимость давления идеального газа от:

- Массы молекул
- Концентрации молекул
- Скорости движения молекул

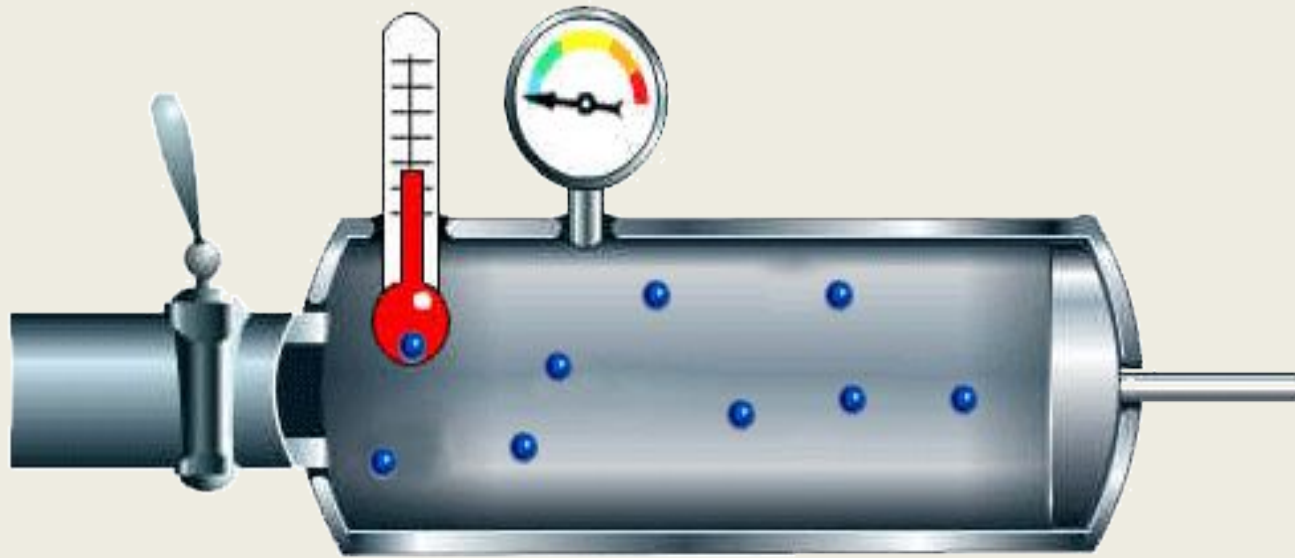




P?



$$n \uparrow \rightarrow P \uparrow$$



$$m_0 \uparrow \rightarrow P \uparrow$$



$P? m_0 n V^2$



Основное уравнение МКТ идеального газа.

Масса молекулы [кг] Скорость движения молекул [м/с]

$$P = \frac{1}{3} m_0 n V^2$$

Давление газа [Па]

Концентрация молекул [м³]

**Связь давления
со средней
кинетической
энергией**

Связь давления с плотностью газа.

$$\rho = m_0 \cdot n$$

← Концентрация
молекул

← Масса молекулы

← Плотность газа

$$P = \frac{1}{3} m_0 \cdot n \rho \cdot V^2$$

Воспользуйтесь формулой :

$$P = \frac{1}{3} \rho V^2$$

Давление

Плотность

Средняя квадратичная скорость

Сначала найдите плотность газа по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

← Масса газа

← Объем газа

А потом выразите скорость движения молекул из формулы:

$$P = \frac{1}{3} \rho V^2$$

$$E = \frac{m_0 \cdot V^2}{2}$$

Средняя кинетическая
энергия
поступательного
движения молекулы

$$P = \frac{1}{3} m_0 n V^2 \times \frac{2}{2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 V^2}{2} = \frac{2}{3} n E$$

Анализ уравнения

Чем больше масса частиц, тем больше сила удара о стенки (m_0)

Чем больше число частиц (n), тем чаще совершаются удары о стенку

Чем больше скорость частиц, тем чаще удары о стенку

Задача

Какова среднеквадратичная скорость движения молекул газа, если его масса 6кг, объём 5м^3 и давление 200кПа?

Задачи

- 1. Как изменится давление газа при уменьшении в 4 раза его объема и увеличении температуры в 1,5 раза?
- 2. Оцените число молекул воздуха, находящегося в классе, при нормальном атмосферном давлении и температуре 20 градус Цельсия?
- 3. Чему равен объем одного моля газа при нормальных условиях?
- 4. Вычислите отношение произведения давления на объем к данной температуре, если газ находится при нормальных условиях

• Задача СЗ-6.

При температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 10^5 Па плотность газа равна $2,5\text{ кг/м}^3$. Какова молярная масса газа? Ответ выразите в г/моль и округлите до целых

Возможное решение

Из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

выразим молярную массу:

$$M = \frac{m}{V} \cdot R \cdot \frac{T}{p} = \rho \cdot R \cdot \frac{T}{p}$$
$$M = 2,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \frac{283\text{ К}}{10^5 \text{ Па}} = 0,059 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 59 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Ответ: 59 г/моль.

10. Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p = nkT \quad n = \frac{N}{V}$$
$$p = \frac{N}{V} kT$$

$$\frac{pV}{T} = kN$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$$

Уравнение состояния идеального газа –
уравнение Клапейрона.

$$N = \frac{m N_A}{M}$$
$$\frac{pV}{T} = kN$$
$$\left. \begin{array}{l} N = \frac{m}{m_0} \\ m_0 = \frac{M}{N_A} \end{array} \right\}$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

$$R = N_A \cdot k = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

R – универсальная газовая постоянная

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

Уравнение состояния идеального газа –
уравнение Менделеева-Клапейрона.

Уравнение Менделеева- Клапейрона

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT.$$

Уравнение состояния идеального газа.

- Произведение постоянной Авогадро N_A на постоянную Больцмана k называется **универсальной газовой постоянной**
- $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$
- Уравнение состояния идеального газа:
- **Закон Авогадро**: один моль любого газа при нормальных условиях занимает один и тот же объем V_0 , равный $V_0 = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$.
- Для смеси невзаимодействующих газов уравнение состояния принимает вид
 - $pV = (\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \dots)RT$
- где ν_1, ν_2, ν_3 и т. д. – количество вещества каждого из газов в смеси

Вопросы

- 1. Каковы нормальные условия для идеального газа?
- 2. Какова концентрация молекул идеального газа при нормальных условиях?
- 3. Какие величины характеризуют состояние газа?
- 4. Чем отличается уравнение состояния газа от уравнения Менделеева - Клапейрона? Какое из них полнее по содержанию? Почему?
- 5. Чему равна универсальная газовая постоянная?

Как изменится давление газа на стенки сосуда, если:

- **масса молекулы увеличится в 3 раза**
- **концентрация молекул уменьшится в 4 раза**
- **скорость движения молекул увеличится в 2 раза**
- **объем увеличится в 5 раз**
- **масса молекулы уменьшится в 4 раза, а концентрация увеличится в 2 раза**
- **масса молекулы увеличится в 2 раза, а скорость движения молекул увеличится в 3 раза**
- **концентрация молекул увеличится в 3 раза, скорость движения молекул уменьшится в 3 раза**

Дано :

$$n = 6$$

$$M = 5 \text{ }^3$$

$$P = 2 \cdot 10^5$$

Найти :

$$V = ?$$

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{6}{5} =$$

$$= 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$V = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} =$$

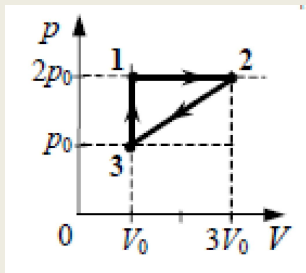
$$= \sqrt{\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5}{1,2}} \approx$$

$$\approx 707 \text{ м} / \text{с}$$

Ответ: $V = 707 \text{ м} / \text{с}$

Задача.

Одноатомный идеальный газ неизменной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке. Газ отдает за цикл холодильнику количество теплоты $|Q_x| = 8 \text{ кДж}$. Чему равна работа газа за цикл?



За цикл количество теплоты, отданное холодильнику:

$$|Q_x| = (U_2 - U_3) + |A_{23}| = (3/2)(\nu RT_2 - \nu RT_3) + (1/2)(p_0 + 2p_0) 2V_0 = \\ = (3/2)(2p_0 3V_0 - p_0 V_0) + 3p_0 V_0 = (21/2) p_0 V_0.$$

$$\text{Работа газа за цикл } A_{\text{ц}} = (p_0/2) 2V_0 = p_0 V_0.$$

$$\text{Отсюда } A_{\text{ц}} = (2/21) |Q_x| \approx 760 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A_{\text{ц}} \approx 760 \text{ Дж}$.

В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Площадь поперечного сечения поршня $S = 25 \text{ см}^2$. Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты $|Q| = 75 \text{ Дж}$. При этом поршень передвинулся на расстояние $x = 10 \text{ см}$. Чему равно давление окружающего воздуха?

1) При медленном охлаждении газа он все время остается равновесным, поэтому можно пользоваться выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2} \nu RT$ и уравнением Клапейрона–

Менделеева $pV = \nu RT$. Отсюда $U = \frac{3}{2} pV$.

2) Поршень движется медленно, сил трения между поршнем и стенками сосуда нет, поэтому давление газа равно давлению окружающего воздуха (процесс изобарен).

3) Первое начало термодинамики для описания изобарного сжатия газа:

$A_{\text{внешн}} = \Delta U + |Q|$, где $A_{\text{внешн}} = pSx$ – работа внешних сил,

$\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V = -\frac{3}{2} pSx$ – изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа при его изобарном сжатии, $|Q|$ – количество теплоты, отведенное от газа при его охлаждении.

Отсюда $pSx = -\frac{3}{2} pSx + |Q|$, $|Q| = \frac{5}{2} pSx$, $p = \frac{2}{5} \cdot \frac{|Q|}{Sx}$.

Ответ: $p = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

- **Задача.** Как изменится температура идеального газа, если увеличить его объем в 2 раза при осуществлении процесса, описываемого формулой $pV^4 = \text{const}$?

Решение:

Выразим из уравнения Менделеева-Клапейрона давление p : (1). Подставим (1) в формулу, описывающую данный процесс: ;
Следовательно, при увеличении объема в 2 раза температура должна понизиться в 8 раз

11. Изопроцессы: изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы

Газовые законы рассматриваются для идеального газа.

Модель идеального газа

предполагает следующее: молекулы обладают пренебрежимо малым объемом по сравнению с объемом сосуда, между молекулами не действуют силы притяжения, при соударении молекул друг с другом и со стенками сосуда действуют силы отталкивания.

Газовые законы рассматриваются для идеального газа.

Модель **идеального газа** предполагает следующее: молекулы обладают пренебрежимо малым объемом по сравнению с объемом сосуда, между молекулами не действуют силы притяжения, при соударении молекул друг с другом и со стенками сосуда действуют силы отталкивания.

Изотермический процесс -

процесс изменения состояния термодинамической системы

макроскопических тел при постоянной температуре

Воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона

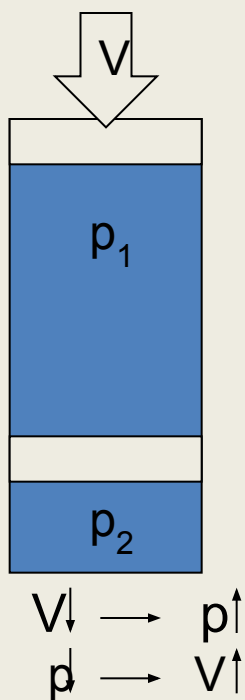
$$p_1 \cdot V_1 = (m/M) \cdot R \cdot T$$

$$p_2 \cdot V_2 = (m/M) \cdot R \cdot T$$

$$p \cdot V = \text{const при } T = \text{const}$$

или

$$p_1 / p_2 = V_2 / V_1$$



Открыт закон в 1862 году Р.Бойлем (Англия),
Э.Мариоттом (Франция)

Носит название:
закона Бойля – Мариотта:

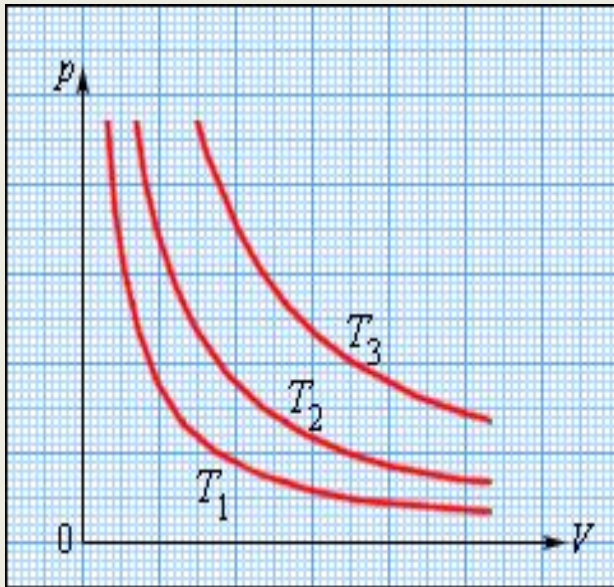
Для газа данной массы произведение
давление газа на объём есть величина
постоянная, если температура газа не
меняется



Р.Бойль

Изопроцессы: изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы

Изопроцессы – это процессы, в которых один из параметров (p , V или T) остается **неизменным**.



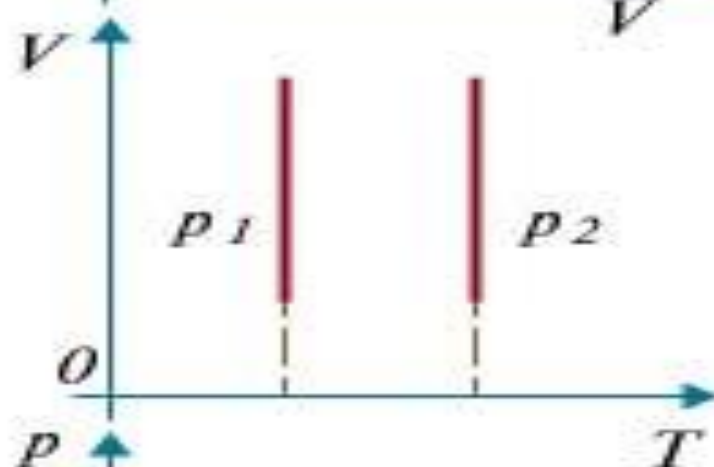
$$T_3 > T_2 > T_1$$

- **Изотермический процесс ($T = const$)** - квазистатический процесс, протекающий при постоянной температуре T .
- **Закон Бойля–Мариотта:** при постоянной температуре T и неизменном количестве вещества ν в сосуде **произведение давления p газа на его объем V должно оставаться постоянным:**
- **$pV = const$**

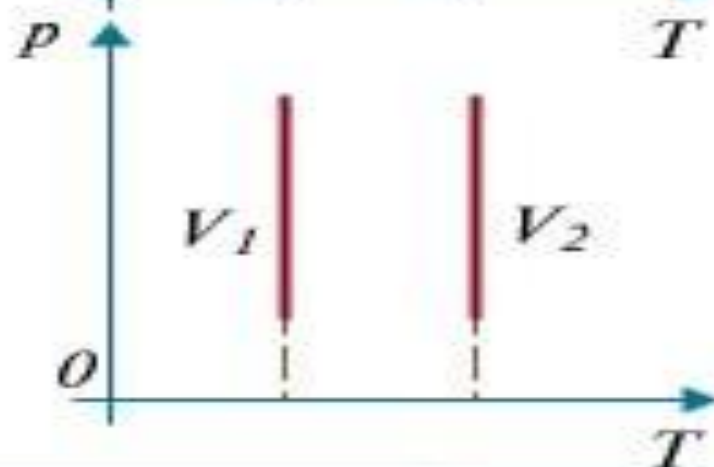
График изотермического процесса



$$T_1 < T_2$$



$$p_1 < p_2$$



$$V_1 < V_2$$

Изотермы
в координатах
 pV , VT и pT .

Изобарный процесс

процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном давлении.

Воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона

$$p \cdot V_1 = (m/M) \cdot R \cdot T_1$$
$$p \cdot V_2 = (m/M) \cdot R \cdot T_2$$

$$V / T = \text{const при } p = \text{const}$$

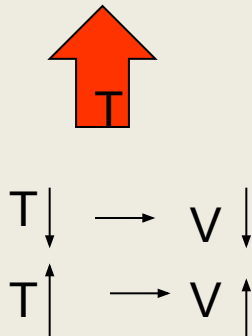
или

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

Установлен закон в 1802 году Ж. Гей –Люссаком (Франция)

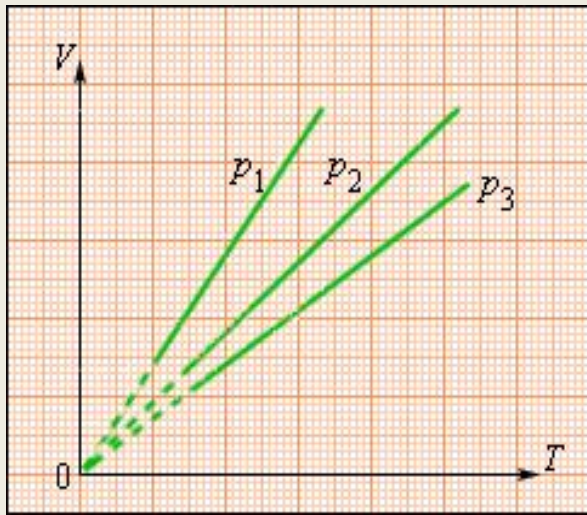


Для газа давление газа не меняется. а
данной массы отношение
объёма к температуре постоянно,
если д



Изопроцессы: изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы

Изопроцессы – это процессы, в которых один из параметров (p , V или T) остается неизменным.



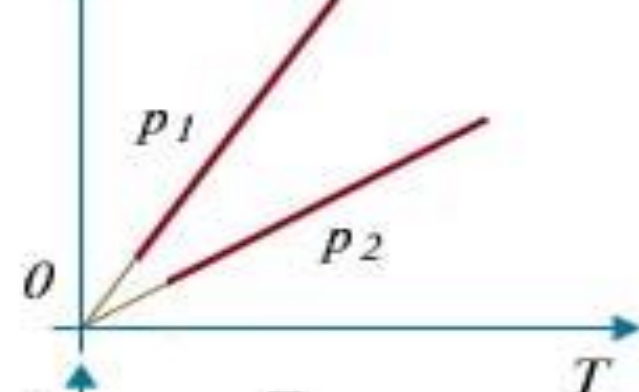
$$p_3 > p_2 > p_1$$

- **Изобарным** процессом называют квазистатический процесс, протекающий при **неизменным давлением p** .
- **Закон Гей-Люссака:**

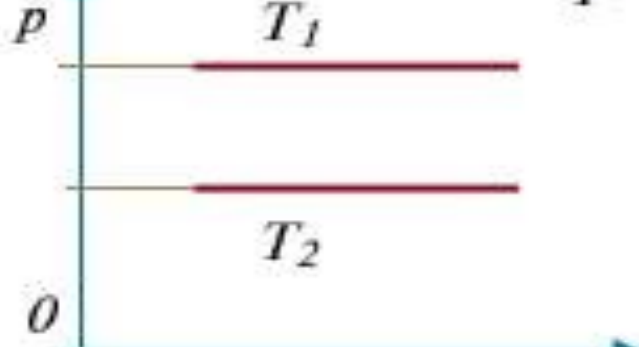
$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ или } V = V_0 \alpha T,$$

- где V_0 – объем газа при температуре 0°C .
- $\alpha = 1/273,15 \text{ K}^{-1}$ - температурный коэффициент объемного расширения газов.

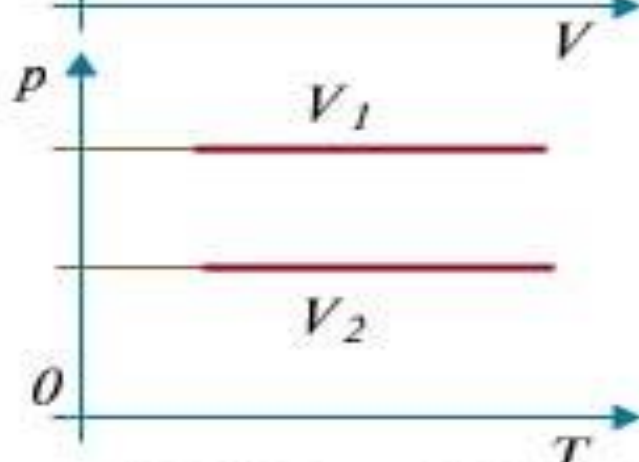
График изобарного процесса.



$$p_1 < p_2$$



$$T_1 < T_2$$



$$V_1 < V_2$$

Изобары в координатах pV , VT и pT .

Изохорный процесс

процесс изменения состояния термодинамической системы
макроскопических тел при постоянном объёме

Воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона

$$\begin{aligned} p_1 \cdot V &= (m/M) \cdot R \cdot T_1 \\ p_2 \cdot V &= (m/M) \cdot R \cdot T_2 \end{aligned}$$

$$p / T = \text{const при } V = \text{const}$$

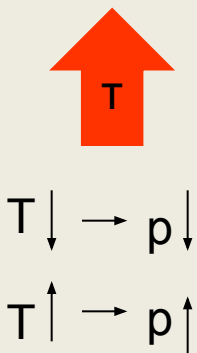
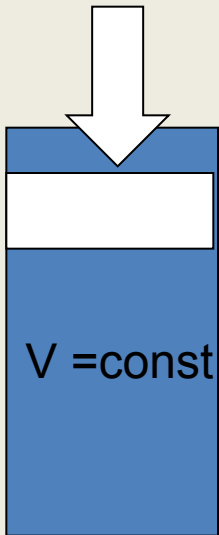
или

$$p_1 / T_1 = p_2 / T_2$$

Открыт закон в 1787 году Ж. Шарлем (Франция)

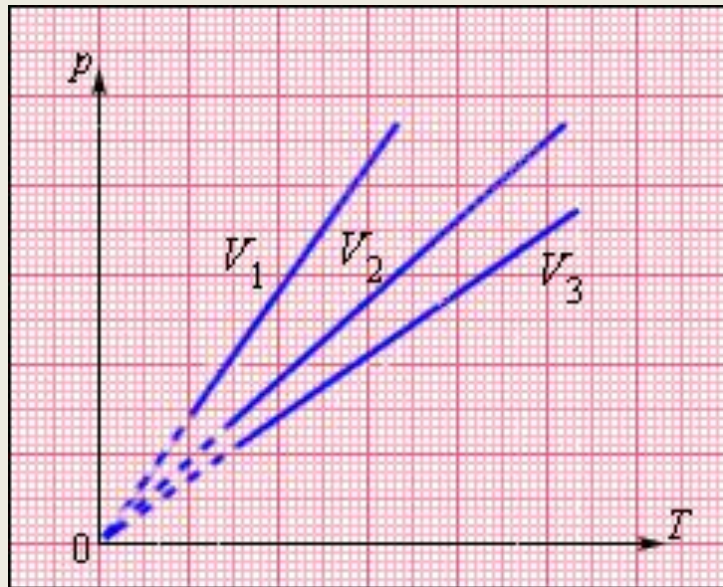
Носит название: закон Шарля:

Для газа данной массы отношение
давления
к температуре постоянно, если объём
не меняется.



Изопроцессы: изотермический, изохорный, изобарный, адиабатный процессы

Изопроцессы – это процессы, в которых один из параметров (p , V или T) остается

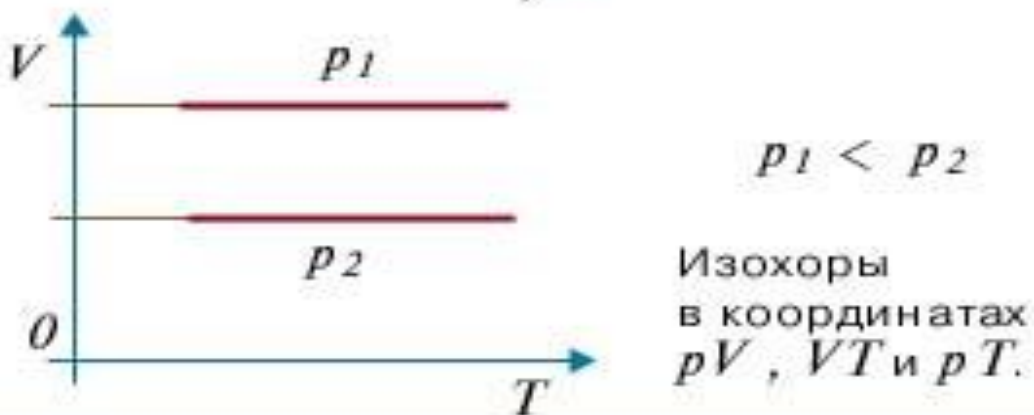
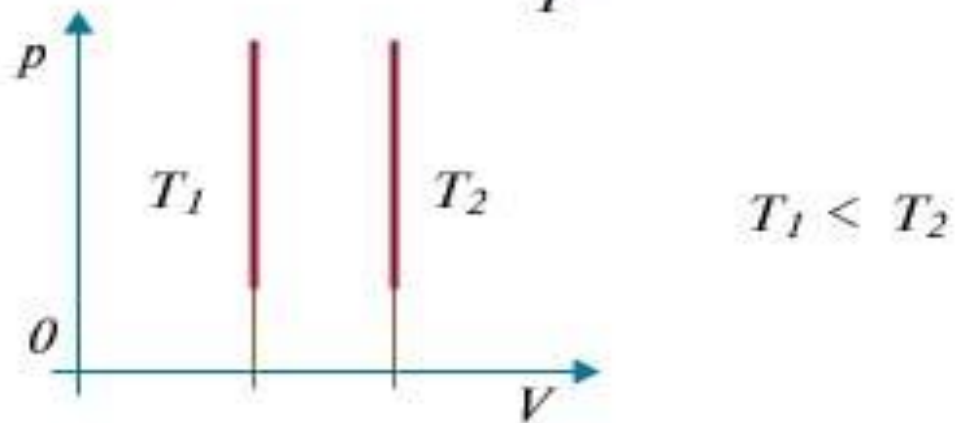
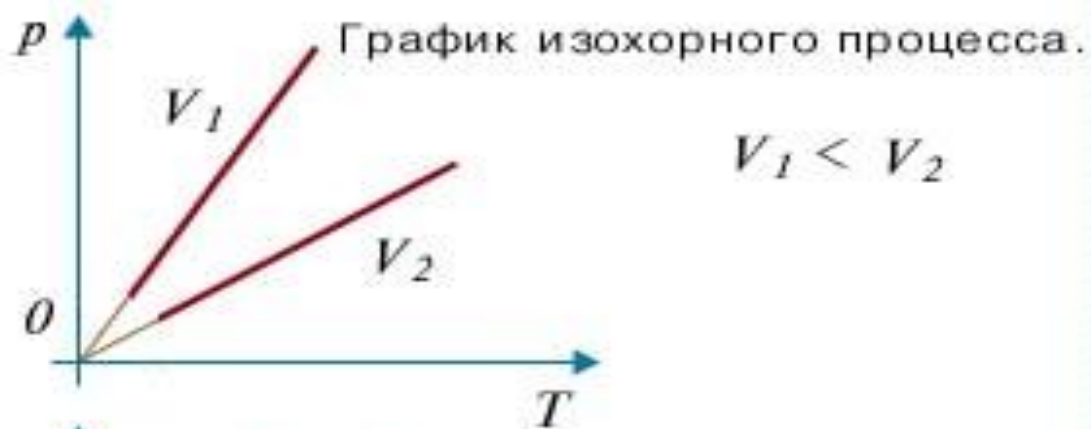


$$V_3 > V_2 > V_1$$

$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

Изохорный процесс – это процесс квазистатического нагревания или охлаждения газа *при постоянном объеме V* и при условии, что количество вещества ν в сосуде остается неизменным.

Закон Шарля: при постоянном объеме V и неизменном количестве вещества ν в сосуде **давление** газа p изменяется прямо **пропорционально** его абсолютной **температуре** :

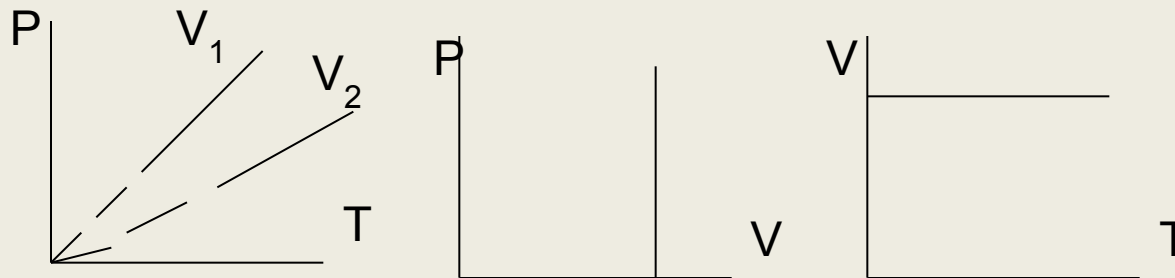


Графическое изображение процессов

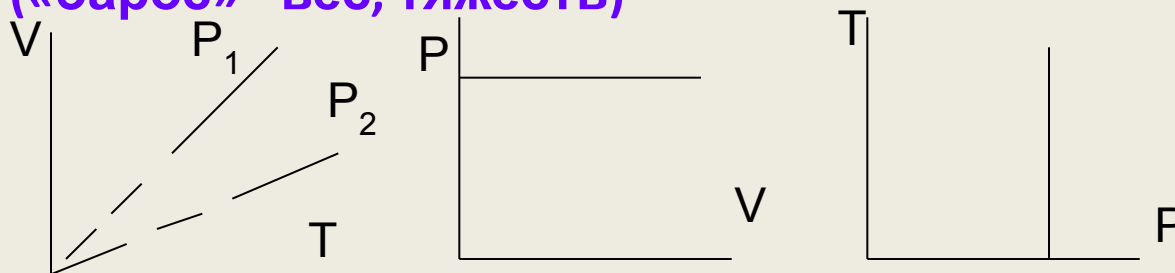
- Графиком изотермического процесса является изотерма



- Графиком изохорного процесса является изохора («хорема» - вместимость)



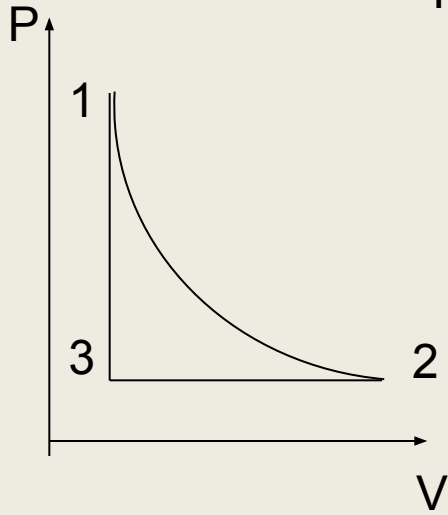
- Графиком изобарного процесса является изобара («барос» - вес, тяжесть)



1. Дан график цикла. Пользуясь им, ответь на вопросы:

- Какой изопроцесс изображён на каждом участке графика?

- Как изменяются параметры?



Проверь себя:

1- 2 т. к. $T = \text{const}$ Изотермический
объём уменьш., давление увелич.

2 -3 т. к. $P = \text{const}$ Изобарный
объём уменьш., температура уменьш.

3 – 1 т. к. $V = \text{const}$ Изохорный
давление увел., температура увелич.

2. Решите

задачу:

При температуре -27°C давление газа в закрытом сосуде было 75 кПа . Каким будет давление при

при температуре -13°C ?

Дано:

$$T_1 = 27^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = -13^{\circ}\text{C}$$

$$P_1 = 75\text{ кПа}$$

$$P_2 = ?$$

Си

$$300\text{ К}$$

$$260\text{ К}$$

$$75000\text{ Па}$$

Решение:

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

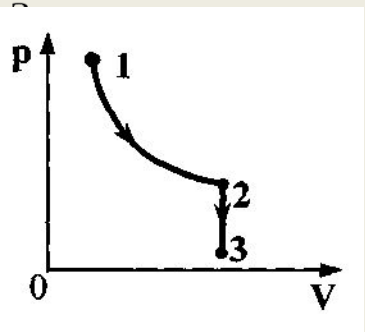
$$P_2 = (P_1 \cdot T_2) / T_1$$

$$\begin{aligned} P_2 &= (75000\text{ Па} \cdot 260\text{ К}) : 300\text{ К} = \\ &= 65000\text{ Па} = 65\text{ кПа} \end{aligned}$$

Ответ: $P_2 = 65\text{ кПа}$

задача . Один моль идеального одноатомного газа расчета изменения внутренней энергии: $\Delta U_{23} =$

3



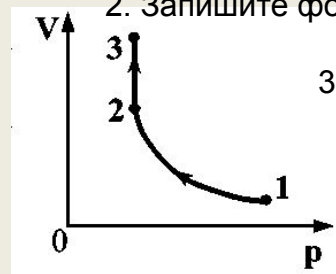
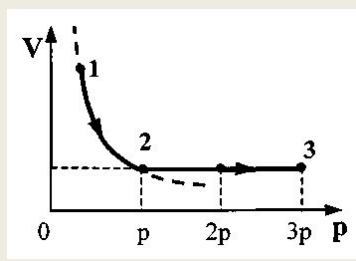
$$\frac{T_1}{3} = \frac{3}{2}$$

$\nu R(T_3 - T_2)$. Учтите, что сначала изотермически расширился ($T_1 = 300 \text{ K}$). Затем газ охладили, понизив давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты отдал газ на участке 2-3?

4. Подставив полученное значение T_3 в формулу $\Delta U_{23} =$
Основные элементы решения

1. Запишите первый закон термодинамики $\Delta U = Q + A_{\text{вн}\cdot\text{с}}$.
 Учтите, что на участке 2-3 : $A_{23} = 0$. Тогда $Q_{23} = \Delta U_{23}$.

2. Запишите формулу $T_2 = T_1$.



12.Насыщенные и ненасыщенные пары

Насыщенный пар – это идеальный газ, масса которого меняется, поэтому газовые законы к нему неприменимы, однако можно и нужно использовать уравнение состояния идеального газа.

Насыщенные и ненасыщенные пары

Изотермы реального газа.



В закрытом сосуде жидкость и ее пар могут находиться в состоянии **динамического равновесия**, когда число молекул, вылетающих из жидкости, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость из пара, т. е. когда скорости процессов испарения и конденсации одинаковы.

Такую систему называют **двухфазной**.

Пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, называют **насыщенным**.

Давление насыщенного пара p_0 данного вещества зависит только от его **температуры** и **не зависит от объема**

При повышении температуры **давление насыщенного пара** и его плотность **возрастают**, а плотность **жидкости**

уменьшается из-за теплового

СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ПАРА

1. При длительном нахождении пара в контакте с жидкостью в замкнутом объёме пар становится насыщенным. Доказательство: поскольку скорость испарения определяется только температурой, то она остаётся постоянной при неизменной температуре. Если пар ещё не насыщенный, то скорость испарения превышает скорость конденсации, – плотность пара возрастает, скорость конденсации растёт, пока не сравняется со скоростью испарения, и пар не станет насыщенным. По этой причине скорость конденсации в медленных (равновесных) процессах не может превышать скорость испарения.

СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ПАРА

2. Давление (и плотность) насыщенного пара не зависит от его объёма. Начнём мысленно уменьшать объём насыщенного пара. Это мгновенно приведёт к повышению его плотности и превращению скорости конденсации над скоростью испарения – возникнет неравновесное состояние, которое при достаточно медленном процессе снова станет равновесным, так как «лишние молекулы» пара перейдут в жидкость («сконденсируются») и скорости испарения и конденсации снова выровняются.

СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ПАРА

3. Давление (плотность) насыщенного пара очень сильно зависит от температуры. Это давление при каждой температуре является максимально возможным для пара и приводится в специальной таблице. Если рассматривать насыщенный пар как идеальный газ (а это приближение к нему вполне применимо), то для объяснения этого факта можно использовать формулу $p = nkT$. При неизменной концентрации газа давление прямо пропорционально температуре. Но из-за увеличения скорости испарения при повышении температуры концентрация насыщенного пара быстро растёт, поэтому зависимость получается гораздо более сильной, чем прямая пропорциональность.

СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ПАРА

4. Кипение жидкости начинается при такой температуре, когда давление насыщенного пара равно внешнему давлению. Только при этом условии возможен быстрый рост пузырьков, наполненных насыщенным паром (поскольку его давление при таком росте пузырька остаётся неизменным, см. свойство 2). При этом не следует забывать, что пузырёк находится в жидкости, поэтому внешнее давление равно сумме атмосферного давления и гидростатического давления на данной глубине (при небольшой глубине оно гораздо меньше атмосферного и им можно пренебречь).

13. Влажность воздуха

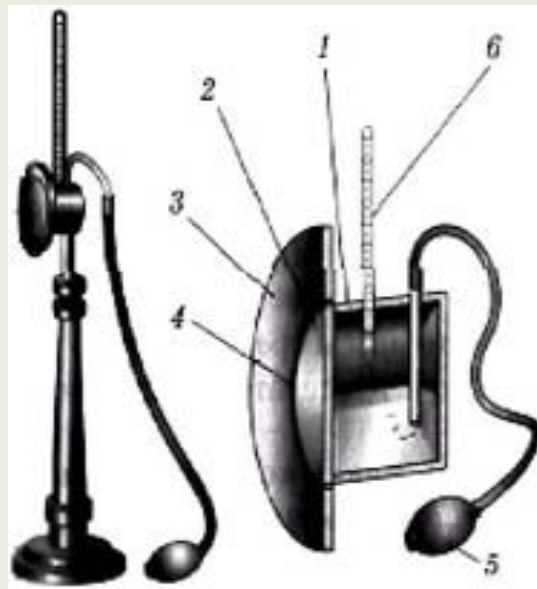
Приборы для измерения влажности

Гигрометры:

Волосной

Конденсационный

Психрометр



ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показание сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, %					
15	100	90	80	71	61	52
16	100	90	81	71	62	54
17	100	90	81	72	64	55
18	100	91	82	73	65	56
19	100	91	82	74	65	58
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65

АБСОЛЮТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

- это величина, равная отношению массы пара к его объёму. По сути, это плотность пара, если бы другие газы в данном объёме отсутствовали. В таблице зависимости давления и плотности насыщенного пара от температуры приведена данная величина для насыщенного пара.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

это – отношение абсолютной влажности пара к абсолютной влажности (плотности) насыщенного пара или отношение давления пара (парциального, то есть если бы другие газы отсутствовали) к давлению насыщенного пара при данной температуре:

$$\varphi = \frac{p}{p_{нас}} = \frac{\rho}{\rho_{нас}}$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

Максимальная относительная влажность равна 1, или 100%. Увеличить относительную влажность можно двумя основными способами: уменьшая температуру при постоянном давлении (при достижении 100%-ной влажности выпадает роса, поэтому температура, при которой это происходит, называется точкой росы), или уменьшая объём при постоянной температуре. Возможно также одновременное изменение и температуры, и объёма, но в задачах такие ситуации встречаются редко.

Задача 1

Качественная задача на основные свойства насыщенного пара.

В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и её пар. Поршень начинают вдвигать в сосуд. При этом температура воды и пара остаётся неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните.

Решение. Так как пар и вода находятся в контакте длительное время, пар является насыщенным (см. свойство 1). При уменьшении объёма сосуда давление насыщенного пара не меняется (см. свойство 2). Чтобы давление пара не менялось, его масса должна уменьшаться, происходит конденсация, часть молекул пара переходит в жидкость, поэтому масса жидкости увеличивается.

Комментарии. Большое количество аналогичных задач есть в материалах первой части ЕГЭ. Для их решения необходимо твёрдо знать свойства насыщенного пара.

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

Задача 2

**Взаимосвязь параметров
насыщенного и ненасыщенного пара.**

Какова плотность насыщенного пара при температуре 100 °С?

Решение. При нормальном давлении ($p = 10^5 \text{ Па}$) $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – это температура кипения воды. Следовательно, давление насыщенного пара при этой температуре равно атмосферному давлению. Подставляя значение давления в уравнение состояния идеального газа (см. замечание про связь давления с плотностью), получаем:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}$$

$$\rho = 0,58 \text{ кг/м}^3$$

Задача 3

Знание определения относительной влажности.

Какова масса водяных паров воздуха объёмом $V = 1 \text{ м}^3$ в летний день при температуре $t = 30 \text{ °C}$ и относительной влажности $\phi = 75\%$?

Решение. Из таблицы берём значение абсолютной влажности при данной температуре ($\rho_{\text{нп}} = 30,3 \text{ г/м}^3$) и используем определение:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}}$$
$$m = \rho \cdot V = \varphi \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot V = 0,75 \cdot 30,3 \text{ г/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 \approx 23 \text{ г.}$$

Комментарии. Не во всех задачниках имеется справочный материал. В таких случаях в условии задачи даётся значение либо давления, либо плотности насыщенного пара.

Задача 4

Изменение относительной влажности воздуха. Масса испаряемой или конденсирующейся (отбираемой) воды равна изменению массы пара.

В помещение нужно подать $V = 10\ 000\ \text{м}^3$ воздуха с температурой $t_1 = 18^\circ\text{С}$ и относительной влажностью $\phi_1 = 50\%$. Воздух снаружи имеет температуру $t_2 = 10\ ^\circ\text{С}$ и относительную влажность $\phi_2 = 60\%$.

Осушать или увлажнять придётся наружный воздух? Сколько воды придётся при этом сконденсировать или испарить?

Решение. Найдём массу пара при заданной температуре и влажности. Вид формулы зависит от того, давление или плотность насыщенного пара даны в условии или в прилагаемой таблице. Рассмотрим оба случая.
Даны значения давления насыщенного пара:

$$m = \frac{p \cdot V \cdot \mu}{R \cdot T} = \frac{P_{нас} \cdot \varphi \cdot V \cdot \mu}{R \cdot T}$$

где индекс 1 относится к состоянию пара, который должен содержаться в воздухе, а индекс 2 – к состоянию пара в воздухе, находящемся снаружи. При $m_2 - m_1 > 0$ (пара больше, чем должно быть) воздух необходимо осушить

14.Изменение агрегатных состояний вещества: испарение и конденсация, кипение жидкости



Типичная фазовая диаграмма вещества.

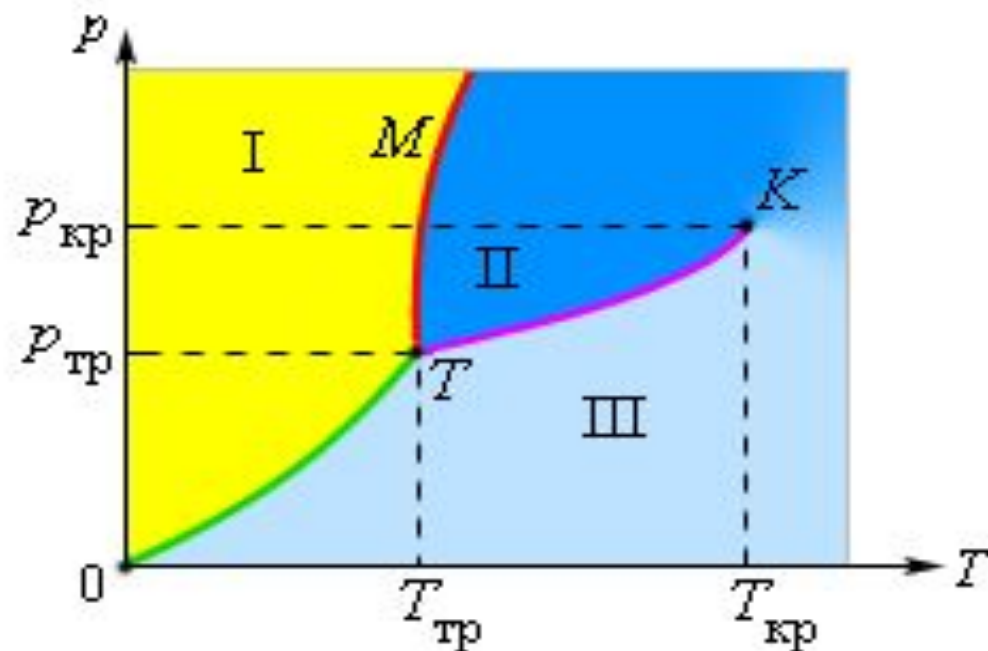
K – критическая точка,

T – тройная точка.

Область I – твердое тело,

область II – жидкость,

область III – газообразное вещество



14.Изменение агрегатных состояний вещества: испарение и конденсация, кипение жидкости

Переход из одного состояния в другое называется фазовым переходом

- Если **давление насыщенного пара жидкости равно внешнему давлению** (т. е. давлению газа в пузырьках) или превышает его, жидкость будет испаряться **внутри пузырьков**. Пузырьки, наполненные паром, расширяются и всплывают на поверхность. Этот процесс называется **кипением**.
- Кипение жидкости начинается при такой **температуре**, при которой **давление ее насыщенных паров становится равным внешнему давлению**.
- В **герметически закрытом сосуде** жидкость **кипеть не может**, т. к. при каждом значении температуры устанавливается равновесие между жидкостью и ее насыщенным паром
- По **кривой равновесия** $p_0(T)$ можно определять температуру кипения жидкости при различных давлениях.
- Зависимость равновесного давления от температуры называется **кривой фазового равновесия**.
- Изображенные в координатной системе (p, T) кривые равновесия

**Изменение агрегатных состояний вещества:
испарение и конденсация, кипение жидкости**

**Переход из одного состояния в другое называется
фазовым переходом**

- Все **реальные газы** (кислород, азот, водород и т. д.) **при определенных условиях способны превращаться в жидкость**.
- Такое превращение может происходить только при **критической температуре $T_{кр}$** .
- **Испарением** называется фазовый переход из жидкого состояния в газообразное. С точки зрения молекулярно-кинетической теории, испарение – это процесс, при котором с поверхности жидкости **вылетают наиболее быстрые молекулы**, кинетическая энергия которых **превышает энергию их связи с остальными молекулами жидкости**. Это приводит к **уменьшению средней кинетической энергии оставшихся молекул**, т. е. к **охлаждению жидкости**.
- **Конденсация** – это процесс, обратный процессу испарения. При конденсации **молекулы пара возвращаются в жидкость**.

15. Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация



- **Плавление** — переход из кристаллического твёрдого состояния в жидкое.
- Плавление происходит с **поглощением удельной теплоты плавления** и является **фазовым переходом** первого рода.
- *Способность плавиться* относится к физическим свойствам вещества.
- При нормальном давлении, **наибольшей температурой плавления** среди металлов обладает **вольфрам** (3422 °С), простых веществ вообще - **углерод** (по разным данным 3500 — 4500 °С) а среди произвольных веществ — **карбид гафния** HfC (3890 °С).
- Можно считать, что **самой низкой температурой плавления** обладает **гелий**: при нормальном давлении он остаётся жидким при сколь угодно низких температурах.
- Многие вещества при нормальном давлении **не имеют жидкой фазы**. При нагревании они путем **сублимации** сразу переходят в газообразное состояние.

Молекулярно-кинетическая теория.

Основные формулы

- Основы молекулярно-кинетической теории:

$$v = \frac{N}{N_A}; \quad M = \frac{m}{v} = m_0 N_A,$$

- N_A – постоянная Авогадро.

- Основное уравнение МКТ идеального газа:

$$p = \bar{p} = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

- Среднеквадратичная скорость молекул:

$$v_1 = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

- R – универсальная газовая постоянная.

- Давление идеального газа на стенки сосуда:

$$p = nkT$$

- k – постоянная Больцмана.

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT.$$

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots)kT$$

- Закон Дальтона:

- Уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT,$$

Молекулярно-кинетическая теория.

Основные формулы

- Изотермический процесс (закон Бойля-Мариотта):
- Изохорный процесс (закон Шарля):
- Изобарный процесс (закон Гей-Люссака):
- Потенциальная энергия свободной поверхности жидкости:
- σ – коэффициент поверхностного натяжения
- Высота подъема смачивающей жидкости в капилляре:
- Абсолютная температура:

$$pV = \text{const} \text{ при } V = \text{const}$$

$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ при } V = \text{const.}$$

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ при } p = \text{const.}$$

$$E_p = \sigma S$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

$$T = (t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15) \text{ K}$$

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

- **Абсолютная влажность** (p) - парциальное давление водяных паров, содержащихся в воздухе, или количество водяных паров, содержащихся в 1 м^3 воздуха, выраженного в граммах. **Абсолютный нуль температур** - температура, при которой прекращается тепловое движение молекул.
- **Агрегатное состояние вещества** - состояние одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением ряда физических свойств.
- **Аморфные тела** - твердые тела, не имеющие упорядоченного, периодического расположения частиц в пространстве.
- **Анизотропия** - неодинаковость физических свойств среды в различных направлениях, связанная с внутренним строением сред.
- **Атом** - наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств.
- **Броуновское движение** - беспорядочное движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе, происходящее под действием молекул.
- **Влажность** ($\text{кг}/\text{м}^3$) - содержание водяного пара в воздухе.
- **Внутренняя энергия идеального одноатомного газа** - суммарная кинетическая энергия теплового движения атомов газа.
- **Внутренняя энергия тела** (U) - сумма энергии хаотического (теплового) движения всех микрочастиц тела (молекул, атомов, ионов и т. д.) и энергии взаимодействия этих частиц.

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

- **Деформация** - изменение формы или размеров тела (или части тела) под действием внешних сил (механических нагрузок) при нагревании, охлаждении, изменении влажности и других воздействиях, вызывающих изменение относительного расположения частиц тела.
- **Динамическое равновесие** - процесс, при котором скорость парообразования равна скорости конденсации.
- **Диффузия** - взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга вследствие теплового движения частиц.
- **Жидкость** - агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым и газообразным. Жидкости сохраняют свой объем и принимают форму сосуда.
- **Закон Бойля-Мариотта.** Для газа данной массы произведение давления на его объем постоянно, если его температура не меняется.
- **Закон Гей-Люссака.** Для данной массы газа отношение его объема к абсолютной температуре постоянно, если давление газа не меняется.
- **Закон Гука.** Относительное удлинение прямо пропорционально механическому напряжению.
- **Закон Шарля.** Для данной массы газа отношение его давления к

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

- **Идеальный газ** - модель, в которой не учитывается взаимодействие частиц и их собственный объем. Соударение частиц происходит по закону упругого взаимодействия.
- **Изобарический процесс** - процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном давлении.
- **Изопроецесс** - процесс, протекающий в термодинамической системе с неизменной массой при постоянном значении одного из параметров состояния.
- **Изотермический процесс** - процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре.
- **Изохорический процесс** - процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объеме.
- **Испарение** - парообразование со свободной поверхности жидкости при любой температуре.
- **Кипение** - процесс парообразования внутри и с поверхности жидкости при температуре кипения.
- **Количество вещества** - отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 0,012 кг углерода.
- **Коэффициент полезного действия теплового двигателя** (КПД, η) - физическая величина, определяемая отношением работы A , совершенной тепловым двигателем за один цикл, к количеству теплоты Q_1 , полученной от нагревателя.
- **Кристаллические тела** - твердые тела, имеющие упорядоченное, периодическое расположение частиц в пространстве.
- **Критическая температура** - температура, при которой исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и ее насыщенным паром.

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

- **Парообразование** - процесс перехода вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное.
- **Первый закон термодинамики (первая формулировка)**. Изменение внутренней энергии тела (системы) при переходе из одного состояния в другое равно сумме совершенной над телом работы и полученного им количества теплоты.
- **Первый закон термодинамики (вторая формулировка)**. Количество тепла, полученного телом (системой) расходуется на изменение внутренней энергии системы и на работу против внешних сил.
- **Плавление** - процесс перехода вещества из твердого (кристаллического) состояния в жидкое.
- **Плазма** - частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности отрицательных и положительных зарядов равны.
- **Пластическая (остаточная) деформация** - деформация, не исчезающая после прекращения действия внешних сил.
- **Пластичность** - свойства твердых тел под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и раз⁴ меры и сохранять остаточные деформации после прекращения действия этих сил.
- **Полиморфизм** - способность твердых тел существовать в двух или нескольких кристаллических структурах.
- **Постоянная Авогадро (N_A)** - количество структурных элементов (атомов, молекул, ионов или других частиц) в одном моле вещества.
- **Предел пропорциональности ($\sigma_{\text{проп}}$)** - максимальное напряжение, при котором еще выполняется закон Гука.
- **Предел прочности ($\sigma_{\text{пр}}$)** - наибольшее напряжение, возникающее в теле перед началом его разрушения.
- **Предел упругости ($\sigma_{\text{упр}}$)** - напряжение, при котором тело полностью утрачивает упругость.

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

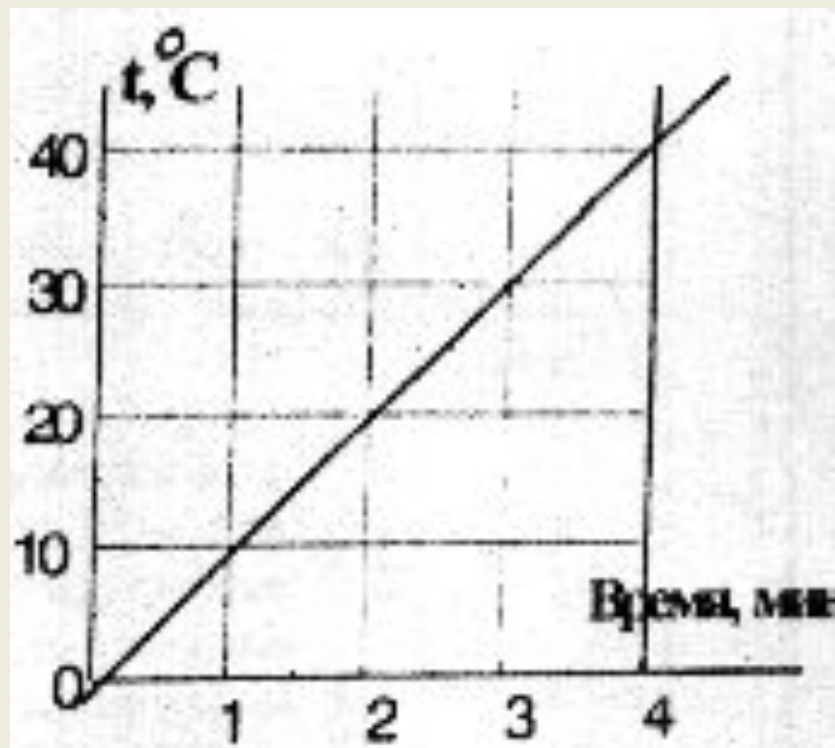
- **Твердые тела** - агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и объема при постоянной температуре.
- **Температура** (T , t°) - величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и пропорциональная средней кинетической энергии частиц системы.
- **Температура кипения** - температура жидкости, при которой давление ее насыщенного пара равно или превышает внешнее давление.
- **Температура плавления** - температура, при которой кристаллическое вещество плавится.
- **Тепловое движение** - беспорядочное (хаотическое) движение микрочастиц, из которых состоят все тела.
- **Тепловой двигатель** - устройство, в котором осуществляется преобразование внутренней энергии топлива в механическую.
- **Теплоемкость тела** (C) - количество теплоты, которое нужно сообщить данному телу, чтобы повысить его температуру на один градус.
- **Теплопередача** - процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом.
- **Теплопроводность** - передача тепла в телах, не сопровождаемая перемещением составляющих их частиц. При теплопроводности перенос энергии осуществляется в результате непосредственной передачи энергии от частиц (молекул, атомов, электронов), обладающих большей энергией, частицам с меньшей энергией.
- **Термодинамические параметры** - физические величины, которые служат в термодинамике для характеристики состояния рассматриваемой системы.
- **Термодинамическое равновесие** - состояние термодинамической системы, в которое она самопроизвольно приходит через достаточно большой промежуток времени в условиях изоляции от окружающей среды.
- **Термометр** - прибор для измерения температуры посредством контакта его с исследуемой средой.

Словарь по Молекулярной Физике и Тепловым Явлениям

- **Удельная теплоемкость** (c) - физическая величина, показывающая, какое количество теплоты требуется для изменения температуры вещества массой 1 кг на 1 °С.
- **Удельная теплота парообразования** (L) - величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо, чтобы обратить жидкость массой 1 кг в пар без изменения температуры.
- **Удельная теплота плавления** (A) - физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо сообщить кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления перевести его в жидкое состояние.
- **Упругая деформация** - деформация, полностью исчезающая после прекращения действия внешних сил.
- **Упругость** - свойство тел восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних сил и других причин, вызывающих деформацию тел.
- **Уравнение состояния идеального газа.** Для данной массы газа произведение давления на объем, деленное на абсолютную температуру, есть величина постоянная.
- **Хрупкость** - способность твердых тел разрушаться при механических воздействиях без заметной пластической деформации

(ЕГЭ 2001 г., Демо) А13. Экспериментально исследовалось, как меняется температура t некоторой массы воды в зависимости от времени ее нагревания. По результатам измерений построен график, приведенный на рисунке. Какой вывод можно сделать по результатам эксперимента?

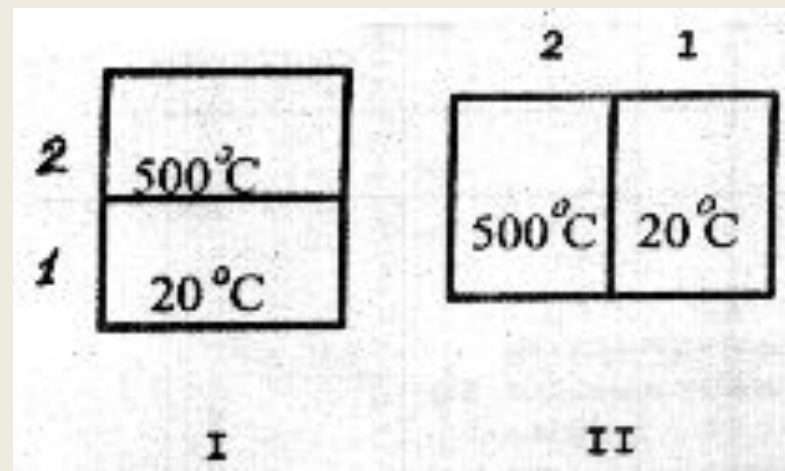
1. Вода переходит из твердого состояния в жидкое при 0°C .
2. Вода кипит при 100°C .
3. Теплоемкость воды равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{C})$.
4. Чем дольше нагревается вода, тем выше ее температура.



(ЕГЭ 2001 г., Демо) А14. Испарение жидкости происходит потому, что . . .

1. разрушается кристаллическая решетка.
2. самые быстрые частицы покидают жидкость.
3. самые медленные частицы покидают жидкость.
4. самые крупные частицы покидают жидкость.

(ЕГЭ 2001 г., Демо) А15. Тела, имеющие разные температуры, привели в соприкосновение двумя способами (I и II). Какое из перечисленных ниже утверждений является верным?



1. В положении I теплопередача осуществляется от тела 1 к телу 2.
2. В положении II теплопередача осуществляется от тела 1 к телу 2.
3. В любом положении теплопередача осуществляется от тела 2 к телу 1.
4. Теплопередача осуществляется только в положении II.

(ЕГЭ 2002 г., Демо) А8. Какой из перечисленных ниже опытов (А, Б или В) подтверждает вывод молекулярно-кинетической теории о том, что скорость молекул растет при увеличении температуры?

А. Интенсивность броуновского движения растет с повышением температуры.

Б. Давление газа в сосуде растет с повышением температуры.

В. Скорость диффузии красителя в воде повышается с ростом температуры.

1. только А
2. только Б
3. только В
4. А, Б и В

2002 г. А9 (КИМ). В баллоне находится 6 моль газа.
Сколько примерно молекул газа находится в баллоне?

1) $6 \cdot 10^{23}$

2) $12 \cdot 10^{23}$

3) $36 \cdot 10^{26}$

4) $36 \cdot 10^{23}$

(ЕГЭ 2002 г., Демо) А13. При испарении жидкость остывает. Молекулярно-кинетическая теория объясняет это тем, что чаще всего жидкость покидают молекулы, кинетическая энергия которых

1. равна средней кинетической энергии молекул жидкости
2. превышает среднюю кинетическую энергию молекул жидкости
3. меньше средней кинетической энергии молекул жидкости
4. равна суммарной кинетической энергии молекул жидкости

2002 г. А13 (КИМ). При сжатии идеального газа объем уменьшился в 2 раза, а температура газа увеличилась в 2 раза. Как изменилось при этом давление газа?

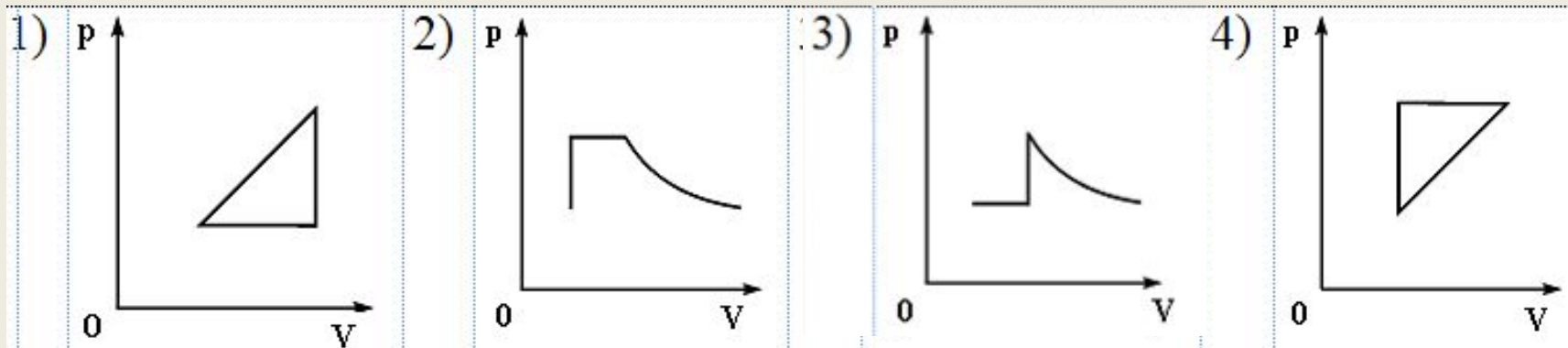
1. увеличилось в 4 раза

2. уменьшилось в 2 раза

3. увеличилось в 2 раза

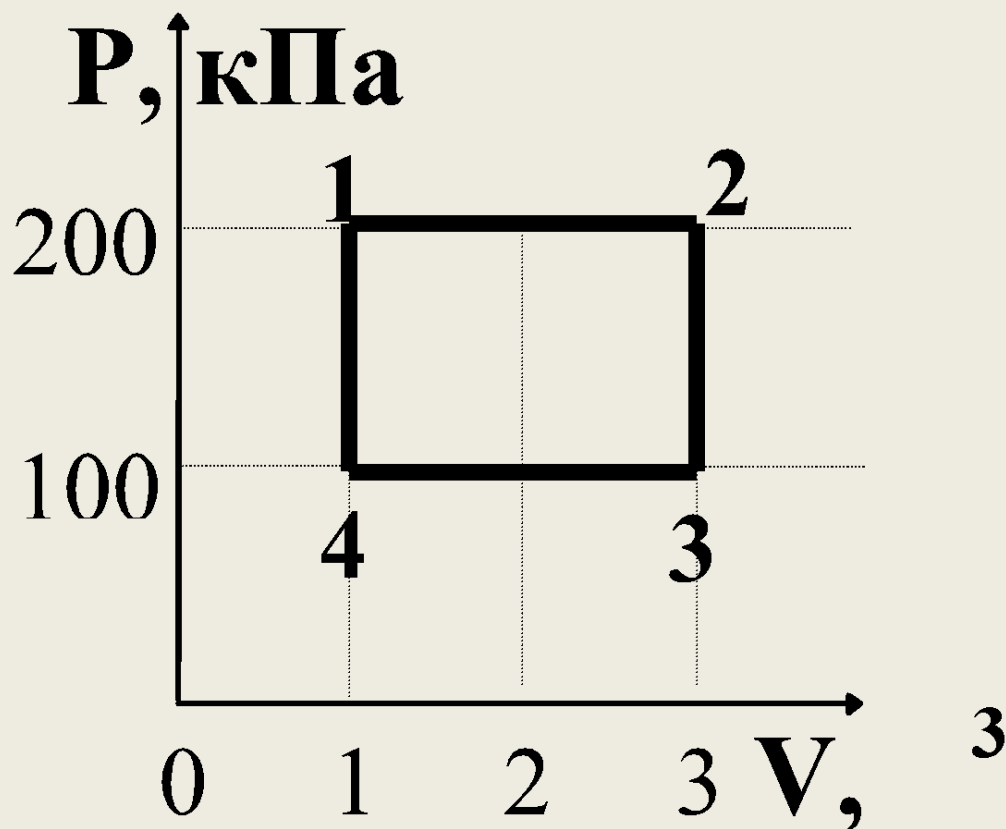
4. не изменилось

2002 г. А29 (КИМ). Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объеме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях p – V соответствует этим изменениям состояния газа?



(ЕГЭ 2002 г., Демо) А30. Какова температура идеального газа в точке 2, если в точке 4 она равна 200К

1. 200 К
2. 400 К
3. 600 К
4. 1200 К



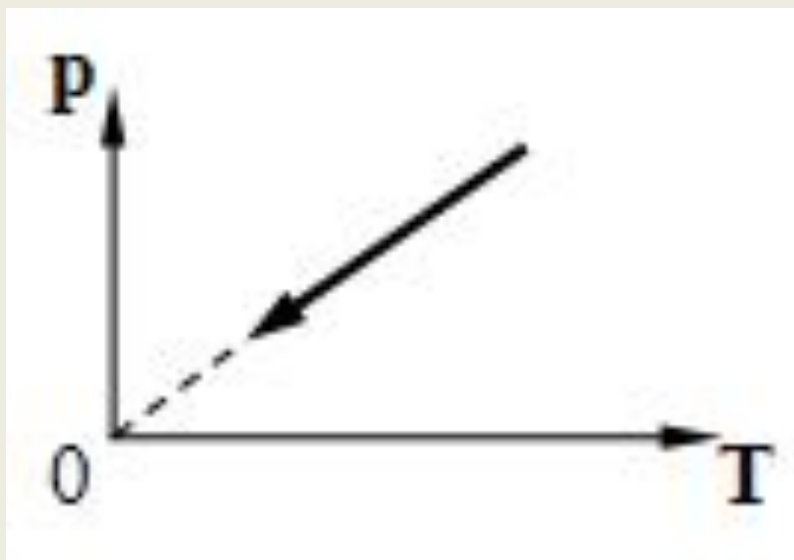
(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А8. Диффузия происходит быстрее при повышении температуры вещества, потому что

1. увеличивается скорость движения частиц
2. увеличивается взаимодействие частиц
3. тело при нагревании расширяется
4. уменьшается скорость движения частиц

(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А9. При неизменной концентрации частиц идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул увеличилась в 3 раза. При этом давление газа

1. уменьшилось в 3 раза
2. увеличилось в 3 раза
3. увеличилось в 9 раз
4. не изменилось

(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А10. На рисунке изображен график зависимости давления газа на стенки сосуда от температуры. Какой процесс изменения состояния газа изображен?



1. изобарное нагревание
2. изохорное охлаждение
3. изотермическое сжатие
4. изохорное нагревание

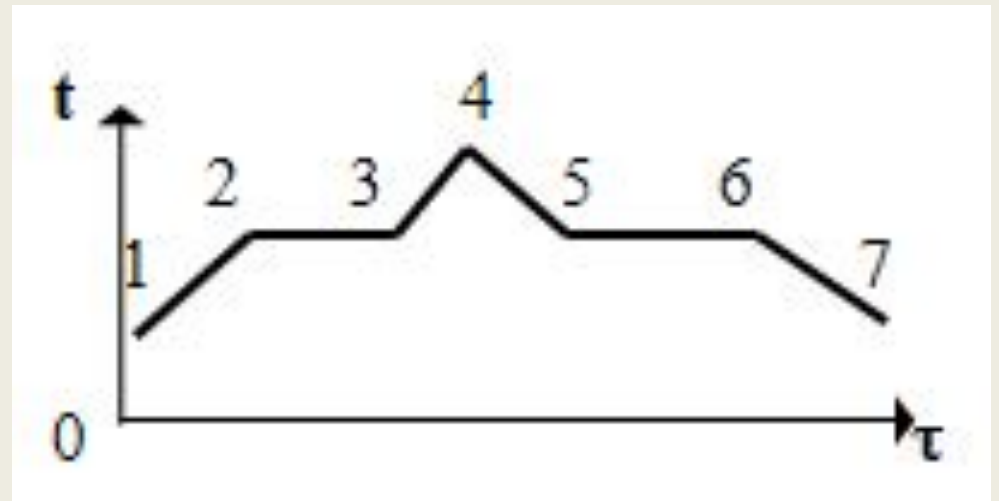
(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А13.

Температура кипения воды зависит от

1. мощности нагревателя
2. вещества сосуда, в котором нагревается вода
3. атмосферного давления
4. начальной температуры воды

(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А14. На рисунке изображен график плавления и кристаллизации нафталина. Какая из точек соответствует началу отвердевания вещества?

1. точка 2
2. точка 4
3. точка 5
4. точка 6

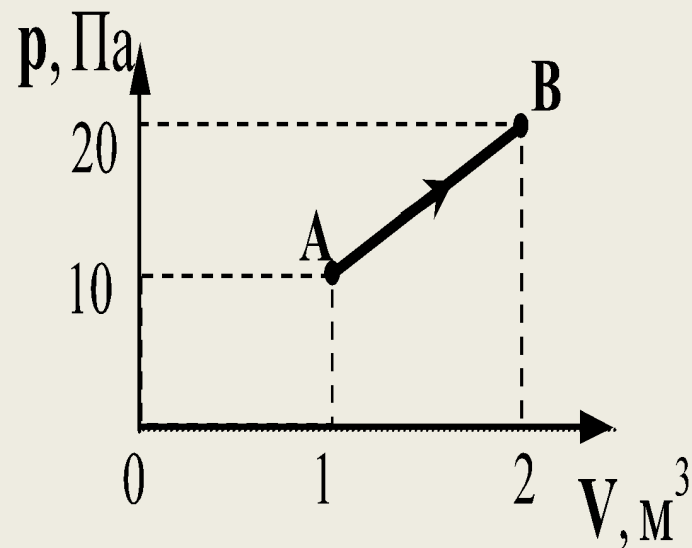


(ЕГЭ 2004 г., демо) А7. Давление идеального газа зависит от
А. концентрации молекул.
Б. средней кинетической энергии молекул.

1. только от А
2. только от Б
3. и от А, и от Б
4. ни от А, ни от Б

(ЕГЭ 2004 г., демо) А23. При переходе из состояния А в состояние В температура идеального газа

1. увеличилась в 2 раза
2. увеличилась в 4 раза
3. уменьшилась в 2 раза
4. уменьшилась в 4 раза



(ЕГЭ 2004 г., демо) А24. Идеальному газу сообщили количество теплоты 400 Дж. Газ расширился, совершив работу 600 Дж. Внутренняя энергия газа при этом

1. увеличилась на 1000 Дж
2. увеличилась на 200 Дж
3. уменьшилась на 1000 Дж
4. уменьшилась на 200 Дж

(ЕГЭ 2005 г., ДЕМО) А11. Как изменяется внутренняя энергия кристаллического вещества в процессе его плавления?

1. увеличивается для любого кристаллического вещества
2. уменьшается для любого кристаллического вещества
3. для одних кристаллических веществ увеличивается, для других – уменьшается
4. не изменяется

(ЕГЭ 2005 г., ДЕМО) А13

Парциальное давление водяного пара в воздухе при 20°C равно $0,466\text{ кПа}$, давление насыщенных водяных паров при этой температуре $2,33\text{ кПа}$. Относительная влажность воздуха равна

1. 10 %
2. 20 %
3. 30 %
4. 40 %

(ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А9. Лед при температуре 0°C внесли в теплое помещение. Температура льда до того, как он растает,

1. не изменится, так как вся энергия, получаемая льдом в это время, расходуется на разрушение кристаллической решетки
2. не изменится, так как при плавлении лед получает тепло от окружающей среды, а затем отдает его обратно
3. повысится, так как лед получает тепло от окружающей среды, значит, его внутренняя энергия растет, и температура льда повышается
4. понизится, так как при плавлении лед отдает окружающей среде некоторое количество теплоты

(ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А10. При какой влажности воздуха человек легче переносит высокую температуру воздуха и почему?

1. при низкой, так как при этом пот испаряется быстро
2. при низкой, так как при этом пот испаряется медленно
3. при высокой, так как при этом пот испаряется быстро
4. при высокой, так как при этом пот испаряется медленно

(ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А11. Абсолютная температура тела равна 300 К. По шкале Цельсия она равна

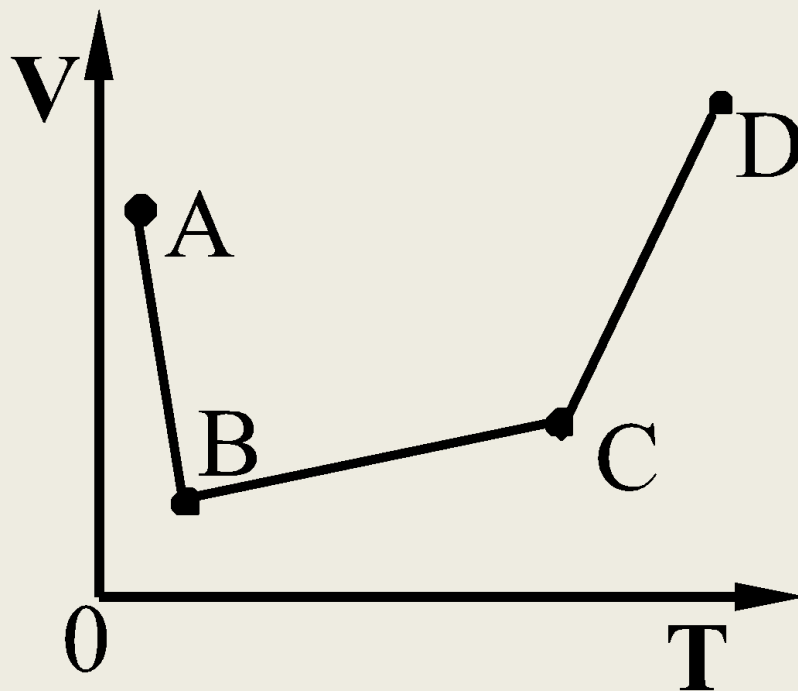
1. -27°C
2. 27°C
3. 300°C
4. 573°C

(ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А27. Экспериментаторы закачивают воздух в стеклянный сосуд, одновременно охлаждая его. При этом температура воздуха в сосуде понизилась в 2 раза, а его давление возросло в 3 раза. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

1. в 2 раза
2. в 3 раза
3. в 6 раз
4. в 1,5 раза

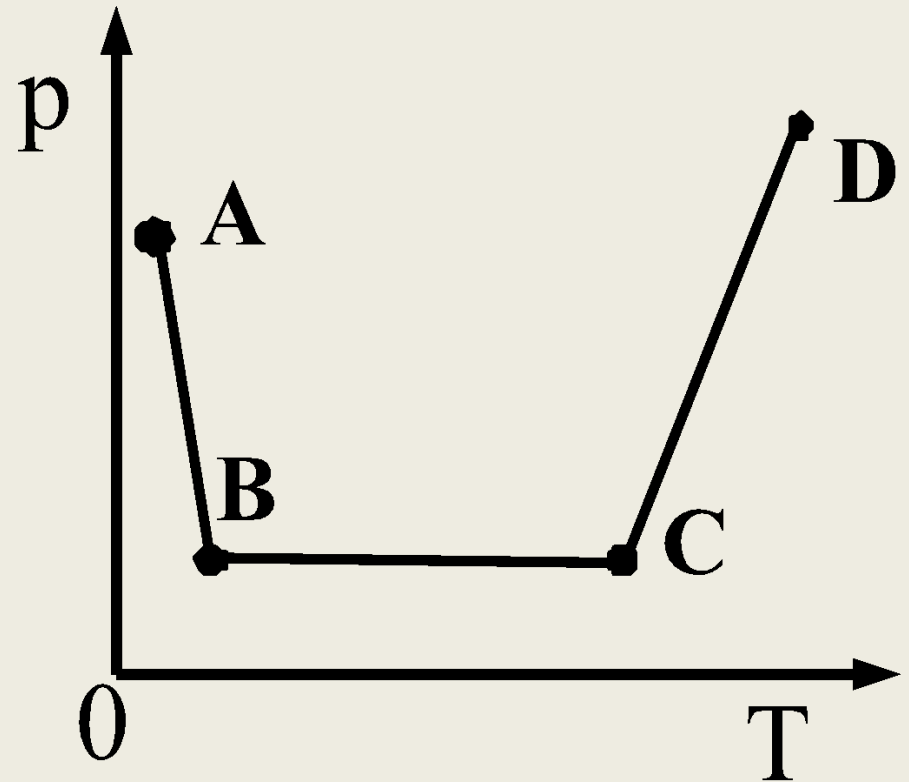
ЕГЭ – 2006, ДЕМО. А 28. В сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный газ. График зависимости объема газа от температуры при изменении его состояния представлен на рисунке. В каком состоянии давление газа наибольшее?

1. A
2. B
3. C
4. D



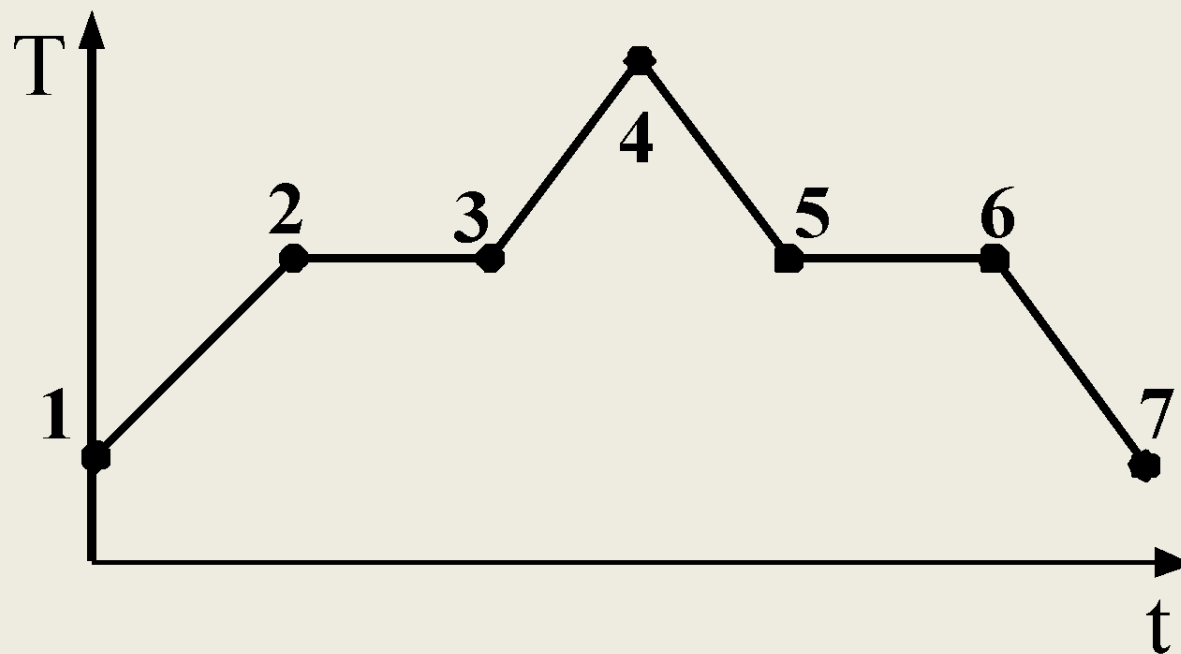
(ЕГЭ 2007 г., ДЕМО) А15. В сосуде постоянного объема находится идеальный газ, массу которого изменяют. На диаграмме (см. рисунок) показан процесс изменения состояния газа. В какой из точек диаграммы масса газа наибольшая?

1. A
2. B
3. C
4. D



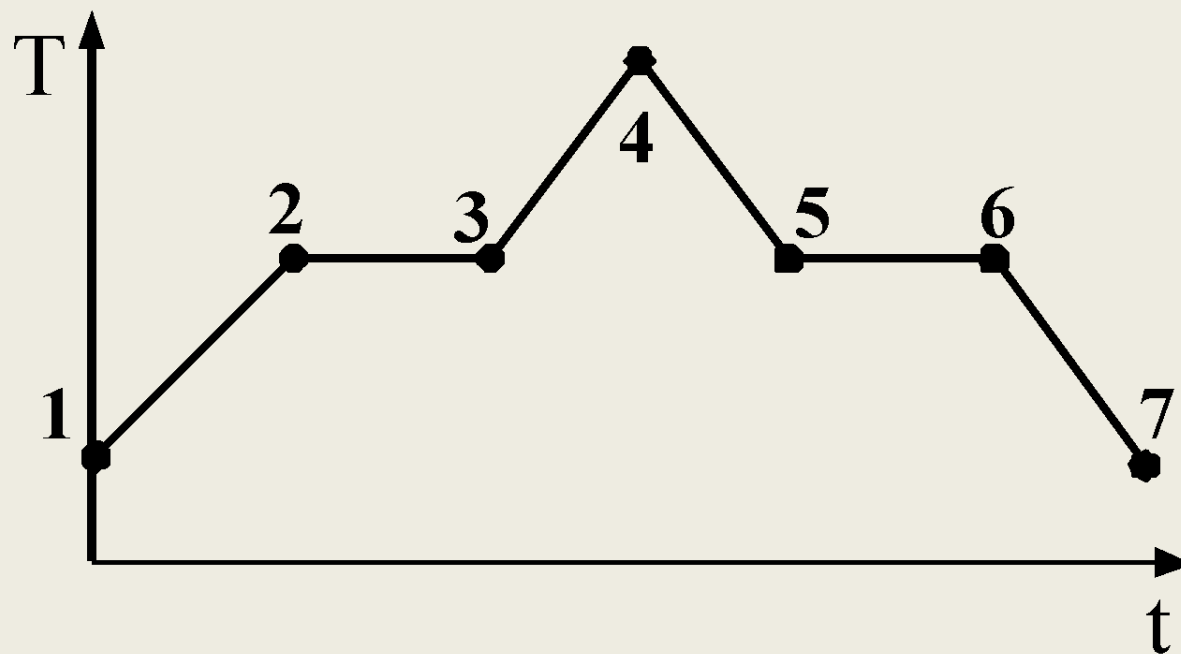
(ЕГЭ 2007 г., ДЕМО) А13. На графике (см. рисунок) представлено изменение температуры T вещества с течением времени t . В начальный момент времени вещество находилось в кристаллическом состоянии. Какая из точек соответствует окончанию процесса отвердевания?

- 1. 5
- 2. 6
- 3. 3
- 4. 7



(ЕГЭ 2007 г., ДЕМО) А13. На графике (см. рисунок) представлено изменение температуры T вещества с течением времени t . В начальный момент времени вещество находилось в кристаллическом состоянии. Какая из точек соответствует окончанию процесса отвердевания?

- 1. 5
- 2. 6
- 3. 3
- 4. 7



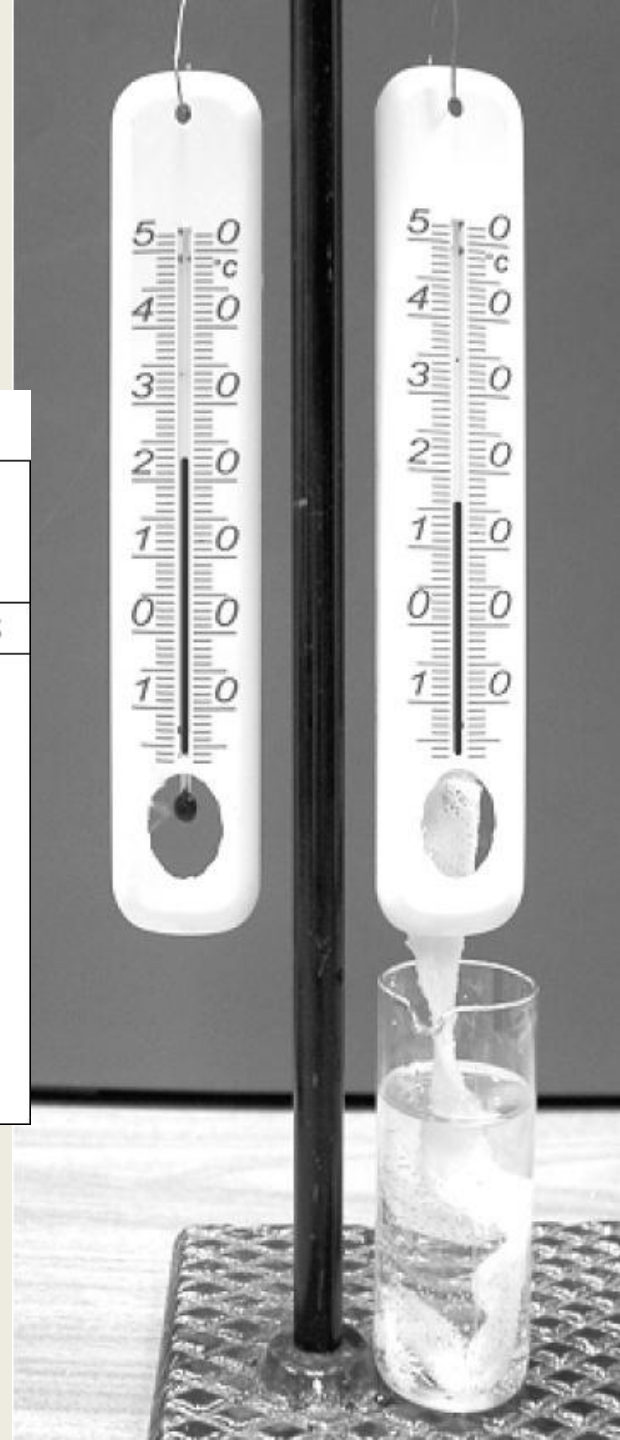
(ЕГЭ 2008 г., ДЕМО) А11. На фотографии представлены два термометра, используемые для определения относительной влажности воздуха. Ниже приведена психрометрическая таблица, в которой влажность указана в процентах.

Относительная влажность воздуха в помещении, в котором проводилась съемка, равна

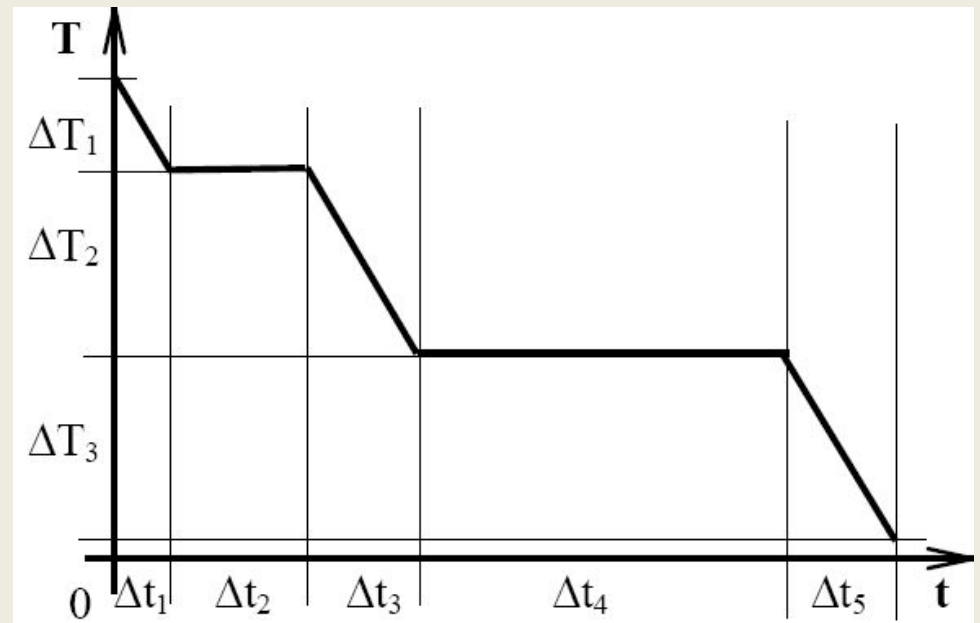
1. 37%
2. 40%
3. 48%
4. 59%

Психрометрическая таблица

t сух. терм °C	Разность показаний сухого и влажного термометров								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44



(ЕГЭ 2008 г., ДЕМО) А13. На рисунке представлен график зависимости абсолютной температуры T воды массой m от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P . В момент времени $t = 0$ вода находилась в газообразном состоянии. Какое из приведенных ниже выражений определяет удельную теплоемкость льда по результатам этого опыта?



1) $\frac{P \cdot \Delta t_5}{m}$

2) $\frac{P \cdot \Delta t_2}{m}$

3) $\frac{P \cdot \Delta t_3}{m \cdot \Delta T_2}$

4) $\frac{P \cdot \Delta t_5}{m \cdot \Delta T_3}$

(ЕГЭ 2009 г., ДЕМО) А8. При понижении абсолютной температуры одноатомного идеального газа в 1,5 раза средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул

1. увеличится в 1,5 раза
2. уменьшится в 1,5 раза
3. уменьшится в 2,25 раза
4. не изменится

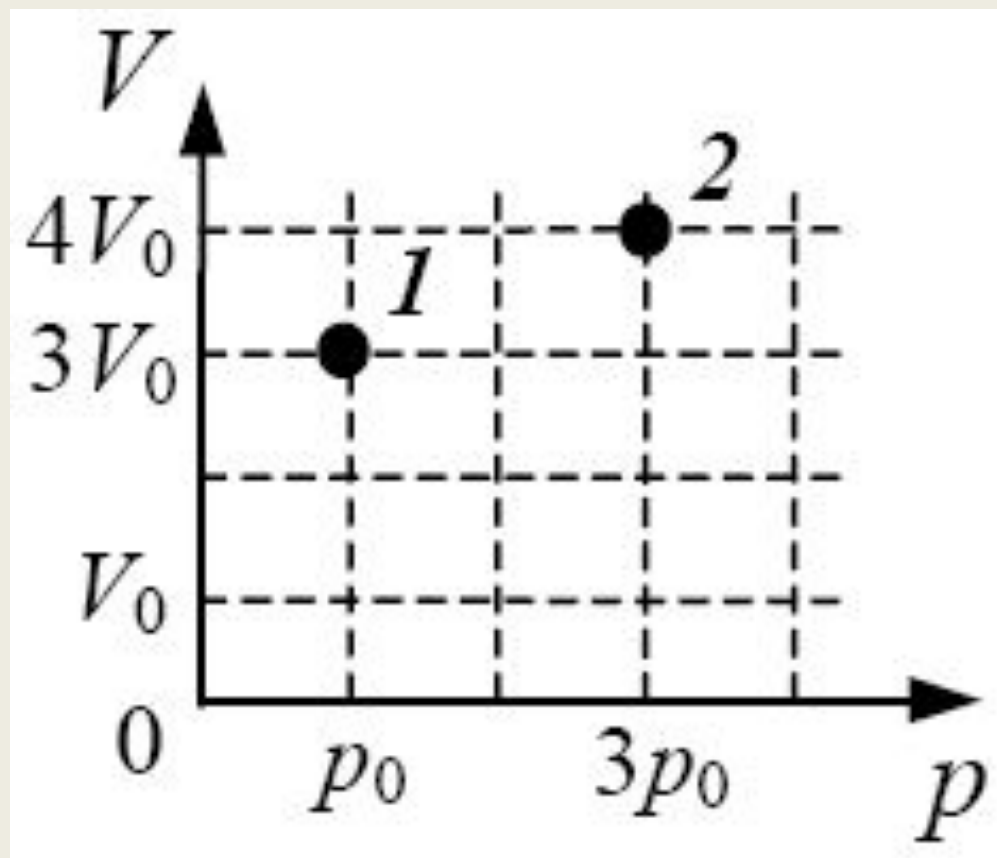
(ЕГЭ 2009 г., ДЕМО) А12. В сосуде находится постоянное количество идеального газа. Как изменится температура газа, если он перейдет из состояния *1* в состояние *2* (см. рисунок)?

1) $T_2 = 4T_1$

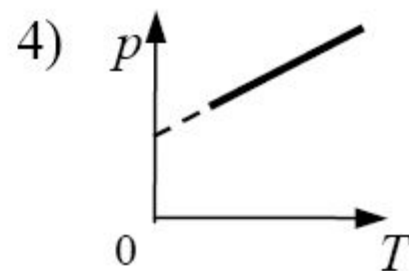
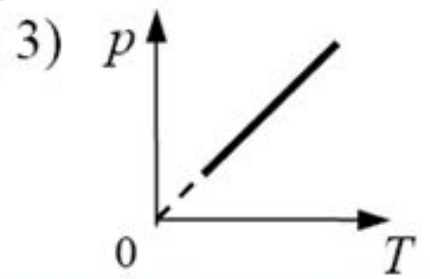
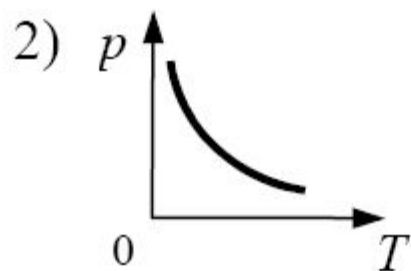
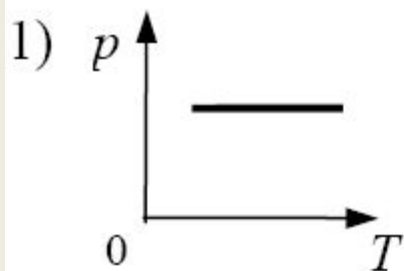
2) $T_2 = \frac{1}{4} T_1$

3) $T_2 = \frac{4}{3} T_1$

4) $T_2 = \frac{3}{4} T_1$



(ЕГЭ 2010 г., ДЕМО) А9. На рисунке приведены графики зависимости давления 1 моль идеального газа от абсолютной температуры для различных процессов. Какой из графиков соответствует изохорному процессу?



Используемая литература

1. Берков, А.В. и др. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ 2010, Физика [Текст]: учебное пособие для выпускников. ср. учеб. заведений / А.В. Берков, В.А. Грибов. – ООО "Издательство Астрель", 2009. – 160 с.
2. Касьянов, В.А. Физика, 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / В.А. Касьянов. – ООО "Дрофа", 2004. – 116 с.
3. Мякишев, Г.Я. и др. Физика. 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / учебник для общеобразовательных школ Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев . –" Просвещение ", 2009. – 166 с.
4. Открытая физика [текст, рисунки]/ <http://www.physics.ru>
5. Подготовка к ЕГЭ <http://egephizika>
6. Федеральный институт педагогических измерений. Контрольные измерительные материалы (КИМ) Физика //[Электронный ресурс]// <http://fipi.ru/view/sections/92/docs>
7. Физика в школе. Физика - 10 класс. Молекулярная физика. Молекулярно-кинетическая теория. Рисунки по физике/