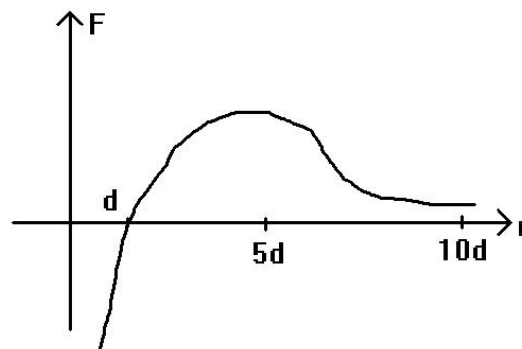


БЛОК № 4 «МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ».

Основные положения МКТ (молекулярно-кинетической теории):

- Все тела состоят из молекул;
- Молекулы движутся (беспорядочно, хаотически – броуновское движение);
- Молекулы взаимодействуют (характер взаимодействия – притяжение или отталкивание – определяется их взаимным расположением и расстоянием друг от друга).



Все положения МКТ доказываются экспериментально.

Количество вещества:

ν – количество вещества [ν] = моль

m – полная масса вещества [m] = кг

μ – молярная масса (масса одного моля вещества) [μ] = кг/моль

N – число частиц вещества [N] = 1

N_A – число Авогадро (число частиц в одном моле любого вещества), $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

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

Идеальный газ: - абстрактная (в природе не существует) физическая модель реального газа, в котором не учитывается взаимодействие молекул. Идеальный газ создает давление на стенки сосуда, в котором находится. На идеальные наиболее похожи разреженные реальные газы.

Основное уравнение МКТ идеального газа:

p – давление идеального газа [p] = Па

V – объем газа [V] = м³

m_0 – масса молекулы данного газа [m_0] = кг

n – концентрация (число частиц в единице объема) [n] = м⁻³.

\bar{v}^2 - средний квадрат скорости движения молекул [\bar{v}^2] = м²/с².

$\bar{E}_{кин.}$ - средняя кинетическая энергия движения молекул [$\bar{E}_{кин.}$] = Дж.

$$\boxed{p = \frac{1}{3} \cdot m_0 \cdot n \cdot \bar{v}^2} \quad \boxed{\bar{E}_{кин.} = \frac{m_0 \cdot \bar{v}^2}{2}} \quad \boxed{p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \bar{E}_{кин.}} \quad \boxed{n = \frac{N}{V}}$$

Тепловое равновесие: - состояние термодинамической системы, при котором ее макропараметры (давление, объем, температура) сколь угодно долго не изменяются. Свободная от внешних воздействий система стремится к состоянию теплового равновесия. Если два тела находятся в состоянии теплового равновесия, то считают, что их температура одинакова. Температура может быть измерена с помощью различных термодинамических шкал (Цельсий, Фаренгейт, Ранкин, Реомер), отличающихся выбранным рабочим телом (вода, спирт и т.д.). Универсальной (абсолютной) шкалой температур является шкала Кельвина, в которой за нуль принято состояние, при котором тепловое движение молекул любого вещества прекращается. Конечно «тепловая смерть» лишь теоретическое понятие, даже в глубинах космоса регистрируется тепловой фон в 4 К (Кельвин), еще называемый реликтовым излучением. Между шкалой абсолютных температур (Т, [Т] = К) и шкалой Цельсия (t, [t] = °С), используемой в России, существует простая алгебраическая зависимость: $T = t + 273,16$.

Температура – мера средней кинетической энергии:

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

$$\boxed{\bar{E}_{кин.} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T} \quad \boxed{p = n \cdot k \cdot T}$$

Средняя скорость теплового движения молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_0}}$$

Средняя (квадратичная) скорость движения молекул определяется как квадратный корень из среднего квадрата скорости движения молекул. Вводят также понятия наиболее вероятной скорости движения молекул и арифметической скорости движения молекул.

$$\bar{v}_{\text{вер.}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m_0}}$$

средней

$$\bar{v}_{\text{арифм}} = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T}{m_0}}$$

Уравнение состояния идеального газа

(Менделеева-Клапейрона):

Описывает взаимозависимость между макропараметрами термодинамической системы.

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T$$

$R = k \cdot N_A = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – универсальная газовая постоянная.

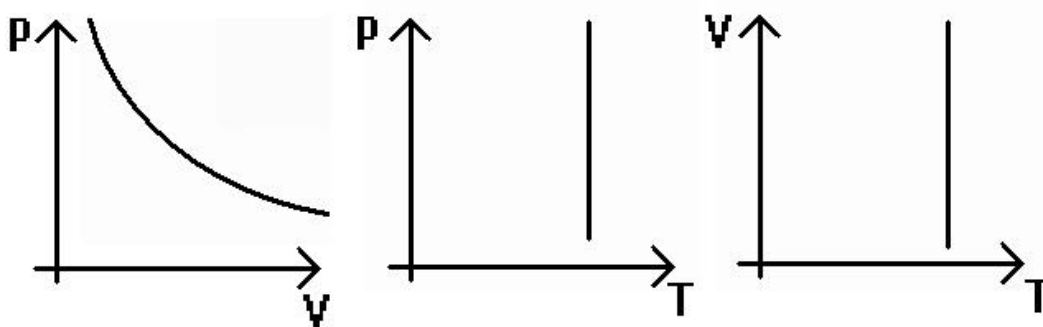
Закон Дальтона: давление смеси газов складывается из давлений газов, входящих в смесь.

Изопроцессом (от латинского *изос* – равный) называется переход термодинамической системы из одного состояния в другое при одном неизменном макропараметре.

Изотермический процесс - процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при неизменной температуре.

Признак изотермического процесса: $T = \text{const.}$

График изотермического процесса – изотерма.



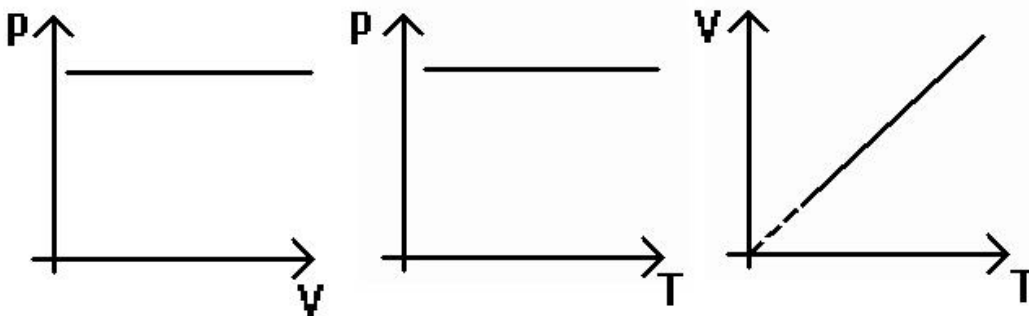
Закон изотермического процесса (Бойля-Мариотта): $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

Формулировка закона изотермического процесса: При данной массе газа произведение его давления на объем не изменяется.

Изобарический (изобарный) процесс - процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при неизменном давлении.

Признак изобарического процесса: $p = \text{const}$.

График изобарического процесса – изобара.



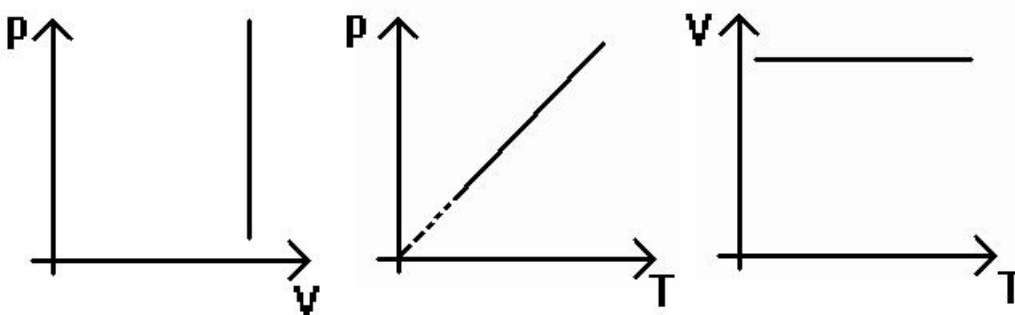
Закон изобарического процесса (Гей-Люссака): $T_1/V_1 = T_2/V_2$

Формулировка закона изобарического процесса: При данной массе газа отношение его температуры к объему не изменяется.

Изохорический (изохорный) процесс - процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при неизменном объеме.

Признак изохорического процесса: $V = \text{const}$.

График изохорического процесса – изохора.



Закон изохорического процесса (Шарля): $p_1/T_1 = p_2/T_2$

Формулировка закона изохорического процесса: При данной массе газа отношение его давления к температуре не изменяется.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

«МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА»

Пример №1. В закрытом с обоих концов горизонтальном цилиндре находится газ. Цилиндр разделен на две равные части легкоподвижным поршнем массой 2 кг и площадью поперечного сечения 4 см². Давление по обе стороны от поршня равно 10⁵ Па. Определить давление газа над поршнем, когда сосуд расположен вертикально. Температуру считать постоянной.

Дано:	Решение:				
<p>m=2 кг S=4 см²=4·10⁻⁴ м² p=10⁵ Па T=const</p>	<p>Запишем баланс давлений в вертикальном цилиндре:</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> $p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}$ <div style="margin: 0 10px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 5px;">p, V</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">p, V</td></tr> </table> </div> <div style="margin: 0 10px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 5px;">p₁, V₁</td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">p₂, V₂</td></tr> </table> </div> </div> <p>Для обеих частей сосуда запишем закон Бойля-Мариотта: $pV = p_1V_1$, $pV = p_2V_2$.</p> <p>Общий объем сосуда: $2V = V_1 + V_2$.</p> <p>Подставляя первые три уравнения в четвертое:</p> $2 = \frac{p}{p_1} + \frac{p}{p_1 + \frac{mg}{S}}$ <p>данное уравнение сводится к квадратному, относительно искомой величины.</p> <p>Решая его, получим $p_1 = 0,8 \cdot 10^5$ Па.</p>	p, V	p, V	p ₁ , V ₁	p ₂ , V ₂
p, V					
p, V					
p ₁ , V ₁					
p ₂ , V ₂					
Найти: p ₁ -?					

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

«МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА»

Пример №2. Два сосуда, содержащие два разных газа, соединены трубкой с краном. Давления в сосудах 100 кПа и 200 кПа, а число молекул соответственно $2 \cdot 10^{22}$ и $6 \cdot 10^{22}$. Определить установившееся давление в сосудах после открытия крана. Температура постоянна.

Дано:

Решение:

$$p_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$N_1 = 2 \cdot 10^{22}$$

$$N_2 = 6 \cdot 10^{22}$$

$$p = n \cdot k \cdot T = \frac{N}{V} \cdot k \cdot T \rightarrow p_1 = \frac{N_1}{V_1} \cdot k \cdot T, \quad p_2 = \frac{N_2}{V_2} \cdot k \cdot T,$$

откуда $V_1 = \frac{N_1}{p_1} \cdot k \cdot T$ и $V_2 = \frac{N_2}{p_2} \cdot k \cdot T$.

Найти:

p -?

Общее число молекул $N = N_1 + N_2$. Общий объем, пренебрегая объемом соединительной

трубки: $V = V_1 + V_2 = \left(\frac{N_1}{p_1} + \frac{N_2}{p_2} \right) \cdot k \cdot T$.

Таким образом:

$$p = \frac{(N_1 + N_2) \cdot k \cdot T}{\left(\frac{N_1}{p_1} + \frac{N_2}{p_2} \right) \cdot k \cdot T} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot p_1 \cdot p_2}{(N_1 \cdot p_2 + N_2 \cdot p_1)}$$

После вычислений: $P = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ "МКТ."

- 1.** Вычислить массу молекулы водорода, кислорода, озона, метана, углекислого газа.
- 2.** Во сколько раз в 3 г водорода больше молекул, чем в 9 г воды?
- 3.** Найти среднюю скорость теплового движения молекул кислорода, находящегося под давлением 750 мм.рт.ст.
- 4.** Воздух состоит из азота и кислорода. Вычислите и сравните среднеквадратичные скорости движения молекул азота и кислорода и их средние кинетические энергии поступательного движения, если температура воздуха 27°C.
- 5.** Определить концентрацию молекул идеального газа в нормальных условиях.
- 6.** Определить температуру газа при давлении 69 кПа и концентрации молекул 10^{25} м^{-3} .
- 7.** Найти плотность кислорода при температуре 300 К и давлении 160 КПа.
- 8.** Температура идеального газа возросла от -33°C до 207°C . Во сколько раз изменилась среднеквадратичная скорость движения его молекул?
- 9.** Определить молярную массу воздуха, считая его смесью газов, состоящей на 75% по массе из азота и на 25% по массе из кислорода.
- 10.** Определить среднеквадратичную скорость молекул воздуха при температуре 17°C. Молярная масса воздуха 29 г/моль.
- 11.** При какой температуре находился идеальный газ, если при его охлаждении до -73°C средняя квадратичная скорость его молекул уменьшилась в 2 раза?
- 12.** Во фляжке емкостью 0,5 л находится 0,3 л воды. Человек пьет из нее воду, плотно прижав губы к горлышку так, что во фляжку не попадает наружный воздух. Какую массу воды удастся выпить человеку, если он может понизить

давление оставшегося воздуха во фляжке до 80 кПа? Атмосферное давление 100 кПа. Плотность воды 10^3 кг/м^3 .

13. Колба вместимостью 250 см^3 нагрета до 77°C и опущена горлышком в воду. Сколько воды войдет в колбу при ее остывании до 7°C ? Атмосферное давление в норме

14. На сколько понизилось давление кислорода в баллоне емкостью 100 л при откачке из него 3 кг газа? Температура газа равна 17°C и не изменяется.

15. В спортивном зале размерами 50 м x 20 м x 5 м летом температура воздуха поднимается до 27°C , а зимой опускается до 17°C . Определите разницу в массе воздуха, заполняющего зал летом и зимой. Давление считать одинаковым и равным 100 кПа.

16. Давление кислорода в 3 раза больше давления азота. Определите отношение плотностей этих газов. Температуру считать постоянной.

17. В баллоне находился газ при нормальном атмосферном давлении. При открытом вентиле газ был нагрет, после чего вентиль закрыли и газ остыл до температуры 283 К. При этом давление в баллоне упало до 70 кПа. До какой температуры нагревали газ?

18. Идеальный газ при температуре 340 К занимает объем 1,7 л. При изобарическом охлаждении объем уменьшился на 0,2 л. До какой температуры охладился газ?

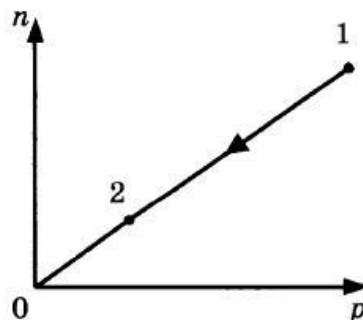
19. В закрытом сосуде находился идеальный газ под давлением 6 атм. Каково стало давление в сосуде, если половину газа выпустили? Нормальное атмосферное давление равно 100 кПа.

20. Стеклянная колба объемом 10 см^3 с узкой шейкой была нагрета до 114°C , затем шейку колбы опустили в ртуть. При охлаждении воздуха в колбу вошло 36 г ртути. До какой температуры охладился воздух? Плотность ртути 13600 кг/м^3 . Уровень ртути снаружи и внутри колбы одинаков.

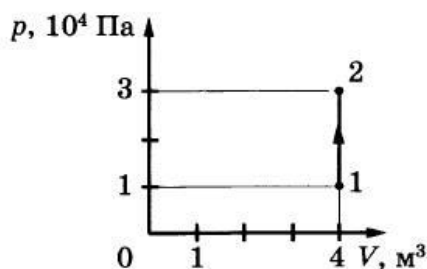
ЕГЭШ

21. 8. При переводе постоянной массы идеального газа из состояния 1 в состояние 2 концентрация молекул n пропорциональна давлению p (см. рисунок). Чему равна температура газа в состоянии 2, если начальная температура равна 600 К, а $\frac{p_2}{p_1} = 3$?

Ответ: _____ К.



22. 8. На рисунке изображено изменение состояния постоянной массы разреженного аргона. Температура газа в состоянии 1 равна 27 °С. Какая температура соответствует состоянию 2?



Ответ: _____ К.

23. 8. В результате охлаждения разреженного одноатомного газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул уменьшилась в 4 раза. Во сколько раз уменьшилась при этом абсолютная температура газа?

Ответ: уменьшилась в _____ раз (раза).

24. 8. Объем 1 моль водорода в сосуде при температуре T и давлении p равен 3 л. Чему равен объем 3 моль водорода при том же давлении и температуре $2T$? (Водород считать идеальным газом.)

Ответ: _____ л.

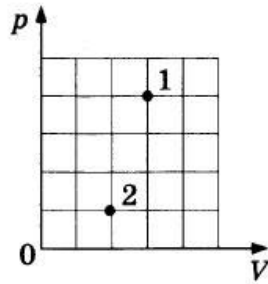
25. 8. При проведении опыта в сосуд закачивали воздух, одновременно охлаждая его. При этом температура воздуха в сосуде понизилась в 2 раза, а давление воздуха возросло в три раза. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

Ответ: в _____ раз.

26. 8. При проведении опыта в сосуд закачивали воздух, одновременно нагревая его. При этом температура воздуха в сосуде повысилась в 2 раза, а давление воздуха возросло в три раза. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

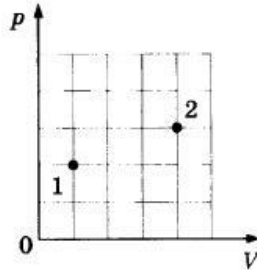
Ответ: в _____ раз(а).

27. 8. В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Определите отношение температур газа $\frac{T_1}{T_2}$ в состояниях 1 и 2 (см. рисунок).



Ответ: _____.

28. 8. В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Определите $\frac{T_2}{T_1}$ отношение температур газа в состояниях 2 и 1 (см. рисунок).



Ответ: _____.

29. 8. Давление идеального газа в закрытом сосуде было равно 40 кПа. При неизменной температуре концентрацию молекул газа увеличили в 3 раза. Определите давление газа в конечном состоянии.

Ответ: _____ кПа.

30. 8. Давление идеального газа в закрытом сосуде было равно 40 кПа. Концентрацию молекул газа уменьшили в 2 раза, одновременно увеличив его температуру в 3 раза. Определите давление газа в конечном состоянии.

Ответ: _____ кПа.

31. 8. Давление идеального газа в сосуде с жесткими стенками при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ равно $p = 90$ кПа. Каким будет давление в сосуде, если газ нагреть до температуры 127°C ?

Ответ: _____ кПа.

32. 8. Давление идеального газа в сосуде объемом $V = 1$ л равно $p = 90$ кПа. Каким будет давление в сосуде, если объем сосуда изотермически увеличить в 2 раза?

Ответ: _____ кПа.

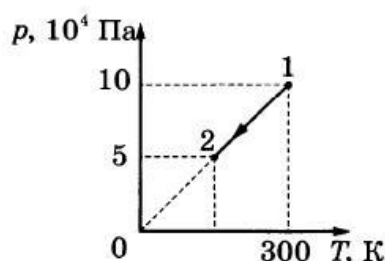
33. 8. Масса воздуха в цилиндре при нагревании изменилась, так как крышка, закрывавшая цилиндр, была негерметична. Найдите отношение масс воздуха в цилиндре в конечном и начальном состояниях $\frac{m_2}{m_1}$, если при увеличении температуры воздуха в 2 раза давление увеличилось в 1,5 раза.

Ответ: _____.

34. 8. Масса воздуха в цилиндре при охлаждении изменилась, так как крышка, закрывавшая цилиндр, была негерметична. Найдите отношение масс воздуха в цилиндре в конечном и начальном состояниях $\frac{m_2}{m_1}$, если при уменьшении температуры воздуха в 3 раза давление уменьшилось в 1,5 раза.

Ответ: _____.

35. 26. На рисунке изображён график изменения состояния одноатомного идеального газа в количестве 20 моль. Какая температура соответствует состоянию 2?



Ответ: _____ К.

36. 26. Цилиндрический сосуд разделен неподвижной теплоизолирующей перегородкой. В одной части сосуда находится кислород, в другой — водород, концентрации газов одинаковы. Давление кислорода в 4 раза меньше давления водорода. Чему равно отношение средней кинетической энергии молекул кислорода к средней кинетической энергии молекул водорода?

Ответ: _____.

37. 26. Цилиндрический сосуд разделен неподвижной теплоизолирующей перегородкой. В одной части сосуда находится кислород, в другой — азот. И концентрация, и давление кислорода в 2 раза больше концентрации и давления азота. Чему равно отношение средней кинетической энергии молекул кислорода к средней кинетической энергии молекул азота?

Ответ: _____.

38. 26. Идеальный газ изобарно нагревают так, что его температура изменяется на $\Delta T = 240$ К, а объем увеличивается в 1,8 раза. Масса газа постоянна. Найдите конечную температуру газа по шкале Кельвина.

Ответ: _____ К.

39. 26. Идеальный газ изохорно нагревают так, что его температура изменяется на $\Delta T = 240$ К, а давление увеличивается в 1,8 раза. Масса газа постоянна. Найдите начальную температуру газа по шкале Кельвина.

Ответ: _____ К.

40. 12. В сосуде находится идеальный одноатомный газ, концентрация которого равна n . Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа равна E . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать (k — постоянная Больцмана).

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) давление газа p

Б) температура T

ФОРМУЛЫ

1) $\frac{2}{3} nE$

2) $\frac{2E}{3k}$

3) $\frac{3E}{2k}$

4) $\frac{2}{3} nkE$