

## Формулы для ЕГЭ по физике «Молекулярная физика»

Все вещества могут находиться в *трёх основных агрегатных состояниях*: газ, жидкость, твёрдое тело. В зависимости от молекулярного строения различные вещества могут иметь различные физические свойства. При этом каждое агрегатное состояние имеет свои основные свойства. Многие вещества могут находиться во всех трёх состояниях. Для перехода необходимо создать необходимые условия.

### Основные положения МКТ:

1. Все тела состоят из структурных единиц (атомов, молекул). О существовании молекул можно судить, исходя из закона кратных отношений. Не существует веществ, в формулу которых бы входил не целый атом. Например,  $\text{H}_2\text{O}$  – здесь равное количество атомов водорода и кислорода. Точно также и в остальных элементах.

2. Они постоянно находятся в тепловом движении. То, что молекулы двигаются хаотически, можно подтвердить с помощью диффузии или осмоса. Также нам известно, что все газы стремятся заполнить полный объём, что, в свою очередь, подтверждает постоянное движение молекул.

3. Между всеми структурными единицами существуют силы притяжения и отталкивания. То, что между всеми молекулами существуют силы притяжения, можно подтвердить с помощью силы упругости, способности твёрдых тел сохранять свою форму, а также поверхностного натяжения жидкостей.

4. Между всеми структурными единицами имеются промежутки. Стоит отметить, что объём смешанных различных жидкостей всегда меньше, чем сумма всех объёмов жидкостей по отдельности.

Для изучения явлений и процессов, протекающих в газах, принято рассматривать идеализированную модель, которая называется *идеальным газом*. Для идеального газа характерно следующее:

- структурные единицы газа принимаются за материальные точки;
- они взаимодействуют друг с другом, как абсолютно упругие мячики;
- силами взаимодействиями между молекулами можно пренебречь.

В реальном мире к идеальному газу близок разжиженный кислород, гелий, азот, водород и другие газы.

Идеальный газ можно описать с помощью макро- и микропараметров.

**Микропараметры** описывают характеристики структурных составляющих вещества. К ним можно отнести массу, скорость, энергию молекулы газа. Что касается **макропараметров**, то это физические величины, характеризующие общие характеристики вещества в целом, вызванные микропараметрами. К ним относятся температура, связанная с энергией и скоростью молекул, объём, а также давление, которое производится всеми молекулами газа на стенки ёмкости, в которой он находится.

Основное уравнение МКТ:  $p = \frac{1}{3} m_0 n v^2$ , где  $m_0$  – масса одной молекулы,  $n$  – концентрация молекул,  $v$  – среднеквадратичная скорость молекул газа.

Связь давления с кинетической энергией:  $p = \frac{2}{3} n E_{\text{кин}}$

Абсолютная температура изменяется в Кельвинах:  $[T] = 1 \text{ К}$ .

Чтобы перейти от температуры в Цельсиях к Кельвинам, следует воспользоваться простой формулой:  $T(\text{К}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,1$ . Например:  $17^{\circ}\text{C} = 17 + 273 = 290 \text{ К}$ .

Абсолютная шкала температур удобна тем, что все величины получаются положительными. Абсолютная температура не может быть отрицательной.

Температура напрямую зависит от скорости движения молекул газа. Чем больше скорость материальной точки, тем больше ее кинетическая энергия:  $\overrightarrow{E_{\text{кин}}} = \frac{3}{2} kT$ , где  $k$  – постоянная Больцмана  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К,  $T$  – абсолютная температура.

**Уравнение состояния идеального газа:  $p = nkT$**

**Модель идеального газа в термодинамике**

Идеальный газ можно описать тремя основными макропараметрами: давлением, температурой и объёмом. Все эти величины объединяет уравнение состояния, которые практически одновременно открыли два ученых, поэтому данный закон носит название **уравнения Менделеева-Клапейрона:  $pV = \frac{m}{M} RT$ , где:**

$p$  – давление идеального газа,

$V$  – объём идеального газа,

$m$  – масса газа,

$M$  – молярная масса газа,

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = k \cdot N_A$  ( $k$  – постоянная Больцмана,  $N_A$  – число Авогадро),  $R = 8,31$  Дж/(моль·К)

$T$  – абсолютная температура идеального газа.

Сумма кинетических энергий всех структурных единиц – внутренняя энергия газа.

**Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:  $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$**

**Внутренняя энергия структурной единицы:  $U = \frac{3}{2} pV$**

**Внутренняя энергия двухатомного газа:  $U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} pV$**

**Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов:**

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

Общее давление всех газов равно сумме давлений каждого из них.

**Изопроцессы**

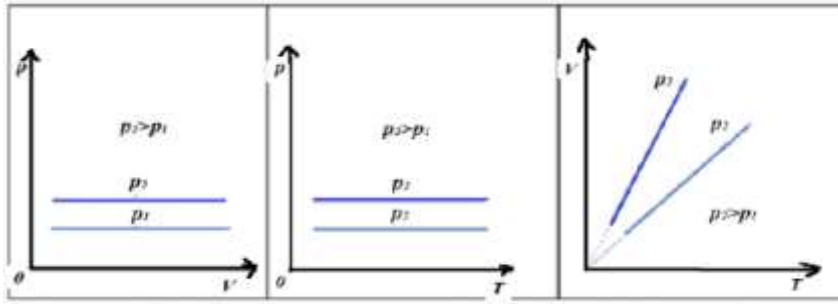
Любое вещество характеризуют макро- и микропараметры. Если говорить о макропараметрах, то для перехода системы из одного состояния в другое обязательно должны изменяться минимум две величины. Это значит, что отдельно только давление, только объём или только температура не может изменяться. Они либо изменяются все согласно уравнению Клапейрона, либо изменяются две величины.

**Изопроцессы** – это процессы, во время которых масса газа и один макропараметр остаются неизменными. Существует три основных изопроцесса: изобарный, изохорный, изотермический.

**Уравнение Клапейрона:  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$**

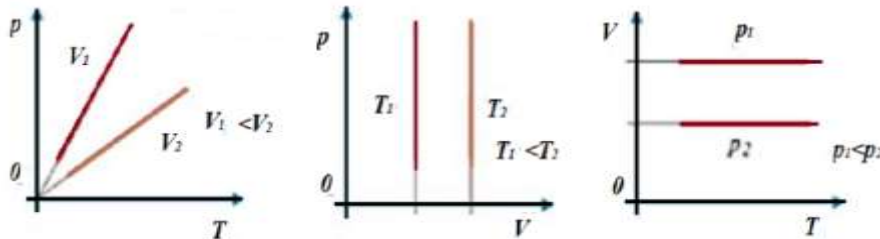
**Изобарный процесс.** Изолированным, неизменным остается давление. Если в уравнении Клапейрона давление остаётся неизменным, то оно сокращается и можно получить новый закон – данному процессу соответствует **закон Гей-Люссака:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$**

График данного процесса называется **изобара**.



**Изохорный процесс.** Во время данного процесса изменяются только давление и температура, а объём остается неизменным. При данных условиях из уравнения Клапейрона получим **закон Шарля**: для газа данной массы отношение давления газа к его термодинамической температуре постоянно:  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

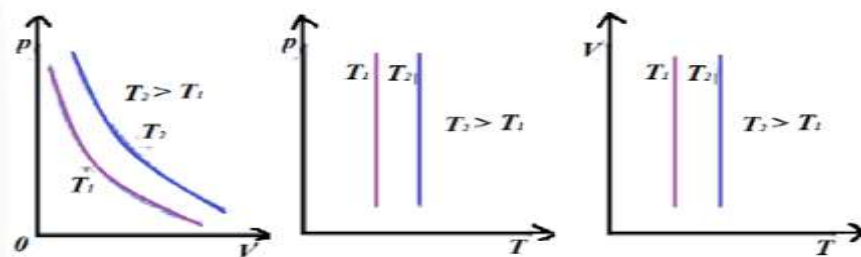
График данного процесса называется **изохора**.



**Изотермический процесс.** При данном процессе изменяются давление и объём.

Процесс описывает **закон Бойля-Мариотта**:  $p_1 V_1 = p_2 V_2$

График данного процесса называется **изотерма**.



### Влажность воздуха

Физическая величина, показывающая количество содержания паров в воздухе, называют **влажностью воздуха**. Влажность бывает относительной и абсолютной. Основными величинами, по которым можно определить влажность, являются плотность и давление.

**Абсолютная влажность** показывает плотность содержания водяного пара в некотором рассматриваемом объеме:  $\rho_a = \frac{m}{V}$

Единицей измерения абсолютной влажности в СИ является  $[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$

Влажность в уравнение Менделеева-Клапейрона:  $pV = \frac{\rho}{M} RT$

Все живые организмы воспринимают именно относительное содержание водяного пара, поэтому была также введена величина, которая называется относительной влажностью. Данная величина показывает процент влажности в данный момент времени относительно насыщенного пара, т.е. влажности, при которой роса:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\%, \text{ где } p_n \text{ — давление насыщенного пара, } \rho_n \text{ — плотность насыщенного пара при той же температуре.}$$

Единицей измерения влажности в СИ является:  $[\varphi] = \%$

Единицей измерения влажности в СИ является:  $[\varphi] = \%$

**Чтобы жидкость кипела**, необходима постоянная передача ей некоторого **количества тепла**. До момента кипения необходимо передать тепло:

$$Q = cm \cdot \Delta t, \text{ где:}$$

$c$  – удельная теплоемкость вещества тела, Дж/(кг·°C);

$m$  – масса тела, кг;

$\Delta t$  – изменение температуры тела, °C.

**Для испарения** некоторой массы жидкости необходимо передать ей следующее количество теплоты:

$$Q = Lm, \text{ где:}$$

$L$  – удельная теплота парообразования жидкости, Дж/кг,

$m$  – масса жидкости, кг.

Чтобы определить необходимое **количество теплоты для плавления**, следует воспользоваться формулой:

$$Q = \lambda \cdot m, \text{ где:}$$

$\lambda$  – удельная теплота плавления вещества тела, Дж/кг,

$m$  – масса тела, кг.

**При сгорании** каждого из них выделяется разное количество энергии:

$$Q = q \cdot m.$$

Удельная теплота сгорания  $q$  определяет то количество теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг топлива.

$$\text{Работа газа: } A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$$

**Первый закон термодинамики** гласит: изменение внутренней энергии системы при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:  $\Delta U = A + Q$ .

*Замечание.* Если работу совершает сама термодинамическая система, а не внешние силы, то  $Q = \Delta U + A'$

**Вывод:** количество теплоты, переданной термодинамической системе, идёт на изменение её внутренней энергии и совершение работы.

**При изотермическом процессе** температура остаётся неизменной, и всё количество энергии, которое может быть передано газу, идёт только на совершение работы над внешними телами, без изменения внутренней энергии, которая повлекла бы за собой изменение температуры:  $Q = A$

**При изохорном процессе** не происходит изменения объема. Значит, работа над газом не совершается, всё полученное тепло идёт на его нагревание. Изменяется внутренняя энергия:  $\Delta U = Q$

**Во время изобарного нагревания** для сохранения постоянного давления газ должен находиться под свободным поршнем, который способен перемещаться при нагревании. В результате происходит изменение его объёма, а это значит, что внутренняя энергия газа изменяется во время совершения работы и при теплообмене.  $Q = \Delta U + A'$ .

Когда газ изолирован от внешней среды, когда не происходит теплообмена с окружающей средой, все изменения с газом происходят настолько быстро, что он не успевает отдать или взять тепло. Такой процесс называют **адиабатный процесс**. Первый закон термодинамики имеет следующий вид:  $A = -\Delta U$ . Газ совершает работу за счёт убыли его внутренней энергии.

**Второй закон термодинамики** говорит о том, что во время теплопередачи всё тепло всегда передается от более нагретого тела к менее нагретому, а механическая энергия способствует изменению внутренней энергии.

**Постулат Клаузиуса** говорит о том, что холодное тело не может передавать холод более нагретому телу без дополнительных источников работы. То есть в холодильных машинах всегда есть дополнительное тело, которое способствует движению холодильного вещества без изменения его температуры за счёт горячего тела. Именно поэтому фреон в бытовых холодильниках не нагревается из-за того, что в холодильник кладут пищу.

**Тепловые двигатели** – системы, способные превращать тепло в работу.

Во время сгорания топлива выделяется достаточная энергия, большая часть которой идет на совершение работы, поэтому  $Q_1 = A_1$ . Для того, чтобы машина постоянно работала, необходимо, чтобы газ расширялся и сужался – в таком случае поршень будет периодически возвращаться в исходное положение. Поэтому холодильник охлаждает газ, передавая ему теплоту  $Q_2 = A_2$ . В данном случае полезная работа будет равна

$$A = A_1 - A_2$$

Коэффициент полезного действия теплового двигателя определяется по формуле:

$$\text{КПД} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} \cdot 100\%$$

КПД всегда меньше единицы.