

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ:

- 1) *вещество состоит из микрочастиц (атомов, молекул, ионов и т. д.);*
- 2) *микрочастицы пребывают в непрерывном хаотическом движении и взаимодействуют между собой.*

На основании этого утверждения английский химик Джон Дальтон в 1803 г. объяснил закон постоянных отношений масс в химических реакциях.



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

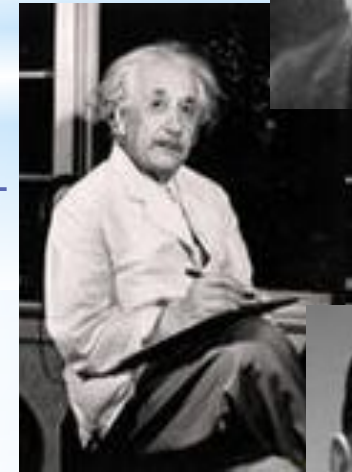
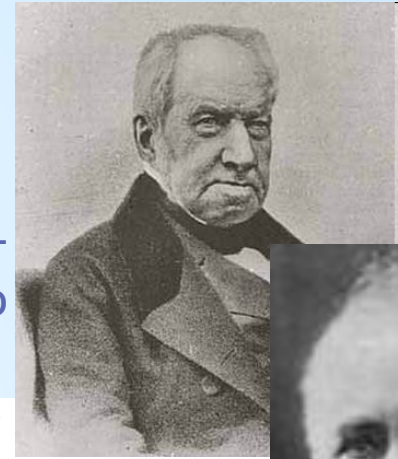
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Измерения микрочастиц вещества показали, что молекулы различных веществ сильно отличаются по размеру, в то же время все атомы имеют диаметр приблизительно 10^{-10} м.

Атомно-молекулярное учение утверждает, что газы состоят главным образом из атомов и молекул, большинство жидкостей имеет молекулярное строение, а структура кристаллических тел обусловлена взаимодействием ионов. 1827 г. опыт английского ботаника Роберта Броуна (1773 - 1858).

Экспериментально изучая броуновское движение, французский физик Жан Перрен (1870 - 1942) выяснил, что оно происходит в результате теплового движения. Он установил, что интенсивность броуновского движения частиц возрастает с повышением температуры и не зависит химической природы частиц и времени их движения.

В 1905-1906 гг. Альберт Эйнштейн (1879 - 1955) и польский физик Мариан Смолуховский (1872-1917) сделали теоретическое обоснование броуновского движения с позиций молекулярно-кинетических представлений, чем окончательно подтвердили достоверность положений молекулярной физики.



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Масса молекул. Количество вещества

Небольшие размеры атомов и молекул обуславливают их незначительную массу $\sim 10^{-27}$ кг.

Поэтому в молекулярной физике массу молекул часто измеряют в **атомных единицах массы (а.е.м.)**, сравнивая ее с $1/12$ массы Углерода-12.

$$1 \text{ а.е.м} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Размеры и масса молекул очень малы, а количество в макроскопическом теле - очень велико. (Например, в 1 г воды содержится около $3,3 \cdot 10^{22}$ молекул).

Для упрощения расчетов, в физике и химии принято сравнивать количество атомов, молекул или иных структурных единиц в данном теле с количеством атомов в 12 г Углерода-12.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Масса молекул. Количество вещества

Отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется *количеством вещества* ν :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

Отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества** ν :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$

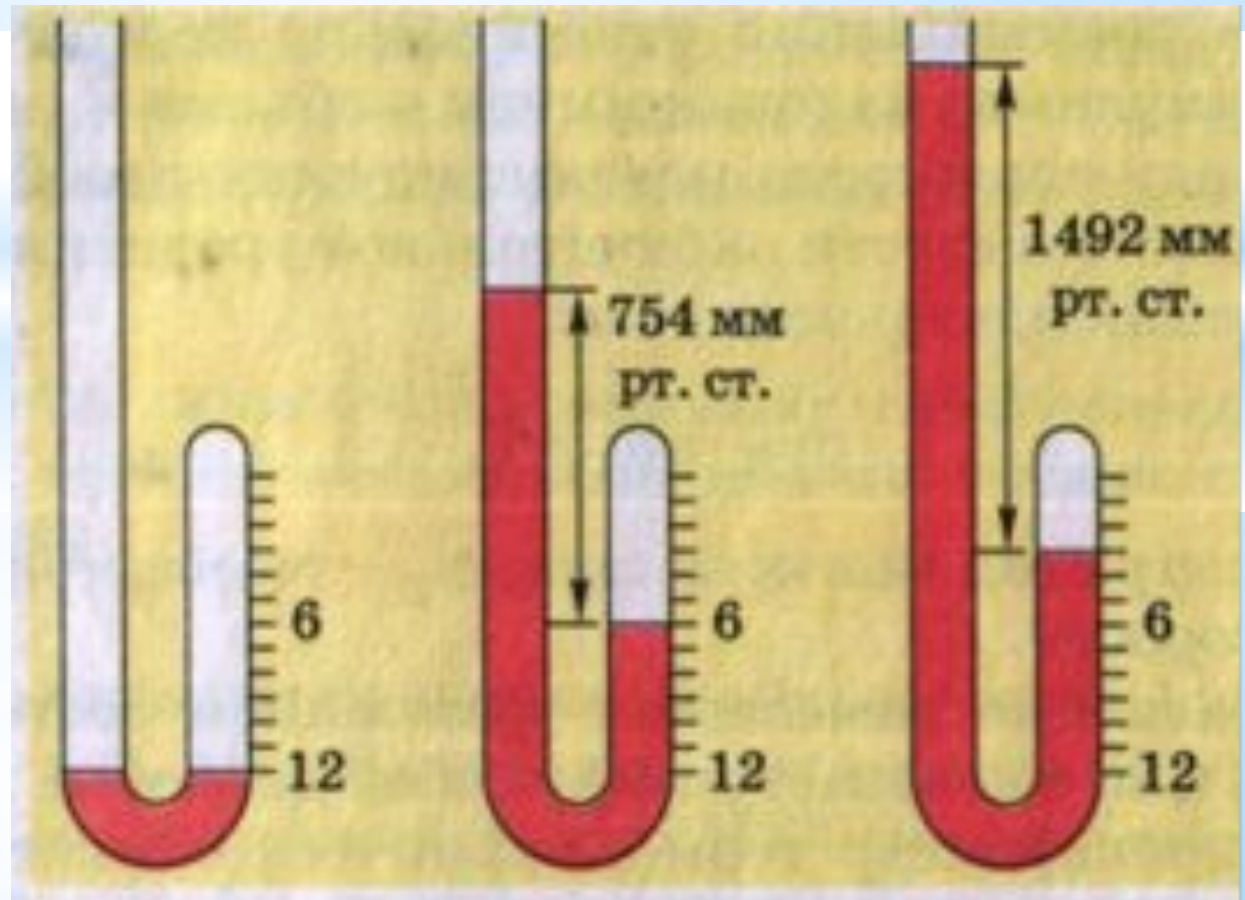
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Закон Бойля-Мариотта

Первый газовый закон был открыт в 1662 г английским ученым Робертом Бойлем (1627 - 1691):

между давлением и объемом данной массы газа при постоянной температуре существует обратная зависимость:

$$p \sim \frac{1}{V}.$$



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Закон Бойля-Мариотта

В 1676 г., французский ученый Эдм Мариотт (независимо от Р. Бойля) обобщенно сформулировал газовый закон:

если при некоторой температуре данная масса газа занимает объем V_1 под давлением p_1 , а в другом состоянии при той самой температуре его давление и объем равны V_2 и p_2 , то выполняется соотношение:

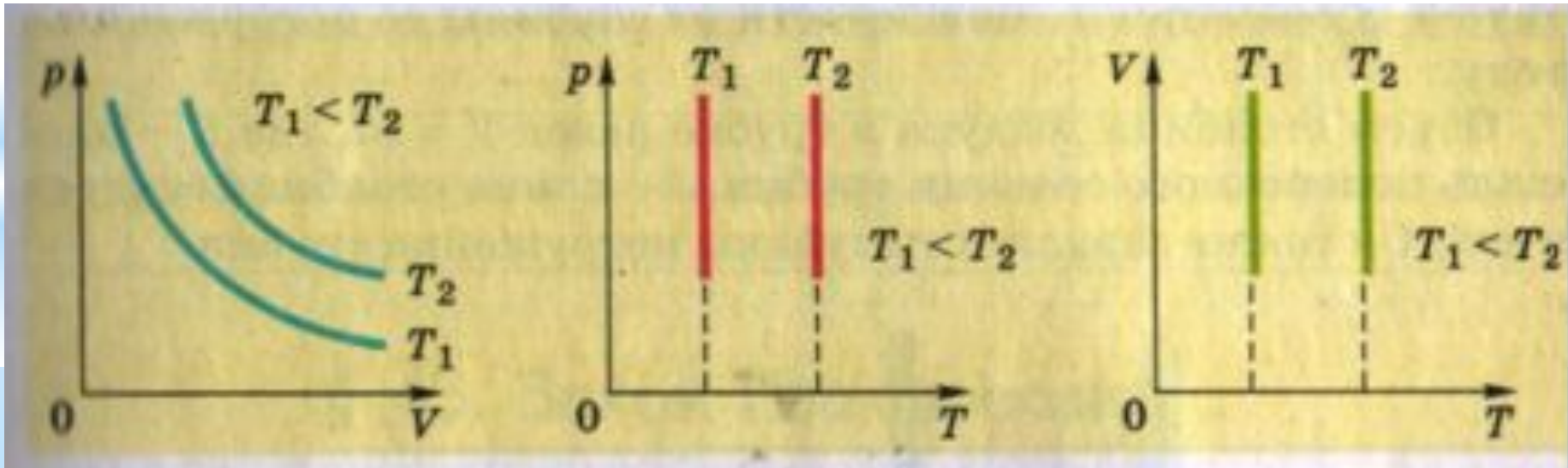
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \text{ или } p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Закон Бойля-Мариотта: при постоянной температуре давление p данной массы газа обратно пропорционально занимаемому им объему V .

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Закон Бойля-Мариотта

Тепловой процесс, происходящий при постоянной температуре, называется *изотермическим* (от греч. *isos* - равный, *thermi* - теплота). Графически на координатной плоскости pV он изображается гиперболой, называемой *изотермой*.



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Закон Гей-Люссака



Отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества** ν :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

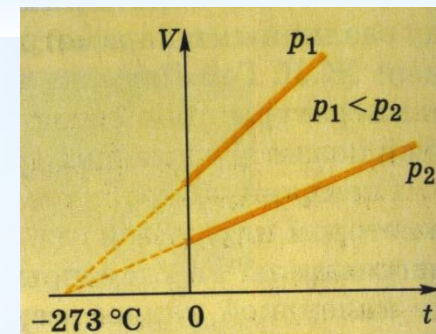
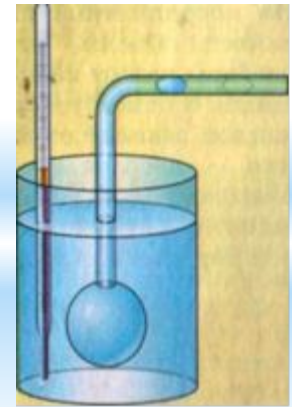
$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$



Абсолютная шкала температур

Если приравнять уравнение $V = V_0(1 + \alpha t)$ к нулю как нижнему пределу объема, то получим значение наименьшей температуры по шкале Цельсия, которую могут иметь тела:

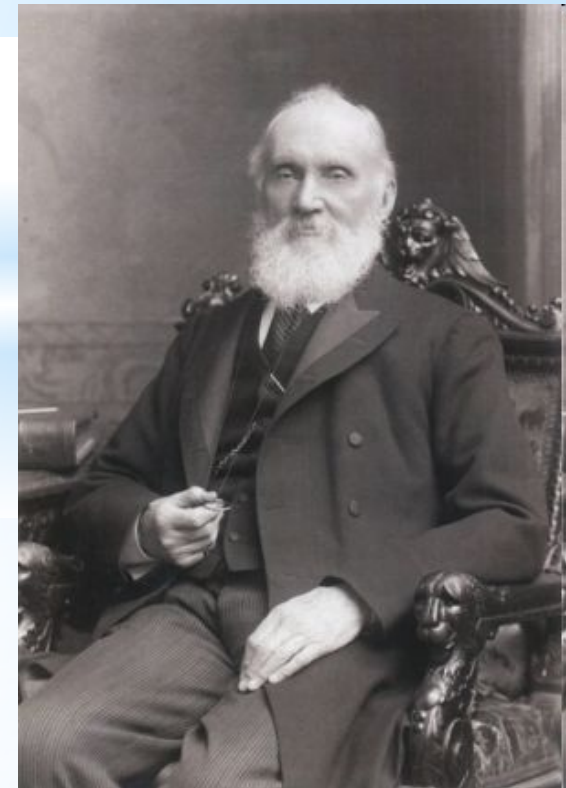
$$0 = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$$

Отсюда:

$T = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ - нижний предел - абсолютный нуль.

Уильям Томсон (лорд Кельвин) (1824-1907) - английский физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории, теории термоэлектрических явлений, основ электромагнитных колебаний.

Сформулировал второй закон термодинамики, ввел абсолютную шкалу температур (шкала Кельвина), произвел расчет размеров молекул. За выдающиеся научные достижения удостоен титула лорда Кельвина.



Абсолютная шкала температур

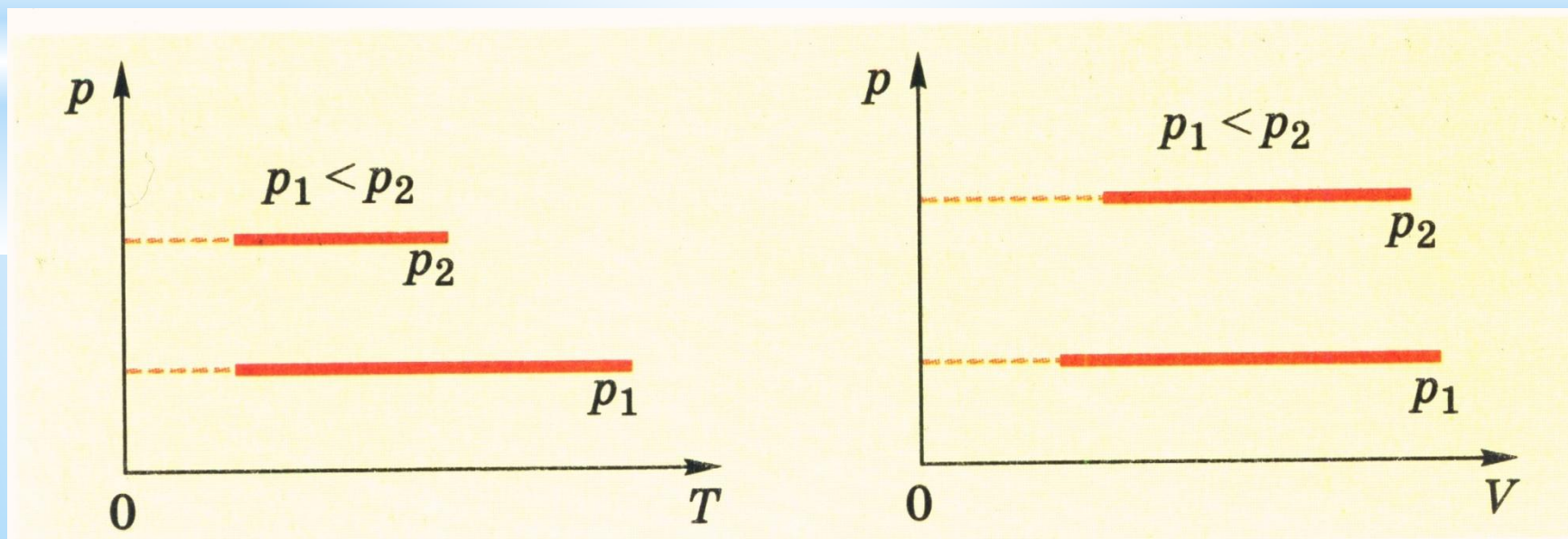
$$1 \text{ К} = 273 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = t + 273$$

$$1 + \alpha t = \alpha + 1/273(T - 273) = \alpha T, \text{ то } V = V_0 \alpha T$$

$$V_1/V_2 = T_1/T_2,$$

Очевидно, что на координатных плоскостях pT и pV изобарами являются прямые, перпендикулярные к оси давления.

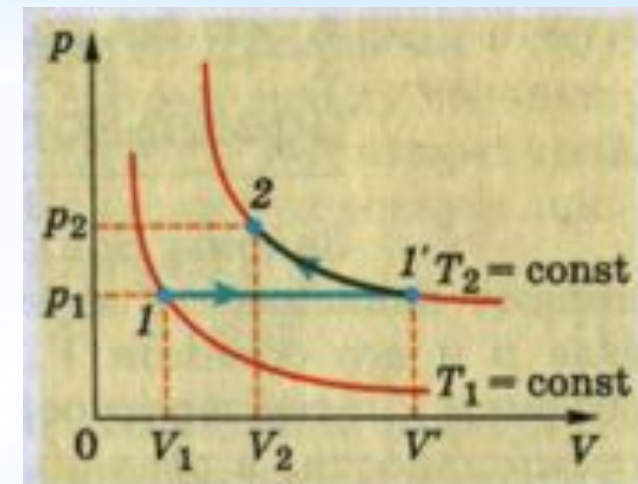
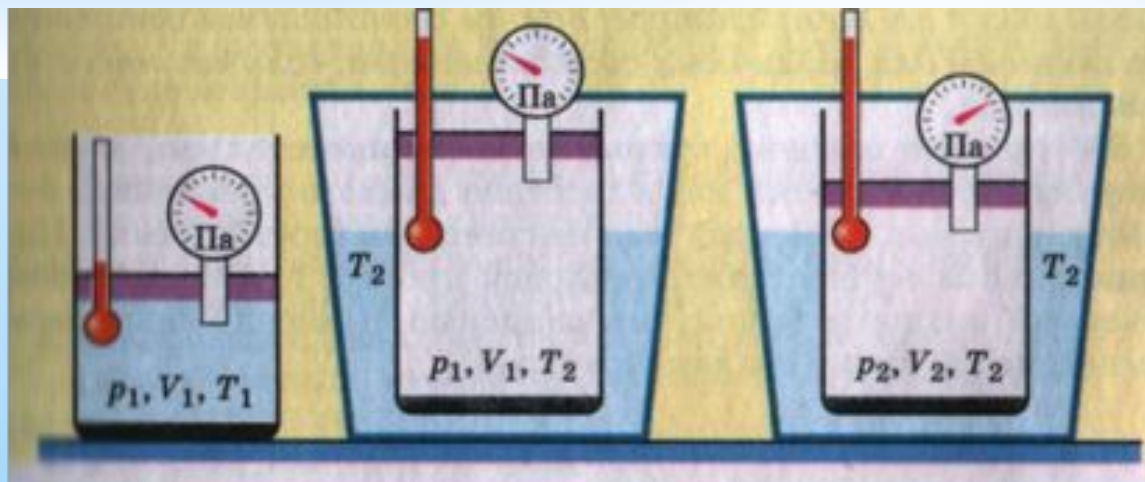


Уравнение состояния идеального газа. Закон Шарля

Выяснить функциональную зависимость между параметрами газа в физике означает найти уравнение его состояния. Установлено, что для этого достаточно трех величин - давления p , объема V и температуры T .

Проведем опыты показанные на рисунке 1: сначала изобарное расширение, затем изотермическое сжатие .

Графическое изображение изменение состояния газа показано на рисунке 2.



Уравнение состояния идеального газа. Закон Шарля

☼ отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества** ν :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$

Уравнение состояния идеального газа. Закон Шарля

* Отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества ν** :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

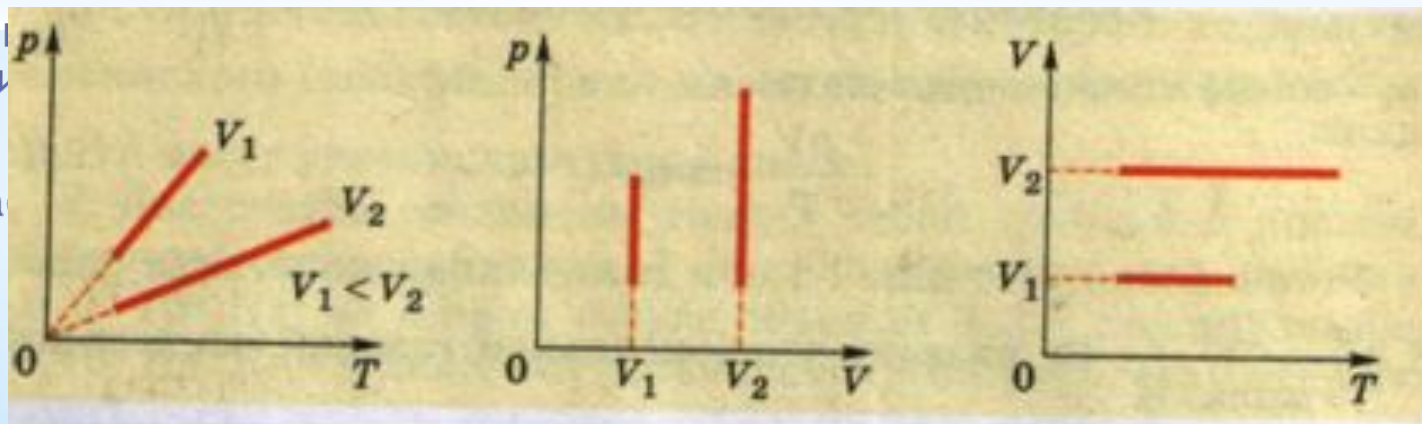
$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m
соотношени

Т.е. для ра



ся из

Уравнение состояния идеального газа. Закон Шарля

*Отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества** ν :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона

☒ отношение количества молекул N в данном теле к количеству атомов N_A в 0,012 кг Углерода С-12 называется **количеством вещества ν** :

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

ν измеряется в моль или в кмоль.

Моль - это такое количество вещества, которое имеет столько же структурных элементов вещества, сколько содержится в 0,012 кг С-12. Эту величину называют постоянной Авогадро N_A .

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса - это масса 1 моля вещества (измеряется в кг/моль) и равна:

$$M = m_0 N_A$$

Масса m произвольного количества вещества ν определяется из соотношения:

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu M$$

Т.е. для расчета общего количества вещества:

$$N = N_A \frac{m}{M}$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона

Используя уравнение Клапейрона $pV_M = RT$, зависимость $V = \nu V_M$, $\nu = m/M$, где ν - количество вещества, m - масса газа, M - его молярная масса,

Д.И. Менделеев вывел уравнение состояния идеального газа для произвольного объема:

$$pV = mRT/M.$$

В таком виде уравнение называется уравнением Менделеева-Клапейрона.

Парообразование и конденсация. Насыщенный и ненасыщенный пар

Процесс парообразования происходит в результате поглощения определенного количества теплоты:

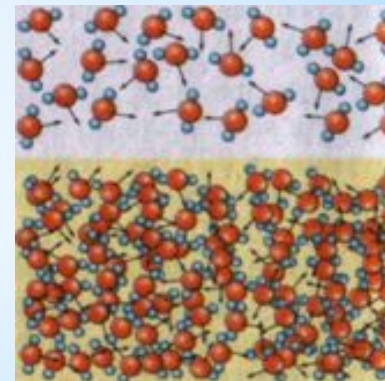
$$Q = rm,$$

где r - удельная теплота парообразования, зависящая от рода вещества, m - его масса.

Удельная теплота парообразования измеряется в Дж/кг.

Численно она равна количеству теплоты, необходимой для перехода 1 кг жидкости в пар при некоторой температуре. В таблицах ее значение приводится, как правило, для температуры кипения жидкости.

В природе довольно часто происходит и обратный процесс - переход пара в жидкость. Он называется конденсацией. В результате конденсации жидкость получает такое же количество теплоты, какое необходимо для ее испарения.



Парообразование и конденсация. Насыщенный и ненасыщенный пар

Интенсивность испарения жидкости зависит от многих факторов - рода вещества, температуры, площади свободной поверхности жидкости, внешних условий.

Пар, находящийся в динамическом равновесии с собственной жидкостью, является насыщенным (образуется в закрытом сосуде над свободной поверхностью жидкости).

Динамическое равновесие между жидкостью и паром возникает тогда, когда количество молекул, вылетающих со свободной поверхности жидкости, равно количеству молекул, которые в нее возвращаются.

В открытом сосуде динамическое равновесие нарушается и пар становится ненасыщенным.

Насыщенный и ненасыщенный пар имеет разные свойства.

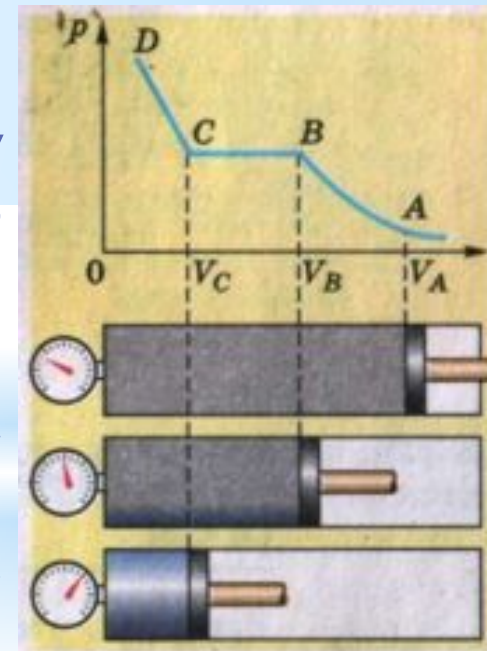
Парообразование и конденсация. Насыщенный и ненасыщенный пар

Если ненасыщенный пар постепенно сжимать, как показано на рисунке, то на разных участках зависимость будет кардинально отличаться.

Вначале (участок АВ) - соответствует закону Бойля-Мариотта, так как газ пока сильно разрежен.

Затем (участок ВС) - характеризует насыщенный пар - его плотность постоянна и максимальна для данной температуры. Это происходит до тех пор, пока весь насыщенный пар не перейдет в жидкое состояние.

Дальнейшее уменьшение объема вызывает резкое возрастание давления (участок CD), поскольку жидкости практически несжимаемы.



Влажность воздуха. Точка росы

Количество в атмосфере водяного пара характеризует влажность воздуха. Степень влажности воздуха зависит от физического состояния атмосферы, температуры, близости морей и океанов и т. д.

Для оценивания влажности воздуха пользуются понятиями абсолютной и относительной влажности.

Абсолютная влажность характеризует массу водяного пара, содержащегося при данной температуре в 1 м^3 воздуха - это плотность водяного пара в воздухе при определенной температуре.

$$P = m/V$$

Относительная влажность - это отношение парциального давления водяного пара p при данной температуре к давлению насыщенного пара при той же температуре p_n :

$$\varphi = p/p_n \cdot 100\%.$$

Парциальным называется давление, создаваемое в смеси газов каждым из газов отдельно, словно он один занимает весь объем.

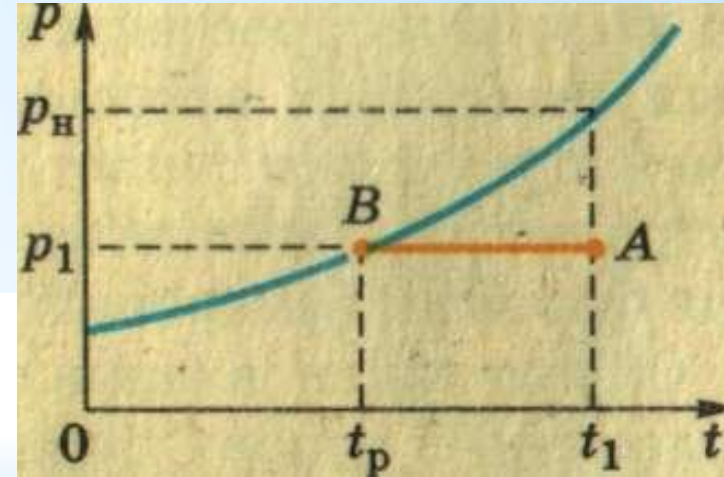
Влажность воздуха. Точка росы

Температура t_p , до которой надо изобарно охладить влажный воздух, чтобы водяной пар стал насыщенным, называется **точкой росы**.

Зная температуру точки росы, при помощи таблицы можно найти парциальное давление водяного пара данной влажности - оно равно давлению насыщенного пара при данной температуре.

Давление и плотность насыщенного водяного пара

$t, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$
0	0,61	0,0048	16	1,81	0,0136
2	0,71	0,0056	18	2,07	0,0154
4	0,81	0,0064	20	2,33	0,0173
6	0,93	0,0073	22	2,64	0,0194
8	1,07	0,0083	24	2,99	0,0218
10	1,23	0,0094	26	3,36	0,0244
12	1,40	0,0107	28	3,79	0,0272
14	1,60	0,0121	30	4,24	0,0303



Относительную влажность воздуха можно определить, зная значения плотности водяного пара при температуре точки росы t_p и плотности насыщенного водяного пара ρ_n .

Влажность воздуха измеряют при помощи гигрометров или используя психрометрическую таблицу влажности.