

# Лекция 2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

**1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ  
ГАЗОВ**

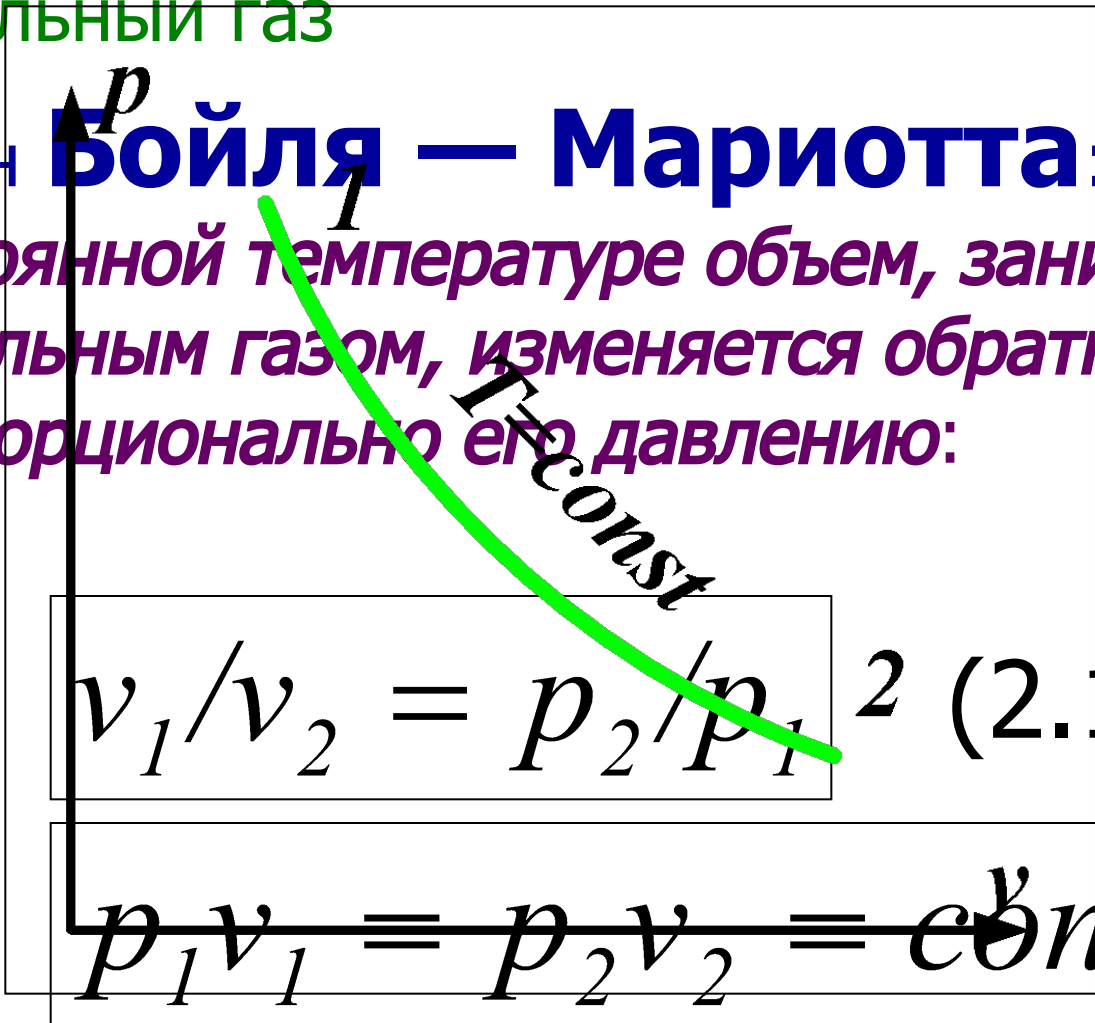
**2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ  
ГАЗОВ**

**3. УНИВЕРСАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ  
СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

# 1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

- Идеальный газ

- Закон **Бойля — Мариотта**: при постоянной температуре объем, занимаемый идеальным газом, изменяется обратно пропорционально его давлению:


$$v_1/v_2 = p_2/p_1 \quad (2.1)$$

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{const}$$

- Закон **Гей-Люссака**: при постоянном давлении объемы одного и того же количества идеального газа изменяются прямо пропорционально абсолютным температурам:

$$v_1/v_2 = T_1/T_2 \quad (2.2)$$

1 ————— 2  
*p=const*

*v*

## 2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

$$F(p, \nu, T) = 0$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{n}{\nu} \cdot \frac{m \overline{w}^2}{2} \quad (2.3)$$

$$\overline{w} = \sqrt{\frac{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2}{n}}$$

Молекулярно-кинетическая теория газов устанавливает **прямую пропорциональность между средней кинетической энергией молекул и абсолютной температурой:**

$$\frac{m\overline{w^2}}{2} = BT$$

$$p\nu = \frac{2nBT}{3} \quad (2.4)$$

$$p_1 v_1 = 2nVT_1/3$$

$$p_2 v_2 = 2nVT_2/3$$

$$p_1 v_1 / T_1 = p_2 v_2 / T_2 \quad (2.5)$$

**Объединенный закон Бойля –  
Мариотта и Гей-Люссака.**

$$pv/T = const \quad (2.6)$$

**(2.7) - термическое уравнение  
состояния идеальных газов или  
характеристическое уравнение  
Клапейрона**

Для произвольного количества газа с массой  $m$  (кг) уравнение состояния имеет вид:

$$pV = mRT$$

Удельная газовая постоянная  $R$  представляет собой **физическую постоянную**, которая для каждого газа принимает вполне **определенное значение**, зависящее от природы газа и **не зависящее** от его состояния

# Физический смысл удельной газовой постоянной

$$pV_1 = mRT_1$$

$$pV_2 = mRT_2$$

$$p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$$

$$R = [p(V_2 - V_1)] / [m(T_2 - T_1)]$$

Удельная газовая постоянная есть **работа** в джоулях **1 кг газа** в процессе при **постоянном давлении** и при изменении **температуры на 1°**



# Единица удельной газовой постоянной:

$$R = \frac{[p(V_2 - V_1)]}{[m(T_2 - T_1)]} = \frac{H / \text{м}^2 \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot K} =$$
$$= \frac{H \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot K} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot K}$$

# 3. УНИВЕРСАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Закон **АВОГАДРО**:

*при одинаковых температурах и давлениях в равных объемах различных идеальных газов содержится одинаковое количество молекул:*

$$\rho_1/\rho_2 = M_1/M_2 \quad (a)$$

# Молярная масса газа

**Молярной массой газа** (вещества)

называется отношение массы ***m***

системы к количеству газа (вещества) ***ν***

ЭТОЙ СИСТЕМЫ:

$$M = m/\nu$$

**Единица молярной массы:**

$$[M] = [1\text{кг}] / [1\text{моль}] = 1\text{кг} / \text{моль}$$

Отношение **плотностей газов** в уравнении (а)  
заменим обратным отношением **удельных объемов**

**При одинаковых физических условиях  
произведение удельного объема газа на  
его молярную массу есть величина  
постоянная и не зависит от природы  
газа:**

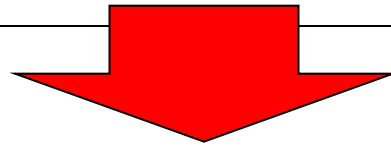
$$v \cdot M = \textit{idem} \quad (2.8)$$

**Объем 1 моль идеального газа**

**Молярные объемы всех газов при равных  
температурах и давлениях **ОДИНАКОВЫ****

$$pV_{\mu} = MRT$$

(2.9)



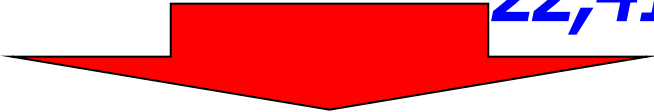
$$MR = R_{\mu} = pV_{\mu} / T$$


Произведение  $M \cdot R_{\mu}$  называют **универсальной (молярной) газовой постоянной**

**Универсальная газовая постоянная  $R_{\mu}$  есть работа 1 моль идеального газа в процессе при постоянном давлении и при изменении температуры на  $1^{\circ}$ .**

Нормальные физические условия  
(давление **101 325 Па** и температура  
**273,15 К**)

Объем **1 моль** газа равен  
 **$22,4143 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$**


$$R_{\mu} = \frac{101325 \cdot 22,4143 \cdot 10^{-3}}{273,15} = 8,314 \text{ [Дж/(моль} \cdot \text{К)].}$$


$$pV_{\mu} = 8,314 \cdot T \quad (2.10)$$

**Уравнение Клапейрона — Менделеева**

$$R = 8,314/\text{М}$$

Газ	Химическая формула	Относительная молекулярная масса	Удельная газовая постоянная $R$ , Дж/(кг·К)	Плотность газа при нормальных физических условиях, кг/м <sup>3</sup>
Кислород	$O_2$	32	259,8	1,429
Водород	$H_2$	2,016	4124,3	0,090
Азот	$N$	28,02	296,8	1,250
Окись углерода	$CO$	28	296,8	1,250
Воздух	-	28,96	287,0	1,293
Углекислый газ	$CO_2$	44	189,0	1,977
Водяной пар	$H_2O$	18,016	461,6	0,804
Гелий	$He$	4,003	2077,2	0,178
Аргон	$Ar$	39,944	208,2	1,784
Аммиак	$NH_3$	17,031	488,2	0,771

$$pdv + vdp = RdT;$$

при  $\left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = \frac{R}{p};$   
 при  $\left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v};$

при  $\left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)_T = -RT / p^2$   
 $\left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_T = -RT / v^2$