

# Вопросы по предыдущей лекции:

1. Дайте определение явлению горения.
2. Чем отличаются гомогенное и гетерогенное горение?
3. Чем отличаются понятия диффузионное и гомогенное горение применительно к горению газов?
4. Что показывают мольные коэффициенты стехиометрии?
5. Что показывает массовый коэффициент стехиометрии?
6. Что такое тепловой эффект реакции?
7. Определите мольные и массовый коэффициенты стехиометрии для реакции горения водорода (3).
8. Напишите условие стехиометрии для масс.
9. Напишите условие стехиометрии для мольных концентраций.
10. Напишите определение мольной концентрации.
11. Напишите условие химического равновесия.
12. Напишите закон действующих масс.

# Лекция 3

## СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ

# Определение скорости реакции

Скорость химической реакции горения равна количеству вещества, реагирующего в единице объема за единицу времени:

$$w = \pm \frac{dn}{dt}$$

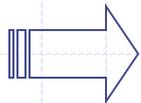
$$w_A = - \frac{dn_A}{dt}$$

$$w_B = - \frac{dn_B}{dt}$$

$$w_M = \frac{dn_M}{dt}$$

$$w_N = \frac{dn_N}{dt}$$

(7)



$$\frac{w_A}{\alpha} = \frac{w_B}{\beta} = \frac{w_M}{\gamma} = \frac{w_N}{\delta}$$

(1)

# Зависимость скорости реакции от концентраций

$$w = k n_A^\alpha n_B^\beta \quad k - \text{константа химической реакции} \quad (2)$$

$$w_1 = w_2 : \quad \left. \begin{array}{l} w_1 = k_1 n_A^\alpha n_B^\beta \\ w_2 = k_2 n_M^\gamma n_N^\delta \end{array} \right\} k_1 n_A^\alpha n_B^\beta = k_2 n_M^\gamma n_N^\delta$$

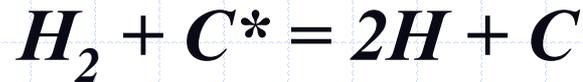
$$\frac{n_A^\alpha n_B^\beta}{n_M^\gamma n_N^\delta} = \frac{k_2}{k_1} = K$$

$$K = \frac{k_2}{k_1} \quad (3)$$

# Порядок реакции

$$\alpha + \beta = \nu$$

1) *мономолекулярные реакции*, или реакции **первого** порядка:

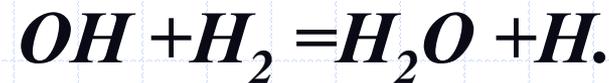


$$w = kn_A$$

2) *бимолекулярные реакции*, или реакции **второго** порядка:



$$w = kn_A n_B$$



3) *тримолекулярные реакции*, или реакции **третьего** порядка:



$$w = kn_A n_B n_C$$



$$w = kn_A^2 n_B$$



$$w = kn_A n_B^2$$

# Зависимость скорости реакции от давления

$$p_A = n_A RT$$

$$p_B = n_B RT$$

$$p = nRT$$

$$n = n_A + n_B + n_M + n_N$$

$$c_A = \frac{n_A}{n} \Rightarrow n_A = c_A n$$

$$c_B = \frac{n_B}{n} \Rightarrow n_B = c_B n$$

$$w = k(c_A n)^\alpha (c_B n)^\beta = k n^{\alpha+\beta} c_A^\alpha c_B^\beta$$

$$n = \frac{p}{RT}$$

$$w = k \left( \frac{p}{RT} \right)^{\alpha+\beta} c_A^\alpha c_B^\beta$$

$$\alpha+\beta=1: \quad w \sim p$$

$$\alpha+\beta=2: \quad w \sim p^2$$

$$\alpha+\beta=3: \quad w \sim p^3$$

# Зависимость скорости реакции от температуры

$$\frac{d}{dT} \ln k = \frac{E}{RT^2} \quad E - \text{энергия активации}$$

$$\ln k = -\frac{E}{RT} + \ln k_0$$

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

**Закон  
Аррениуса**

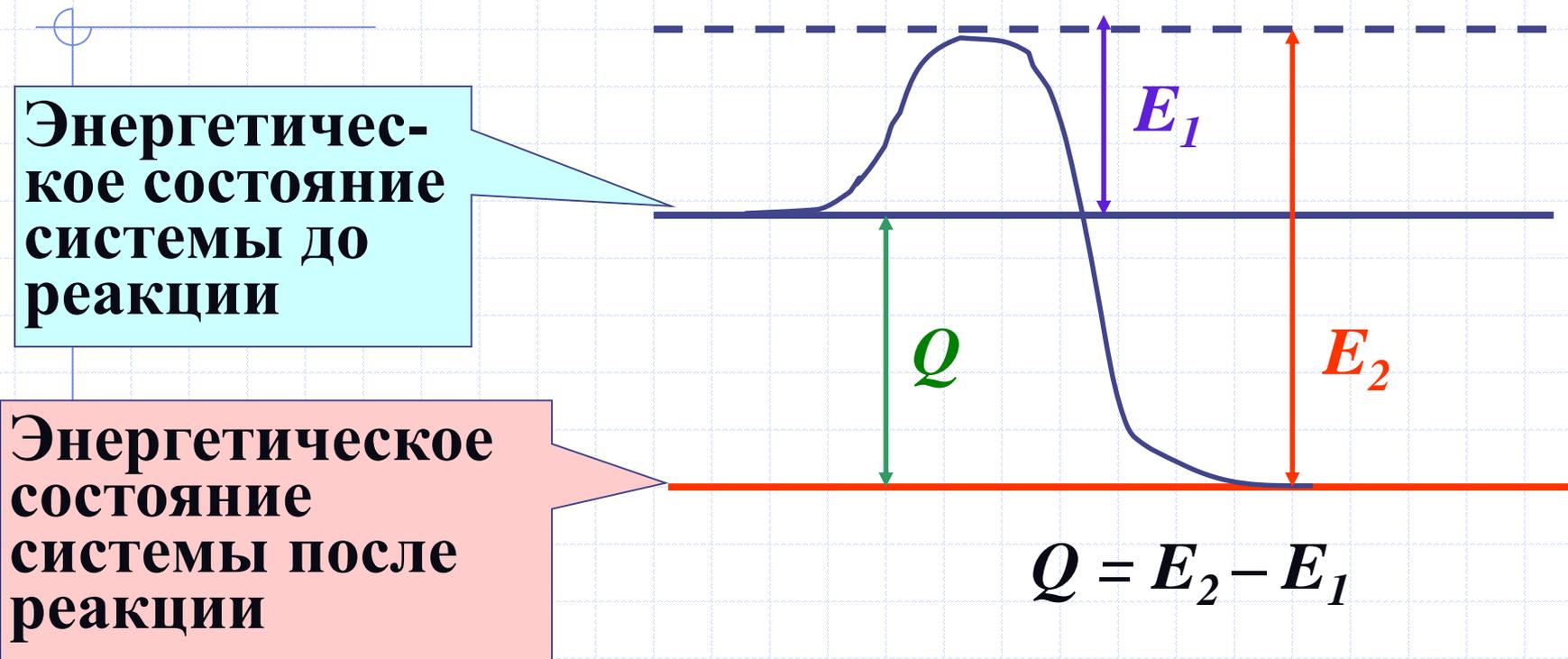
$$K = \frac{k_2}{k_1} = \frac{k_{02} e^{-\frac{E_2}{RT}}}{k_{01} e^{-\frac{E_1}{RT}}} = \frac{k_{02}}{k_{01}} e^{-\frac{(E_2 - E_1)}{RT}}$$

$$K_0 = \frac{k_{02}}{k_{01}}$$

$$\frac{d}{dT} \ln K = \frac{Q}{RT^2} \Rightarrow K = K_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

$$Q = E_2 - E_1$$

# Связь энергии активации с тепловым эффектом реакции



**Химическая реакция происходит только между теми атомами или молекулами, суммарная кинетическая энергия которых больше или равна энергии активации.**

# Связь энергии активации с тепловым эффектом реакции



$$E_A + E_{BC} - D_{BC} = E_{AB} - D_{AB} + E_C$$
$$\underbrace{(E_C + E_{AB})}_{E_2} - \underbrace{(E_A + E_{BC})}_{E_1} = \underbrace{D_{AB} - D_{BC}}_Q$$

полная энергия молекулы:

$E - D$

кинетическая энергия

энергия связи атомов

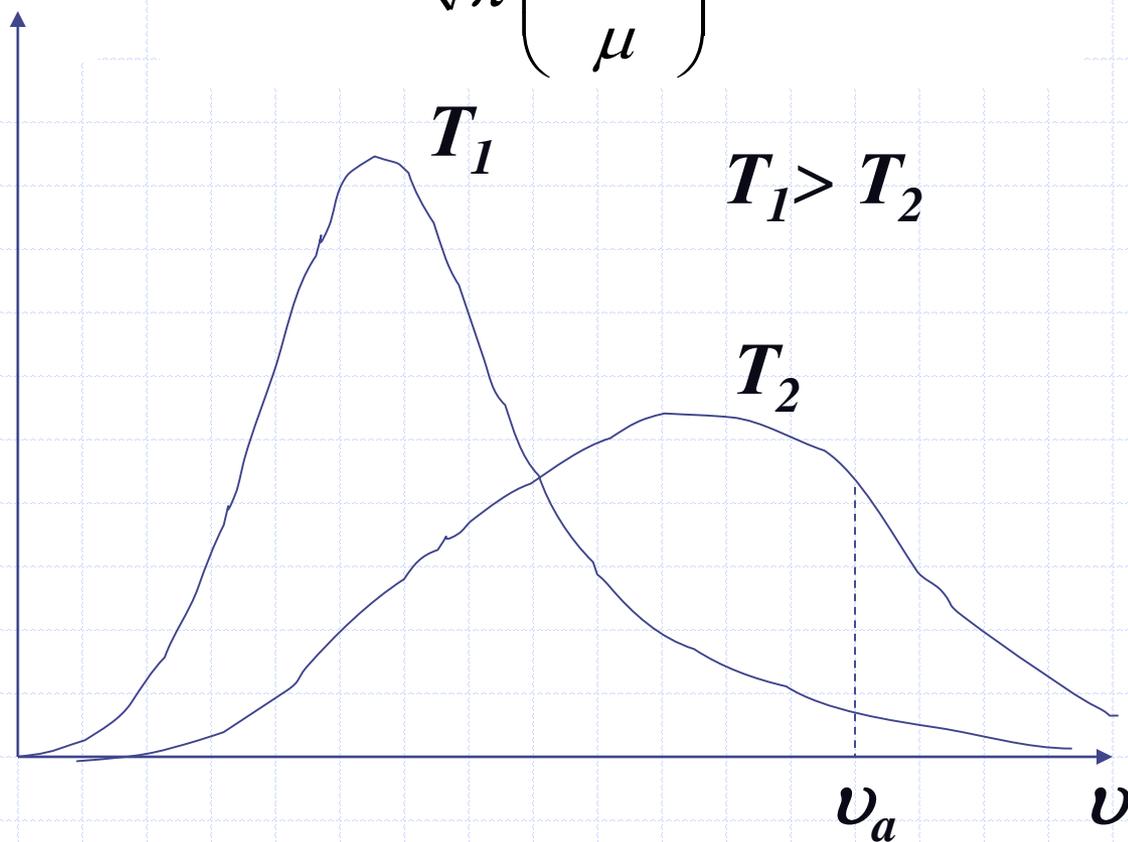
**Энергия активации** – это *наименьшая* избыточная энергия, которой должны обладать сталкивающиеся частицы для того, чтобы наступило химическое превращение

# Молекулярнокинетическое обоснование закона Аррениуса

$$\frac{dN}{N} = \frac{4v^2}{\sqrt{\pi} \left( \frac{2kT}{\mu} \right)^{3/2}} e^{-\frac{\mu v^2}{2kT}} dv \quad \frac{N_a}{N} = \int_{v_a}^{\infty} \frac{4v^2}{\sqrt{\pi} \left( \frac{2kT}{\mu} \right)^{3/2}} e^{-\frac{\mu v^2}{2kT}} dv$$

$$N_a \approx \underbrace{\frac{2N}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{Mv_a^2}{2RT}}}_{k_0} e^{-\frac{Mv_a^2}{2RT}}$$

$$w \sim N_a \approx k_0 e^{-\frac{Mv_a^2}{2RT}}$$



# Окончательная формула для скорости реакции

$$w = k_0 n_A^\alpha n_B^\beta e^{-\frac{E}{RT}}$$

*или*

$$w = k_0 \left( \frac{p}{RT} \right)^{\alpha+\beta} c_A^\alpha c_B^\beta e^{-\frac{E}{RT}}$$

# Вопросы

1. Дайте определение скорости химической реакции.
2. Напишите формулу зависимости скорости реакции от концентраций в общем виде.
3. Напишите формулу зависимости скорости реакции от концентраций для мономолекулярной реакции.
4. Напишите формулу зависимости скорости реакции от концентраций для бимолекулярной реакции.
5. Напишите формулу зависимости скорости реакции от концентраций для тримолекулярной реакции.
6. Как скорость реакции зависит от давления?
7. Напишите закон Аррениуса.
8. Как связаны тепловой эффект реакции и энергия активации?
9. Напишите полную формулу для скорости реакции в общем виде.