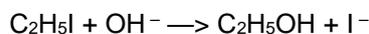


**Задача 9.** (Региональный (III) этап, 2004 г., 11-й класс.)

*Для того чтобы между людьми  
завязалась дружба,  
надо много душевного труда.*

Температурный коэффициент Вант-Гоффа для реакции:



в температурном интервале 25–60 °С равен 3,0.

1. Как изменяется скорость (константа скорости) химической реакции при увеличении температуры?
2. Какова причина такого изменения скорости?
3. Напишите математические уравнения, показывающие зависимость скорости (константы скорости) химической реакции от температуры (уравнения Вант-Гоффа и Аррениуса). Какое из этих уравнений универсальней, т.е. работает в большем интервале температур?
4. Во сколько раз изменится константа скорости реакции при возрастании температуры с 25 °С до 60 °С?
5. Рассчитайте энергию активации приведенной реакции.

**Решение**

1. При увеличении температуры константа скорости химической реакции, а значит и ее скорость, увеличиваются.
2. Очень часто в качестве причины, увеличивающей скорость химической реакции при увеличении температуры, называют увеличение числа столкновений молекул. Этот фактор действительно имеет место, но он крайне незначителен (например, при увеличении температуры с 300 К до 310 К число столкновений увеличивается на 2%). Прочитайте эпиграф. Это натолкнет вас на мысль, что для совершения любого процесса необходима энергия выше, чем обычная, средняя энергия. Для того чтобы молекулы прореагировали друг с другом, им недостаточно просто столкнуться. Необходимым условием является наличие у них минимальной дополнительной энергии для этого взаимодействия. Такие молекулы называют «активными». Поэтому правильным ответом на этот вопрос является следующий: скорость химической реакции увеличивается при увеличении температуры, т.к. при этом увеличивается число (или доля) молекул, обладающих энергией, достаточной для их взаимодействия.
3. Уравнение Вант-Гоффа:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}},$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости, а  $k_1$  и  $k_2$  – константы скоростей реакции при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно,  $\gamma$  – температурный коэффициент Вант-Гоффа.

Уравнение Аррениуса:

$$k = A e^{-E_a / RT},$$

где  $k$  – константа скорости реакции при температуре  $T$  (К);  $e$  – основание натурального логарифма, равное 2,7183;  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314  $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ;  $E_a$  – энергия активации реакции (минимальная, по сравнению со средней, избыточная энергия молекул, необходимая для их взаимодействия).

Уравнение Аррениуса более универсально.

$$4. \frac{k_2}{k_1} = \frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 3^{\frac{60 - 25}{10}} = 3^{3,5} = 46,8,$$

т.е. константа скорости при увеличении температуры возрастет в 46,8 раз.

5. Запишем два уравнения Аррениуса для двух температур:

$$\begin{cases} k_1 = Ae^{-E_a/RT_1} \\ k_2 = Ae^{-E_a/RT_2} \end{cases}$$

Такую систему уравнений можно решить следующим образом: поделим второе уравнение на первое и прологарифмируем полученное выражение.

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-E_a/RT_2}}{Ae^{-E_a/RT_1}} = e^{\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)},$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \cdot \left( \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1} \right),$$

$$E_a = \frac{T_2 \cdot T_1 \cdot R}{(T_2 - T_1)} \cdot \ln \frac{k_2}{k_1},$$

$$E_a = \frac{298 \cdot 333 \cdot 8,314}{(333 - 298)} \cdot \ln 46,8 = 90\,600 \text{ Дж/моль.}$$