

# КИНЕТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



**□ Основные понятия химической кинетики**

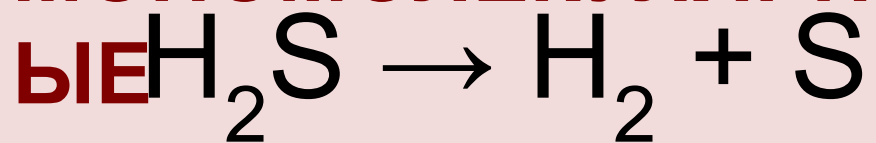
**□ Элементарные кинетические уравнения и их решение**

# МОЛЕКУЛЯРНОСТЬ

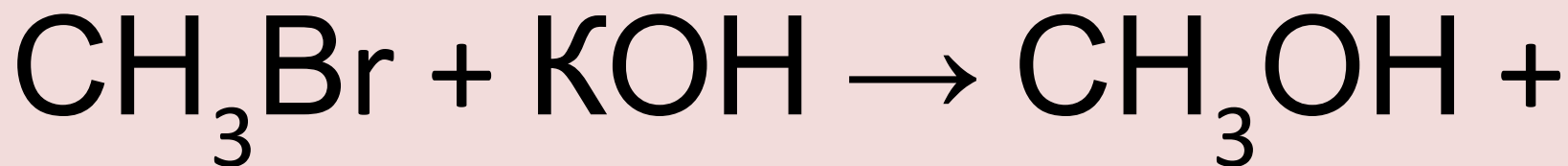
## Химические реакции

мономолекулярные	бимолекулярные	тримолекулярные
$A \rightarrow P$	$2A \rightarrow P$	$A + B + C \rightarrow P$
$A \rightarrow P + Q$	$A + B \rightarrow P$	$A + B + C \rightarrow P + Q + \dots$
	$A + B \rightarrow P + Q$	$A + 2B \rightarrow P + Q + \dots$

**МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ**

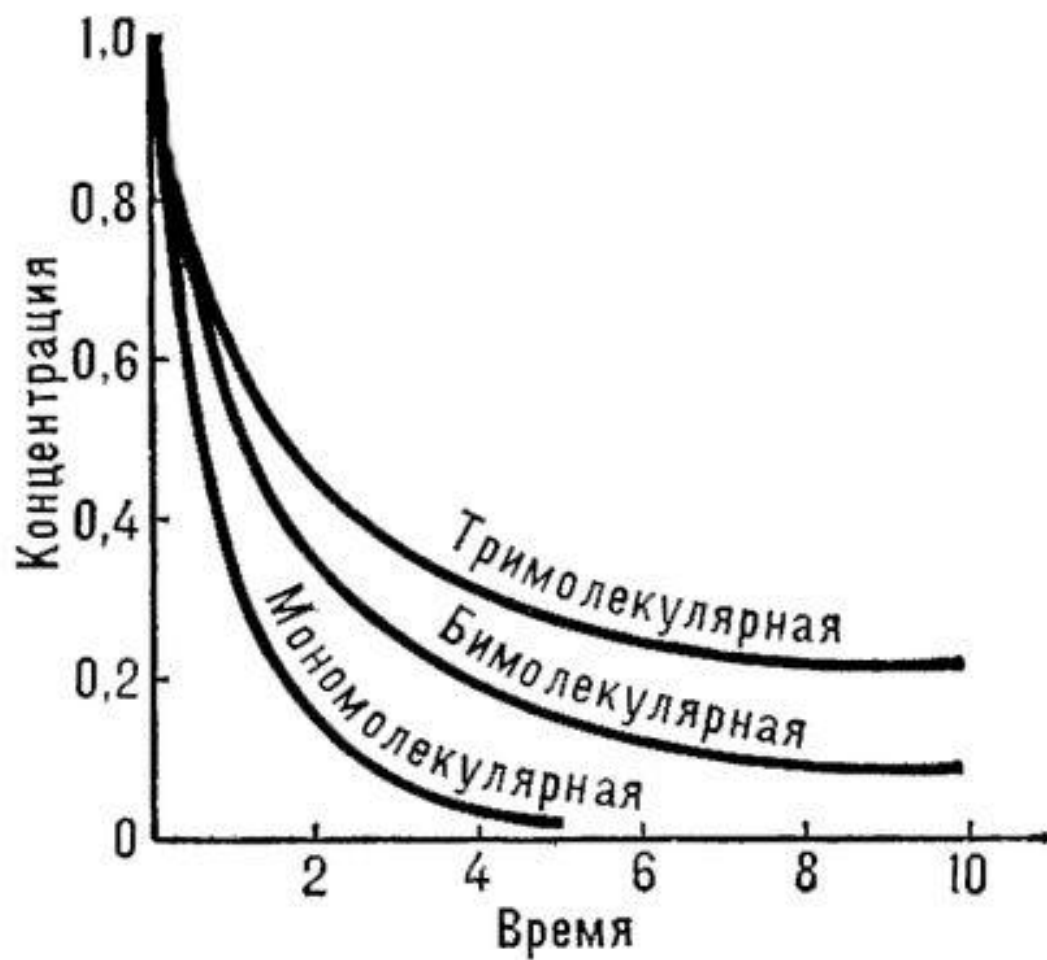


**БИМОЛЕКУЛЯРНЫЕ**



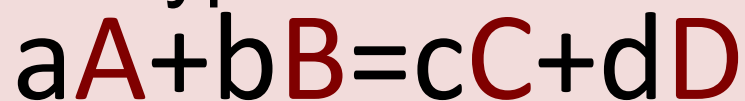
**КВР  
ТРИМОЛЕКУЛЯРНЫЕ**





# ПОРЯДОК РЕАКЦИИ

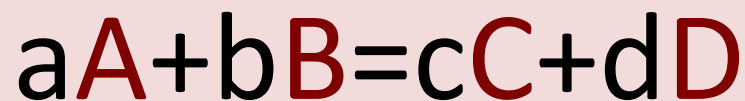
**Порядок реакции** определяется величиной показателя степени в кинетическом уравнении



$$v = k [A]^a [B]^b$$

порядок прямой реакции  $\eta = a + b$

**Скоростью химической реакции**  
называется **ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ** реагента  
или продукта в единицу времени



$$v = \frac{\delta C}{\delta t} = -\frac{\delta A}{\delta t}$$

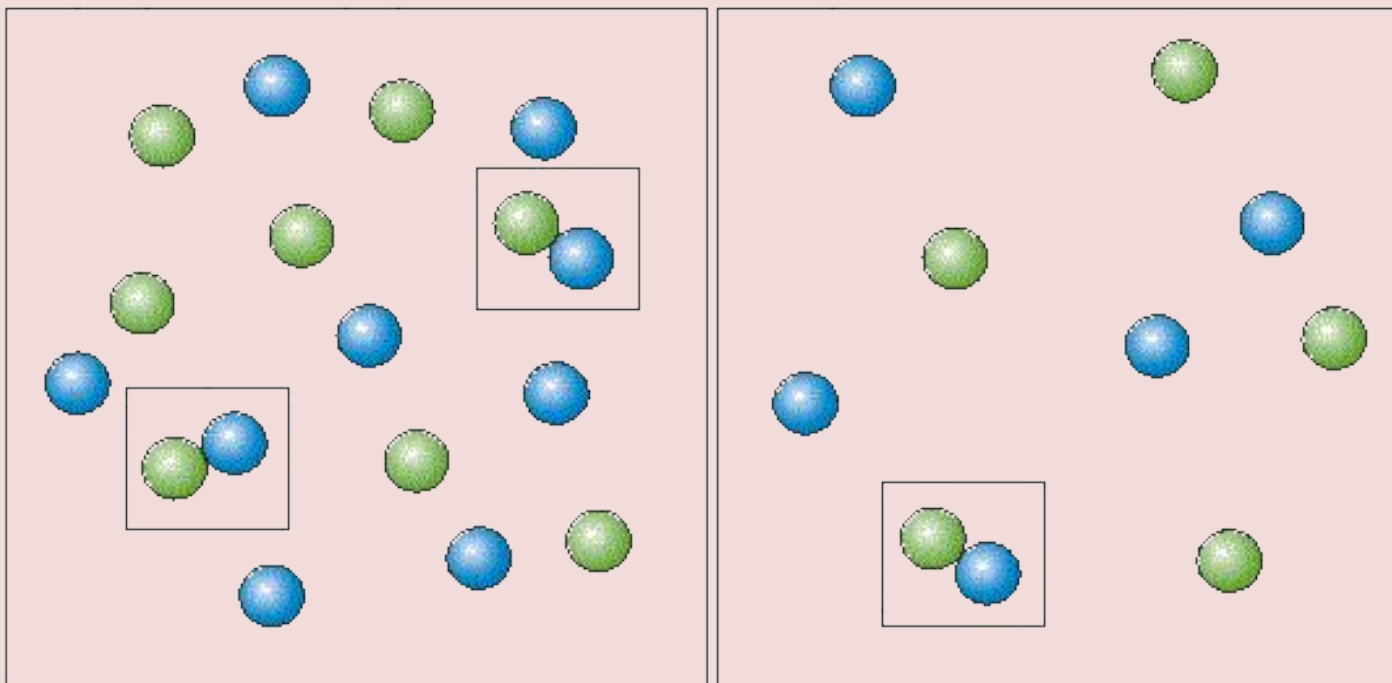
# ЗАКОН ДЕЙСТВУЮЩИХ МАСС



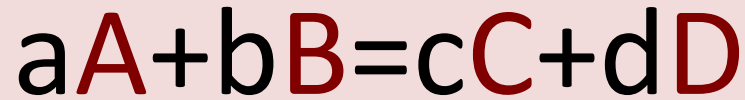
Скорость химической  
реакции прямо  
пропорциональна  
произведению  
концентраций  
реагирующих веществ в  
степенях их  
стехиометрических  
коэффициентов

К.М. П.  
ГУЛЬДБЕРГ, ВААГЕ





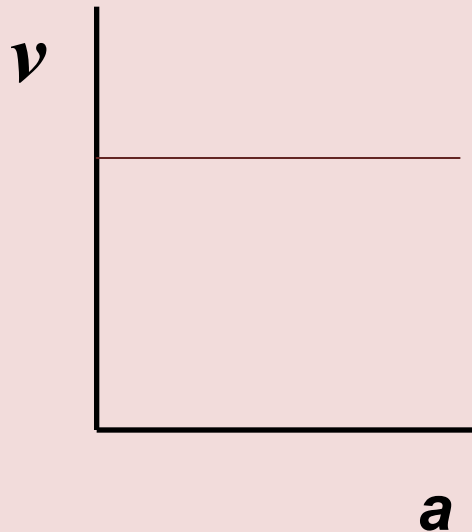
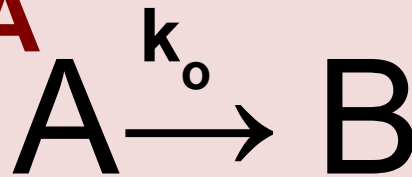
Вероятность столкновения молекул на рисунке слева выше, чем справа. Она прямо пропорциональна количеству молекул реагентов в единице объема, т.е. молярным концентрациям реагентов.



$$v = k[A]^a[B]^b$$

***k**- константа скорости* реакции  
является мерой реакционной  
способности реагентов при данной  
температуре

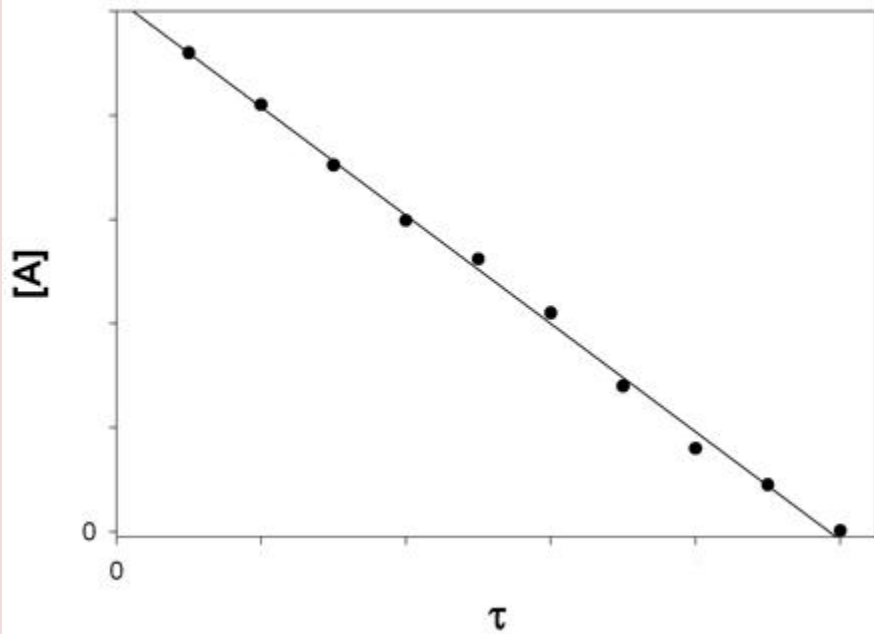
# РЕАКЦИЯ НУЛЕВОГО ПОРЯДКА



$$\frac{da}{dt} = -k_0$$

$$da = -k_0 dt$$

$$\int da = -\int k_0 dt$$



$$a = -k_0 t + C$$

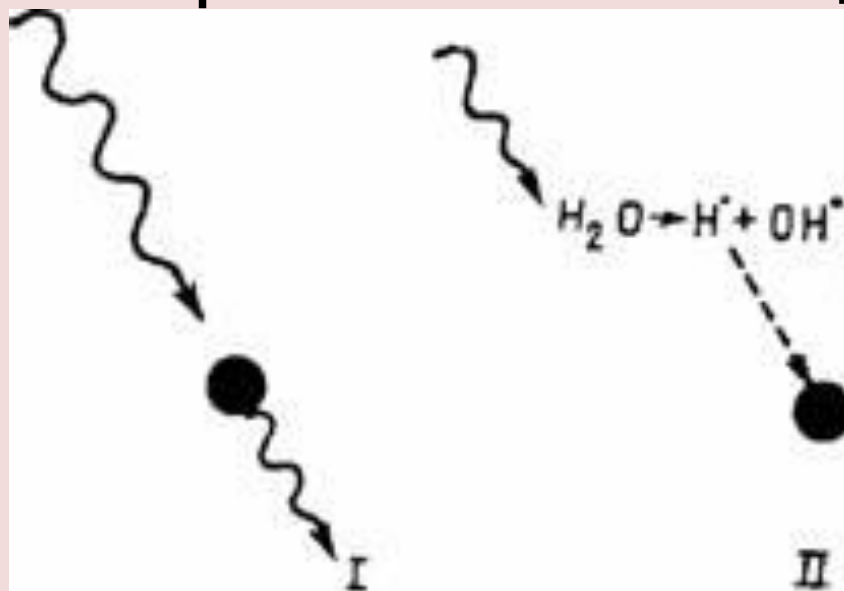
При  $t=0$ ,  $a=a_0$

$$a = a_0 - k_0 t$$

# Опыты Г. Дейла

Изучил не прямое влияние ионизирующего излучения на органические соединения

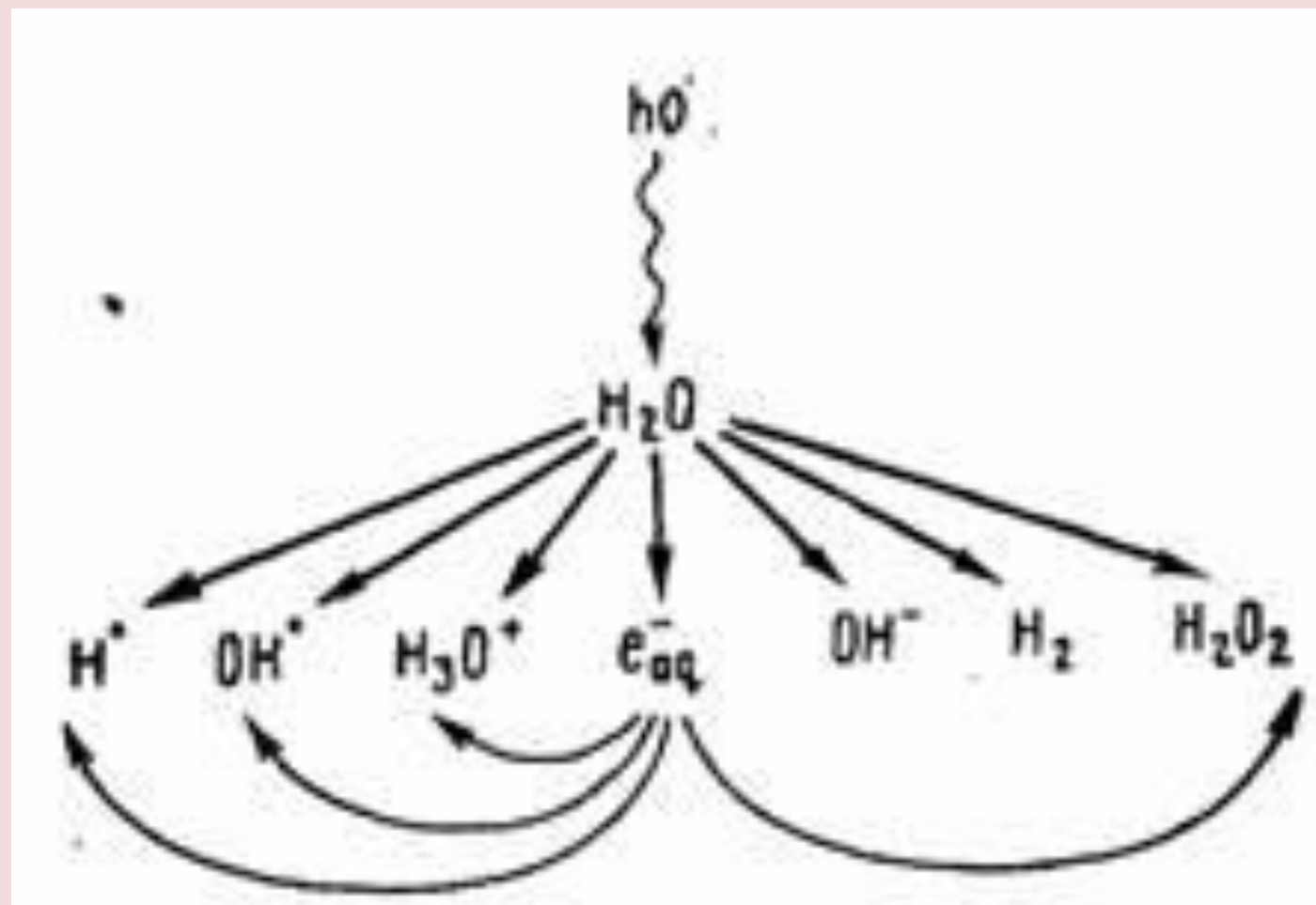
Менялась концентрация фермента, но доза облучения оставалась постоянной

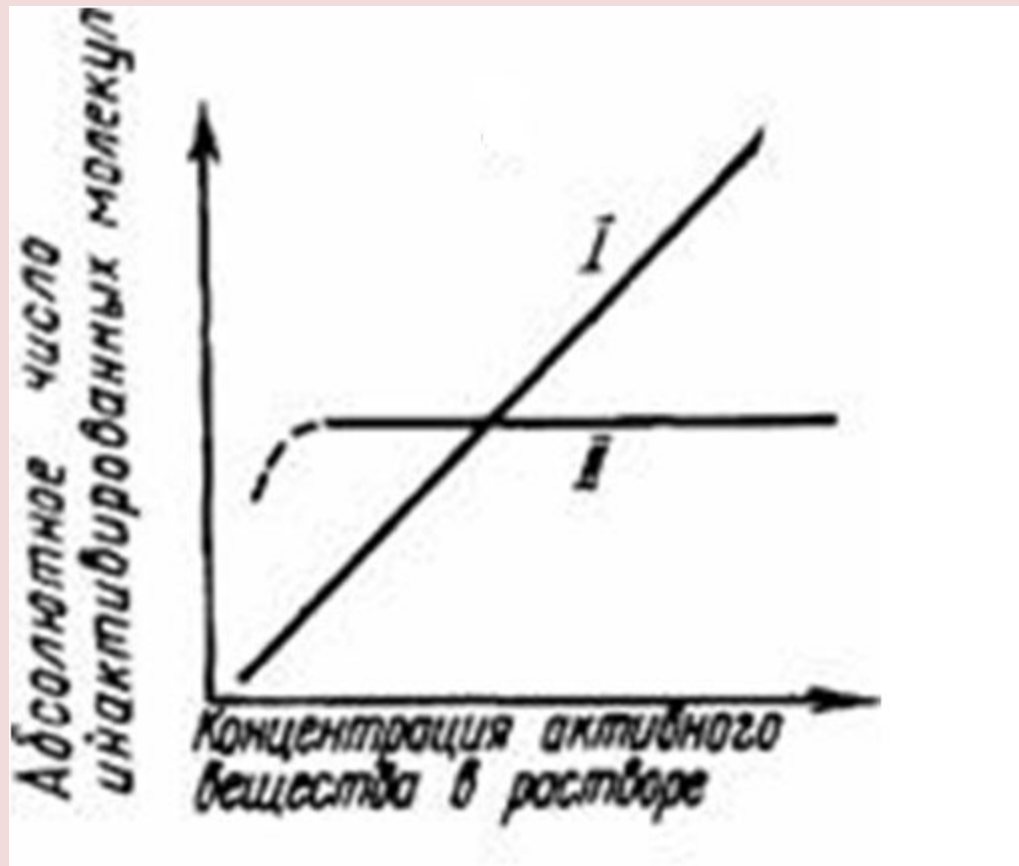


**ПРЯМОЕ**

**НЕПРЯМОЕ  
ДЕЙСТВИЕ**

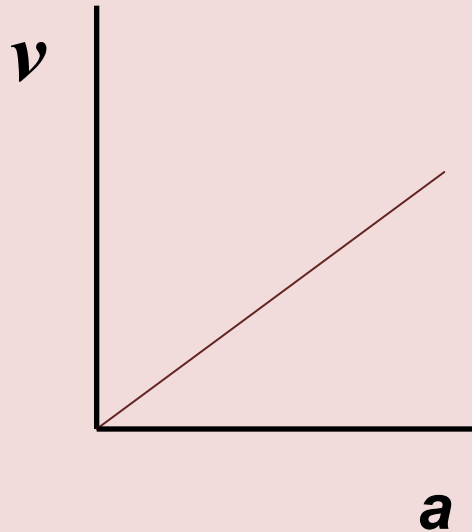
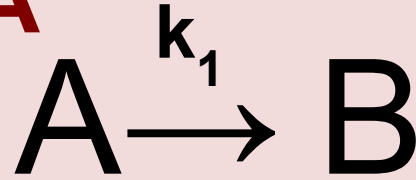
# ПРОДУКТЫ РАДИОЛИЗА ВОДЫ





**«Эффект разведения».** Зависимость степени инактивации фермента или вируса от концентрации его в растворе при прямом (I) и косвенном (II) действии излучения (по З. Баку, П. Александеру)

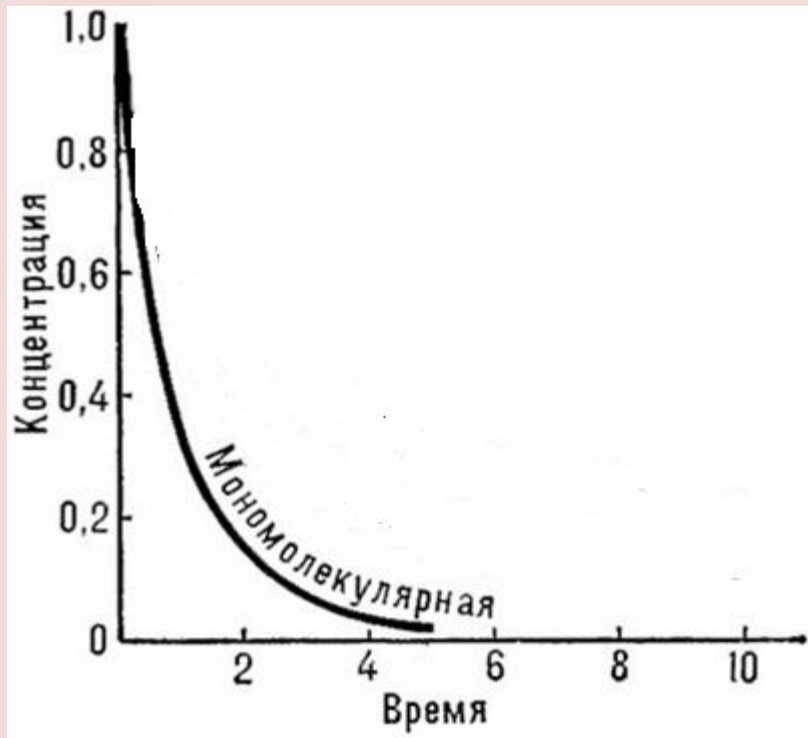
# РЕАКЦИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА



$$\frac{da}{dt} = -k_1 a$$

$$\int \frac{da}{a} = -\int k_1 dt$$





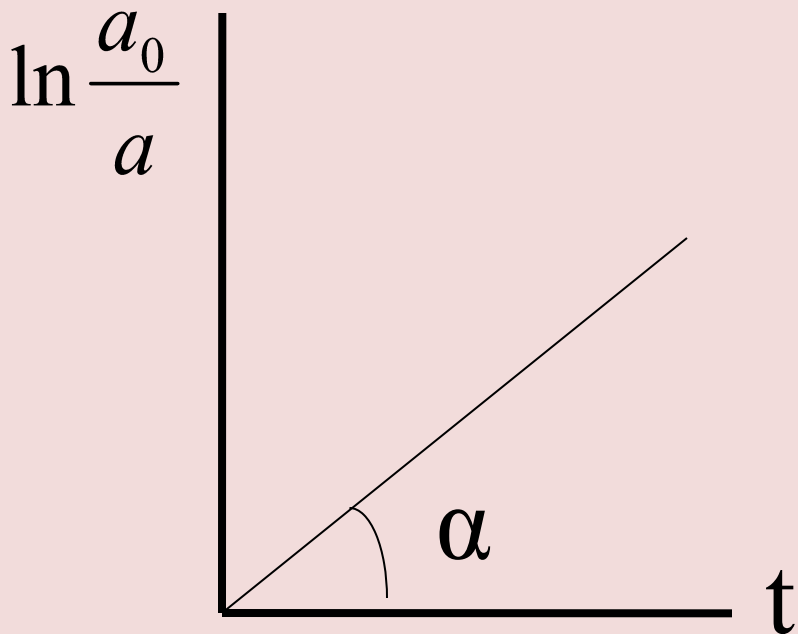
$$\ln a = -k_1 t + C$$

$$t = 0, a = a_0$$

$$C = \ln a_0$$

$$a = a_0 e^{-k_1 t}$$

# Определение константы скорости реакции



$$\ln \frac{a}{a_0} = -kt$$

$$\ln \frac{a_0}{a} = kt$$

$$\operatorname{tg} \alpha = k$$

Выражение для  $b$  найдем из условия закрытости системы

$$a + b = a_0$$

$$b = a_0 - a$$

$$b = a_0 - a_0 e^{-kt}$$

$$b = a_0 \left( 1 - e^{-kt} \right)$$



**Т.Мальтус**  
(1766–1834)

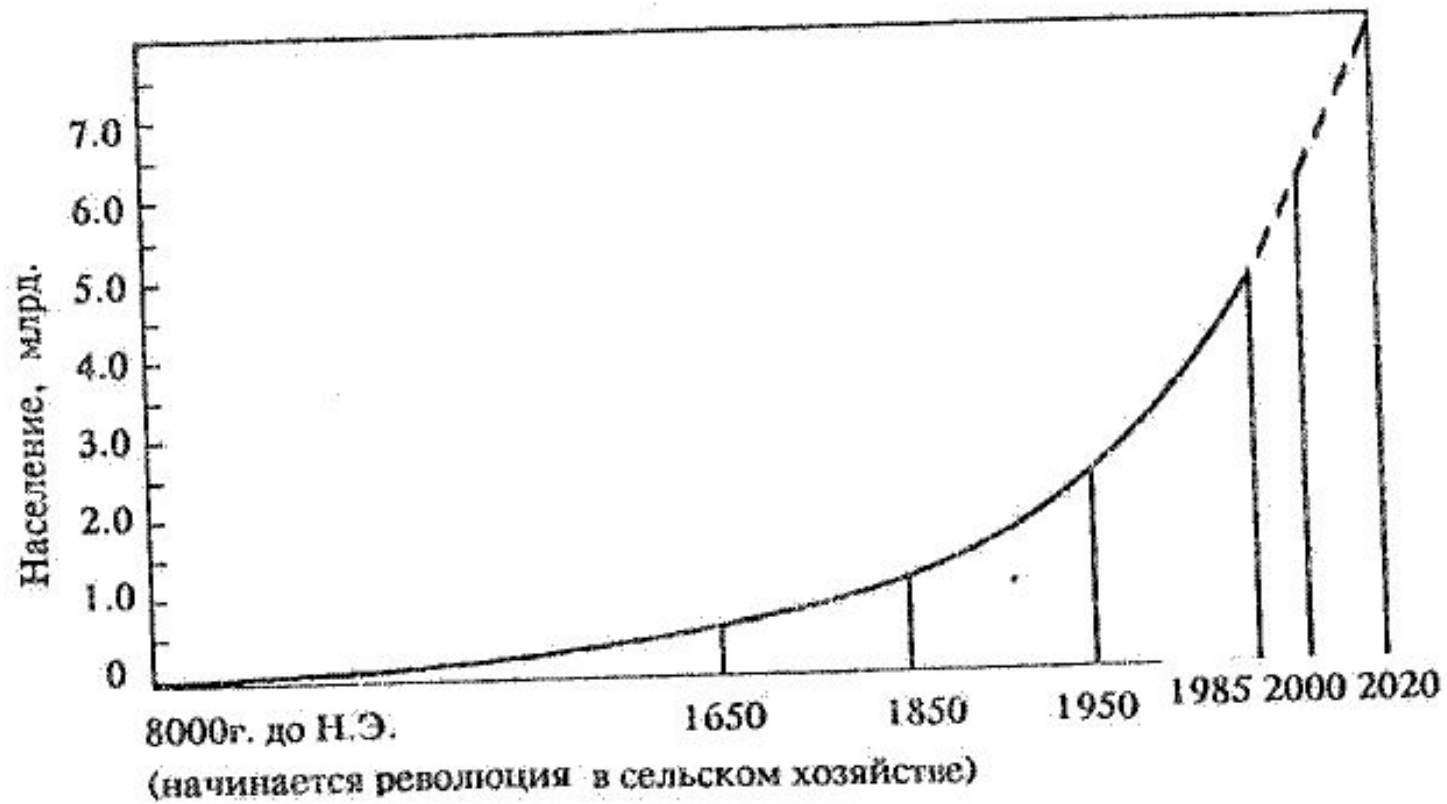
# МОДЕЛЬ МАЛЬТУСА

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x$$

$\alpha$  — коэффициент прироста

$$x = x_0 e^{\alpha t}$$

$x_0$  — численность популяции в начальный момент времени.



Источник: Population Reference Bureau, 1985.

FireAiD - все по  
медицине.

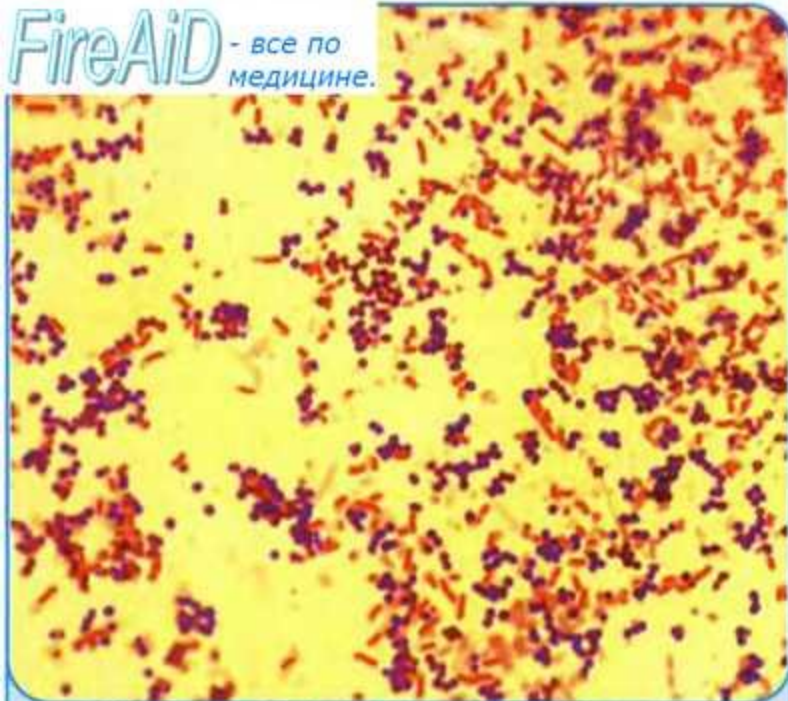
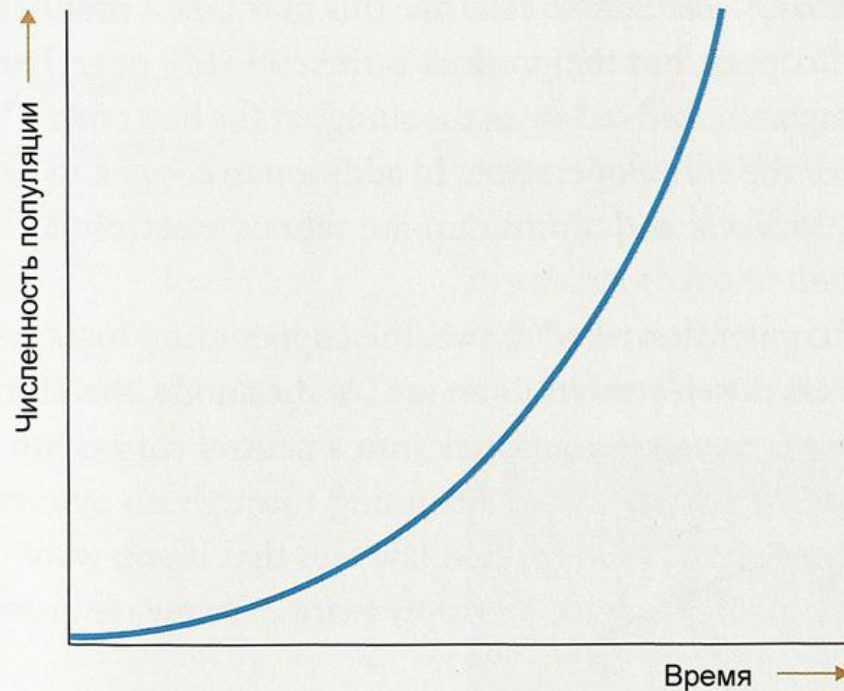
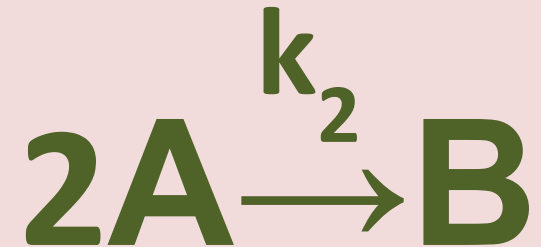


Рис. 3.1. Мазок из *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.  
Окраска по Граму



# СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

# 1 вариант



$$v = \frac{da}{dt} = -k_2 a^2$$

$$\int \frac{da}{a^2} = \int -k_2 dt$$

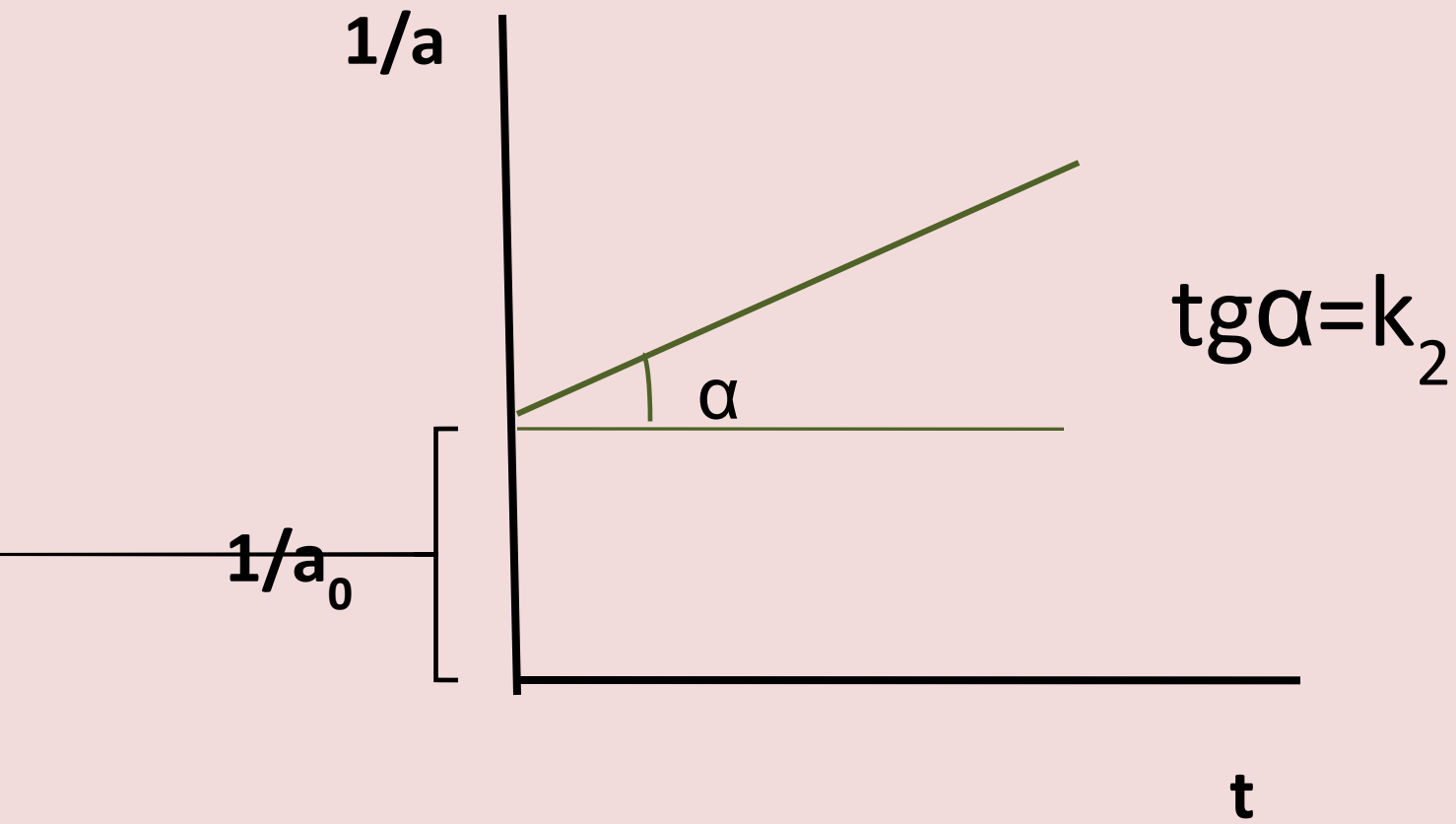


$$-\frac{1}{a} = -k_2 t + C$$

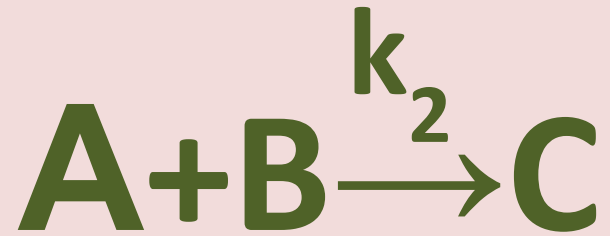
Определим  $C$  при  $t=0$ ,  $a=a_0$

$$-\frac{1}{a} = -k_2 t - \frac{1}{a_0}$$

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{a_0} = k_2 t$$



## 2 вариант



При  $t=0$   $a=a_0$   $b=b_0$

$x$  - количество каждого вещества,  
израсходованного за время  $t$

$$\frac{dx}{dt} = k_2 (a_0 - x)(b_0 - x)$$

$$\frac{dx}{(a_0 - x)(b_0 - x)} = k_2 dt$$

**ИСПОЛЬЗУЕМ ТОЖДЕСТВО:**

$$\frac{1}{(a_0 - x)(b_0 - x)} = \frac{1}{(a_0 - b_0)} \left( \frac{1}{b_0 - x} - \frac{1}{a_0 - x} \right)$$

**ПОЛУЧИМ:**

$$\frac{1}{(a_0 - b_0)} \left( \frac{dx}{b_0 - x} - \frac{dx}{a_0 - x} \right) = k_2 dt$$

$$\int \frac{1}{(a_0 - b_0)} \left( \frac{dx}{b_0 - x} - \frac{dx}{a_0 - x} \right) = \int k_2 dt$$

$$\frac{1}{(a_0 - b_0)} \ln \frac{a_0 - x}{b_0 - x} = k_2 t + C$$

ОПРЕДЕЛИМ  $C$  ПРИ УСЛОВИИ, ЧТО

$$t=0, \quad a=a_0, \quad b=b_0, \quad x=0$$

$$\frac{1}{(a_0 - b_0)} \ln \frac{a_0}{b_0} = C$$

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАЕТ:

$$\frac{1}{(a_0 - b_0)} \ln \frac{b_0 (a_0 - x)}{a_0 (b_0 - x)} = k_2 t$$

$$x = \frac{1 - e^{(a_0 - b_0)k_2 t}}{\frac{1}{a_0} - \frac{1}{b_0} e^{(a_0 - b_0)k_2 t}}$$

# ПРИМЕР БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

СКОРОСТЬ РОСТА  
КЛЕТОК

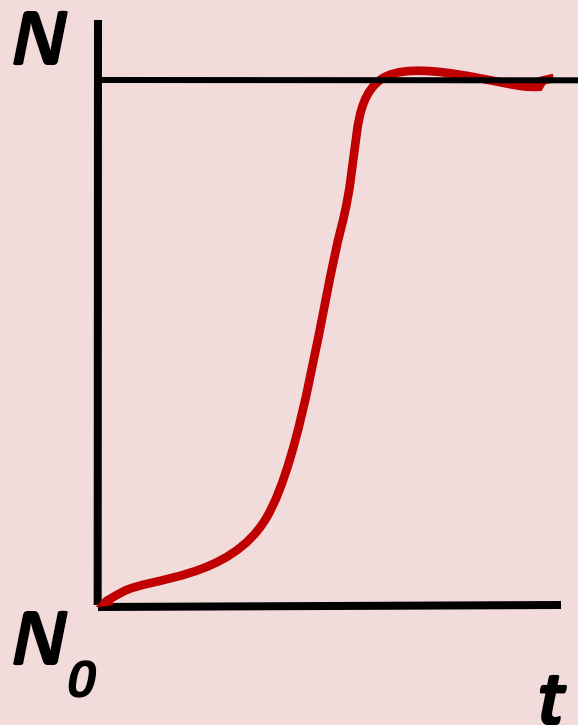
$$\frac{dN}{dt} = \alpha N$$

**$\alpha$**  НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПОСТОЯННОЙ, Т.К.  
КЛЕТКИ НЕ ТОЛЬКО РАЗМНОЖАЮТСЯ,

НО И ГИБНУТ, ПОЭТОМУ  **$\alpha = \beta - \gamma N$**

( **$\beta$** ,  **$\gamma$**  - константы)





Стадия насыщения при  $t \rightarrow \infty$

$$\frac{dN}{dt} = (\beta - \gamma N)N$$

**ЕГО РЕШЕНИЕ:**

$$N = N_0 \frac{e^{\beta t}}{1 + \frac{\gamma N_0}{\beta} (e^{\beta t} - 1)}$$