

# *Лекция № 8*

**Тема:**

**"Физические механизмы  
переноса веществ через  
мембрану"**

# План лекции:

1. Механизмы пассивного транспорта.
2. Простая, ограниченная, обменная и облегченная диффузия.
3. Уравнение потока веществ Уссинга.
4. Фильтрация, осмос.
5. Активный транспорт, его механизмы.
6. Перенос веществ в сложных биологических мембранах.

**Целый ряд процессов в клетке, таких, как возбуждение, синтез АТФ, поддержание постоянства ионного состава и содержания воды, связан с переносом веществ через биологические мембраны. Изменение скорости переноса веществ может приводить к нарушению биоэнергетических процессов, водно-солевого обмена, возбудимости и др. явлений. Коррекция этих изменений лежит в основе действия большого числа лекарственных препаратов.**

# Различают 2 вида транспорта веществ через биомембрану:

1. ***Пассивный транспорт*** – это перенос веществ, который идет самопроизвольно по электрохимическому градиенту с уменьшением свободной энергии клетки.
2. ***Активный транспорт*** - это перенос веществ, который идет против электрохимического градиента с участием АТФ-азы с затратой энергии гидролиза АТФ непосредственно в процессе переноса.

# Классификация видов мембранного транспорта

## Мембранный транспорт

### Пассивный транспорт

#### Диффузия

Простая

Облегченная

Обменная

Ограниченная

Осмоз

Фильтрация

### Активный транспорт

$K^+$ - $Na^+$ -насос

$Ca^{2+}$ -насос

$H^+$ -насос

# Энергия пассивного транспорта создается различными

## градиентами:

- **концентрационным**
- **осмотическим**
- **электрическим**
- **градиентом гидростатического  
давления жидкости**
- **электрохимическим (совокупность  
концентрационного и электрического)**

**Основным механизмом  
пассивного транспорта  
веществ,  
обусловленным наличием  
концентрационного  
градиента, является**

***диффузия.***

# *Диффузия* –

**это самопроизвольный процесс проникновения вещества из области большей в область меньшей его концентрации в результате теплового хаотического движения молекул.**

Простая диффузия описывается

уравнением **Фика** : скорость

$$\frac{dm}{dt}$$

диффузии

прямо

пропорциональна градиенту

$$\frac{dc}{dx}$$

концентрации

$$dx$$

и площади **S**,

через которую осуществляется

диффузия:

$$\frac{dm}{dt} = -DS \frac{dc}{dx}$$

- 1. *Скорость диффузии*** - это количество вещества, диффундирующего в единицу времени через данную площадь.
- 2. *Градиент концентрации*** - это изменение концентрации вещества, приходящееся на единицу длины, в направлении диффузии.
- 3. *Знак «-»*** показывает, что диффузия идет из области большей в область меньшей концентрации.
- 4. *D*** - коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии **D**  
численно равен количеству  
вещества, диффундирующего в  
единицу времени через  
единицу площади при  
градиенте концентрации,  
равном единице. Коэффициент  
диффузии зависит от **природы**  
**вещества** и от **температуры**.

# Уравнение Коллендера-Бернульда

$$\frac{dm}{dt} = -P \cdot S \cdot (C_1 - C_2)$$

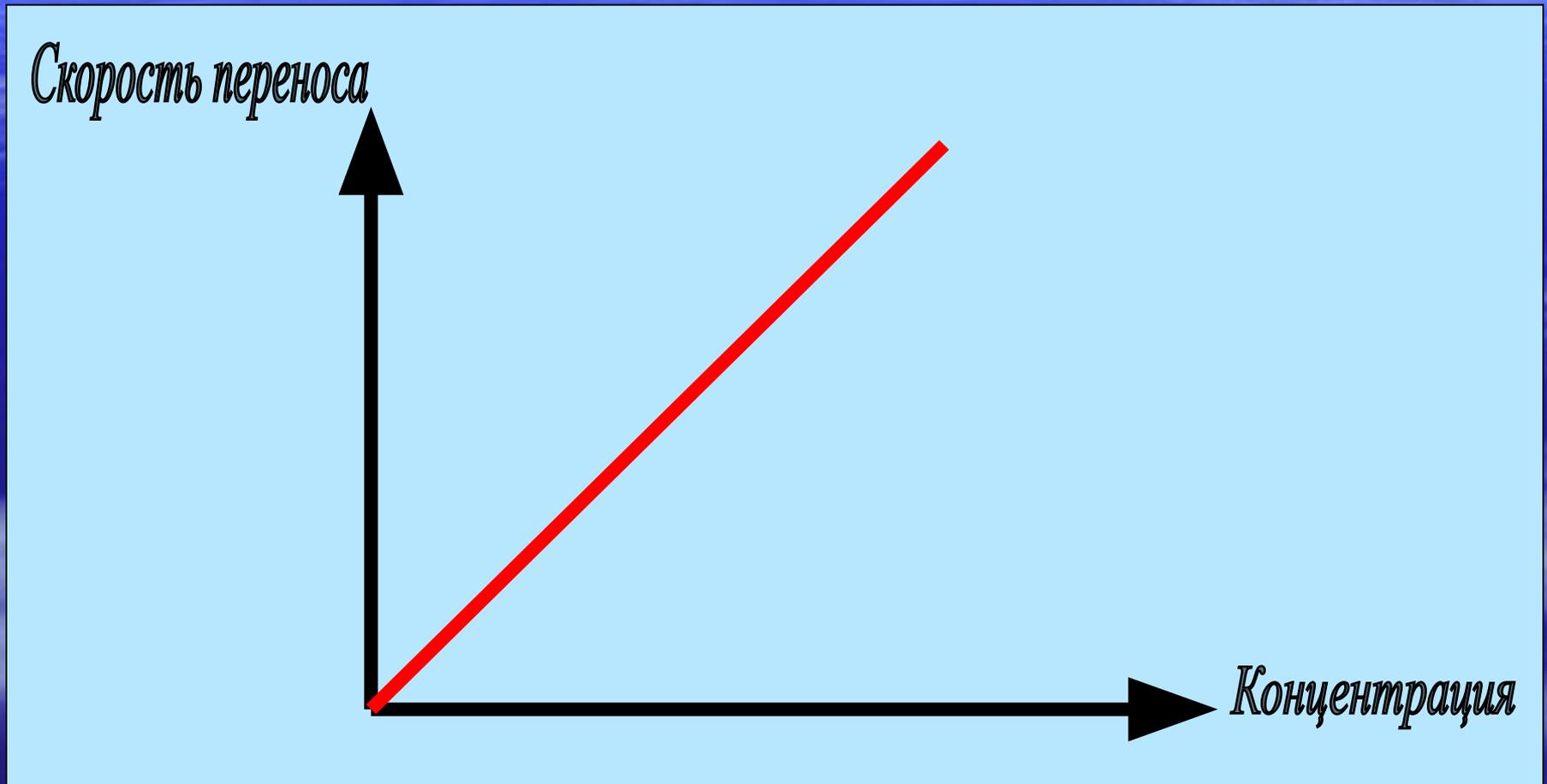
где

$C_1$  и  $C_2$  – концентрации вещества по разные стороны мембраны

$P$  – коэффициент проницаемости, аналогичный коэффициенту диффузии

- В отличии от коэффициента диффузии, который зависит только от природы вещества и температуры, **коэффициент проницаемости** зависит еще от свойств мембраны и от её функционального состояния.

# График простой диффузии

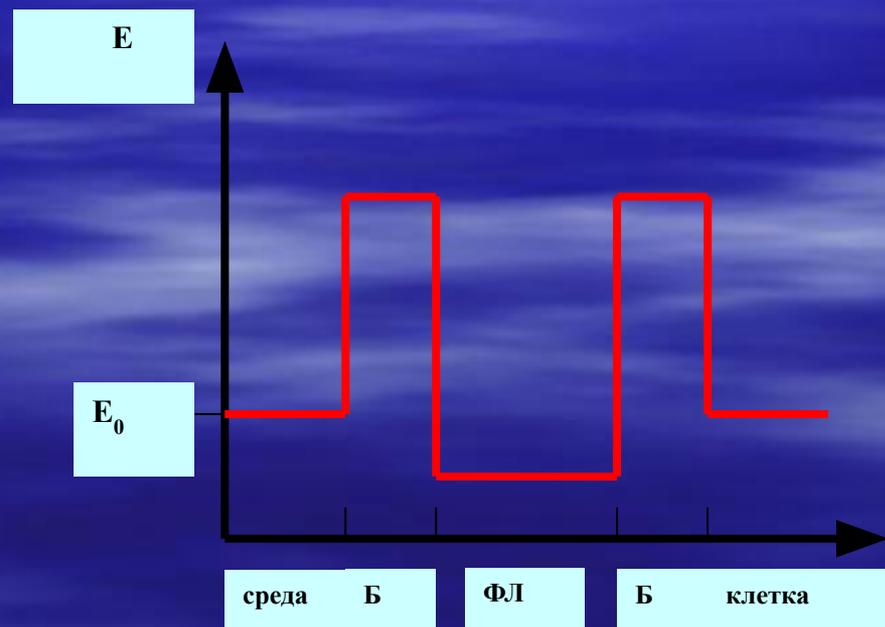
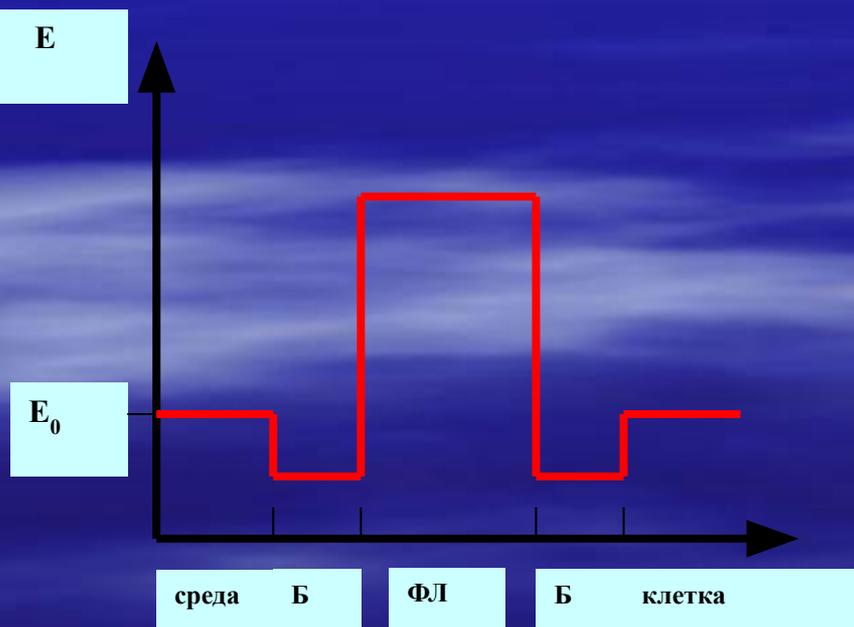


Молекулы, имеющие примерно одинаковую массу и размер, поступают через мембрану тем легче, чем выше их растворимость в липидах.

Существует 2 пути диффузии веществ:

1. Диффузия гидрофильных веществ через микроканалы

2. Диффузия липофильных веществ через липидный слой



В ряде случаев скорость диффузии некоторых водорастворимых веществ во много раз выше, чем скорость диффузии этих веществ в липидной фазе.

Такое явление получило название **облегченной диффузии**.

Облегченная диффузия  
осуществляется  
при помощи **белка-переносчика** или  
**каналообразующего белка**.

1. Примером подвижного белка-переносчика может служить **валиномицин**, транспортирующий  $K^+$ .
2. Примером каналообразующего белка может служить **грамицидин**, осуществляющий трансмембранный перенос  $Na^+$  по градиенту концентрации.

# Схема облегченной диффузии, осуществляемой при помощи каналообразующего белка.



# Ионные каналы биомембраны

**Ионные каналы** биомембраны - это специализированные селективные поры, образованные белковыми молекулами, предназначенными для облегченной диффузии определенных ионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и т.д.).

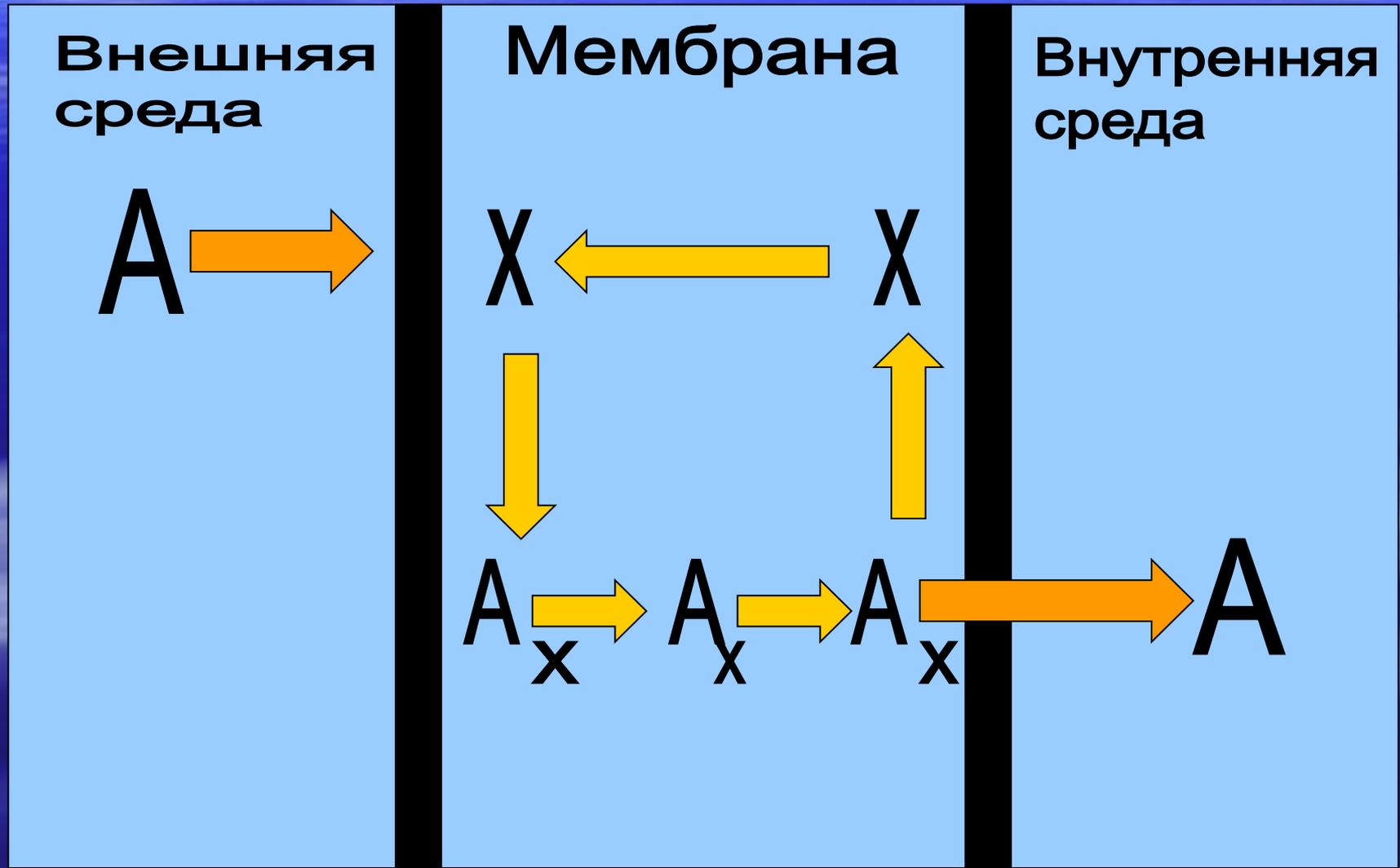
Выделяют три самостоятельные транспортные системы в возбудимых мембранах  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ - каналы, сходные по своим функциям, но отличающиеся избирательностью (селективностью).

С внешней стороны мембраны у входа в канал расположен селективный центр, в основе функционирования которого лежит принцип стерического соответствия. Его назначение - не пропускать в канал и из канала ионы большего и меньшего размеров, а со стороны цитоплазмы располагаются так называемые "ворота", которые управляются трансмембранным электрическим полем при помощи конформационно-лабильного электрического сенсора. По каналу ионы проходят по эстафетному принципу, друг за другом. Ворота могут находиться в двух состояниях: "открыто-закрото".

# Схема строения натриевого ионного канала мембраны в разрезе



# Схема облегченной диффузии, осуществляемой при помощи белка-переносчика.



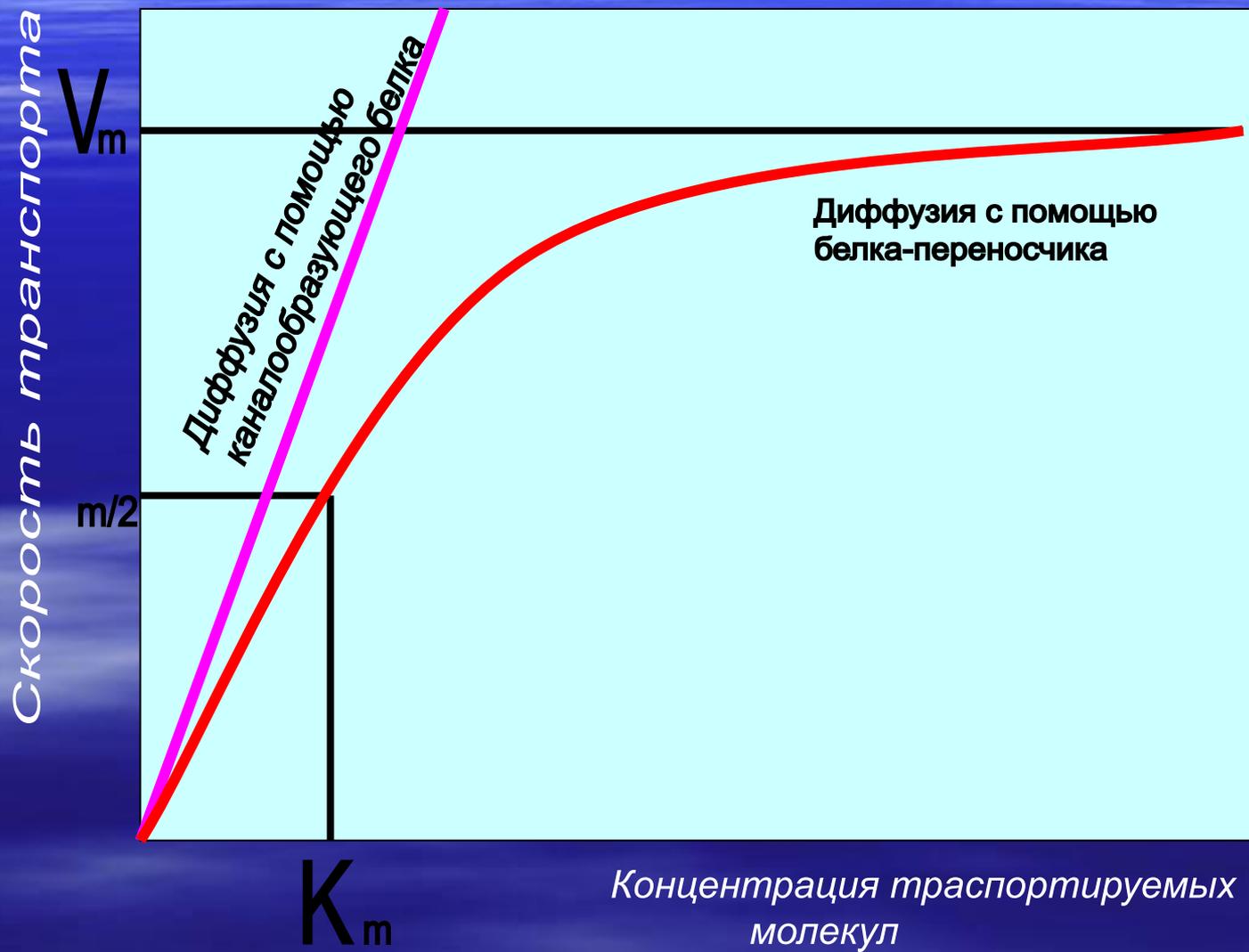
Ферментативный перенос описывается уравнением **Михаэлиса-Ментена** .

Поток вещества  $M$  равен возможной максимальной скорости  $V_{\max}$  реакции в условиях насыщения фермента и концентрации субстрата  $C$ .

$$M = V_{\max} \frac{C}{k + C}, \text{ где } k \text{ - константа}$$

Из уравнения следует, что при повышении концентрации субстрата скорость потока веществ реакции возрастает и приближается к некоторому постоянному значению, характерному для полного связывания с субстратом.

# Кинетика облегченной диффузии через мембраны при участии белка-переносчика и каналобразующего белка

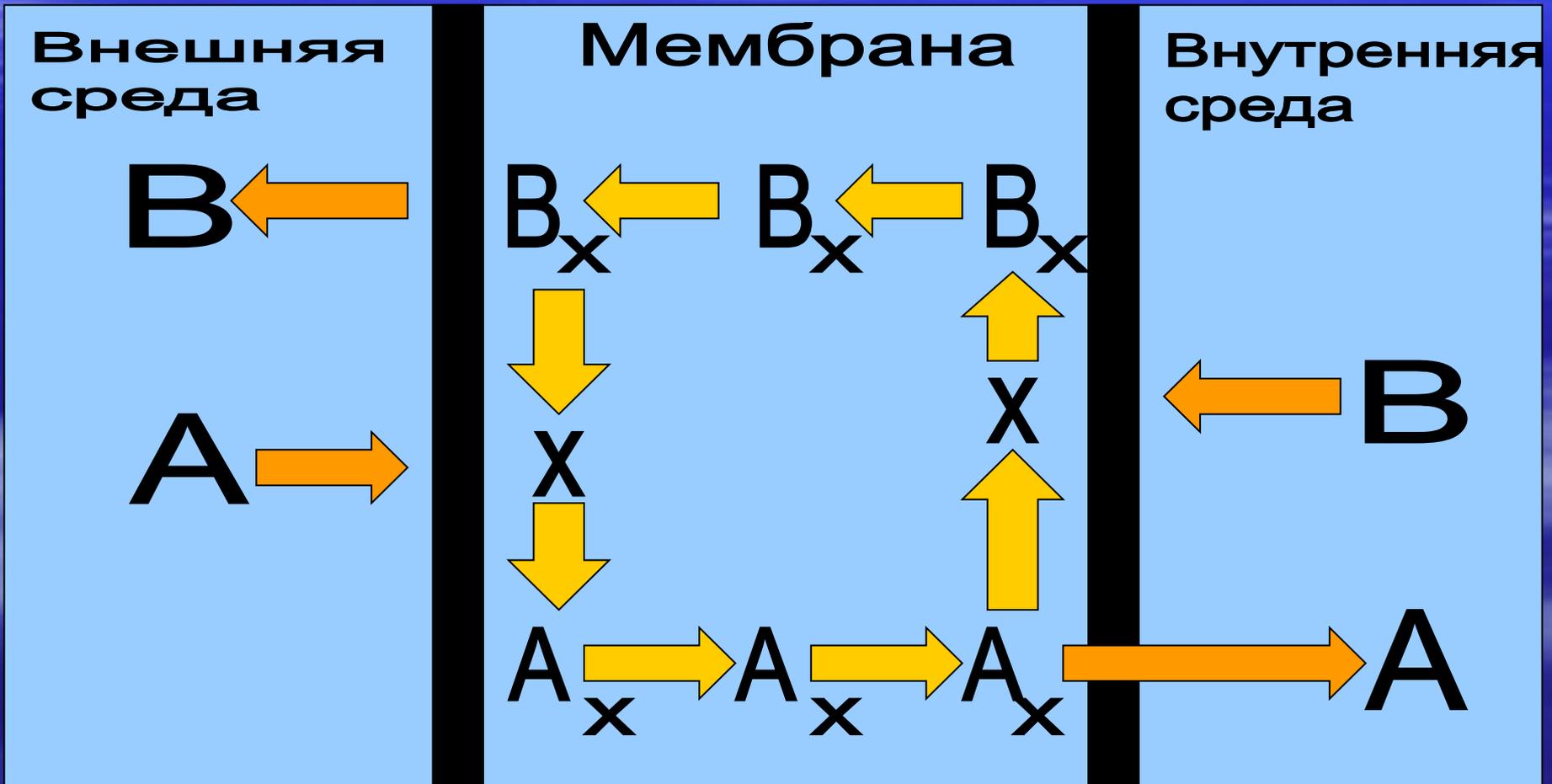


# Ограниченная диффузия

При наличии микроканалов в мембране происходит изменение полярности липидного слоя.

**Ограниченная диффузия** характеризуется ограничением скорости движения заряженных частиц в следствии уменьшения электрического взаимодействия.

**Обменная диффузия** - это ферментативный перенос веществ через мембрану как с внешней, так и с внутренней среды клетки.



**Осмоз** - движение молекулы воды через полупроницаемые мембраны из места с меньшей концентрацией растворенного вещества в места с большей концентрацией.

**Осмоз** - это простая диффузия воды из мест с ее большей концентрацией в места с меньшей концентрацией воды. Это явление обуславливает гемолиз эритроцитов в гипотонических растворах.

# Уравнение, описывающее осмотический перенос воды.

$$\frac{dm}{dt} = k \cdot S \cdot (P_1 - P_2)$$

- Где

$\frac{dm}{dt}$  - количество воды, проходящей через мембрану площадью **S** за единицу времени;

**P<sub>1</sub>** и **P<sub>2</sub>** – осмотическое давление растворов по одну и по другую сторону мембраны;

**k** – коэффициент проницаемости.

# **Фильтрация –**

**это движение раствора через поры в мембране под действием градиента давления. Явление фильтрации играет важную роль в процессе переноса воды через стенки кровеносных сосудов.**

# Фильтрация –

движение жидкости через поры  
какой-либо перегородки под действием  
гидростатического давления.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\eta l}$$

■ Где

**r** – радиус поры

**l** – длина поры

**η** – вязкость жидкости

**P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>** – разность давления  
между началом и концом  
поры

**V** – объем  
фильтрованной  
жидкости

# АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ

Принцип работы АТФ-азных-насосов основан на конформационных перестройках белковой макромолекулы при взаимодействии с транспортируемым ионом.

1.  $\text{Na}^+$  -  $\text{K}^+$ -насос осуществляется за счет противогradientного переноса через мембрану трех ионов натрия из клетки и накачивающий два иона калия внутрь клетки.

# Основные этапы $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ -насоса :

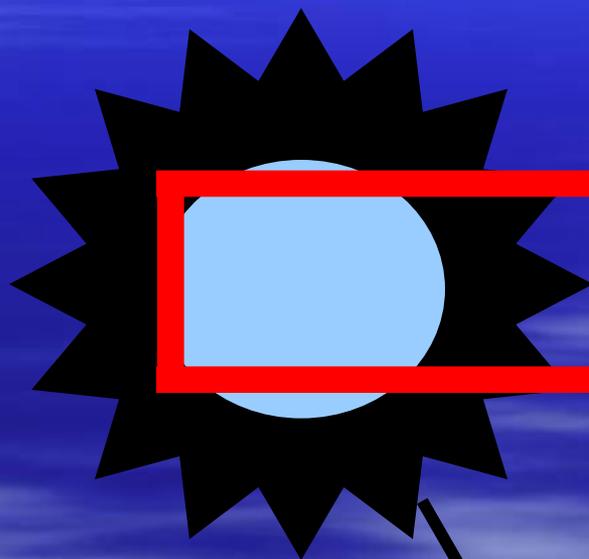
1. образование комплекса фермента с АТФ на внутренней поверхности мембраны (эта реакция активируется ионами магния)
2. связывание комплексом трех ионов натрия
3. фосфолирование фермента с образованием аденозинтрифосфата
4. переворот фермента внутри мембраны
5. реакция ионного обмена натрия на калий, происходящая на внешней поверхности мембраны
6. обратный переворот ферментного комплекса с переносом ионов калия внутрь клетки
7. возвращение фермента в исходное состояние с освобождением ионов калия и неорганического фосфата

Внешняя  
среда

МЕМБРАНА

Внутренняя  
среда

$3\text{Na}^+$



АТФ

$2\text{Mg}^{2+}$

АДФ+ФН

$2\text{K}^+$

АТФ-аза

# Активный транспорт

2. Активный транспорт ионов кальция осуществляется через мембрану саркоплазматического ретикулума.

$\text{Ca}^{2+}$  - насос идет за счет энергии гидролиза АТФ и переноса двух ионов кальция из клетки в межклеточное пространство.

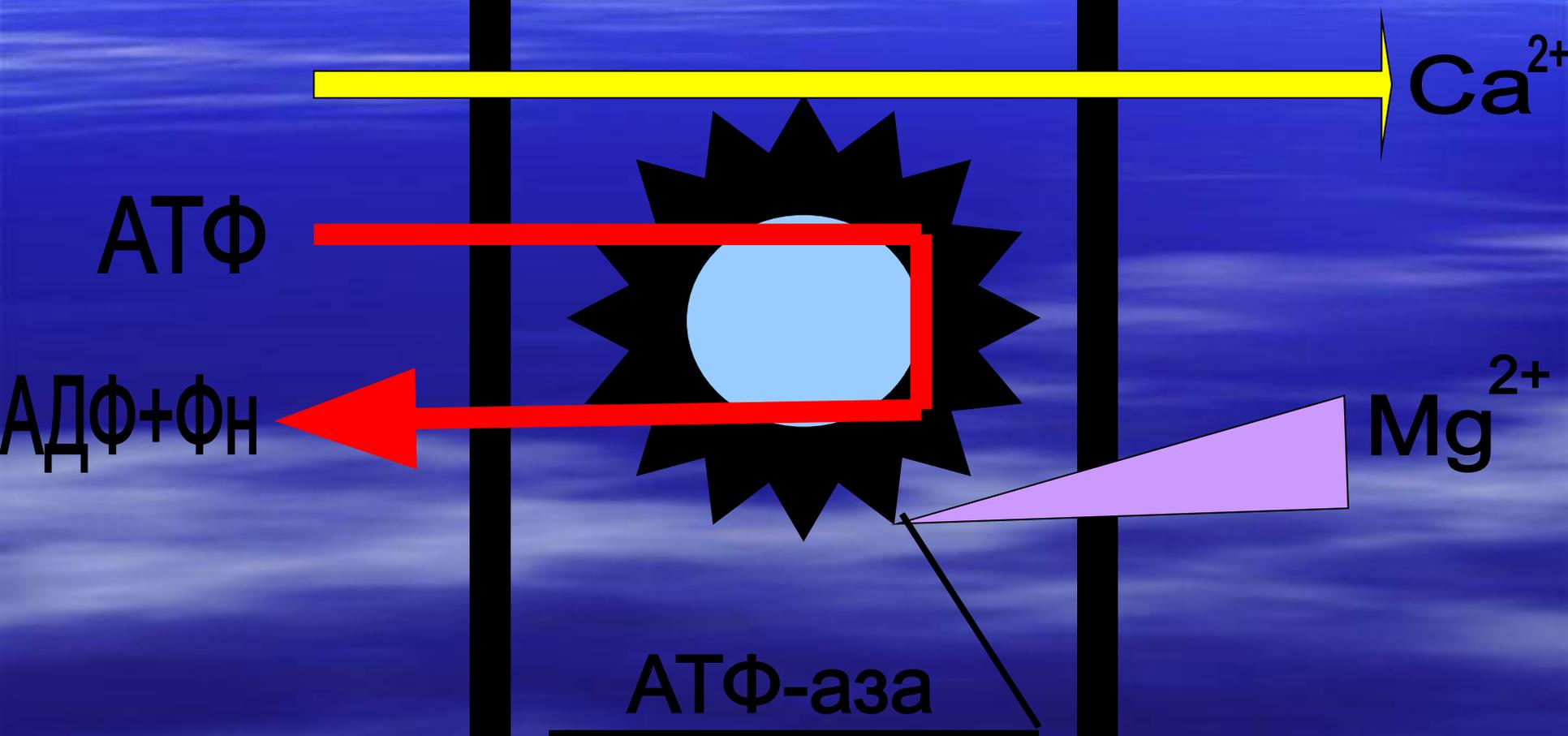
# Основные этапы $\text{Ca}^{2+}$ -насоса :

- **Первый этап:** связывание  $\text{Ca}^{2+}$  с комплексом Mg АТФазы на наружной поверхности саркоплазматической мембраны.
- **Второй этап:** гидролиз АТФ с образованием фермент-фосфатного комплекса.
- **Третий этап:** переход связанного  $\text{Ca}^{2+}$  через мембрану в клетку.
- **Четвертый этап:** переход кальцийсвязывающих центров на наружную поверхность мембраны

КЛЕТКА

МЕМБРАНА

МЕЖКЛЕТОЧНО  
ПРОСТРАНСТВО



# Активный транспорт

**3. Протонная помпа – это транспорт  $H^+$  через мембрану митохондрии.**

Внешняя среда

Сопрягающая мембрана

Внутренняя среда

субстрат

$e^-$

$2H^+$

$2H^+$

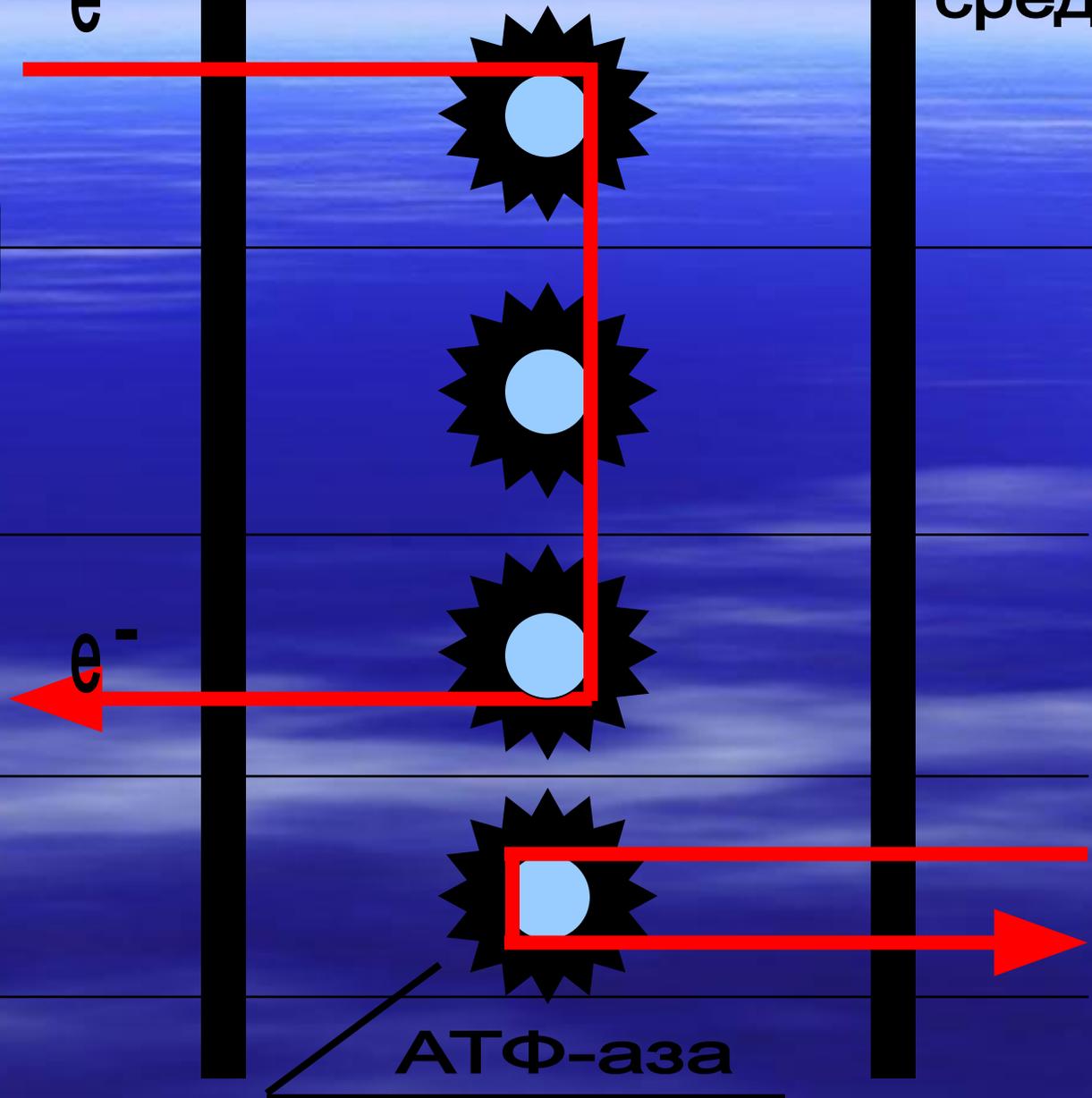
$O_2$

$2H^+$

АТФ-аза

АТФ

АДФ+ФН



# Перенос веществ через сложные мембраны можно рассмотреть на примере опыта Уссинга.

Камера, заполненная нормальным раствором Рингера, разделена на две части свежеизолированной кожей лягушки. Слева - наружная поверхность кожи, справа - внутренняя серозная. Поток ионов  $\text{Na}^+$  через кожу идет от наружной к внутренней поверхности и наоборот. На коже лягушки возникает разность потенциалов: внешняя сторона имеет отрицательный заряд, внутренняя сторона имеет положительный заряд.

Направление и скорость диффузии  
зависит от концентрации градиентов.

$$\frac{M_{СК}}{M_{КС}} = \frac{C_{К}}{C_{С}}$$

Где

$M_{СК}$  - поток вещества из  
среды в клетку

$M_{КС}$  - поток вещества из  
клетки в среду

$C_{К}$  - концентрация  
вещества в клетке

$C_{С}$  - концентрация  
вещества в среде