


# Лекция 6

## Биофизика мембран

### Транспорт веществ



**Лектор:** к.т.н. Якимов А.Н.

Кафедра медицинской и биологической физики,  
медицинской информатики, биостатистики

ГУ «Луганский государственный  
медицинский университет»



# Введение

- Все клетки для выживания нуждаются в мембранах – клеточные цитоплазматические мембраны
- Другие органеллы также обладают мембранами – хлоропласт, вакуоль, эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, ядро, митохондрии и т.д.
- Эти мембраны отделяют клетку и органеллы от окружающей среды, а также выполняют ряд других важных функций.
- Все мембраны состоят из **двойного липидного слоя**.

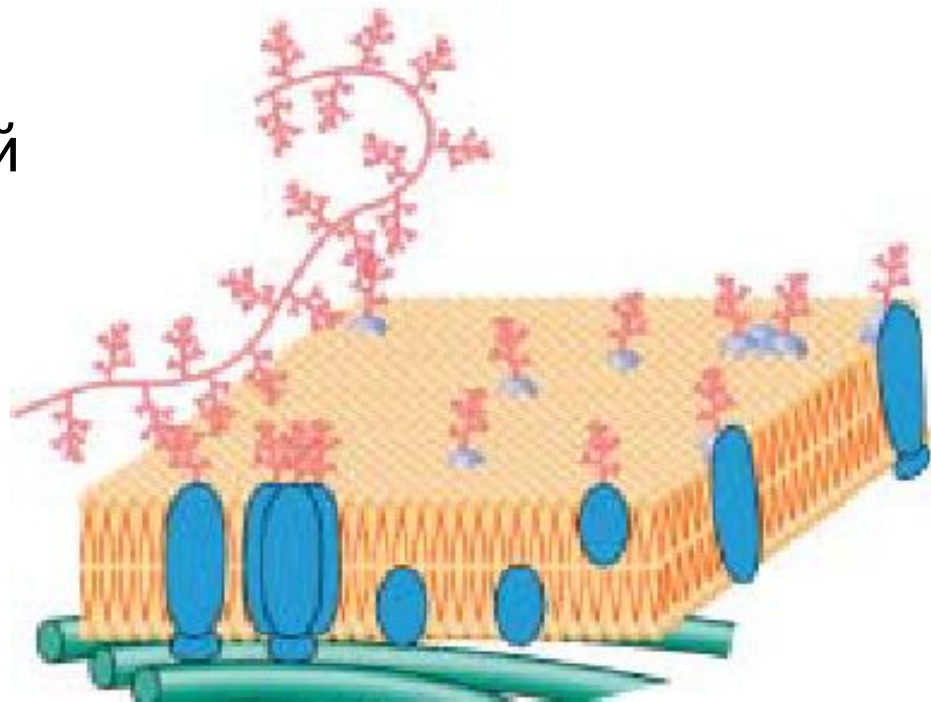
# Жидкая мозаичная модель

## Основные положения

– липидный двойной слой с белковыми вкраплениями в мембрану;

– структура мембраны является жидкой и белки могут перемещаться внутри мембраны.

– головки фосфолипидов являются **гидрофильными** («любят» воду) и развернуты наружу, а хвостики – **гидрофобными** («боятся» воды) и направлены внутрь клетки.





# Функции клеточных мембран

1. **Защитная:** изолирующий барьер
2. **Структурная:** интегральные белки мембраны являются своеобразным скелетом, поддерживающим форму клетки
3. **Транспортная:** транспорт ионов и веществ
4. **Клеточный гомеостаз:** поддержание постоянства внутриклеточной среды
5. **Коммуникационная:** регулирует взаимодействие с окружающей средой через каналы и поры
6. **Рецепторная функция:** обеспечивают работу рецепторов и иммунной системы

Двойной фосфолипидный слой является барьером, который контролирует транспорт веществ из и в клетку.

HYDROPHOBIC MOLECULES

O<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>  
N<sub>2</sub>  
benzene



Газы диффундируют свободно, белков-переносчиков не требуется

SMALL UNCHARGED POLAR MOLECULES

H<sub>2</sub>O  
urea  
glycerol



Вода диффундирует также довольно быстро без белков-переносчиков

LARGE UNCHARGED POLAR MOLECULES

glucose  
sucrose



Сахара диффундируют очень медленно, так что требуются белки-переносчики

IONS

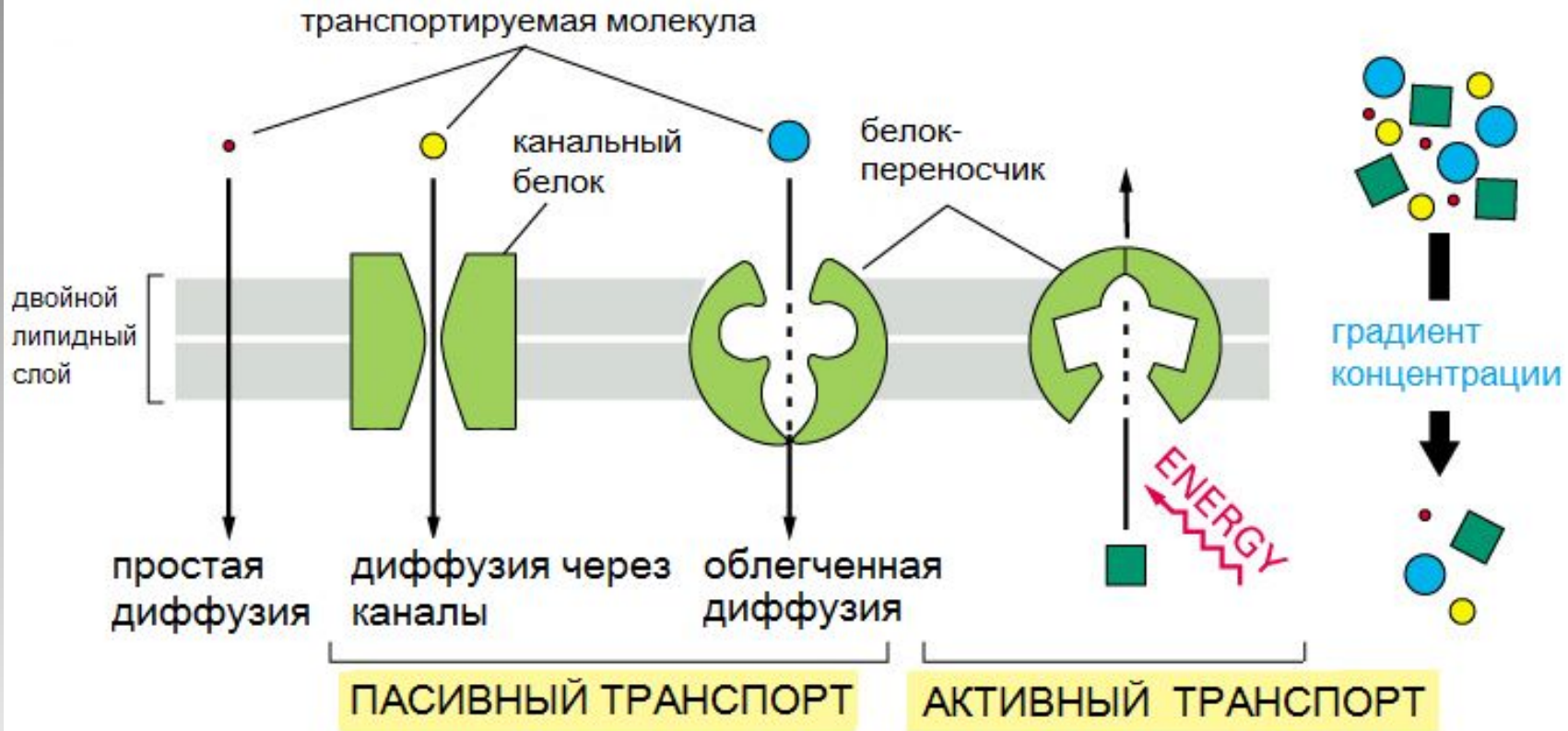
H<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>  
Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>  
Mg<sup>2+</sup>



Практически непроницаема для заряженных молекул и ионов (некоторые из них могут проходить через каналы)

Билипидный слой

Существуют два типа транспорта: **пассивный** (происходит без затрат энергии) и **активный** (требуется энергии (АТФ)).



Активный транспорт происходит против градиента концентрации, что требует затрат энергии

Когда рассматривают растворы с незаряженными частицами, в учет берется лишь **концентрационный градиент**. Если раствор заряженный, движение через мембрану зависит также и от **электрического градиента**. Их комбинация называется градиентом **электрохимического потенциала**.



**Пассивный транспорт** происходит, когда растворенные вещества движутся в сторону **убывания электрохимического градиента**. При **активном транспорте** заряженные частицы движутся в сторону **увеличения электрохимического градиента**.



Электрохимический потенциал ( $\mu$ ) –  
Свободная энергия, приходящаяся на  
моль вещества

$$\mu = \mu_0 + RT \ln C + ZF\varphi$$

$\mu_0$  – стандартный химический потенциал

$R$  – универсальная газовая постоянная  $R=8,31$   
(Дж/К·моль)

$T$  – абсолютная температура (К) ( $T = t + 273$ )

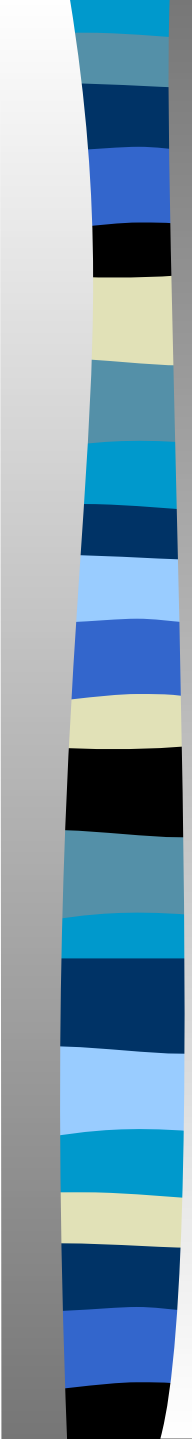
$C$  – концентрация

$Z$  – заряд иона

$F$  – число Фарадея ( $F = 96\,500$  Кл/моль)

Электрохимический потенциал  $\mu$  зависит от  
концентрации, температуры и электрического заряда





# Общее уравнение пассивного транспорта (уравнение Теорелла)

$$J_m = -U_m C_m \frac{d\mu_m}{dx}$$

где  $U_m$  – подвижность иона

$$\frac{d\mu_m}{dx} = \frac{RT}{C} \frac{dC}{dx} + ZF \frac{d\varphi}{dx}$$

**Электродиффузия** (диффузия ионов через мембрану)

$$J_m = -U_m RT \frac{dC_m}{dx} - U_m Z C_m F \frac{d\varphi_m}{dx}$$



- I. **Пассивный транспорт:**

- а. **диффузия** (через мембраны и через каналы);
- б. **осмос**.

Используется собственная энергия:

- 1. концентрационных градиентов;
- 2. электрических градиентов.

- II. **Поры** мембран и **переносчики:**

- а. поры (пассивные каналы);
- б. переносчики (облегченная диффузия);
- в. каналные белки.

- III. **Активный транспорт.**

Используется внешняя энергия АТФ  
(пример – работа Na-K-насоса)



# I. Пассивный транспорт

1. Диффузия: является спонтанным движением растворенного вещества из области высокой в область с низкой концентрацией.

– Для осуществления диффузии требуется чтобы мембраны были **проницаемыми**. Проницаемость обеспечивается самой мембраной или ее каналами.

Уравнение Фика для диффузии:

$$j = \frac{dm}{dt \cdot S} = -D \frac{dC}{dx}$$

где  $j$  – плотность потока вещества;  $D$  - коэффициент диффузии;  $S$  - площадь поперечного сечения

$$[j] = \text{моль} / (\text{м}^2 \cdot \text{с}), [D] = \text{м}^2 / \text{с}, [c] = \text{моль} / \text{м}^3$$

## Поток вещества через мембрану :

Скорость диффузии :  $J = P (C_1 - C_2)$

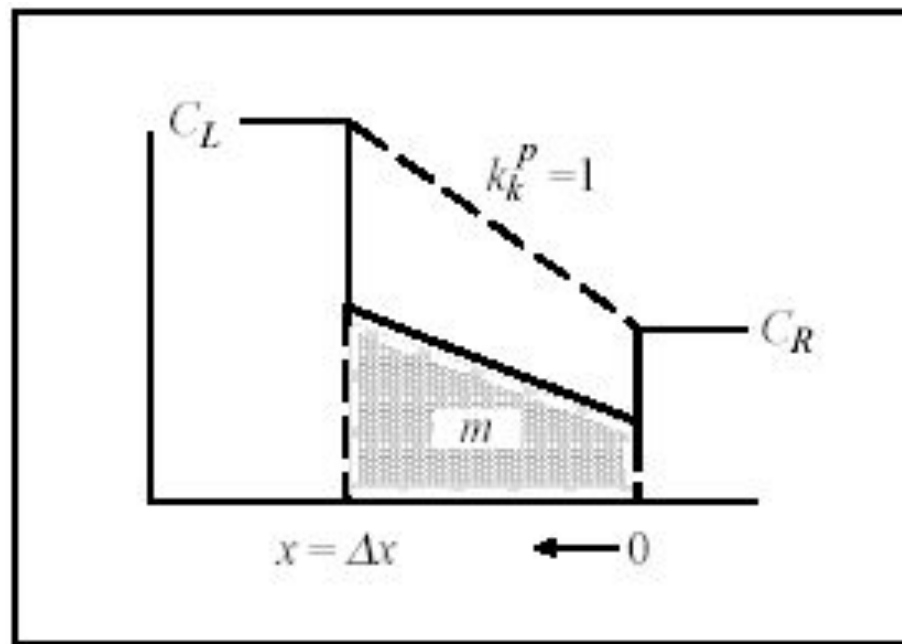
где  $P$  – постоянная проницаемости мембраны для растворенного вещества;  $(C_1 - C_2)$  – разность концентраций в межклеточной среде и цитоплазме

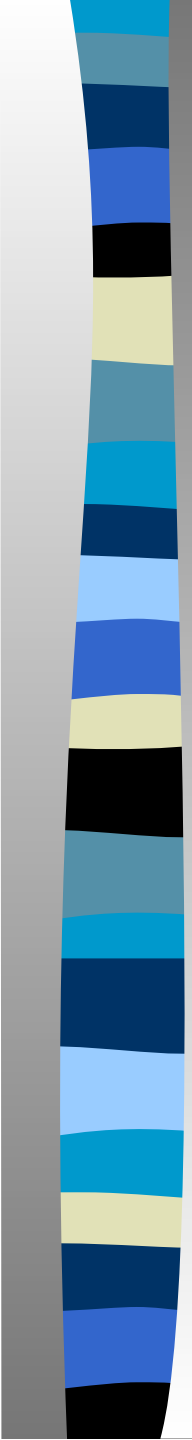
$$j = -D \frac{dC}{dx}$$

$$j \approx -D \frac{C_{m2} - C_{m1}}{\Delta x}$$

$$j \approx P (C_1 - C_2)$$

$$\text{где } P = \frac{DK}{\Delta x}, [P] = \frac{м}{с}$$





Осмоз – специальный случай диффузии, также пассивной.

- происходит когда мембрана проницаема для воды, но не проницаема для растворенных ионов и полярных органических растворенных веществ.
- сопровождается движением **растворителя** из региона низкой концентрации раствора в область раствора с высокой концентрацией.
- может проявляться как:
  - изменение объема (при выравнивании концентрации);
  - изменении давления.

Осмотическое давление:  $P = R \cdot C \cdot T$  (уравнение Рауля)

$$j = k(P_1 - P_2) \quad \text{– скорость осмоса}$$



## Поток жидкости через пору. Фильтрация.

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

**где:**

$l$  – длина поры (толщина мембраны)

$r$  – радиус поры

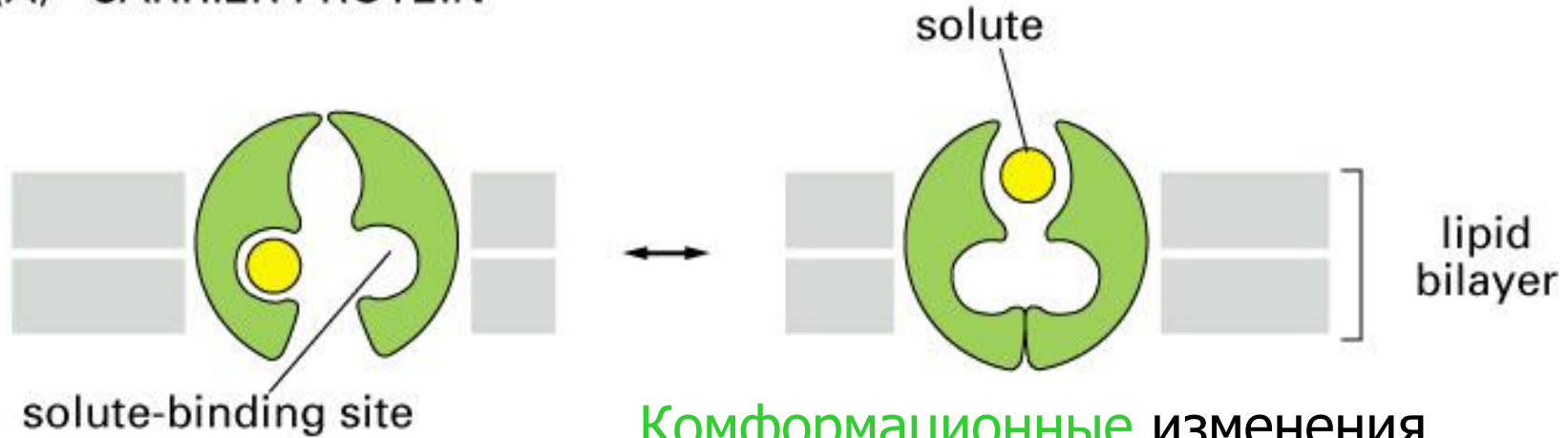
$(P_1 - P_2)$  – разность давлений с на двух концах поры

$\eta$  – коэффициент вязкости

$V$  – объем

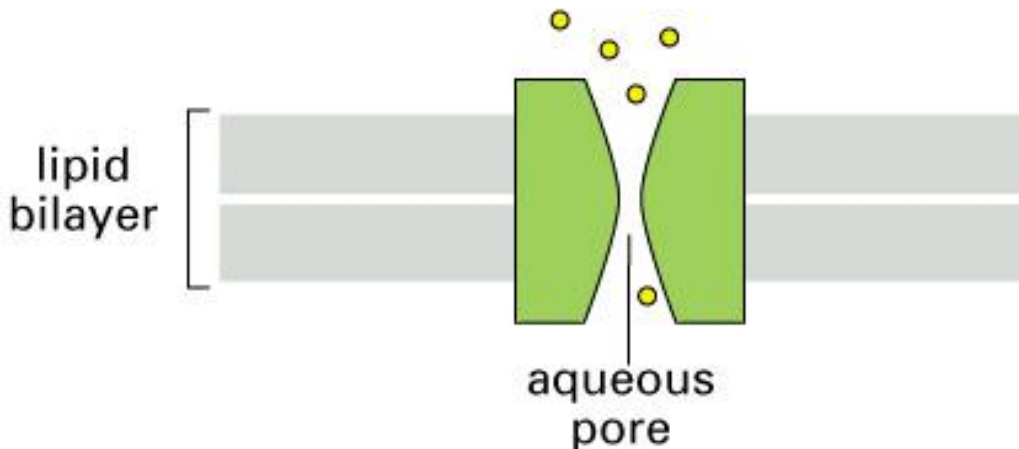
Транспорт молекул, для которых двойной липидный шар является не проницаемым осуществляется с помощью двух видов **транспортных белков**.

(A) CARRIER PROTEIN



Комформационные изменения «переносят» растворенное вещество через мембрану.

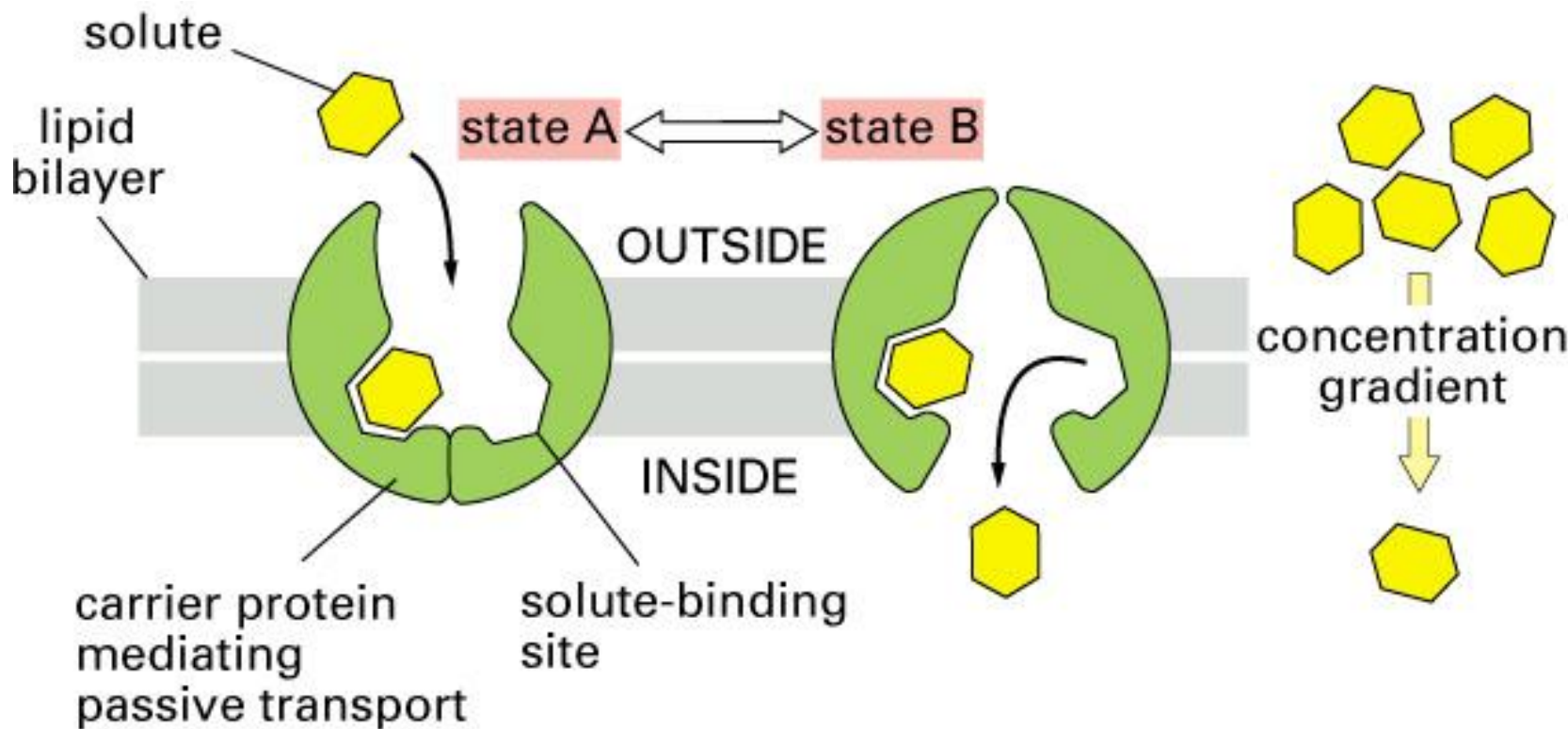
(B) CHANNEL PROTEIN



Водные поры обеспечивают транспорта раствора через мембрану.

# Облегченная диффузия

Транспортные белки связывают растворенное вещество с одной стороны мембраны, претерпевают конформационные изменения и освобождают раствор с другой стороны мембраны.





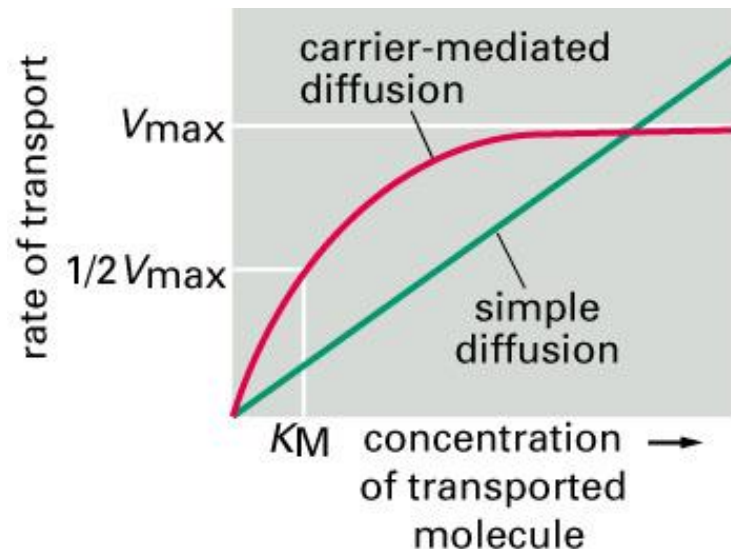
# Характеристики облегченной диффузии

## Насыщаемость

- конечное число переносчиков
- каждый переносчик требует времени на перенос

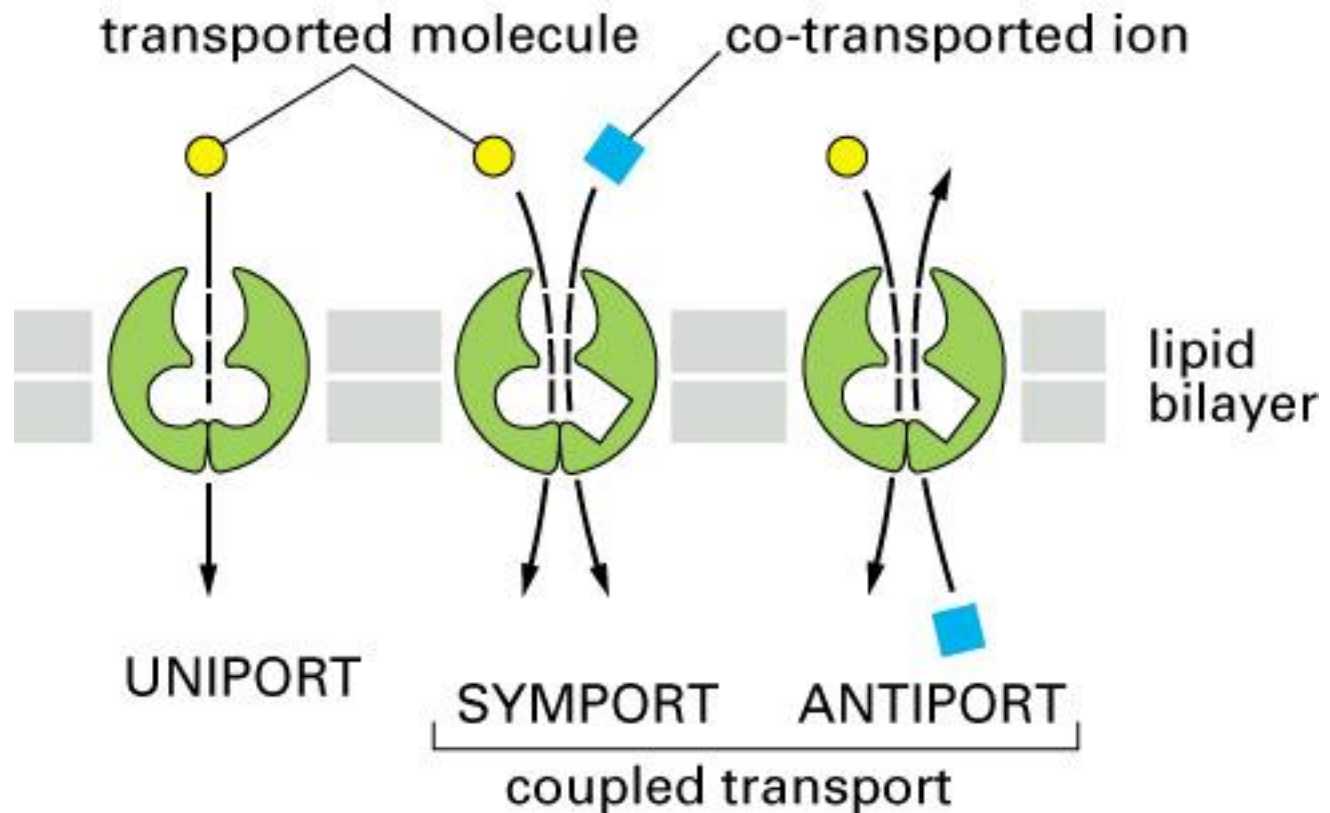
## Специфичность:

каждый транспортный белок связывается лишь с ограниченным множеством химических структур.

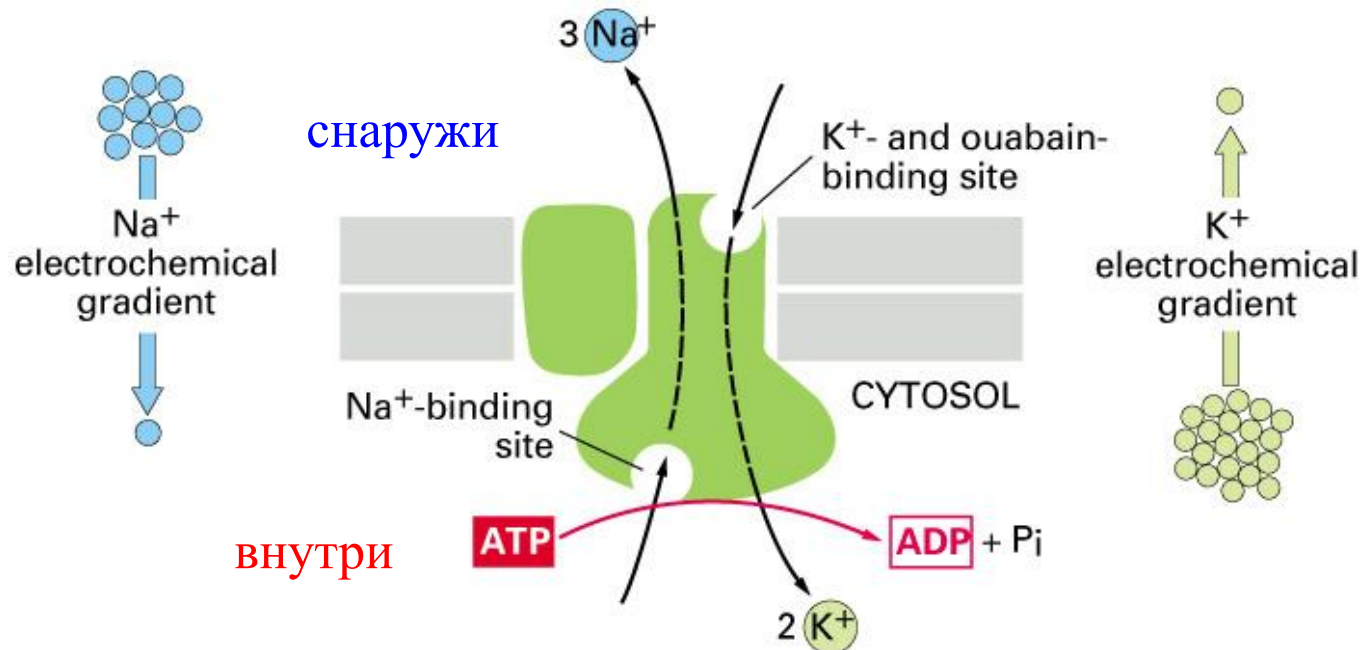




В зависимости от того, как много молекул может транспортироваться и в каком направлении, транспортные белки бывают транспортирующими в **одном направлении**, **переносящими пары** и транспортирующими **в противоположных направлениях**.



$\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  насос (  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  АТФаза) является белковым образованием в мембране, работающим в двух направлениях, который производит **активный транспорт**.

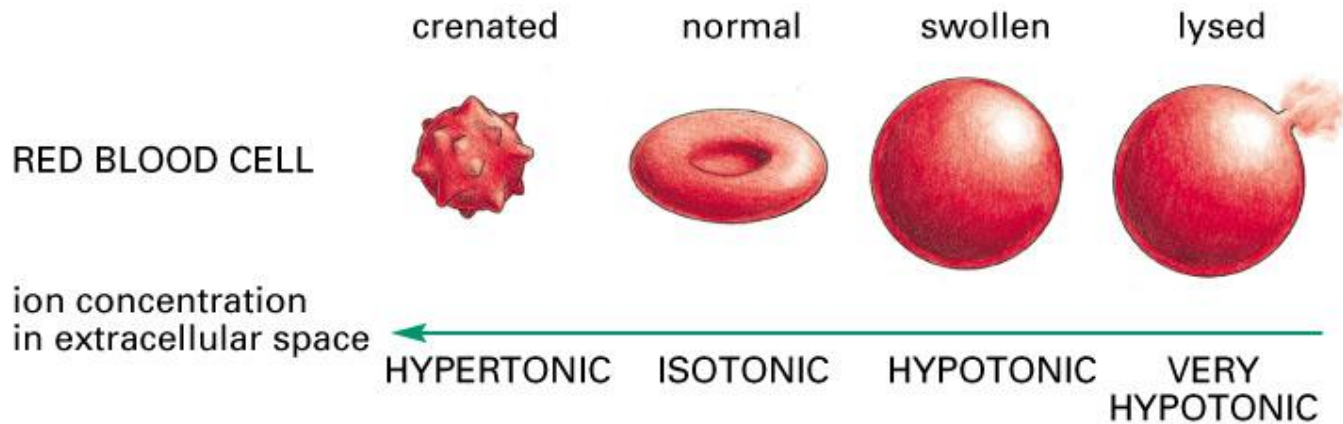


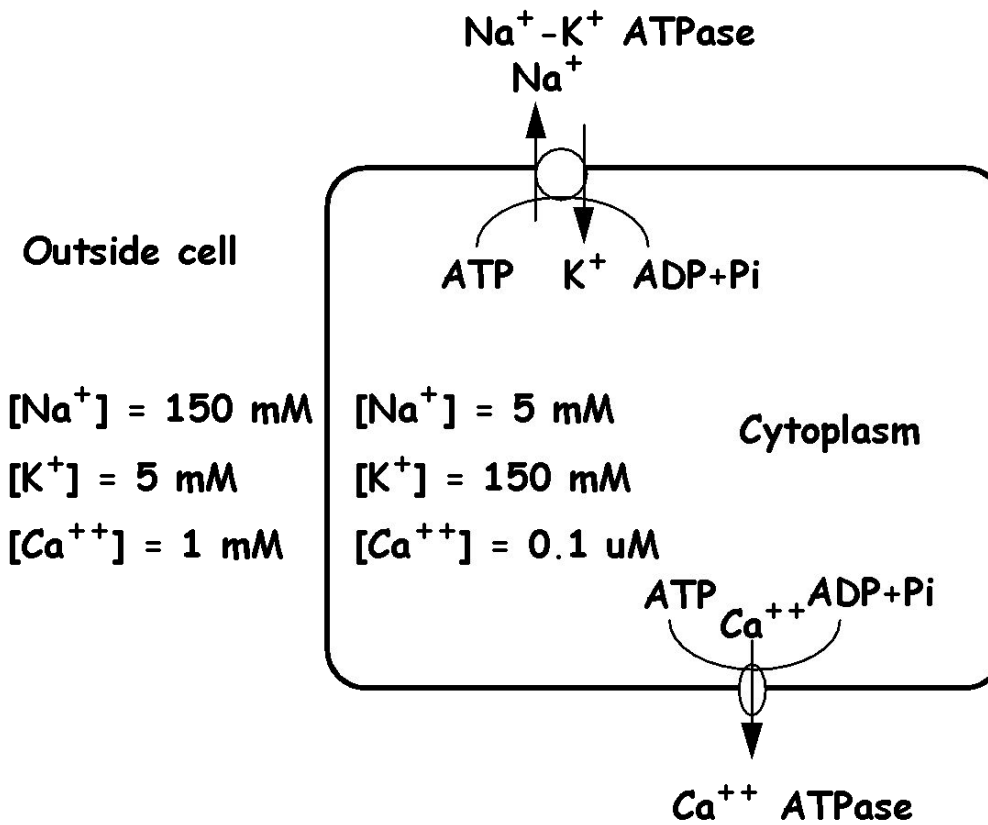
Насос обеспечивает концентрационный градиент с низкой концентрацией  $\text{Na}^+$  внутри клетки и высокой концентрацией  $\text{K}^+$  снаружи.

**Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> насос** помогает стабилизировать объем клетки.

Наблюдение: блокирование Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> насоса с помощью токсина (аубаин) приводит клетку к раздуванию и лопанью.

Объяснение: высокая концентрация раствора внутри клетки вызывает движение в нее воды (осмос). Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> насос поддерживает концентрацию Na<sup>+</sup> и, непрямым образом, Cl<sup>-</sup> снаружи клетки, препятствуя воде проникать в клетку.





Концентрационные градиенты Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> важны при **передаче нервного импульса**. Но это уже будет тема следующей лекции ...

A vertical decorative bar on the left side of the slide, composed of various colored segments including shades of blue, yellow, black, and grey.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**