

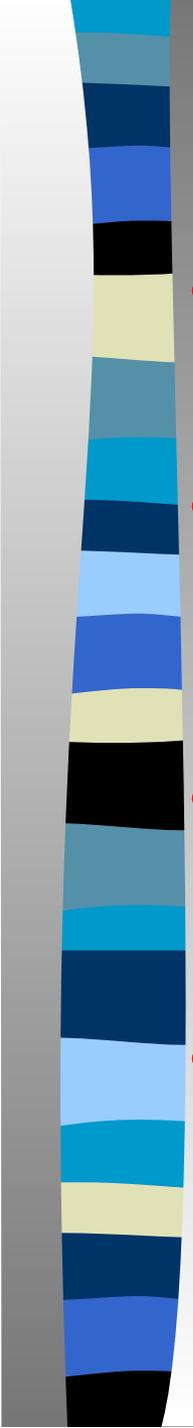
Лекция 6

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**.

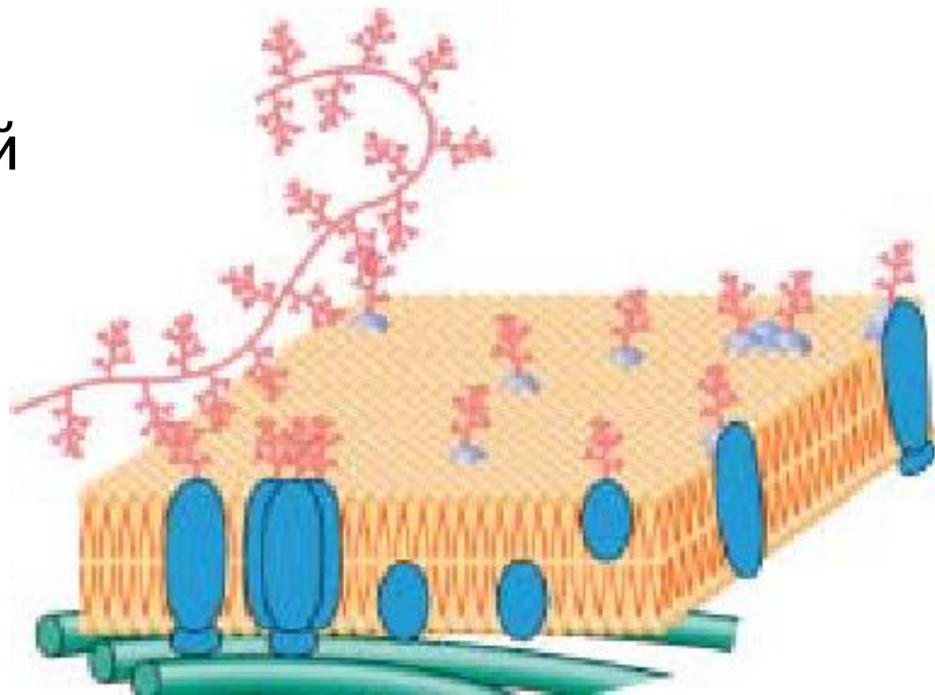
Жидкая мозаичная модель

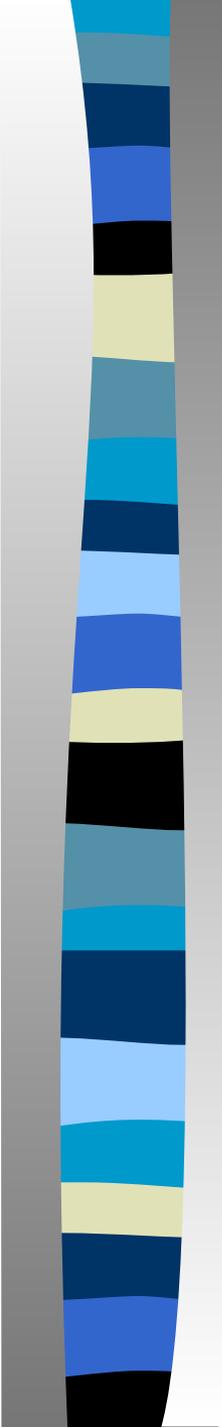
Основные положения

– 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

O₂
CO₂
N₂
benzene



Газы диффундируют свободно, белков-переносчиков не требуется

SMALL UNCHARGED POLAR MOLECULES

H₂O
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

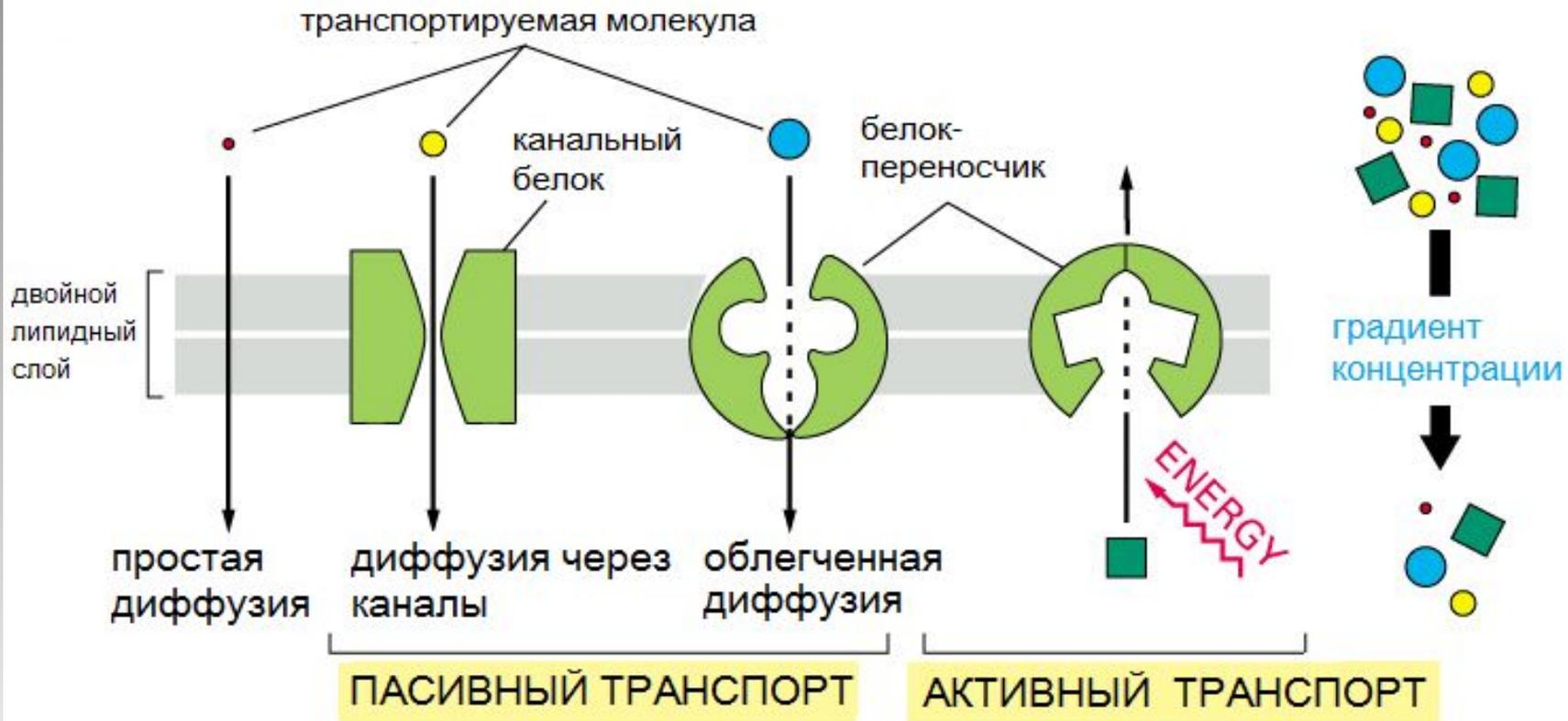
IONS

H⁺, Na⁺
HCO₃⁻, K⁺
Ca²⁺, Cl⁻
Mg²⁺



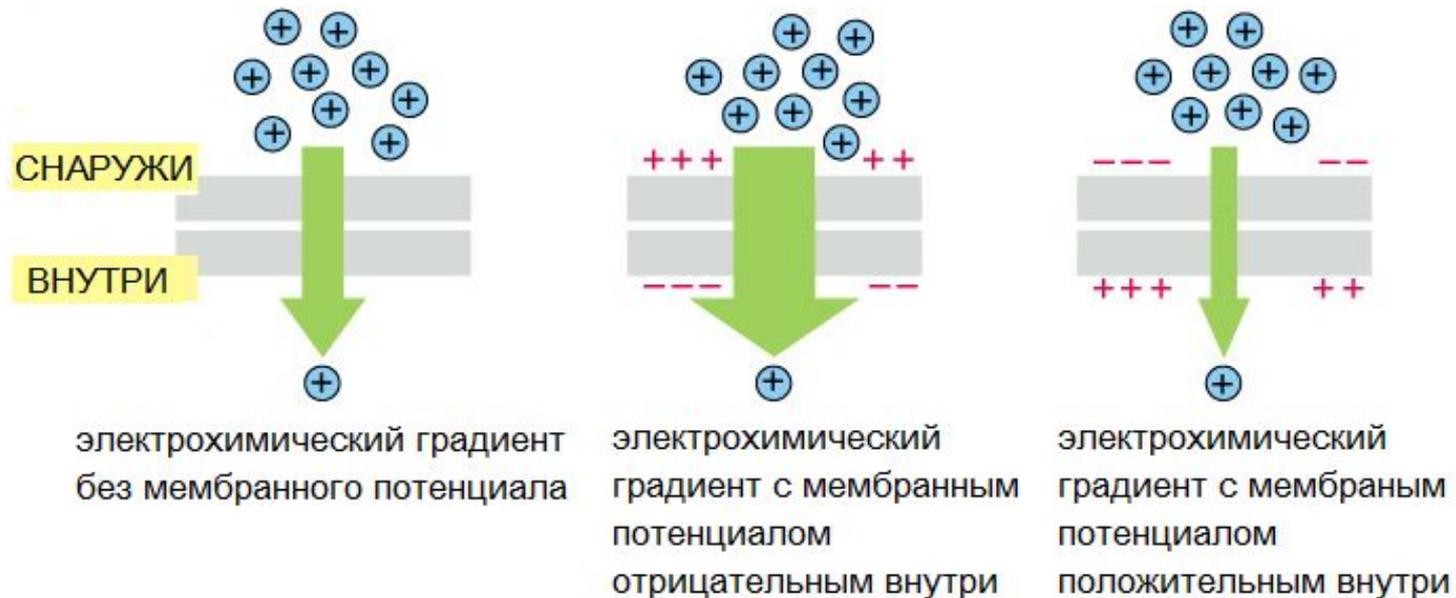
Практически непроницаема для заряженных молекул и ионов (некоторые из них могут проходить через каналы)

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

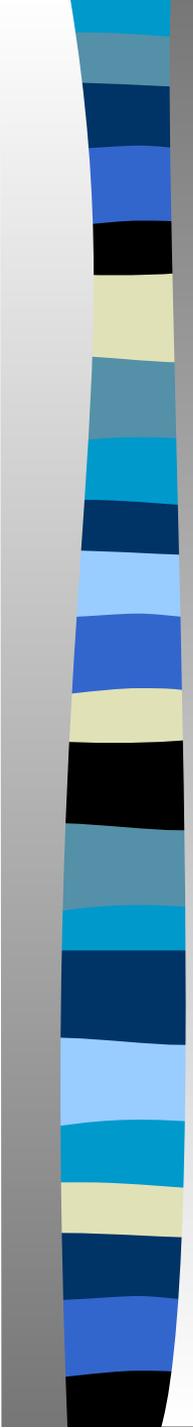


Активный транспорт происходит против градиента концентрации, что требует затрат энергии

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 (μ) –
Свободная энергия, приходящаяся на
моль вещества

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

μ_0 – стандартный химический потенциал

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

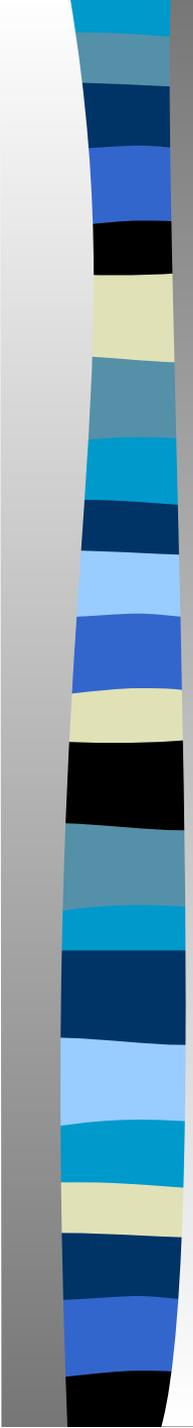
T – абсолютная температура (К) ($T = t + 273$)

C – концентрация

Z – заряд иона

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

Электрохимический потенциал μ зависит от
концентрации, температуры и электрического заряда



Общее уравнение пассивного транспорта (уравнение Теорелла)

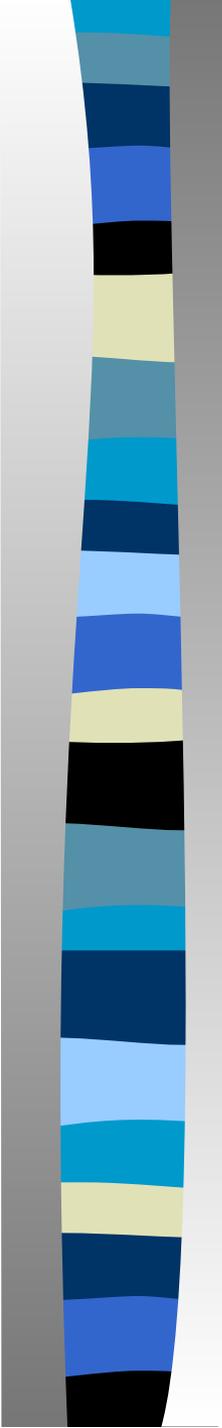
$$J_m = -U_m C_m \frac{d\mu_m}{dx}$$

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:

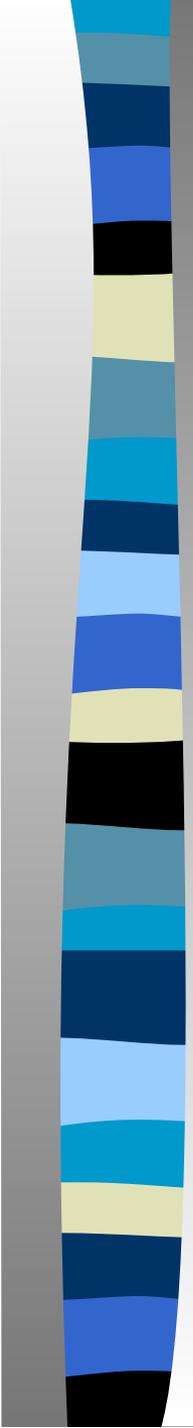
- 1. концентрационных градиентов;
- 2. электрических градиентов.

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

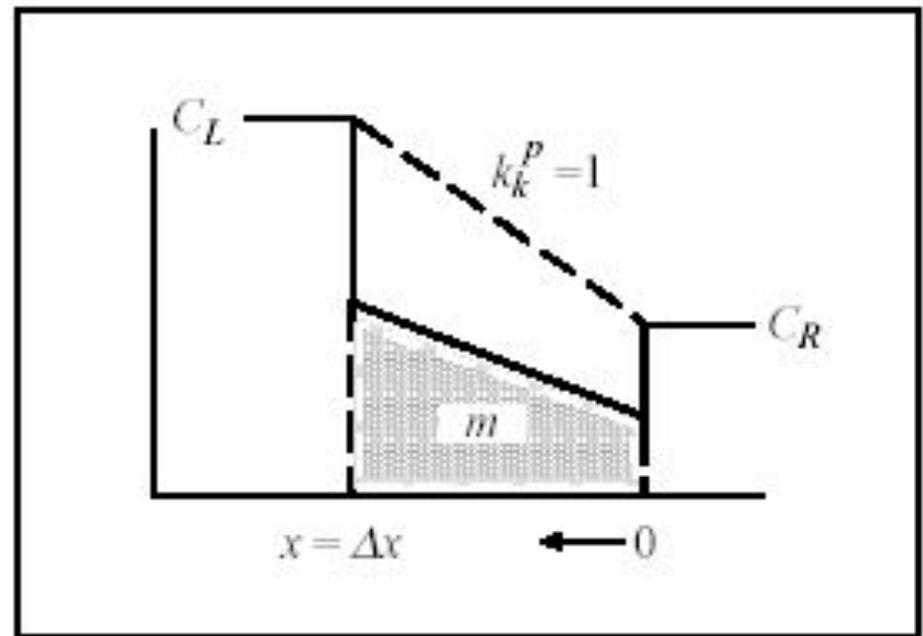
где P – постоянная проницаемости мембраны для растворенного вещества; $(C_1 - C_2)$ – разность концентраций в межклеточной среде и цитоплазме

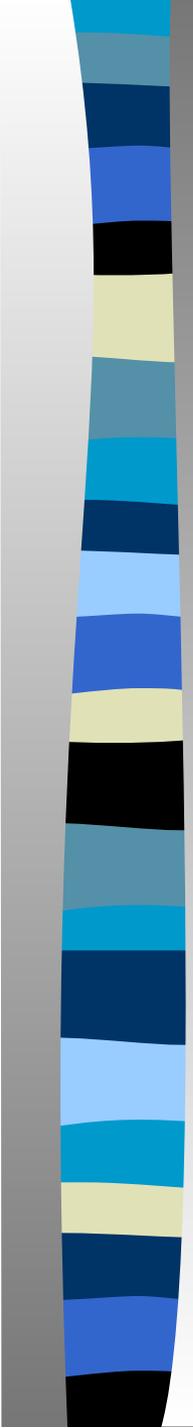
$$j = -D \frac{dC}{dx}$$

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

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

$$\text{где } P = \frac{DK}{\Delta x}, [P] = \frac{M}{c}$$



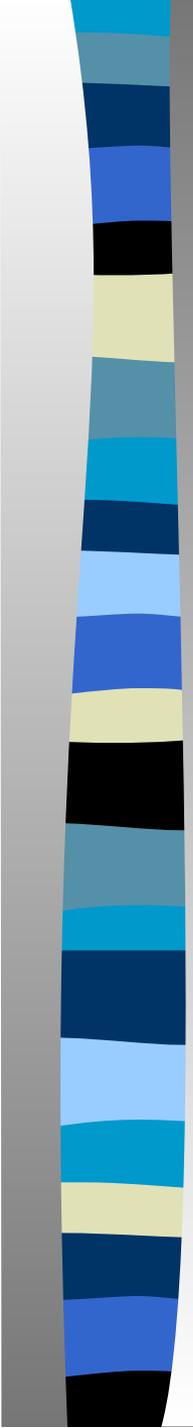


Осмоз – специальный случай диффузии, также пассивной.

- 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

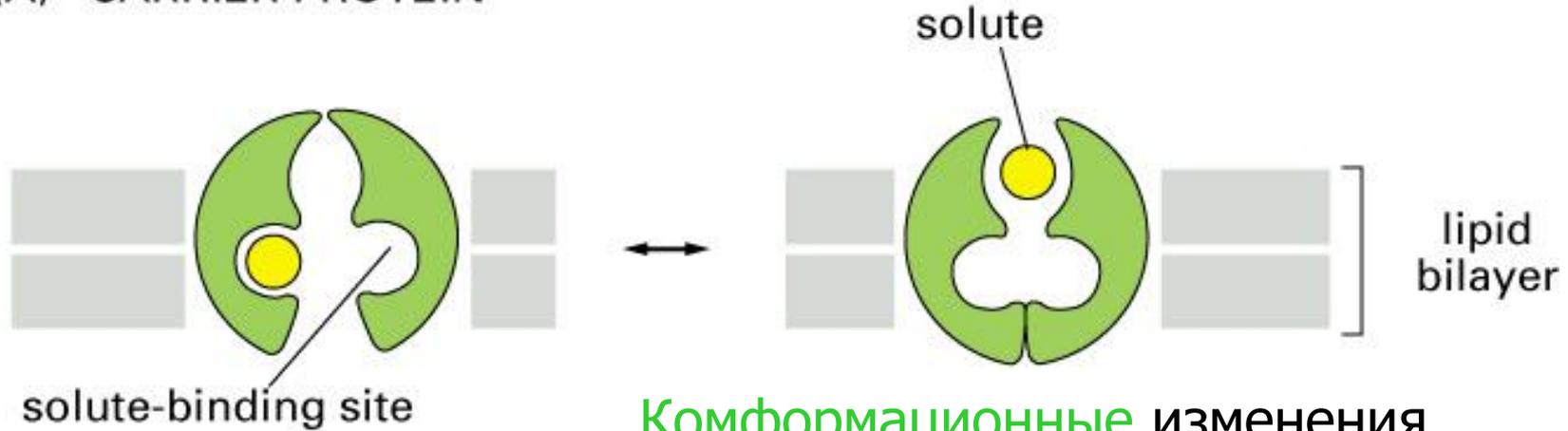
$(P_1 - P_2)$ – разность давлений с на двух концах поры

η – коэффициент вязкости

V – объем

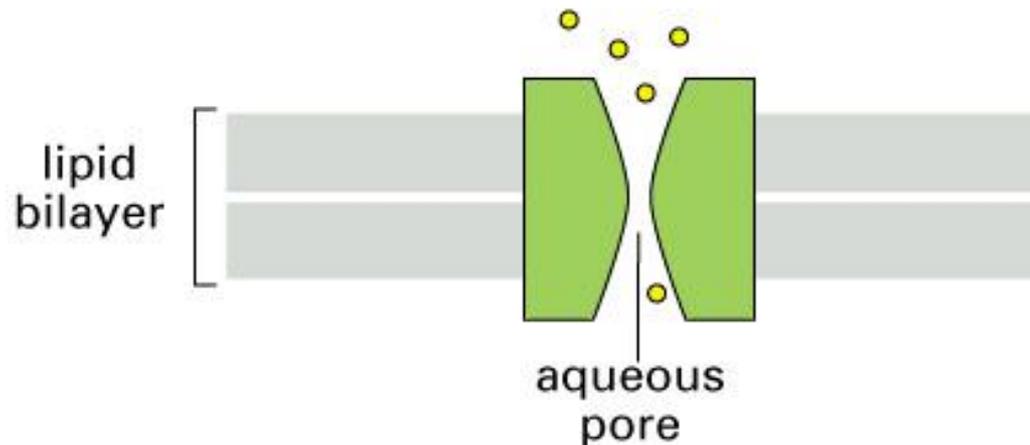
Транспорт молекул, для которых двойной липидный шар является не проницаемым осуществляется с помощью двух видов транспортных белков.

(A) CARRIER PROTEIN



Комформационные изменения «переносят» растворенное вещество через мембрану.

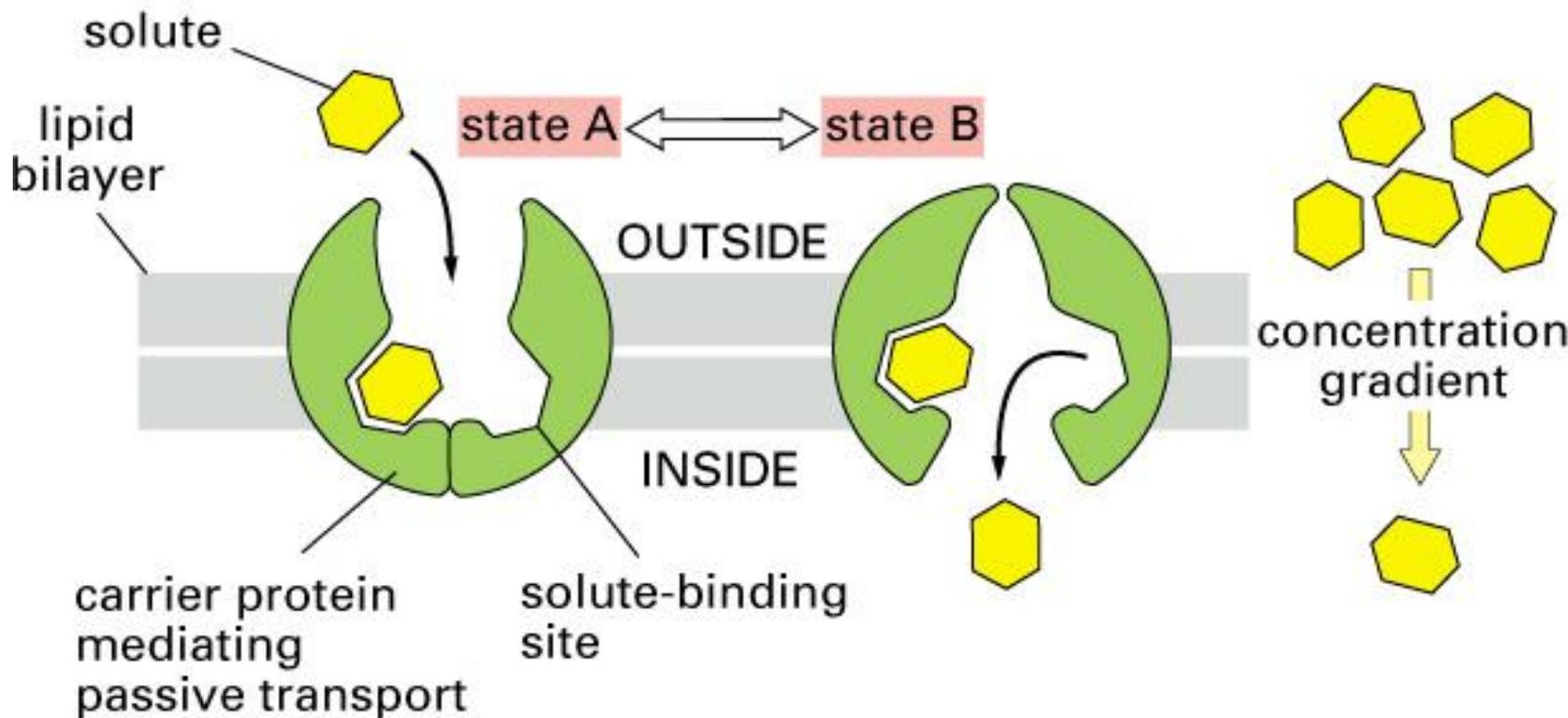
(B) CHANNEL PROTEIN



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.



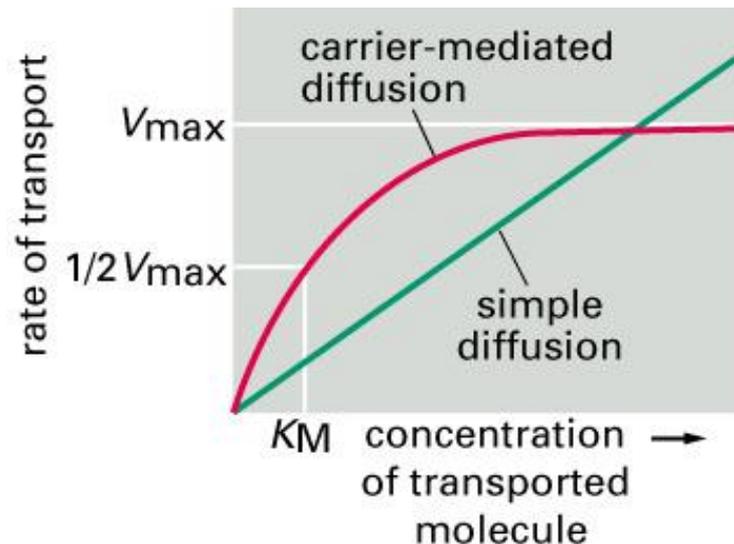
Характеристики облегченной диффузии

Насыщаемость

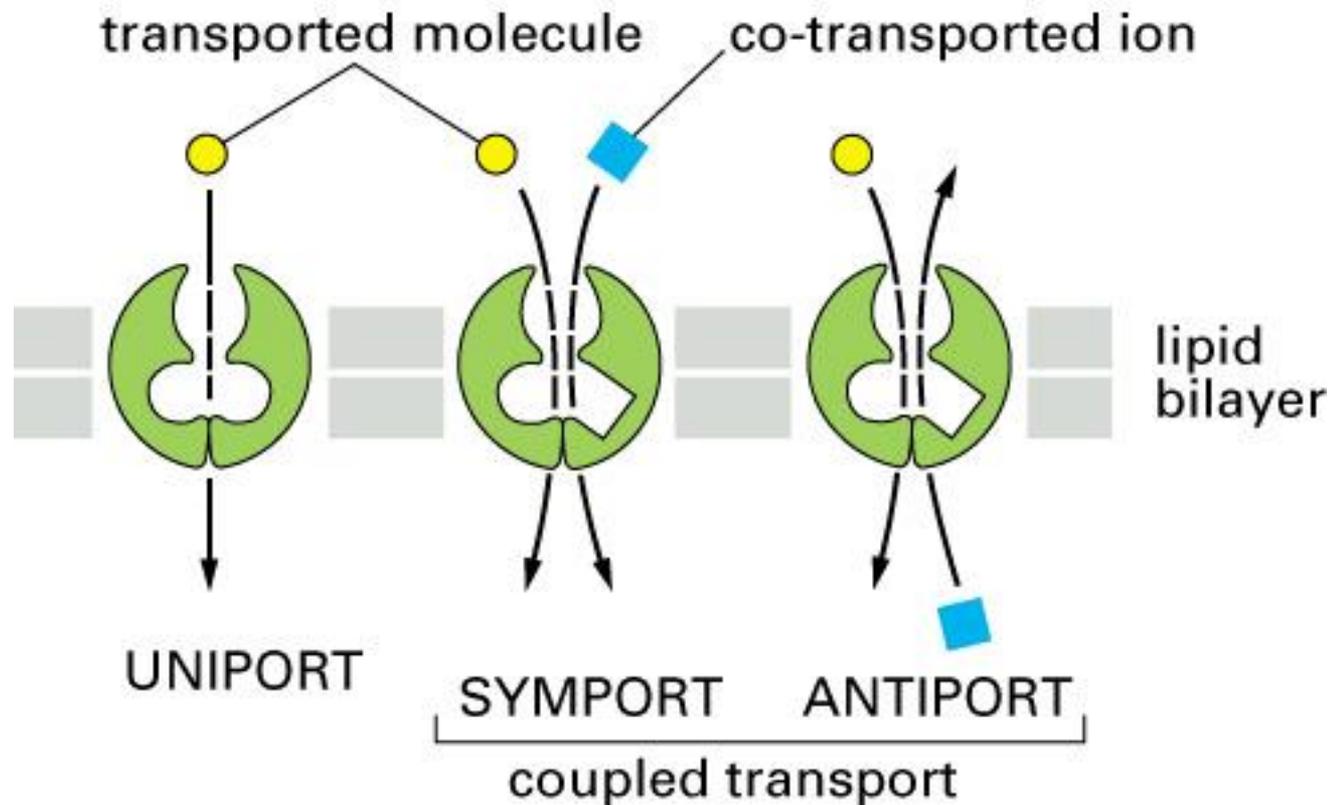
- конечное число переносчиков
- каждый переносчик требует времени на перенос

Специфичность:

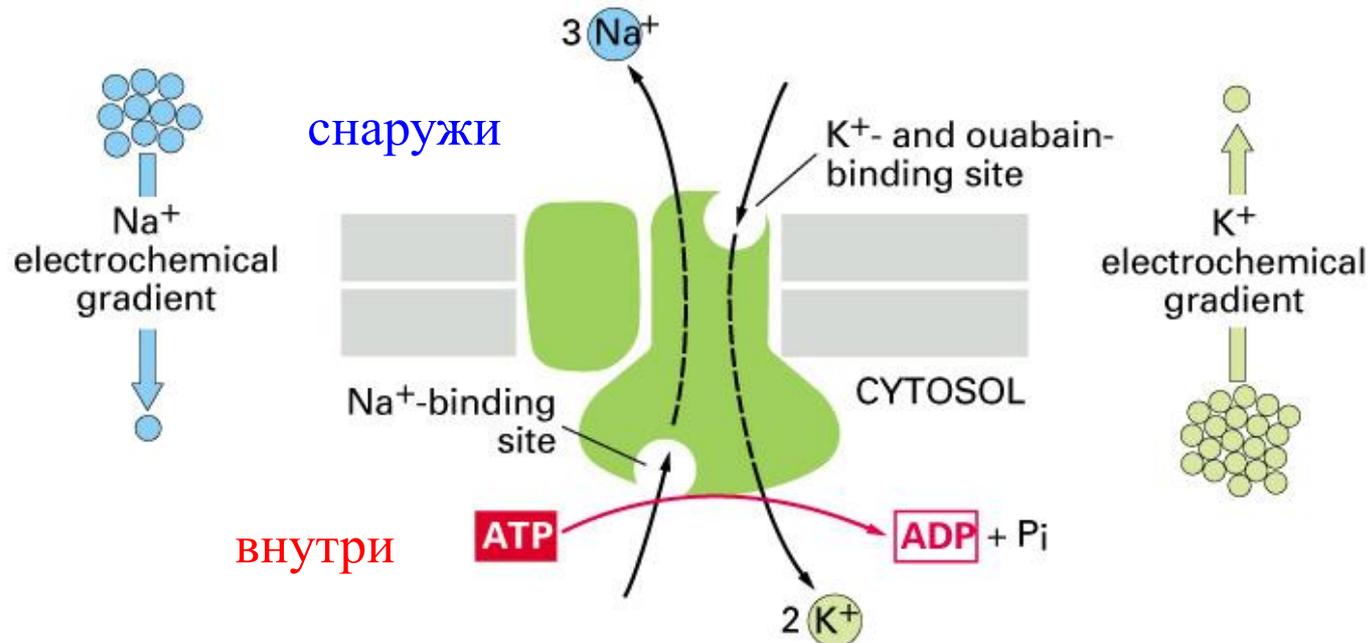
каждый транспортный белок связывается лишь с ограниченным множеством химических структур.



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**.



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

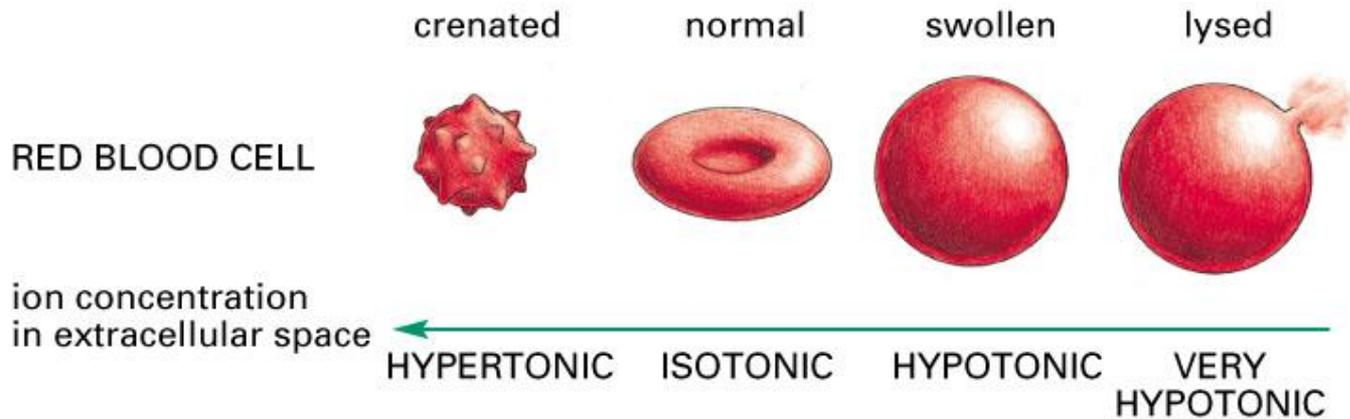


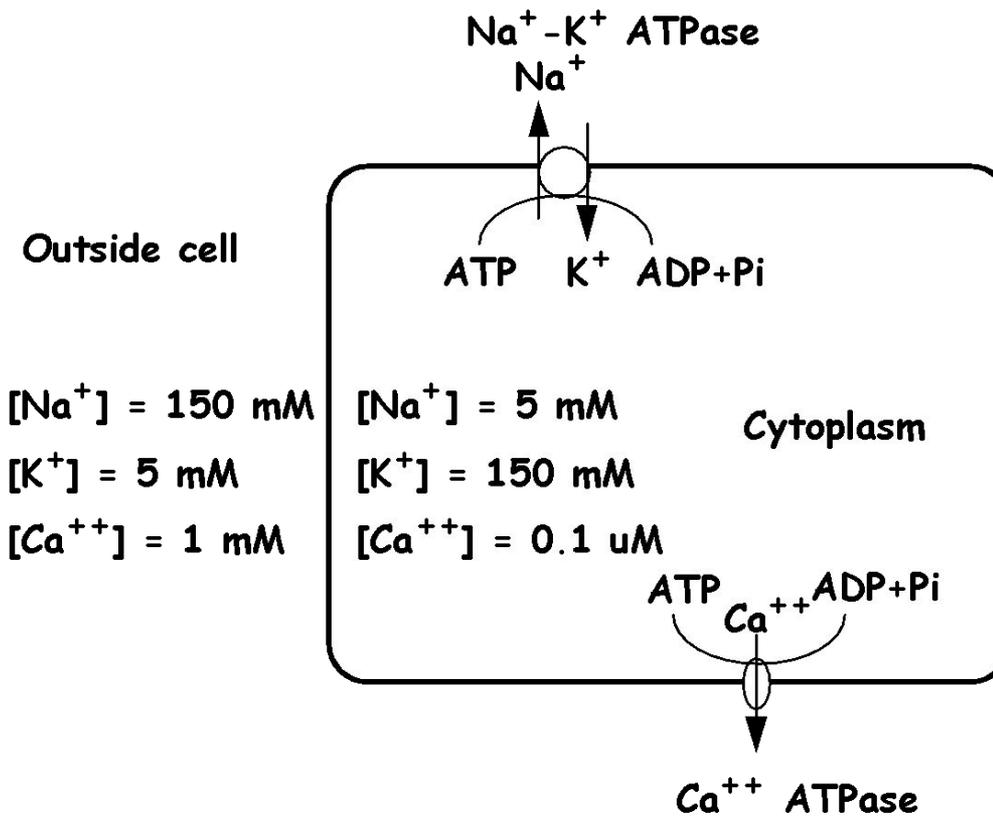
Насос обеспечивает концентрационный градиент с низкой концентрацией Na^+ внутри клетки и высокой концентрацией K^+ снаружи.

Na⁺-K⁺ насос помогает стабилизировать объем клетки.

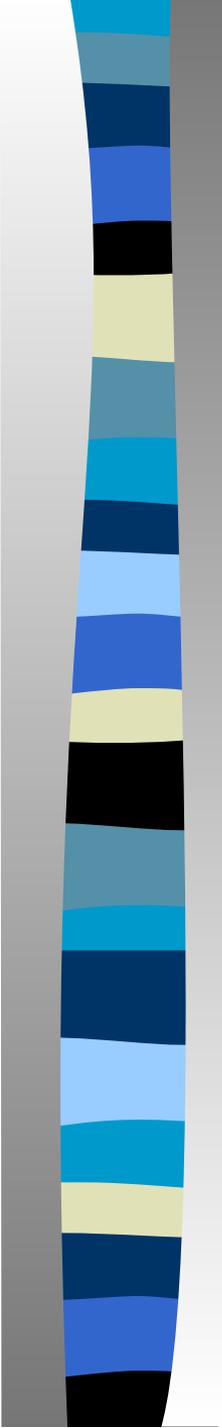
Наблюдение: блокирование Na⁺-K⁺ насоса с помощью токсина (аубаин) приводит клетку к раздуванию и лопанью.

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





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



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!