

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ

Часть 2.

МЕМБРАННЫЙ ТРАНСПОРТ

1. ПРОНИЦАЕМОСТЬ БМ.
ВИДЫ ТРАНСМЕМБРАННОГО
ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ.
2. ПАССИВНЫЙ МЕМБРАННЫЙ
ТРАНСПОРТ – СПОСОБЫ,
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.
3. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ
ПАССИВНОГО МЕМБРАННОГО
ТРАНСПОРТА.
4. АКТИВНЫЙ МЕМБРАННЫЙ
ТРАНСПОРТ.
ХАРАКТЕРИСТИКА БИОНАСОСОВ.
5. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРГАНИЗА-
ЦИЯ И ЭТАПЫ РАБОТЫ КАЛИЙ-
НАТРИЕВОГО НАСОСА.

1. ПРОНИЦАЕМОСТЬ БИОМЕМБРАН. ВИДЫ ТРАНСМЕМБРАННОГО ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ

- **ПРОНИЦАЕМОСТЬ** – СВОЙСТВО МЕМБРАНЫ ПРОПУСКАТЬ РАЗЛИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА.

- **СЕЛЕКТИВНОСТЬ (ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ)** – РАЗЛИЧНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДЛЯ РАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

У БМ - ВЫСОКАЯ.

ЕСТЬ ДВА ПРИНЦИПИАЛЬНО РАЗЛИЧНЫХ ТИПА ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ:

- **ПАССИВНЫЙ ТРАНСПОРТ** и
- **АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ.**

Определение пассивного и активного транспорта

- **ПАССИВНЫЙ ТРАНСПОРТ – ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВА ПО ЕГО ГРАДИЕНТАМ, КОНЦЕНТРАЦИОННОМУ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ.**

- **АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ – ПЕРЕНОС ПРОТИВ ГРАДИЕНТА, КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ИЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО.**

Пояснение

- ГРАДИЕНТ ХАРАКТЕРИЗУЕТ БЫСТРОТУ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРА В ПРОСТРАНСТВЕ (ВДОЛЬ ВЫБРАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ):

$$\Gamma_n = d\Pi/dx.$$

- В БИОФИЗИКЕ ГРАДИЕНТ НАПРАВЛЕН ОТ БОЛЬШЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА К МЕНЬШЕМУ.

$$\Gamma_c = dC/dx,$$
$$\Gamma\phi = d\phi / dx.$$

ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ – КРИТЕРИИ – ПТ

- РАБОТЫ ПРОТИВ ВНЕШНИХ СИЛ НЕТ ⇒ ЭНЕРГИЯ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕ РАСХОДУЕТСЯ.
- ГРАДИЕНТЫ УМЕНЬШАЮТСЯ.

- В ПРИНЦИПЕ ВОЗМОЖЕН ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В ОБОИХ НАПРАВЛЕНИЯХ – КАК В КЛЕТКУ, ТАК И ИЗ КЛЕТКИ.
- СВОЙСТВЕН ЛЮБЫМ МЕМБРАНАМ – И БИОЛОГИЧЕСКИМ, И ИСКУССТВЕННЫМ.

ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ – КРИТЕРИИ – АТ

- ТРЕБУЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ.

*ЭКЗЕРГОНИЧЕСКАЯ
ХИМ. РЕАКЦИЯ*



*МАКРОЭРГИЧЕСКИЕ
СВЯЗИ АТФ*



ГИДРОЛИЗ АТФ

- ГРАДИЕНТЫ УВЕЛИЧИВАЮТСЯ.

- МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ *ВЕКТОРНОСТЬЮ* (СТРОГОЙ НАПРАВЛЕННОСТЬЮ).
- СВОЙСТВЕН ЛИШЬ БИОМЕМБРАНАМ.

2. ПАССИВНЫЙ МТ – СПОСОБЫ и МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

- ПАССИВНЫЙ ПЕРЕНОС
**РАСТВОРЕННОГО
ВЕЩЕСТВА**
ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПУТЕМ
ДИФФУЗИИ.

- ПАССИВНЫЙ ПЕРЕНОС
РАСТВОРИТЕЛЯ –
ПУТЕМ
ОСМОСА И
ФИЛЬТРАЦИИ.

Но это – тоже
ДИФФУЗИЯ, МОЛЕКУЛ
РАСТВОРИТЕЛЯ.

ДИФФУЗИЯ –
САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
ВЕЩЕСТВА ПО ЕГО
КОНЦЕНТРАЦИОННОМУ
ИЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ
ГРАДИЕНТУ
за счет
ХАОТИЧЕСКОГО
ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ
ЕГО МОЛЕКУЛ (ИОНОВ).

ПАССИВНЫЙ ПЕРЕНОС = ДИФФУЗИЯ



ГФБ:
ЛИПИДЫ, ЖК, ...

ГФЛ:

АМИНОКИСЛОТЫ, САХАРА, СПИРТЫ,
МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА, МОЧЕВИНА

ПРОСТАЯ ДИФфуЗИЯ (НЕОПОСРЕДОВАННЫЙ ПЕРЕНОС)

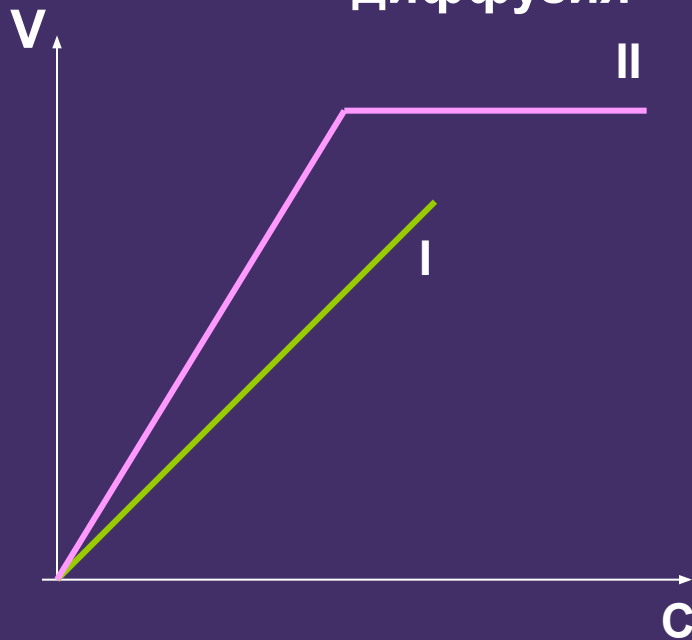
- **МОЛЕКУЛА В ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ (СВОБОДНОЙ) ФОРМЕ**
- **СКОРОСТЬ ЗАВИСИТ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРЕНОСИМОГО ВЕЩЕСТВА (СУБСТРАТА)**

ОБЛЕГЧЕННАЯ ДИФфуЗИЯ (ОПОСРЕДОВАННЫЙ ПЕРЕНОС)

- **ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ КОМПЛЕКС СУБСТРАТА С ВЕЩЕСТВОМ-ПЕРЕНОСЧИКОМ**
- **СКОРОСТЬ ПЕРЕНОСА ПРИ НЕКОТОРОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СУБСТРАТА ДОСТИГАЕТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

ГРАФИК

I – простая, II – облегченная
диффузия



ПОЯСНЕНИЕ

К

ОБЛЕГЧЕННОЙ ДИФФУЗИИ:

СКОРОСТЬ ПЕРЕСТАЕТ
РАСТИ, ЕСЛИ ПРОИСХОДИТ

НАСЫЩЕНИЕ

ВСЕХ УЧАСТКОВ
СВЯЗЫВАНИЯ СУБСТРАТА
СИСТЕМОЙ ПЕРЕНОСА.

СПОСОБ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ

ЗАВИСИТ ОТ
ПОЛЯРНОСТИ
ВЕЩЕСТВА.

Гидрофобные: простая
диффузия через
билипидный слой.

Гидрофильные:

- простая диффузия
через каналы
- облегченная
диффузия

КАНАЛЫ – СКВОЗНЫЕ,
ИМЕЮТ БЕЛКОВУЮ
ПРИРОДУ.

ИХ СТЕНКИ ВЫСТЛАНЫ
ПОЛЯРНЫМИ ГРУППИ-
РОВКАМИ.

ДИССОЦИАЦИЯ, АДСОРБЦИЯ
ИОНОВ ИЗ РАСТВОРА ⇒
НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХ-
НОСТИ –
ФИКСИРОВАННЫЕ
ЗАРЯДЫ.

СКВОЗНЫЕ КАНАЛЫ В МЕМБРАНЕ

В большинстве каналов преобладают заряды **ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ**.

**ФАКТОРЫ,
ЛИМИТИРУЮЩИЕ
ПРОНИКНОВЕНИЕ
Веществ через
КАНАЛЫ:**

- **ВЕЛИЧИНА ИХ МОЛЕКУЛ (ИОНОВ)**



**МЕМБРАНА –
«МОЛЕКУЛЯРНОЕ СИТО»
ДЛЯ ПОЛЯРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

- **НАЛИЧИЕ И ЗНАК ЗАРЯДА:
ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДЛЯ
КАТИОНОВ ВЫШЕ,
ЧЕМ ДЛЯ АНИОНОВ.**

ПРОНИКНОВЕНИЕ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ПОРЫ

**ЛУЧШЕ ВСЕГО МЕМБРАНА
ПРОНИЦАЕМА
ДЛЯ НЕБОЛЬШИХ И
ЭЛЕКТРОНЕЙТРАЛЬНЫХ
МОЛЕКУЛ ВОДЫ.**

**Дополнительный, особый
механизм**

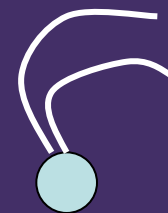
**проникновения воды и
некоторых других
веществ:**

**ЧЕРЕЗ ПОДВИЖНЫЕ
ПОРЫ ЛИПИДНОЙ
ПРИРОДЫ.**

Две основные конформации
мембранных липидов:

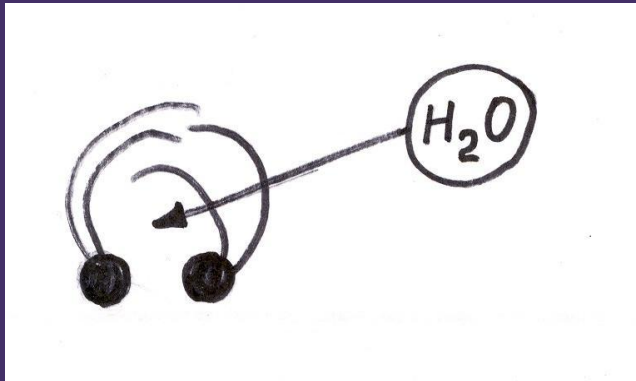
**ТРАНС- и ГОШ-
(хвосты
полностью
вытянуты)**

**ГОШ-
хвосты
частично
свернуты)**



КИНКИ

РЯДОМ С ГОШ-ИЗОМЕРАМИ В МЕМБРАНЕ ОБРАЗУЮТСЯ СВОБОДНЫЕ ОБЪЕМЫ – КИНКИ.



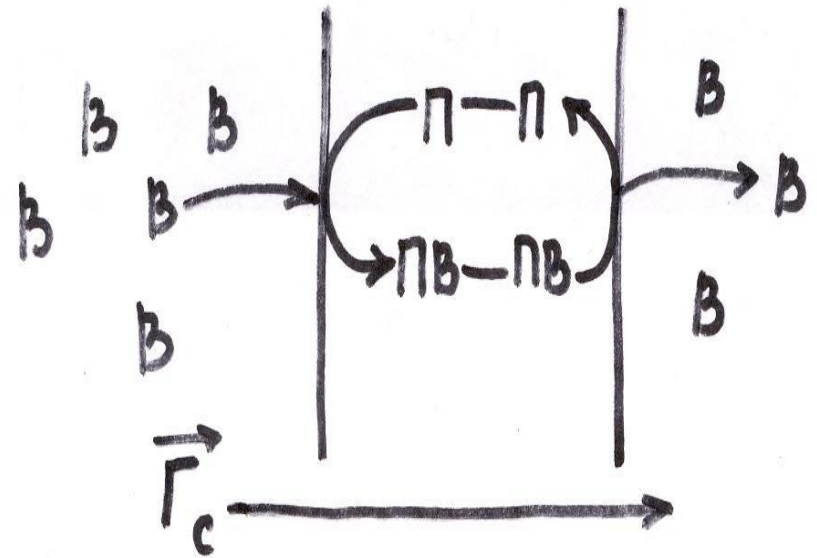
- **КИНКИ МОГУТ ПЕРЕМЕЩАТЬСЯ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПРИ ДВИЖЕНИИ ХВОСТОВ И САМИХ ЛИПИДОВ.**
- **ВОДА ПОПАДАЕТ В КИНКИ И МИГРИРУЕТ С НИМИ.**

ОБЛЕГЧЕННАЯ ДИФФУЗИЯ

**СПЕЦИФИЧЕСКИЙ
ПЕРЕНОСЧИК –
КОМПОНЕНТ МЕМБРАНЫ,
имеющий *ЦЕНТР
СВЯЗЫВАНИЯ*
СУБСТРАТА.**

ВАРИАНТЫ:

**1) Подвижный переносчик,
растворимый в
липидной фазе \Rightarrow
ДИФФУЗИЯ КОМПЛЕКСА
«ПВ»**



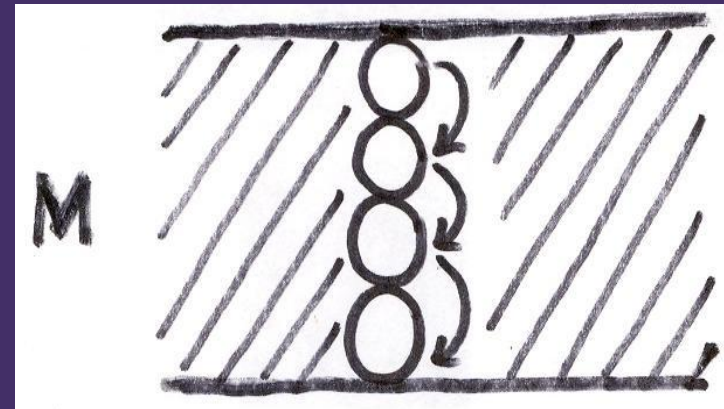
ОБЛЕГЧЕННАЯ ДИФФУЗИЯ

2) Фиксированный переносчик, способный к конформационным перестройкам (белок) \Rightarrow

ДИФФУЗИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФОРМАЦИИ ПЕРЕНОСЧИКА ПРИ СВЯЗЫВАНИИ С СУБСТРАТОМ.

Если белок-переносчик не прошивающий, возможна

«ЭСТАФЕТНАЯ ПЕРЕДАЧА»:



4. АКТИВНЫЙ МЕМБРАННЫЙ ТРАНСПОРТ

В ОСНОВЕ –

СОПРЯЖЕНИЕ

ПРОТИВОГРАДИЕНТНЫХ
ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА

С ГИДРОЛИЗОМ АТФ .

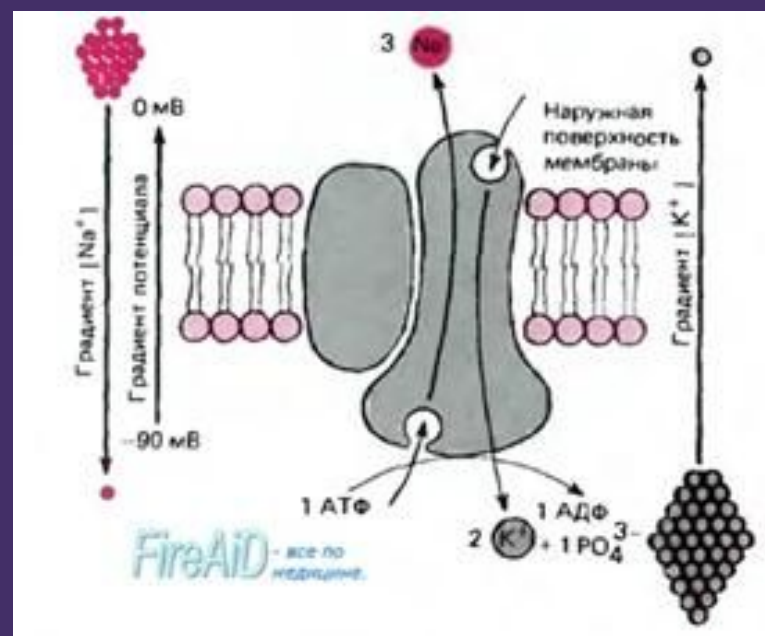
ЭТО СОПРЯЖЕНИЕ
ОСУЩЕСТВЛЯЮТ
*БИОЛОГИЧЕСКИЕ
НАСОСЫ.*

Молекулярный
механизм,
локализованный
в мембране
и способный
транспортировать
вещества
за счет энергии
гидролиза АТФ,
называется
**БИОЛОГИЧЕСКИМ
НАСОСОМ.**

ИОННЫЕ НАСОСЫ

В ПРИРОДЕ
ИМЕЮТСЯ ТОЛЬКО
ИОННЫЕ НАСОСЫ:

- **КАЛИЙ –
НАТРИЕВЫЙ**
- **КАЛЬЦИЕВЫЙ**
- **ПРОТОННЫЙ**



КАЛИЙ-НАТРИЕВЫЙ НАСОС

- Калий-натриевый насос функционирует во всех клетках животных.

Он локализуется в плазматической мембране.

При гидролизе
ОДНОЙ
молекулы АТФ

выводит из цитоплазмы
ТРИ иона НАТРИЯ

и вводит в цитоплазму
из

межклеточной жидкости
ДВА иона КАЛИЯ.

Роль калий-натриевого насоса

1. СОЗДАЕТ И ПОДДЕРЖИВАЕТ НЕРАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ НАТРИЯ И КАЛИЯ МЕЖДУ КЛЕТКОЙ И СРЕДОЙ:

КОНЦЕНТРАЦИЯ КАЛИЯ ВНУТРИ ЖИВЫХ КЛЕТОК НА ПОРЯДОК ВЫШЕ, ЧЕМ ВО ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ:

$$K_i^+ \gg K_e^+;$$

ДЛЯ ИОНОВ НАТРИЯ – НАОБОРОТ:

$$Na_i^+ \ll Na_e^+.$$

Роль калий-натриевого насоса

2. ЭЛЕКТРОГЕНЕН:

СПОСОБСТВУЕТ ТОМУ,

ЧТО ВНУТРЕННЯЯ

ПОВЕРХНОСТЬ

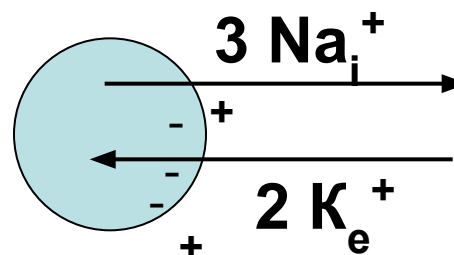
МЕМБРАНЫ

ЗАРЯЖАЕТСЯ

ОТРИЦАТЕЛЬНО

ОТНОСИТЕЛЬНО

ВНЕШНЕЙ.



5.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КАЛИЙ-НАТРИЕВОГО НАСОСА

В КАЧЕСТВЕ НАСОСА
РАБОТАЕТ

ФЕРМЕНТ

«КАЛИЙ, НАТРИЙ-
АКТИВИРУЕМАЯ
АТФ –АЗА».

(АДЕНОЗИНТРИФОСФАТАЗА)

Суммарная реакция,
которую катализирует
фермент, -

ГИДРОЛИЗ
ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ
АТФ:



(Ф_H – неорганический
фосфат, т.е. H_3PO_4)

Активируют фермент
ИОНЫ

внутриклеточного
натрия Na_i^+ и

внеклеточного калия K_e^+ .

АТФ-аза

**АТФ-аза –
мембранный
ИНТЕГРАЛЬНЫЙ
ПРОШИВАЮЩИЙ БЕЛОК.**

**Вторичная структура –
спиральная.**

**Относится к глобулярным
белкам,
имеет четвертичную
структуру.**

**Молекула фермента
содержит две разные
полипептидные цепи –**

**АЛЬФА-СУБЪЕДИНИЦУ
и
БЕТА-СУБЪЕДИНИЦУ.**

Субъединицы фермента

БОЛЬШАЯ СУБЪЕДИНИЦА,
АЛЬФА,
ПЕРЕСЕКАЕТ МЕМБРАНУ
МНОГО (10) РАЗ,
ОБРАЗУЯ
НЕСКОЛЬКО ПЕТЕЛЬ.

Оба конца
пептидной цепи
находятся в цитоплазме.

МЕНЬШАЯ
СУБЪЕДИНИЦА,
БЕТА,
ПЕРЕСЕКАЕТ МЕМБРАНУ
ТОЛЬКО ОДИН РАЗ.

Один ее конец
находится в цитоплазме,
другой обращен во
внеклеточную среду.

Функции субъединиц

АЛЬФА-СУБЪЕДИНИЦА
имеет центры
связывания ИОНОВ
НАТРИЯ И КАЛИЯ

*(петля между вторым и
третьим спирализован-
ными участками),*

а также центр
связывания
ФОСФАТА,
отщепляемого от АТФ
*(петля между IV и V
спиралями).*

БЕТА-СУБЪЕДИНИЦА
не имеет центров
связывания.

Ее роль –
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРАВИЛЬНОЙ
ОРИЕНТАЦИИ
АЛЬФА-
СУБЪЕДИНИЦЫ
В МЕМБРАНЕ.**

Третичная и четвертичная структуры

- Вместе субъединицы образуют компактную **ГЛОБУЛУ-ПРОТОМЕР.**
- Для выполнения функции катализа **НЕСКОЛЬКО ПРОТОМЕРОВ** (по всей видимости, **ЧЕТЫРЕ**) **ОБЪЕДИНЯЮТСЯ В ОЛИГОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКС.**

**В ОСНОВЕ РАБОТЫ
ФЕРМЕНТА
В КАЧЕСТВЕ НАСОСА
ЛЕЖИТ
ЕГО СПОСОБНОСТЬ
К ИЗМЕНЕНИЮ
КОНФОРМАЦИИ.**

Конформации фермента

В исходной
конформации E_1
петли с активными
центрами находятся в
цитоплазме.

Фермент
взаимодействует с
АТФ и
внутриклеточными
ионами натрия.

ЕГО АКТИВНЫЕ
ЦЕНТРЫ
СВЯЗЫВАЮТ И
УДЕРЖИВАЮТ
ИОНЫ НАТРИЯ
И ТЕРМИНАЛЬНЫЙ
ФОСФАТ АТФ.

Конформации фермента

При переходе
в конформацию
 E_2
меняется
локализация
и структура
ионных центров
связывания.

В результате петля с
ионным центром
связывания
оказывается не в
цитоплазме,
а внутри мембраны,
ПРИЧЕМ САМ ЦЕНТР
ОБРАЩЕН НАРУЖУ,
ВО ВНЕКЛЕТОЧНУЮ
СРЕДУ.

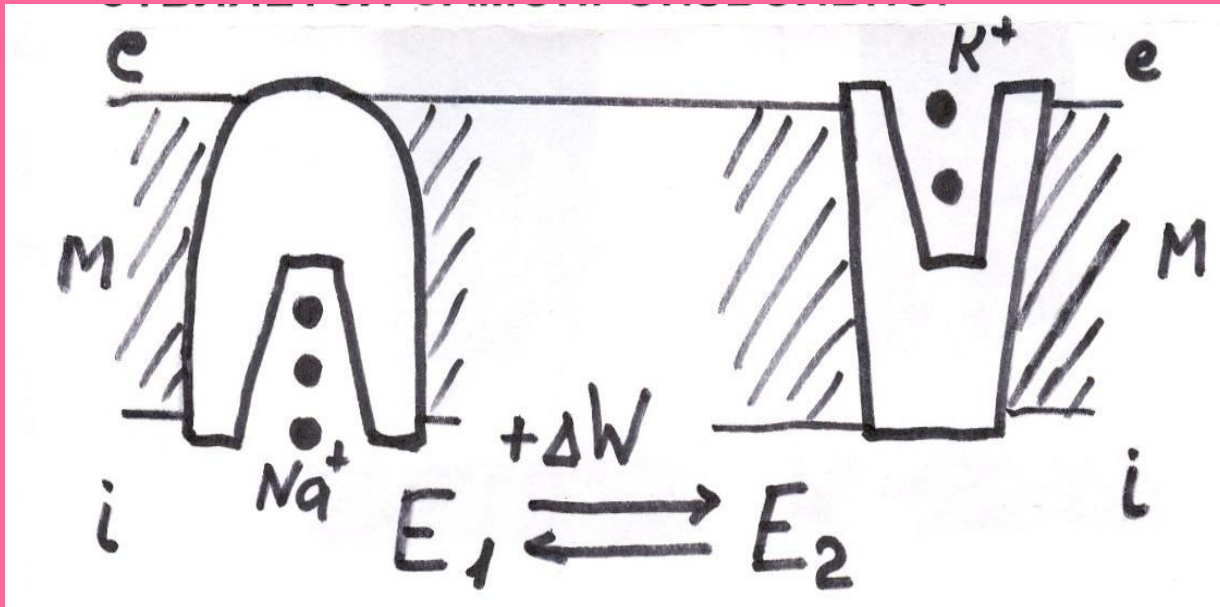
Конформации фермента

ОН УТРАЧИВАЕТ
СПОСОБНОСТЬ
УДЕРЖИВАТЬ НАТРИЙ

И, НАОБОРОТ,
ПРИБРЕТАЕТ
ВЫСОКОЕ
СРОДСТВО
К КАЛИЮ.

- Минимуму свободной энергии отвечает ИСХОДНАЯ КОНФОРМАЦИЯ E_1 , поэтому ПЕРЕХОД В КОНФОРМАЦИЮ E_2 требует ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ.
- ОБРАТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ САМОПРОИЗВОЛЬНО.

Перемена конформаций



Стадии работы насоса

**РАБОТА НАСОСА
ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ
В ПЯТЬ СТАДИЙ.**

I

**ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ
ФЕРМЕНТА** за счет
внутриклеточной АТФ.
**АКТИВАТОРЫ –
ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ
ИОНЫ НАТРИЯ.**

II

**ИЗМЕНЕНИЕ
КОНФОРМАЦИИ
ФЕРМЕНТА** за счет
энергии
**МАКРОЭРГИЧЕСКОЙ
СВЯЗИ**
и **ПЕРВЫЙ
ПРОТИВОГРАДИЕНТ-
НЫЙ ПЕРЕНОС ИОНОВ
(Na⁺).**

Стадии работы насоса

III

ИОНООБМЕН:

**ИОНЫ НАТРИЯ (3)
ВЫСВОБОЖДАЮТСЯ
И УХОДЯТ В СРЕДУ.**

**ИОНЫ КАЛИЯ (2)
СВЯЗЫВАЮТСЯ (на
наружной стороне
мембраны)
С АКТИВНЫМ
ЦЕНТРОМ.**

IV

***ОБРАТНОЕ
ИЗМЕНЕНИЕ
КОНФОРМАЦИИ
И
ВТОРОЙ
ПРОТИВОГРАДИЕНТ-
НЫЙ ПЕРЕНОС
ИОНОВ (K⁺).***

Стадии работы насоса

V

ЗАВЕРШЕНИЕ ГИДРОЛИЗА АТФ.

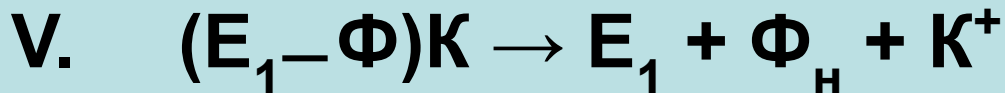
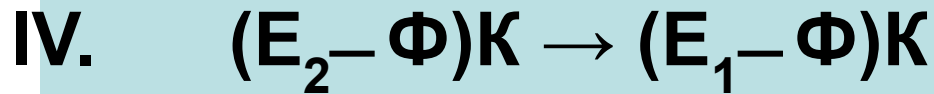
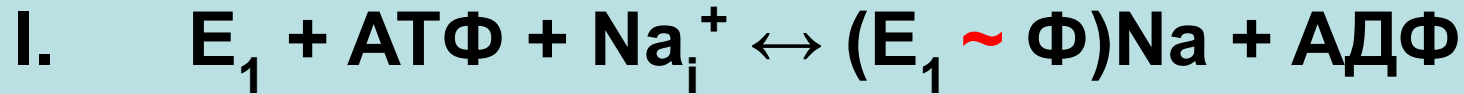
**Фосфат и ионы калия
высвобождаются в
цитоплазму.**

**Фермент возвращается в
исходное свободное
состояние**

**и готов к следующему
циклу работы.**



Уравнения стадий



ОБЪЯВЛЕНИЕ

СЛЕДУЮЩАЯ ЛЕКЦИЯ

ВМЕСТО 8 МАРТА

**СОСТОИТСЯ 7 МАРТА, ВО ВТОРНИК,
НА ПЕРВОЙ ПАРЕ (8.15 – 9.50),
В ЛЕКЦИОННО АУДИТОРИИ №3.**

**ЛЕКЦИЯ БУДЕТ ПОСВЯЩЕНА
БИОПОТЕНЦИАЛАМ, А ЭТО
ЧРЕЗВЫЧАЙНО ВАЖНАЯ ТЕМА.**

ПОЗДРАВЛЕНИЕ

**ВСЮ МУЖСКУЮ ЧАСТЬ АУДИТОРИИ
ПОЗДРАВЛЯЮ С 23 ФЕВРАЛЯ!
ЖЕЛАЮ СЧАСТЬЯ, УДАЧИ,
ВЗАИМОПОНИМАНИЯ С ЖЕНСКОЙ
ЧАСТЬЮ НАСЕЛЕНИЯ!**

**И ВСЕМ – ОТЛИЧНО ПРОВЕСТИ
ВЫПАВШИЕ ЧЕТЫРЕ ДНЯ ОТДЫХА!**