

# АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ

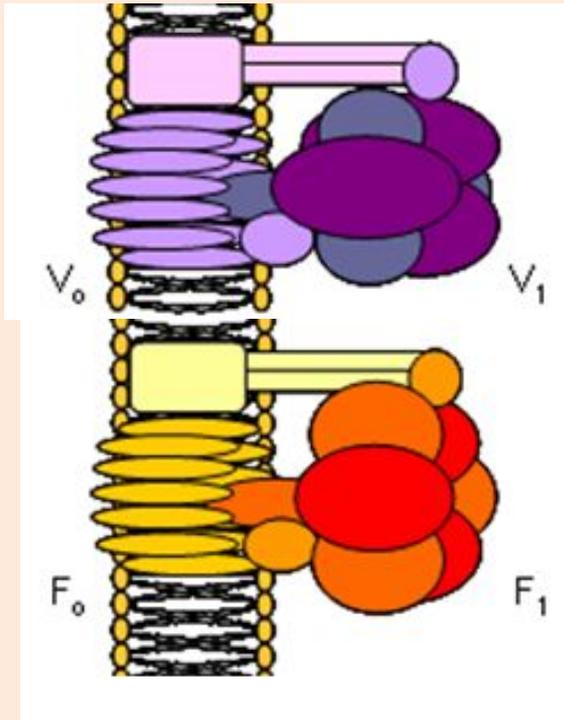
# ОБЩИЕ СВОЙСТВА:

- ТРАНСПОРТ СОПРЯЖЕН С **ГИДРОЛИЗОМ АТФ**
- ПЕРЕНОС ИОНОВ ОСУЩЕСТВЛЯЮТ **ТРАНСПОРТНЫЕ АТФАЗЫ**
- ТРАНСПОРТ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ **ПРОТИВ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ**

# ФУНКЦИЯ:

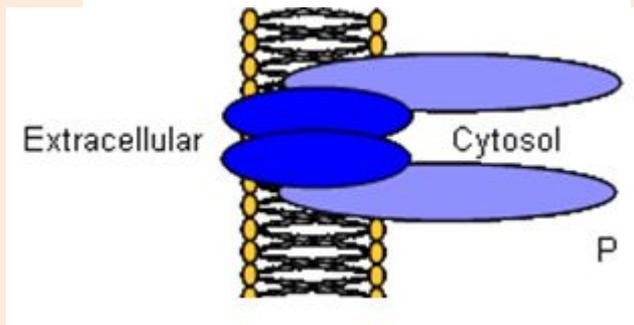
ПОДДЕРЖАНИЕ ИОННЫХ ГРАДИЕНТОВ

# ТИПЫ АТФАЗ



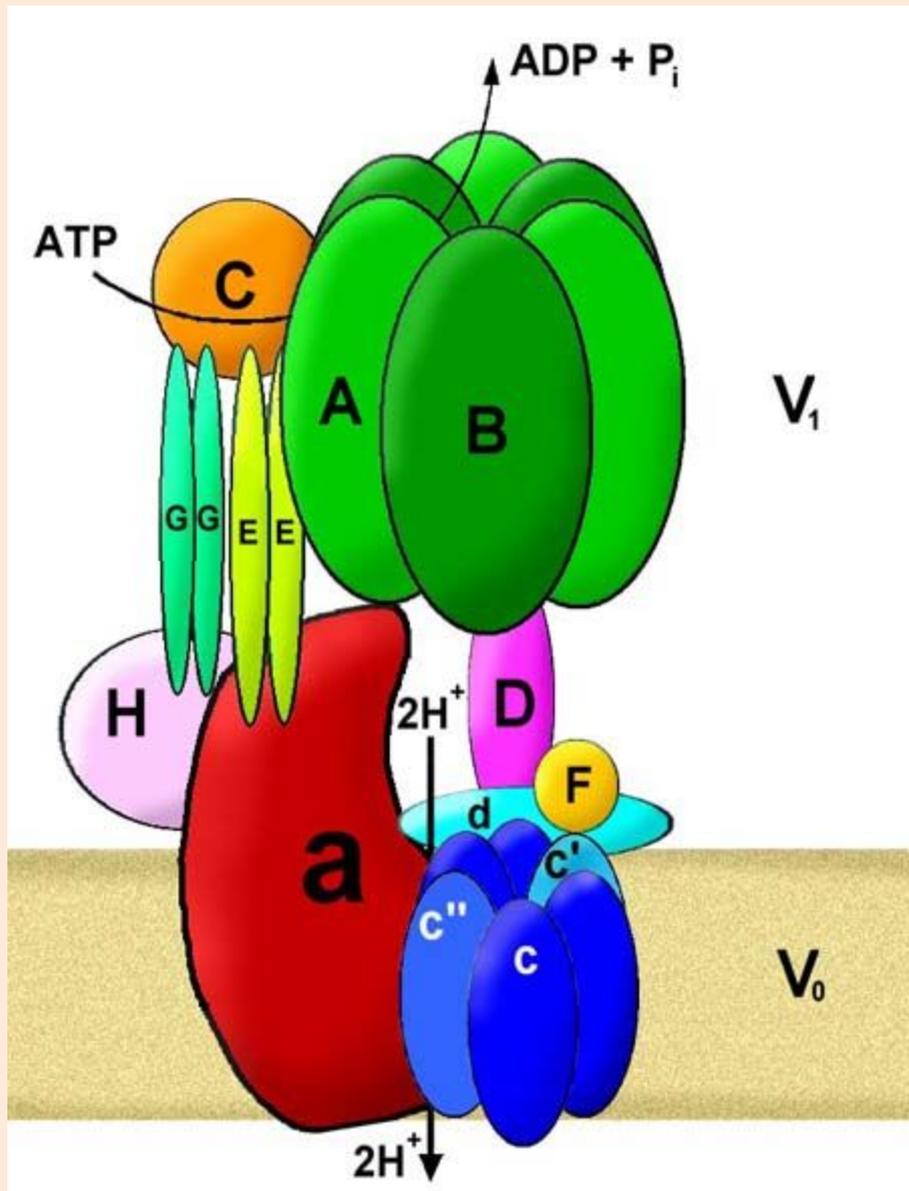
АТФаза V-типа

АТФаза F-типа



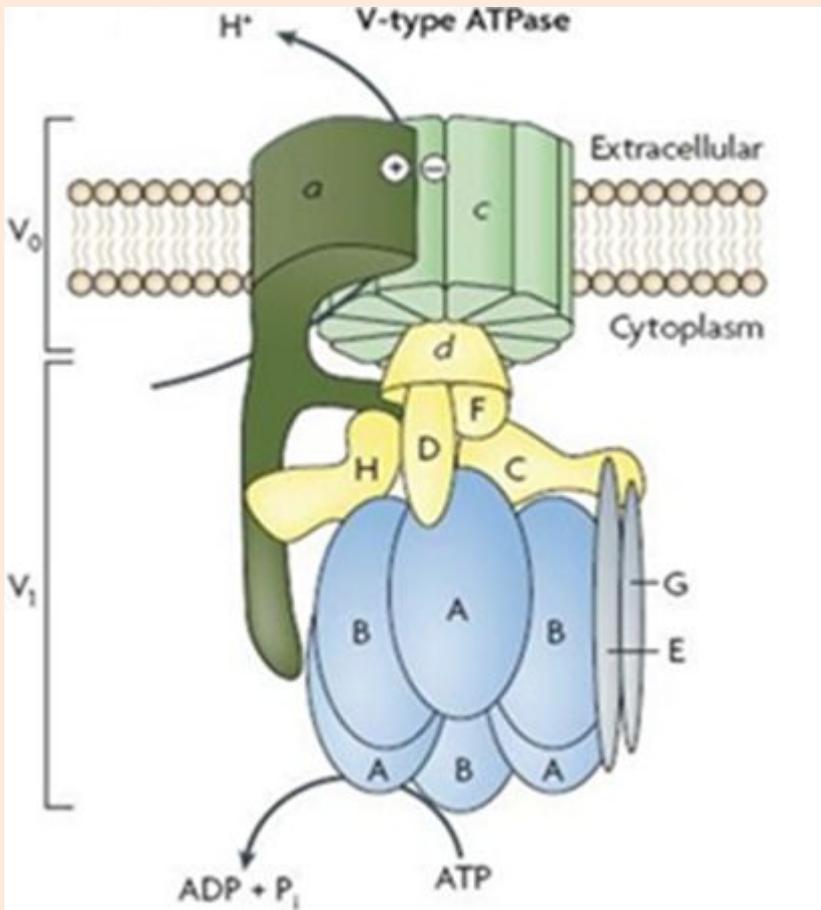
АТФаза P-типа

# АТФазы V типа



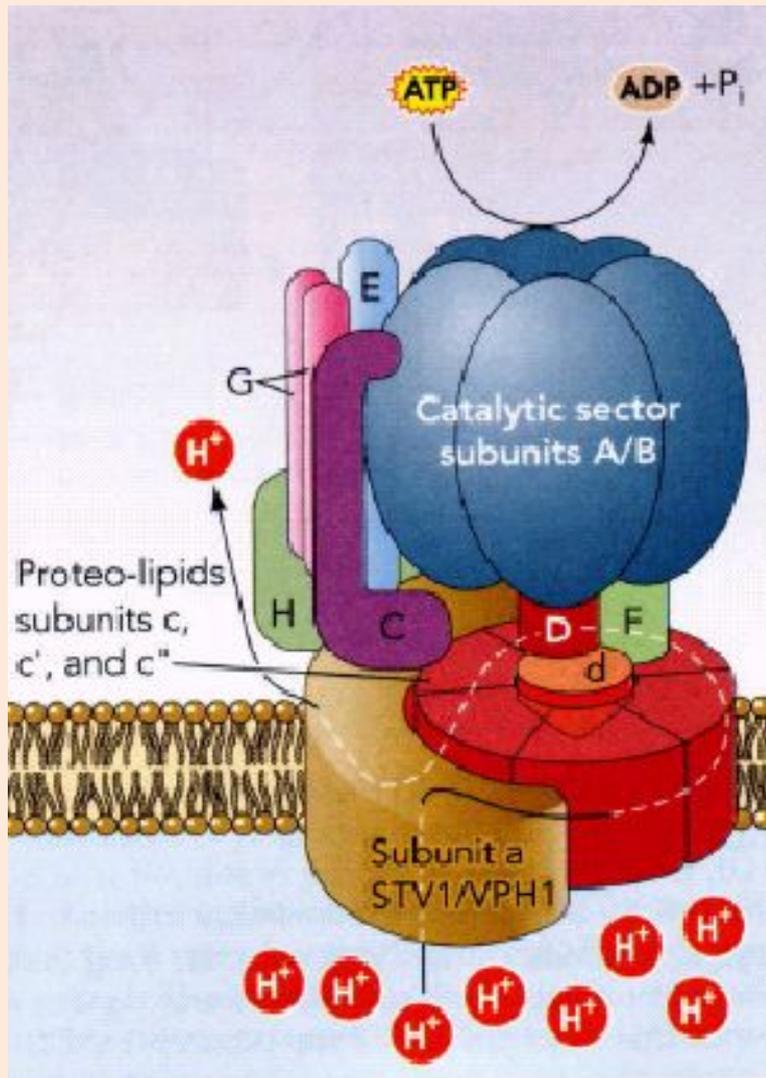
## ЛОКАЛИЗАЦИЯ:

- МЕМБРАНЫ ВАКОЛЕЙ ДРОЖЖЕЙ
- ТОНОПЛАСТЫ РАСТЕНИЙ
- ЛИЗОСОМЫ
- ЭНДОСОМЫ
- СЕКРЕТОРНЫЕ ГРАНУЛЫ



$V_0$  – ГИДРОФОБНАЯ ЧАСТЬ  
(УЧАСТВУЕТ В ТРАНСЛОКАЦИИ  
ПРОТОНОВ)

$V_1$  – ВОДОРАСТВОРИМАЯ ЧАСТЬ  
ОБЛАДАЕТ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ  
АКТИВНОСТЬЮ, КАТАЛИЗИРУЕТ КАК  
СИНТЕЗ, ТАК И ГИДРОЛИЗ АТФ



## ФУНКЦИИ

- ПЕРЕНОСЯТ ПРОТОНЫ
- УЧАСТВУЮТ В ТРАНСПОРТЕ АНИОНОВ, АМИНОКИСЛОТ И РЕПАРАЦИИ МЕМБРАН ПРИ ЭНДО- И ЭКЗОЦИТОЗЕ

**ИНГИБИТОРЫ:** НИТРАТЫ, SH-РЕАГЕНТЫ, KSCN, ДЦКД (дициклогексилкарбодиимид)

## ТРАНСПОРТ ПРОТОНОВ В ТОНОПЛАСТЕ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ

ПРОТОНЫ ПОСТУПАЮТ ВНУТРЬ  
ВАКУОЛИ И СОЗДАЮТ  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ** (от +20 до +50  
мВ) И **ХИМИЧЕСКИЙ** (от 1,5 до 4,5  
единиц pH) **ГРАДИЕНТЫ**.

ЭТА ЭНЕРГИЯ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ  
ДЛЯ ТРАНСПОРТА ДРУГИХ  
ИОНОВ И ВЕЩЕСТВ.

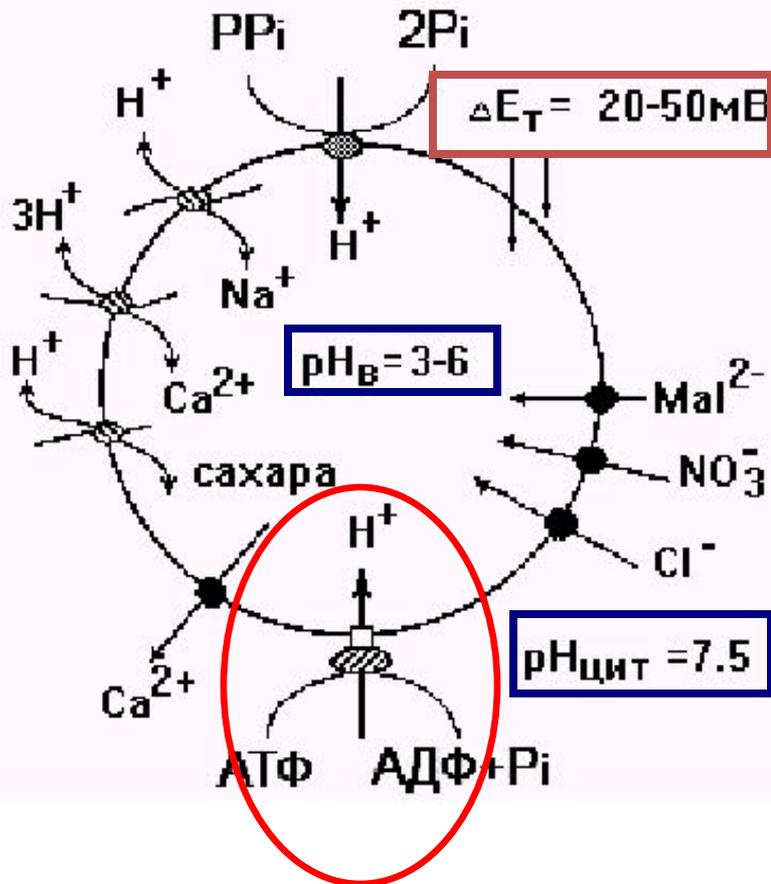


Рис. 48. Электрогенный  
транспорт ионов водорода  
 $H^+$ -АТФазой и  
 $H^+$ -пирофосфатазой ( $H^+$ -РРазой)

# АТФаза F типа

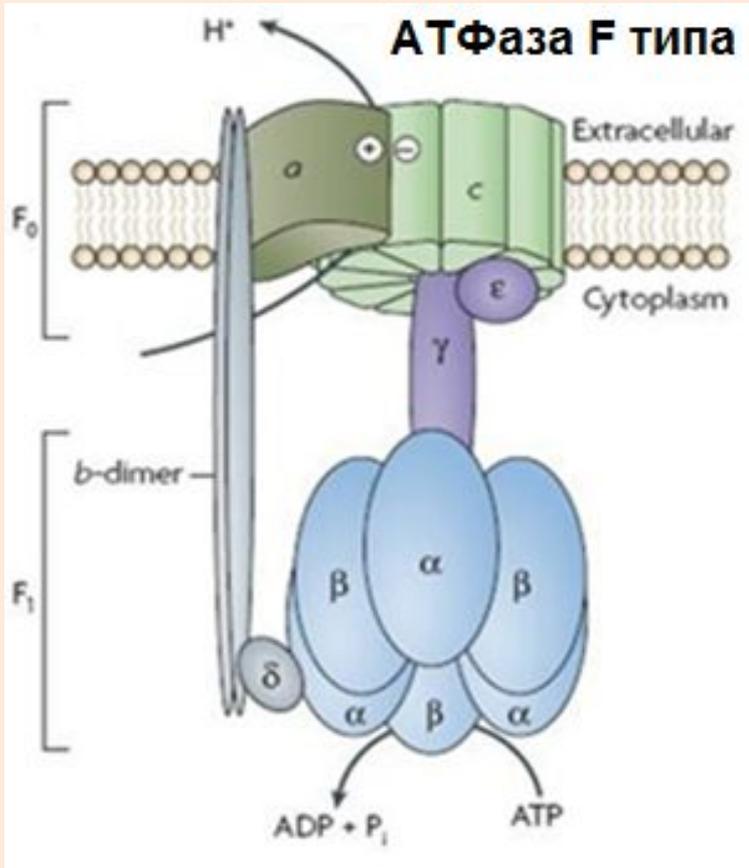
**ЛОКАЛИЗАЦИЯ:**

МЕМБРАНЫ БАКТЕРИЙ, ХЛОРОПЛАСТОВ И МИТОХОНДРИЙ

**СТРОЕНИЕ:**

$F_0$  – ГИДРОФОБНАЯ ЧАСТЬ  
(ТРАНСЛОКАЦИЯ ПРОТОНОВ)

$F_1$  – ВОДОРАСТВОРИМАЯ ЧАСТЬ ОБЛАДАЕТ  
КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ



**ИНГИБИТОРЫ:** ОЛИГОМИЦИН, ДЦКД, ИОНЫ КАДМИЯ

**ФУНКЦИЯ:** СОЗДАНИЕ ГРАДИЕНТА ПРОТОНОВ

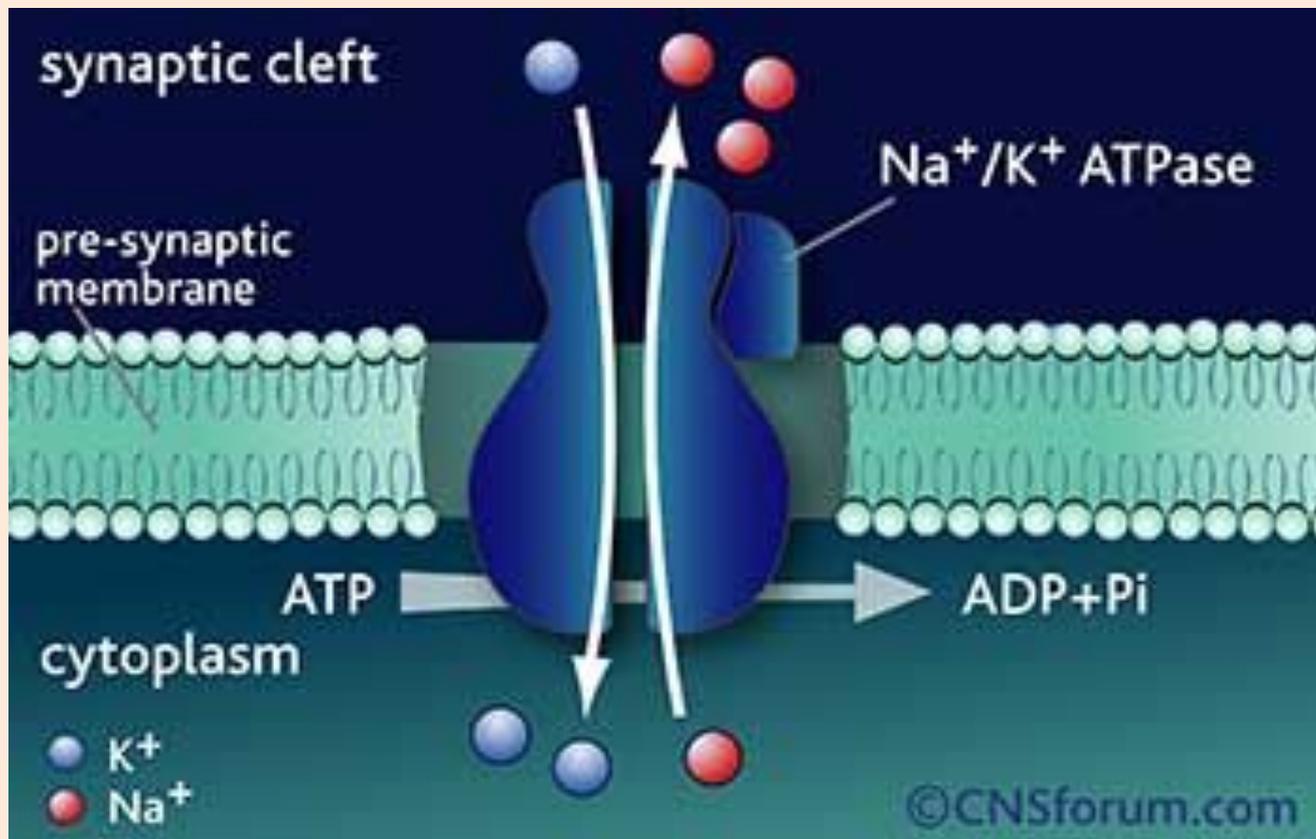
# АТФазы Р типа

**ОБЩЕЕ СВОЙСТВО:** ОБРАЗОВАНИЕ **ФОСФОРИЛИРОВАННОГО ПРОДУКТА**, КОТОРЫЙ УЧАСТВУЕТ В РЕАКЦИОННОЙ ЦИКЛЕ

**ПРИМЕРЫ:** Na/K-АТФаза, Са-АТФаза, Н-АТФаза ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ МЕМБРАН ЭУКАРИОТИЧЕСКИХ КЛЕТОК

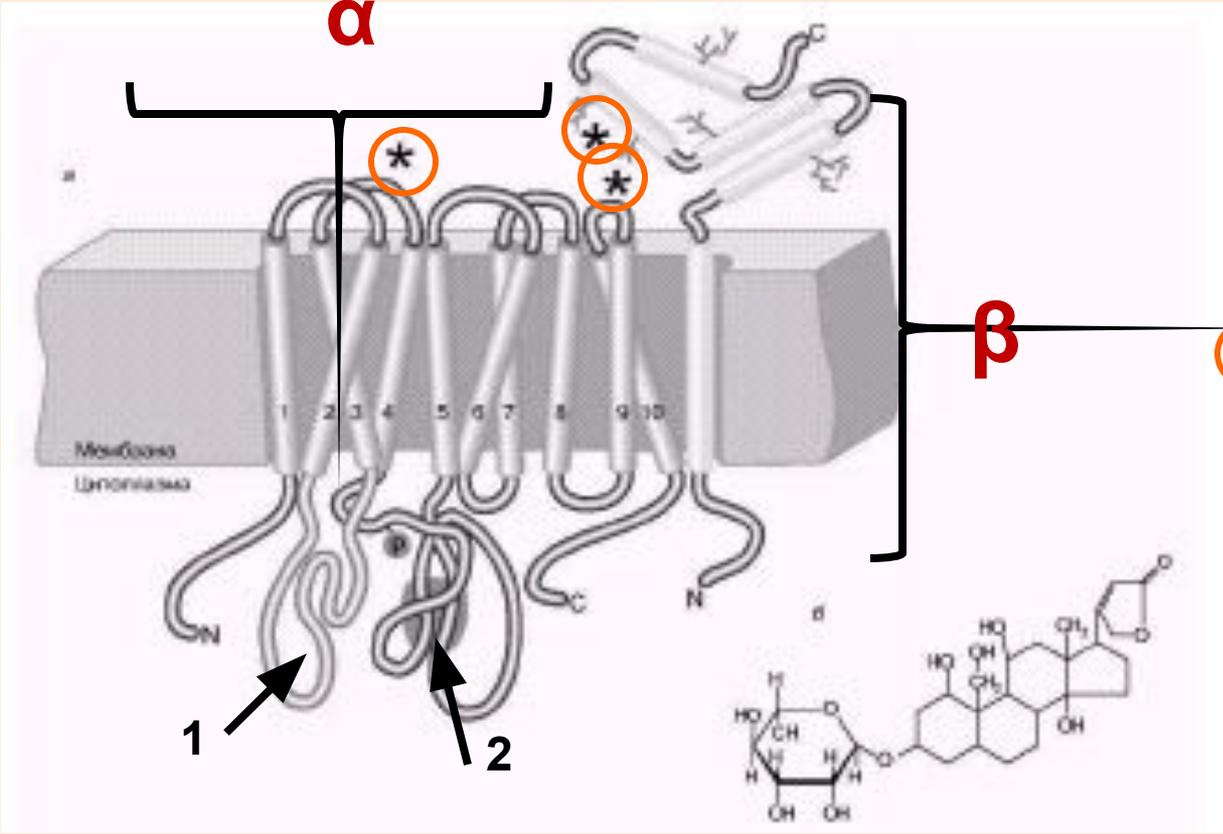
**ИНГИБИТОР:** ВАНАДАТ-ИОН

## Na/K АТФаза



ЛОКАЛИЗОВАНА НА ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЕ  
СОЗДАЕТ ГРАДИЕНТ ИОНОВ НАТРИЯ И КАЛИЯ

# СТРУКТУРА $\text{Na}^+/\text{K}^+$ АТФазы: состоит из 2 полипептидных цепей $\alpha$ и $\beta$



1 – участок связывания ионов

2 – участок связывания АТФ

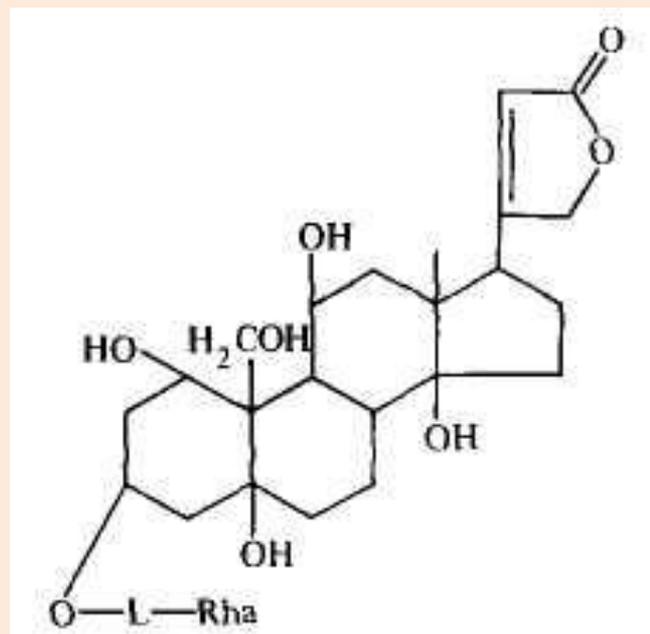
\* – участки связывания убаина

Формула убаина

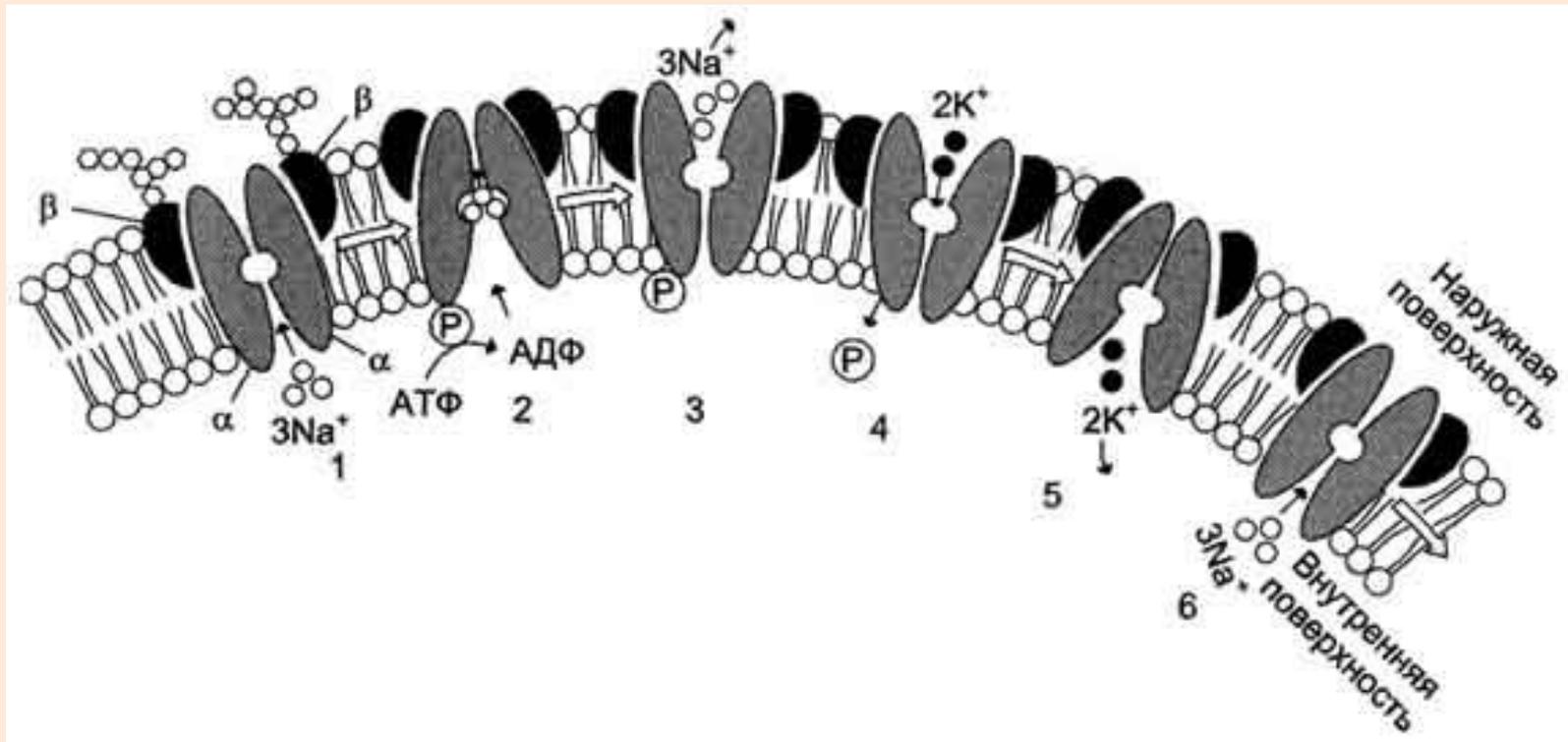
# УАБАИН – ингибитор Na,K-АТФазы

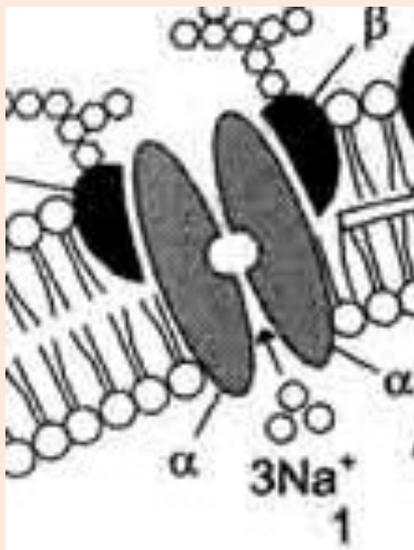


Строфант

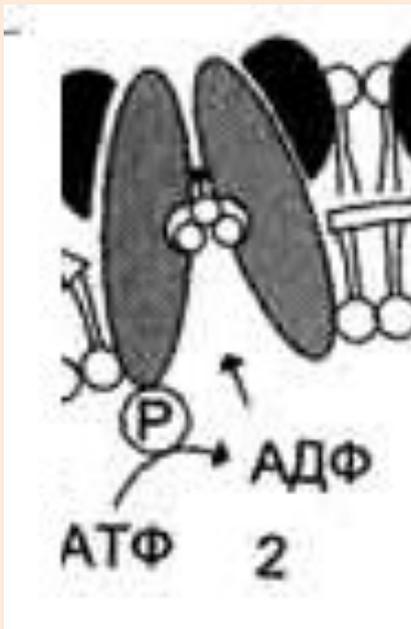


# РЕАКЦИОННЫЙ ЦИКЛ Na/K АТФазы

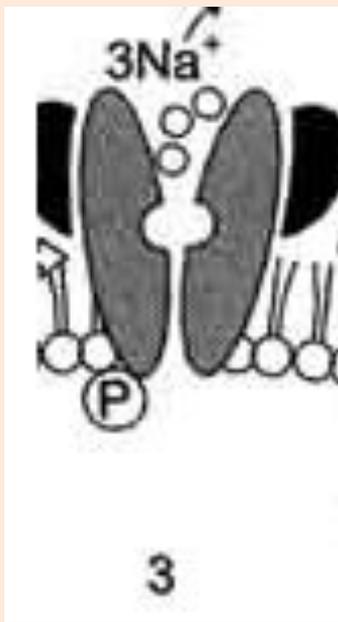




**1** –  $3\text{Na}^+$  связываются специфическим центром транслоказы;



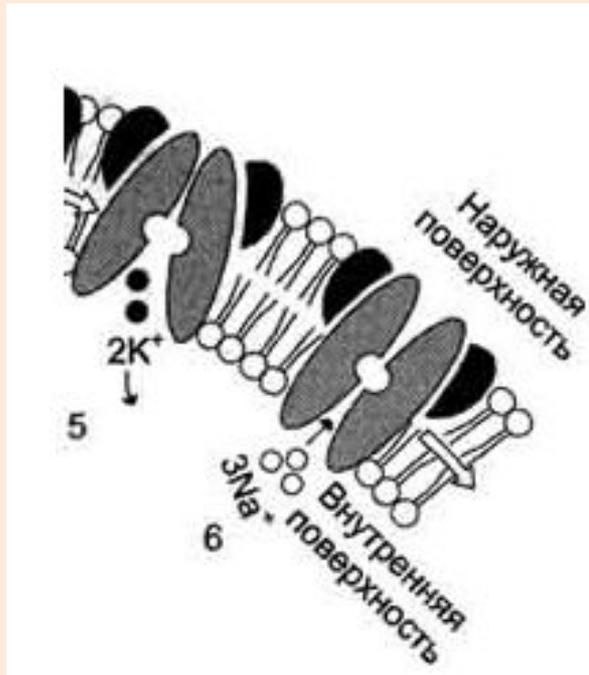
**2** - изменение конформации транслоказы, вызванное присоединением  $3\text{Na}^+$ , приводит к активации каталитической субъединицы и увеличению сродства активного центра к субстрату (АТФ). Протекает реакция аутофосфорилирования по карбоксильной группе аспарагиновой кислоты;



**3** - аутофосфорилирование изменяет заряд и конформацию транслоказы, она закрывается с внутренней стороны мембраны и открывается с наружной, уменьшается сродство к ионам натрия, и они диссоциируют от переносчика;



**4** - Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-АТФ-аза, открытая с наружной стороны мембраны, имеет специфический центр связывания для **2K<sup>+</sup>**; Присоединение двух ионов калия к фосфорилированной транслоказе вызывает изменение конформации и появление аутофосфатазной активности. Протекает реакция аутодефосфорилирования;



**5** - дефосфорилирование изменяет заряд и конформацию транслоказы, она закрывается с наружной стороны мембраны и открывается с внутренней, уменьшается сродство к ионам калия и они диссоциируют от Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-АТФ-азы;

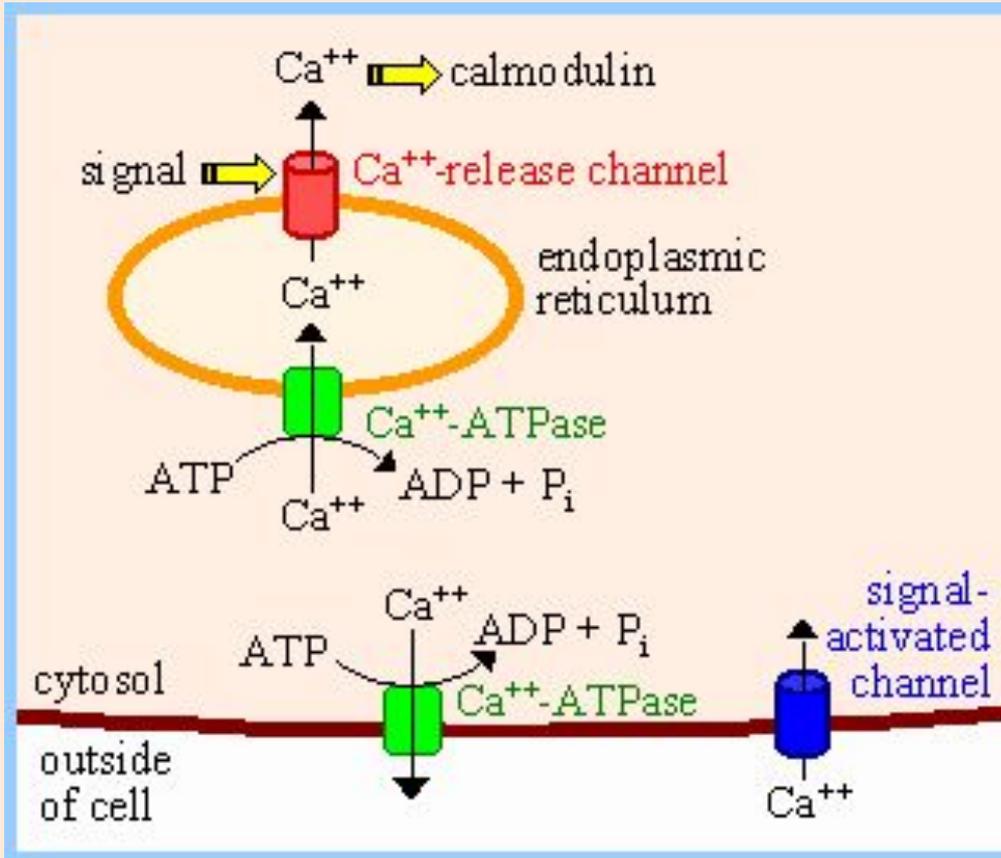
**6** - АТФ-аза возвращается в первоначальное состояние.

# РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ Na/K АТФазы

1. СООТНОШЕНИЕ Na/K и СОДЕРЖАНИЕ АТФ  
(факторы краткосрочной регуляции)
2. ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ ПРОТЕИНАМИНАЗАМИ, ЧТО  
ПРИВОДИТ К СНИЖЕНИЮ АКТИВНОСТИ (фактор  
долгосрочной регуляции)

**ИНГИБИТОР** – УБАИН И ДРУГИЕ СЕРДЕЧНЫЕ  
ГЛИКОЗИДЫ

# Ca<sup>2+</sup> АТФаза



## ЛОКАЛИЗАЦИЯ:

- САРКО- (ЭНДО)-ПЛАЗМАТИЧЕСКИЙ РЕТИКУЛУМ
- ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА

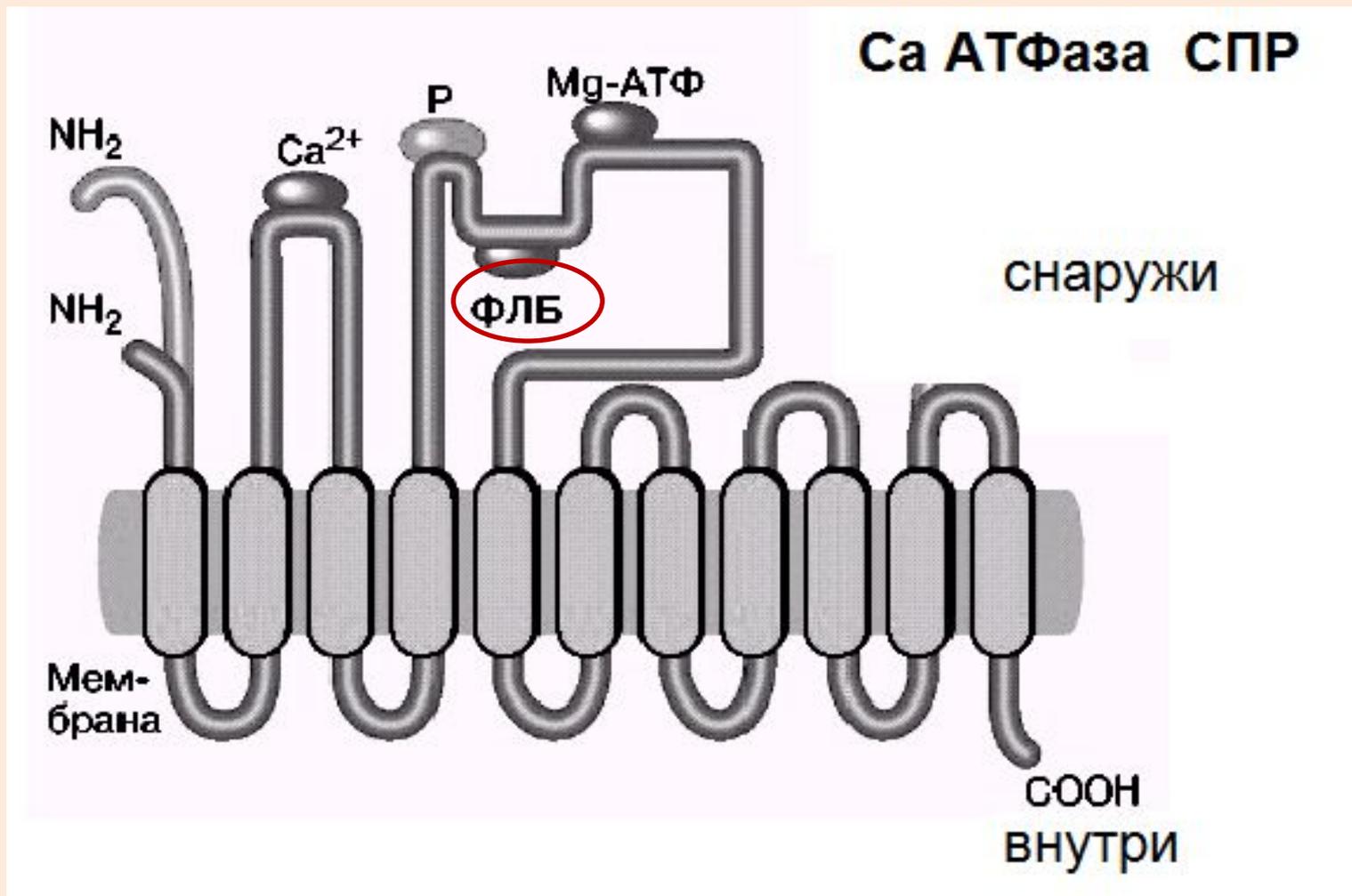
ВСЕ **Ca<sup>2+</sup> АТФазы** — МОНОМЕРНЫЕ БЕЛКИ, Т.Е. СОСТОЯТ ИЗ ОДНОЙ ПОЛИПЕПТИДНОЙ ЦЕПИ

**Ca<sup>2+</sup> АТФаза СПР** и

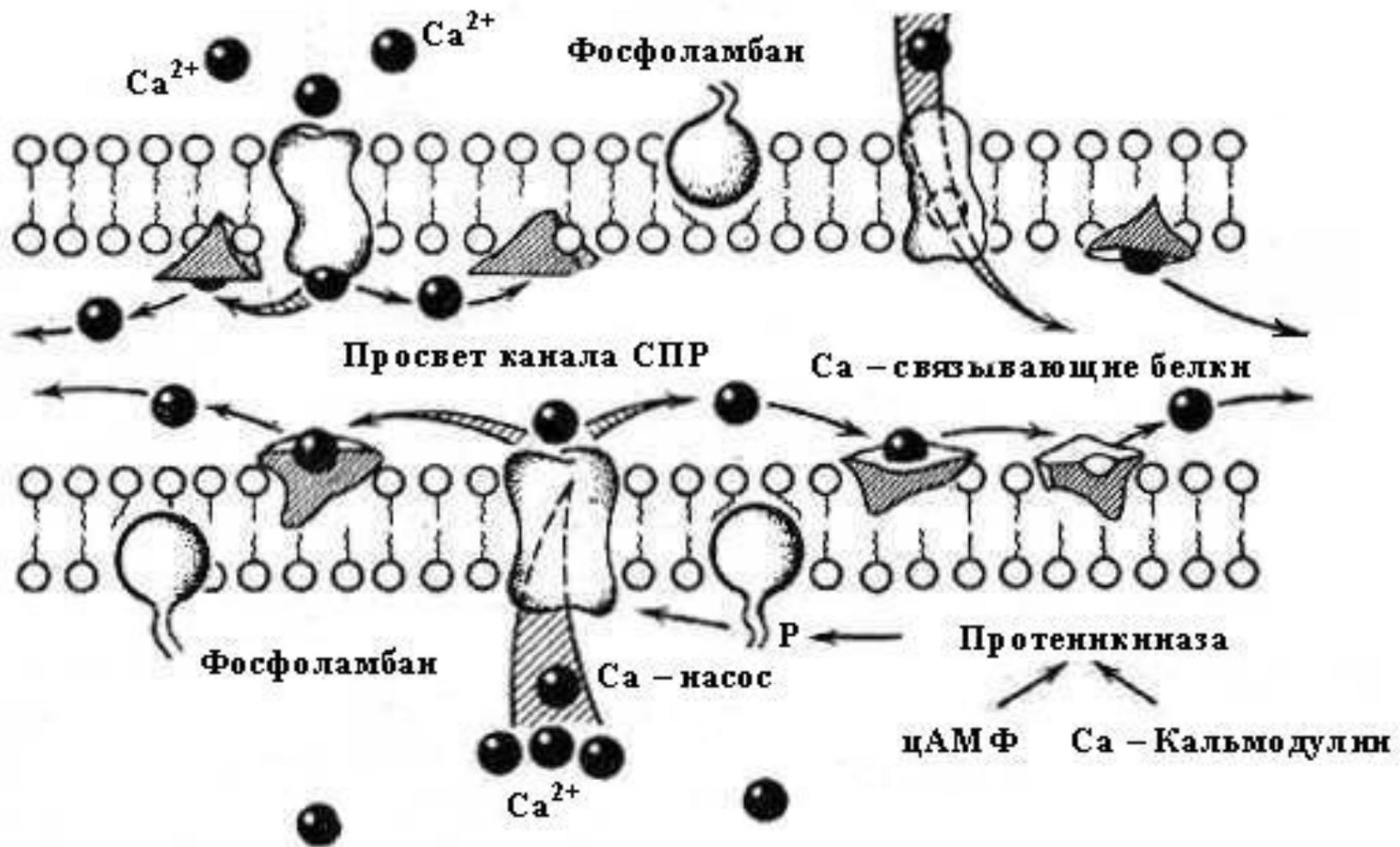
**ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ**

БЛИЗКИ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ, НО ОБРАЗУЮТСЯ ПРИ УЧАСТИИ РАЗНЫХ ГЕНОВ

ОТЛИЧАЮТСЯ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЕ, ПО МЕХАНИЗМАМ РЕГУЛЯЦИИ

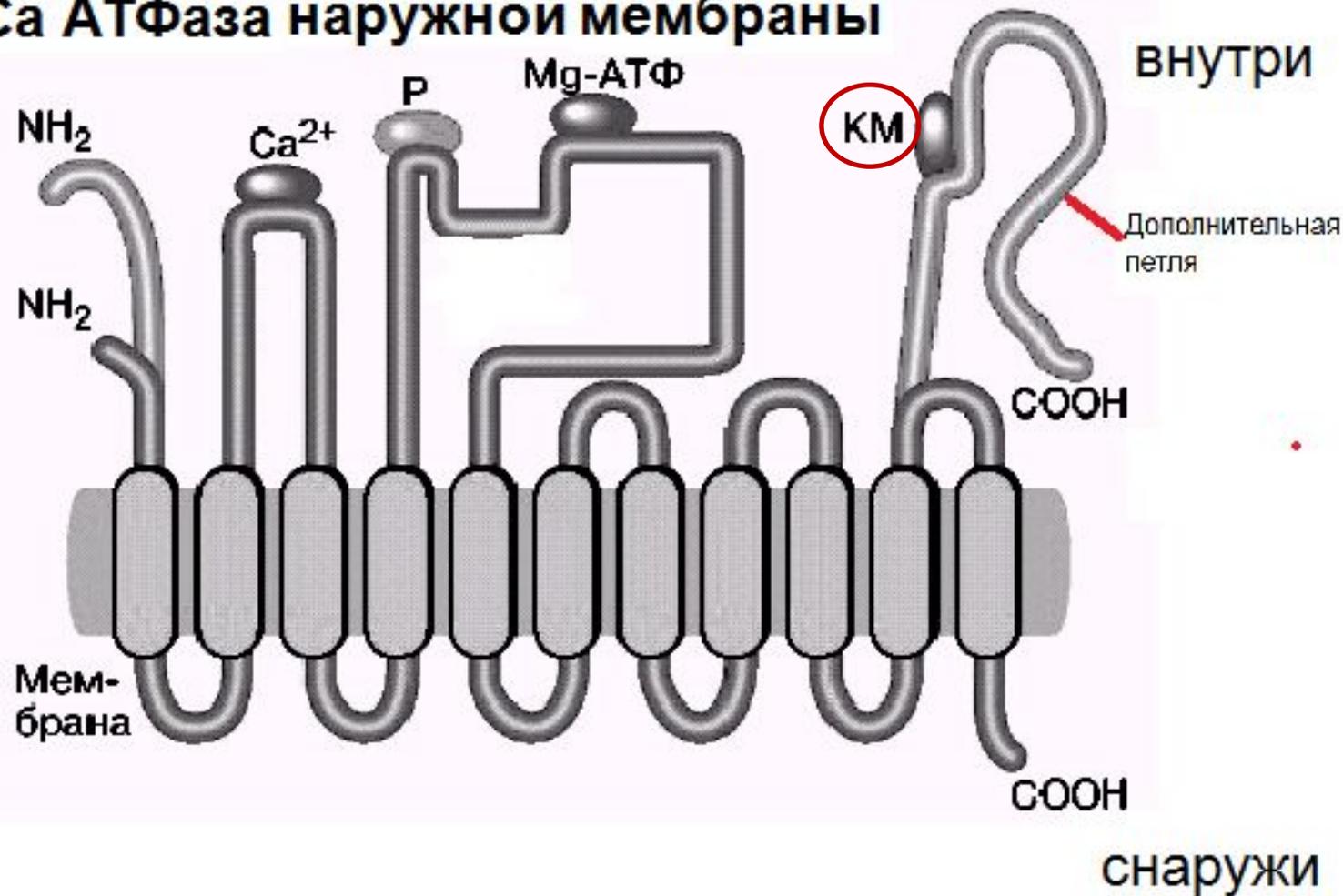


**ФЛБ – фосфоламбан** (у Ca АТФазы саркоплазматического ретикулума),



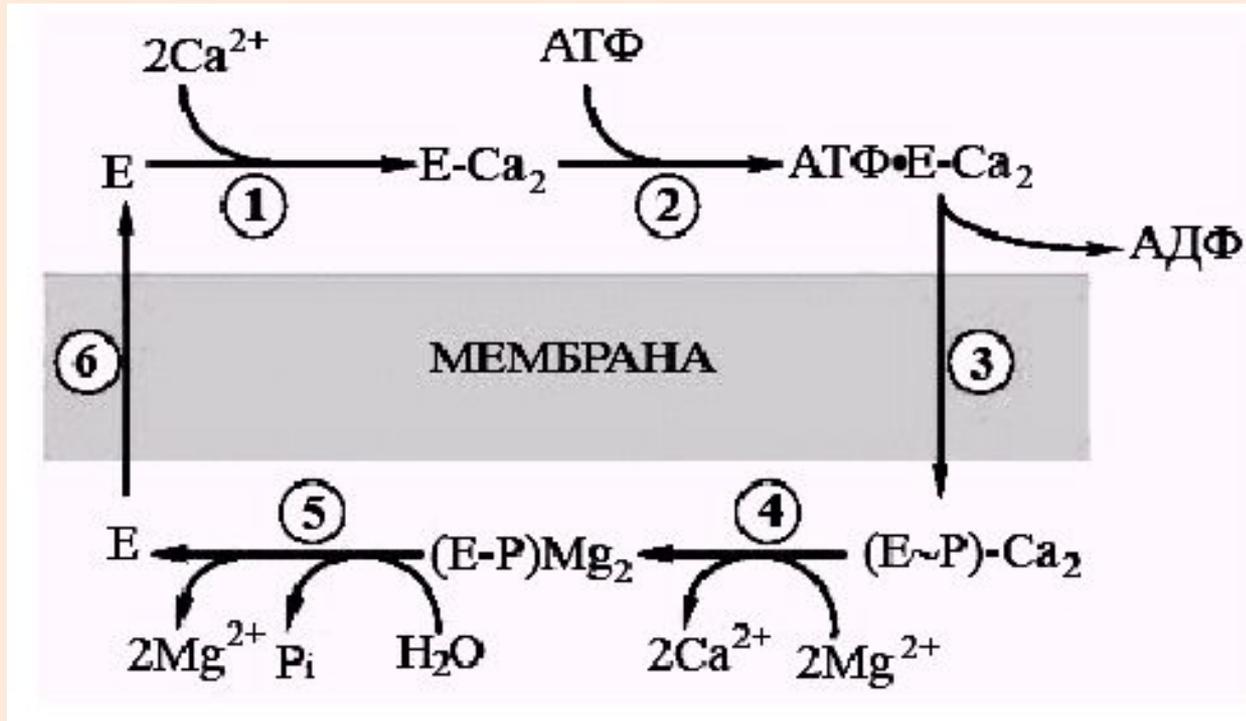
В **фосфорилированном** состоянии фосфоламбан стимулирует **кальциевый насос** ретикулума миоцитов, ускоряя восстановление кальциевых градиентов.

## Ca АТФаза наружной мембраны



**KM – кальмодулин** (у Ca АТФазы плазматической мембраны )

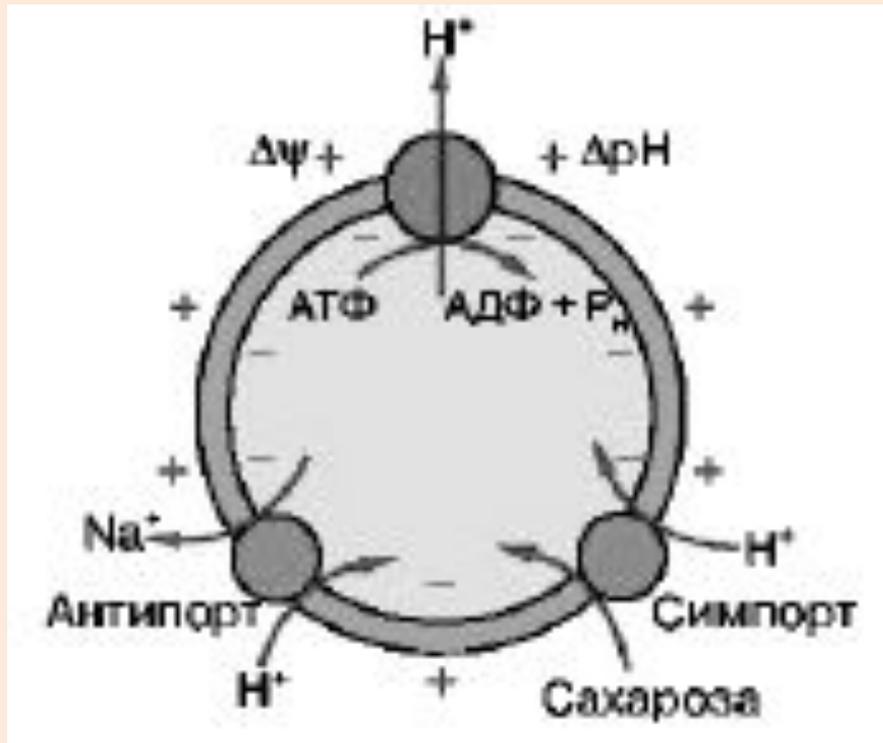
# ЦИКЛ РАБОТЫ $\text{Ca}^{2+}$ АТФазы



СТАДИИ ГИДРОЛИЗА **АТФ** ЧЕРЕДУЮТСЯ СО СТАДИЯМИ ПЕРЕНОСА ИОНОВ КАЛЬЦИЯ

# H<sup>+</sup>АТФаза

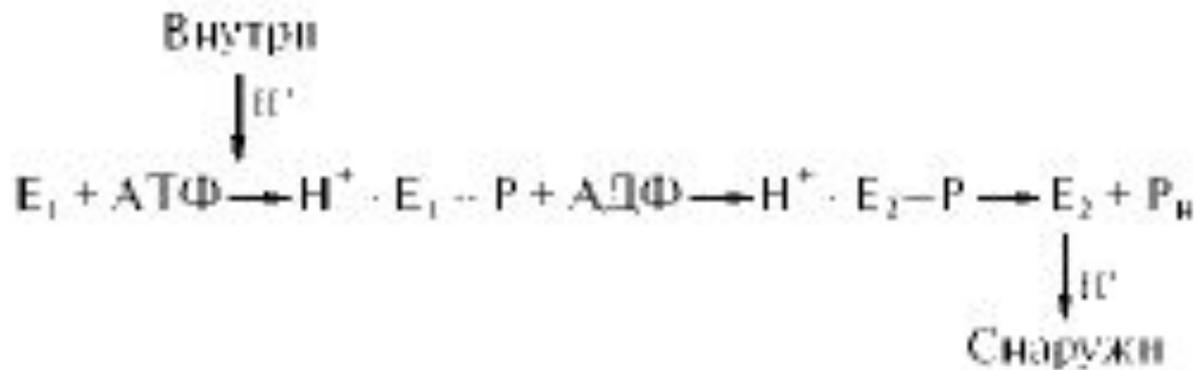
**ЛОКАЛИЗАЦИЯ:** ПЛАЗМАТИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК



**H<sup>+</sup>-АТФаза** – это интегральный белок, полипептидная цепь которого десять раз пересекает поверхностную (плазматическую) мембрану.

Полагают, что в мембране **H<sup>+</sup>-АТФаза** функционирует в виде олигомера и состоит из двух субъединиц.

## ЦИКЛ РАБОТЫ $H^+$ -АТФазы

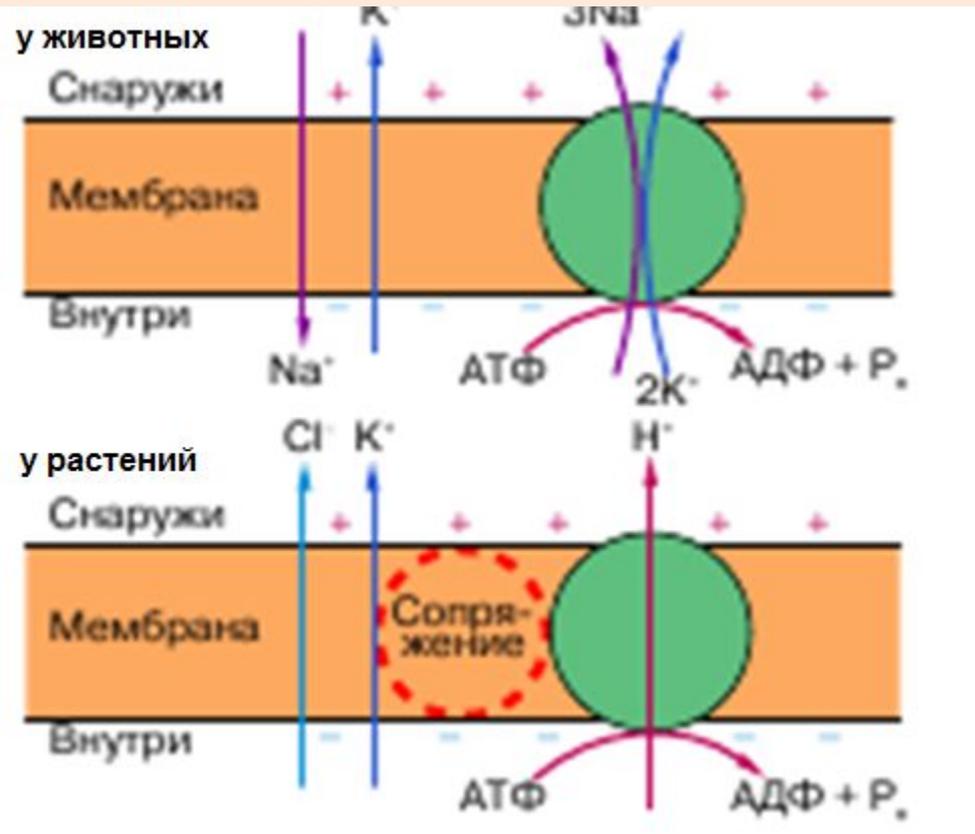


## Роль H<sup>+</sup>-АТФазы:

- поддерживает рН цитоплазмы близкий к нейтральному
- создает на мембране разность потенциалов ( $\Delta\psi$ ), во многом определяя электрические свойства высших растений
- обеспечивает вторичный активный транспорт

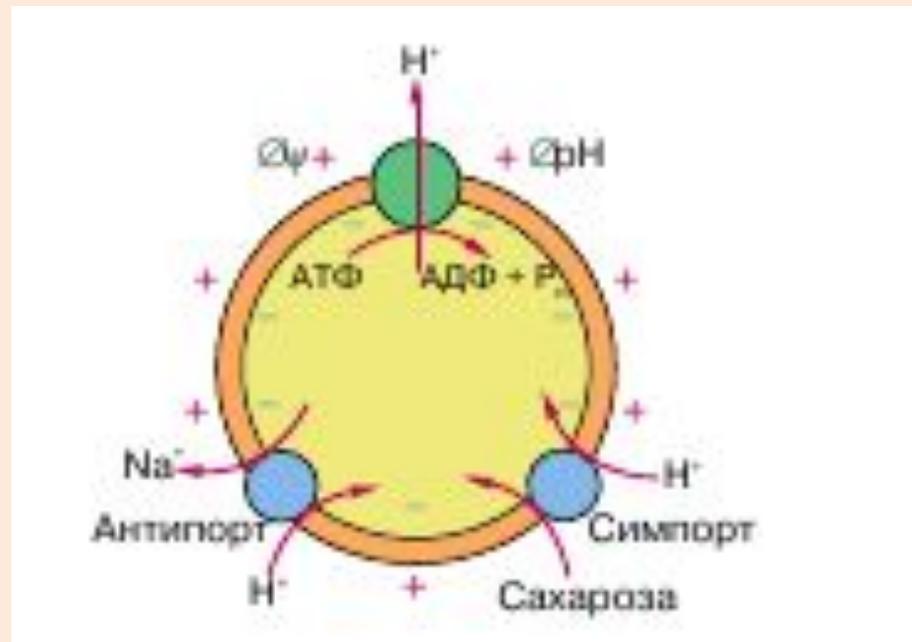
Механизм возникновения ПД в проводящих пучках высших растений имеет большое сходство с таковым в нервах животных.

Он является ионным по природе, только в возникновении ПД у высших растений принимают участие не  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , как у животных, а  $\text{Cl}^-$  и  $\text{K}^+$ .



Большой выход ионов калия во время ПД в растительных клетках резко нарушает существующие градиенты этого иона, поэтому во время фазы реполяризации мембранный потенциал не может восстановиться до исходного уровня. Достижение этой величины осуществляется непосредственным подключением протонной помпы ( $\text{H}^+$ -АТФазы)

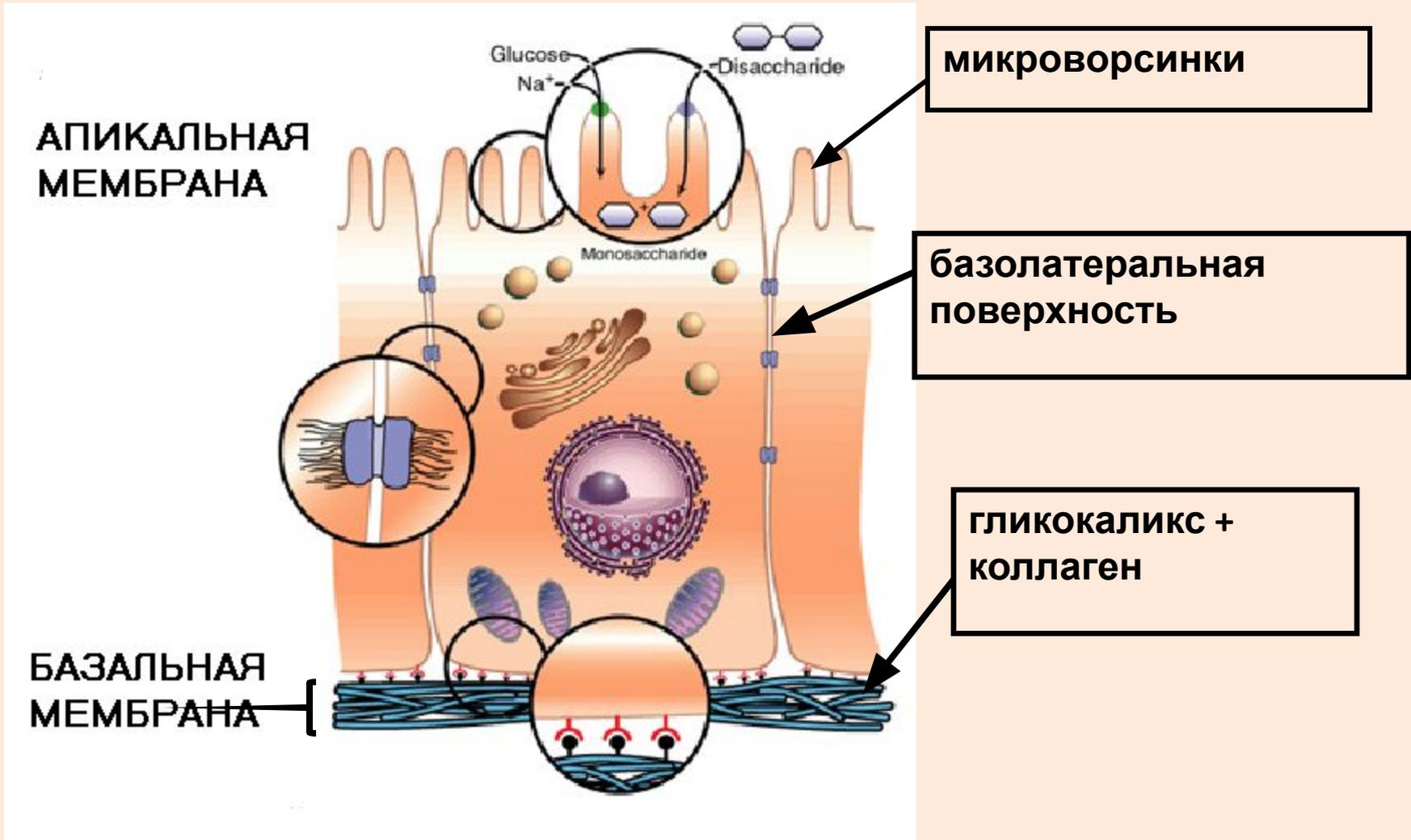
Благодаря вторичному активному транспорту клетка активно поглощает (или удаляет) многие вещества (ионы, углеводы, аминокислоты и др.). Переносчики белковой природы образуют комплекс с протоном на наружной стороне мембраны. Такой комплекс приобретает сродство (в зависимости от типа переносчика) к определенному веществу (например, иону  $\text{Na}^+$ , сахарозе). Образуется заряженное соединение типа **протон–переносчик–вещество**. Перенос протон внутрь клетки как по электрическому ( $\Delta\psi$ ), так и по концентрационному ( $\Delta\text{pH}$ ) градиентам, переносчик за счет энергии этих двух составляющих протонного потенциала переносит вещество внутрь (симпорт) или наружу (антипорт).



# **ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ МНОГОМЕМБРАННЫЕ СИСТЕМЫ**

## **ВТОРИЧНЫЙ АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ**

# МНОГОМЕМБРАННЫЕ СИСТЕМЫ



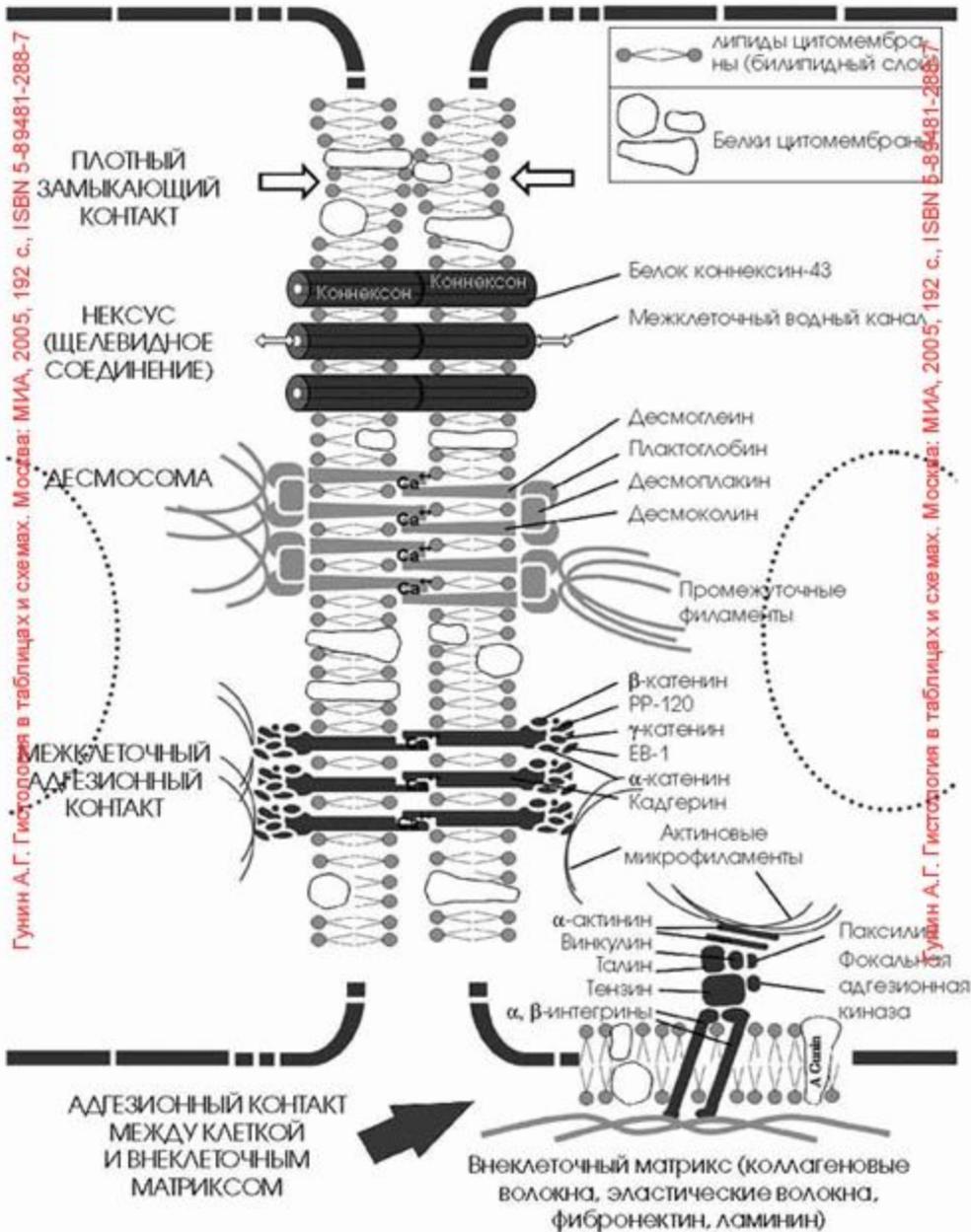
**БАЗАЛЬНАЯ МЕМБРАНА** – дополнительная мембрана за пределами плазмалеммы эпителиоцита

**ЕЕ СОСТАВ:** гликопротеидный матрикс (гликокаликс) + коллагеновый компонент

### **СВОЙСТВА:**

- толще плазмалеммы
- диаметр ее пор около 3 нм
- отсутствуют системы активного транспорта

**РОЛЬ:** пассивный фильтр для проникновения веществ



Базолатеральная мембрана несет межклеточные контакты разного типа

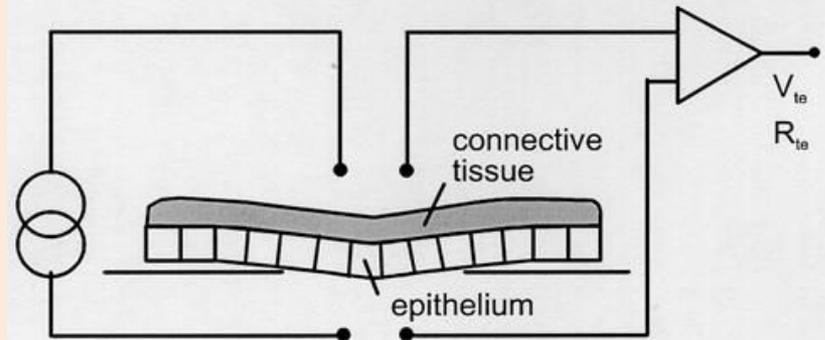
# ЭКСПЕРИМЕНТЫ УССИНГА



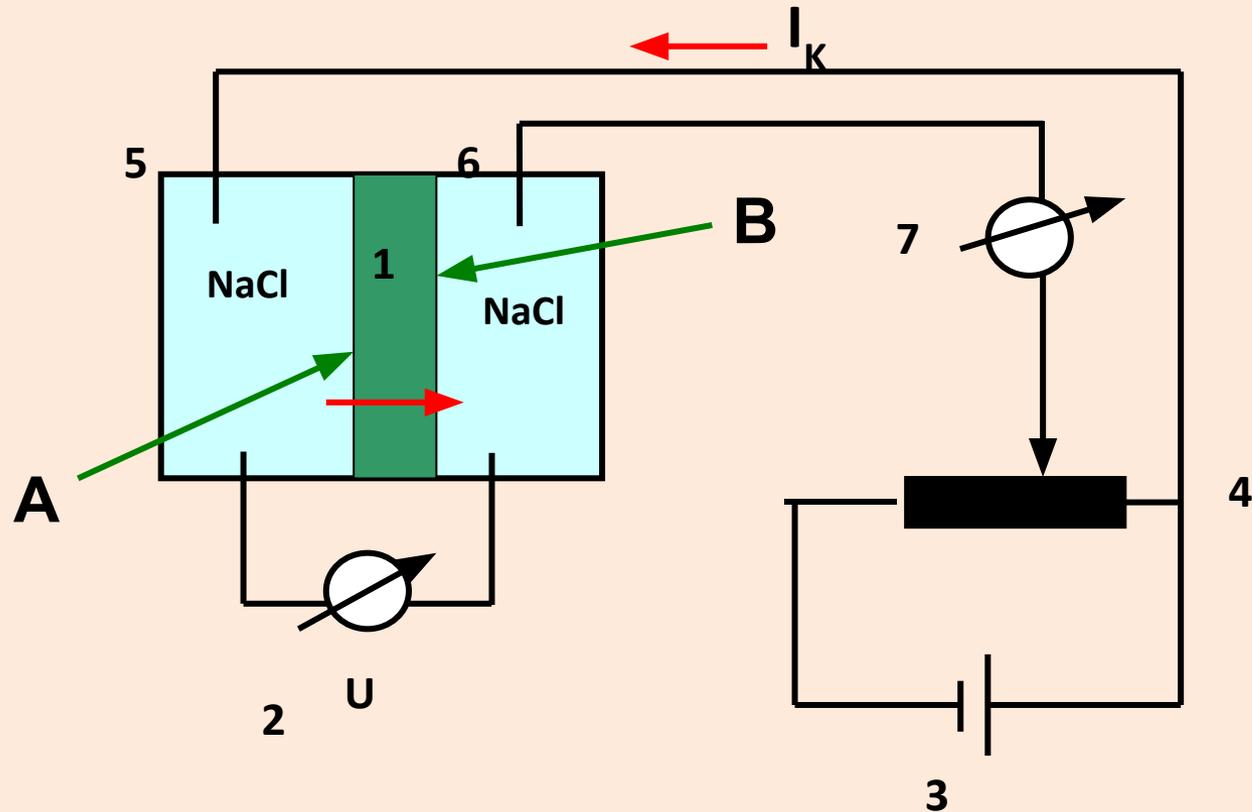
Установка Уссинга



Объект исследований

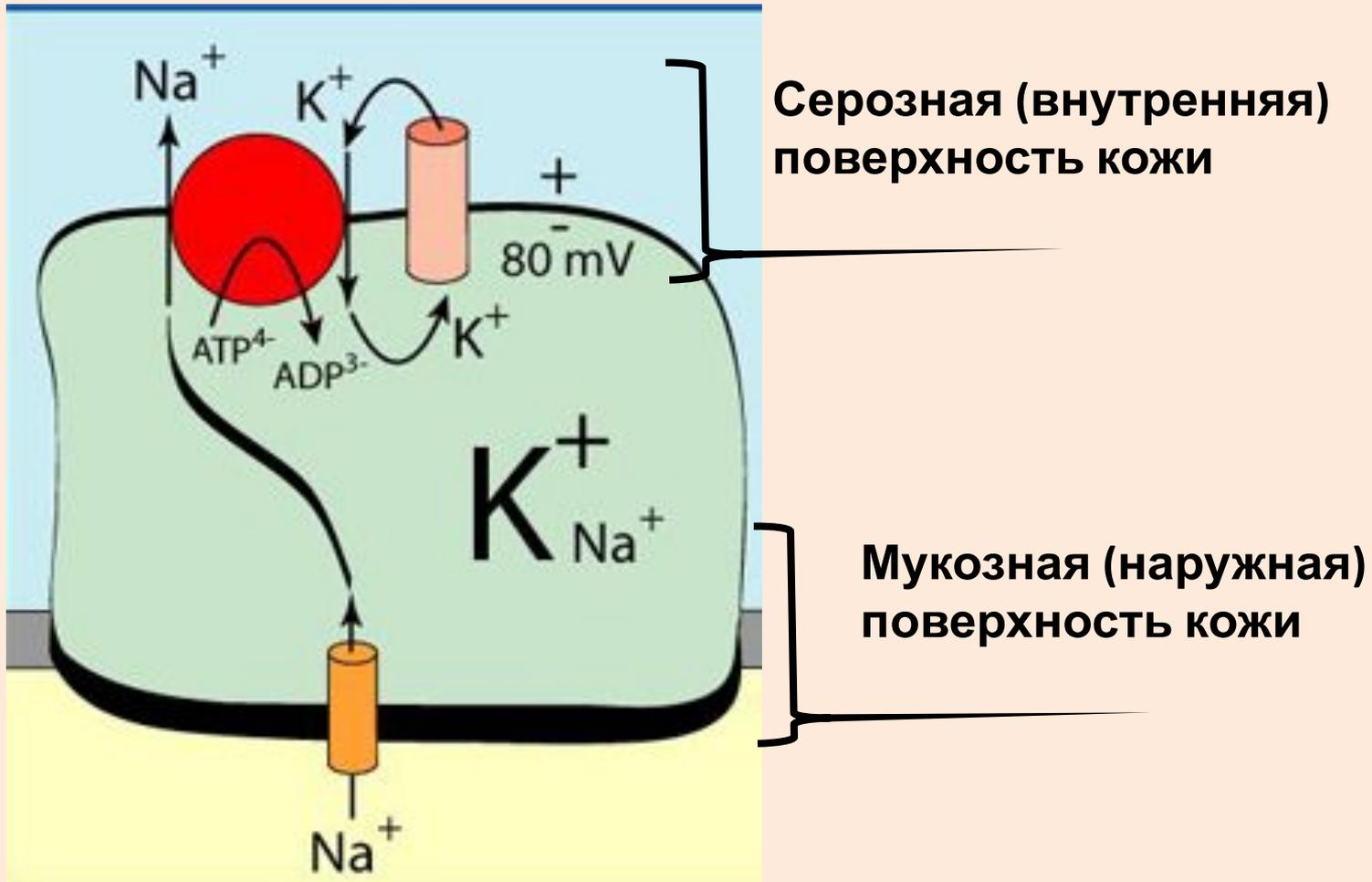


# ЭКСПЕРИМЕНТ УССИНГА: ИЗУЧЕНИЕ АСИММЕТРИЧНЫХ СВОЙСТВ ЭПИТЕЛИЯ

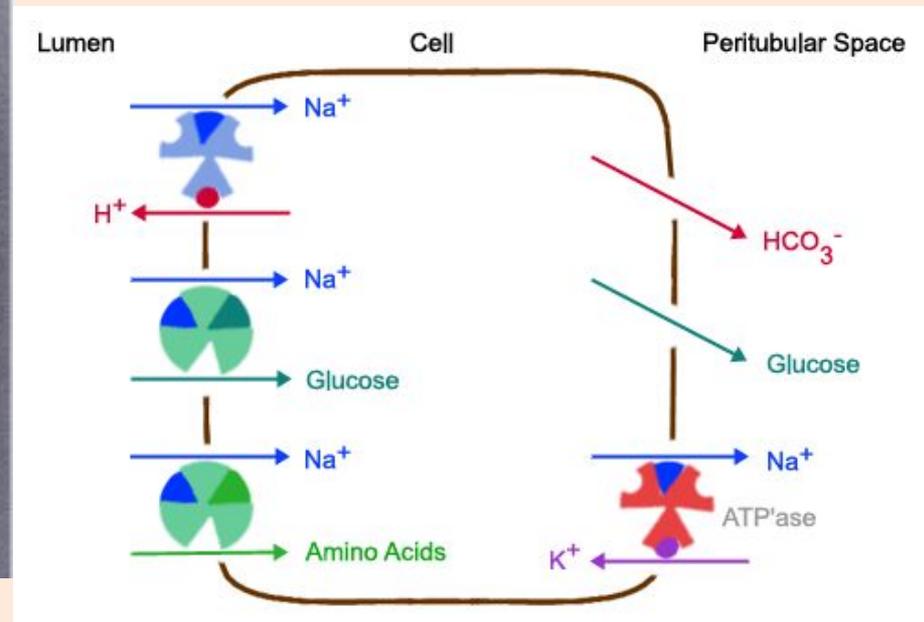
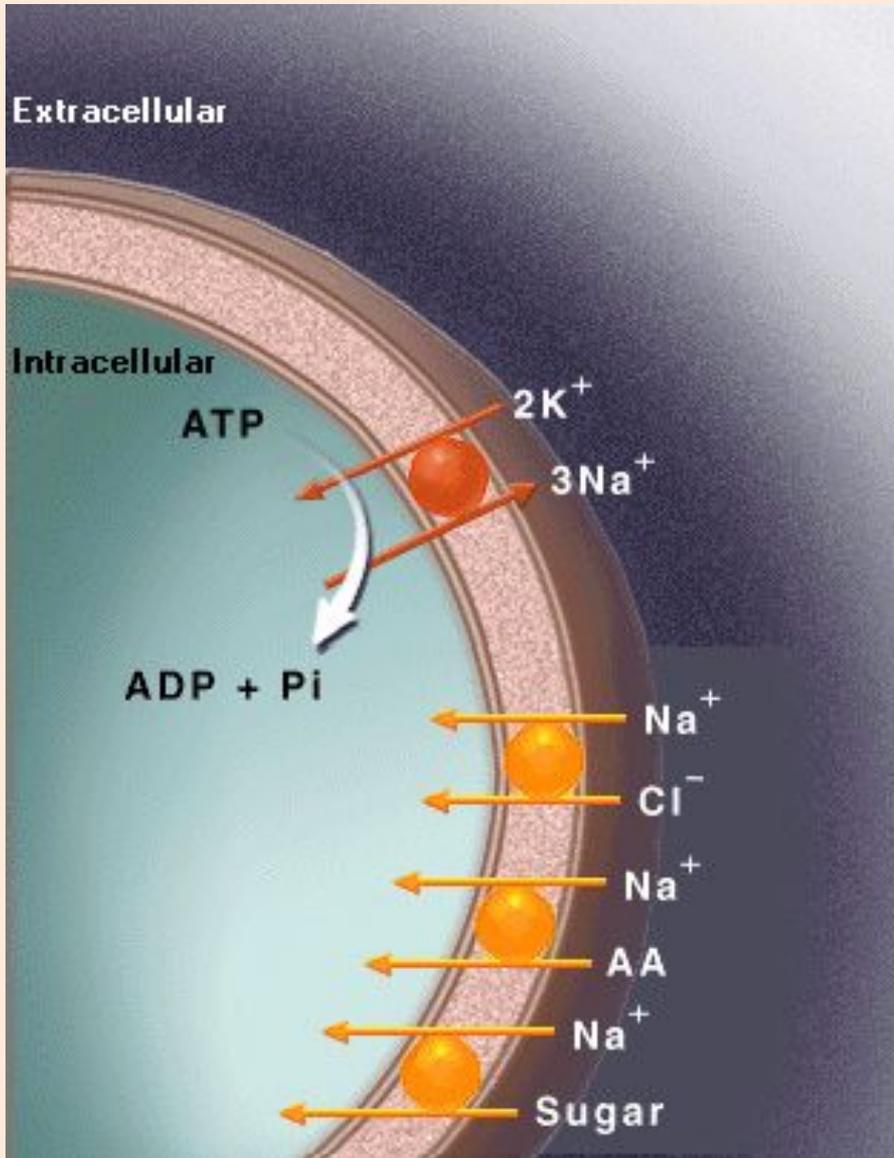


1 – кожа лягушки; 2 – вольтметр; 3 и 4 – внешний источник эдс и прибор для измерения напряжения, подаваемого электродами 5 и 6; 7 – амперметр  $I_k$  – короткозамкнутый ток; А – наружная (мукозная), В – внутренняя(серозная) сторона кожи лягушки

# МОДЕЛЬ УССИНГА



# ВТОРИЧНЫЙ АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ



# ВТОРИЧНЫЙ АКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ

ТРАНСПОРТ САХАРОВ И АМИНОКИСЛОТ ЗА СЧЕТ *ЭНЕРГИИ ГРАДИЕНТА*  $Na^+$ , КОТОРЫЙ СОЗДАЕТСЯ БЛАГОДАРЯ РАБОТЕ Na/K НАСОСА

## ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. **СТЕРЕОСПЕЦИФИЧНОСТЬ** (стереоизомеры сахаров и аминокислот транспортируются с разной скоростью)
2. **СПЕЦИФИЧЕСКОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ** (флоридзин ингибирует транспорт сахаров, но не аминокислот)
3. **ВЗАИМНОЕ КОНКУРЕНТНОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ** (вещества одного класса тормозят перенос друг друга)
4. **ЭФФЕКТ НАСЫЩЕНИЯ** (транспорт с помощью переносчика)

$$J = \frac{J_{\max} [S]}{K + [S]}$$

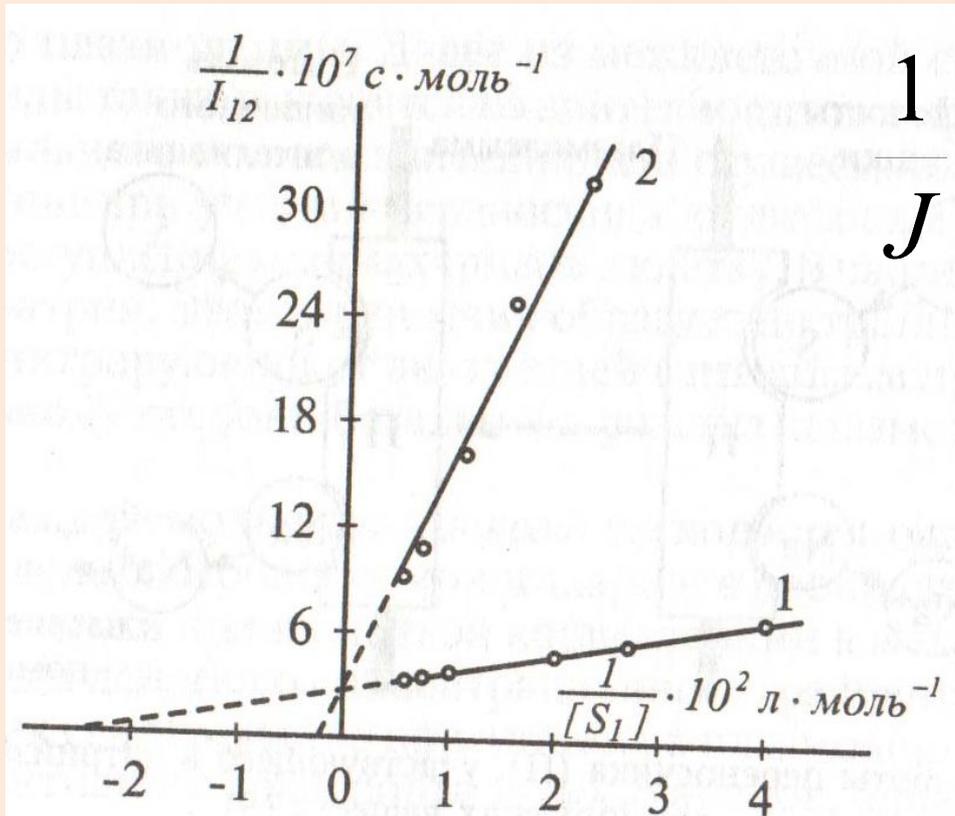
Уравнение для транспорта сахаров

**J<sub>max</sub>** = 12 мкмоль / м<sup>2</sup> с – одинакова для всех моносахаридов

**K** характеризует сродство переносчика к моносахариду и различна для разных моносахаридов при нормальном содержании ионов натрия в среде:

**K** для глюкозы 1,4 ммоль/л, галактозы – 0,35 ммоль/л, для пентоз – от 2,8 до 19,6 ммоль/л

Графики Лайнуивера – Берка для транспорта 6-дезоксид-глюкозы через эпителий кишки, показывающие зависимость транспорта сахара от концентрации ионов Na в среде

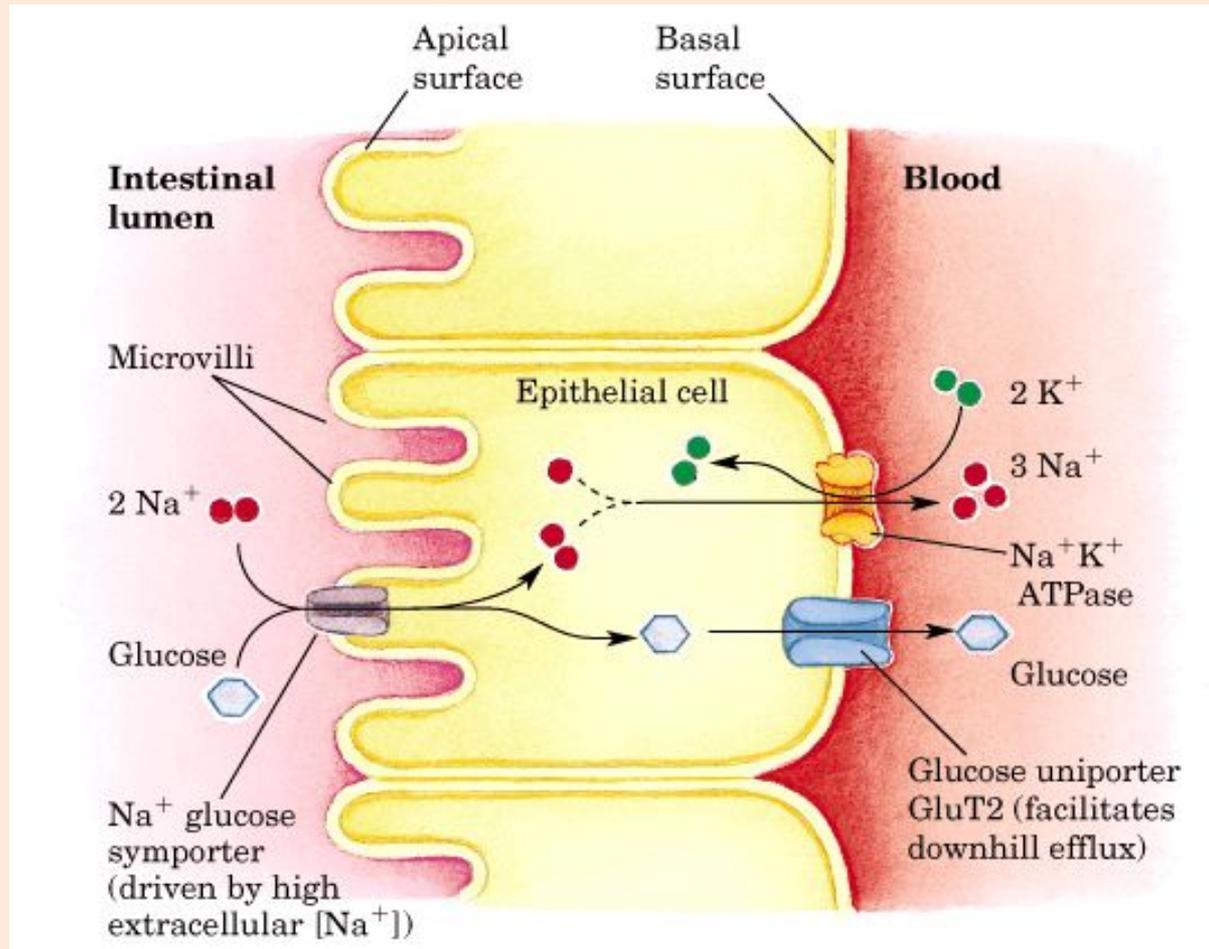


$$\frac{1}{J} = \frac{K_M}{J_{\max}} \frac{1}{[S]} + \frac{1}{J_{\max}}$$

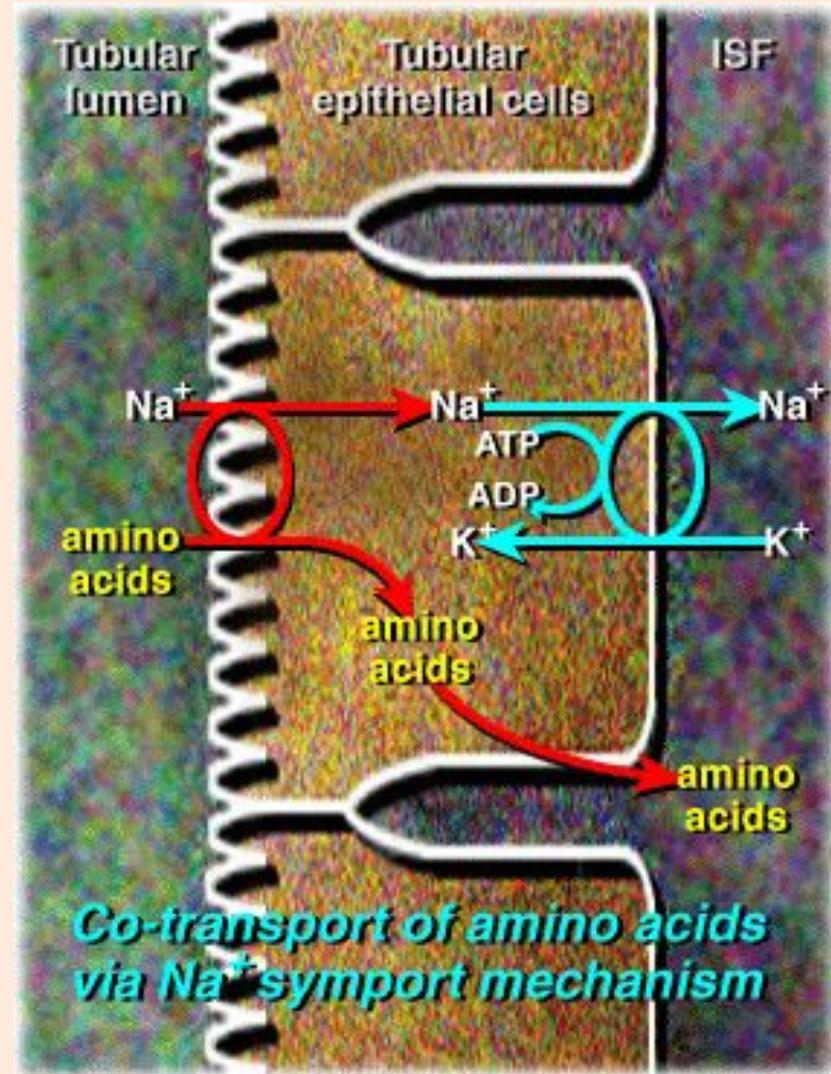
1  $[Na]_e = 145 \text{ mmol/l}$

2  $[Na]_e = 0 \text{ mmol/l}$

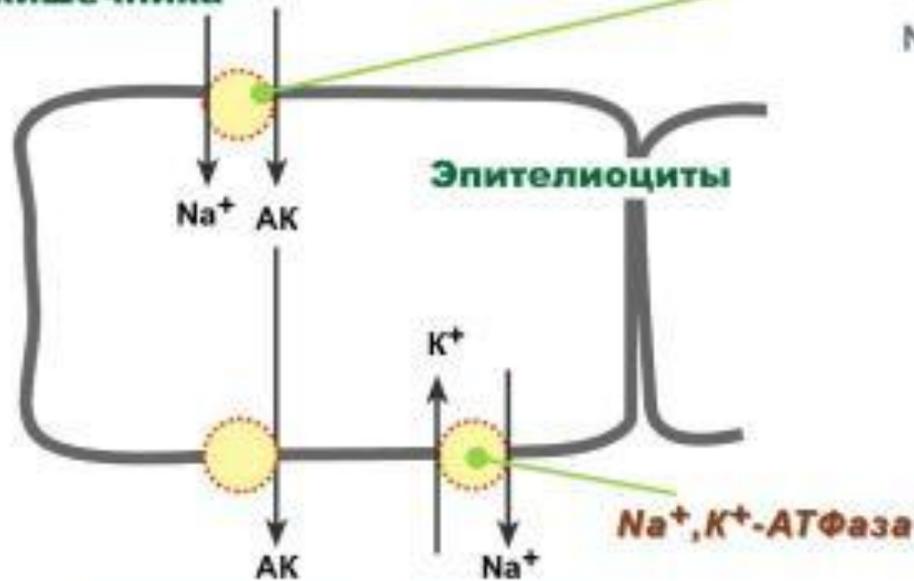
# ТРАНСПОРТ ГЛЮКОЗЫ, СОПРЯЖЕННЫЙ С ИОНАМИ НАТРИЯ



# ТРАНСПОРТ АМИНОКИСЛОТ, СОПРЯЖЕННЫЙ С ИОНАМИ НАТРИЯ



Просвет тонкого кишечника



Взаимодействие транспортеров на апикальной и базальной мембранах энтероцита

Белок-переносчик

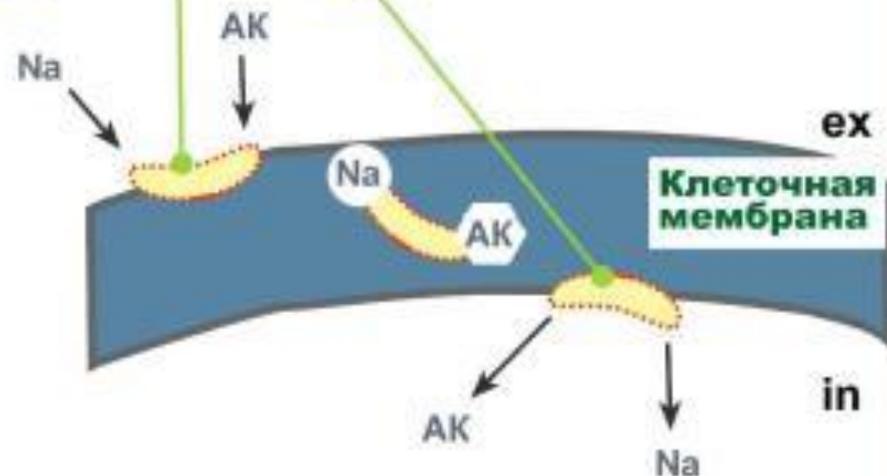


Схема одновременного переноса аминокислот и натрия через апикальную мембрану энтероцита

В настоящее время выделяют **5**  
**транспортных** систем:

- для **крупных нейтральных**, в том числе алифатических и ароматических аминокислот,
- для **малых нейтральных** – аланина, серина, треонина,
- для **основных аминокислот** – аргинина и лизина,
- для **кислых аминокислот** – аспартата и глутамата,
- для **малых аминокислот** – глицина, пролина и оксипролина.

# Глутатионовая система транспорта

Второй способ переноса аминокислот внутрь клетки происходит в комплексе с глутатионом при помощи фермента  $\gamma$ -глутамилтрансферазы

