



# **ЛЕКЦИЯ : «ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ»**

## **ЧАСТЬ II.**

## 4.1. Активный транспорт



Для пассивного транспорта:

$$J = -D \frac{dn}{dx} - uzF_A n \frac{d\varphi}{dx}$$

**Опр.** Активный транспорт – это перенос вещества из мест с меньшим значением электрохимического потенциала в места с его большим значением.

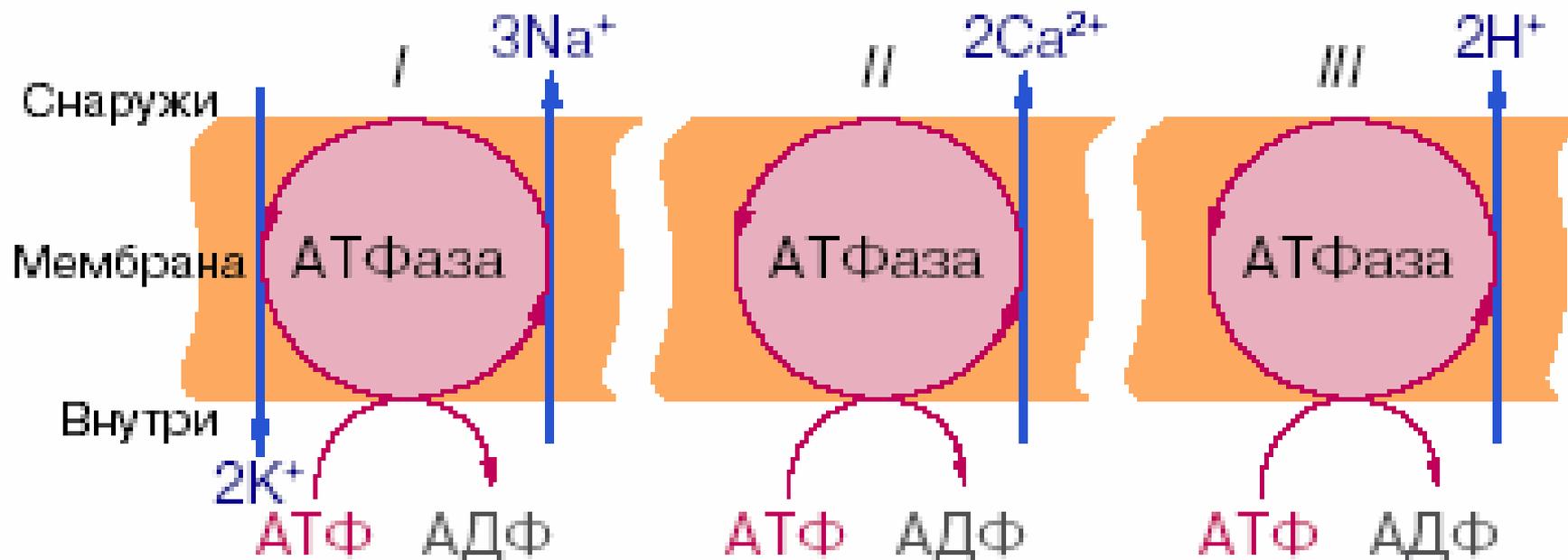
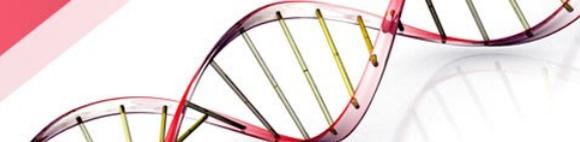


Активный транспорт осуществляется с помощью химического «насоса» («бионасоса») - транспортная АТФ

## Признаки бионасоса



1. Вещество переноситься против градиента
2. Поток вещества сопряжен с гидролизом АТФ
3. Работоспособность зависит от температуры
4. Транспортная машина встроена в мембрану асимметрично
5. Насос *in vitro* способен гидролизировать АТФ только в присутствии тех частиц, которые он переносит *in vitro*.
6. При встраивании насоса в искусственную мембрану он способен сохранять свою характерную селективность



Na + , K +  
насос  
в клеточной  
плазматическо  
й

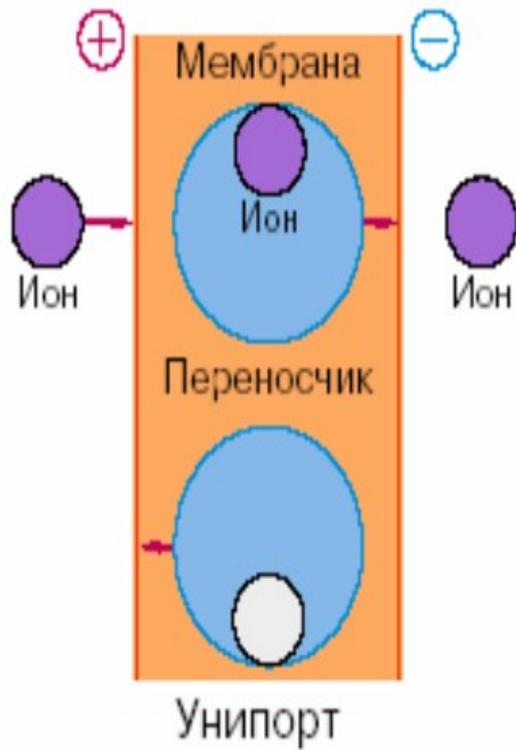
Ca ++ кальциевый  
насос в мембране  
саркоплазма-  
тического  
ретикулула

H + -  
протонная  
помпа во  
внутренней  
мембране  
митохондрий



**Опр.** Первичный активный транспорт – перенос некоторых важных ионов, происходящий вследствие сопряжения процессов транспорта с химическими реакциями за счет метаболизма клеток ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  насос,  $\text{Ca}^{++}$  кальциевый,  $\text{H}^+$ -протонная помпа).

**Опр.** Вторичный (сопряженный) активный транспорт – перенос частиц, за счет движущей силы, создаваемой разностью концентрации или электрического потенциала в результате первичного транспорта других частиц

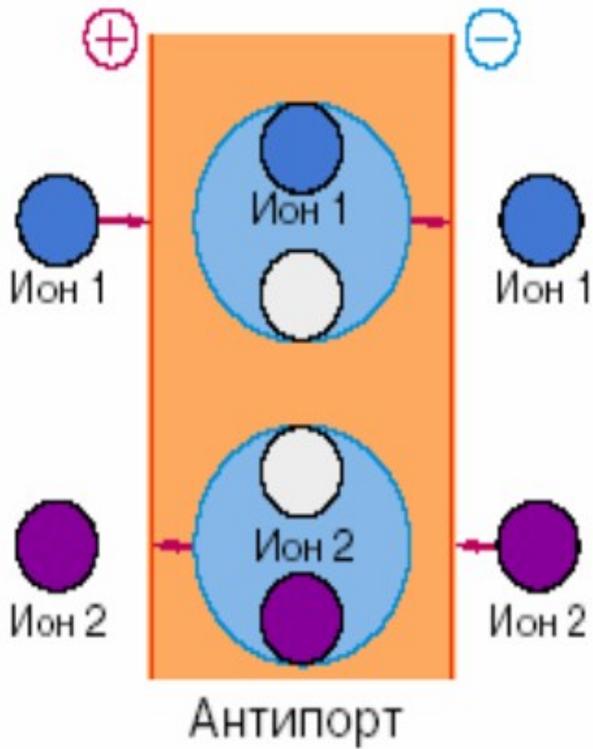
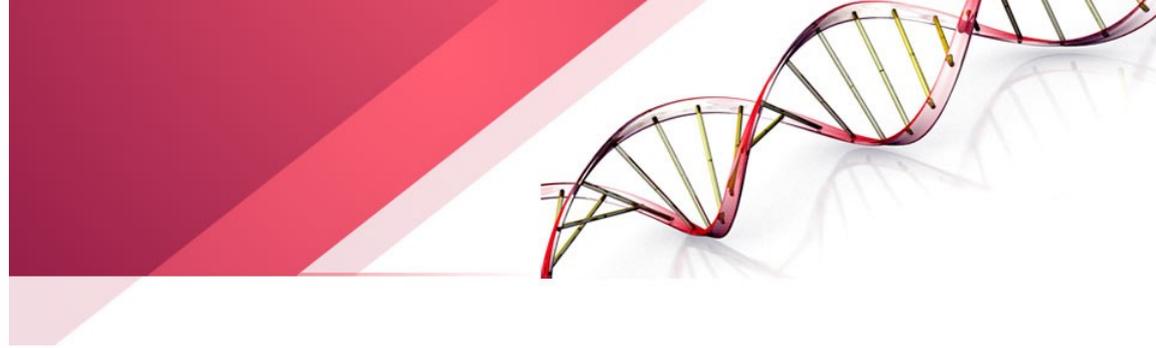


**унипорт**

**( $K^+$  - валиномицин)**



**Опр. Унитранспорт** – однонаправленный перенос частиц в комплексе со специфическим переносчиком. При этом через мембрану переноситься заряд либо комплексом, если молекула переносчика электронейтральна, либо пустым переносчиком, если молекула имеет заряд. Движущей силой ионного транспорта служит электрическое поле, т.е. разность потенциалов на мембране, созданная в результате первичного транспорта ионов.



Антипорт

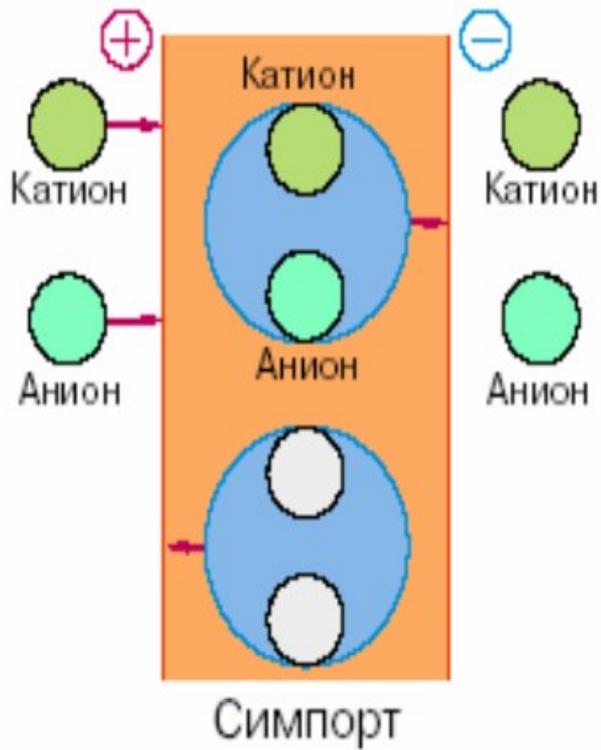
## Антипорт

$\text{Na}^+$  и  $\text{H}^+$  (бактерии)

(нигерицин  $\text{K}^+$  и  $\text{H}^+$ )

$2\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{++}$

**Опр.** Антипорт - перенос одного иона через мембрану, происходящий одновременно с переносом второго иона того же заряда в противоположном направлении.



**Симпорт**  
**( $2\text{Na}^+$  и АК, ГЛ)**

**Опр. Симпорт -**  
совместный  
однонаправленный  
перенос ионов с участием  
«двухместного»  
переносчика





## Три обязательных стадии:

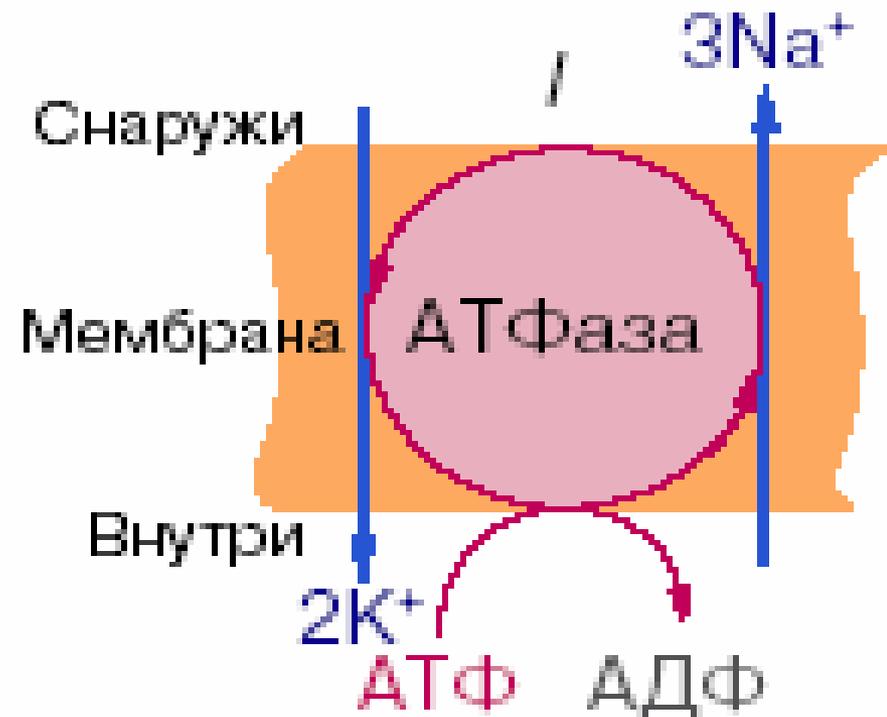
1. Захват одного типа ионов или обмен на другой тип на одной стороне мембраны
2. Перенос их на другую сторону
3. Выделение ионов или обмен их на противоположной стороне

## 4.2. Натрий-калиевый насос



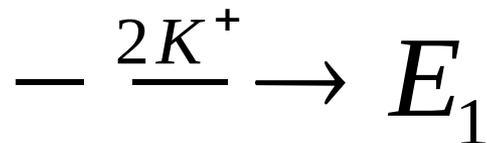
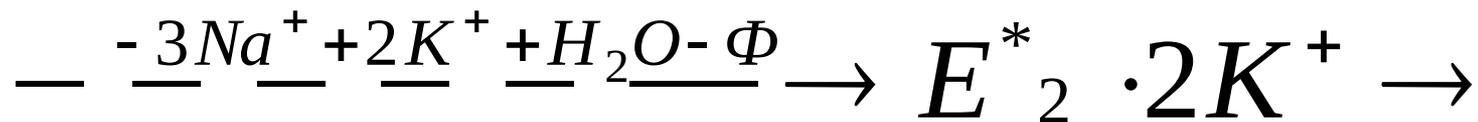
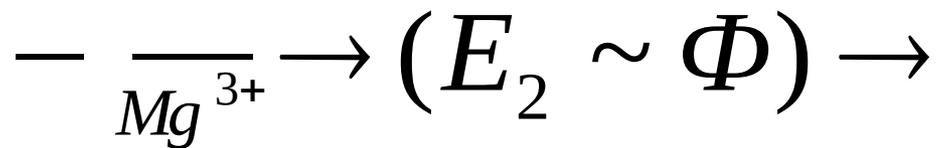
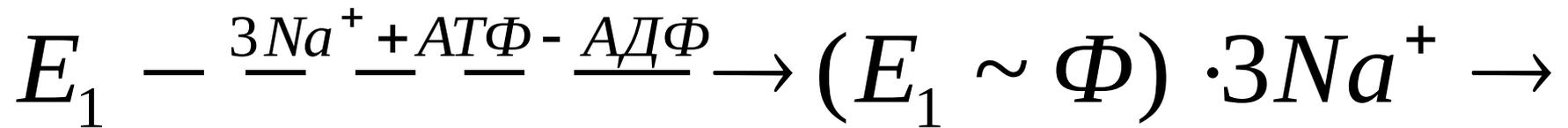
Na -К -АТФ-аза за счет энергии гидролиза одной молекулы АТФ клетку переносятся два

иона калия и одновременно из клетки выкачиваются три иона натрия.





«Натриевая конформация» (Na-конформер) -  
 $E_1$   
«Калиевая конформация» (K-конформер) -  
 $E_2$  .





1. Когда фермент находится в состоянии  $E_1$ , он способен взаимодействовать с  $\text{Na}^+$  и АДФ с внутренней стороны мембраны. В результате фосфорилирования молекулы образуется энергетически возбуждённое состояние  $E_1 \sim \Phi$ , а АДФ высвобождается из активного центра и возвращается в цитоплазму.

2. Фосфорилированный белок переходит в состояние, при котором ионы натрия не способны высвободиться ни с внутренней, ни с внешней стороны мембраны, они недоступны для обмена.



3. Переход фермента в следующую стадию активируется ионами  $Mg^{2+}$ , которые ускоряют переход фосфорилированного фермента из  $E1$  в  $E2$ . При этом перемещаются через мембрану отдельные части белковой глобулы, связанные с ионами  $Na^+$ , и затрачивается часть избыточной энергии комплекса. Перенос  $Na^+$  осуществляется синхронно с конформационным переходом  $E1 \rightarrow E2$ , в результате чего центр связывания ионов становится более гидрофобным, и ионы натрия диссоциируют от фермента по другую сторону мембраны, где с этим же центром связываются ионы калия.

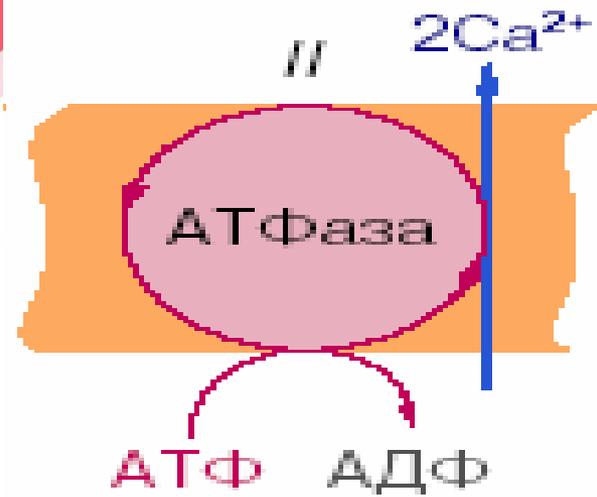


4.  $K^+$  подвергается такой же окклюзии, что и  $Na^+$ , и сохраняется в комплексе с ферментом в ходе последующего переноса его через мембрану. Комплекс  $E2 \sim \Phi$  отличается тем, что  $\Phi$  становится доступен для атаки молекулой воды. Происходит гидролиз  $E2 \sim \Phi$  и высвобождение неорганического фосфата во внутриклеточную среду, а за счёт энергии этого процесса происходит конформационный переход в ферменте с переносом 2 ионов калия в цитоплазму.



5. После этого состояние связанных ионов  $K^+$  становится неустойчивым и они диссоциируют из центров связывания, высвобождаясь в цитоплазму. Их место занимает  $Na^+$ . Последняя стадия цикла одновременно подготавливает фермент для возвращения в исходное состояние и для начала нового цикла.

## 4.3. Кальциевый насос

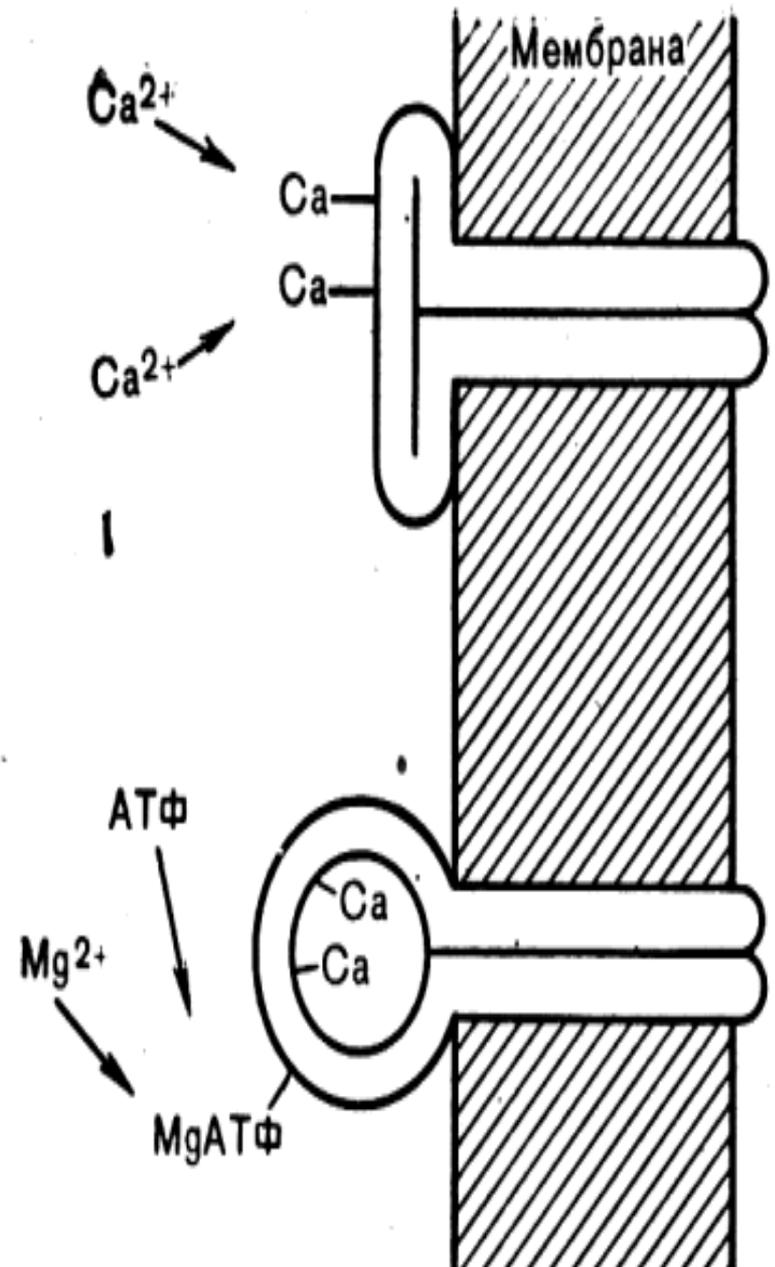


Са-насос обеспечивает активный вынос 2 ионов кальция из цитозоля клетки на одну гидролизованную молекулу АТФ.

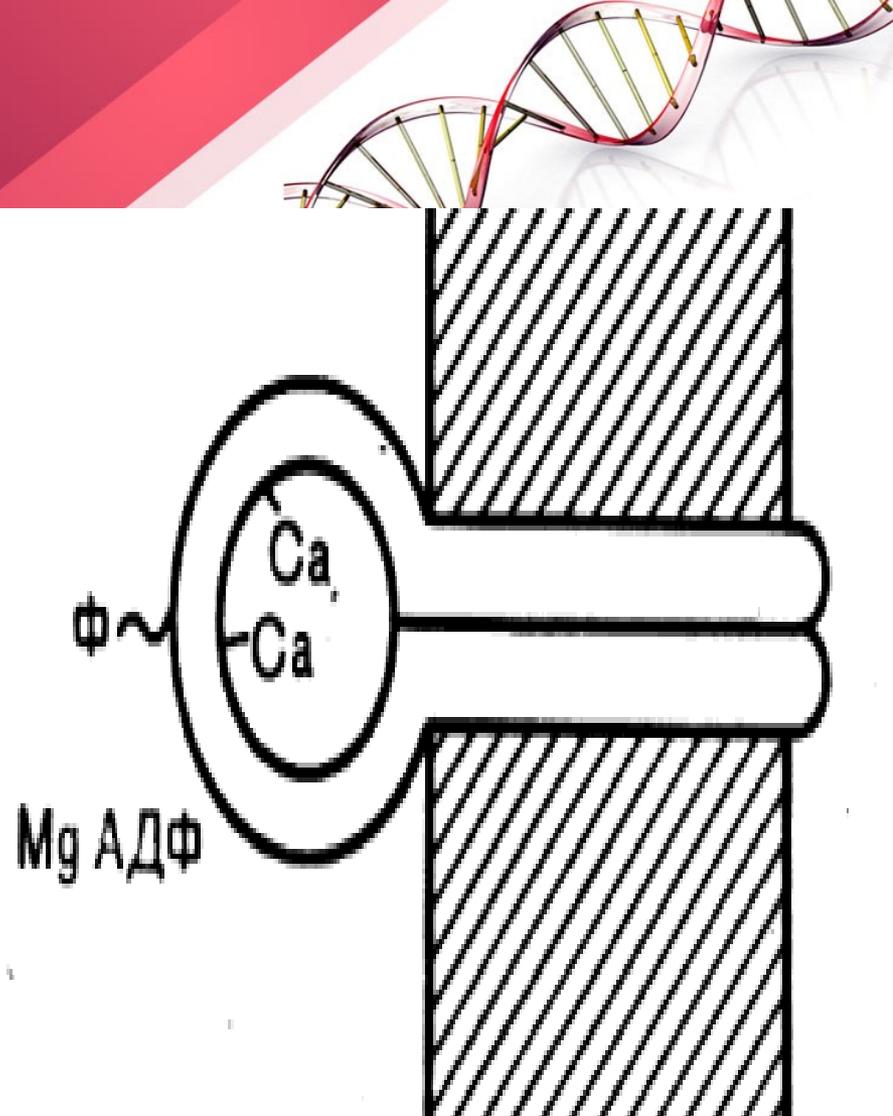
Как и в случае натрий-калиевого насоса

Са-насос является трансмембранным белком, пронизывающим мембрану 10 или 11 раз в зависимости от типа насоса. Конформационное превращение белка сопрягается с изменением сродства к  $\text{Ca}^{++}$  синхронно с транслокацией участка полипептидной цепи, ответственного за удержание  $\text{Ca}^{++}$ .

1. Связывание компонентов: иона  $\text{Ca}^{2+}$  с комплексом  $\text{Mg-ATP}$ . Присоединение ионов  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  идет на наружной поверхности саркоплазматической мембраны к разным участкам переносчика. При связывании иона кальция освобождается энергия в 37,4 кДж/моль.

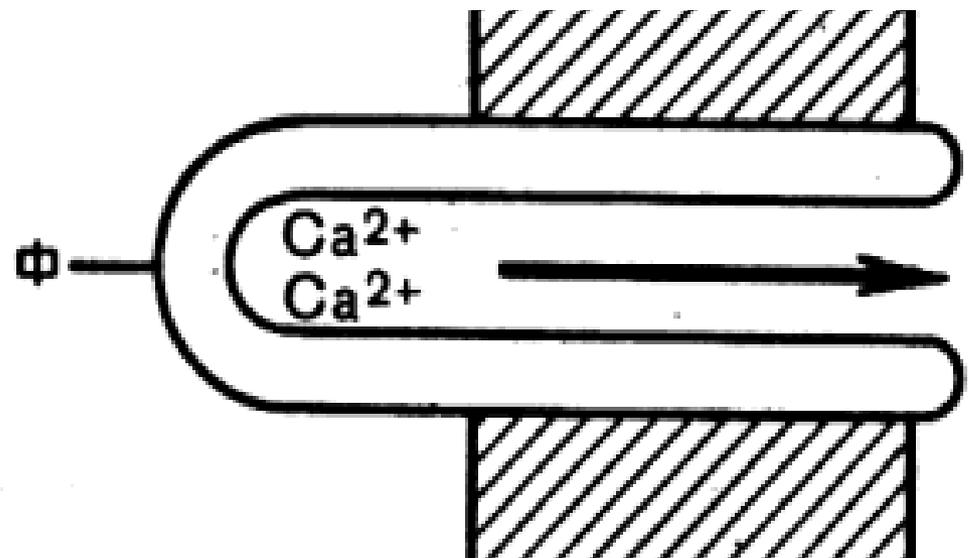


2. Гидролиз АТФ с образованием фермент-фосфатного комплекса ( $E \sim \Phi$ ). Переход комплекса  $E$ -АТФ в  $E$ -АДФ происходит с малым перепадом энергии. Свободная энергия гидролиза АТФ израсходовалась на синтез  $E \sim \Phi$ .



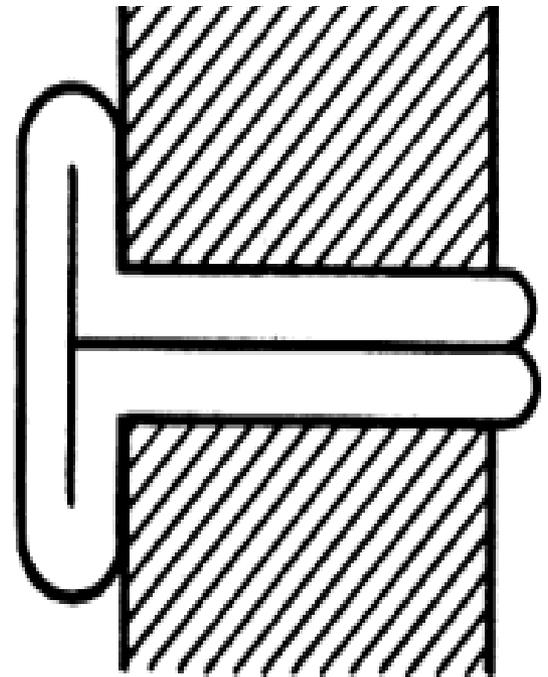


3. Переход центра связывания кальция на противоположную сторону мембраны. Для отрыва прочно связанных ионов кальция необходима энергия, которая доставляется за счет гидролиза АТФ.





4. Конформационные перестройки, приводящие к транслокации кальцийсвязывающих центров в исходное положение.





## **«Осмотические явления» разобрать самостоятельно!**

1. Что такое осмос? Каков механизм возникновения и протекания осмотических явлений?
2. Какое значение имеют осмотические явления для клеток?
3. Что такое трансмембранные осмотические потоки и каков их механизм?