

Рабочая программа дисциплины  
«Общая биология»  
19.03.01 Биотехнология

## Энергетический обмен

Лекцию подготовила: к.ф.н., доцент каф. фармацевтического  
естествознания Простодушева Т.В.

# Метаболизм

- Совокупность регулируемых биохимических реакций в клетке, обеспечивающих ее жизнедеятельность.
- **Катаболизм**-совокупность реакций **распада** веществ с **выделением энергии**, которая используется для синтеза АТФ.
- **Анаболизм**-совокупность реакций **синтеза** веществ, которые **используют энергию АТФ**

# Схема обмена веществ



# Задачи метаболизма

- 1. Обеспечить клетку энергией , путем высвобождения ее из химических связей органических веществ и использованием на синтез АТФ (трансформировать энергию в макроэргические связи АТФ)
- 2. Превращение органических молекул в промежуточные метаболиты – строительные блоки.
- 3. Синтез из строительных блоков специфических биомолекул, необходимых организму для выполнения тех или иных функций

# Стадии энергетического обмена

- **1. Подготовительный** (пищеварение): ферментативный гидролиз или деполимеризация биополимеров до мономеров под действием ферментов.
- **2. Гликолиз** (бескислородное, анаэробное окисление, неполное расщепление веществ)
- **3. Кислородное окисление** (аэробное, полное расщепление веществ, клеточное дыхание)

# Механизмы синтеза АТФ в клетках гетеротроф

- 1. Субстратное фосфорилирование (анаэробное – гликолиз)
- 2. фосфорилирование АДФ за счет энергии, образующейся при окислении органических веществ
- 3. Окислительное фосфорилирование на дыхательной цепи с образованием АТФ (аэробное)

# Источники энергии в клетке

- 1. Органические вещества (углеводы, жиры, белки) – термодинамически неустойчивые молекулы, которые поступают из вне в клетку и подвергаются биологическому окислению.
- 2. Тканевые биополимеры

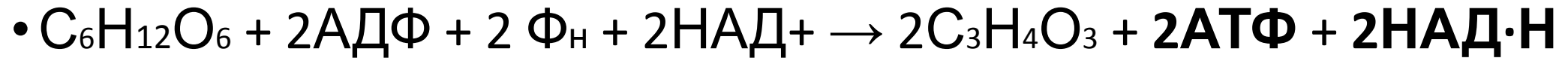
# Механизм биологического окисления

- Цепь окислительно -восстановительных реакций :реакций дегидрирования окисляемого вещества с последующим переносом водорода –поставщиком протонов и электронов на конечный акцептор.
- Если конечный акцептор кислород – это аэробное окисление, если другой акцептор (окислитель) , то это анаэробное окисление.



# Анаэробное окисление (в цитозоле)

- Гликолиз



ПВК

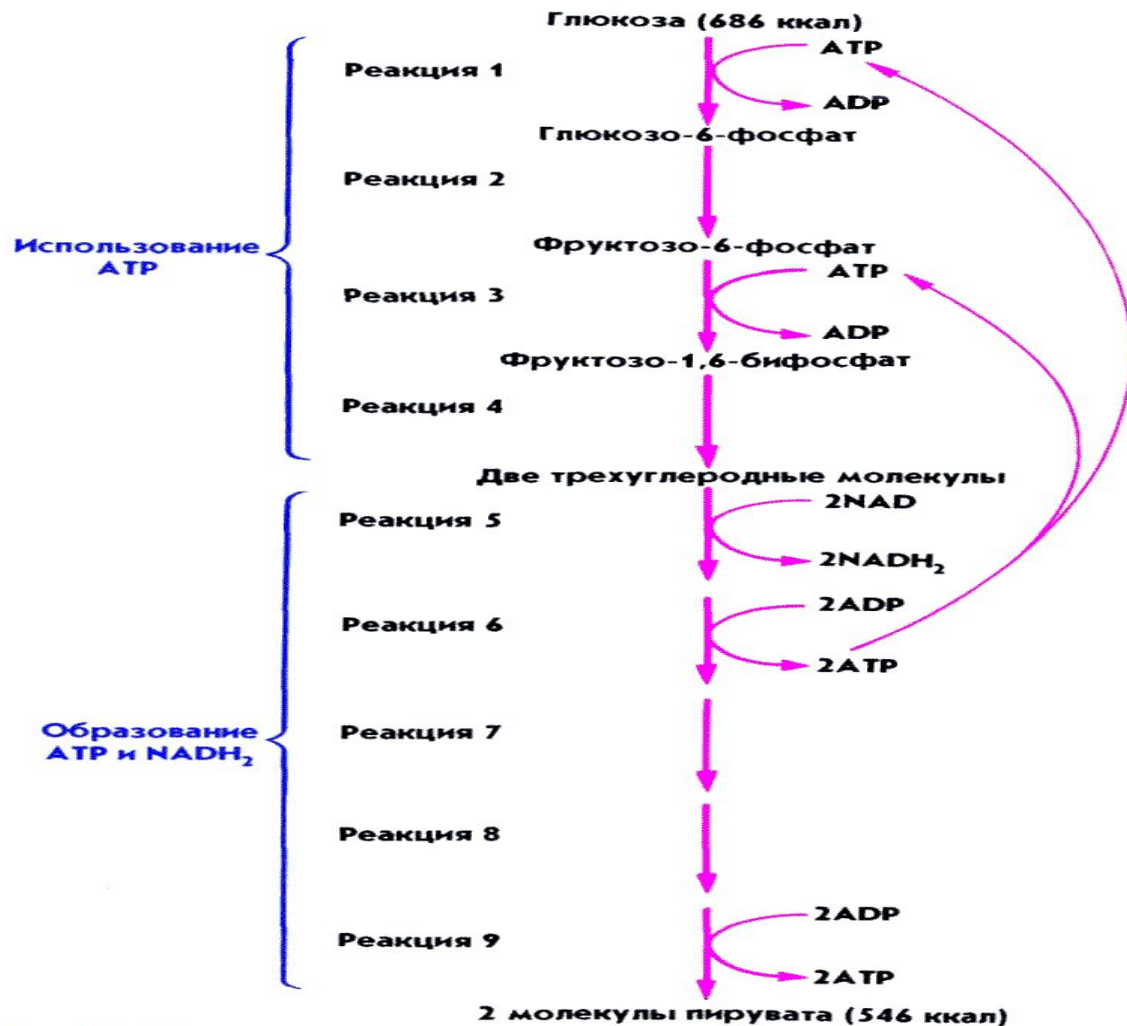
Суммарная реакция спиртового брожения :



Молочнокислое брожение



# Основные этапы гликолиза



Гликолиз - последовательность реакций, в результате которых одна молекула глюкозы расщепляется на две молекулы пировиноградной кислоты.

Процесс подразделяется на два этапа:

- на первом происходит превращение глюкозы в фруктозо-1,6 -бисфосфат

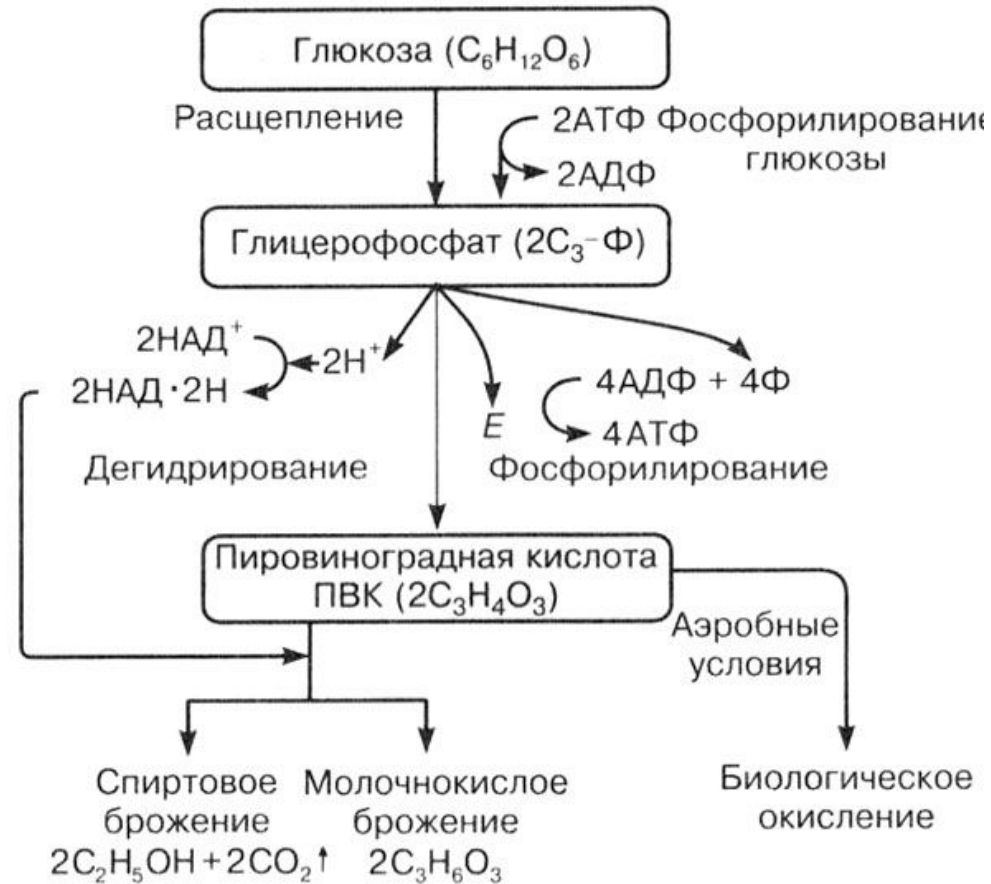
- на втором- расщепление фруктозо-1,6-бисфосфата на два трехуглеродных сахара, которые превращаются в пировиноградную кислоту

На первом этапе две молекулы АТФ

потребляются в реакциях фосфорилирования, а на втором - четыре молекулы АТФ образуются

**Чистый выход АТФ при гликолизе равен двум молекулам**

# Этапы гликолиза



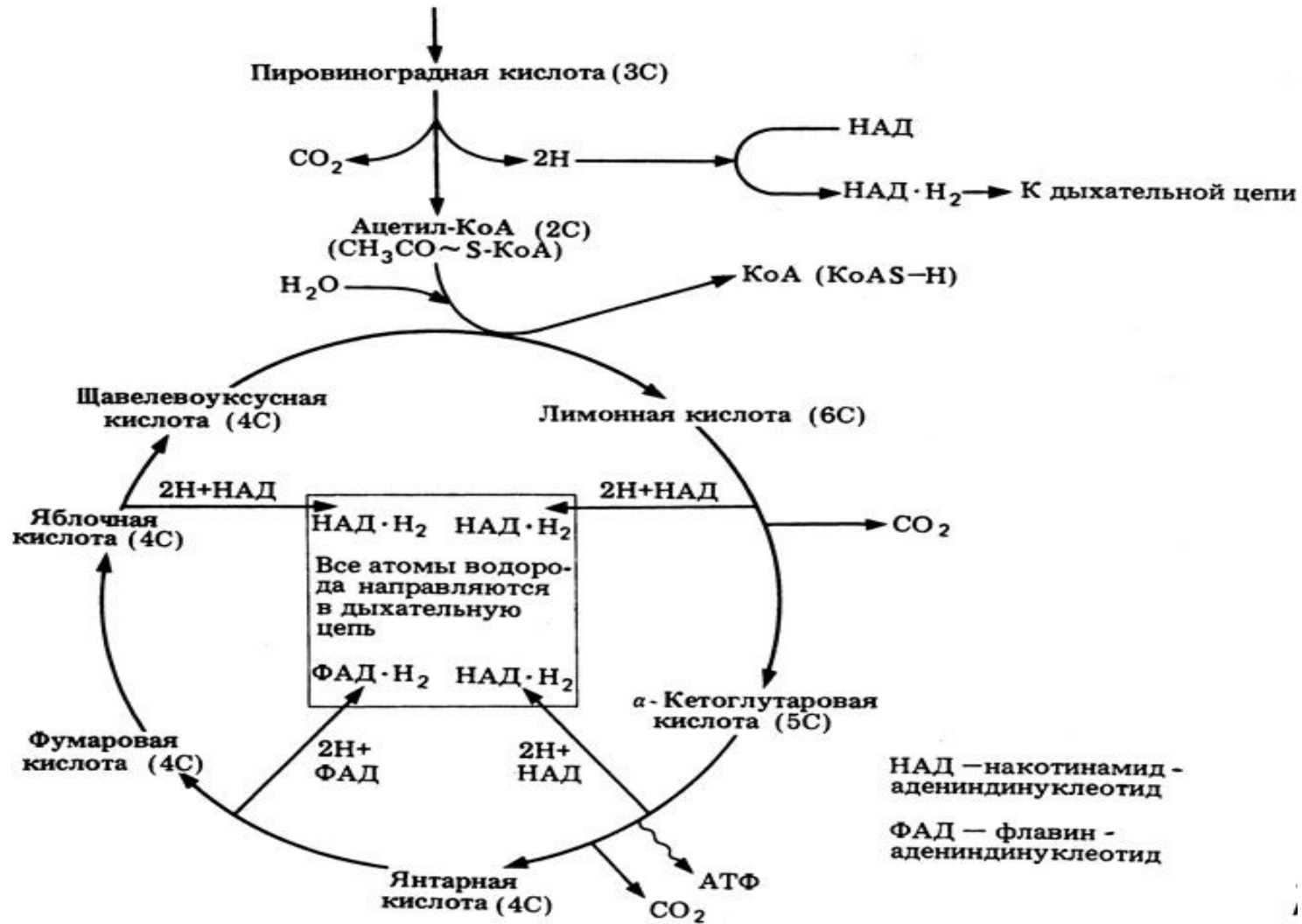
# Энергетическая эффективность гликолиза при расщеплении молекулы глюкозы

- **Составляет восемь молекул АТФ:**
- 2НАД·Н в дыхательной цепи образует 6 АТФ (1НАД·Н → 3АТФ) +  
2АТФ = 8АТФ

# Аэробное окисление

- Идет в митохондриях
- Делится на три этапа:
  1. окисление субстрата – ПВК: окислительное декарбоксилирование и окислительное дегидрирование с помощью ферментов дегидрогеназ (**образуются продукты НАДН и ацетил-КоА**)
  2. цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты (образуются продукты НАДН<sub>2</sub>, ФАДН<sub>2</sub>, АТФ)
  3. дыхательная цепь: многоступенчатый процесс переноса электронов на кислород с помощью ферментов класса оксидоредуктаз – дегидрогеназ (образуется АТФ)

# Этапы аэробного окисления



# Ферменты дыхательной цепи

- Класс - оксидоредуктазы,

подклассы - дегидрогеназы, оксидазы

Коферменты этих ферментов - промежуточные переносчики электронов от субстрата на кислород .

Различают

1. Первичные дегидрогеназы (гликолиз)
2. Вторичные дегидрогеназы (образуют дыхательную цепь переноса электронов), которые локализованы во внутренней мембране митохондрии

# Первичные дегидрогеназы

Осуществляют первичное дегидрирование субстратов (SH2-промежуточный метаболит).

Их активный центр обращен в матрикс митохондрии

Различают два типа:

- НАД-зависимые дегидрогеназы.

Кофермент НАД+ никотинамиддинуклеотид. Рабочая часть - никотинамид (производное РР)

- ФАД-зависимые дегидрогеназы.

Кофермент ФАД-флавинадениннуклеотид Рабочая часть - производное витамина В2: (рибофлавин)

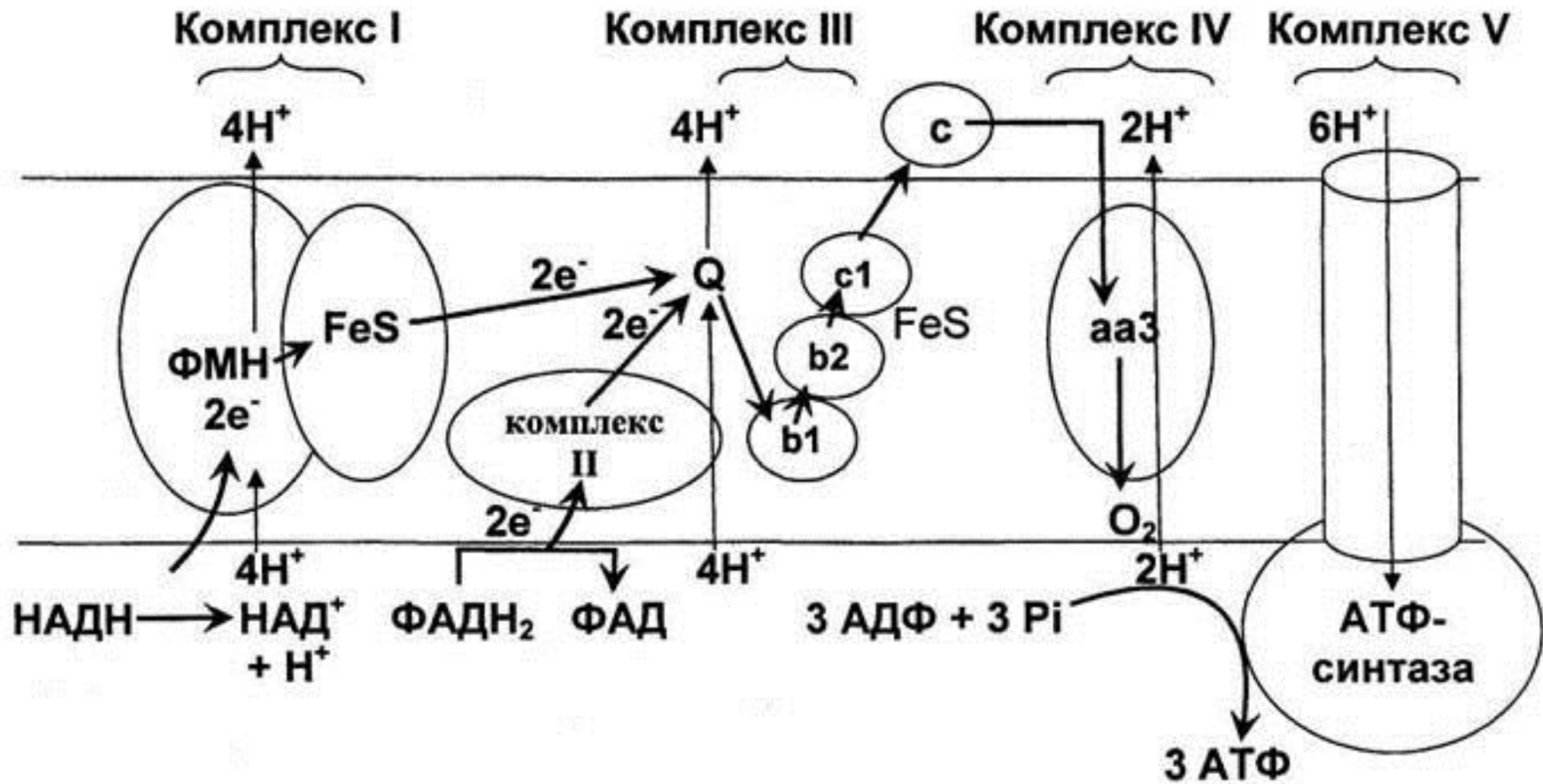


## Переносчики электронов в дыхательной цепи митохондрий образуют полиферментные комплексы

- Образуют четыре комплекса
- **I. NADH -дегидрогеназа : перенос электрона с NADH на убихинон**
- Кофермент дегидрогеназы ФМН. Окисляют коферменты первичных дегидрогеназ. ФМН принимает  $H^+$  и  $2e$  от НАДН первичной дегидрогеназы и восстанавливается в ФМНН<sub>2</sub>. Далее  $H^+$  переносится в межмембранное пространство, а  $2e$  передаются на убихинон.
- **II – сукцинатдегидрогеназа (FAD –опосредованный): перенос электронов, полученных при окислении сукцината в цикле Кребса , на убихинон**
- -убихинон (Q)-витаминоподобный липид, способный восстанавливаться. Он принимает электроны от ФМНН<sub>2</sub>. Далее отдает электроны на III ферментативный комплекс.

## **Переносчики электронов в дыхательной цепи митохондрий образуют полиферментные комплексы**

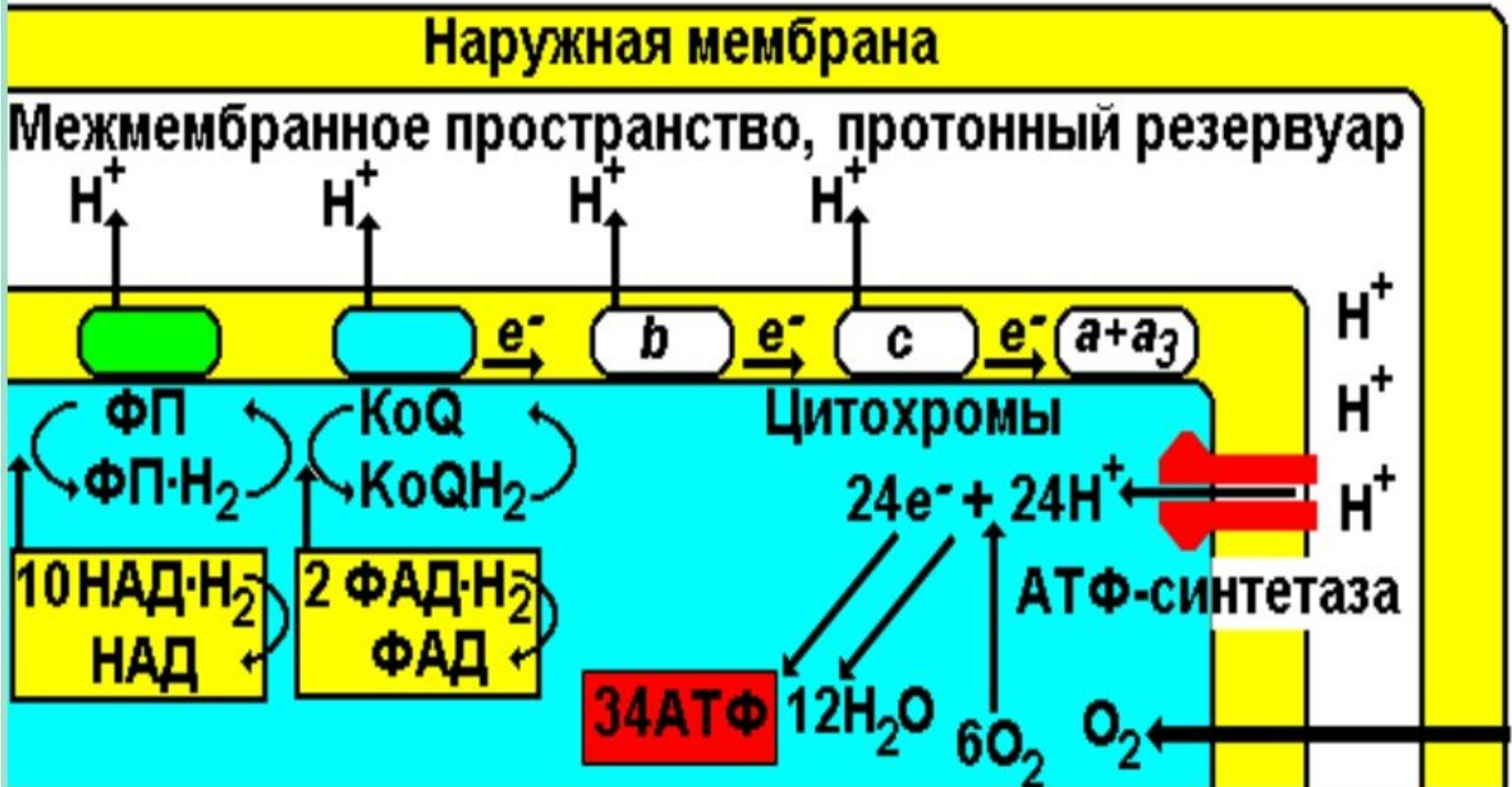
- **III. Убихинон- цитохром с – оксидоредуктаза: переносит электроны от восстановленной формы убихинона на цитохром с**
- **IV. Цитохромоксидазы а/а<sub>3</sub> : завершает передачу электронов по дыхательной цепи, передавая их от цитохрома с непосредственно на кислород**
- **V АТФ-синтетаза : катализирует синтез АТФ из АДФ и фосфата в ходе перемещения протонов через мембрану с ее положительно заряженной стороны на отрицательно заряженную**



Компоненты дыхательной цепи – ферментативные комплексы (I-IV)

# Дыхательная цепь

- Перенос электронов сопровождается уменьшением свободной энергии электронов
- Освобождающаяся энергия электронов используется на выкачивание протонов из матрикса митохондрий в межмембранное пространство, т.к. внутренняя мембрана непроницаема для водорода ( $H^+$  и  $e$ )
- Образуется градиент концентрации протонов по обе стороны внутренней мембраны митохондрии [ $H^+$ ];
- Возникает электрохимический потенциал на мембране –  $\mu$  Мембрана зарядилась
- Большая часть энергии, которая высвобождается при переносе электронов от **NADH на кислород**, расходуется на **выкачивание протонов из матрикса**. При поступлении на кислород пары электронов комплекс I выкачивает из матрикса четыре протона, комплекс III – четыре протона и комплекс IV – два протона.
- Сопряжение процессов направленного переноса электронов и протонов представлено уравнением
- $NADH + 11H^+ + 1/2 O_2 \rightarrow NAD^+ + 10H^+ + H_2O$



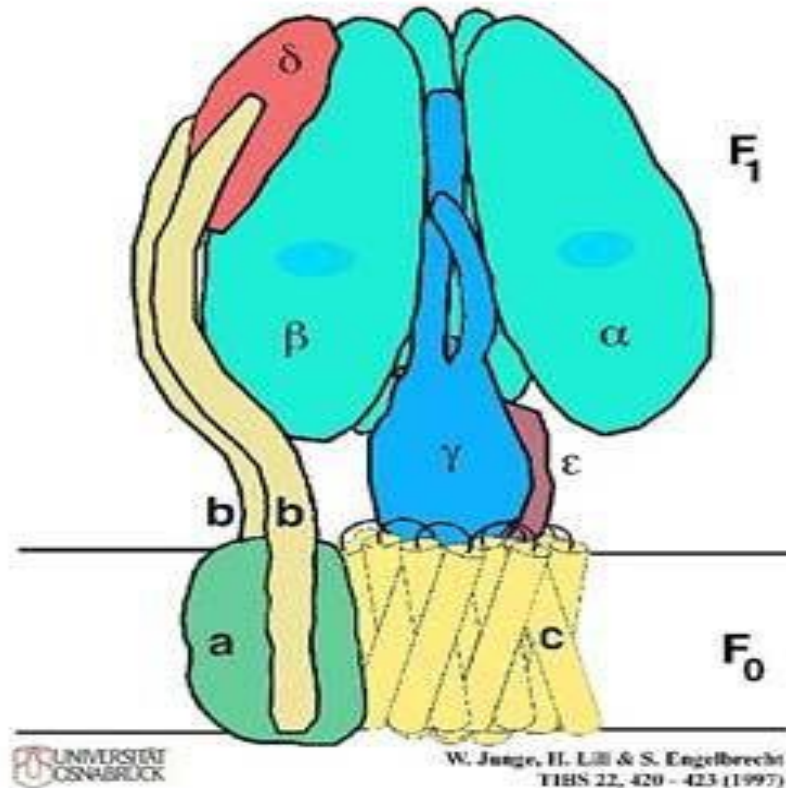
# Электрохимический потенциал

- Из-за разности концентраций протонов по обе стороны митохондриальной мембраны и противоположных зарядов на сторонах мембраны возникает **электрохимический потенциал**.
- **электрохимический потенциал** (протондвижущая сила) включает две составляющие:
  - **-химическая** (разница концентрации ионов  $H^+$  в матриксе и межмембранном пространстве митохондрии)
  - **-электрический потенциал**, обусловленный электрическим зарядом на внутренней мембране митохондрии в результате выхода ионов  $H^+$
- Электрохимический градиент служит источником энергии для синтеза АТФ, когда ионы  $H^+$  спонтанно возвращаются по градиенту концентрации из цитозоля в матрикс, проходя через специальные поры (каналы) в АТФ-синтетазе

# Строение АТФ - синтетазы

- Состоит из двух компонентов:
- -F1-периферический мембранный белок
- -F0- интегральный белок, пронизывающий митохондриальную мембрану насквозь (индекс 0 указывает на способность комплекса связывать антибиотик олигоцин)
- Протонный канал (F<sub>o</sub>)—это участок мембранного фермента АТФ-синтазы
- При движении протонов через протонный канал активируется каталитический участок АТФ-синтазы (F1) путем модификации субъединиц фермента.
- Активная АТФ-синтаза катализирует реакцию:  $АДФ + P + \mu = АТФ$ ;
- Энергия для синтеза АТФ – 40%  $\mu$ . 60 %  $\mu$  - высвобождается в виде тепла.
- КПД – 0,4. Мембрана разряжена!!!! Протоны связываются с атмосферным кислородом в клетке, образуя эндогенную воду. Существует строгая зависимость потребления O и P<sub>n</sub>.

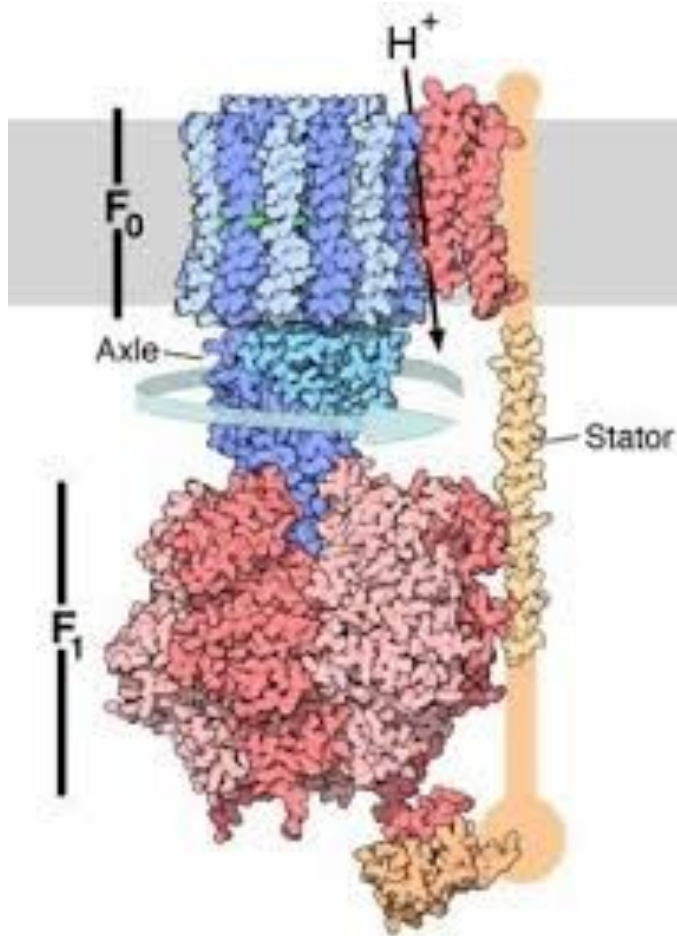
# Строение АТФ - синтетазы



- АТФ-синтазный комплекс F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> по форме напоминает плодовое тело гриба, у которого компонент F<sub>1</sub> — это шляпка, ножка — это γ-субъединица компонента F<sub>1</sub>, а «корни» гриба — компонент F<sub>0</sub>, заякоренный в мембране



# Молекулярное строение АТФ-синтетазы



- компонент  $F_0$  — трансмембранный домен,
- компонент  $F_1$  находится вне мембраны, в матриксе.

# Выход АТФ при полном окислении глюкозы:

Процесс (выход продукта)	Выход АТФ
• 1. Гликолиз: 2 NADH (в цитозоле) 2АТФ	• 6АТФ • 2АТФ • <b>Всего 8 АТФ(гликолиз)</b>
2.Окисление пирувата(2 мол. на мол. Глюкозы): 2 NADH	• 6АТФ
3.Цикл Кребса: 6NADH 2FADH <sub>2</sub> 2 АТФ	• 18АТФ • 4 АТФ • 2АТФ • <b>Всего 30 АТФ (аэробное окисление)</b>

- **Спасибо за внимание!**