

# Основы медицинской электроники

Лекция №3

# ОБМЕН ВЕЩЕСТВ В КЛЕТКЕ

- **Ассимиляции, или пластический обмен** - совокупность всех процессов синтеза сложных органических веществ (белков, жиров, углеводов, нуклеиновых кислот), идущих на построение тела организма.
- **Диссимиляция, или энергетический обмен** - совокупность всех процессов расщепления сложных органических веществ на простые (вплоть до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с выделением свободной энергии).

# Обмен веществ

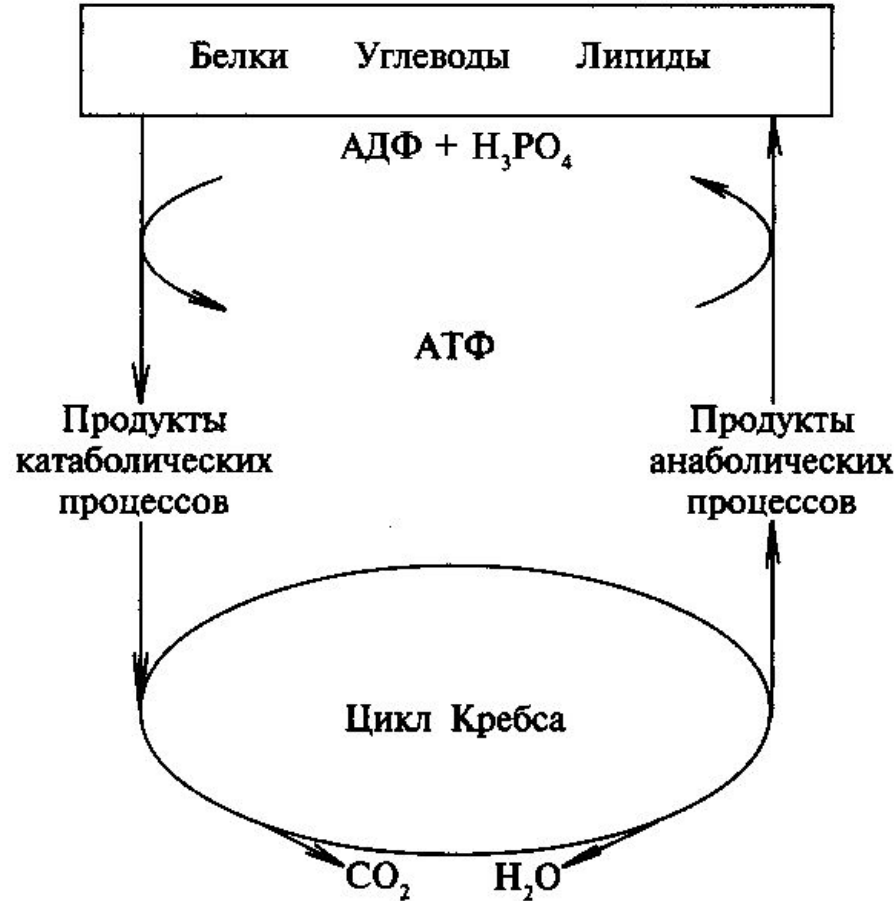
- **Метаболизм** - это совокупность всех химических реакций в клетке. Вещества, образующиеся в ходе химических реакций, принято называть метаболитами.
- **Анаболизм** (в переводе с греческого — вверх) — процессы синтеза сложных молекул из более простых, сопровождающиеся потреблением энергии.
- **Катаболизм** (в переводе с греческого — вниз) — это процессы распада веществ, сопровождающиеся выделением энергии. Катаболизм сопровождается освобождением энергии, которая может аккумулироваться в молекулах аденозинтрифосфорной (АТФ) и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ). При анаболических процессах происходит потребление энергии, которая освобождается при распаде.

# Диссимиляция, или энергетический обмен

- ***Первый этап — подготовительный.***  
Высокомолекулярные органические вещества ферментативно превращаются в более простые: белки — в аминокислоты, крахмал — в глюкозу, жиры—в глицерин и жирные кислоты.
- ***Второй этап — бескислородный.***  
Образовавшиеся на первом этапе вещества под действием ферментов претерпевают дальнейший распад.
- ***Третий этап — кислородный.*** Это этап окончательного расщепления органических веществ путем окисления кислородом воздуха до простых неорганических:  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

- Катаболизм сопровождается освобождением энергии, которая может аккумулироваться в молекулах аденозинтрифосфорной (АТФ) и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ).
- При анаболических процессах происходит потребление энергии, которая освобождается при распаде АТФ до АДФ и фосфорной кислоты или АМФ и пиррофосфорной кислоты.
- Следовательно, АТФ является сопрягающим энергетическим звеном катаболизма и анаболизма. Кроме АТФ связующим звеном могут служить специфические метаболические пути или циклы. Связующий путь (цикл), объединяющий пути распада и синтеза веществ, называется **амфиболическим**. Примером амфиболического цикла может служить цикл Кребса.

# Сопряжение процессов обмена веществ

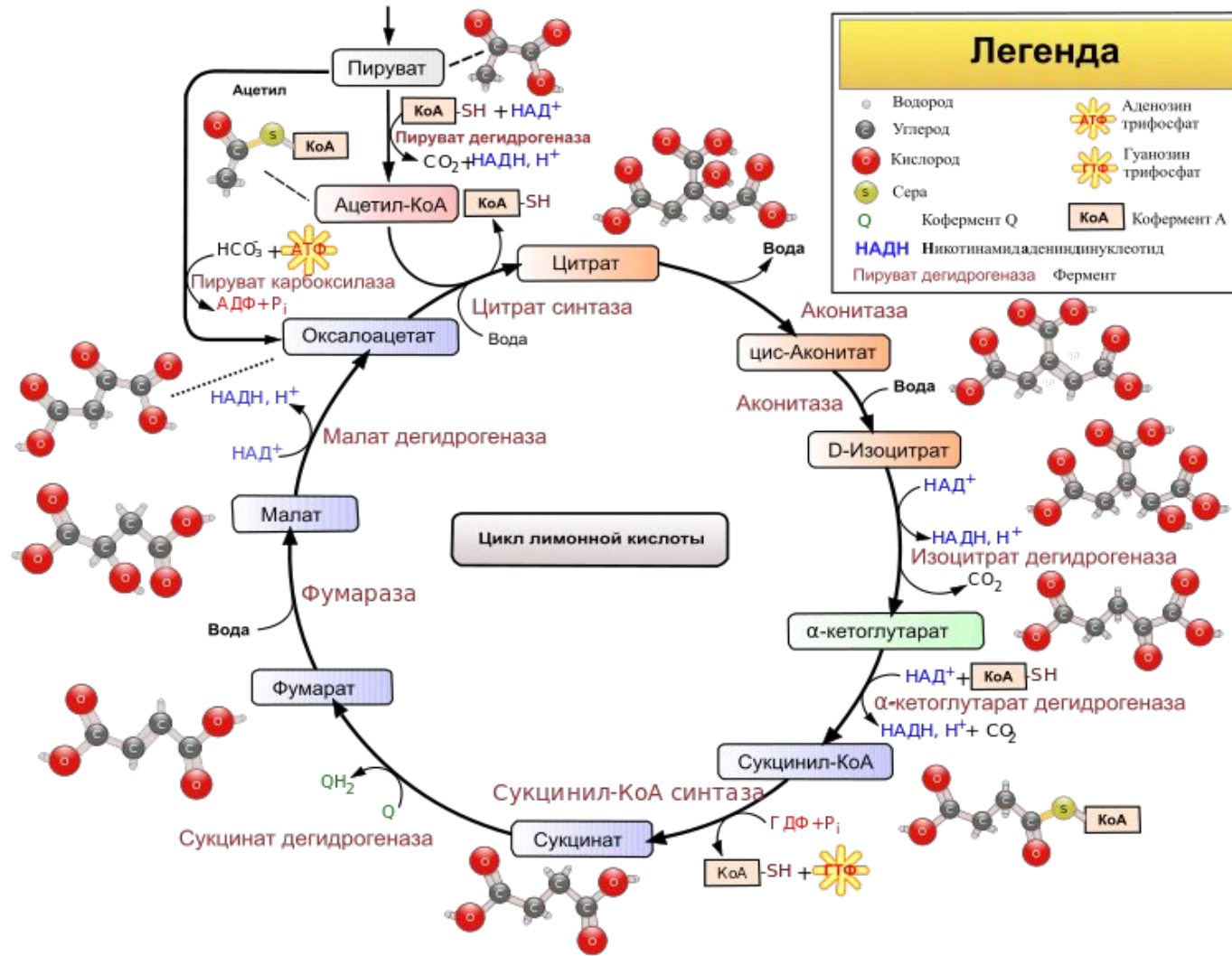


# Цикл трикарбонных кислот (цикл

*Кребса, цитратный цикл, цикл лимонной кислоты)*

- Цикл Кребса — это ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород, центр пересечения множества метаболических путей в организме. Кроме значительной энергетической роли циклу отводится также и существенная пластическая функция, то есть это важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются такие важные для жизнедеятельности клетки соединения как аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др.
- Цикл превращения лимонной кислоты в живых клетках был открыт и изучен немецким биохимиком Хансом Кребсом в живых клетках был открыт и изучен немецким биохимиком Хансом Кребсом, за эту работу он (совместно с Ф. Липманом в живых клетках был открыт и изучен немецким биохимиком Хансом Кребсом, за эту работу он (совместно с Ф. Липманом) был удостоен Нобелевской премии в живых клетках был открыт и изучен немецким биохимиком Хансом Кребсом, за эту работу он (совместно с Ф. Липманом) был удостоен Нобелевской премии (1953 год).

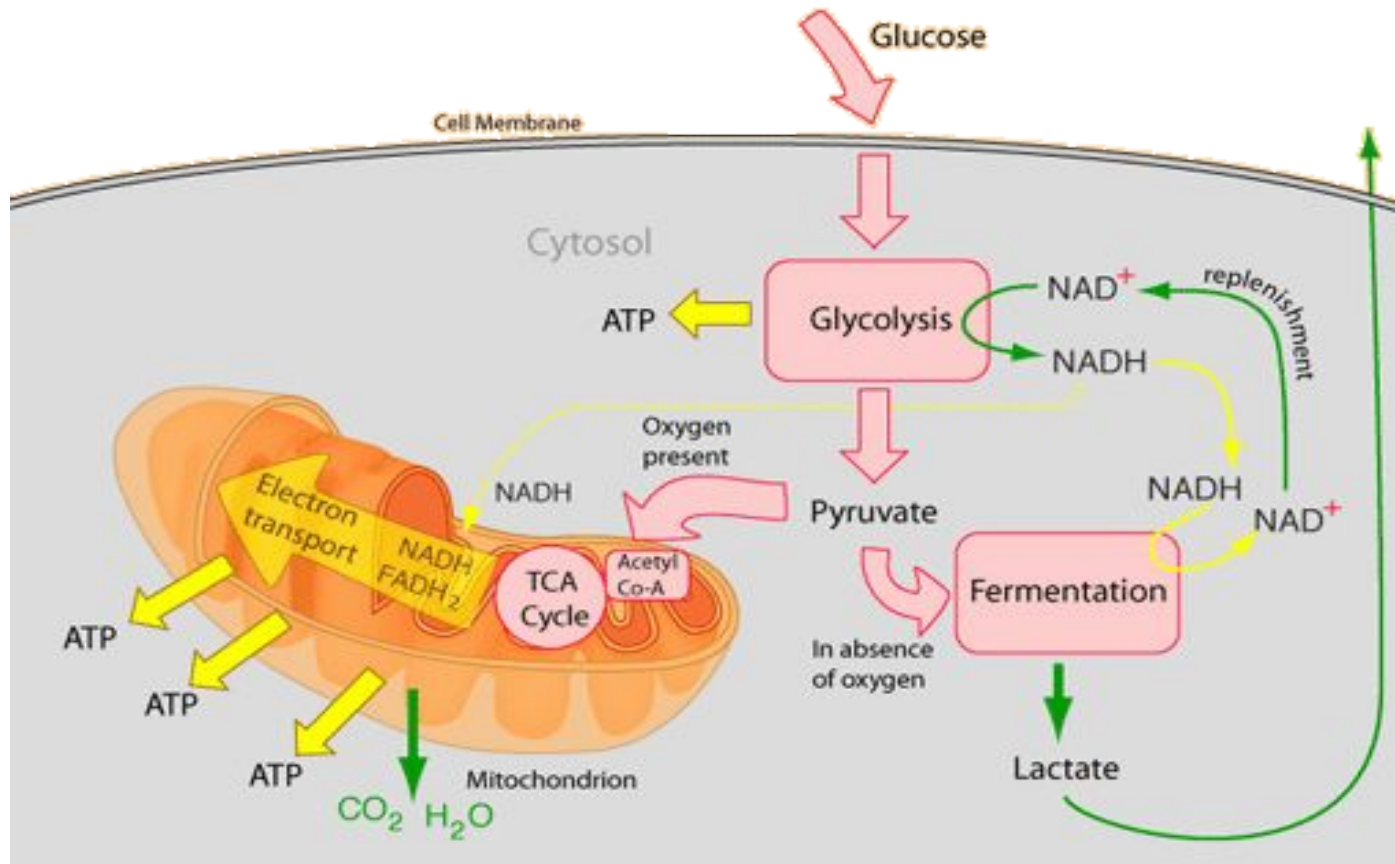
# Цикл Кребса





# Мнемоническое стихотворение

- ЩУКа съела ацетат, получается цитрат
  - через цис-аконитат будет он изоцитрат
  - водороды отдав НАД, он теряет  $\text{CO}_2$
  - этому безмерно рад альфа-кетоглутарат
  - окисление грядет — НАД похитил водород
  - ТДФ, коэнзимА забирают  $\text{CO}_2$
  - а энергия едва в сукциниле появилась
  - сразу ГТФ родилась и остался сукцинат
  - вот добрался он до ФАДа — водороды тому надо
  - фумарат воды напился, и в малат он превратился
  - тут к малату НАД пришел, водороды приобрел
  - ЩУКа снова объявилась и тихонько затаилась
  - Караулить ацетат...
- 
- Оксалоацетат (щавелевоуксусная кислота), цитрат (лимонная кислота), цис-аконитовая кислота, изоцитрат (изолимонная кислота),  $\alpha$ -кетоглутаровая кислота, сукцинил-КоА, янтарная кислота, фумаровая кислота, малат (яблочная кислота), щавелевоуксусная кислота).
- FAD — флавинадениндинуклеотид; ГТФ (гуанозинтрифосфатная кислота), ТДФ-тиаминдифосфат -Коэнзим



# Обмен углеводов

- **Углеводы** (сахара) - одна из наиболее важных и распространенных групп природных органических соединений.
- Животные и человек не способны синтезировать сахара и получают их с различными пищевыми продуктами растительного происхождения.
- В растениях углеводы образуются из двуокиси углерода и воды в процессе сложной реакции фотосинтеза, осуществляемой за счет солнечной энергии с участием зелёного пигмента растений - **хлорофилла**. В зависимости от строения углеводы (сахара) делятся на:

# Углеводы

- В зависимости от строения углеводы (сахара) делятся на:

**Моносахариды:** - *глюкоза*  $C_6H_{12}O_6$  -  
*фруктоза*  $C_6H_{12}O_6$  - *рибоза*  $C_5H_{10}O_5$

**Дисахариды:** - *сахароза*  $C_{12}H_{22}O_{11}$

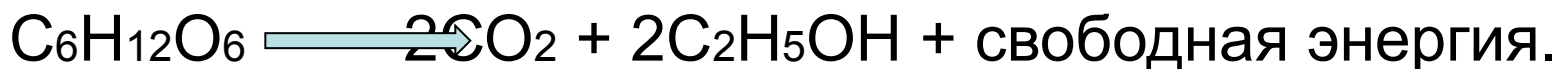
**Полисахариды:** - *крахмал*  $(C_6H_{10}O_5)_n$  -  
*целлюлоза*  $(C_6H_{10}O_5)_n$

# Обмен углеводов

- Основные углеводы – *сахара, крахмал, клетчатка* – содержатся в растительной пище, **суточная потребность** в которой у человека составляет около **500 г** (минимальная потребность 100–150 г/сут);
- Углеводы поступают в пищеварительный тракт в виде поли- и дисахаридов, а всасываются в кровь в форме простых сахаров. Содержание глюкозы в крови колеблется от 4,6 до 6,2 ммоль/л.
- Около **70%** углеводов пищи окисляется в **тканях** до воды и двуокиси углерода;
- **25%** глюкозы крови превращается в жир;
- Из **2 – 5%** в **печени и мышцах** синтезируется гликоген. Содержание гликогена в печени составляет **150–200 г**.

- **Мозг**, не имеет депо (запаса) гликогена, поэтому он нуждается в постоянном поступлении глюкозы. Углеводы – **единственный** источник, за счёт которого в норме покрываются энергетические расходы мозга. Ткань мозга поглощает около **70%** глюкозы, выделяемой печенью.
- **Мышечная ткань**, особенно при активной работе, извлекает из крови значительное количество глюкозы. Так же как и в печени, в мышцах из глюкозы синтезируется гликоген. Распад гликогена (гликолиз) является одним из источников энергии для мышечного сокращения. Из продуктов гликолиза – молочной и пировиноградной кислот, в фазе покоя в мышцах, вновь синтезируется гликоген. Суммарное содержание гликогена в мышцах составляет **1–2%** от общей массы мышц.
- **Уровень глюкозы в крови**, регулируется **гормонами** – *инсулином, глюкагоном, адреналином, соматотропином и кортизолом*. Инсулин снижает уровень глюкозы в крови при её повышении, облегчает проникновение её в клетки, способствует отложению глюкозы в тканях в виде гликогена. При снижении уровня глюкозы в крови *глюкагон, адреналин, соматотропин и кортизол* "тормозят" захват глюкозы клетками и обеспечивают трансформацию гликогена в глюкозу.

- **Бескислородный этап.** В качестве примера может служить **гликолиз** — ферментативный бескислородный распад молекулы глюкозы до двух молекул молочной кислоты в клетках животных организмов:



- ***Кислородный этап.*** Это этап окончательного расщепления органических веществ путем окисления кислородом воздуха до простых неорганических:  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

# Белки

- Белки — важная часть питания животных и человека (основные источники: мясо, птица, рыба, молоко, орехи, бобовые, зерновые; в меньшей степени: овощи, фрукты, ягоды и грибы), поскольку в их организмах не могут синтезироваться все необходимые аминокислоты и часть должна поступать с белковой пищей.
- В процессе пищеварения ферменты разрушают потреблённые белки до аминокислот, которые используются для биосинтеза собственных белков организма или подвергаются дальнейшему распаду для получения энергии.



- Белки (протеины) — это высокомолекулярные природные органические вещества, построенные из аминокислот и играющие фундаментальную роль в структуре и жизнедеятельности организмов.
- Это материал для построения клеток, тканей и органов, для синтеза ферментов, пептидных гормонов, гемоглобина и т. д. Это незаменимая основа для создания мышечных тканей.
- Белки выполняют транспортные функции (например, гемоглобин), белки обеспечивают защиту организму (антитела), участвуют в процессах пищеварения, в энергетическом обмене.
- Некоторые гормоны, такие как инсулин, — тоже белки. Можно продолжать до бесконечности, белки имеют ни с чем не сравнимое значение в питании человека.



# Ферменты

- Ферменты - это биологические катализаторы белковой природы. Термин фермент был предложен в начале 17 века голландским ученым Ван Гельмонтом. В переводе с латинского этот термин означает – «закваска». В 1878 году Кюне предложил другой термин – энзим (в переводе с греческого – внутренняя закваска).

- Ферменты и катализаторы неорганической природы, подчиняются общим законам катализа и имеют следующие признаки:
- катализируют только энергетически возможные реакции;
- не изменяют направление реакции;
- не расходуются в процессе реакции;
- не участвуют в образовании продуктов реакции.

# Строение ферментов

По строению ферменты делятся на простые (однокомпонентные) и сложные (двухкомпонентные).

**Простой фермент** состоит только из белковой части; в состав сложного фермента входит белковая и небелковая составляющие.

**Сложный фермент** еще называют **холоферментом**. При этом белковую часть в его составе называют **апоферментом**, а небелковую – **коферментом**.

Химическая природа коферментов была выяснена в 30-е года прошлого века. Оказалось, что роль некоторых коферментов играют витамины или вещества, построенные с участием витаминов В1, В2, В3, В5, В12, Н, Q и др.

Особенность сложных ферментов является то, что отдельно апофермент и кофермент не обладают каталитической активностью.

# Классификация ферментов

В настоящее время известно более 2000 ферментов.

Все ферменты разделены на 6 классов:

- оксидоредуктазы,
- трансферазы,
- гидролазы,
- лиазы,
- изомеразы,
- лигазы.

Классы ферментов делятся на подклассы, а подклассы, в свою очередь, на подподклассы. Каждый подкласс уточняет действие фермента.

# Обмен липидов

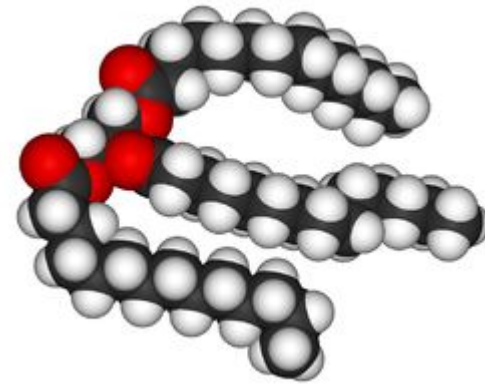
- **Липидами** называют природные неполярные соединения, нерастворимые в воде, но растворимые в неполярных растворителях, таких как эфир, хлороформ, бензол и др. В класс липидов попадает обширная группа соединений, имеющих разную структуру и биологические функции. В структурном отношении все липиды являются сложными эфирами жирных кислот и разнообразных спиртов.

- К основным **биологическим функциям липидов** можно отнести следующие:
- **энергетическая** — при окислении липидов в организме выделяется энергия (при окислении 1 г липидов выделяется 39,1 кДж);
- **структурная** — входят в состав различных биологических мембран;
- **транспортная** — участвуют в транспорте веществ через липидный слой биомембраны;
- **механическая** — липиды соединительной ткани, окружающей внутренние органы, и подкожного жирового слоя предохраняют органы от повреждений при внешних механических воздействиях;
- **теплоизолирующая** — благодаря своей низкой теплопроводности сохраняют тепло в организме.



# Жиры

- **Жиры** или **Триглицериды** — природные органические соединения — природные органические соединения, полные сложные эфиры — природные органические соединения, полные сложные эфиры глицерина — природные органические соединения, полные сложные эфиры глицерина и одноосновных жирных кислот — природные органические соединения, полные сложные эфиры глицерина и одноосновных жирных кислот; входят в класс липидов.
- В живых организмах выполняют прежде всего структурную и энергетическую функции: они являются основным компонентом клеточной мембраны, а в жировых клетках сохраняется энергетический запас организма.
- Наряду с углеводами Наряду с углеводами и белками Наряду с углеводами и белками жиры



Шариковая модель триглицерида. Красным цветом выделен кислород, чёрным — углерод, белым — водород.

- **Состав жиров** определили французские ученые [М. Шеврель](#) определили французские ученые М. Шеврель и [М. Бертло](#) определили французские ученые М. Шеврель и М. Бертло. В 1811 году М. Шеврель установил, что при нагревании смеси жира с водой в щелочной среде образуются [глицерин](#) определили французские ученые М. Шеврель и М. Бертло. В 1811 году М. Шеврель установил, что при нагревании смеси жира с водой в щелочной среде образуются глицерин и [карбоновые кислоты](#) (стеариновая и олеиновая). В 1854 году химик М. Бертло осуществил обратную реакцию и впервые синтезировал жир, нагревая смесь глицерина и карбоновых кислот.
- **Энергетическая ценность жира** приблизительно равна 9,1 [ккал](#) приблизительно равна 9,1 ккал на грамм, что соответствует 38 [к](#) приблизительно равна 9,1 ккал на грамм, что соответствует 38 [кДж](#) приблизительно равна 9,1 ккал на грамм, что соответствует 38 [кДж/г](#). Таким образом, энергия, выделяемая при расходе 1 грамма жира, приблизительно соответствует, с учетом [ускорения свободного падения](#), поднятию груза весом 39000 Н (массой  $\approx$  4000 кг) на высоту 1 метр.
- **Жиры являются одним из основных источников энергии** для млекопитающих. [Эмульгирование](#) жиров в [кишечнике](#) жиров в кишечнике (необходимое условие их всасывания) осуществляется при участии солей [жёлчных кислот](#).
- **Насыщенные жиры** расщепляются в организме на 25—30 %, а ненасыщенные жиры расщепляются полностью.
- Благодаря крайне низкой теплопроводности жир, откладываемый в подкожной жировой клетчатке, служит **термоизолятором**

# Биоэнергетика клетки

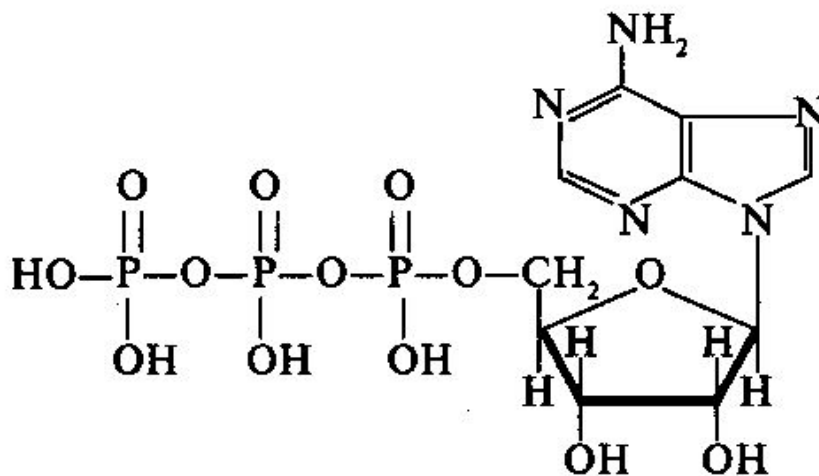
- **АТФ – разменная энергетическая валюта клетки.**
- В начале 40-х годов известный биохимик Ф. Липман высказал гипотезу, что различные реакции освобождения энергии в клетке всегда сопряжены с одной и той же реакцией, а именно синтезом АТФ из ее предшественников — аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) и неорганической ортофосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ).
- С другой стороны, реакции расщепления (гидролиза) АТФ до АДФ и  $H_3PO_4$  сопряжены, по Липману, с совершением различных типов полезной работы, другими словами, образование АТФ служит универсальным накопителем энергии, а расщепление АТФ — универсальным поставщиком энергии.
- Оборот АТФ очень высок. Например, человек в покое расходует около 40 кг АТФ за 24 ч, а в период интенсивной работы скорость использования АТФ достигает 0,5 кг за 1 минуту.

- Освобождение энергии фосфатной связи АТФ возможно двумя путями.
- Первый путь — это отщепление концевой фосфата, в результате образуется АДФ и фосфорная кислота:
  - $\text{АТФ} \longrightarrow \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4$
- Другой путь освобождения энергии фосфатной связи АТФ — пирофосфатное расщепление:
  - $\text{АТФ} \longrightarrow \text{АМФ} + \text{H}_3\text{PO}_4$

# Где и как образуется АТФ?

- Первой биохимической системой, для которой выяснили механизм образования АТФ, оказался **гликолиз** - вспомогательный тип энергообеспечения, включающийся в условиях нехватки кислорода.
- При гликолизе молекула глюкозы расщепляется пополам и полученные обломки окисляются до молочной кислоты.
- Такое окисление сопряжено с присоединением фосфорной кислоты к каждому из фрагментов молекулы глюкозы, то есть с их **фосфорированием**.
- Последующий перенос фосфатных остатков с фрагментов глюкозы на АДФ дает АТФ.

# Бескислородная энергетика



Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)



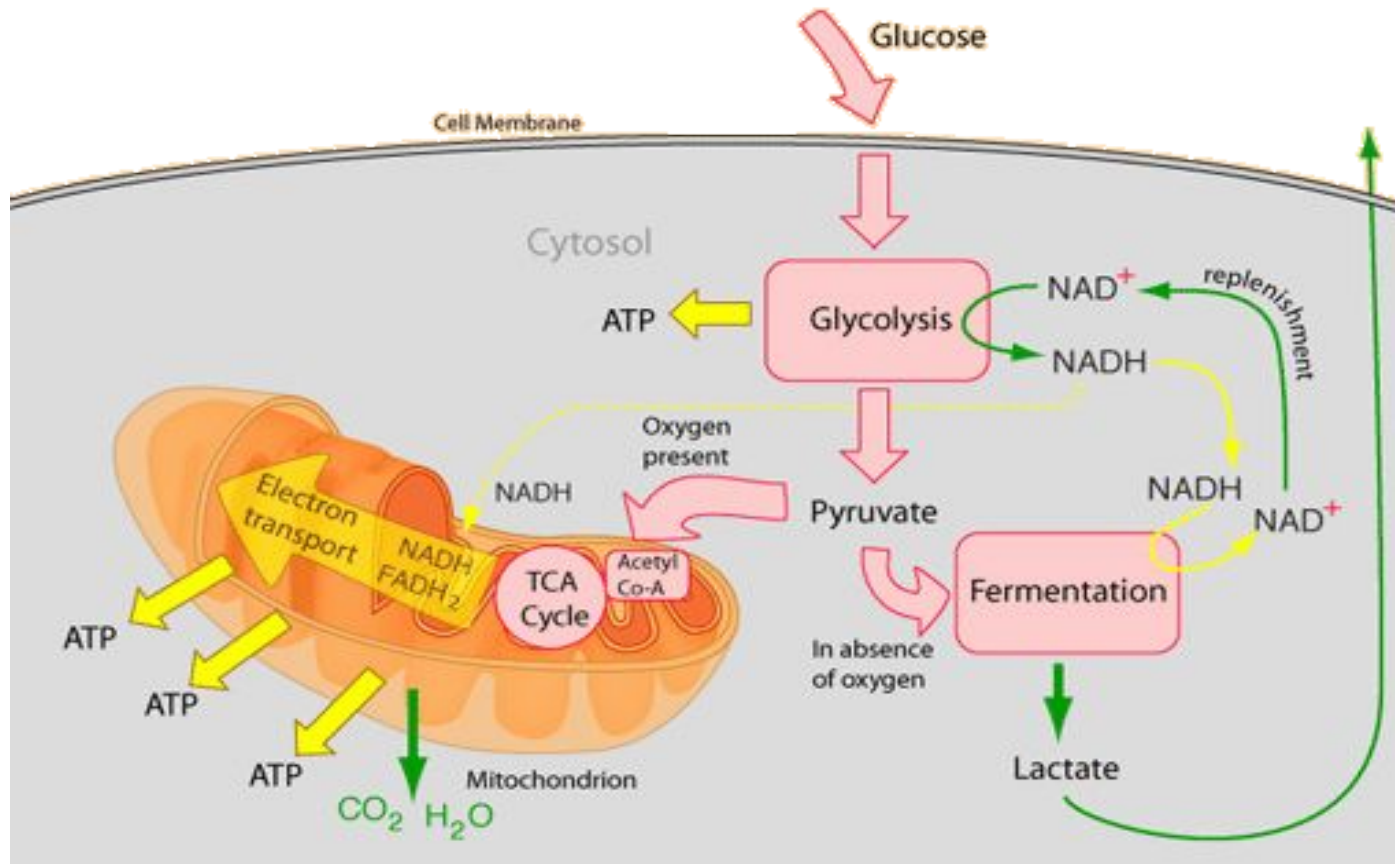
Креатинфосфат (КФ)

# Мембранные машины

- Клетки животных и человека получают необходимую для поддержания жизни энергию за счет сжигания химических веществ — белков, углеводов, липидов, вырабатываемых другими организмами.
- Молекулы этих веществ настолько велики, что они обычно не могут пройти через мембрану и, следовательно, не могут попасть внутрь клетки.
- Поэтому под влиянием специальных ферментов — протеаз, амилаз, липаз — они расщепляются на аминокислоты, сахара, глицерин и жирные кислоты, которые поступают внутрь клетки. Здесь они подвергаются дальнейшему расщеплению.

- Эти процессы проходят сложно, многоступенчато. Состоят из нескольких десятков следующих одна за другой реакций, протекающих под влиянием различных ферментов.
- Эти ферменты расположены на внутриклеточных мембранах правильными рядами, образующими ферментный конвейер.
- Молекула глюкозы попадает на первую ступень первого (бескислородного) конвейера, затем продукты ее превращения передвигаются на второй фермент, далее — на третий и т. д.
- С последнего фермента сходят две молекулы пировиноградной кислоты, которые для дальнейшей переработки поступают на второй (кислородный) конвейер.
- Этот конвейер находится в **митохондриях**.





# Митохондрии

- Митохондрии присутствуют в клетках всех животных и растений. Они имеются также в клетках некоторых микроорганизмов (дрожжей), но отсутствуют у бактерий. В зависимости от типа клетки в ней может находиться от нескольких десятков до нескольких тысяч митохондрий (одна клетка печени содержит, например, около 4000 митохондрий).
- Как мы уже говорили, митохондрии представляют собой силовые станции клетки, в которых энергия пищи превращается в другие виды энергии.
- Такие энергообразующие устройства называют биохимическими машинами. В отличие от электрических и механических машин, используемых в технике, биохимические машины — молекулярных размеров. Все преобразования энергии осуществляются в них путем химических превращений молекул.
- Этот порядок обеспечивается закреплением молекул в мембране. Поэтому любая биохимическая машина имеет мембранную структуру.

# Из чего построены мембраны?

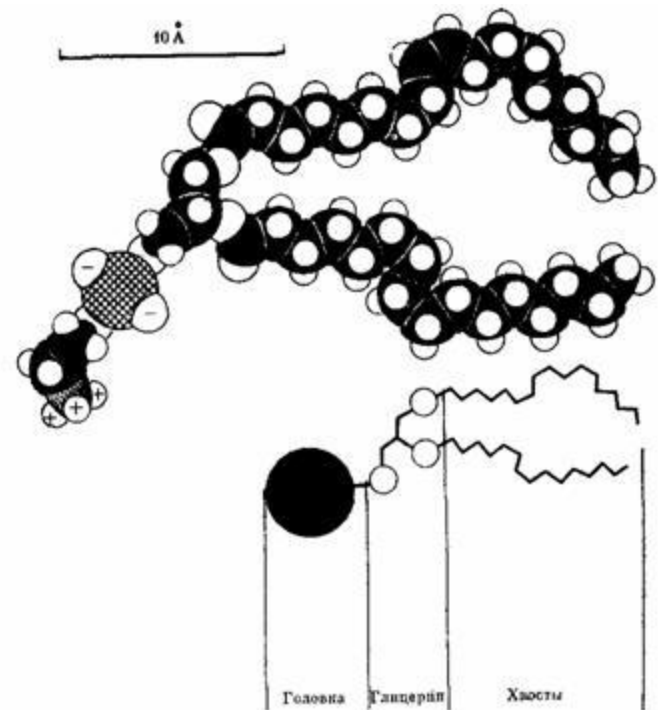
- Мембраны образованы, главным образом, липидами и белками; в них имеются также углеводные компоненты, связанные с липидами и белками. Липиды мембран (в основном, фосфолипиды) в водной среде спонтанно образуют замкнутые бимолекулярные слои, непроницаемые для полярных соединений.

Мембранные липиды —  
низкомолекулярные вещества,  
относящиеся к жирам.

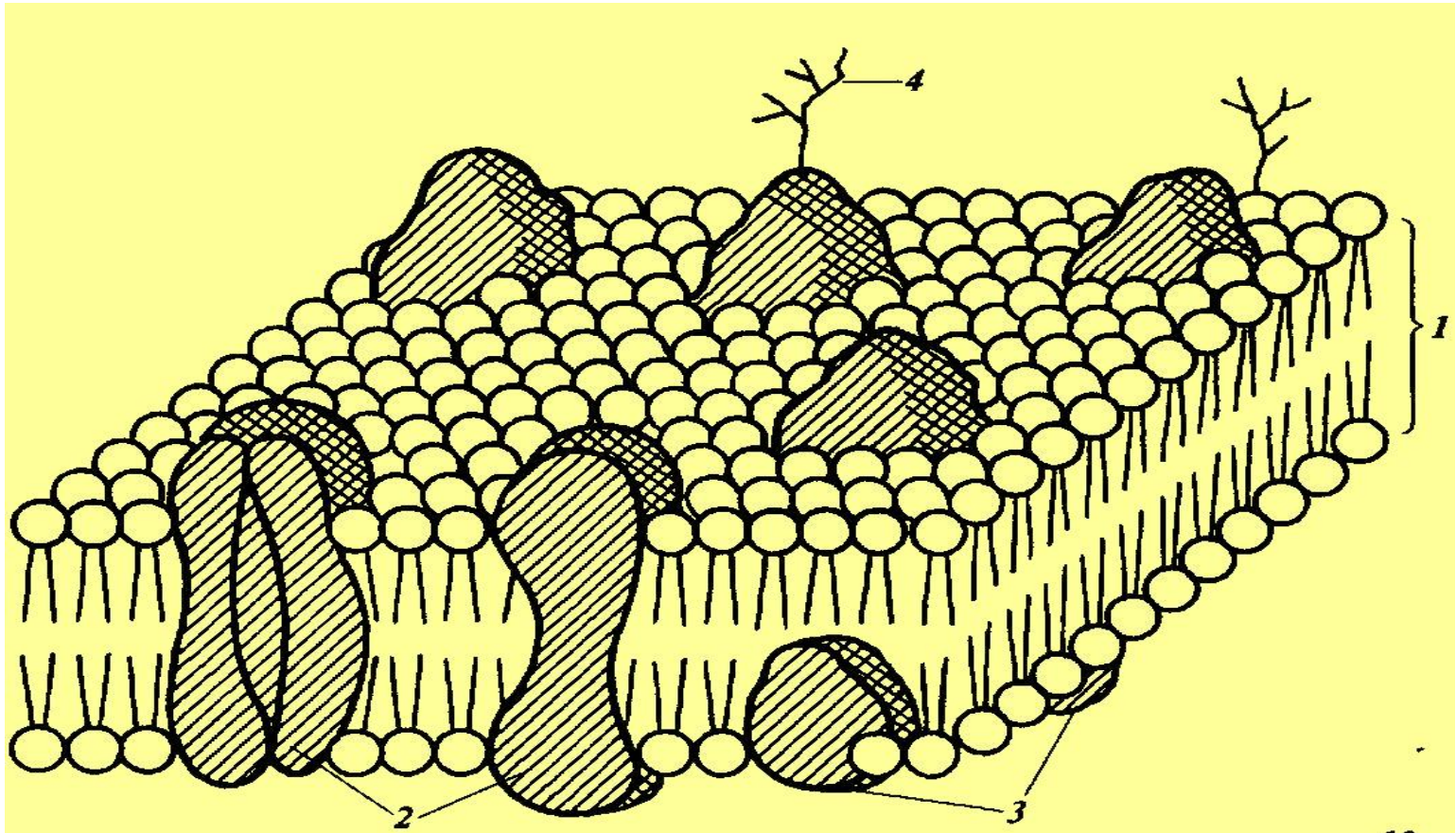
Характерная особенность любой  
липидной молекулы состоит в том,  
что она построена из двух частей:  
несущей электрические заряды  
(полярной) головки, на которую  
обычно приходится не более  
четверти длины всей молекулы (и  
длинных хвостов, не несущих  
электрического заряда.

Хвосты липидной молекулы — длинные  
цепи, построенные из атомов  
углерода и водорода.

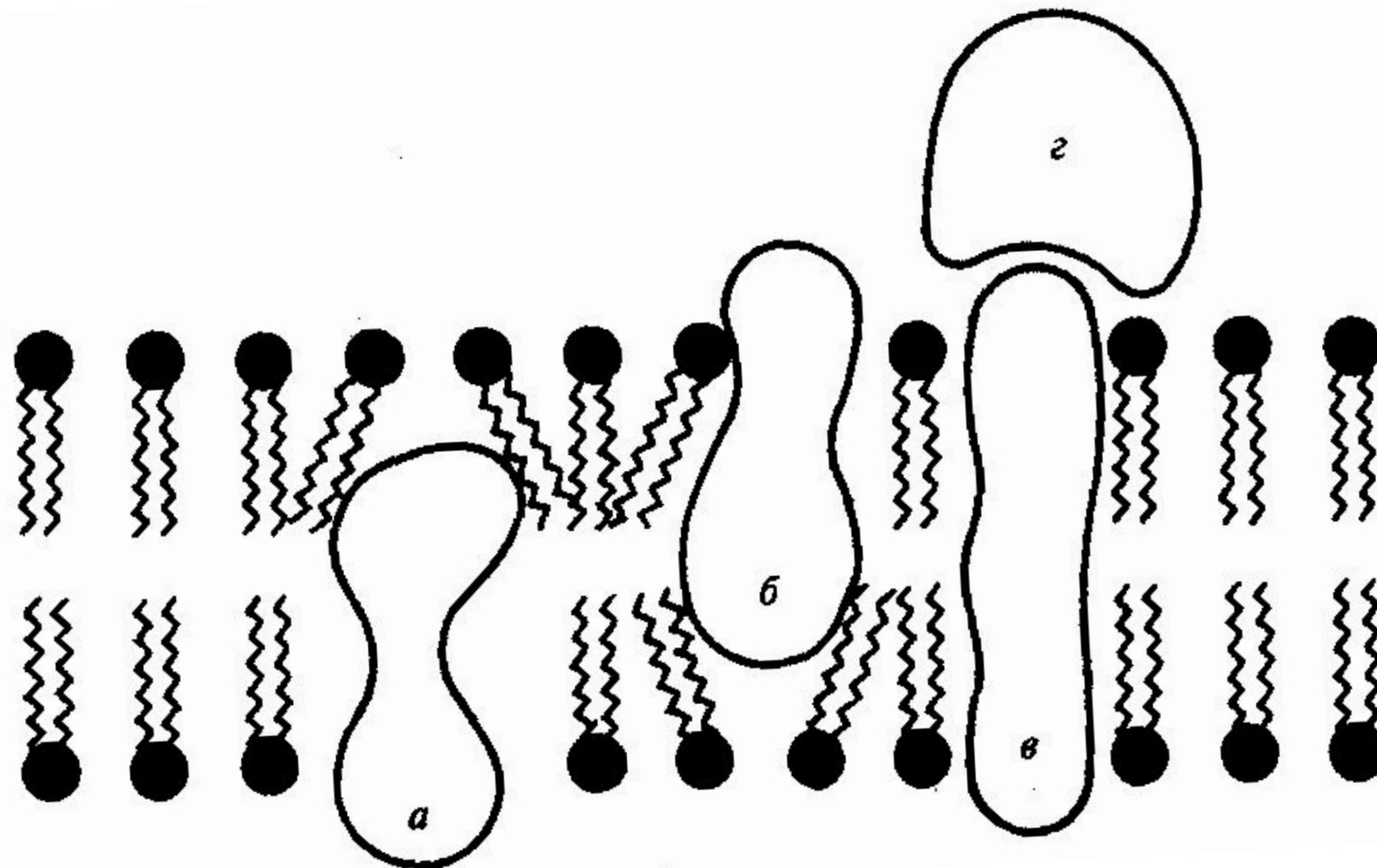
Головки могут иметь самое  
разнообразное устройство, но для  
липидов мембран наиболее  
характерны два их типа:  
производные сахаров —  
гликолипиды или производные  
фосфорной кислоты —  
фосфолипиды.



# Наружная мембрана клетки



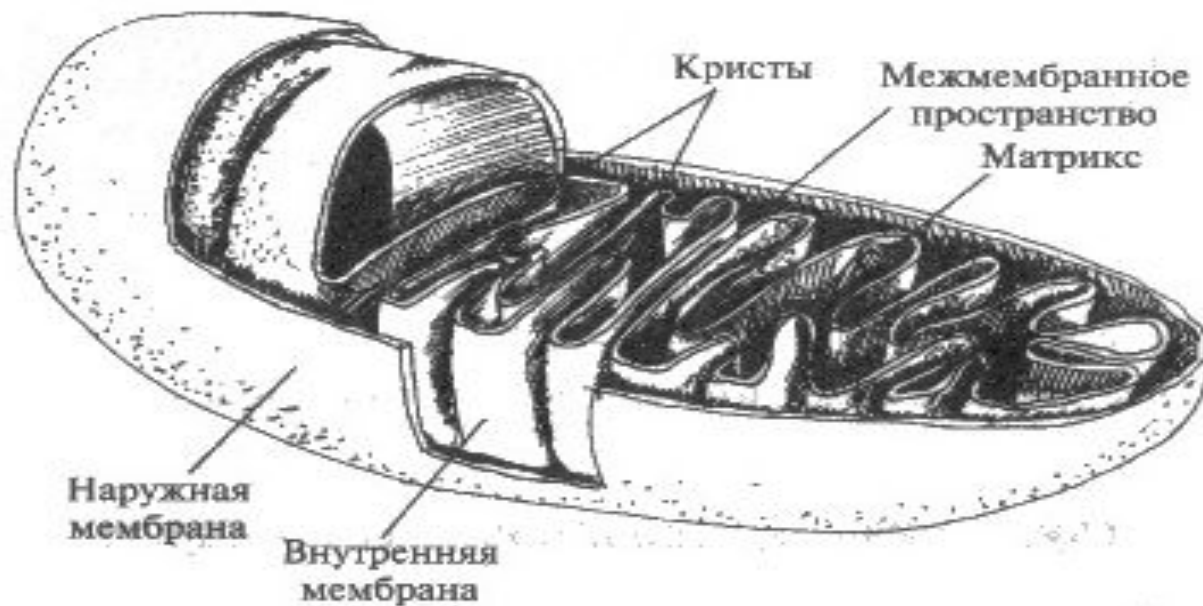
# Мембранные белки



# Мембранные белки:

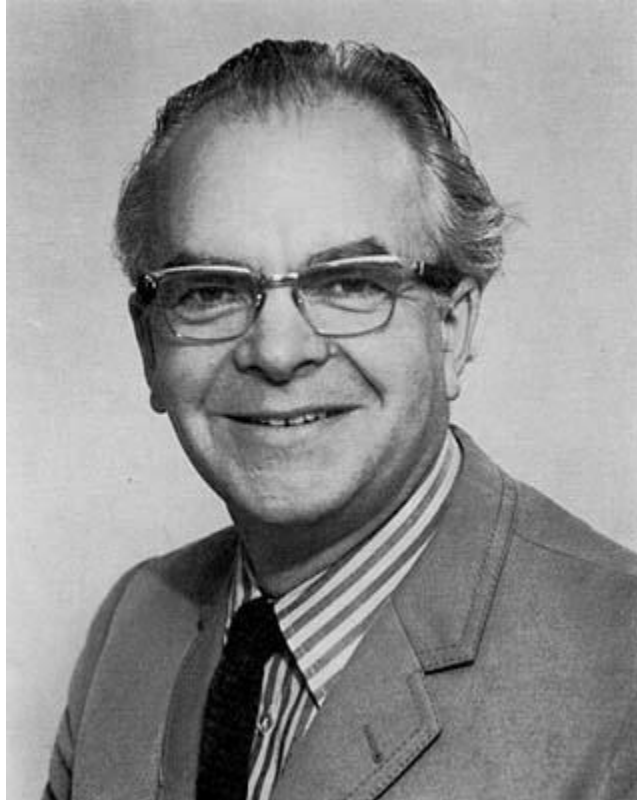
- структурные белки, помогающие поддерживать структуру мембран;
- ферменты, катализирующие все химические превращения на мембранах;
- транспортные белки, участвующие в транспорте соединений внутрь и наружу клеток и клеточных органелл;
- белки-рецепторы, специфически связывающие определенные соединения (гормоны, нейромедиаторы) на наружной стороне мембраны, что служит сигналом для изменения химических процессов в мембране или внутри клетки.

# Строение митохондрии





# Питер Митчелл



- В 1966 г. Митчелл пишет свою первую книгу «Хемиосмотическое сопряжение в окислительном и фотосинтетическом фосфорилировании». В том же году российские ученые, биофизик Е. Либерман и биохимик В. Скулачев, придумали, как экспериментально подтвердить правоту Митчелла. С