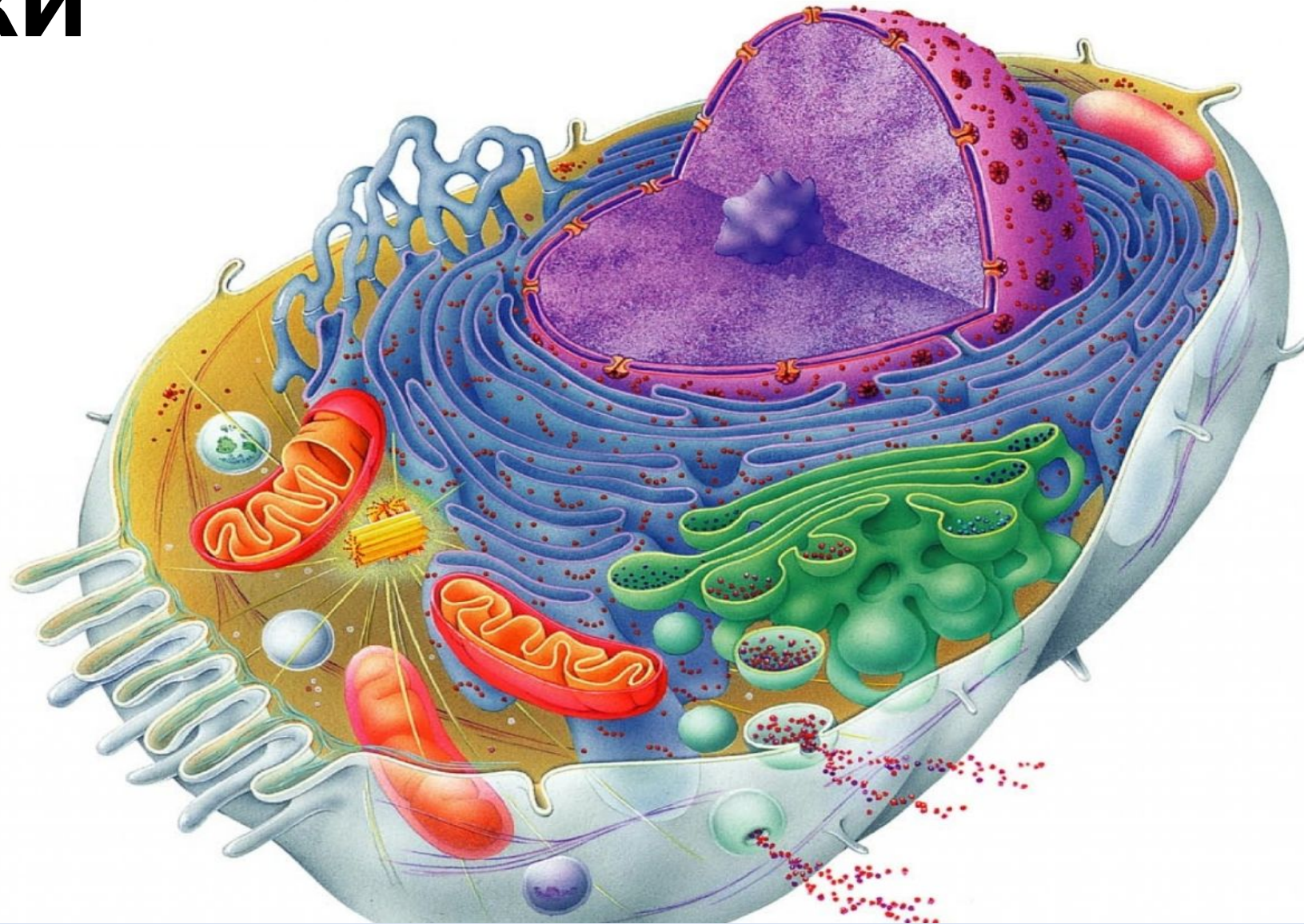
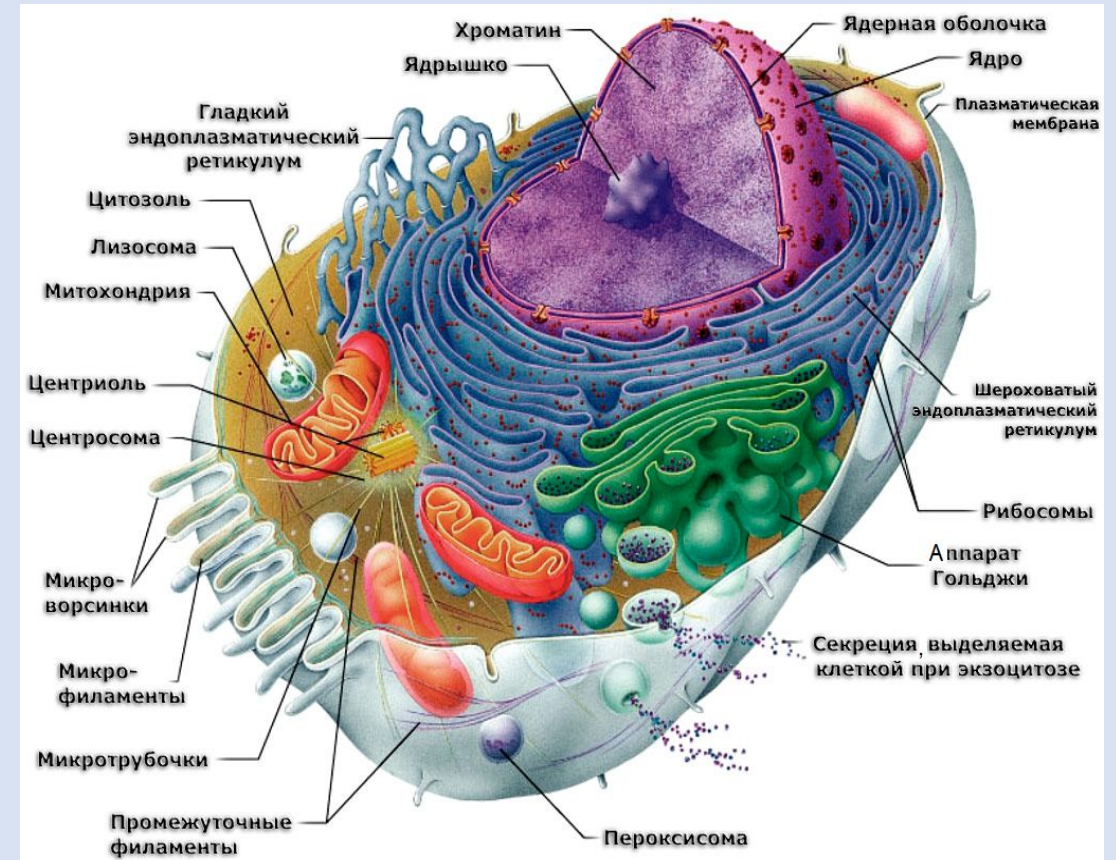


Строение эукариотической клетки



Структуры эукариотической клетки

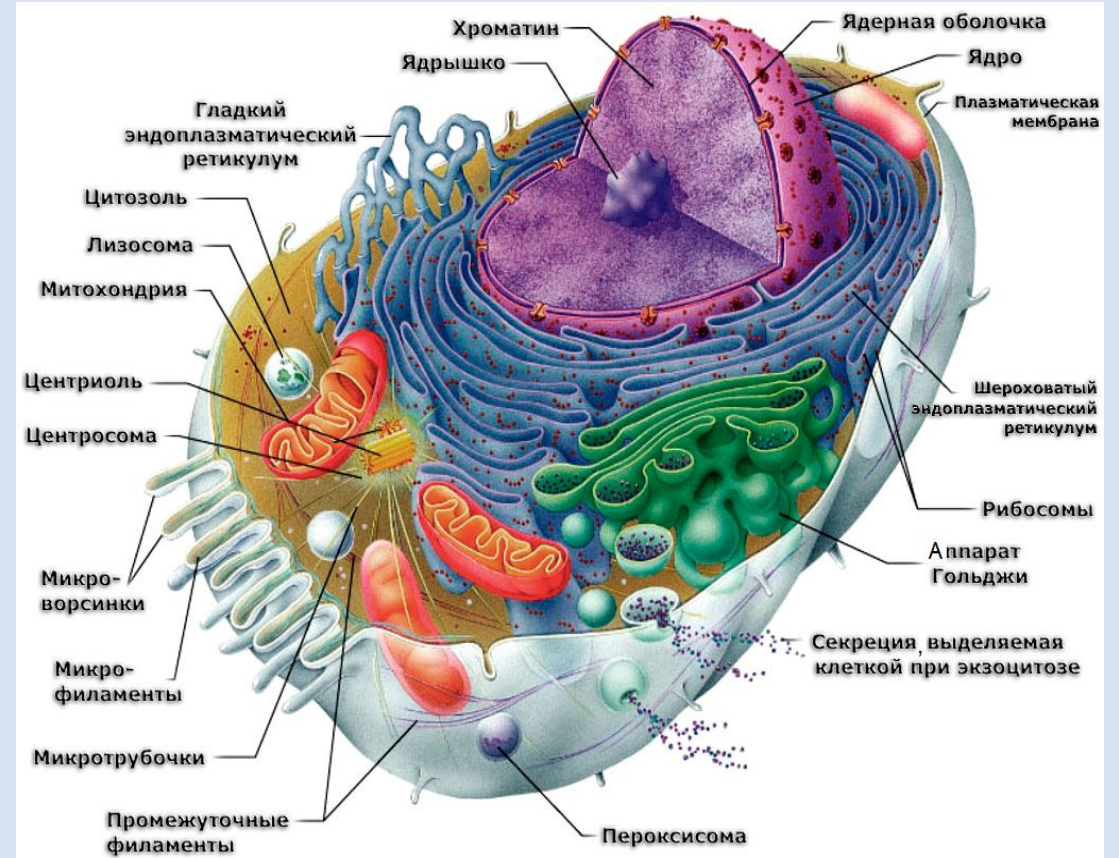
- Основные структуры эукариотической клетки: цитоплазматическая мембрана, цитоплазма и ядро.
- Клетки эукариот содержат множество внутренних структур, выполняющих определенные функции. Эти структуры называются **органеллами**.



Строение эукариотической клетки

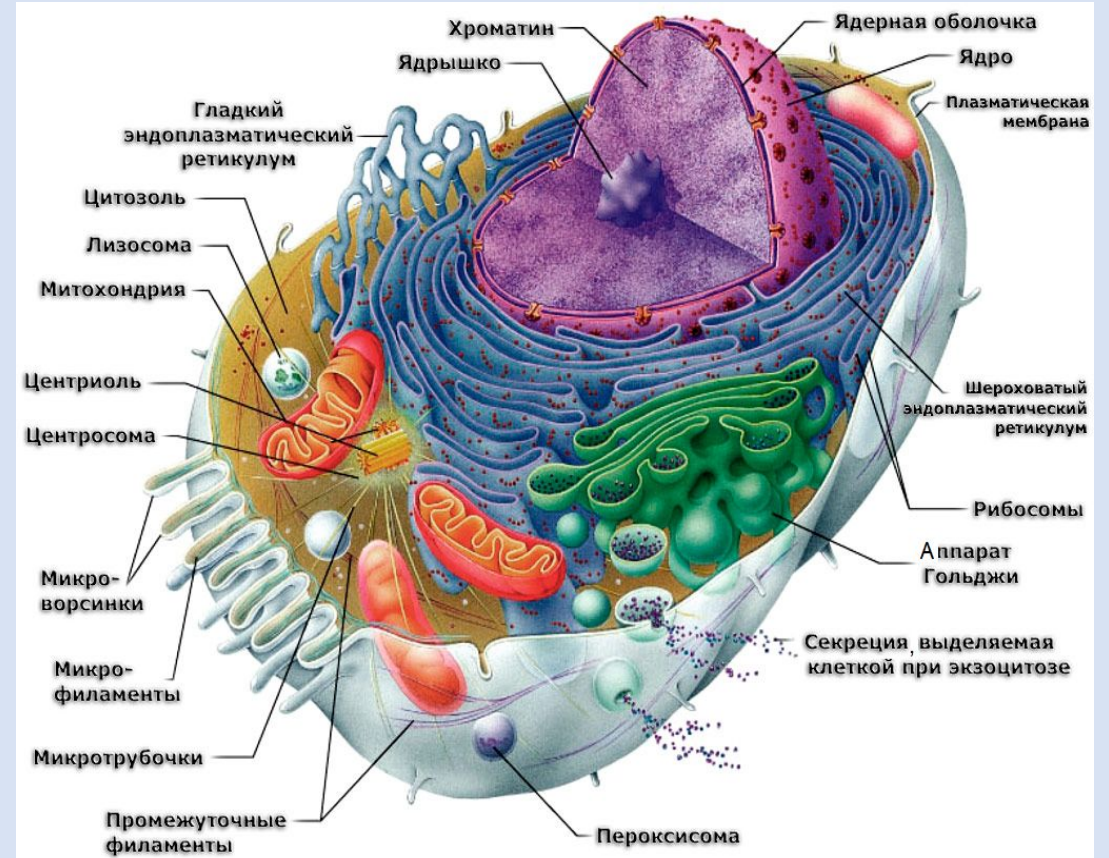
Структуры эукариотической клетки

- **Цитоплазма** — обязательная часть клетки, заключенная между плазматической мембраной и ядром. Цитоплазма объединяет все клеточные структуры и способствует их взаимодействию друг с другом.
- Цитоплазма заполнена взвесью частиц и органелл.
- **Цитозоль (гиалоплазма)** — свободная часть цитоплазмы, в которой взвешены органеллы.
- По химическому составу цитозоль представляет из себя густой раствор белков, углеводов (глюкозы) и ионов, заполняющий все внутреннее пространство клетки.
- У эукариот часть химических реакций протекает в цитозоле, а часть — внутри органоидов.



Структуры эукариотической клетки

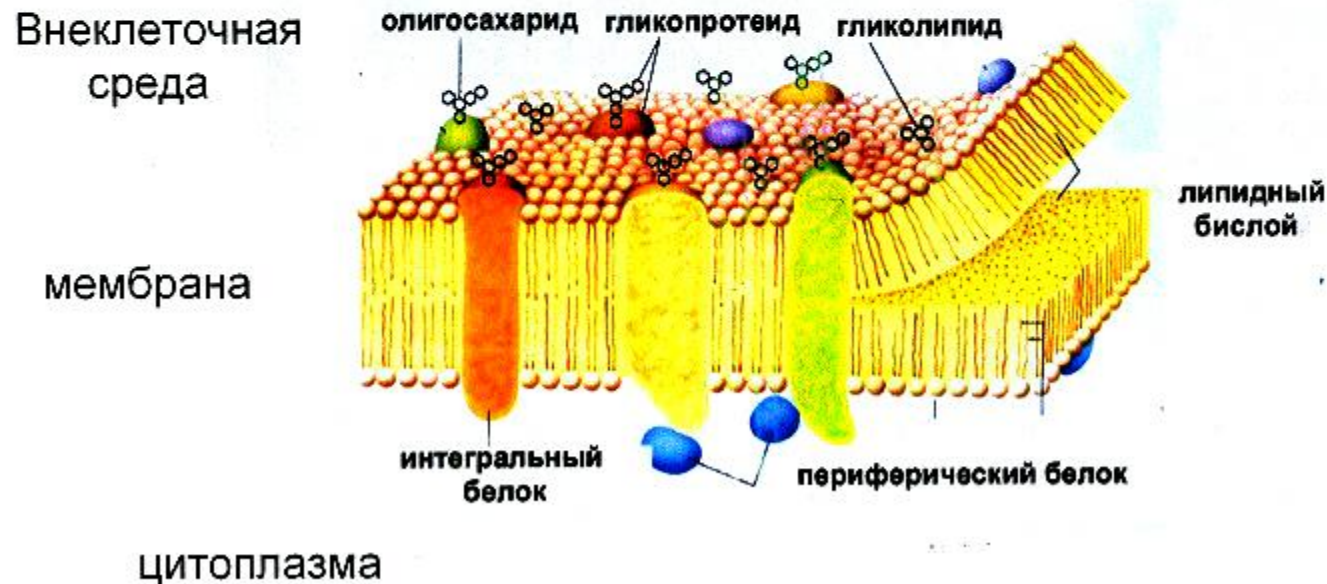
- В животных клетках различают два слоя цитоплазмы:
- **эктоплазма** — наружный слой цитоплазмы (мало органоидов, высокая вязкость);
- **эндоплазма** — внутренний слой цитоплазмы (содержит основные органоиды).
- В цитоплазме осуществляются все процессы клеточного метаболизма, кроме синтеза нуклеиновых кислот, происходящего в ядре. Под контролем ядра цитоплазма способна к росту и воспроизведению, при частичном удалении она полностью регенерирует. Цитоплазма, как правило, не способна к длительному автономному существованию.



Плазматическая мембрана

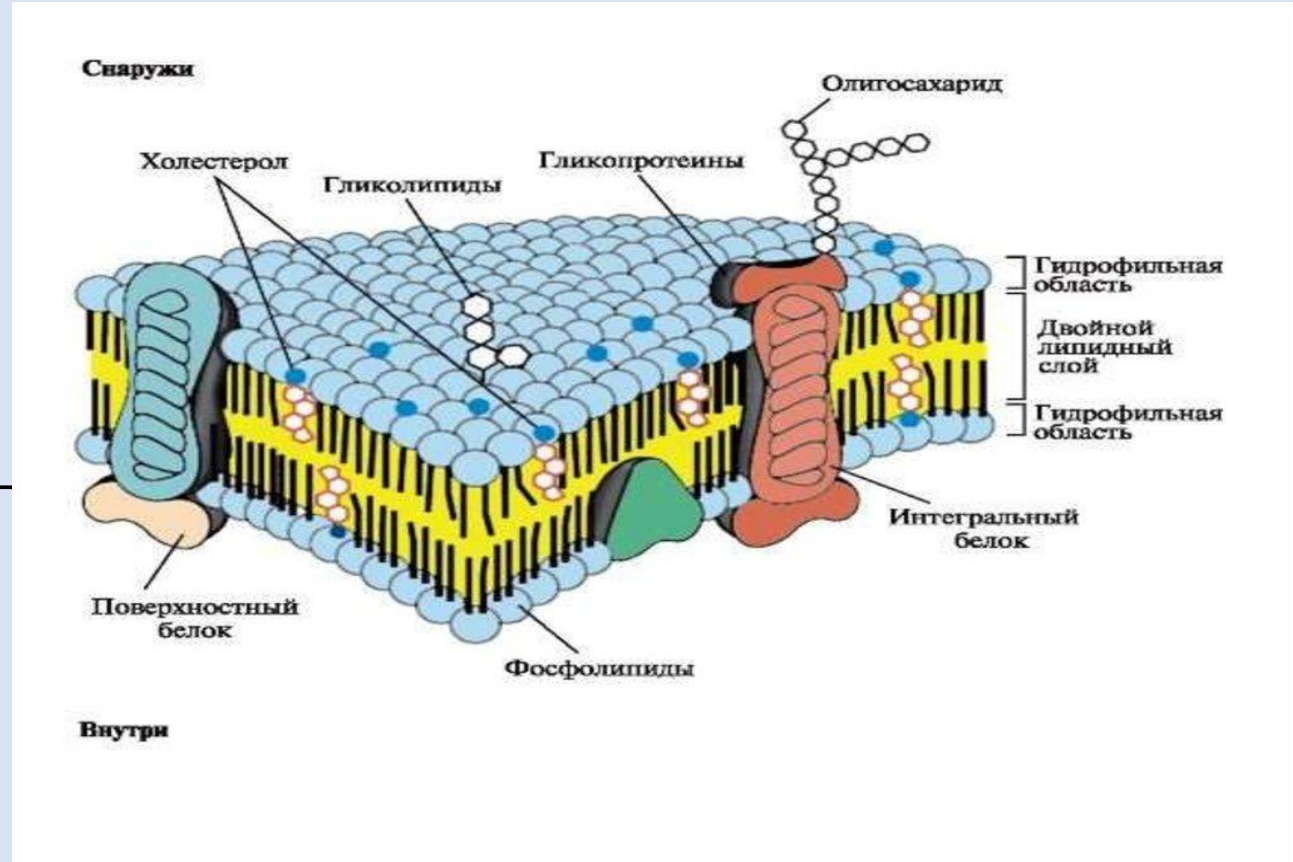
Плазматическая мембрана отделяет клетку от окружающей среды, обеспечивает избирательный транспорт веществ и воспринимает сигналы из окружающей среды.

Состоит из бислоя липидов, в который встроены интегральные белки мембраны. Наружная сторона мембраны содержит много олигосахаридов, ковалентно связанных с липидами и белками.



Цитоплазматическая мембрана

- Снаружи эукариотическая клетка окружена цитоплазматической мембраной. Она выполняет те же функции: изолирующую, транспортную и рецепторную, у многоклеточных организмов цитоплазматическая мембрана выполняет также функцию межклеточного узнавания и взаимодействия.
- У растений и грибов снаружи от цитоплазматической мембраны лежит **клеточная стенка**. У растений она построена на основе целлюлозы, а у грибов – на основе хитина. У животных клеточной стенки нет, но к мембране снаружи прикрепляется довольно толстый слой специфических полисахаридов и белков, называемый **гликокаликс**. В отличие от клеточной стенки, он эластичен, что позволяет клеткам менять свою форму. В отличие от клеточной стенки, гликокаликс прочно связан с мембраной и не отделяется от нее.

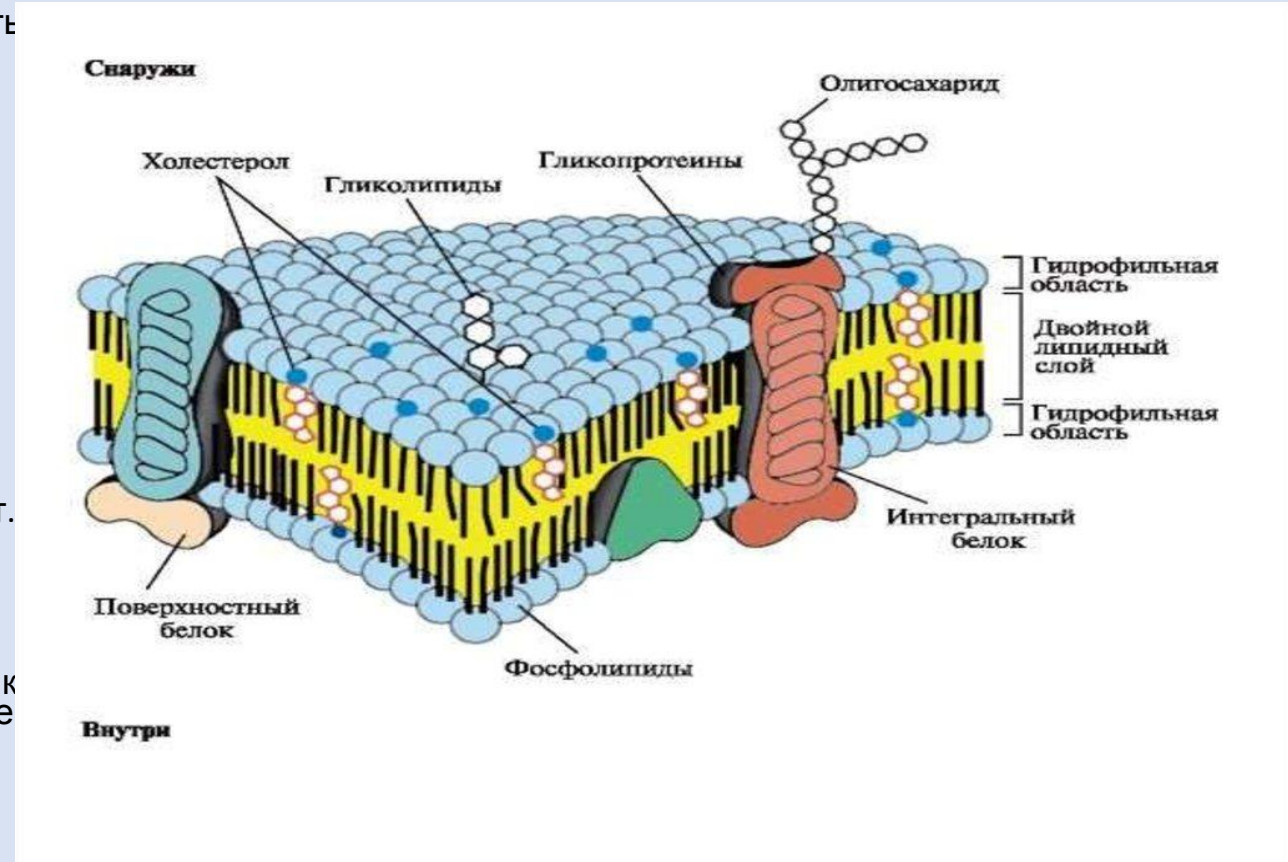


Структуры эукариотической клетки

- **Гликокаликс** — углеводная оболочка клетки. Большая часть углеводов мембран представлена не свободными молекулами, а комплексами с другими молекулами:
- углевод + белок = гликопротеин (большая часть интегральных белков);
- углевод + липид = гликолипид (1/10 часть липидных молекул мембраны);
- белок с боковыми углеводными цепями = протеогликан.
- Углеводные части мембранных структур почти всегда направлены наружу и выступают над поверхностью клетки.

Функции гликокаликса:

- отталкивание от клетки отрицательно заряженных частиц (т.к. многие углеводные молекулы гликокаликса имеют отрицательный заряд);
- скрепление соседних клеток друг с другом;
- рецепторная функция (связывание гормонов, что приводит к активации определенных мембранных белков, и запускание каскада ферментативных реакций внутри клетки);
- участие в иммунных реакциях.

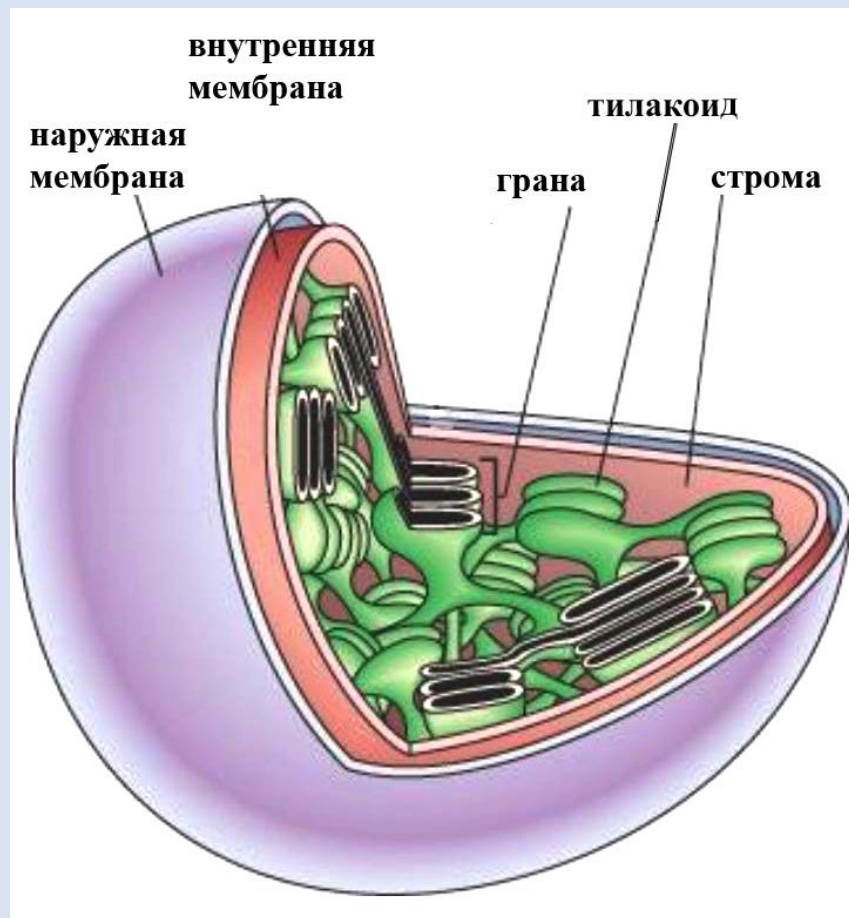


Органеллы

- Все органеллы эукариотической клетки можно условно разделить на три группы:
- *Одномембранные*, стенка которых образована одной мембраной. К ним относятся эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы, вакуоли, секреторные пузырьки, пероксисомы.
- *Двумембранные*, стенка которых образована двумя мембранами. Это митохондрии и пластиды (хлоропласты, хромопласты и лейкопласты).
- *Немембранные*. Это цитоскелет, клеточный центр, рибосомы.



Двумембранные органеллы



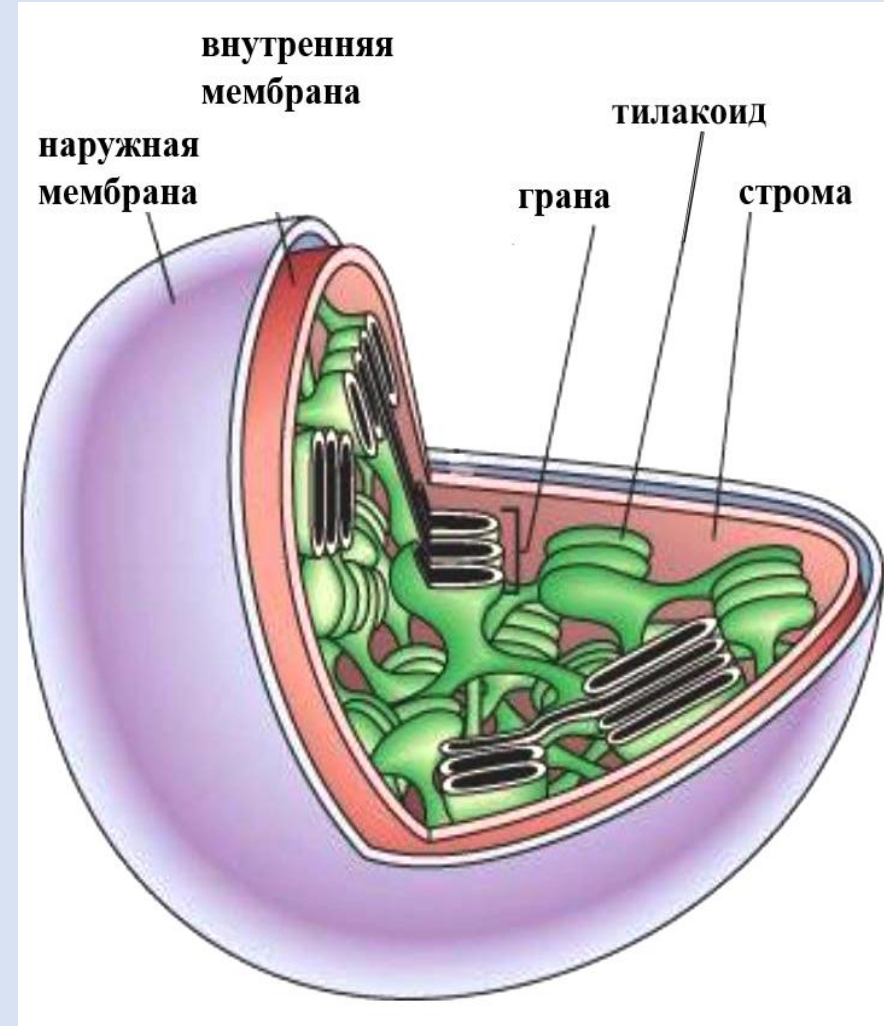
Митохондрии

- Снаружи митохондрии покрыты внешней мембраной, сходной с другими мембранами клетки. Расположенная под ней внутренняя мембрана отличается по липидному и белковому составу, напоминая мембрану бактерий. В ней высоко содержание белков, именно в ней находятся ферменты, осуществляющие окисление веществ кислородом, и синтез за счет этого АТФ. Для увеличения площади внутренняя мембрана митохондрий образует многочисленные складки — **кристы**. Между двумя мембранами находится изолированное от цитоплазмы *межмембранное пространство*. Внутри митохондрии находится пространство, называемое **матрикс**, в котором осуществляется расщепление различных веществ: жирных кислот, аминокислот и продуктов распада углеводов. В митохондриях имеются собственные рибосомы и ДНК. Они ответственны за образование части белков митохондрий.



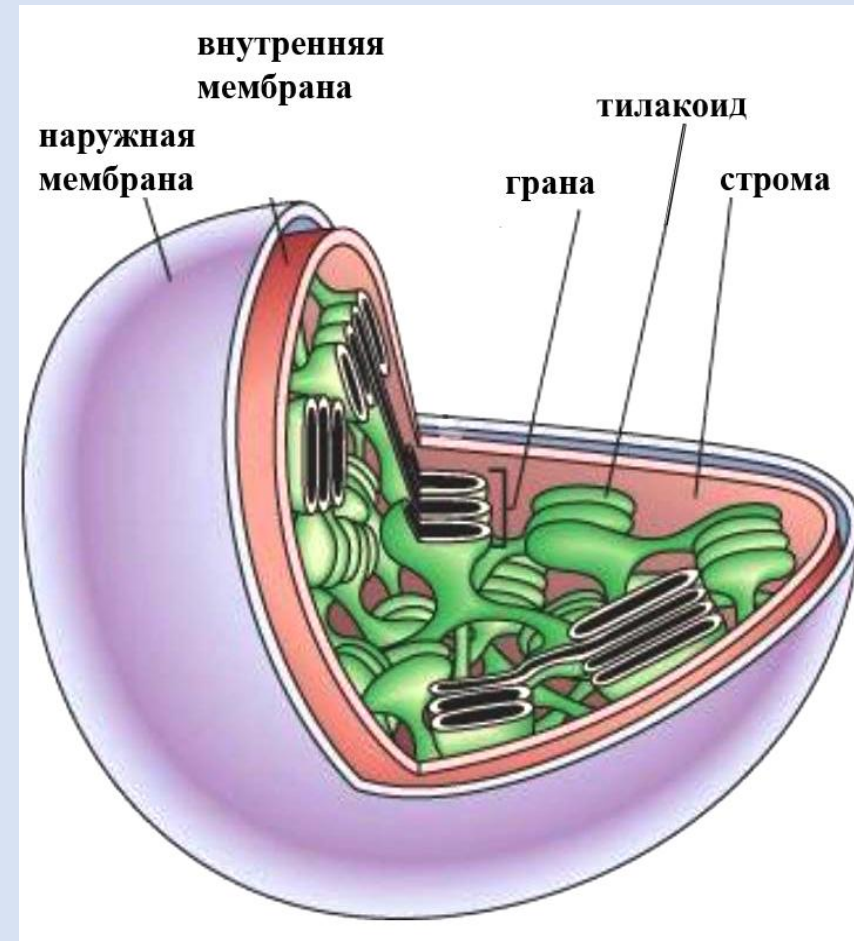
Пластиды

- Пластиды имеют наружную и внутреннюю мембраны и могут иметь внутренние мембранные мешочки (тилакоиды), которые представляют собой отпочковавшиеся внутрь впячивания внутренней мембраны.



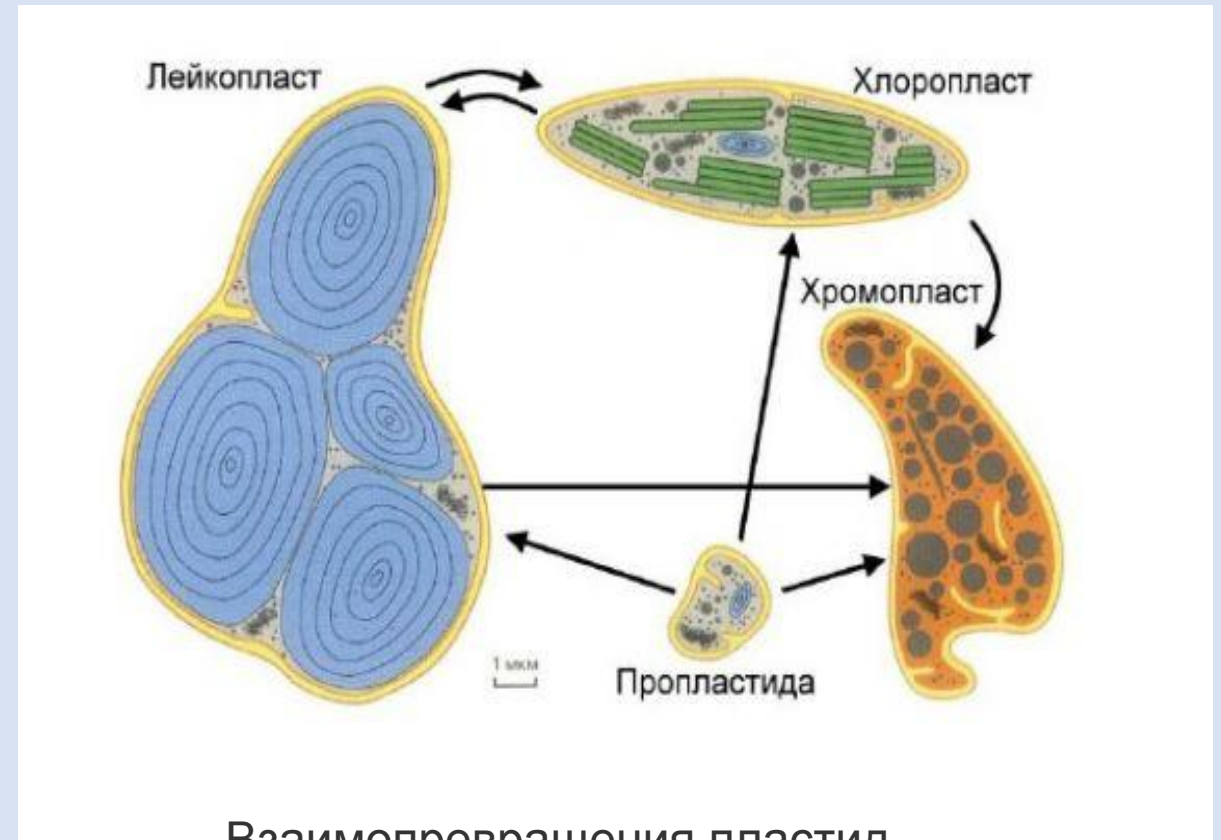
Пластиды

- Система внутренних мембран называется **гранами**. Граны представляют собой стопки плоских мембранных пузырьков — **тилакоидов**, в мембранах которых содержится хлорофилл и осуществляются светозависимые реакции фотосинтеза. Внутренняя полость хлоропласта называется **строма**. Она заполнена раствором ферментов, осуществляющих темновые (светонезависимые) реакции фотосинтеза.



Пластиды

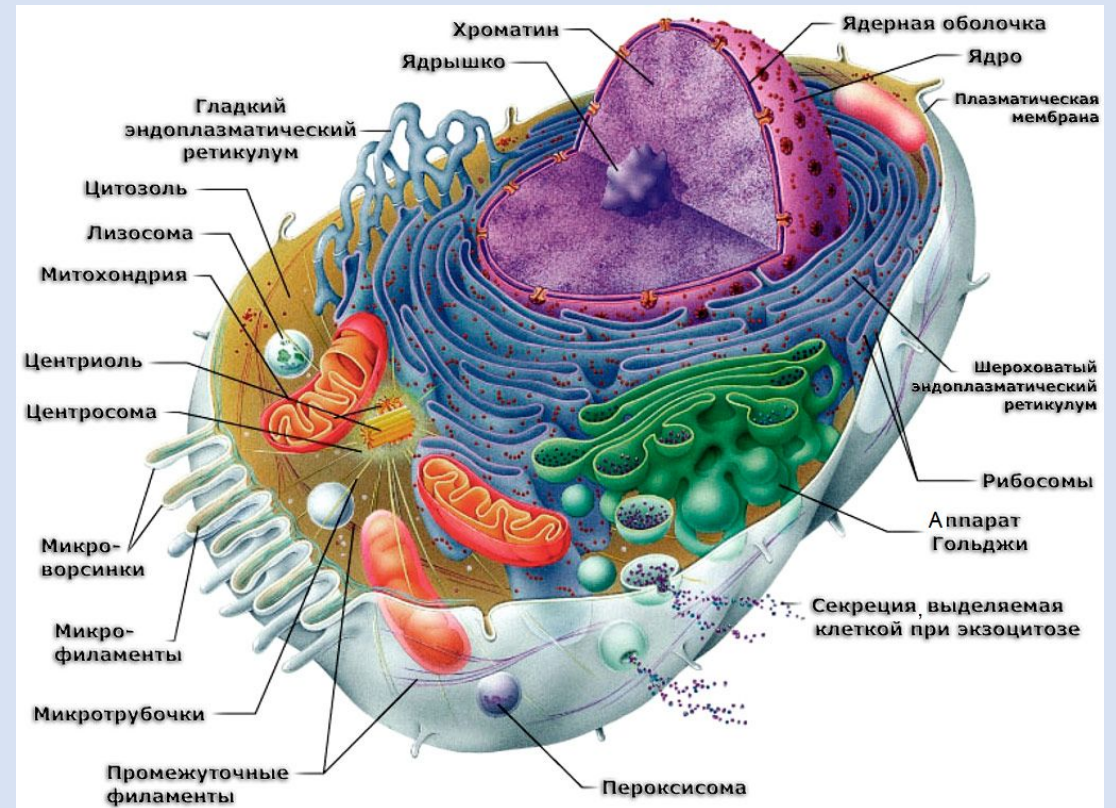
- Все типы пластид образуются из пропластид, а также могут превращаться друг в друга.



Взаимопревращения пластид

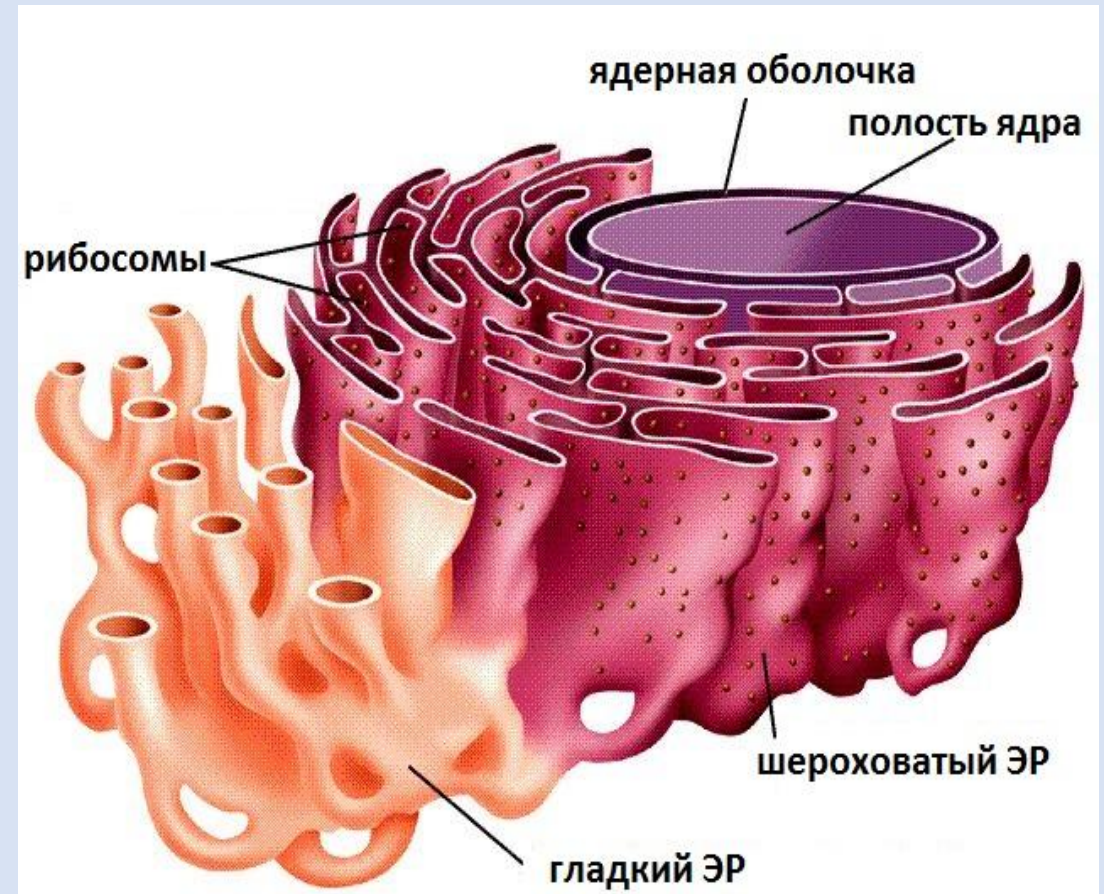
Одномембранные органеллы

- Эти органеллы, как предполагается, в ходе эволюции образовались путем впячивания наружной мембраны внутрь и отпочковывания этих впячиваний. Почти все эти органеллы связаны между собой — прежде всего системой пузырькового (везикулярного) транспорта, когда пузырьки отпочковываются от одной органеллы и сливаются с другой, перенося содержимое и компоненты мембраны. Все вместе эти органеллы называются **вакуолярной системой** (эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы, вакуоли, секреторные пузырьки, пероксисомы).



Одномембранные органеллы

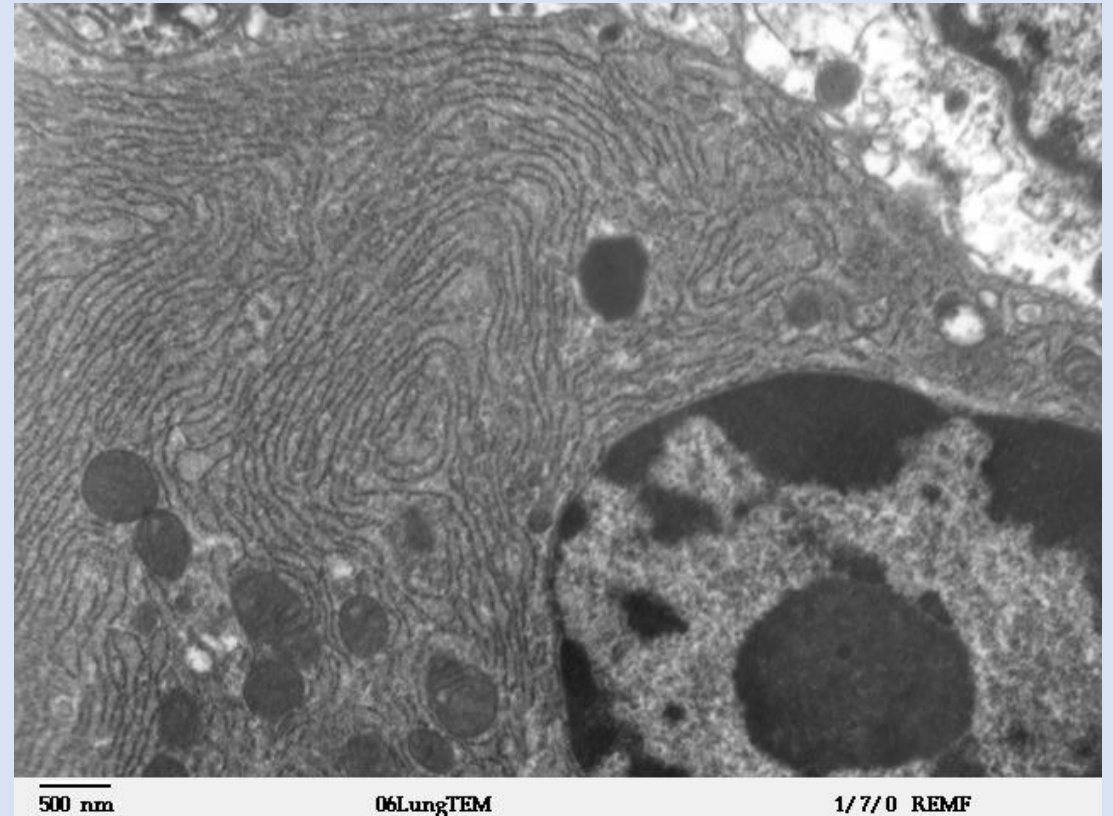
- Внутри эукариотической клетки мы видим сложные мембранные системы, образующие клеточные органеллы. Прежде всего, это **эндоплазматическая сеть**, или **эндоплазматический ретикулум**. Он представляет собой систему мембран, образующих соединенные между собой цистерны, полость которых не сообщается с окружающей цитоплазмой. Различают два вида эндоплазматического ретикулума: **гладкий** и **шероховатый**. На шероховатом расположены многочисленные гранулы, представляющие собой рибосомы. Они находятся снаружи полости, с цитоплазматической стороны, и синтезируют белки, которые по специальному каналу сразу направляются в полость ретикулума или встраиваются в его мембрану



Эндоплазматическая сеть

Одномембранные органеллы

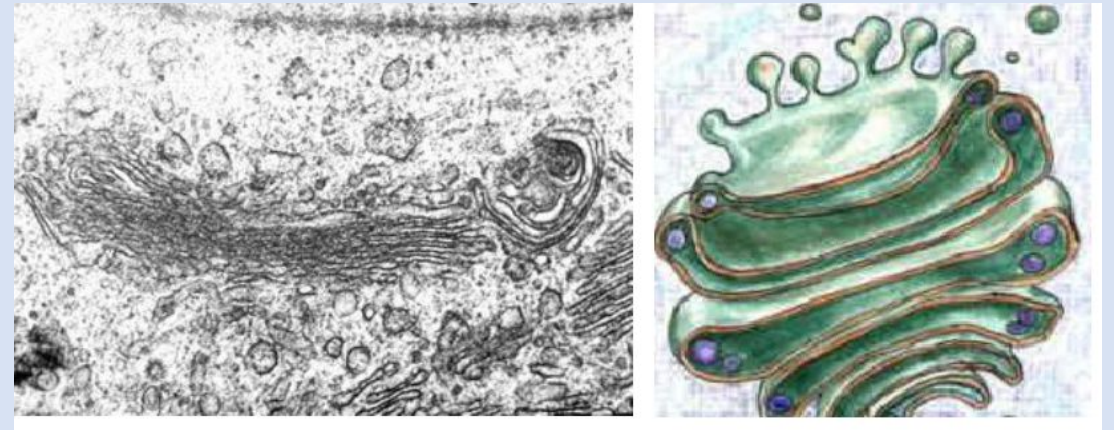
- На гладком ретикулуме расположены ферменты, синтезирующие мембранные липиды. Таким образом, эндоплазматический ретикулум образует все компоненты, нужные для образования мембран (то есть роста их площади). От эндоплазматического ретикулума отделяются мембранные пузырьки, внутри которых белки, синтезированные на шероховатом ретикулуме, переносятся в следующую органеллу — аппарат, или комплекс, Гольджи.



Эндоплазматическая сеть в клетке легкого, трансмиссионная электронная микроскопия. Справа видно ядро с ядрышком, между цистернами ЭПС — митохондрии

Одномембранные органеллы

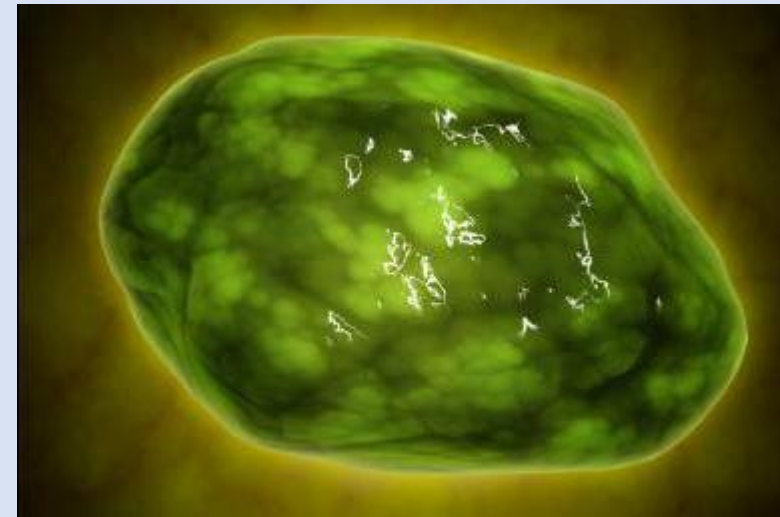
- **Аппарат, или комплекс, Гольджи** — система уплощенных мембранных цистерн, основная функция которых — сортировка и модификация белков, направляемых на экспорт из клетки или встроенных в мембрану. Каждая группа белков, синтезированных на шероховатом ретикулуме, собирается в определенном участке на периферии аппарата Гольджи. В этих участках от него отделяются мембранные пузырьки, часть из которых дает начало клеточным органеллам, таким как **лизосомы**. Другая направляется к цитоплазматической мембране, сливается с ней и выделяет свое содержимое наружу. Таким образом осуществляется секреция из клетки таких белков, как пищеварительные ферменты, гормоны, белки межклеточного матрикса и гликокаликса.



Аппарат Гольджи. Слева — трансмиссионная электронная микроскопия, справа — модель

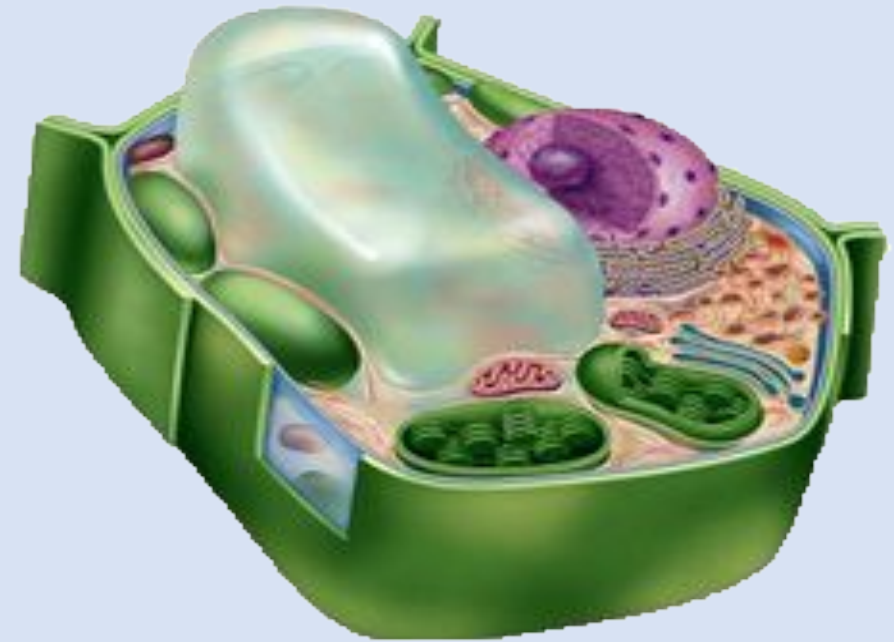
Одномембранные органеллы

- Лизосомы представляют собой мембранные пузырьки, внутри которых находятся гидролитические ферменты, расщепляющие белки, жиры, полисахариды. В лизосомах кислая среда (рН 4,5–5,0), что отличает их от других органелл клетки. Эта среда создается действием специального фермента — H^+ -АТФазы, перекачивающей протоны из цитоплазмы в лизосомы. Лизосомы выполняют функцию клеточного пищеварения, расщепляя отработавшие компоненты клетки или вещества, поглощенные в результате фагоцитоза и пиноцитоза.



Одномембранные органеллы

- **Вакуоли** — одномембранные органеллы, представляют собой «емкости», заполненные водными растворами органических и неорганических веществ. В образовании вакуолей принимают участие ЭПС и аппарат Гольджи. Молодые растительные клетки содержат много мелких вакуолей, которые затем по мере роста и дифференцировки клетки сливаются друг с другом и образуют одну большую **центральную вакуоль**. Центральная вакуоль может занимать до 95% объема зрелой клетки, ядро и органеллы оттесняются при этом к клеточной оболочке. Мембрана, ограничивающая растительную вакуоль, называется тонопластом. Жидкость, заполняющая растительную вакуоль, называется **клеточным соком**. В состав клеточного сока входят водорастворимые органические и неорганические соли, моносахариды, дисахариды, аминокислоты, конечные или токсические продукты обмена веществ (гликозиды, алкалоиды), некоторые пигменты (антоцианы).



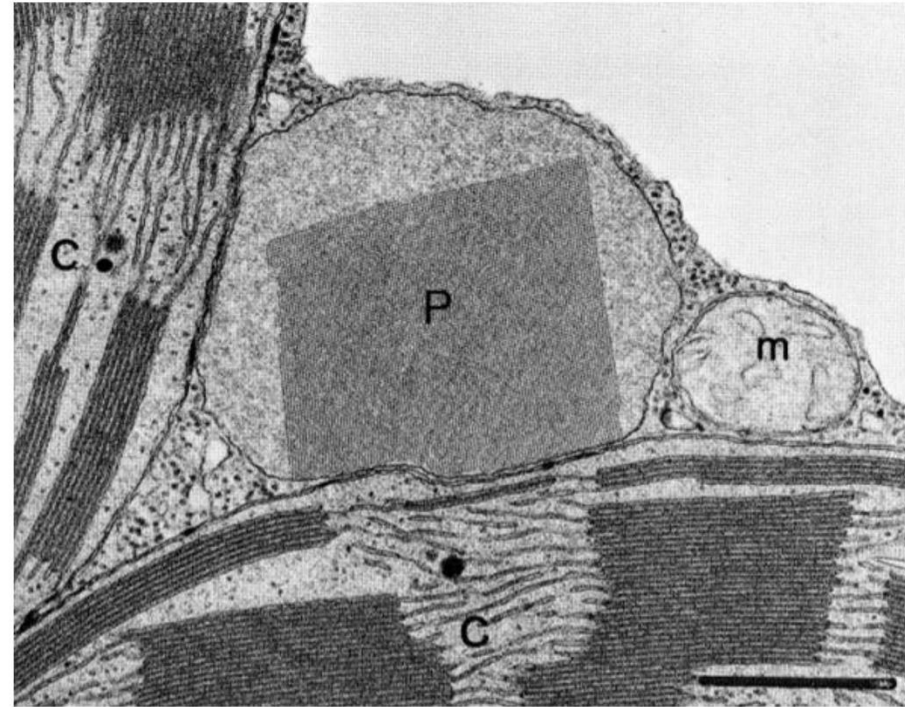
Одномембранные органеллы

- В животных клетках имеются мелкие пищеварительные и автофагические вакуоли, относящиеся к группе вторичных лизосом и содержащие гидролитические ферменты. У одноклеточных животных есть еще сократительные вакуоли, выполняющие функцию осморегуляции и выделения.
- **Функции вакуоли:** 1) накопление и хранение воды, 2) регуляция водно-солевого обмена, 3) поддержание тургорного давления, 4) накопление водорастворимых метаболитов, запасных питательных веществ, 5) окрашивание цветов и плодов и привлечение тем самым опылителей и распространителей семян



Одномембранные органеллы

- Пероксисомы. В них находятся ферменты, катализирующие некоторые окислительно-восстановительные реакции, в которых участвуют перекиси. Они также играют важную роль в обезвреживании многих токсичных веществ. Белки, которые находятся в пероксисомах, поступают туда из ЭПС и кодируются в геноме ядра.

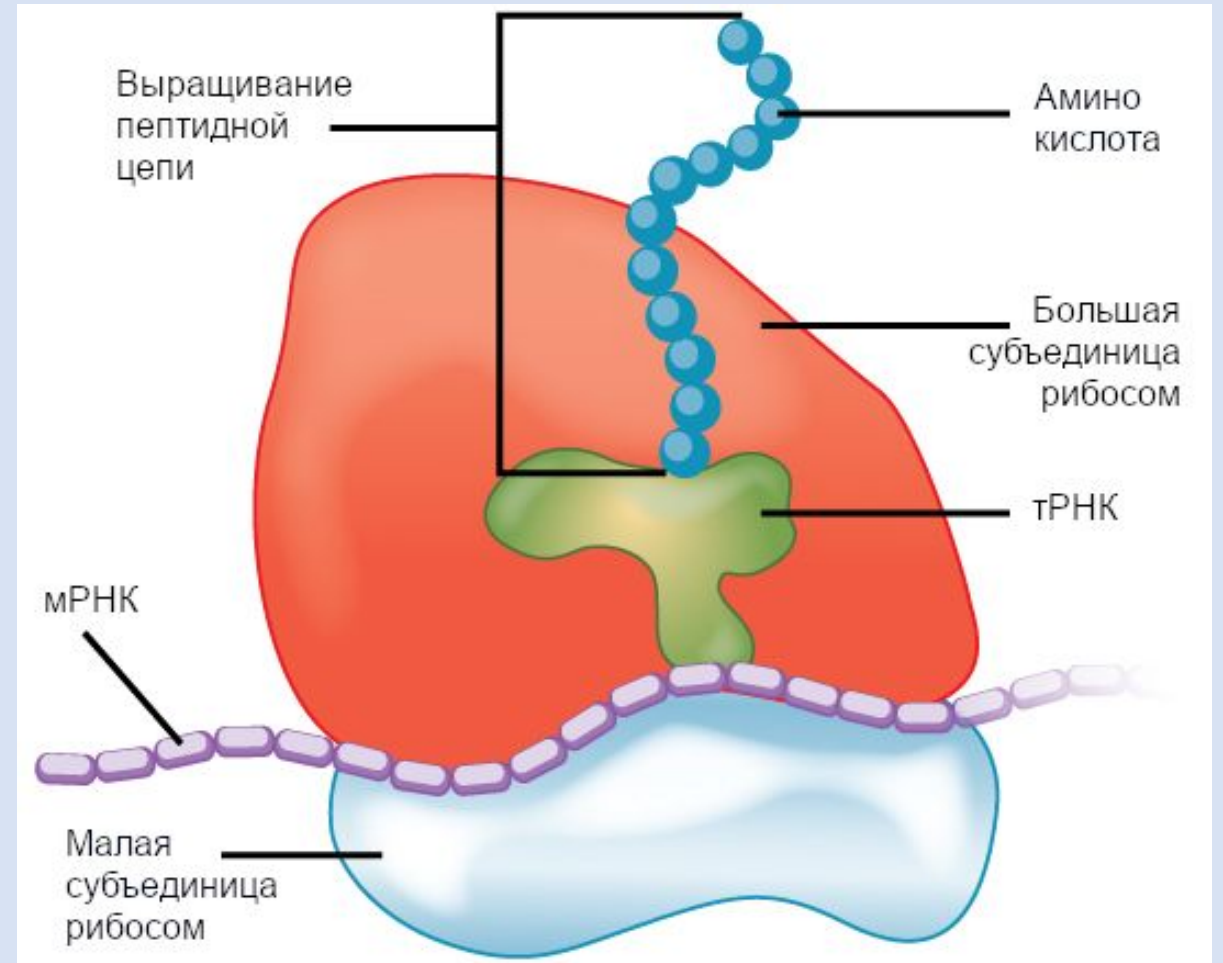


Пероксисомы в клетках растений. С — хлоропласты, Р — пероксисомы, м — митохондрия

Немембранные органеллы

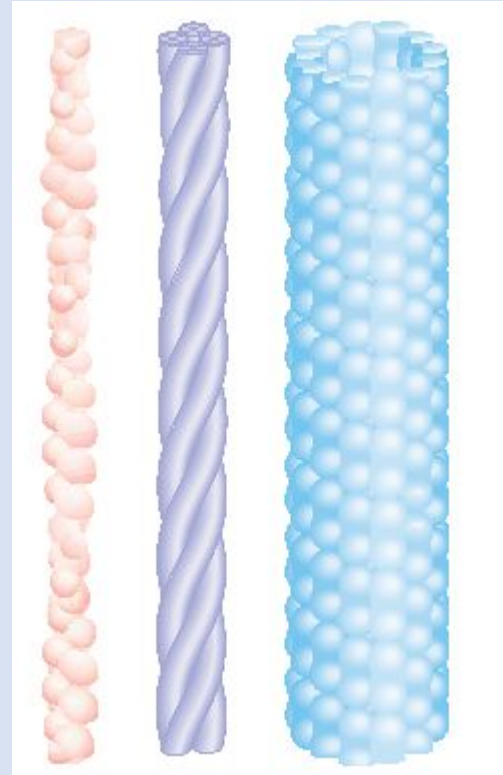
Немембранные органеллы:

- рибосомы;
- цитоскелет;
- построенные на основе цитоскелетных нитей структуры:
 - клеточный центр;
 - органоиды движения: жгутики, реснички, миофибриллы (сократимые нити поперечно-полосатых мышечных волокон).



Цитоскелет

- Эукариотическую клетку пронизывает система структур, называемая цитоскелетом. Он выполняет функции опоры, поддержания формы клетки, движения (как всей клетки, так и различных грузов внутри нее, в том числе пузырьков и органелл).
- Цитоскелет эукариотической клетки включает белковые волокна 3 типов:
- микротрубочки;
- актиновые нити (микрофиламенты);
- промежуточные филаменты.

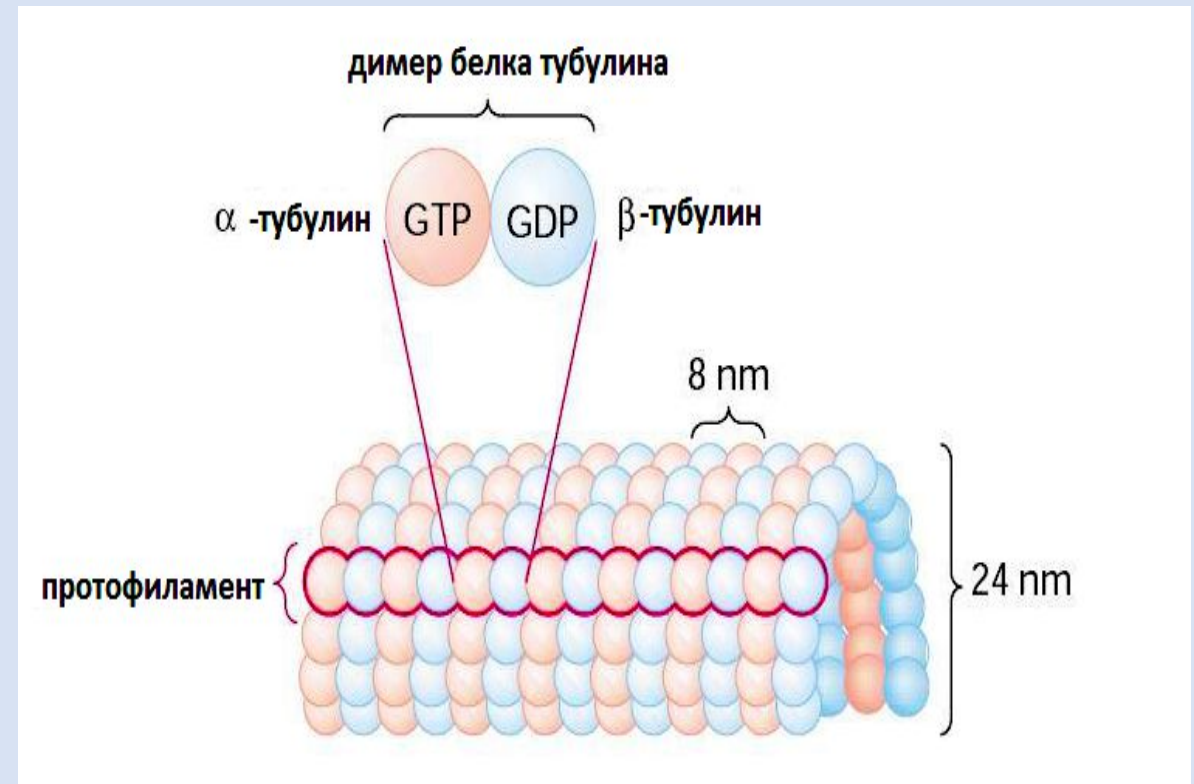


Актиновые филаменты (микрофиламенты), промежуточные филаменты, микротрубочки

Немембранные органеллы

Микротрубочки

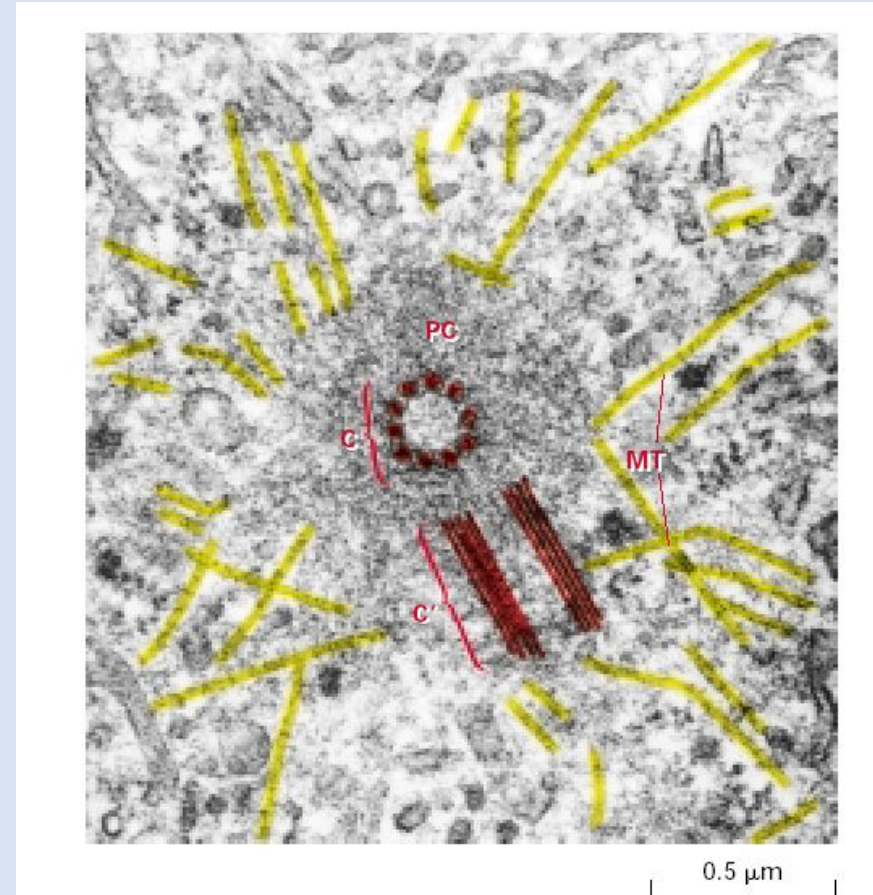
- Самые толстые из цитоскелетных нитей — микротрубочки, их диаметр порядка 25 нм. Это полые трубки, которые построены из димеров белка тубулина (от лат. «тубула» — трубочка), уложенных по спирали.
- Микротрубочка имеет плюс-конец, на котором преимущественно происходит ее рост, и минус-конец, где преимущественно происходит разборка. Чтобы микротрубочка не разбиралась с минус-конца, она должна быть прикреплена к центру организации микротрубочек, который блокирует минус-конец и не дает микротрубочке разбираться.



Немембранные органеллы

Клеточный центр. Центриоли

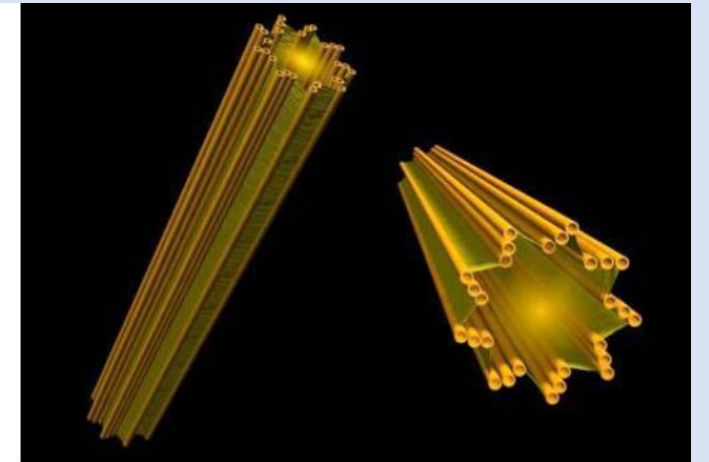
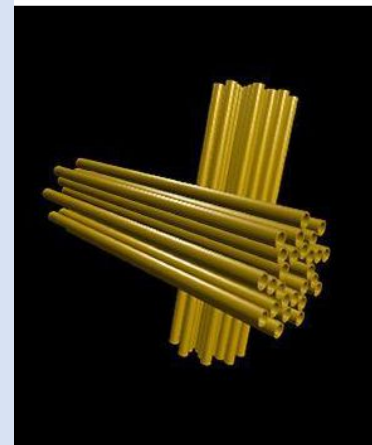
- В клетке микротрубочки радиально (звездообразно) расходятся в стороны от **клеточного центра**, где находятся **центры организации микротрубочек**.



Клеточный центр, электронная микроскопия. С, С' — две центриоли, МТ — микротрубочки

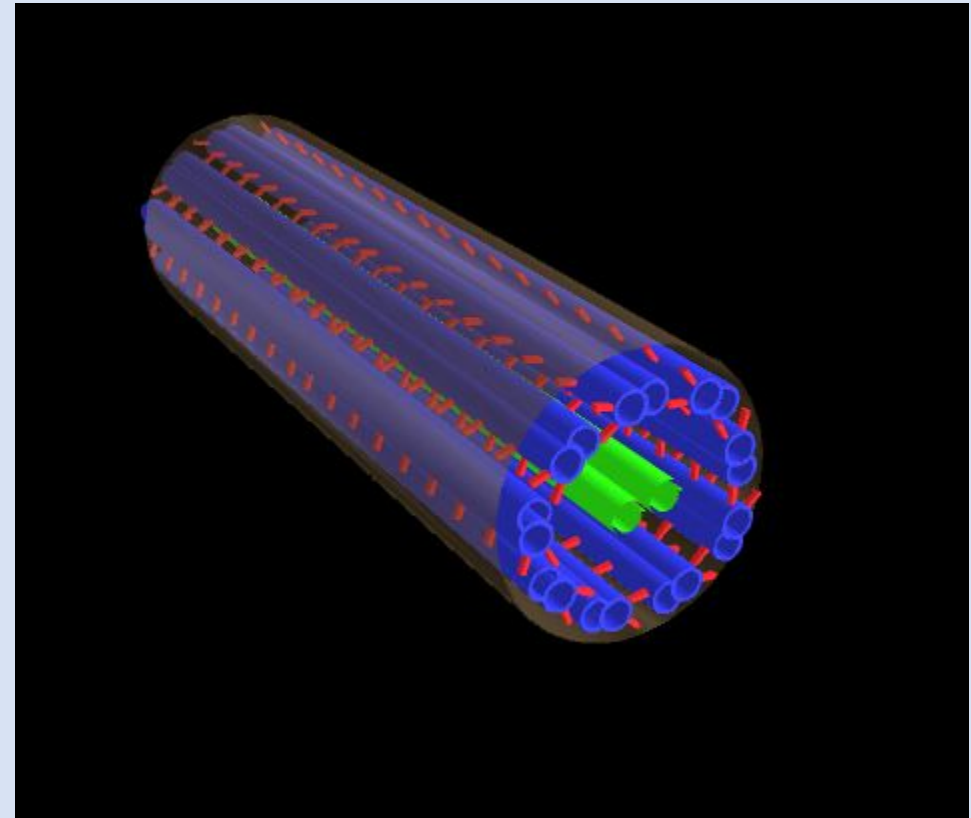
Немембранные органеллы

- В клетках животных в клеточном центре находятся парные образования, называемые **центриолями**. Центриоли представляют собой полые цилиндры, расположенные перпендикулярно друг другу. Эти цилиндры построены из микротрубочек. В каждом из них 9×3 — 9 триплетов, то есть троек, микротрубочек. В клетках растений и высших грибов центриолей нет.



Немембранные органеллы

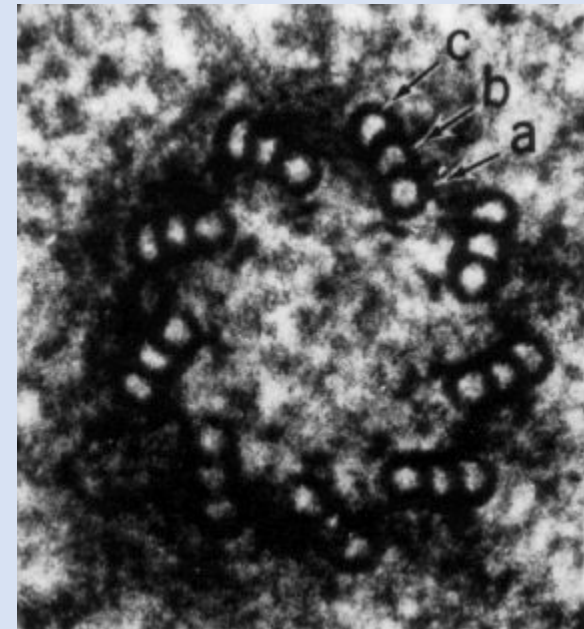
- **ЖГУТИКИ И РЕСНИЧКИ**
- У эукариот жгутики и реснички внутренние, то есть покрыты мембраной снаружи. Они построены из микротрубочек. В основе жгутика либо реснички — микротрубочковая структура $9 \cdot 2 + 2$ (9 дублетов — двоек — микротрубочек по периферии + 2 свободные микротрубочки в центре).



Немембранные органеллы

Базальные тельца.

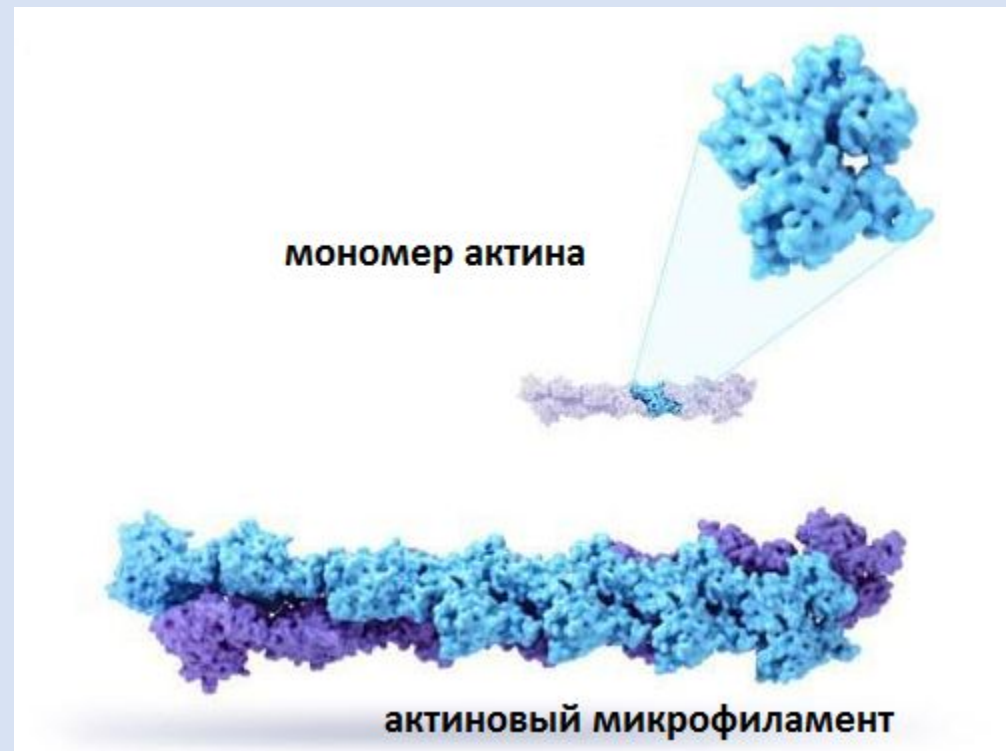
- Это внутриклеточные структуры, лежащие в основании ресничек и жгутиков. Служат опорой для них. Каждое базальное тельце представляет собой цилиндр, образованный девятью тройками микротрубочек.



Немембранные органеллы

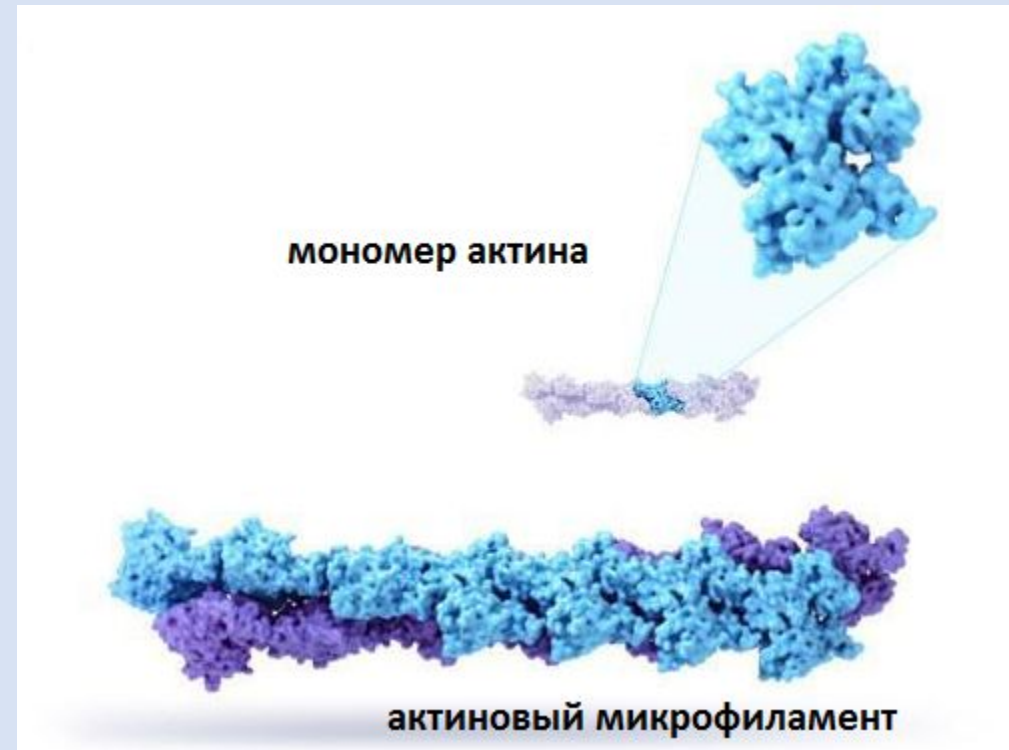
Микрофиламенты

- Построены из глобул белка актина, связанного с АТФ. Диаметр микрофиламентов — порядка 6 нм, это самые тонкие цитоскелетные нити.



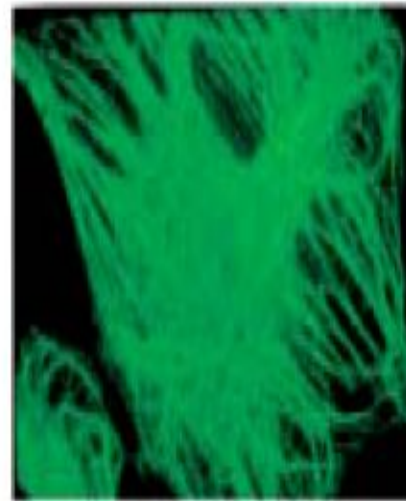
Немембранные органеллы

- Актиновые нити не организованы радиально вокруг центра, как микротрубочки, а образуют трехмерную сеть, особенно плотную под мембраной клетки. Они необходимы для поддержания формы поверхности клетки. Сборка и разборка актинового цитоскелета лежит в основе амебоидного движения, ползания клетки по субстрату, циркулярного движения цитоплазмы у растений.
- По актину способны перемещаться («ходить») моторные белки — **МИОЗИНЫ**. Актинoво-миозиновые сократимые комплексы обеспечивают деление клетки животных и некоторых простейших путем перетяжки, а также сокращение всех видов мышц (гладких и поперечно-полосатых).

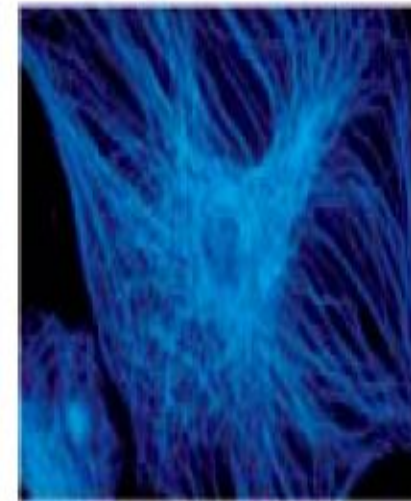


Немембранные органеллы

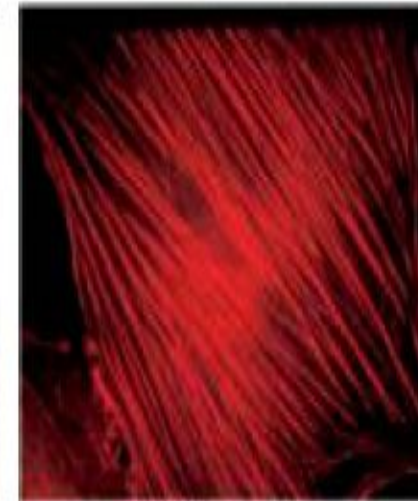
- **промежуточные филаменты**
- Они имеют диаметр около 10 нм — промежуточный между актиновыми нитями и микротрубочками.
- Белковый состав промежуточных филаментов тканеспецифичен. Например, к ним относятся белки **кератины**, характерные для эпителиев и входящие в состав роговых производных эпидермиса. Другие белки промежуточных филаментов — десмин, виментин, а также ламины — белки внутренней выстилки ядерной оболочки. Важно отметить, что все мономеры промежуточных филаментов — фибриллярные белки, то есть белки, молекула которых имеет вид волокна вытянутой структуры. Этим они отличаются от микротрубочек и микрофиламентов, мономеры которых — глобулярные белки актин и тубулин.
- Промежуточные филаменты стабильны (в отличие от динамичных микротрубочек и тонких филаментов, которые подвержены постоянной сборке-разборке) и в основном отвечают за поддержание формы клеток. Участие в движениях для них нехарактерно. В клетке все эти типы цитоскелета существуют параллельно и функционируют координированно



промежуточные
филаменты



микротрубочки

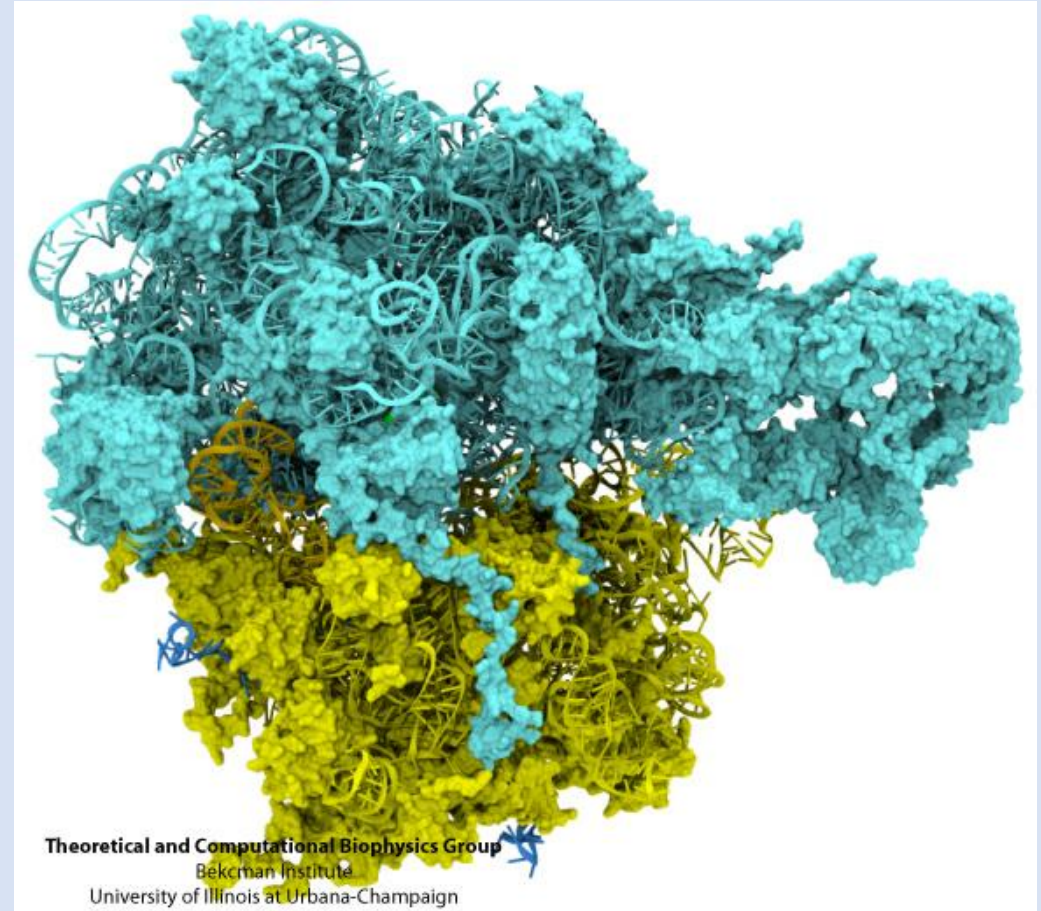


микрофиламенты
(актин)

Немембранные органеллы

Рибосомы

- Рибосомы представляют собой мелкие органеллы, состоящие из рибосомных РНК (рРНК) и рибосомных белков. Функция рибосом — биосинтез белка. Работающая рибосома включает в себя 2 субъединицы — большую и малую. Они соединяются при синтезе белка. До начала синтеза белка субъединицы должны быть диссоциированы, то есть плавать в цитоплазме отдельно друг от друга. Они могут быть и соединены, но начать синтез белка могут, только предварительно разъединившись.



Структура рибосомы археи *Thermus thermophilus* с атомарным разрешением. Малая субъединица — желтая, большая — голубая. Видны цепи рРНК и «облепляющие» их белки

Немембранные органеллы

- Рибосомы про- и эукариот различаются по форме и массе. Экспериментально это можно установить путем центрифугирования. **Константа седиментации** — величина, характеризующая скорость осаждения частиц (измеряется в S — единицах Сведберга). Как правило, у частиц большего размера константа седиментации больше, но она зависит и от формы частицы.

