

НАУКА
НА ПАЛЬЦАХ

АНДРЕЙ ШЛЯХОВ

БИОЛОГИЯ

ДЛЯ ТЕХ, КТО
ХОЧЕТ ПОНЯТЬ
И ПРОСТИТЬ
САМКУ БОГОМОЛА



Чем живое отличается
от неживого?



Почему я непохож
на папу?



Неужели мы правда
состоим из воды?



Наука на пальцах

Андрей Шляхов

**Биология для тех, кто хочет
понять и простить самку богомола**

«Издательство АСТ»

2020

УДК 57
ББК 28

Шляхов А. Л.

Биология для тех, кто хочет понять и простить самку богомола
/ А. Л. Шляхов — «Издательство АСТ», 2020 — (Наука на
пальцах)

ISBN 978-5-17-120369-6

Биология – это наука о жизни, но об этом все знают, как знают и о том, что биология считается самой важной из наук, поскольку в числе прочих живых организмов она изучает и нас с вами. Конфуций сказал бы по этому поводу: «благородный человек изучает науку, которая изучает его самого, а ничтожный человек ею пренебрегает». И был бы тысячу раз прав. У биологии очень необычная история. С одной стороны, знания о живой природе человечество начало накапливать с момента своего появления. Первые люди уже разбирались в ботанике и зоологии – они знали, какие растения съедобны, а какие нет, и изучали повадки животных для того, чтобы на них охотиться. С другой стороны, в отдельную науку биология выделилась только в начале XIX века, когда ученые наконец-то обратили внимание на то, что у всего живого есть нечто общее, ряд общих свойств и признаков. О том, чем отличается живое от неживого, о том, как появилась жизнь и многом другом расскажет эта книга. В формате PDF A4 сохранен издательский макет.

УДК 57
ББК 28

ISBN 978-5-17-120369-6

© Шляхов А. Л., 2020
© Издательство АСТ, 2020

Содержание

Предисловие	7
Глава первая. Кипит повсюду жизнь	8
Глава вторая. Клетка и ее антагонисты	14
Глава третья. Откуда что взялось или теории происхождения жизни на Земле	36
Глава четвертая. Жизнь и размножение клеток	44
Конец ознакомительного фрагмента.	58

Андрей Шляхов
Биология для тех, кто хочет
понять и простить самку богомола

© «Издательство АСТ», 2020

* * *

«Биология не похожа на физику. Чем больше мы узнаем, тем становится очевиднее, что одного объяснения, до которого нужно докопаться, не будет»
Стив Джонс, британский ученый.

Предисловие

По-хорошему надо бы было начать с того, что биология – это наука о жизни, но об этом все знают, как знают и о том, что биология считается самой важной из наук, поскольку в числе прочих живых организмов она изучает и нас с вами. Конфуций сказал бы по этому поводу: «благородный человек изучает науку, которая изучает его самого, а ничтожный человек ею пренебрегает». И был бы тысячу раз прав.

У биологии очень необычная история. С одной стороны, знания о живой природе человечество начало накапливать с момента своего появления. Первые люди уже разбирались в ботанике и зоологии – они знали, какие растения съедобны, а какие нет, и изучали повадки животных для того, чтобы на них охотиться. С другой стороны, в отдельную науку биология выделилась только в начале XIX века, когда ученые наконец-то обратили внимание на то, что у всего живого есть нечто общее, ряд общих свойств и признаков. Немецкие ученые Фридрих Бурдах и Готфрид Тревиранус, а также француз Жан-Батист Ламарк независимо друг от друга в 1800 – 1802 годах стали использовать термин «биология». Если вас удивило, что одно и то же слово придумали три разных человека, то ничего удивительного в этом нет. Названия наук образуются по единому стандарту – к греческому или латинскому названию предмета, который изучает данная наука, добавляется окончание «-логия», образованного от греческого слова «логос», которое переводится как «учение» или «наука». Так что у Бурдаха, Тревирануса и Ламарка просто не могло быть другого варианта, кроме как добавить к «логосу» греческое слово «биос», означающее «жизнь» (греческие названия традиционно были предпочтительнее латинских). Вот и получилась «биология», которая, едва успев родиться, распалась на несколько направлений, которые, в свою очередь разделились на более узкие науки. Современную биологию можно сравнить с ветвистым деревом, ствол которого образует общая биология, основа основ и начало начал. Ее-то мы с вами и будем изучать, а по ходу дела и с кое-какими «ветвями» поближе познакомимся. Разумеется, эта книга не сделает вас профессиональными биологами, но прочитав ее, вы начнете разбираться в биологии, лучше узнаете окружающий мир и собственный организм.

Вот, пожалуй, и все. Не будем долго рассусоливать, лучше займемся делом.

Глава первая. Кипит повсюду жизнь

*«Меня каждый миг свой образ прихотливый,
Капризна, как дитя, и призрачна, как дым,
Кипит повсюду жизнь в тревоге суетливой,
Великое смешав с ничтожным и смешным».*

Так начинается стихотворение Семена Надсона «Жизнь». Поэтам легко описывать что-либо – бери слова, да складывай их в рифму. Можно сказать, что «жизнь – это серафим и пьяная вакханка» или что «жизнь – это океан и тесная тюрьма» (это все из того же стихотворения). А вот попробуйте-ка вы дать научное определение жизни, такое, чтобы оно подходило ко всему живому и отражало основные свойства определяемого предмета. Только, пожалуйста, отнеситесь к задаче серьезно. Никаких «я люблю – и, значит, я живу» или «есть только миг между прошлым и будущим, именно он называется жизнь». Нужны не красивые фразы, а научное определение, при помощи которого можно было бы отличать живое от неживого.

Те, кому захотелось придумать определение, сейчас делают паузу для размышления, а те, кому ничего придумывать не хочется, могут читать дальше.

Великий греческий ученый Аристотель, живший в IV веке до нашей эры, давал называл жизнью «всякое питание, рост и упадок тела, имеющие основания в нем самом». Иначе говоря, живым Аристотель считал то, что питалось, росло и умирало. Как вам такое определение? Надо сказать, что оно довольно неплохое, особенно для того времени.

Предупреждение – если вы надеетесь прочесть в конце этой главы Самое Правильное Определение Жизни, то ваши надежды совершенно напрасны. Самого Правильного Определения нет до сих пор. Возможно, что именно вы его только что придумали, но миру пока еще об этом неизвестно. Существует более сотни научных определений жизни, но ни одно из них не признано лучшим.

Самое лаконичное звучит так: «жизнь – это самовоспроизведение». В более расширенном варианте: «жизнь – это самовоспроизведение с изменениями». Но при подобном понимании жизни можно спокойно причислить к живым существам любую самовоспроизводящуюся компьютерную программу. А что такого? Под определение ведь подходит.

Официальное определение Национального управления по авиации и исследованию космического пространства США рассматривает жизнь как «самоподдерживающуюся химическую систему, способную к дарвиновской эволюции».

Зачем космонавтам нужно официальное определение понятия «жизнь»? Для поиска этой самой жизни во Вселенной. Если руководство ставит задачу поиска, то оно должно четко сказать, что именно нужно найти. Иначе получится как в сказке – поди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что.

Определение «жизнь есть активная форма существования материи» лучше вообще вычеркнуть из научных анналов и молескинов, потому что «активная форма существования» – понятие крайне расплывчатое. Это все равно, что сказать: «живые организмы в корне отличаются от неживых существ, потому что в них содержится некий нематериальный элемент, и ими управляют иные принципы, нежели в неживых вещах». Такое определение жизни любили использовать виталисты, сторонники устаревшего учения, согласно которому жизненными процессами, протекающими в живых организмах, управляет некая нематериальная и непостижимая сверхъестественная сила, а не законы природы.

В Советском Союзе было популярно определение жизни, данное одним из основоположников и классиков марксизма Фридрихом Энгельсом: «жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой». Но сейчас это определение считается неверным, поскольку теоретически жизнь может быть не только белковой. Существует такой раздел биологии, как ксенобиология (в переводе с греческого – «наука, изучающая чужаков»). Ксенобиологи занимаются созданием и изучением не встречающихся в природе биологических систем и форм жизни, иначе говоря – творят научную биологическую фантастику. Не забавы, а научного интереса ради.

Советский биохимик Владимир Энгельгардт считал главным отличием живого от неживого способность создавать порядок из хаотичного движения молекул. Такое определение позволяет считать живым лед. А почему бы и нет? Ведь при переходе в твердое агрегатное состояние под воздействием низких температур (проще говоря – при замерзании), хаотично движущиеся молекулы воды выстраиваются в определенном порядке, образуя кристаллическую решетку. Порядок из хаоса получился? Следовательно, лед живой! Можно возразить, что данное упорядочение произошло под внешним воздействием (снижение температуры окружающей среды), но про воздействие в определении ничего не сказано, речь идет только о способности к упорядочиванию.

Известный физиолог Александр Самойлов определял жизнь как замкнутый круг рефлекторной деятельности. А французский физиолог Мари Франсуа Биша рассматривал жизнь как совокупность явлений, сопротивляющихся смерти. По сути верно, поскольку смерть представляет собой противоположность жизни, но очень уж неопределенно. Опять же, сразу напрашивается вопрос – а что такое смерть? Правильное определение не должно порождать вопросов.

Хотите чего-то особенного? Вот вам определение академика Валентина Пармона: «Жизнь – это фазово-обособленная форма существования функционирующих автокатализаторов, способных к химическим мутациям и претерпевших достаточно длительную эволюцию за счет естественного отбора». С какой попытки вы сможете произнести эту фразу без запинки?

И на десерт – определение одного из основоположников кибернетики Алексея Ляпунова, по мнению которого жизнь представляет собой «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».

Если же попытаться дать наиболее полное и внятное определение жизни и выразаться при этом понятным языком, то получится примерно такое: «жизнь – это форма существования материи, для которой характерны организация (упорядоченное строение), обмен веществами и энергией с окружающей средой, способность к развитию и воспроизведению, способность к хранению наследственной информации и передаче ее потомству, а также способность реагировать на раздражители». Это определение не столь поэтично, как «жизнь – это океан и тесная тюрьма», но сущность определяемого предмета отражает точно. Но не совсем полно. Для получения полного представления о том, что такое жизнь, нужно познакомиться с основными свойствами живых организмов. У всех живых организмов, от слона до самой маленькой улитки, от вымерших гигантов-диплодок до малюсеньких бактерий, от человека до амебы, есть «золотая дюжина» – двенадцать общих свойств, присущих любому живому существу. Если уж говорить начистоту, то свойств этих четырнадцать, причем одно из них спорное и признается не всем научным миром, но при этом шесть свойств рассматриваются попарно, а спорное свойство таково, что его просто рука не поднимается вычеркнуть из перечня, да и «золотая дюжина» звучит гораздо лучше «золотой пятнадцатки», так что пусть будет дюжина, договорились?

Свойство первое – единство химического состава. В состав всех живых организмов входят белки, нуклеиновые кислоты,¹ жиры, углеводы и много-много воды. Среди химических элементов в живых организмах преобладают углерод, кислород, водород и азот, на долю которых приходится примерно 98 % от общего состава. С подачи Фридриха Энгельса жизнь на нашей планете называют «белковой», но правильнее будет называть ее углеродной, потому что и белки, и нуклеиновые кислоты, и жиры, и углеводы имеют углеродную основу.

Почему именно углерод стал основой жизни? Что в нем такого особенного?

Дело в том, что атомы углерода обладают способностью многократно соединяться друг с другом, образуя длиннющие цепочки.

Атом углерода имеет четыре свободных электрона, которые используются для образования химических связей с другими атомами. Эти связи можно условно сравнить с руками. Представьте четырехрукий атом углерода. Двумя руками он держится за соседние атомы в углеродной цепочке, а две свободные руки (или три, если атом в цепочке крайний) использует для связи с другими атомами, которые могут давать начало другим углеродным цепочкам или входить в состав каких-либо атомных групп. Цепочки могут замыкаться в кольца, могут ветвиться, могут растягиваться на невероятную длину... Счет атомам в одной молекуле с углеродным скелетом может идти не на десятки или сотни тысяч и даже не на миллионы, а на миллиарды! Способность углерода образовывать длинные цепочки порождает огромный класс соединений на основе углерода, огромный настолько, что для его изучения создан особый раздел химической науки – органическая химия. Ни один другой химический элемент такой замечательной способностью не обладает. Ученые не раз высказывали предположения о возможности иной, неуглеродной формы жизни, но пока еще никто не разработал теорию, описывающую возможность создания всего многообразия соединений, необходимых для существования жизни, на основе кремниевого или, скажем, кислородного «скелета».

Ну а если говорить точнее, то земная форма жизни – водно-углеродная, потому что вода выступает в роли растворителя для всех без исключения живых организмов. В теле взрослого человека в среднем 60 % приходится на долю воды,² 34 % – на долю органических веществ и на 6 % – на долю веществ неорганических.

Свойство второе – единство структурной организации. Оно выражается в том, что единицей строения любого живого организма является клетка. Некоторые организмы состоят всего из одной клетки, другие – из множества клеток, но никаких других «кирпичиков», кроме клеток, для строения организмов в природе не существует. Без клетки нет жизни.

Правда, в наше время, это свойство оспаривается теми учеными, которые считают вирусы особой, неклеточной формой жизни. Другие ученые, не отрицающие клеточной организации всего живого, считают вирусы не живыми организмами, а комплексами органических молекул, способными взаимодействовать с живыми организмами. К единому мнению относительно вирусов наука пока не пришла. Мы поговорим о вирусах немного позже, когда ознакомимся со строением клетки. Вы сможете сравнить клетку с вирусом и определиться, на чью сторону вы станете.

Свойство третье – дискретность (прерывность) и целостность. Дискретность живого организма выражается тем, что он состоит из отдельных изолированных частей, которые взаимодействуют друг с другом. Отдельные части организма объединяются в единую систему, свойства которой не являются простой совокупностью свойств составляющих ее частей, а представляют собой нечто особое. В этом объединении проявляется целостность живого организма. Кстати говоря, определение организма звучит следующим образом: это живая биологическая

¹ О них мы поговорим в следующей главе.

² Прежде было принято считать, что воды в человеческом теле больше – до 80 %.

целостная система, обладающая способностью к самовоспроизведению, саморазвитию и самоуправлению.

Важно понимать, что целостность организма обеспечивается не только структурным соединением всех его частей, но и наличием взаимосвязи между этими частями. Без такой взаимосвязи нельзя говорить о едином организме. Связь осуществляется при помощи жидкостей, циркулирующих в сосудах, полостях и пространствах организма, а также при помощи нервной системы. У простейших одноклеточных организмов имеется только один вид связи – посредством жидкостей, а нервной системы у них нет. Наличие нервной системы является «привилегией» многоклеточных организмов, которые устроены настолько сложно, что не могут обходиться одной лишь жидкостной, или если по-научному, то гуморальной³ связью.

Свойство четвертое – способность к саморегуляции. Саморегуляция позволяет живым организмам сохранять относительное постоянство химического состава и поддерживать интенсивность течения физиологических процессов на нужном уровне. Любой живой организм управляет собой самостоятельно, без чьей-то посторонней помощи, он полностью самодостаточен.

Свойство пятое – наличие обмена веществ и энергии. Этот обмен состоит из двух взаимосвязанных процессов. Первый процесс называется пластическим обменом или ассимиляцией. Суть его заключается в выработке органических веществ с использованием внешних источников энергии – солнечного света у растений или пищи у животных. Второй процесс – это энергетический обмен или диссимиляция, распад органических веществ с выделением нужной организму энергии. Переваривая пищу, организм получает энергию и «строительный материал» для создания нужных ему веществ.

Мы часто употребляем словосочетание «обмен веществ», но правильнее говорить об обмене веществ и энергии, потому что одно неразрывно связано с другим – для выработки веществ нужна энергия, которая, в свою очередь, добывается при расщеплении веществ.

Смотрите, какой получается «парадокс». Известно, что при образовании химической связи между атомами происходит выделение определенного количества энергии, а для того, чтобы эту связь разорвать, нужно столько же энергии затратить. Но, в то же время, мы знаем, что белки, жиры и углеводы выделяют энергию при распаде. При распаде, когда рвутся химические связи, а не при образовании крупных молекул из мелких!

Вот как это прикажете понимать? По логике, процесс распада молекул питательных веществ должно отбирать энергию у организма, а не давать ее. Связи-то рвутся... Или химики что-то напутали и разрыв химических связей на самом деле протекает с выделением энергии?

Нет, никто ничего не напутал. Энергия действительно высвобождается в процессе образования химических связей и поглощается при их разрыве. Но при этом расщепление молекул жиров, белков и углеводов, осуществляемое в процессе пищеварения, дает организму энергию, а не отбирает ее. И слово «парадокс», если вы обратили внимание, взято в кавычки. Дело в том, что молекула любого вещества обладает определенной внутренней энергией. Когда молекула распадается на несколько частей, на более мелкие молекулы, суммарная внутренняя энергия этих частей не обязательно будет равняться внутренней энергии исходной молекулы. Суммарная энергия может оказаться меньше и тогда часть энергии выделится в виде тепла в окружающую среду, или же больше, и тогда во время реакции расщепления вещества произойдет поглощение тепла из окружающей среды. При превращениях одних веществ в другие энергия может выделяться или поглощаться и это не столько зависит от того, образуются или разрываются химические связи, сколько от «энергоемкости» исходных и конечных продуктов химической реакции. Дело не в химических связях, а во внутренней энергии молекул исходных и конечных продуктов химической реакции!

³ От латинского слова «гумор» – жидкость.

Почему дерево или бумагу, керосин или бензин, или какой-то горючий газ нужно поджигать, поскольку без такого постороннего вмешательства горение не начнется? Потому что для расщепления сложных веществ на более простые при участии кислорода воздуха (а именно это и происходит в процессе горения) нужна энергия. Без нее химические связи разрываться не начнут. Дерево, к слову будь сказано, можно не поджигать, а нагреть посредством трения. Но молекулы простых веществ, образующихся в процессе горения, имеют гораздо меньшую суммарную энергию, чем молекулы горючих веществ. Излишек энергии выделяется в окружающую среду в виде тепла и света. Малая толика его уходит на продолжающийся разрыв химических связей, но на общую энергетическую характеристику процесса эти затраты существенно не влияют, ведь в результате распада молекул горючих веществ выделяется гораздо больше энергии, чем тратится на разрыв связей. Примерно то же самое происходит при расщеплении молекул белков, жиров и углеводов в организме.

Свойство шестое – *открытость* вытекает из пятого. Живые организмы представляют собой открытые системы, постоянно обменивающиеся веществами и энергией с окружающей средой. В полной изоляции от окружающей среды живой организм существовать не может. И если кто-то из читателей сейчас подумал о криоконсервации – способе глубокого замораживания в жидком азоте при температуре -196°C , то имейте в виду, что при таком замораживании, являющимся примером полной изоляции от окружающей среды, могут сохранять свои биологические функции лишь половые клетки, клетки крови и эмбрионы, находящиеся на ранней стадии развития (возрастом до 1 недели). Недавно был проведен успешный опыт по восстановлению функций сердца лягушки после криоконсервации. Но на сегодняшний день, после криоконсервации невозможно вернуть к жизни отдельные органы теплокровных животных, не говоря уже о целых организмах. Известно около трехсот случаев криоконсервации людей, но все они были «заморожены» только после констатации смерти мозга. Все эти люди страдали какими-то неизлечимыми болезнями и смысл криоконсервации их тел состоит в надежде на технологии будущего – вдруг когда-то станет возможным восстановить жизнедеятельность организма после «заморозки» и излечить болезни, считающиеся неизлечимыми в наше время.

Свойство седьмое – *раздражимость*. Не путайте раздражимость с раздражительностью, это совершенно разные понятия. Под раздражимостью понимают способность организма воспринимать раздражения – внешние и внутренние воздействия – и отвечать на них определенным образом. Это свойство можно было бы поставить в самом начале перечня, потому что его наличие является классическим отличительным критерием живого. Все, что не обладает раздражимостью, живым считаться не может. Раздражимость лежит в основе приспособления организмов к изменяющимся условиям окружающей среды, например, растения поворачивают листья к свету, а человек отдергивает руку от раскаленного предмета.

Свойство восьмое – *движение*. Этой способностью в той или иной степени обладают все живые организмы. Даже растения, которые считаются неподвижными, способны поворачивать листья к свету, а у неподвижных одноклеточных микроорганизмов, например – у дрожжей, может двигаться клеточная оболочка, при размножении она выпячивается и формирует новую клетку.

Свойство девятое – *ритмичность*. Деятельность всех живых организмов определяется ритмами. Ритмы бывают суточными, например – чередование периодов сна и бодрствования, и сезонными, примером которых может служить зимняя спячка у некоторых животных или же весеннее цветение растений.

Свойство десятое – *размножение*, способность организмов воспроизводить себе подобных на основе информации, заложенной в определенных структурах. Размножение обеспечивает непрерывность жизни на нашей планете и преемственность поколений. Разнообразные способы размножения подразделяются на два основных типа – бесполое, являющееся более древним, и половое. В основе всех форм размножения организмов, имеющих клеточное стро-

ение, лежит деление клеток. У вирусов свой, особый способ размножения, но и он тесно связан с клетками. В следующей главе мы поговорим и об этом.

Свойство одиннадцатое – наследственность и изменчивость. Эти два качества, которые рассматриваются вместе по причине своей общности, тесно связаны с размножением. Наследственностью называется способность организмов передавать свои признаки из поколения в поколение. Наследственность обеспечивается генетической информацией, «записанной» в молекулах вещества, называемого дезоксирибонуклеиновой кислотой или, сокращенно, ДНК. Участок молекулы ДНК, определяющий один отдельный признак, называется геном. В генах могут происходить спонтанные изменения, а еще при половом размножении могут создаваться новые комбинации генов в результате сочетания генов, полученных от отца и от матери. Эти процессы приводят к появлению новых признаков, а способность живых организмов приобретать новые признаки называется изменчивостью.

Изменчивость – основа эволюционного процесса, благодаря ей появляются новые виды живых организмов. Если бы изменчивости не было, то на нашей планете жил бы только один-единственный вид одноклеточных – потомки первой клетки-праматери, с которой началась жизнь.

Свойство двенадцатое тоже двойное-взаимосвязанное – рост и развитие. Развитие представляет собой количественные и качественные изменения в организме на протяжении его жизни, а ростом называется увеличение размеров развивающегося организма в целом и отдельных его органов в частности.

Рост может осуществляться за счет увеличения количества клеток или же за счет увеличения клеток в размерах при их неизменном количестве. Первый процесс называется гиперплазией, а второй – гипертрофией. Обратите внимание на то, что термин «гипертрофия» применяется не только к клеткам, но и органам, а гипертрофия органа может быть вызвана гиперплазией клеток, из которых этот орган состоит.

Вот и вся «золотая дюжина» свойств, характерных для живых организмов. Эти свойства неразрывны, их следует рассматривать совокупно. Нельзя оперировать отдельными свойствами, такой подход может привести к ошибкам, поскольку отдельными признаками живого могут обладать объекты неживой природы. Так, например, минеральные образования сталактиты и сталагмиты способны расти, вода в природе движется, совершая бесконечный круговорот, а приливы ритмично чередуются с отливами. Но мы же не считаем сталактиты живыми, верно?

Примите поздравления! Вы дочитали до конца первую главу и теперь можете объяснить всем желающим, что такое жизнь и какими признаками должны обладать живые организмы. Понятие жизни и ее признаков является основополагающим в биологии, потому что эта наука изучает только живые объекты. Впрочем, биологи изучают и прионы... Но об этом мы с вами поговорим в следующей главе, которая будет посвящена клетке и ее «антагонистам».

Глава вторая. Клетка и ее антагонисты

Одной из основных биологических теорий является клеточная теория, которая рассматривает клетку как единый структурный элемент всех живых организмов. Эта теория была создана в 1839 году немецкими учеными Матиасом Шлейденом и Теодором Шванном. Первоначально она включала в себя три положения:

1. Все животные и растения состоят из клеток.
2. Растения и животные растут и развиваются путем возникновения новых клеток.
3. Клетка является самой маленькой единицей живого, а целый организм представляет собой это совокупность клеток.

Вообще-то клетки были открыты в 1665 году английским естествоиспытателем Робертом Гуком, который обнаружил упорядоченно расположенные пустоты при изучении тонких срезов коры пробкового дерева. Именно Гук и придумал название «клетка». Несколькоми годами позднее итальянец Марчелло Мальпиги и англичанин Неемия Грю независимо друг от друга описали в разных органах растений «мешочки» или «пузырьки». Вывод о клеточном строении растений напрашивался сам собой, но увеличительные приборы того времени были примитивными и не давали возможности хорошо разглядеть клетки, поэтому их сочли пустотами в растительных тканях. Известный голландский натуралист и конструктор микроскопов Антони ван Левенгук,⁴ рассматривавший в свои микроскопы растительные клетки, клетки крови, инфузории и бактерии, не нашел единства между ними. Мог создать клеточную теорию немецкий ученый Каспар Фридрих Вольф, опубликовавший в 1759 году трактат «Теория зарождения», но вместо вывода о том, что все живое развивается из клеток и из них же состоит, Вольф говорил о некоей первоначально однородной субстанции, в которой вследствие движения соков образуются сосуды и «пузырьки».

В 1855 году другой немецкий ученый – Рудольф Вирхов дополнил клеточную теорию четвертым и очень важным положением, согласно которому всякая клетка происходит от другой клетки. В наше время к четырем положениям добавили еще несколько, наиболее важное из которых устанавливает единое происхождение всего живого на основании клеточного строения всех живых организмов.

Надо особо оговорить, что клетка представляет собой не только элементарную структурную и функциональную единицу строения всего живого, но и определенный (начальный) этап эволюции, ведь именно с клетки началась жизнь на нашей планете. Самые далекие наши предки были одноклеточными.

⁴ Увеличительные приборы, которые делал Левенгук, позволяли рассматривать объекты в сильно увеличенном виде, поэтому их традиционно называют «микроскопами». Но приборы Левенгука представляли собой одну-единственную линзу, укрепленную на штативе, то есть, по сути, являлись не микроскопами, а лупами (в классическом микроскопе линз должно быть две).

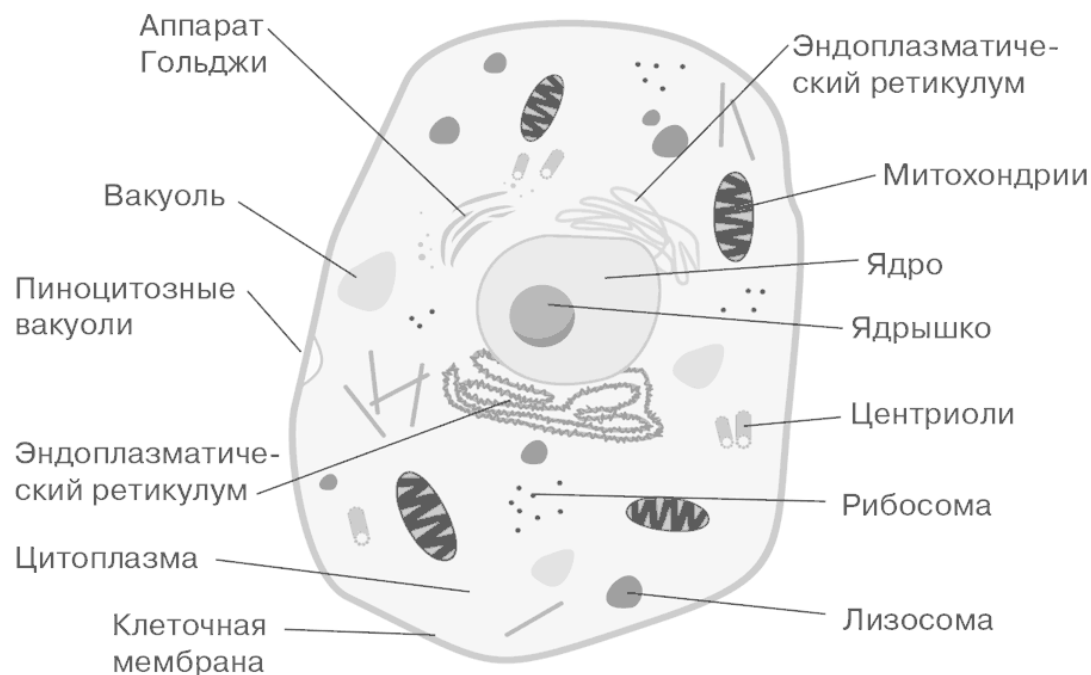


Схема строения животной клетки

У любой клетки, растительной или животной, непременно должны быть оболочка, ядерное вещество, содержащее генетическую информацию, и полужидкая цитоплазма, внутренняя среда клетки, в которой расположены органоиды или органеллы – специализированные клеточные структуры, выполняющие определенные функции, а также включения различных веществ – кристаллы солей, капельки жира, зерна крахмала.

Ядерное вещество может быть оформленным в ядро со своей оболочкой или неоформленным, свободно «плавающим» в цитоплазме. Клетки подразделяются на прокариотов, не имеющих оформленного ядра и обладающих относительно простым строением, и эукариотов, имеющих оформленное ядро и более сложное строение. В эволюционном отношении прокариоты считаются более древними, чем эукариоты. Чем проще строение организма, тем он древнее – это общее эволюционное правило.

Содержимое клетки – цитоплазму и ядро – называют протоплазмой. Протоплазма окружена оболочкой, которую называют поверхностным комплексом клетки.

Клеточная мембрана, ограничивает содержимое клетки и отделяет клетку от внешней среды. Но не надо думать, что на этом функции клеточной мембраны исчерпываются.

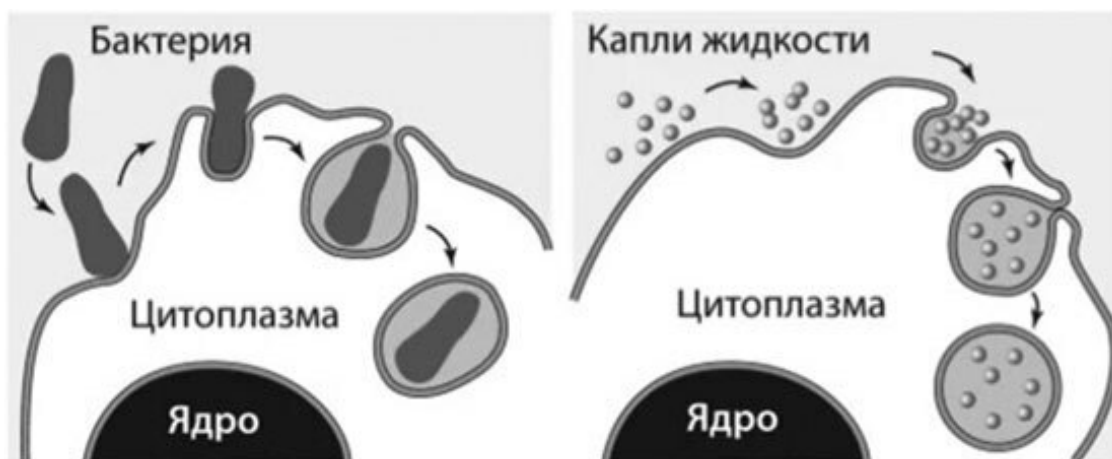
Во-первых, это «умная» оболочка, которая пропускает в клетку нужные вещества и не пропускает ненужные и вредные. По-научному это явление называется избирательной проницаемостью.

Во-вторых, мембраны связывают клетки друг с другом.

В-третьих, на мембранах находятся рецепторы – белковые молекулы, способные связываться с молекулами определенных веществ. Связываясь с рецепторами, эти вещества оказывают на клетку определенное воздействие. Существуют особые рецепторы, называемые маркерами. Они представляют собой нечто вроде «паспорта» клетки, то есть служат для распознавания, для отделения своих клеток от чужих. Таким распознаванием занимаются клетки иммунной системы, борющиеся с чужаками, внедрившимися в организм. Но иногда в работе системы «свой-чужой» происходит сбой и тогда иммунные клетки принимают клетки организма за чужеродные и начинают с ними бороться, что приводит к развитию аутоиммунных заболеваний («аутоиммунный» можно перевести как «самоиммунный»).

В-четвертых, посредством перераспределения ионов⁵ калия и натрия в клеточной мембране может вырабатываться электричество, может изменяться электрический потенциал поверхности клетки.

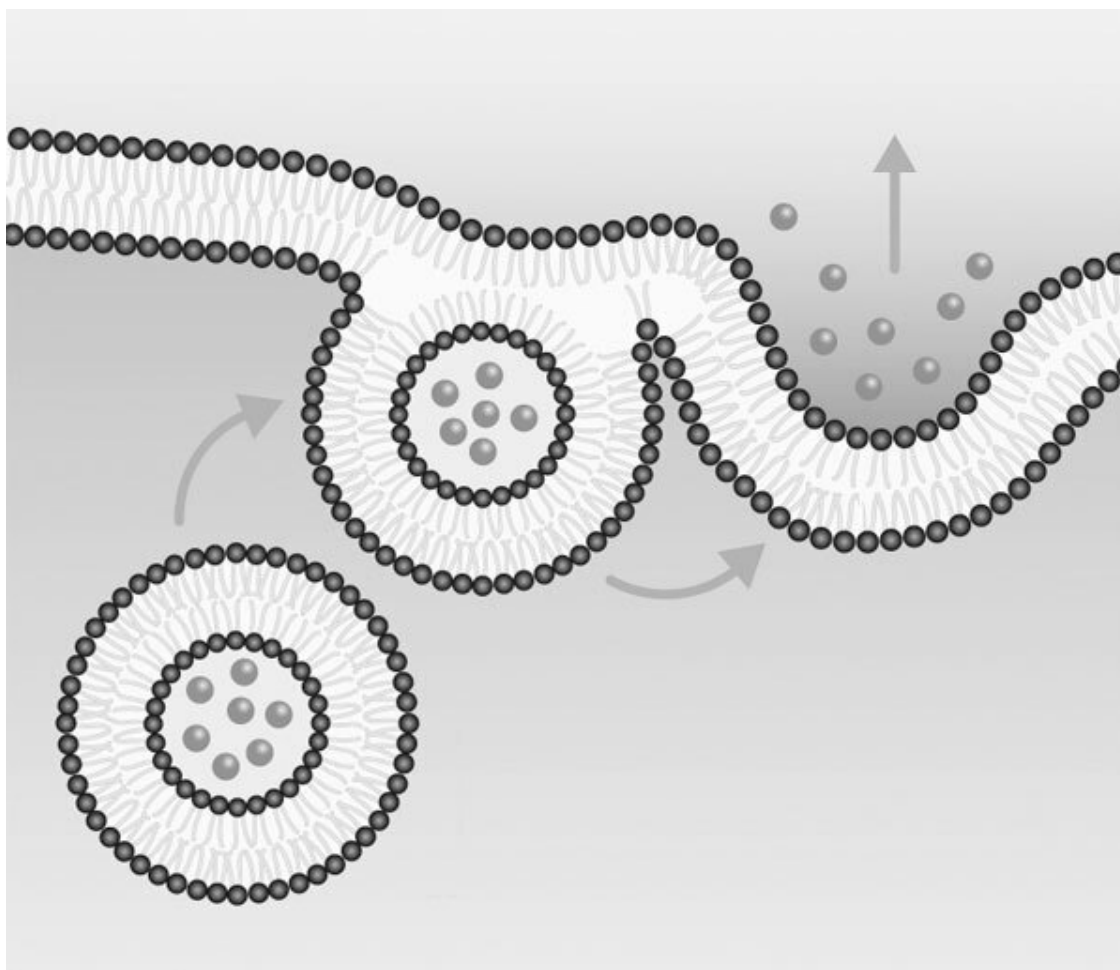
А еще клеточная мембрана участвует в процессах фагоцитоза, пиноцитоза и экзоцитоза. Фагоцитоз представляет собой поглощение целых клеток или крупных частиц, а пиноцитоз – поглощение капель жидкости. Суть обоих процессов одина – поглощаемые вещества окружаются впячивающейся клеточной мембраной с образованием полости, которая затем перемещается вглубь цитоплазмы.



Фаго и пиноцитоз

Экзоцитоз – это процесс выведения ненужных веществ за пределы клетки, обратный фагоцитозу и пиноцитозу.

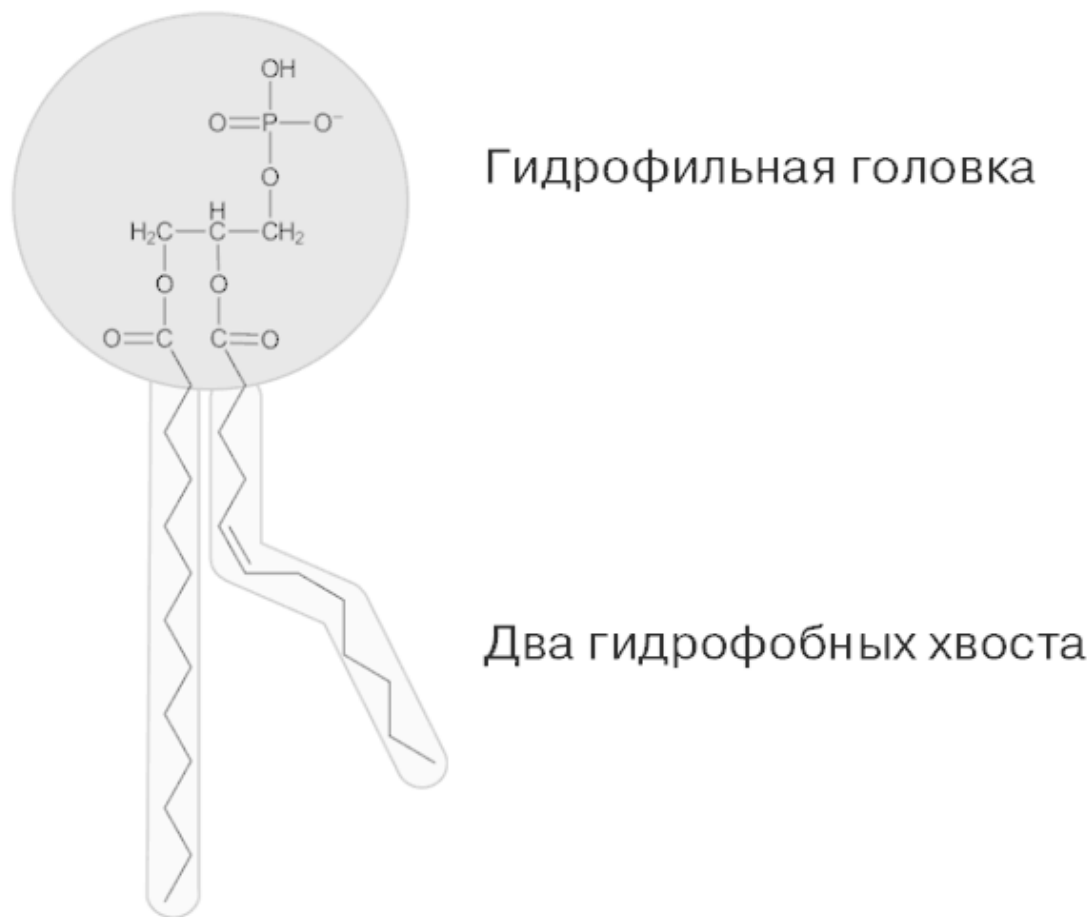
⁵ Ионом называется электрически заряженная частица вещества, которая образуется из атома или молекулы, при потере или присоединении электронов.



Экзоцитоз

У клеток-прокариот, не имеющих оформленного ядра, клеточная мембрана является единственной мембраной, а у «ядерных» эукариот свои «персональные» мембраны также имеют клеточное ядро и органеллы.

Помните ли вы из курса химии, что такое жиры, что такое липиды и что такое фосфолипиды? Жиры – это органические вещества, образующиеся при взаимодействии трехатомного спирта глицерина и карбоновых кислот, также называемых жирными кислотами. Липиды – это более широкое понятие, включающее в себя жиры и жироподобные вещества. Молекулы большинства жироподобных веществ состоят из остатков спиртов (но не глицерина) и жирных кислот. Но есть среди жироподобных веществ и такие, в молекулах которых остатков жирных кислот нет. Тем не менее, эти вещества способны растворяться в жирах и потому относятся к липидам. А фосфолипидами называются липиды, молекулы которых содержат остатки фосфорной кислоты.



Молекулу фосфолипида можно представить в виде головки, образованной остатками спирта и фосфорной кислоты, двух «хвостов» из остатков жирных кислот. «Головка» обладает гидрофильностью («любовью к воде»), она способна взаимодействовать с молекулами воды. Речь идет не о вступлении в химические реакции, а о взаимодействии на молекулярном уровне – молекулы воды могут тесно сближаться с гидрофильными «головками».

«Хвосты», образованные остатками жирных кислот, с молекулами воды сближаться неспособны или же, если точнее, способны в очень малой степени. Такое свойство называют гидрофобностью («боязнью воды»).

Клеточная мембрана состоит из двух фосфолипидных слоев. Гидрофильные «головки» обоих слоев обращены наружу и соприкасаются с водными растворами – межклеточной жидкостью и цитоплазмой, а гидрофобные хвосты обращены внутрь и словно бы связывают оба слоя. Жесткость мембране придает содержащийся в ней холестерин, который тоже является липидом.

Через двойной слой фосфолипидов в клетку самостоятельно, без посторонней помощи, могут проникать только жирорастворимые вещества – жиры или, к примеру, спирты. Вода и все водорастворимые вещества, в том числе и любые ионы, сами по себе проходить через мембрану не могут, для них нужны специальные транспортные каналы. Такие каналы образуются белковыми молекулами, находящимися в толще клеточной мембраны. В оболочках, которые образованы фосфолипидами, без белков канала не устроить – простое отверстие тут же затянется подобно тому, как затянется отверстие сделанное в пленке жира на поверхности воды. Белковые молекулы могут образовывать пору или канал для прохождения водорастворимых веществ, а могут заниматься активным транспортом – захватывать нужные молекулы на

одной стороне мембраны и переносить к другой стороне. Молекулы-транспортники пронизывают всю толщу клеточной мембраны, выходя обеими своими концами наружу, а вот у молекул, выполняющих рецепторную функцию, наружу выходит только один конец, а другой погружен в толщу мембраны. Эти молекулы воспринимают химические раздражения извне и передают их в виде определенных сигналов другим рецепторам (белковым молекулам), которые находятся внутри клетки. Молекулы белков-маркеров в толщу мембраны совсем не погружены, они находятся на ее наружной поверхности, которая дополнительно укреплена углеводами, а также соединениями углеводов с белками и липидами.

Сразу же под клеточной мембраной расположены белковые волокна, которые служат чем-то вроде мышц. Сокращения этих волокон вызывают движения мембраны.

После знакомства с клеточной мембраной так и хочется считать ее главным «органом» клетки. А как же иначе? Ведь это и защитный барьер, и умный фильтр, и «инструмент» для питания, и восприниматель внешних раздражений... и прочая, и прочая, и прочая. Роль мембраны трудно переоценить, но все же главным компонентом любой клетки является хранилище наследственной информации, которая «записана» в молекулах нуклеиновых кислот, получивших свое название от латинского слова «нуклеус» – ядро. Молекулы нуклеиновых кислот могут содержать остатки одного из двух сахаров – рибозы или дезоксирибозы. Разница между двумя сахарами небольшая – всего в один атом кислорода. «Дезокси-» переводится с латыни как «отсутствие атома кислорода», то есть дезоксирибоза – это рибоза без одного атома кислорода. От названия сахарного остатка образуются названия кислот – дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК). С химической точки зрения разница между ДНК и РНК заключается в наличии или отсутствии одного атома кислорода в сахарном остатке. Не такая уж и большая разница, верно? Но с генетической точки зрения разница между ДНК и РНК огромна. Молекула ДНК – хранитель наследственной информации и организатор ее передачи по назначению. Да – и организатор тоже, поскольку именно в молекуле ДНК записан процесс считывания закодированной в ней информации. А молекула РНК играет вспомогательную роль – служат матрицами для синтеза белков, входят в состав ряда ферментов или сами по себе проявляют ферментативную активность, занимаются транспортом белков внутри клетки, а многих вирусов РНК играет роль ДНК, то есть является хранителем наследственной информации.⁶

Молекулы ДНК и РНК состоят из повторяющихся блоков, которые называются нуклеотидами. Четыре вида нуклеотидов (а именно столько их в молекуле ДНК и РНК) – это «буквы», которыми записывается наследственная информация. Комбинация из четырех элементов дает десять тысяч вариантов, вдобавок эти четырехэлементные комбинации комбинируются друг с другом в различных сочетаниях, что дает количество вариантов.

Молекула ДНК не просто огромная, она гигантская, число атомов в ней, как уже было сказано выше, может достигать до десяти миллиардов. Природа стремится к компактности, поэтому гигантская молекула ДНК состоит не из одной, а из двух нуклеотидных цепочек, которые закручены вокруг своей оси в спираль, образуя что-то вроде двойной пружины.

Структуры, хранящие наследственную информацию, называются хромосомами. Такое название обусловлено способностью связывать красители, используемые при приготовлении микроскопических препаратов, «Хромосома» в переводе с греческого означает «окрашенное тело».

Каждая хромосома представляет собой одну молекулу ДНК. Хромосомы, имеющие вид длинных тонких нитей, собираясь вместе, образуют ядро клетки.

Полный набор хромосом, он же диплоидный набор – это набор хромосом, присущий соматическим (не половым) клеткам. В диплоидном наборе все характерные для данного био-

⁶ Больше о ДНК, РНК и всей генетике в целом вы можете узнать из книги Андрея Шляхова «Генетика для начинающих» (издательство АСТ, серия «Наука на пальцах», 2019).

логического вида хромосомы представлены попарно. В ядрах гамет (половых клеток) хромосом содержится вдвое меньше, чем в соматических клетках – по одной из пары. Такой набор хромосом называется одинарным или гаплоидным. Соединяясь вместе, две половые клетки (мужская и женская), образуют одну клетку с полным набором хромосом. Из этой клетки развивается новый организм. Поскольку половина хромосом получена ребенком от отца, а половина от матери, ребенок наследует признаки обоих родителей.

Запомните, пожалуйста, секретный шифр биологов. Гаплоидный набор обозначается буквой n , а диплоидный – $2n$. Каждый вид в норме⁷ имеет строго определенное и постоянное число хромосом, которые могут различаться по размерам и форме. Число хромосом и их морфологические особенности являются характерным признаком биологического вида.

От цитоплазмы ядро отделяет ядерная оболочка, состоящая из двух фосфолипидных мембран, и в целом похожая на клеточную мембрану. Внутри ядра находится ядерный матрикс – каркасная система, служащая объединяющей основой для хромосом и, в то же время, обособляющая их друг от друга. Матрикс делает ядро похожим на шкаф, где каждый предмет лежит на своем месте, в своей ячейке.

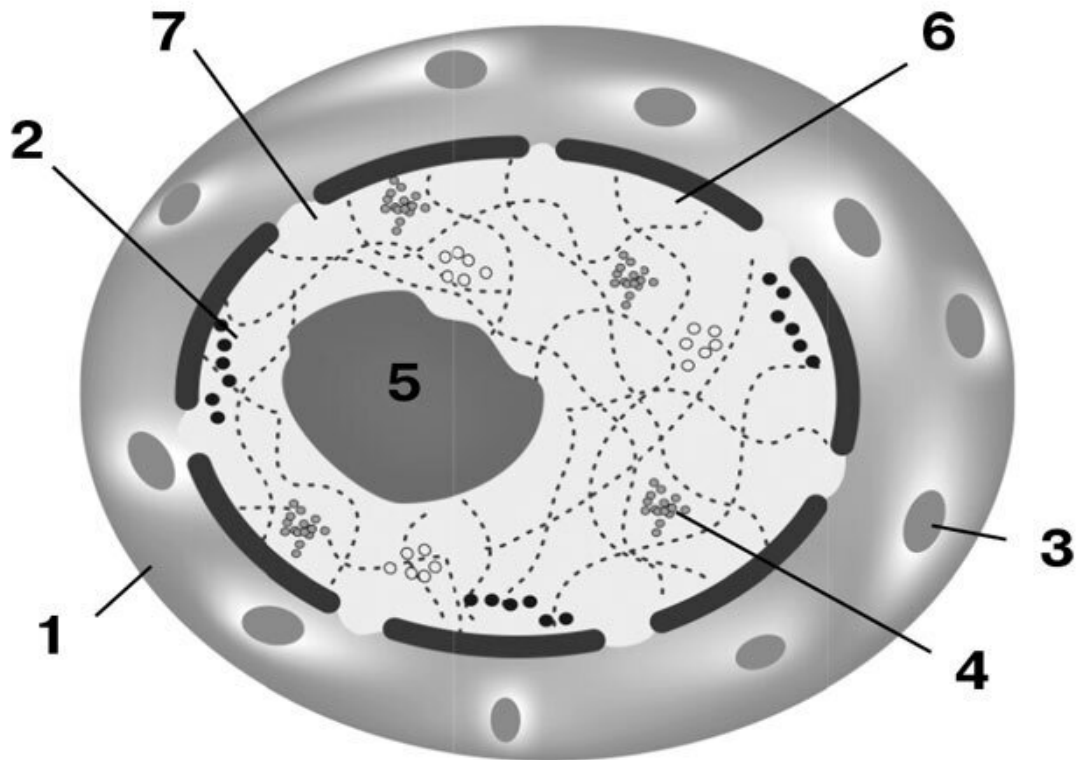
Выгодно ли клетке иметь ядро?

Однозначно выгодно. Упаковка в ядерный матрикс, да еще и окруженный оболочкой, защищает молекулы ДНК от случайного повреждения. Ядерные клетки делятся более сложным образом, нежели безъядерные. В результате этого сложного деления, о котором мы поговорим немного позже, каждая дочерняя клетка получает строго полный набор хромосом, без излишков и недостатков. Кроме того, наличие ядра делает возможным деление с образованием половых клеток, имеющих половинное число хромосом. Без ядра половое размножение невозможно, а это очень выгодное с точки зрения эволюции качество.

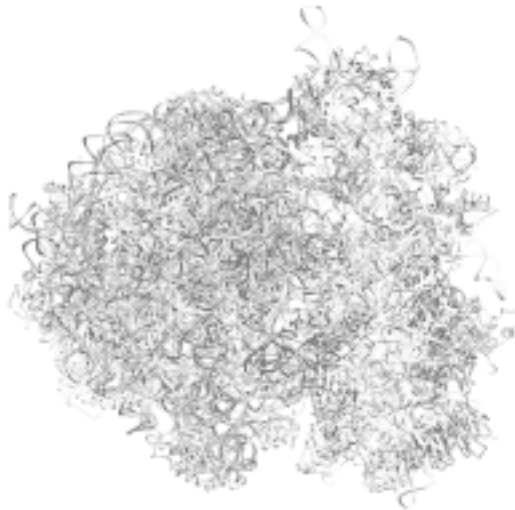
Помимо хроматина в клеточном ядре содержатся ядрышки – небольшие образования, не имеющие собственной оболочки. В ядрышках синтезируются органеллы, которые называются рибосомами.

Рибосомы – это сферические образования, не имеющие своей отдельной мембраны. По сути рибосомы являются скоплением молекул РНК, синтезирующих белки из аминокислот, в соответствии с информацией, записанной в РНК-матрице. Молекула ДНК – слишком громоздкая матрица, гораздо удобнее для синтеза белковых молекул маленькие матрицы РНК и это удобство оправдывает затраты на их изготовление на основании той информации, что записана в молекуле ДНК. К тому же матрица-ДНК в клетке всего одна, а РНК-копий можно изготовить сколько угодно, в результате чего синтез белков будет более интенсивным. Рибосомы присутствуют во всех без исключения клетках, они есть и у эукариот, и у прокариот. Количество рибосом в клетке может достигать десятков миллионов. Иначе и быть не может, ведь живой клетке постоянно нужны белки.

⁷ Изменение числа хромосом приводит к патологическим состояниям. Клетки человеческого организма содержат 46 хромосом (23 пары). При появлении в 21-ой паре дополнительной хромосомы, в результате чего общее число хромосом становится равным 47, развивается синдром Дауна, названный так в честь впервые описавшего его в 1866 году английского врача Джона Дауна.



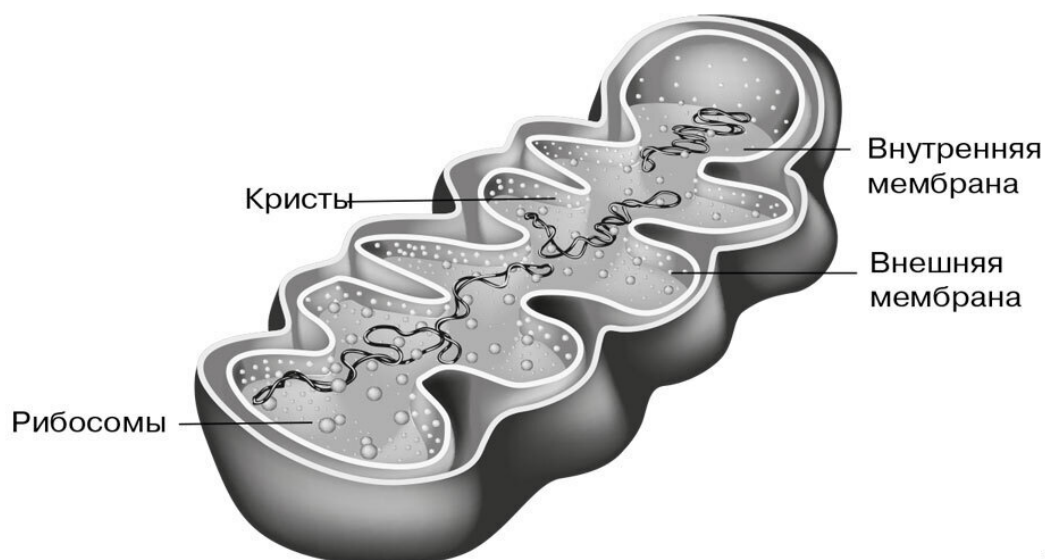
Строение клеточного ядра: 1 – наружная ядерная мембрана; 2 – внутренняя ядерная мембрана; 3 – рибосомы; 4 – хроматин; 5 – ядрышко; 6 – кариоплазма; 7 – ядерная пора



Рибосома

А в чем еще постоянно нуждается живая клетка?

Конечно же в энергии, которая вырабатывается в митохондриях – энергетических станциях клетки. В клетке содержится около 2 000 митохондрий, совокупный объем которых составляет до четверти от общего объема клетки! Митохондрии имеют сферическую или эллипсоидную форму. Мембран у них две – гладкая внешняя и складчатая внутренняя, которая образует множество поперечных перегородок, называемых «кристами». Митохондрии способны размножаться путем деления.



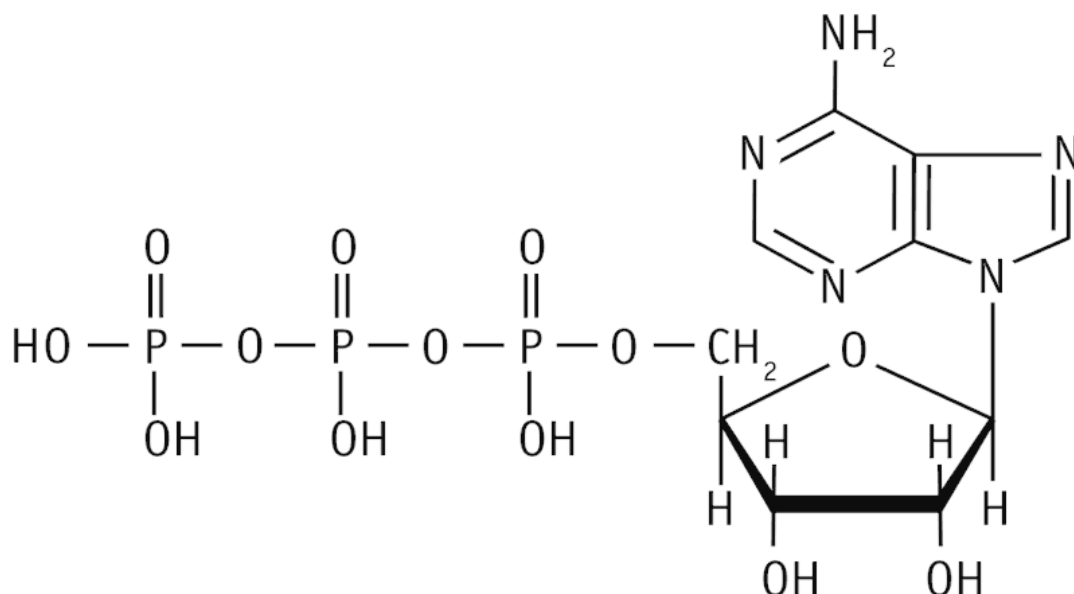
Строение митохондрии

В митохондриях подвергаются окислению органические вещества, поступившие в клетку извне. В ходе этого процесса образуются клеточные аккумуляторы – молекулы аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), способные накапливать энергию.

Аденозинтрифосфорная кислота – универсальный аккумулятор. Она содержится во всех клетках растений и животных. Количество АТФ в среднем составляет 0,04 % от массы клетки. Наибольшее количество АТФ – до 0,5 % содержится в скелетных мышцах, которые активно работают и нуждаются в больших количествах энергии.

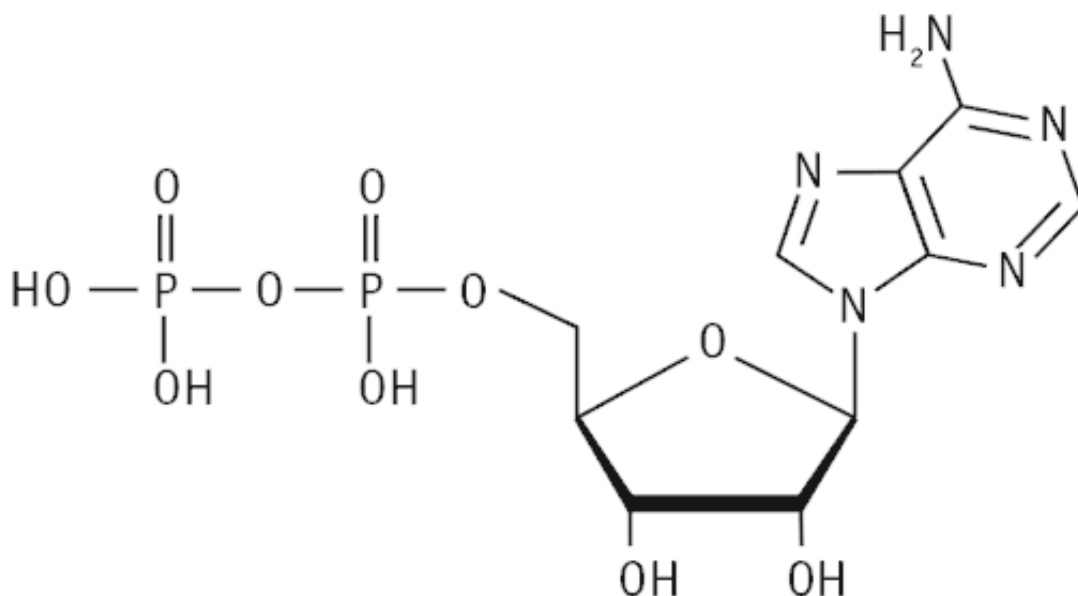
Давайте рассмотрим «схему» нашего аккумулятора.

АТФ состоит из остатков азотистого основания аденина, моносахарида рибозы и трех остатков фосфорных кислот. С химической точки зрения, если кому интересно, она представляет собой рибонуклеозидтрифосфат. Но, согласитесь, что АТФ звучит, выговаривается и запоминается проще. К слову будь сказано, что химики свои мудреные названия никогда не запоминают, потому что в химии все названия даются не с помощью фантазии (например, как названия видов в биологии), а по строгим законам. Химики читают название по формуле и могут написать формулу по названию.



Структурная формула молекулы АТФ

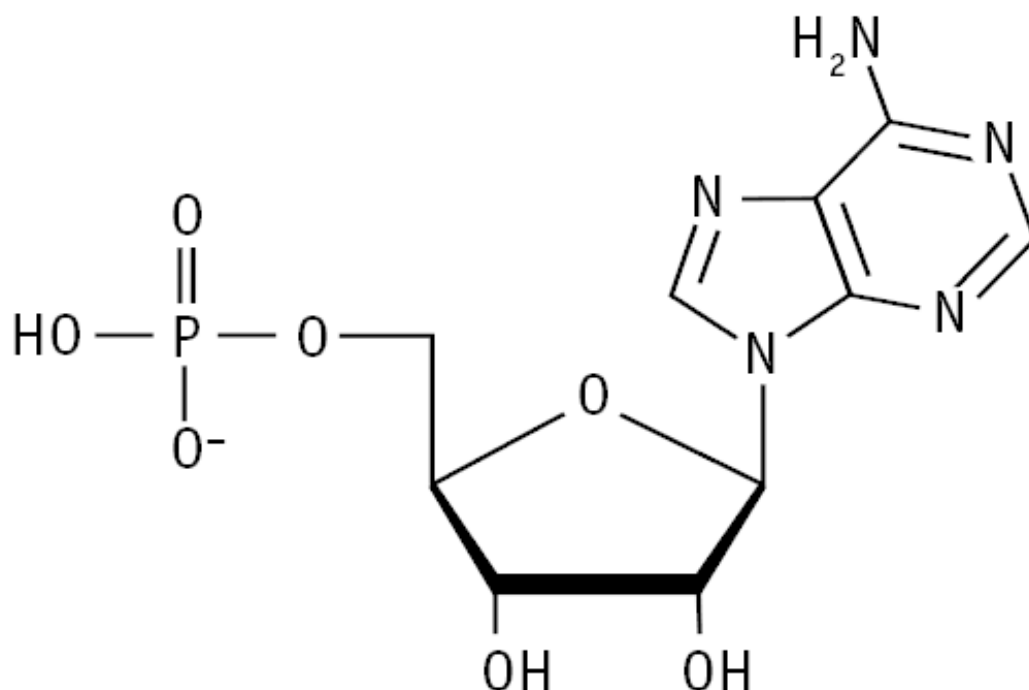
Энергия высвобождается при гидролизе⁸ АТФ, когда от молекулы последовательно отщепляются остатки фосфорной кислоты (на формуле они видны слева). При отщеплении конечного остатка фосфорной кислоты АТФ переходит в аденозиндифосфорную кислоту (АДФ), при отщеплении второго остатка фосфорной кислоты – в аденозинмонофосфорную кислоту (АМФ).⁹



Формула АДФ

⁸ Гидролизом (водным разложением) называется химическая реакция взаимодействия вещества с водой, при которой происходит разложение этого вещества и воды с образованием новых соединений.

⁹ В химической номенклатуре используются умножающие приставки (они же умножающие префиксы, числовые приставки или числительные приставки) – приставки, обозначающие количество повторений понятия, лежащего в основе термина. Приставка «три» – обозначает 3, «ди» – 2, а «моно» – 1.



Формула АМФ

Выход свободной энергии при отщеплении концевой и второго остатков фосфорной кислоты составляет по 30,6 кДж. А вот отщепление третьей фосфатной группы сопровождается выделением только 13,8 кДж. Если вы захотите узнать, сколько это будет в килокалориях, то умножайте количество килоджоулей на 0,24, поскольку в 1 килоджоуле 0,24 килокалории.

Запасы АТФ постоянно пополняются. В клетках всех организмов синтез АТФ происходит в процессе фосфорилирования – присоединения фосфорной кислоты к АДФ. Фосфорилирование, как вы понимаете, сопровождается поглощением энергии.

АТФ является основным связующим звеном между процессами, сопровождающимися выделением и накоплением энергии, и процессами, протекающими с затратами энергии. АТФ – одно из наиболее часто обновляемых веществ в организме. Например, у человека продолжительность жизни одной молекулы АТФ составляет меньше минуты. Наш организм синтезирует около 40 килограмм АТФ ежедневно, но в каждый конкретный момент в нем содержится около 250 грамм АТФ. Запаса АТФ в организме практически не создается (он всего лишь пятиминутный), поэтому для нормальной жизнедеятельности необходимо постоянно синтезировать новые молекулы этого вещества. Именно поэтому нам приходится принимать пищу 3-4 раза в сутки.

Может возникнуть вопрос – зачем нужна вся эта круговерть? Только-только синтезируется АТФ и тут же распадается. Не успеешь создать запас, как его уже нет (на ум сразу же приходят Винни-Пух и его горшочек меда). Может, природе стоило бы как-нибудь упорядочить это дело, чтобы в сутки вырабатывать хотя бы 5 кг АТФ вместо 40?

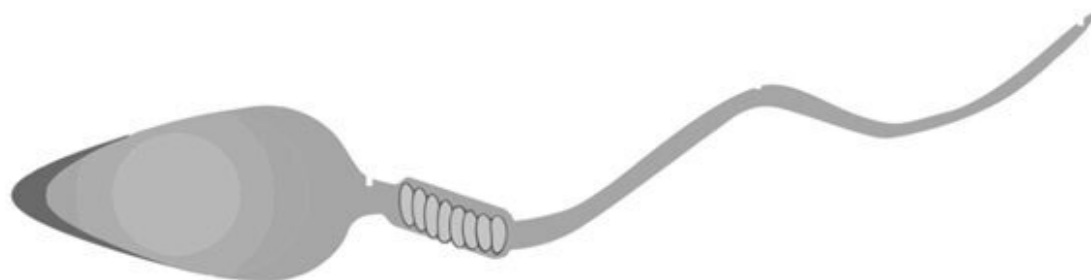
Дело в том, что АТФ – это не форма запаса энергии. Наш организм, как и другие организмы, откладывает энергию про запас в виде жиров и гликогена, полисахарида, образованного остатками глюкозы. АТФ – это не столько средство запаса энергии, сколько средство ее транспортировки из одной точки в другую, от места высвобождения и связывания к месту использования.

Но довольно с нас химии, пора возвращаться в мир биологии, к строению клетки.

Как по-вашему, если митохондрии способны размножаться самостоятельно, посредством деления, то чем они для этого должны обладать?

Конечно же собственной ДНК или РНК, ведь размножение должно идти по плану, записанному в митохондриальных анналах. Молекулы митохондриальной ДНК относительно невелики, например, в митохондриальной ДНК человека содержится 37 генов, а не сотни-тысячи, как в ядерной ДНК. Но митохондриям этого достаточно. РНК в митохондриях тоже содержится, но все виды митохондриальной РНК являются вспомогательными. Основной носитель наследственной информации – ДНК.

Митохондриальная ДНК наследуется только по материнской линии, поскольку отцовские митохондрии потомству передаваться не могут. У сперматозоида всего одна задача – доставка отцовской ядерной ДНК к яйцеклетке матери. С одной стороны, яйцеклетке кроме ДНК от отца больше ничего не нужно, все остальное у нее есть, а с другой стороны сперматозоид должен иметь как можно меньшую массу, потому что скорость передвижения обратно пропорциональна массе. В сравнении с яйцеклеткой сперматозоиды выглядят лилипутами. Их строение предельно просто – маленькая головка, в которой находится ядро и немного цитоплазмы с митохондриями, короткая шейка, где митондрий довольно много, и длинный хвост-двигатель. Митохондрии, содержащиеся в шейке нужны для того, чтобы обеспечивать хвост энергией. Во время оплодотворения шейка сперматозоида и хвост остаются снаружи, в яйцеклетку проникает лишь головка. Организм, развившийся из оплодотворенной яйцеклетки, получает митохондрии и митохондриальную ДНК только от матери. То небольшое количество митондрий, которое попадает в яйцеклетку вместе с цитоплазмой головки (вместе с ядром), на новом месте не приживается – отцовские митохондрии в яйцеклетке гибнут.



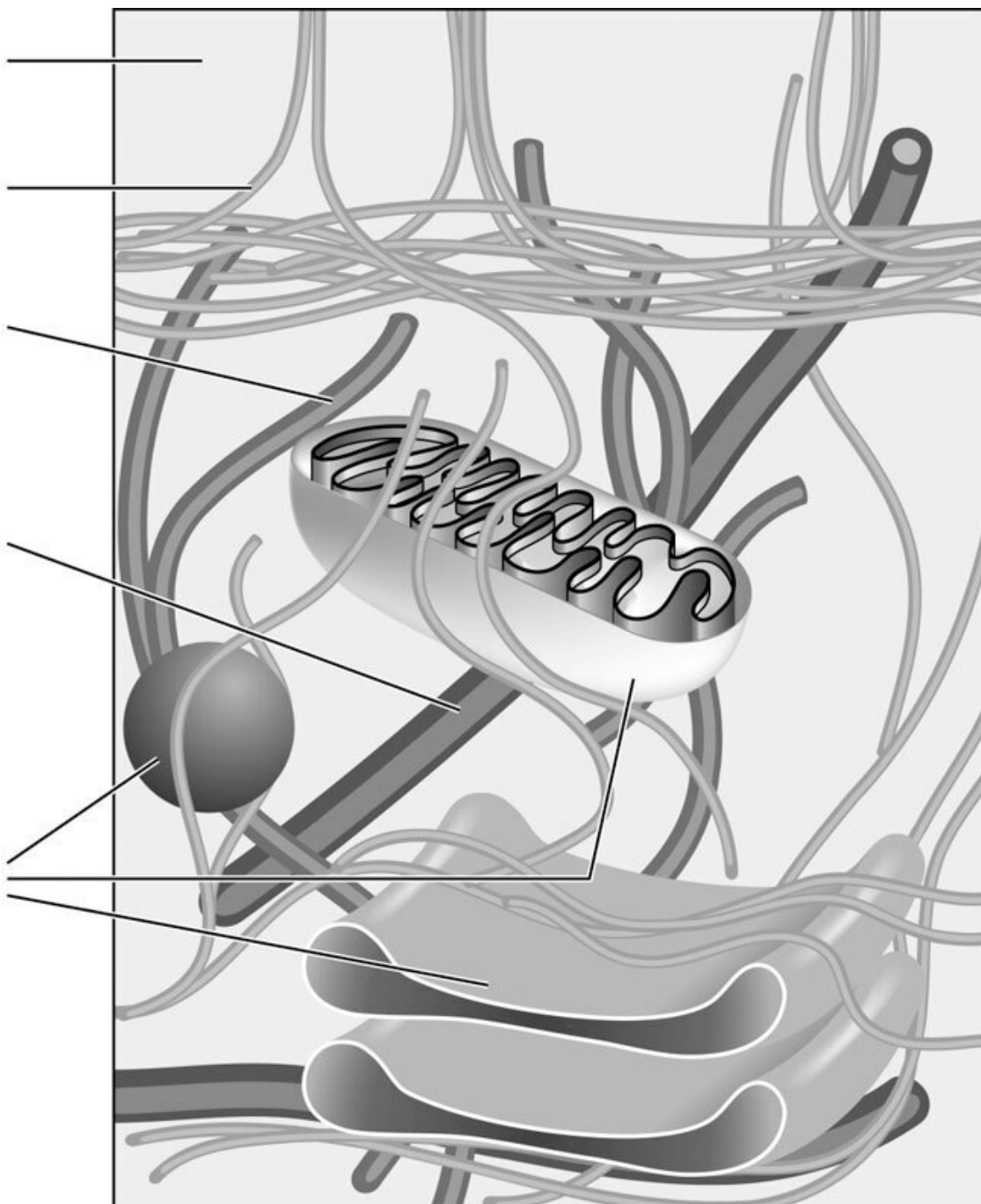
Строение сперматозоида

Но очень-очень-очень редко (достоверно подтвержден только один такой случай)¹⁰ часть отцовских митондрий каким-то чудом ухитряется выжить и тогда у потомка присутствуют и материнская, и отцовская митохондриальная ДНК.

Не удивляйтесь тому, что вместе с ядром в головке сперматозоида есть цитоплазма. Без нее никак нельзя обойтись. Цитоплазма является обязательной составляющей любой клетки. В цитоплазме происходят основные процессы обмена веществ и энергии, здесь сосредоточены питательные вещества – капли жира, зерна крахмала, кристаллы солей, гранулы гликогена, здесь находятся ядро, митохондрии и другие органеллы. Важно понимать, что цитоплазма не просто внутренняя среда клетки, а упорядоченно функционирующая система, которая объединяет мембрану, ядро и органеллы в целостную живую клетку. Цитоплазма способна к воспроизведению и восстановлению своего состава.

¹⁰ В 2002 году в «Медицинском журнале Новой Англии» (США) было опубликовано сообщение об обнаружении отцовской митохондриальной ДНК у 28-летнего мужчины. (Schwartz M., Vissing J. «Paternal inheritance of mitochondrial DNA», The New England Journal of Medicine, 01 Aug 2002, 347(8):576-580).

Основное вещество цитоплазмы, называемое гиалоплазмой,¹¹ представляет собой бесцветную коллоидную среду, состоящую из воды, молекул органических веществ и ионов. Гиалоплазма создает необходимую среду для протекания биохимических реакций, хранит клеточные запасы, участвует в поддержании постоянства внутреннего состава клетки и в транспорте веществ. Гиалоплазма эукариотических клеток пронизана многочисленными белковыми микротрубочками и волокнами, совокупность которых составляет клеточный скелет – цитоскелет. Цитоскелет обеспечивает пространственную организацию цитоплазмы, определяет распределение органоидов в клетке, способствует осуществлению всех типов клеточного движения, а также принимает участие в регуляции обмена веществ.



Цитоскелет

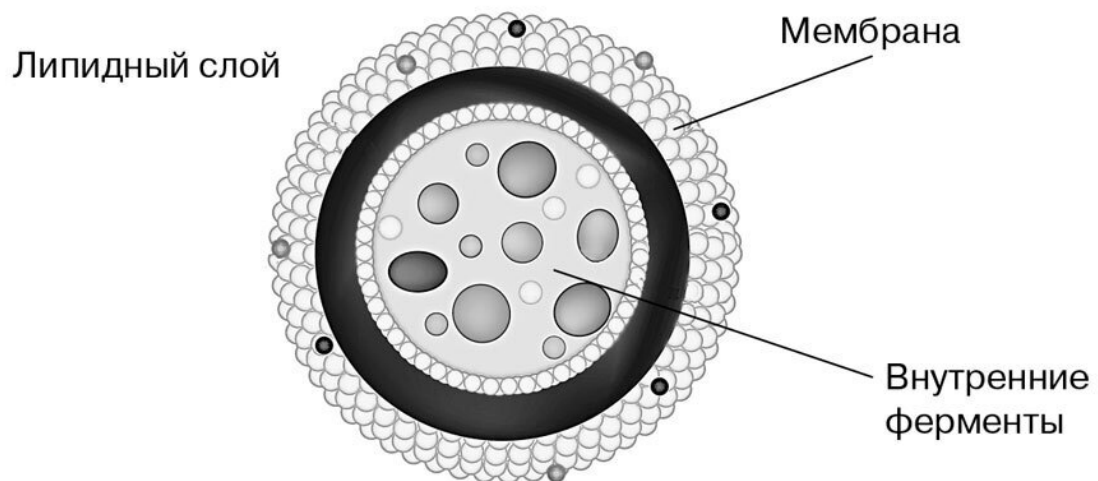
¹¹ «Гиалос» в переводе с греческого означает «стекло».

В эукариотической клетке имеется «сортировочно-складской центр», называющийся комплексом или аппаратом Гольджи в честь итальянского ученого Камилло Гольджи, открывшего этот клеточный орган в 1898 году. Аппарат Гольджи представляет собой систему цистерн и пузырьков, в которых накапливаются вещества, синтезированные в клетке. Здесь они сортируются, некоторые из них изменяются, нужные остаются, а ненужные выводятся за пределы клетки.



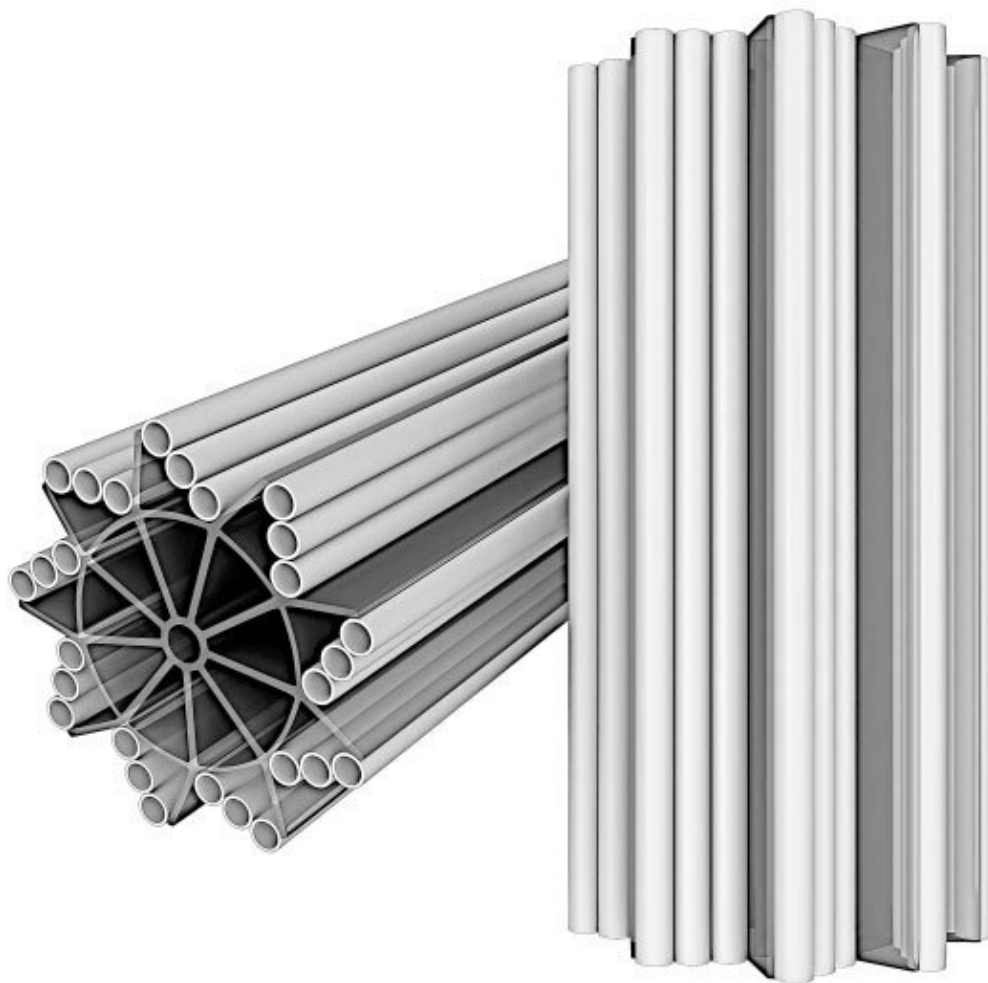
Аппарат Гольджи

Также в аппарате Гольджи образуются лизосомы – мембранные пузырьки, в которых содержатся ферменты, разлагающие поступившие извне крупные молекулы на более простые. По сути лизосомы занимаются перевариванием пищи.



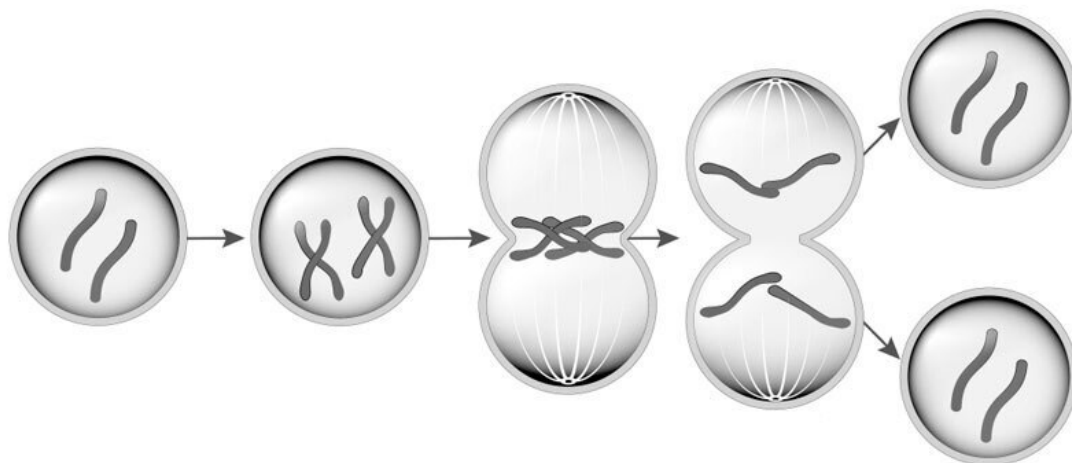
Структура лизосомы

Очень важной органеллой эукариотической является клеточный центр, образованный двумя центриолями – цилиндрическими образованиями, состоящие из девяти пучков микроскопических трубочек и расположенными под прямым углом друг к другу. Центриоли принимают участие в делении клетки. Они расходятся в разные стороны, к противоположным полюсам клетки и образуют веретено деления – динамичную структуру, обеспечивающую равное разделение хромосом между двумя дочерними клетками.

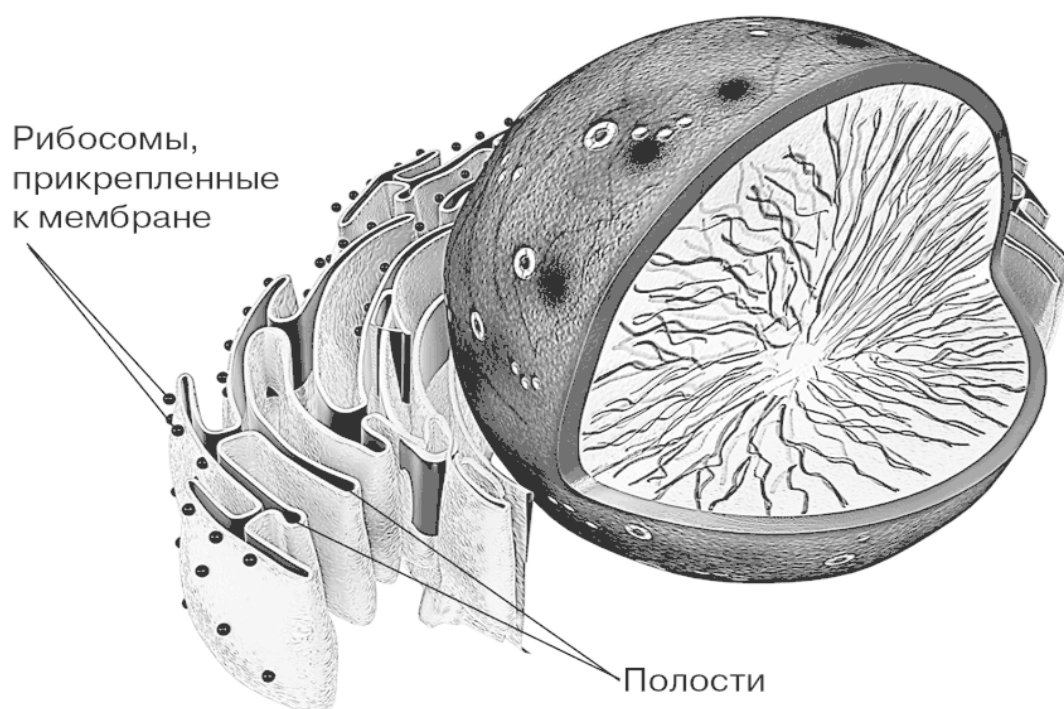


Центриоли

Шероховатая эндоплазматическая сеть или эндоплазматический ретикулум – это сложное сплетение каналов и полостей, своеобразная транспортная система клетки. На наружной поверхности шероховатой эндоплазматической сети располагаются рибосомы.



Образование веретена деления



Эндоплазматическая сеть

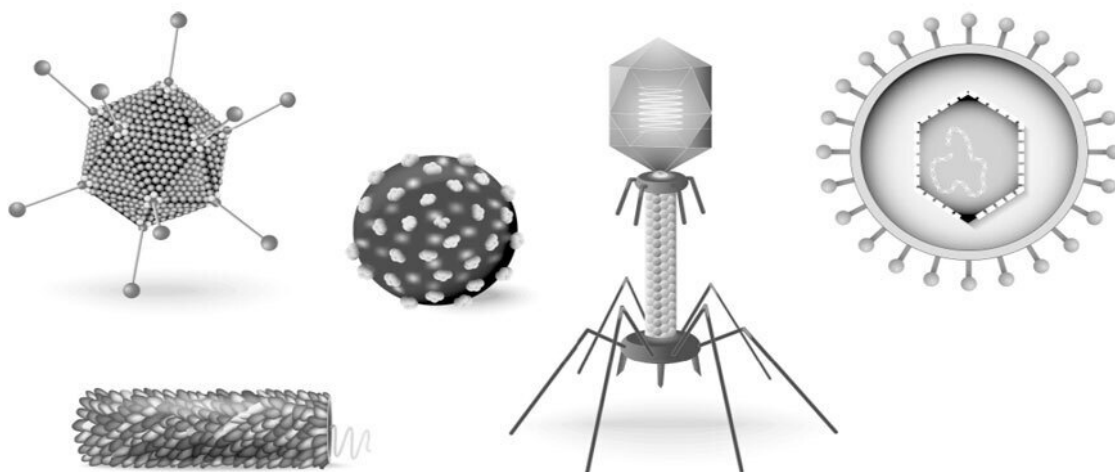
ГЛАДКАЯ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ СЕТЬ принимает участие в синтезе липидов и углеводов, а также образует вакуоли – наполненные газом или жидкостью полости. В животных клетках вакуоли занимают не более 5 % от общего объема клетки, а в растительных клетках могут занимать до 90 %. Если в растительных клетках чаще всего бывает одна крупная расположенная в центре вакуоль, то в животных клетках несколько мелких вакуолей располагаются на периферии. Вакуоли выполняют различные функции – подобно лизосомам разлагают сложные молекулы на простые, накапливают нужные вещества и участвуют в их выведении за пределы клетки и т. д.

Продолжение оболочки клеточного ядра образует разветвленную сеть трубочек и карманов, которая называется эндоплазматическим ретикулумом (это переводится как «внутриплазматическая сеть»). Главной задачей ретикулума является обеспечение активного транспорта веществ внутри клетки. Кроме того, ретикулум участвует в различных процессах клеточного обмена. Часть ретикулума, покрытая рибосомами, называется шероховатым ретикулумом, а та часть, на которой рибосом нет – гладкой.

Эукариотическая клетка – довольно сложная структура. Безъядерные клетки устроены проще, но в сравнении с вирусами даже они выглядят весьма представительно, ибо вирусы устроены предельно просто. От клеточных организмов вирусы отличаются полным отсутствием обмена веществ и энергии, а также отсутствием клеточной структуры и аппарата синтеза белка. Вирусы – это молекулы ДНК (небольшие) или РНК, заключенные в защитную белковую оболочку, называемую капсидом. Ничего лишнего – только матрица для образования новых вирусов. При такой простоте вирусы самостоятельно размножаться не могут. Они внедряются в клетку и используют ее ресурсы для размножения. Посредством своей нуклеиновой кислоты вирус программирует структуры клетки-хозяина на синтез своего вирусного материала – нуклеиновой кислоты и белков капсида – из клеточных веществ с использованием клеточной энергии. Можно сказать, что вирус подчиняет себе клетку. Паразитируя в клетках, вирусы

нарушают их нормальную жизнедеятельность, вызывая различные болезни. Вирусы способны поражать все живое – животных, растения, одноклеточные организмы.

На сегодняшний день известно более 1000 вирусов.



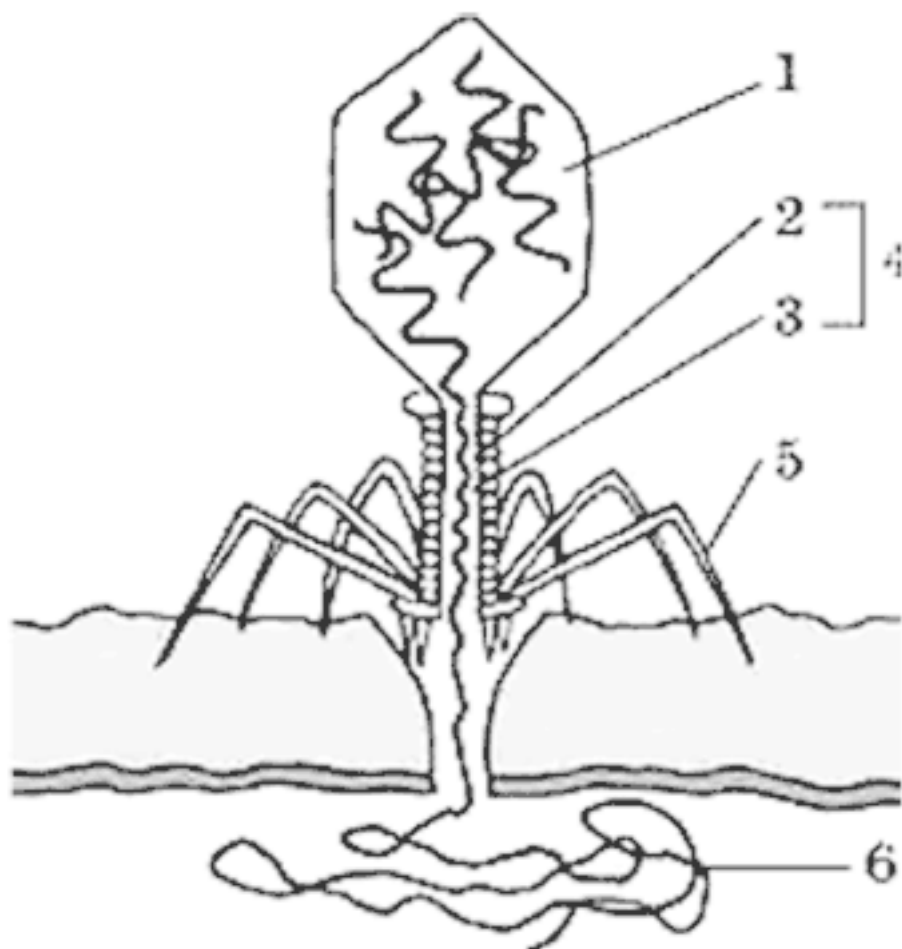
Схематическое изображение различных вирусов

Размеры вирусов очень малы. Их выражают в нанометрах 1 нанометр (нм) = 10^{-9} метра. «Мелкий» вирус полиомиелита имеет размер около 20 нм, а «гигантский» вирус желтухи свеклы – около 1500 нм. Одновременно клетку могут заселять несколько десятков вирусов.

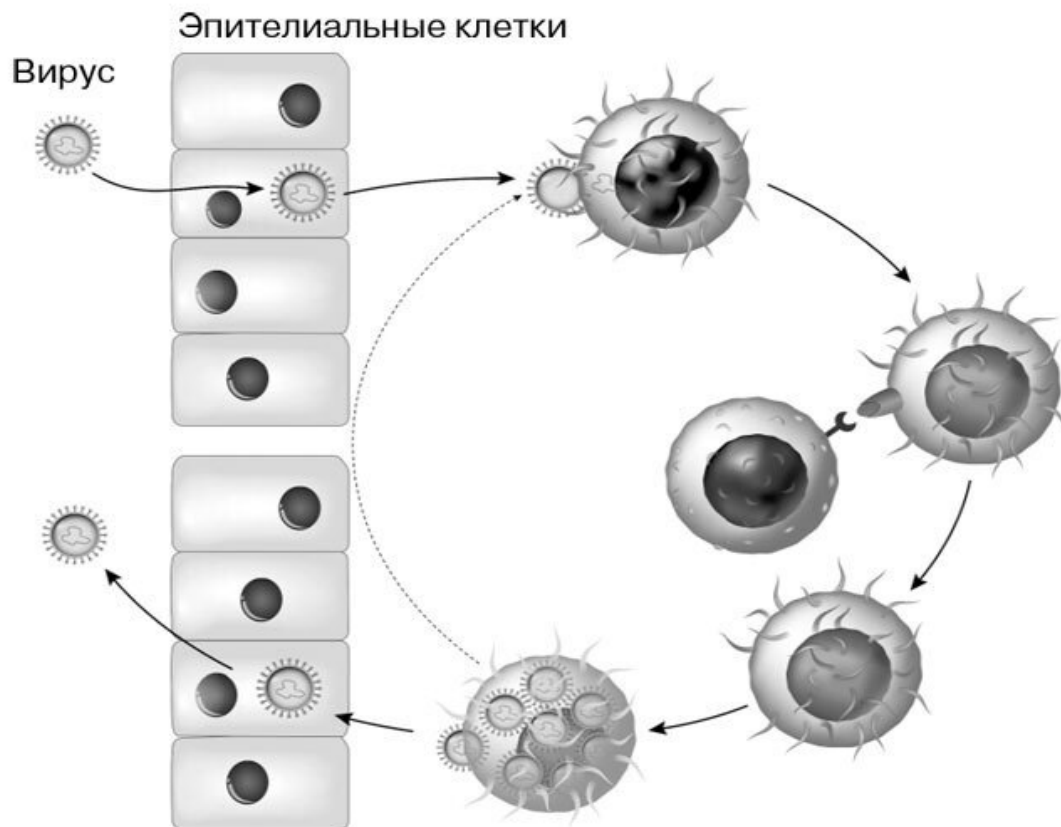
Капсид выполняет не только защитную функцию. Он также обеспечивает прикрепление вируса к поверхности клеточной мембраны благодаря наличию рецепторов, способных связываться с мембранными рецепторами. Без фиксации капсида на мембранной поверхности, то есть без наличия на ней нужных рецепторов, не может произойти проникновение вируса в клетку, не может развиваться вирусное заболевание. Каждый вирус имеет строго определенный круг хозяев, в клетках которых он способен размножаться. Есть вирусы, паразитирующие только на одном-единственном виде бактерий,¹² а вот вирус бешенства имеет обширный круг хозяев – он поражает всех млекопитающих без исключения.

У некоторых вирусов, кроме капсида есть дополнительная защитная оболочка из липопротеина, вещества, образованного соединением белка и липида. Наиболее сложно устроены вирусы-бактериофаги («пожиратели бактерий»), которые паразитируют на бактериях. Эти вирусы имеют аппарат для транспортировки своей нуклеиновой кислоты в бактерию, по действию напоминающий шприц. В головке бактериофага находится нуклеиновая кислота, которая проталкивается в клетку-хозяина под давлением через хвост, который выступает в роли иглы, прокалывающей мембрану бактерии-хозяина, вернее – мембрану бактерии, которой предстоит стать хозяином.

¹² Бактерии – безъядерные одноклеточные микроорганизмы, объединенные в одноименный домен (самый верхний уровень группировки организмов в биологической систематике).



«Введение бактериофагом своей нуклеиновой кислоты в цитоплазму клетки-хозяина»



Паразитирование вируса герпеса в клетке

Чем проще устройство, тем реже оно ломается. Чем проще устроен организм (давайте договоримся, что мы станем считать вирусы особой формой жизни), тем труднее нарушить его жизнедеятельность. С вирусами очень трудно бороться потому что они имеют простейшее строение и, вдобавок, обитают внутри клеток, которые служат им защитой. Противовирусные препараты по принципу действия подразделяются на две группы – стимуляторы иммунной системы, которая борется с чужеродными агентами, и препараты, поражающие вирусы напрямую. Препараты «прямого действия» могут препятствовать проникновению вируса в клетку, его размножению внутри клетки и выходу копий вируса из клетки. Лучше всего, конечно, не допускать проникновения вируса в клетку, поскольку таким образом клетки организма предохраняются от повреждения.

В художественном произведении персонаж, мешающий главному герою достигать его целей, называется антагонистом. Вирусы можно считать «антагонистами» живых клеток, потому что они мешают их нормальному функционированию.

Давайте вместе подумаем над тем, можно ли считать вирусы особой, неклеточной формой жизни.

С одной стороны, вирусы не имеют обмена веществ и энергии, не осуществляют синтеза белков, нуклеиновых кислот и других необходимых им веществ. Самостоятельно, без использования чужих ресурсов, вирусы воспроизводиться не могут. Ну какие же это живые организмы? Это всего лишь комплексы органических молекул, способные взаимодействовать с живыми организмами.

С другой стороны, вирусы способны к размножению, пусть и внутри клетки-хозяина, но способны, они имеют свой собственный генетический материал и изменяются в процессе эволюции, что свойственно живым организмам и никому больше. Если смотреть в корень, то ста-

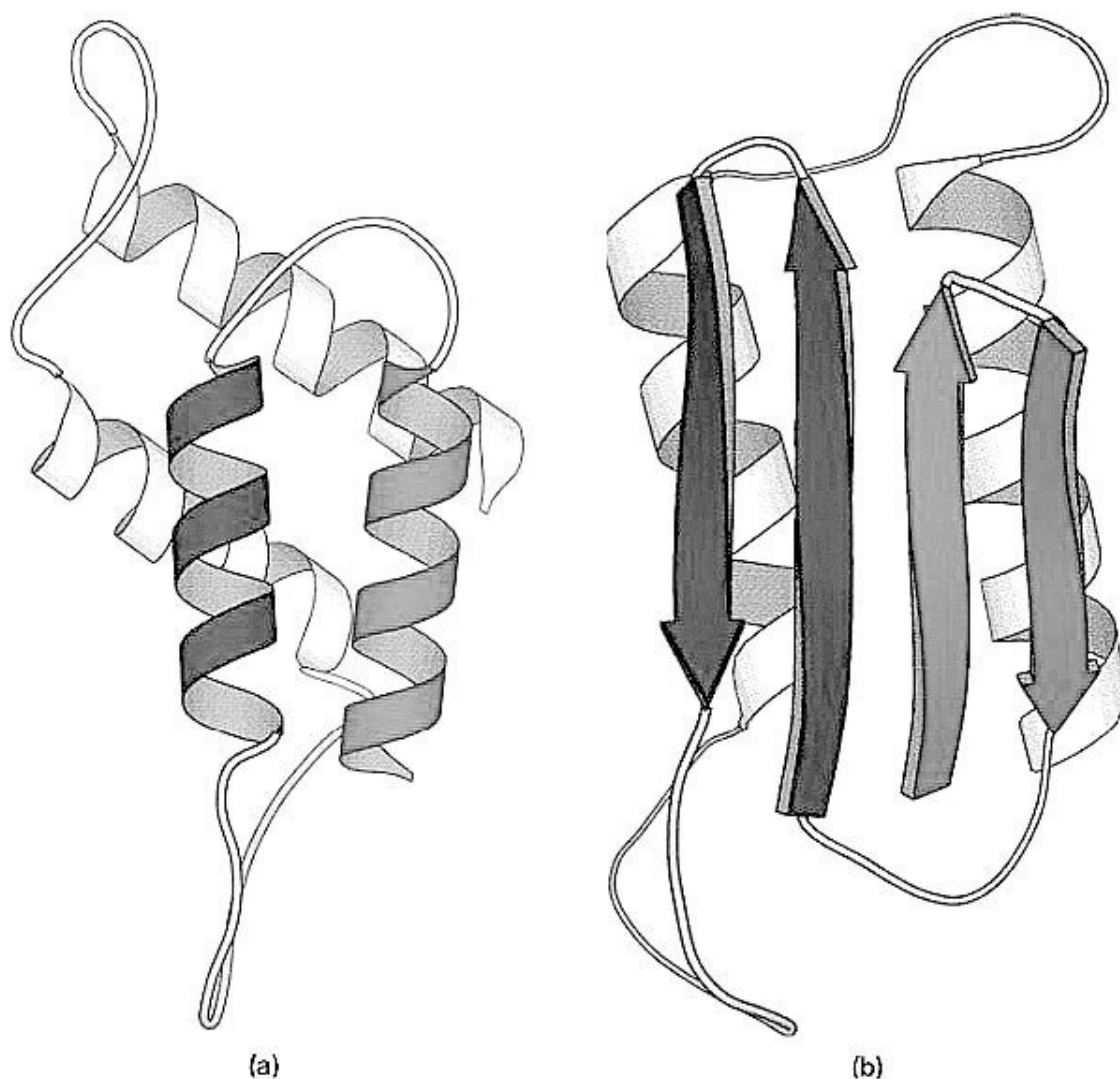
новится ясно, что вирусы представляют собой особую форму жизни, а не просто «комплексы органических молекул». Биологи в шутку говорят о вирусах, что «они живые, но не совсем».

Но если вирусы с небольшой натяжкой можно отнести к особой форме жизни, то с прионами дело обстоит гораздо сложнее. У прионов нет генетического материала. Прион – это молекула белка с аномальным пространственным строением. Длинная молекула приона свернута в клубок не так, как принято у нормальных белков, а несколько иным образом. Когда эта молекула встречается с правильно свернутой молекулой аналогичного белка, то она перестраивает ее, делает похожей на себя, то есть – неправильной. А неправильные молекулы, в свою очередь, делают неправильными другие правильно свернутые молекулы. Идет цепная реакция, которая заканчивается лишь тогда, когда правильных молекул не останется. Этот процесс можно сравнить с размножением приона, причем такое размножение происходит без участия нуклеиновых кислот.

Белок с измененной структурой не может выполнять свои обычные функции, жизнедеятельность клеток нарушается и развиваются болезни. Про коровье бешенство, которое по-научному называется губчатой энцефалопатией¹³ крупного рогатого скота, все слышали? Это заболевание вызывается прионным белком PrP, который представляет собой гликопротеин, крепящийся снаружи к мембране нервных клеток. Нормальные белки головного мозга становятся плотными и мозговое вещество словно бы сжимается, в нем возникают многочисленные поры, отчего оно начинает напоминать губку. Потому-то это заболевание называют губчатой энцефалопатией.

Вот как быть с прионами? Они умеют только размножаться и ничего больше... Но можно ли назвать «размножением» перестройку нормальных молекул белка? С другой стороны, вирусы тоже делают нечто похожее – используют для размножения резервы клеток, в которых они паразитируют. Так можно ли считать прионы особой формой жизни или нет?

¹³ Энцефалопатия – органическое поражение головного мозга, общее название для заболеваний головного мозга не воспалительного характера.



Два варианта пространственной конфигурации прионного белка

Вопрос остается открытым. И надо сказать, что это не самая крупная нерешенная проблема современной биологии. Самая крупная из нерешенных проблем настолько сложна, что многие ученые, когда-то буквально фонтанировавшие энтузиазмом, отказались ею заниматься. Да вот, представьте себе – отказались. Сложили руки, признали свое поражение и заявили, что на данный момент решение этой проблемы не представляется возможным. Но отдельные герои продолжают поиски, а кто ищет, тот, как известно, всегда найдет.

Вы заинтригованы?

Читайте следующую главу!

Глава третья. Откуда что взялось или теории происхождения жизни на Земле

Вопрос о том, откуда на нашей планете взялась жизнь, волновал человечество с древнейших времен, но первую стройную научную теорию происхождения жизни на Земле предложил в 1923 году советский биолог Александр Опарин.

Место и время рождения этой теории, которая получила название теории биохимической эволюции или теории абиогенного¹⁴ синтеза, хотя на деле являлась гипотезой,¹⁵ были неслучайными. Советское правительство, активно пропагандировавшее атеизм, остро нуждалось в научном объяснении появления жизни на нашей планете. И дать такое объяснение должен был ученый нового социалистического времени, свободный от буржуазно-религиозных предрассудков. Опарин, окончивший естественное отделение физико-математического факультета МГУ в революционном 1917 году идеально подходил под это требование. Впоследствии идеи Опарина получили развитие в трудах английского ученого Джона Холдейна и потому теорию Опарина часто называют теорией Опарина-Холдейна.

Опарин считал, что живая материя зародилась в недрах неживой. Собственно, ничего другого и нельзя было предположить. Если отринуть идею Высшей силы, сотворившей все живое, то неизбежно придешь к тому, что живое произошло от неживого.

Невероятно?

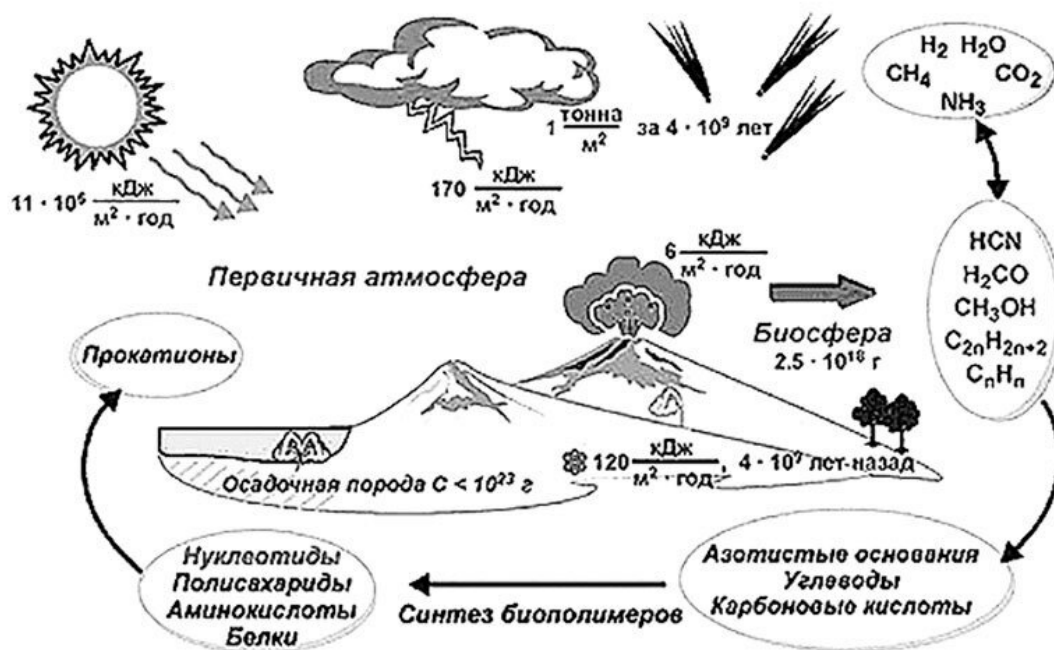
Вполне вероятно, давайте проследим за рассуждениями Опарина, который выделял три этапа перехода от неживой материи к живой.

Первый этап Опарин назвал химической эволюцией, подразумевая, что химические вещества переживали такой же естественный процесс развития, как и все живое на нашей планете и вектор этого процесса был направлен от простого к сложному – происходил синтез соединений углерода без участия живых организмов.

По мнению Опарина этот синтез начался примерно 4 000 000 000 лет назад. Тогда на нашей пока еще безжизненной планете повсеместно извергались вулканы, выбрасывая в атмосферу огромные количества раскаленной лавы. В атмосфере Земли тогда не было озонового слоя, улавливающего часть солнечного излучения (а именно – коротковолновое ультрафиолетовое излучение, которое неблагоприятно для всего живого) и лучи Солнца доходили до земной поверхности без потерь. В водах первичного океана были растворены различные неорганические соли. Таковы были предпосылки химической эволюции.

¹⁴ Абиогенный – происходящий без участия живых организмов.

¹⁵ Гипотеза – это предположение, которое пока еще не нашло подтверждения. Теория же представляет собой совокупность взаимосвязанных утверждений, касающаяся какого-то предмета. Теория может включать в себя отдельные гипотезы, но большинство утверждений, составляющих теорию, имеют подтверждение.



Схематическое изображение теории биохимической эволюции

И что же произошло?

Под действием ультрафиолетового излучения, высокой температуры окружающей среды, электрических разрядов молний и активной вулканической деятельности в атмосфере нашей планеты непрерывно образовывались различные органические соединения, которые затем попадали в океан. Концентрация органических соединений в воде постоянно увеличивалась, и в конечном итоге воды океана стали «бульоном» из пептидов,¹⁶ сахаров, нуклеозидов и прочих низкомолекулярных органических веществ, причем – довольно насыщенным бульоном.

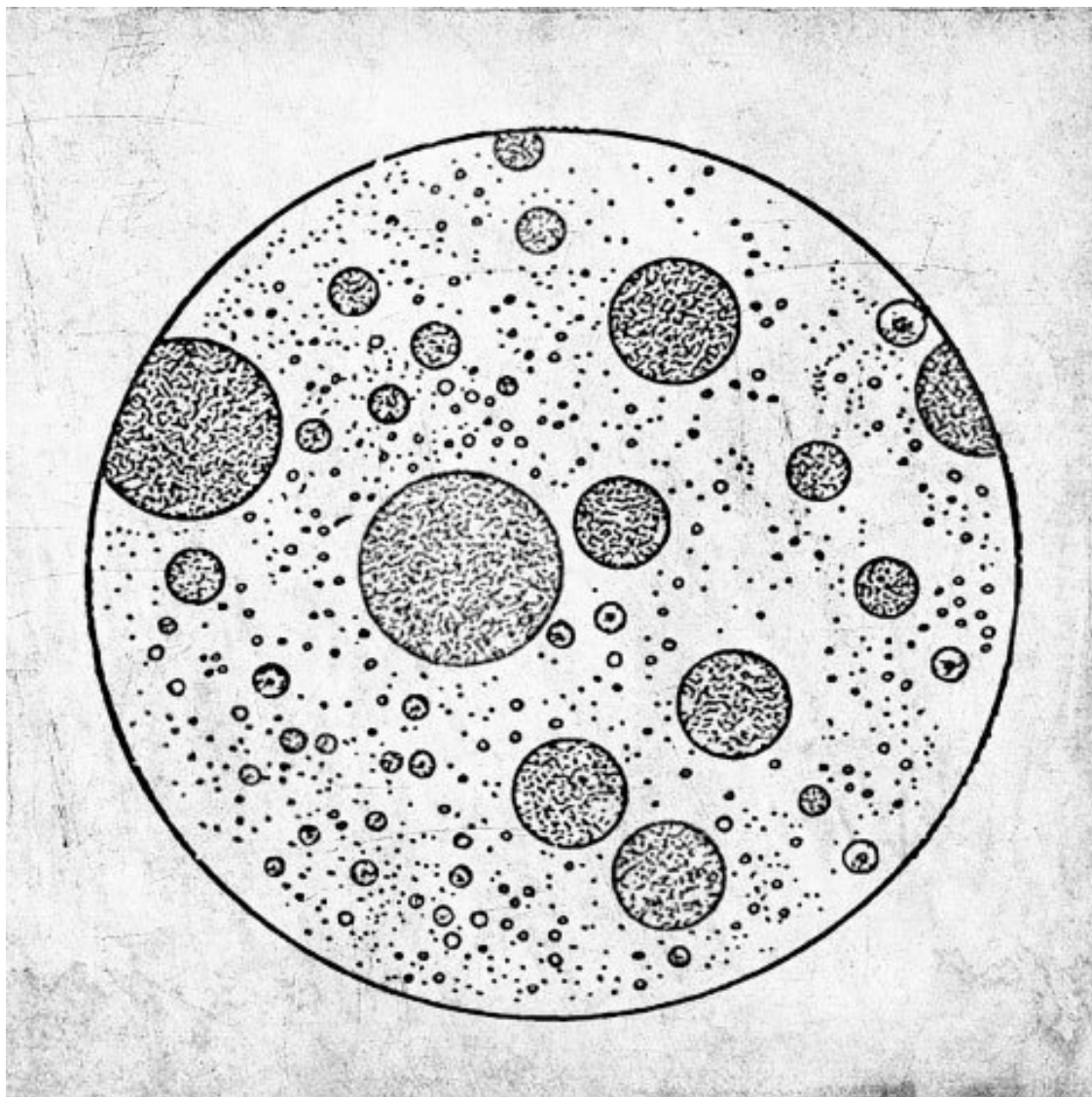
Второй этап был ознаменован появлением белков и других высокомолекулярных соединений. В какой-то момент, под действием перечисленных выше факторов, началось слияние небольших молекул в крупные комплексы, что привело к образованию белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов.

Венцом химической эволюции стало появление коацерватов – капель с большей концентрацией коллоида нежели в остальной части раствора того же самого химического состава.

Давайте вспомним из курса химии, что коллоидами (в переводе с греческого – «клевидными») называются дисперсные системы, промежуточные между истинными растворами и взвешями, в которых в растворителе присутствуют не молекулы, а мелкие частицы растворенного вещества, состоящие из многих молекул.

Коацерватные капли, образующиеся в концентрированных растворах белков и нуклеиновых кислот, способны адсорбировать различные вещества. А еще они способны к слиянию друг с другом и к распаду на несколько частей, условно сравнимому с размножением. Условно, потому что коацерваты не способны к самовоспроизведению. И к саморегулированию они тоже не способны, поэтому их нельзя рассматривать в качестве живых организмов. Опарин рассматривал коацерваты как некие «предбиологические» системы.

¹⁶ Пептидами (от греческого слова «пептос») химики называют вещества, молекулы которых состоят из двух и более остатков аминокислот, соединённых в цепь пептидными связями – $\text{C}(\text{O})\text{NH}-$. Белками называют пептиды, молекулы которых содержат от 50 и более аминокислотных остатков. В данном контексте под пептидами понимаются вещества с небольшим количеством аминокислотных остатков в молекулах.



Коацерват

Третьим и заключительным этапом было «оживление» коацервата. «На бумаге», то есть – теоретически, все выглядело логично. Вокруг коацерватов возникли слои липидов, отделившие их от окружающей водной среды. В процессе эволюции эти слои превратились в наружную мембрану. В коацерватах начали формироваться взаимные связи между нуклеиновыми кислотами и белками. В результате синтез необходимых оживающему коацервату белков стал осуществляться на основе информации, «записанной» в молекулах нуклеиновых кислот. Эти кислоты получили способность к самовоспроизведению при участии специфических белковых ферментов...

В результате всего этого коацерваты превратились в так называемые протобионты – уже живые, могущие размножаться и способные к обмену веществ, но пока еще не имеющие клеточной организации. Со временем это «недостаток» был исправлен – внутри протобионта сформировались митохондрии и некоторые другие органеллы. Химическая эволюция завершилась образованием первичной клетки, которую Опарин называл «археклеткой» – древнейшей клеткой. С этого момента началась другая эволюция – биологическая.

Та-да-да-дам! Хочется трубить в фанфары и аплодировать, однако в бочке нашего меда есть целый половник дегтя.

Возможность абиогенного синтеза высокомолекулярных органических веществ была экспериментально доказана в 1953 году американскими учеными Стэнли Миллером и Гарольдом Юри. Для проведения эксперимента был создан аппарат, состоявший из двух стеклянных колб, соединенных в замкнутую цепь (см. рисунок). В одну из колб было помещено устройство, имитирующее грозовые эффекты – два электрода, между которыми регулярно происходил электрический разряд напряжением примерно в 60 000 вольт. В другой колбе постоянно кипела вода. Аппарат был заполнен смесью газов, соответствовавшей тогдашним представлениям о составе атмосферы ранней Земли. Смесь состояла из метана (CH_4), аммиака (NH_3), водорода (H_2) и монооксида углерода (CO).

После двух недель непрерывной работы в колбе с водой были обнаружены такие вещества, как уксусная и муравьиная кислоты, мочевины и несколько аминокислот. Аминокислоты в данном эксперименте имели первостепенное значение – раз уж они образовались «из ничего», то рано или поздно начнут соединяться в цепочки и таким образом превратятся в белки, основу жизни на нашей планете. Эксперимент можно было не продолжать до образования первых белковых цепочек, все было ясно и так – в соответствующих условиях при наличии определенных исходных продуктов из неорганических веществ в случайном порядке могут образовываться высокомолекулярные органические соединения.

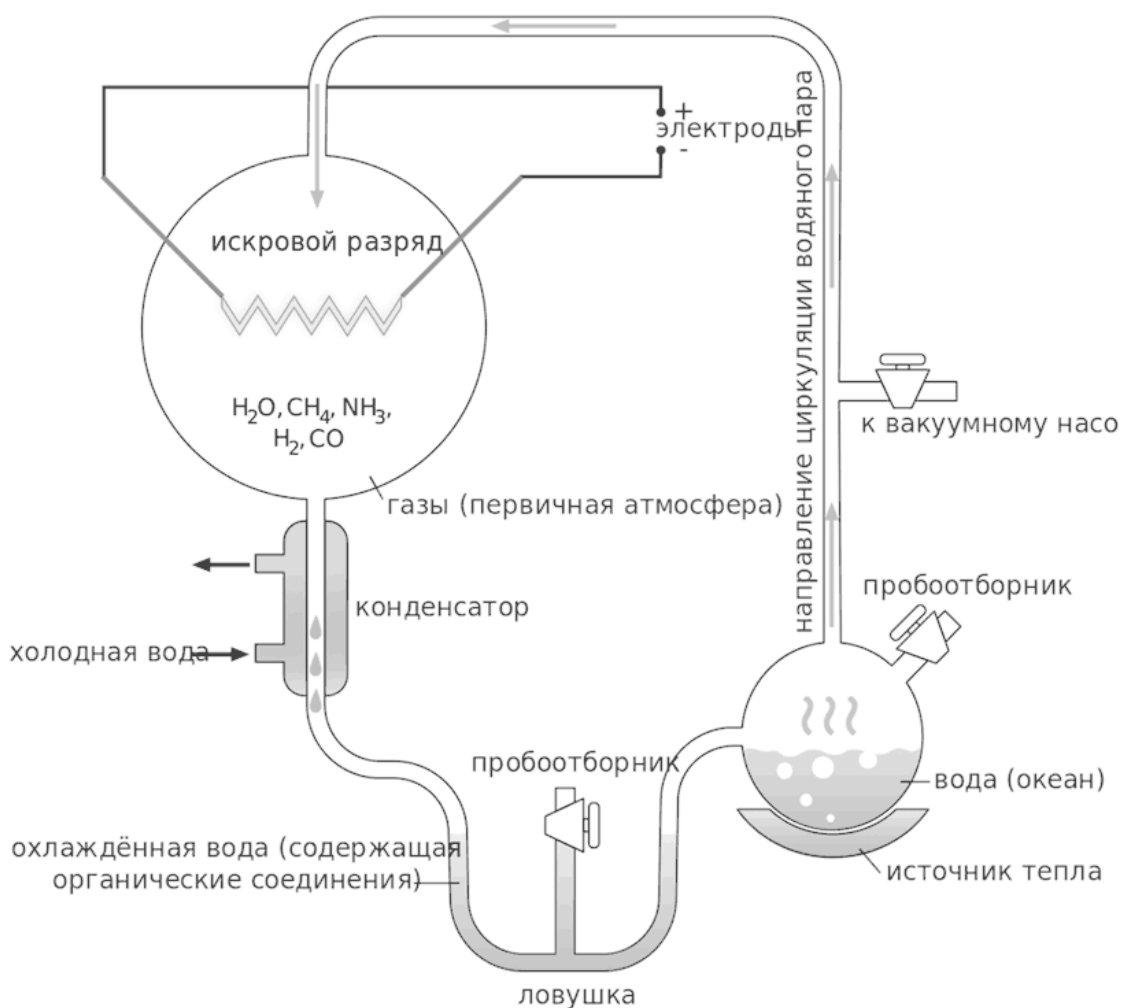


Схема эксперимента Миллера-Юри

Но эксперимент Миллера-Юри все же продолжили другие ученые, которые дошли до «конца первой серии» – получили все виды биологических молекул, в том числе сложные белки, аналогичные белкам живых клеток, и липиды, способные образовывать клеточные мембраны.

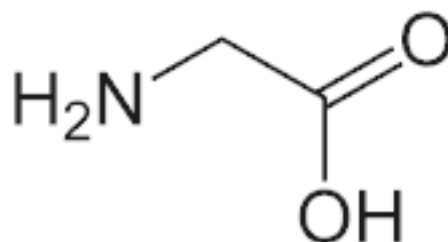
Способные образовывать... Наличие материалов, необходимых для строительства дома, еще не означает, что дом будет построен, не так ли?

Первая часть гипотезы Опарина была подтверждена экспериментальным путем, что свидетельствовало о ее состоятельности и давало право называться уже не гипотезой, а теорией. Что же касается второй части – перехода от сложных органических соединений к живым организмам – то с ней вышла загвоздка. Несмотря на многократные попытки ученых, создать живую клетку из коацервата пока еще никому не удалось. А уж люди старались на совесть, ведь превращение коацервата в клетку в лабораторных условиях стало бы самым эпохальным научным экспериментом всех времен. Старались по-всякому... Но ничего не вышло. Правда, в 2011 году повеяло чем-то доказательным, когда ученые из Токийского университета смоделировали подобие протоклеток, способных производству копий собственной ДНК и, следовательно, к самовоспроизведению. Но (как тут не вспомнить классическое: «Все что говорится до слова «но» – не имеет значения») этот эксперимент был поставлен с «посторонней» ДНК, которую ввели в протоклетки на начальной стадии эксперимента. Вот если бы ДНК протоклетки возникла бы сама по себе, то здесь были бы к месту и фанфары, и литавры, и бурные продолжительные аплодисменты, переходящие в овацию, и Нобелевская премия...

Увы, возможность спонтанного возникновения жизни на сегодняшний день не доказана и в обозримом будущем вряд ли что-то изменится. Превращение коацервата в живую клетку современные ученые считают заведомо неразрешимой задачей. Нельзя сказать, что ученые «опустили руки», просто все понимают, что возможности современной науки этого не позволяют. Да и сама теория Опарина-Холдейна в наше время теряет сторонников. Она признается «за неимением лучшего», но подвергается критике с различных позиций.

Современные геологи все больше и больше склоняются к мнению относительно того, что древняя атмосфера нашей планеты состояла только из углекислого газа, водяных паров, азота и небольшого количества водорода. Если в аппарат Миллера-Юри поместить такую смесь, то никакие аминокислоты, кроме простейшей аминокислоты, известной также под названием глицин,¹⁷ там не образуются. Более сложные аминокислоты могут образовываться в ходе эксперимента лишь в присутствии метана, наличие которого в древней атмосфере планеты в наше время вызывает серьезные сомнения. Это первое.

Насколько точно современная наука способна судить о атмосфере давностью в несколько миллиардов лет? Надо сказать, что возможности для точных выводов есть и делаются эти выводы на основании совокупных исследований в ходе которых могут учитываться даже отпечатки дождевых капель на горных породах определенного возраста. Казалось бы – ну разве можно судить о составе и характере атмосферы по отпечаткам дождевых капель? Представьте – можно. Глубина впадин, которые оставляли дождевые капли, дает возможность рассчитать скорость их падения, которая, в свою очередь, позволяет определить плотность воздуха того



¹⁷ Вот формула этого вещества. очень простое по своему строению.

Для органического вещества оно и впрямь

периода. А на основании плотности воздуха можно судить о его составе. Это был всего лишь один из примеров того, как делаются выводы подобного рода.

Второе возражение связано с отсутствием озонового слоя в древней атмосфере нашей планеты. Коротковолновая ультрафиолетовая часть солнечного излучения, которая поглощается озоновым слоем, способствует разрыву химических связей в молекулах, дает молекулам энергию, необходимую для развития этих связей. Из-за воздействия «короткого ультрафиолета», образовавшиеся в атмосфере органические вещества должны были очень быстро разрушаться, еще до попадания в воду первобытного океана.

Это возражение можно оспорить, переведя процесс образования органических веществ в воду. Газы имеют свойство растворяться в воде, а молнии достигают водной поверхности, так что в верхнем слое океана вполне могли происходить те же химические реакции, что и в атмосфере. В то же время коротковолновая ультрафиолетовая часть солнечного излучения интенсивно поглощается водой. Как говорится – делайте выводы.

Третье возражение основано на непригодности первобытного океана в эпоху интенсивного извержения вулканов для возникновения жизни. Воды первобытного океана содержали великое множество химических веществ, среди которых непременно должны были присутствовать в больших количествах различные ингибиторы – вещества, замедляющие химические реакции и подавляющие активность ферментов. Но тут, как говорится, бабушка надвое сказала. С одной стороны, все, вроде бы и так, а с другой – великое множество химических веществ, в первую очередь, означает великое множество химических реакций и далеко не все из этих реакций могли «тормозиться» ингибиторами. Но если уж говорить начистоту, то третье возражение является самым слабым. Опарин разбил бы его в пух и прах.

А вот четвертый «камень» в огороде Опарина и Холдейна является самым увесистым. Критики не верят в то, что молекулы первых ДНК могли возникнуть спонтанно, без родительской матрицы. Надо признать, что их сомнения имеют под собой почву. Вероятность спонтанного появления огромной молекулы нуклеиновой кислоты, причем не просто огромной, но еще и содержащей упорядоченную кодированную информацию, ничтожно мала. Эксперименты по «спонтанному»¹⁸ созданию ДНК успехом не увенчались. Вдобавок нужно добиться спонтанного возникновения сложной системы взаимосвязи ДНК с белками, а каким образом это могло произойти, неясно.

В качестве альтернативной теории нередко приводят гипотезу панспермии¹⁹, выдвинутую немецким ученым Германом Эбергардом Рихтером в далеком 1867 году, задолго до появления теории Опарина. Согласно этой гипотезе жизнь на Земле появилась в результате занесения из космического пространства «зародышей жизни» – спор микроорганизмов. Переносчиком «зародышей жизни» Рихтер считал метеориты. В начале XIX века, после того, как русским физиком Петром Лебедевым было открыто давление светового излучения,²⁰ возможным переносчиком спор стали считать свет. Давайте не станем углубляться в то, сколь интенсивным должно быть световое излучение для того, чтобы оно могло бы переносить споры, и в то, что метеориты при приближении к нашей планете сильно нагреваются вследствие трения об атмосферу. Это не так уж и важно, в сравнении с главным недостатком гипотезы панспермии – она никак не объясняет возникновение жизни вообще, а всего лишь предлагает конкретный способ появления жизни на нашей планете. Это не выход, ведь нам нужен исчерпывающий ответ на вопрос: «как появилась жизнь?».

¹⁸ Слово «спонтанному» взято в кавычки потому что спонтанность подобных экспериментов довольно условна. Эксперименты ставятся осмысленно и целенаправленно.

¹⁹ В переводе с древнегреческого «панспермия» означает «смесь всяческих семян».

²⁰ Световое излучение, как и любое электромагнитное излучение, оказывает на тела определенное давление. Существуют формулы для вычисления светового давления. Одним из следствий давления солнечного света, является то, что кометы, пролетающие вблизи Солнца, имеют «хвосты».

В 1968 году американский микробиолог Карл Везе высказал предположение о том, что у истоков жизни на нашей планете могли стоять молекулы РНК, которые хранили генетическую информацию и были способны к самостоятельному воспроизведению. Позднее эта идея была развита другим американским ученым – химиком Лесли Орджелом, который сделал из нее научную гипотезу, доработанную в 1986 году американским же биохимиком Уолтером Гилбертом. Гилберт же и предложил название «гипотеза мира РНК».

Вам нужно объяснить, как появилась первая ДНК-матрица, способная тиражировать себя и несущая информацию о сложных белках, которые необходимы живой клетке? Необходимо, в том числе, и для копирования молекул ДНК, происходящего с при участии некоторых белков, например – белкового фермента ДНК-полимеразы.

Вам нужно объяснить, как образовалась взаимосвязь между ДНК и белками?

Вы смотрите на замкнутый круг «ДНК – Белки» и понимаете, что вам ничего не понятно?

Посмотрите на проблему возникновения жизни с другой стороны.

Молекулы РНК не только хранят наследственную информацию, но и обладают ферментативной способностью, они могут ускорять химические реакции в живых организмах (РНК-ферменты называются рибозимами). А еще молекулы РНК обладают способностью к самокопированию. Такой набор способностей дает РНК возможность автономного существования – на РНК-матрице РНК-ферменты делали копии...

Если у вас возник вопрос – а при чем тут ферменты? – то имейте в виду следующее. Процесс копирования молекулы или части молекулы ДНК или РНК происходит следующим образом – молекуле ползет фермент, считывающий информацию и делающий на ее основании копию. Сама по себе, по мановению волшебной палочки, молекула не удвоится, кто-то должен этим заняться. Если принять за отправную точку создание ДНК, то сразу же возникает вопрос – а кто считал информацию с первой молекулы ДНК, для того, чтобы синтезировать первую молекулу белка и первую молекулу РНК? Две молекулы ДНК помочь друг другу с копированием не могут, в отличие от двух молекул РНК.

Справедливости ради нужно заметить, что вероятность спонтанного возникновения РНК, обладающей ферментативными свойствами, весьма низка и этот довод является основным аргументом критиков гипотезы РНК-мира. И абиогенный синтез РНК из более простых соединений пока не удалось воспроизвести экспериментально в полной мере. Но многим современным ученым гипотеза РНК-мира нравится гораздо больше, чем теория-гипотеза Опарина-Холдейна. Даже те, кто критикует гипотезу РНК-мира, не столько отказывают ей в состоятельности, сколько сомневаются в первичности РНК-мира, предполагая, что этот мир стал следующим этапом после этапа спонтанного синтеза разных органических веществ, о котором говорили Опарин с Холдейном.

Напрашивается вопрос – а как в этом прекрасном РНК-мире появились белки, липиды и углеводы? Зачем они понадобились молекулам РНК, которые прекрасно обходились без «чужаков»?

Если чужак окажется полезным, то он сразу же станет своим. В результате каких-то сбоев в считывании-копировании наследственной информации могли возникать аномальные соединения – например белок, обладающий ферментативной активностью. Мутации превратили мир одной клетки-праматери в то великолепие, которое мы имеем сейчас.

Мутацией, если кто не в курсе, называется стойкое изменение генетического материала, приводящее к изменению наследственной информации и потому передающееся потомству. Термин этот образован от латинского слова «мутацио» – изменение. В свое время мы подробно поговорим о мутациях, о эволюции, о естественном отборе и об отличиях синтетической теории эволюции от классического дарвинизма. А сейчас нам надо закончить с РНК-миром.

Как, по-вашему, можно ли считать существование вирусов доказательством гипотезы РНК-мира? Мол, сначала появились вирусы, а уже затем – клетки.

Разумеется – нет, ведь вирусы не способны размножаться сами по себе, вне живых клеток. Гипотеза первичности вирусов не выдерживает критики и сразу же сдувается. Единственное, о чем можно говорить, так это о примерно одновременном появлении вирусов и живых клеток.

Согласно гипотезе побега или гипотезе бродяжничества, вирусами стали молекулы (часть молекул) ДНК или РНК, покинувшие клетку. Однако эта гипотеза не может объяснить, как эти «сбежавшие» нуклеиновые кислоты обзавелись капсидом.

Наиболее правдоподобной, но при этом довольно слабой, выглядит гипотеза регрессивного происхождения или гипотеза вырождения вирусов («регресс» означает «вырождение»). Согласно этой гипотезе, вирусы произошли от обычных клеток, которые стали паразитировать внутри других клеток. Со временем клетки-паразиты утратили клеточное строение и упростились до нуклеиновой кислоты в оболочке. А зачем паразитам нужны органеллы и обмен веществ и энергии, если они живут в клетках-хозяевах и получают все, что нужно для размножения, от них? Эволюция при помощи естественного отбора закрепляет полезные признаки и убирает все ненужное вместе с вредным, поэтому паразитизм на любом уровне живой организации приводит к упрощению строения. В этом вы можете убедиться самостоятельно, сравнив строение триклад со строением бычьего (свиного) цепня или же строение кого-то из представителей отряда *Desmodorida* со строением аскариды. Гугл вам в помощь!

На чаше весов в наше время гипотеза РНК-мира перевешивает теорию Опарина-Холдейна. Ученые больше склонны верить в то, что им удастся создать лабораторную модель РНК-мира, нежели в то, что они смогут превратить коацерват в живую клетку.

Пока что все очень туманно и неоднозначно. С уверенностью можно сказать только одно: «будущее покажет». Будущее всегда что-нибудь показывает иногда решение сложной задачи, а иногда и кукиш с маслом.

Если тема спонтанного возникновения жизни взяла вас в плен и не хочет отпускать, то вы можете самостоятельно проработать гипотезу мира полиароматических углеводов. Мы ее здесь разбирать не будем, и не потому что не хочется, а потому что это очень опасно. Перед началом разбора придется объяснять-вспоминать, что такое бензольные кольца, что такое водородные и ковалентные связи, что такое азотистые основания и т. д. В результате мы забредем в джунгли большой химии, откуда обратно к биологии можем уже не вернуться. Ну и вообще, самостоятельный научный поиск – это так увлекательно!

Ах, мы так увлеклись, что забыли о прионах. Если вы думаете, что в отношении происхождения прионов у ученых нет ни сомнений, ни разногласий, то сильно ошибаетесь. Существуют три гипотезы, объясняющие происхождение прионов. Первая гипотеза предполагает, что первый прион появился в результате мутации, а дальше уже пошло-поехало. Согласно второй гипотезе неправильное сворачивание белковой «ленты» в клубок было вызвано какими-то внешними факторами, а не мутацией. Третья гипотеза считает постоянный синтез некоторого количества прионных белков нормальным для любого живого организма. Эти прионы не успевают нанести вред, поскольку ферменты-протеазы, занятые расщеплением белков, уничтожают их сразу же после «рождения». Но если вследствие мутации или же по какой-то иной причине снижается активность протеаз или уменьшается их содержание в клетках, то прионы вырываются на свободу и начинают бесчинствовать. Выберите ту версию, которая вам больше нравится.

Глава четвертая. Жизнь и размножение клеток

Антон Павлович Чехов считал, что призвание каждого человека заключается в духовной деятельности – в постоянном поиске правды и смысла жизни.

С философской точки зрения смысл жизни – очень глубокая тема, которой в той или иной степени занимались все великие философы. И каждый давал свое понимание смысла жизни. Древнегреческий философ Эпикур провозгласил целью жизни получение удовольствия, а австрийский философ Людвиг Витгенштейн вообще отрицал наличие у жизни некоего глобального смысла.

Но давайте оставим философию философам и порадуемся за биологов, у которых с определением смысла жизни дело обстоит предельно просто. Биологический смысл жизни любого организма состоит в размножении. Дожить до половозрелого возраста и дать потомство (как можно больше потомства) – вот к чему стремится все живое.

Клетки живых организмов постоянно делятся, одноклеточные организмы постоянно размножаются, а в многоклеточных организмах вместо отмирающих старых клеток появляются новые. За жизнь человека в его организме осуществляется примерно 10^{14} делений клеток. Сто тысяч миллиардов делений! Впечатляющая цифра, не так ли?

Можете ли вы придумать определение для жизни клетки? Вот что это такое?

Если вы начали выстраивать в уме какую-то громоздкую конструкцию, то сделали это напрасно. Определение предельно простое. Жизнь клетки – это период от одного деления до другого, миг между прошлым и будущим делениями.

Все, что делается в клетке, является подготовкой к делению. Новорожденная клетка растет, развивается, вырабатывает различные вещества (в том числе ДНК и белки), накапливает запасы, которые будут переработаны в энергию – деление, если кто не в курсе, весьма затратный процесс. Период индивидуальной жизни клетки состоящий из подготовки к делению и самого деления, называют клеточным циклом, а период между двумя делениями называется интерфазой.

КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ = ИНТЕРФАЗА + ПЕРИОД ДЕЛЕНИЯ

Безъядерные клетки делятся относительно просто. Мы поговорим об этом после того, как познакомимся с делением клеток, имеющих ядро. Давайте-ка повторим, что безъядерные клетки называются прокариотами, а имеющие ядро – эукариотами. Грекам проще запоминать подобные названия. Они не спутают «доядерные» клетки с теми, у которых «с ядром хорошо» (именно так переводятся слова «прокариоты» и «эукариоты»). Вы же можете использовать вот такой мнемотехнический прием. Э-У-КАРИОТЫ – Это-У них-КАРИОТЫ (то есть – ядра). ПРО-КАРИОТЫ – ПРОБлема у них с КАРИОТАМИ.

Деление эукариот будет посложнее Марлезонского балета. К тому же мы познакомимся с двумя вариантами деления – «равноценным», при котором обе дочерние клетки получают от материнской по полному набору хромосом, и «половинчатым», при котором у дочерних клеток оказывается только половина материнских хромосом. Но пугаться не нужно! Мы разберемся со всеми сложностями играючи, без напрягов и скуки.

Как вы думаете, что обозначают эти буквы и цифры – «G1-S-G2»? Тайный код или секретный пароль биологов? Марка супермикроскопа? Имя гена?

Вариантов может быть много, но на самом деле это формула жизни клетки или формула интерфазы, которая состоит из трех периодов.

Первый период – это период начального роста, который также называют G1-периодом (название произошло от английского слова «гар» – промежуток). В этом периоде в клетке

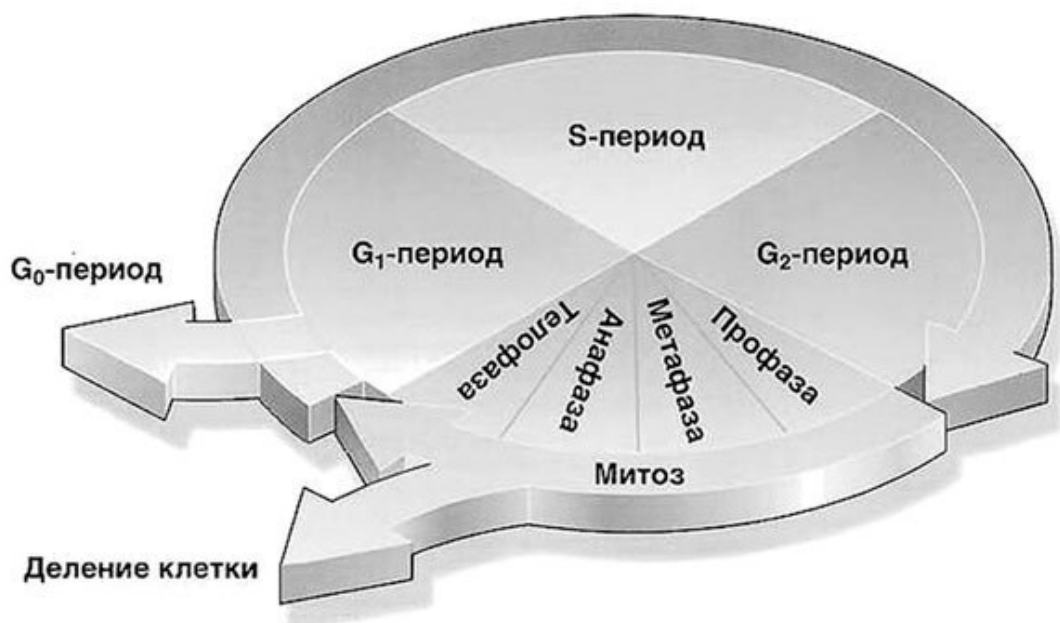
вырабатываются матричные РНК, которые служат матрицами для синтеза белков в рибосомах, а также вырабатываются белки и другие нужные вещества, включая и АТФ.

Второй период – это период синтеза или S-период (название произошло от английского слова «synthesis» – синтез). Наверное, вас удивило такое название, потому что в первом периоде синтеза тоже было достаточно, ничем другим, можно сказать, клетка не занималась. Но дело в том, что во втором периоде начинается Синтез с большой буквы – удвоение молекул ДНК, хранящихся в клеточном ядре. Обратите внимание на то, что хромосомы удваиваются вне зависимости от того, какой набор хромосом – полный или половинчатый – получают клетки, образующиеся в результате деления.

По длинным молекулам ДНК ползут молекулы фермента ДНК-полимеразы, считывают информацию и по ней собирают копию... Клетка при этом продолжает функционировать в обычном режиме, одновременно с синтезом молекул ДНК идет синтез других веществ, но он не имеет такого значения как копирование наследственного материала.

К слову – о генах. Выше уже было сказано о том, что геном называется участок молекулы ДНК, определяющий один отдельный признак. Можно дать и другое определение, более точное – геном называется участок молекулы ДНК, кодирующий синтез одного отдельного белка. Все признаки белковых организмов, к которым имеем честь принадлежать и мы с вами, определяются белками. Один белок окрашивает радужную оболочку в карий цвет, а другой – в голубой. И так далее...

Во втором периоде также происходит удвоение центриолей, играющих очень важную роль в процессе деления клетки. После того, как в клетке образуется двойной комплект ДНК и центриолей, начинается третий период интерфазы, который называется постсинтетическим (послесинтетическим) периодом или G₂-периодом. В этом периоде продолжается подготовка клетки к делению – вырабатываются белки, АТФ и прочие вещества.



Периоды клеточного цикла ($2n$ – диплоидный набор хромосом, $2c$, $4c$ – количество хроматид в наборе)

Давайте остановимся подробнее на периоде Синтеза с большой буквы, ведь это самый важный период интерфазы.

Посмотрите на рисунок и обратите особое внимание на кружочки с буквами и цифрами. Что такое $2n$, вам уже известно – так обозначается полный или, как говорят биологи, диплоидный набор хромосом.

Вы не заметили на рисунке никакой ошибки?

Во всех периодах интерфазы, включая и постсинтетический период, клетка имеет диплоидный набор хромосом. Но ведь это же неверно! В последнем периоде интерфазы хромосом должно быть вдвое больше обычного, потому что каждая хромосома – это молекула ДНК. Если во втором периоде произошло удвоение молекул ДНК, то надо писать не $2n$, а $4n$!

Четверка в конце второго периода появляется, но не там, где нужно. И что вообще обозначает буква c ? Почему сначала у нас, то есть – в клетке было $2c$, а после второго периода стало $4c$?

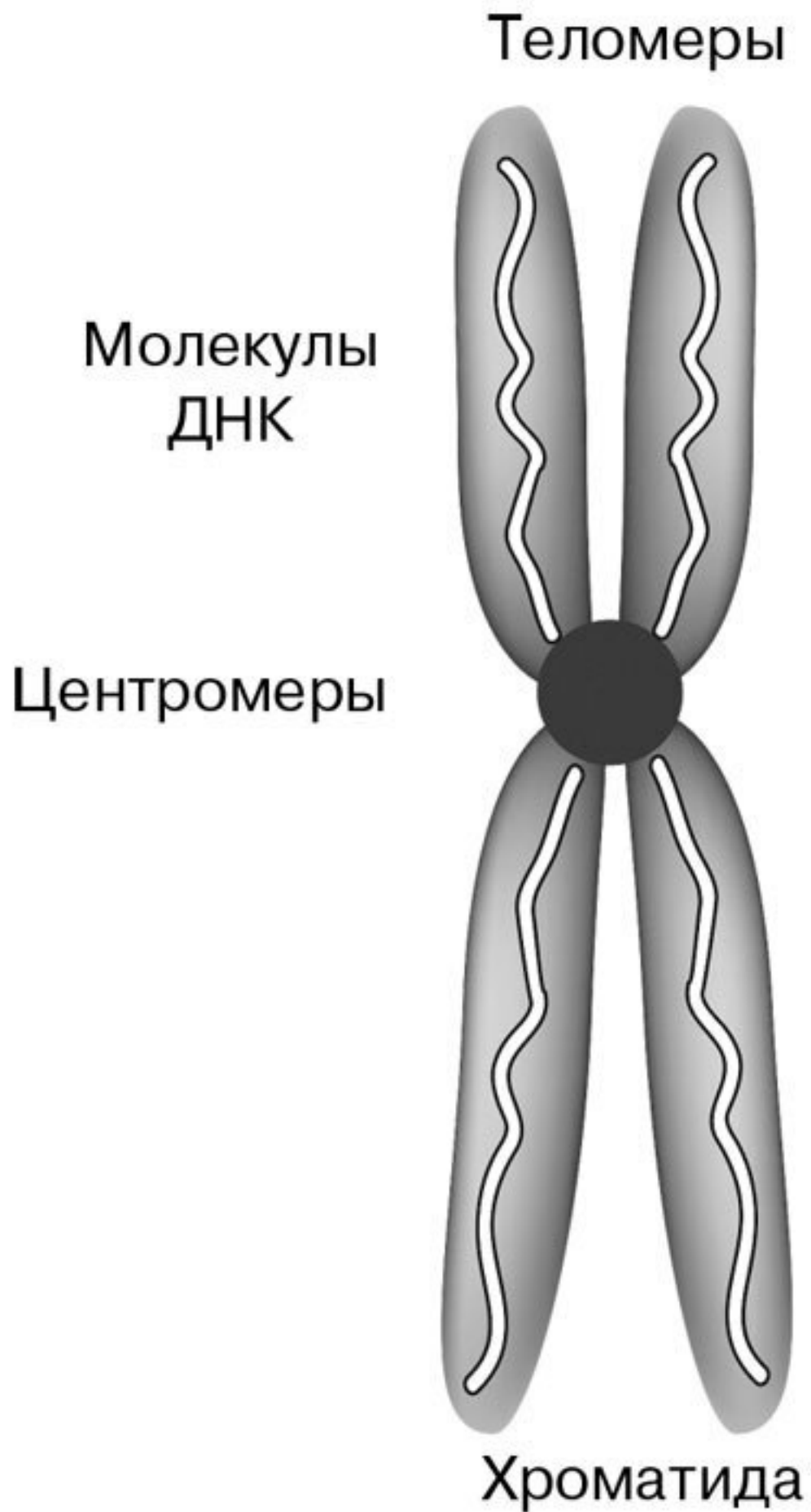
Если честно, то никакой ошибки на рисунке нет. Буквой c обозначается половинный или гаплоидный набор хроматид (число c соответствует числу n), а $2c$ – это диплоидный набор хроматид.

Не путайте хроматиды и хромосомы! Хроматидой называют структурный элемент хромосомы, сформировавшийся в периоде синтеза интерфазы в результате ее удвоения. Грубо говоря – состояла хромосома из одной хроматиды, одной молекулы ДНК, а в период синтеза стала «двойной». Молекул ДНК – две, то есть хроматид – две, но хромосома при этом одна. Потому и пишем – $2n4c$.

Напрашивается закономерный вопрос – зачем так усложнять? Ясно же, что в конце концов, при делении клеток, двойные хромосомы станут одинарными и разойдутся по дочерним клеткам. Писали бы сразу – $4n$. Зачем вообще выдумывать хроматиды?

Затем, что наука любит точность. Пока хромосома, пускай даже и удвоившаяся, не распалась на две половинки, она считается одной хромосомой. Но с двумя хроматидами. И если студент скажет на экзамене, что в период синтеза удваивается количество хромосом, то он на 99 % получит «неуд», потому что удваивается количество хроматид.

В период синтеза молекулы ДНК меняют имя. Раньше они назывались хромососмами (1 хромосома – 1 молекула ДНК), а теперь называются хроматидами. Две хроматиды одной хромосомы связаны между собой в участке, который называется центромерой. Связаны до поры до времени, до тех пор, пока не начнут расходиться по дочерним клеткам.



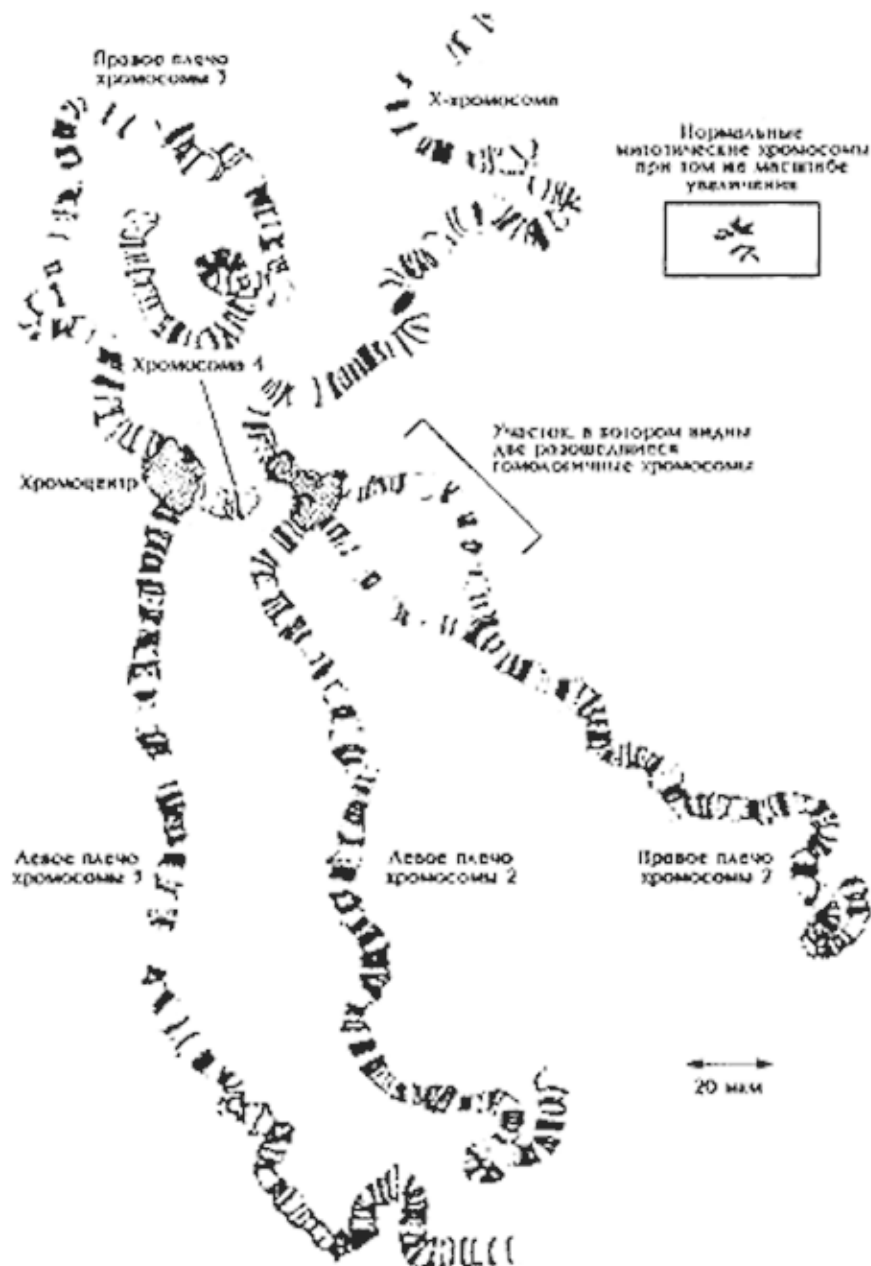
Компоненты хромосомы в конце профазы митоза: 1. *хроматида*; 2. центромера

Идентичные хроматиды, содержащиеся в одной хромосоме, называют сестринскими хроматидами.

Характерным признаком клетки в период интерфазы является пребывание хромосом в раскрученном состоянии, которое по-научному называется деспирализацией. Нити хромосом равномерно распределены по всему ядру в виде рыхлой массы. К концу интерфазы хромосомы, уже ставшие «двойными», продолжают иметь вид вытянутых нитей. Но скоро все изменится!

Следите за новостями!

Деление близко!



Хромосомы в интерфазе

Что нужно для правильного деления клетки?

Нужно разделить поровну хромосомы, ставшие двуххроматидными в период синтеза, и цитоплазму со всеми органеллами. Но если вдруг одна дочерняя клетка получит на десять или даже на сто митохондрий больше, чем другая, то никакой беды обеим клеткам от этого не будет, как и от «нечестного» деления рибосом. Но вот если хромосомы разделятся между клетками не поровну, то будет беда. Большая беда!

Самым распространенным и известным нарушением числа хромосом у человека является синдром Дауна, при котором к 21-ой паре хромосом добавляется еще одна хромосома. Этот синдром получил название в честь впервые описавшего его в 1866 году английского врача Джона Дауна, но причина синдрома, связанная с врожденным изменением количества хромосом, была выявлена только в 1959 году.

На первый взгляд может показаться, что много – это не мало. Недостаток одной хромосомы может приводить к дефициту закодированных в ней белков, которые будут синтезироваться с одной матрицы ДНК вместо двух. Недостаток чего-то в организме всегда создает проблемы. Но лишняя молекула ДНК вроде бы не должна создавать проблем...

Вроде бы не должна, но создает, причем довольно крупные. Для синдрома Дауна характерно более 30 специфических признаков, проявляющихся с различной частотой. Начиная с умственной отсталости и заканчивая врожденным лейкозом – злокачественным заболеванием кроветворной системы.

Почему одна лишняя матрица для кодирования белков, вызывает столь многочисленные и разнообразные отклонения от нормы? Дело в том, что наш организм, как и вообще любой живой организм, представляет собой тщательно сбалансированную систему. Баланс – основа нормальной жизнедеятельности и любое его нарушение чревато негативными последствиями.

Каждая хромосома «обслуживается» комплексом белков и ферментов, которые обеспечивают считывание информации с молекулы ДНК для синтеза РНК, а также обеспечивают синтез белков на базе РНК-матриц.

Давайте представим дом, в котором живут сорок шесть семей (по числу хромосом). У каждой семьи есть кухарка, которая готовит еду и горничная, которая следит за порядком. А еще в доме живет дворник, который подметает двор и следит за тем, чтобы все коммуникации в доме функционировали нормально.

Дом – это клеточное ядро.

В один несчастливый день алчный домовладелец вселяет в квартиру к дворнику еще одну семью. Невелика шишка – дворник, он и в прихожей спать может или, скажем, в подвале, а лишние жильцы – это дополнительная прибыль. Кухарку и горничную новым жильцам домовладелец не нанимает, считая, что имеющаяся в доме прислуга может обслуживать дополнительную семью по очереди. В нагрузку к своим основным обязанностям, так сказать.

Знакомая ситуация, верно? У вас на работе тоже было нечто похожее. Кого-то из коллег уволили, а их обязанности распределили по оставшимся. Разумеется – без увеличения заработной платы, ведь увольняли для того, чтобы сэкономить.

Что получится в результате? Ежедневно какая-то из семей-старожилов будет страдать, потому что их прислуге придется «работать на два фронта». Обслуживая две семьи вместо одной, и кухарка, и горничная будут выполнять свои обязанности кое-как, наспех. Завтрак запоздает, на обед вместо трех блюд будет подано два, а про ужин кухарка впопыхах может вообще забыть. Горничная вместо нормальной уборки ограничится сдуванием пыли с самых заметных мест и протиркой полов в центральных частях комнат. И так по кругу, каждый день в каком-то из семейств старожилов...

О том, каково придется новым жильцам, лучше вообще не думать. Их будут обслуживать кое-как, поскольку для прислуги они являются обузой. Да и дворник будет постоянно высказывать им свое недовольство, а в знак протеста станет халатно относиться к своим обязанностям. В результате трубы в доме начнут протекать, в электропроводке часто будут случаться замы-

кания, чистый двор превратится в грязный... Бизнес алчного домовладельца может серьезно пострадать из-за подобной экономии.

Точно так же страдает жизнедеятельность всего организма из-за появления одной дополнительной хромосомы. Лишняя хромосома есть, а сил средств на ее «обслуживание» нет и проигнорировать ее организм не может, потому что он на такое не запрограммирован. Всю имеющуюся информацию нужно считывать – и точка!

В результате возникает дисбаланс, начинаются сбои в считывании информации с молекул ДНК. Одни белки совсем не синтезируются, а другие синтезируются с ошибками и весь этот беспорядок приводит к тому, что организм развивается и функционирует не так, как положено.

Но давайте вернемся к делению, которое вот-вот должно начаться.

Сначала мы разберем способ деления эукариотических клеток, при котором каждая из двух образующихся клеток получает диплоидный набор хромосом. Такое деление называется митозом.

Деление всегда значительно короче интерфазы. Митоз составляет около 5 % интерфазы. Можно сказать, что клетки долго запрягают, но быстро ездят, то есть – быстро делятся. И это правильно – чего тянуть с хорошим делом?

Если интерфаза делилась на периоды, поскольку сама была фазой, то каждый этап деления клетки представляет собой отдельную фазу. Обратите внимание на то, что речь идет о фазах деления эукариотической клетки, а не о фазах митоза. У следующего вида деления, которое называется мейозом, фазы будут точно такими же, причем и митоз, и мейоз будут заканчиваться на пятой фазе, а всего фаз шесть.

Голова пошла кругом? Не волнуйтесь, все будет хорошо. Опять же, вам экзаменов сдавать не нужно, вы просто хотите узнать, как делятся клетки.

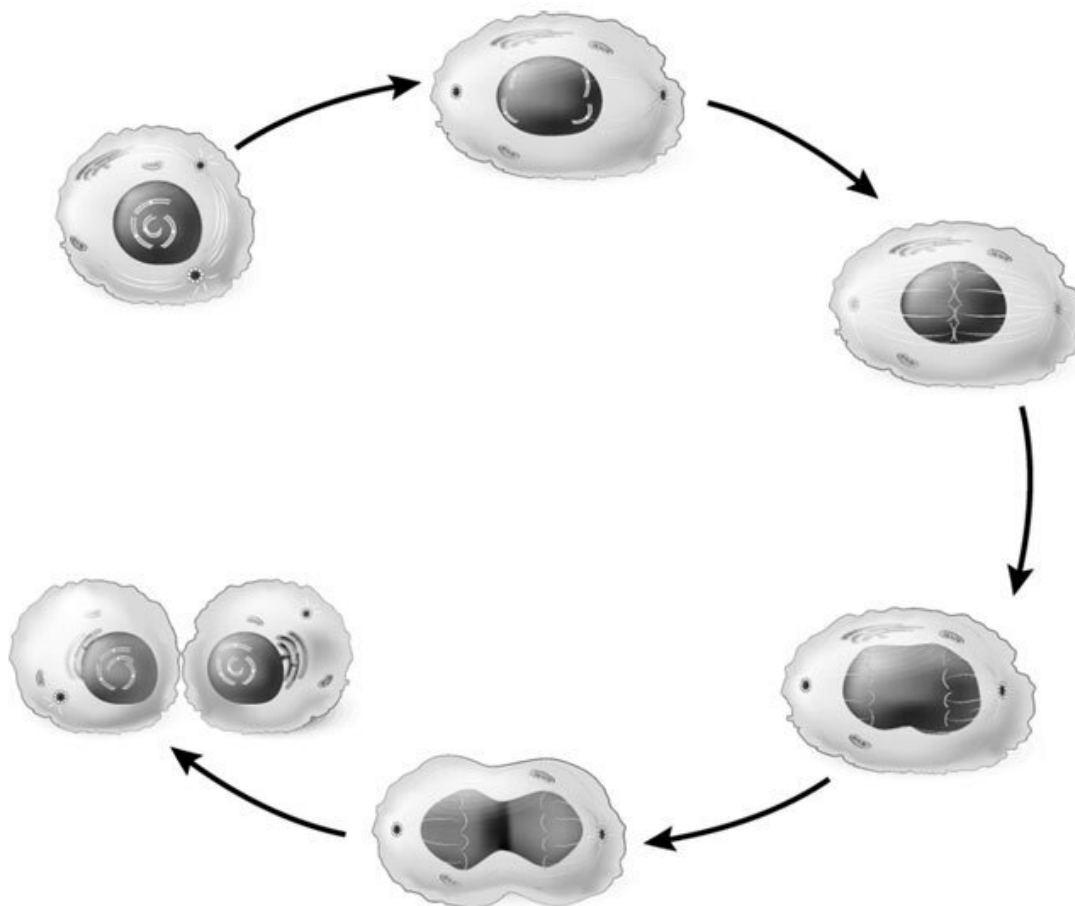
Запомните фразу: «профессор просит метлу, а не телегу цитрусов».

Это не скороговорка, а волшебная фраза, которая поможет вам запомнить названия фаз клеточного деления и порядок их следования.

Первая фаза называется профазой (ПРОФЕССОР) – предшествующей, то есть – начальной фазой. В профазу происходят следующие процессы:

- нити хроматид закручиваются в спираль, отчего «потолстевшие» хромосомы становятся видимыми в микроскоп;
- ядрышки растворяются;
- центриоли расходятся к полюсам клетки;
- из микротрубочек формируются нити, которые протягиваются от центриолей к ядру.

Совет – если вы хотите получше все представить и запомнить, то по мере чтения делайте рисунки, отражающие изменения, происходящие в делящейся клетке.



Митоз

Вторая фаза деления называется прометафазой (ПРОСИТ), что переводится как «предшествующая метафазе». В прометафазу полностью растворяется ядерная оболочка, хромосомы выходят на свободу и к их центромерам прикрепляются свободные концы нитей, тянущихся от центриолей. Вся эта конструкция «центриоли – нити – хромосомы» по виду напоминает веретено и потому называется «веретеном деления».

К каждой центромере прикрепляется по одной нити от разных центриолей. После удвоения молекул ДНК, хромосомы не распадаются сразу же для того, чтобы в прометафазе не возникло бы путаницы, чтобы каждая дочерняя клетка получила бы по одной хромосоме из пары, связанной центромерой. Если же такой парной группировки не будет, путаница неизбежно возникнет.

Третья фаза – это метафаза (МЕТЛУ), что переводится как «промежуточная фаза». В метафазу хромосомы выстраиваются на условном экваторе клетки и распадаются надвое. С этого момента количество хромосом в клетке можно считать удвоившимся. Хромосомы снова состоят из одной хроматиды и записывается все это богатство как $4n4c$.

Четвертая фаза – это анафаза (А НЕ), что переводится как «фаза разделения». Однохроматидные хромосомы начинают расходиться к полюсам клетки вследствие сокращения нитей веретена деления, нити подтягивают хромосомы к полюсам.

Пятая фаза называется телофазой (ТЕЛЕГУ), что переводится как «фаза удаления». В телофазу хромосомы достигают полюсов пока еще единой клетки и раскручиваются в нить, ядерные оболочки и ядрышки восстанавливаются, а нити веретена деления растворяются. Собственно митоз на этой фазе заканчивается, поскольку главное уже сделано – генетический

материал поделен пополам, сформировалось два ядра. Осталось только разделить клетку с двумя ядрами на две клетки.

Митоз делится на пять фаз и заканчивается на телофазе, являющейся его заключительной фазой! Следующая, шестая фаза есть заключительная фаза деления клетки, но не митоза.

Во время шестой фазы – цитокинеза (ЦИТРУСОВ), что переводится как «движение клеток», клеточная мембрана в средней части клетки (то есть, на условном экваторе) начинает втягиваться внутрь. Образующаяся при этом борозда деления углубляется до тех пор, пока не дойдет до узкого остатка веретена деления, расположенного между двумя ядрами и представляющего собой нечто вроде соединяющего их мостика. Этот «мостик» называется остаточным тельцем. После разрушения остаточного тельца образуются две полностью разделенные дочерние клетки.

Скажем еще раз про хромосомы и хроматиды, чтобы навсегда запомнить и не путаться.

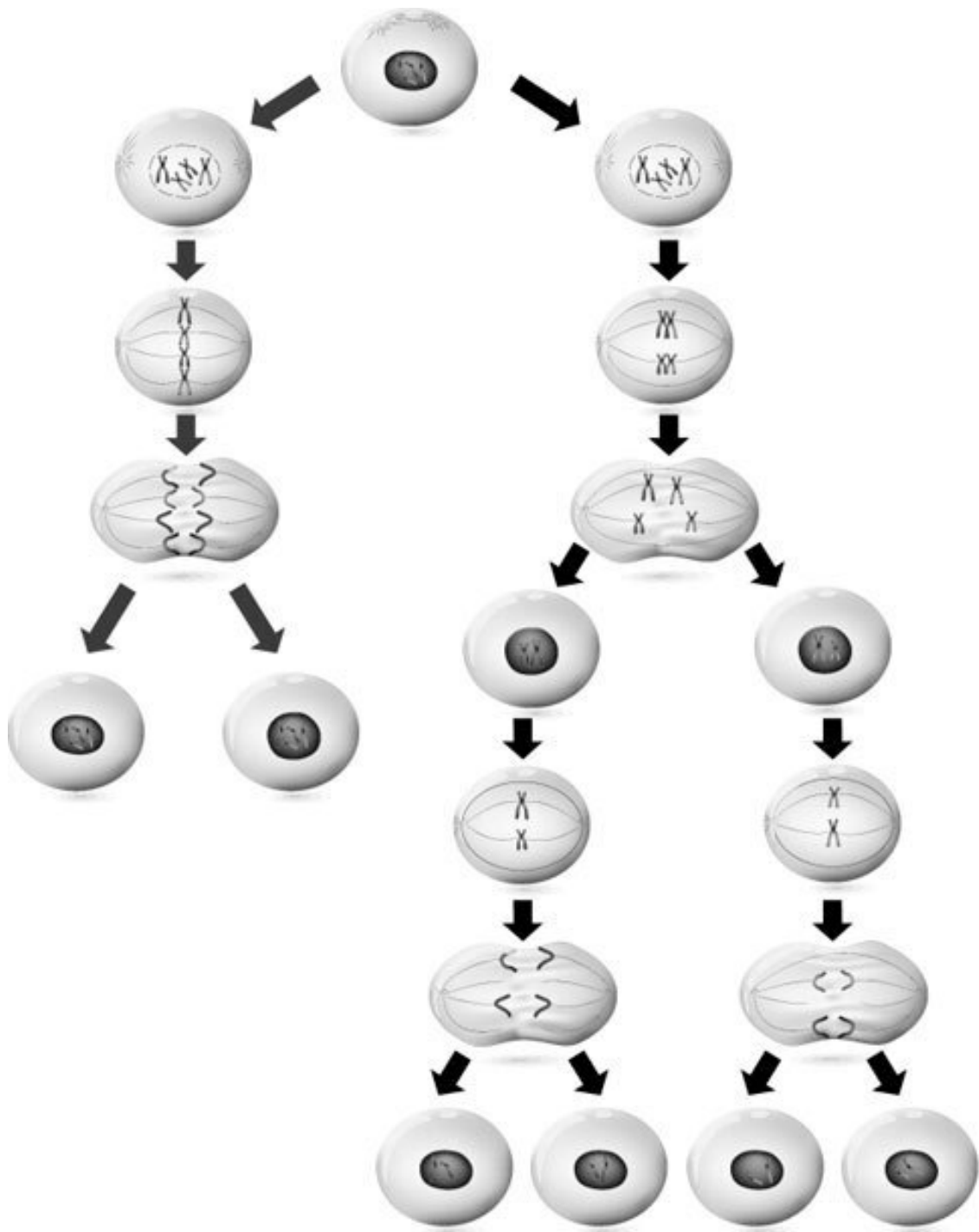
В результате митоза из одной диплоидной клетки, имеющей двуххроматидные хромосомы и удвоенное количество ДНК – $2n4c$, образуются две дочерние диплоидные клетки с однохроматидными хромосомами и одинарным количеством ДНК ($2n2c$).

ПРОФЕССОР ПРОСИТ МЕТЛУ, А НЕ ТЕЛЕГУ ЦИТРУСОВ

Профаза – Прометафаза – Метафаза – Анафаза – Телофаза – Цитокинез.

С митозом мы закончили. Переходим к мейозу.

Процесс деления клеток, в результате которого не происходит удвоения числа хромосом в материнской клетке (то есть дочерние клетки получают по половинному набору хромосом), называют мейозом. Название это происходит от греческого слова «мейозис», означающего «уменьшение». В процессе мейоза из одной диплоидной клетки ($2n$) образуются две гаплоидные с половинным количеством хромосом ($1n$). Путем мейоза образуются половые клетки, по-научному называемые гаметами.



Мейоз

Мейоз наблюдается только у эукариот, обладающих половым процессом, ведь при бесполом размножении половые клетки совершенно не нужны.

Мейоз проходит в два этапа. Особенность первого этапа мейотического деления клеток заключается в том, что несмотря на имеющее место удвоение числа хроматид, хроматидные пары в процессе деления не разделяются надвое, дочерние клетки получают от материнской двуххроматидные хромосомы, скрепленные центромерами.

Не очень-то понятна суть происходящего, верно?

Давайте вникнем в эту суть.

У человека 46 хромосом, разбитых на 23 пары.

Во время первого этапа мейоза (как и во время митоза) хромосомы «удваиваются». В каждой паре теперь две «двойных» хромосомы.

При митозе «двойные» хромосомы распадаются и в дочерние клетки уходит по одной копии каждой молекулы ДНК, полный набор уходит. Иначе дочерние клетки не смогут жить и долго готовиться к следующему делению.

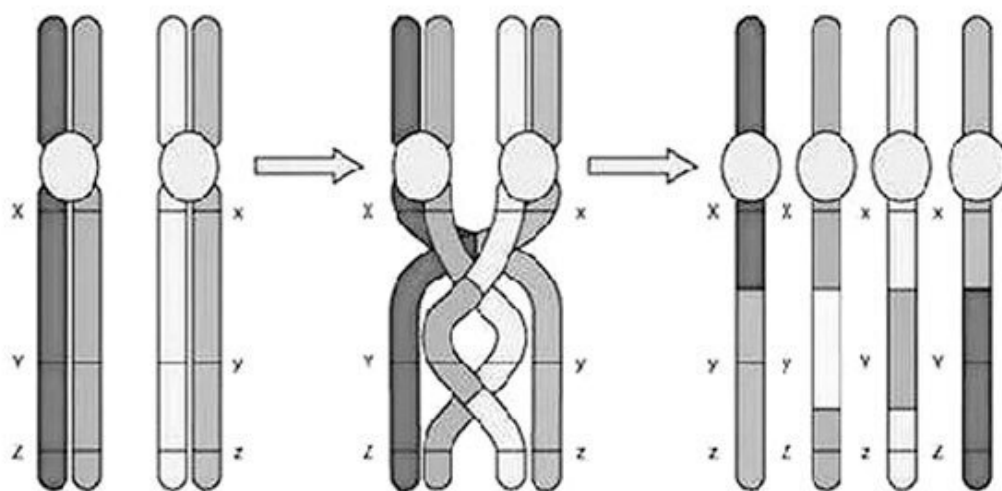
При мейозе хромосомные пары разбиваются. В дочерние клетки уходит по две одинаковые хромосомы из каждой пары.

Возьмем для примера первую пару хромосом и обозначим эти хромосомы как 1-1 и 1-2. При митозе каждая дочерняя клетка получит и 1-1-хромосому, и 1-2-хромосому, а после первого этапа мейоза в каждой из дочерних клеток окажутся две 1-1-хромосомы или две 1-2-хромосомы. Количество хромосом будет правильным – 46, а вот полноценных пар здесь нет, набор хромосом – одинарный, гаплоидный, но удвоенный. Образно говоря, вместо «двуполых» пар в «дочках» первого этапа мейоза находятся однополые пары.

Неверно считать хромосомы только лишь хранилищем наследственной информации. Хромосомы представляют собой самостоятельно функционирующие биологические структуры. Фактически это органеллы.

В профазе первого этапа мейоза парные хромосомы, каждая из которых уже состоит из двух хроматид, сближаются и на некоторое время объединяются друг с другом, образуя четыреххроматидный комплекс. Этот процесс называют конъюгацией. Во время конъюгации из-за синхронных разрывов в цепочках ДНК между гомологичными хромосомами может происходить кроссинговер²¹ – взаимный обмен участками, причем участками строго равноценными, полностью идентичными по набору генов. В результате хромосомы, унаследованные от материнского и отцовского организмов, получают гены, ранее принадлежавшие противоположному полу. Происходит «перекрест» в результате которого в хромосомах появляются новые комбинации наследственных признаков.

Кроссинговер – жизненно важное и весьма полезное качество. Кроссинговер увеличивает генетическое разнообразие, а генетическое разнообразие способствует более качественному приспособлению организмов и видов в целом к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды. Проще говоря, всегда есть вероятность того, что новое сочетание генов, возникшее в результате «перекрестного обмена» окажется более выгодным.



Кроссинговер

²¹ С английского «crossing over» переводится как «пересечение».

Чем лучше выражено генетическое разнообразие, тем лучше приспособляемость.

Чем лучше приспособляемость, тем выше выживаемость.

Да здравствует кроссинговер!

Природа заложила в кроссинговер ограничительный механизм, препятствующий чрезмерно бурному течению этого процесса. Существует такое явление, как интерференция – кроссинговер, происходящий в одном месте хромосомы, подавляет кроссинговер в близлежащих сегментах.

После открытия кроссинговера было принято считать, что при этом процессе рекомбинация осуществляется между генами, но сам ген кроссинговером не разделяется. Ген считался единицей кроссинговера. Хромосому представляли похожей на длинную нить с нанизанными на нее бусинами-генами. При кроссинговере эта нить рвалась только там, где на ней не было бусин. Бусины же оставались целыми.

Впоследствии оказалось, очень редко, примерно в 10 000 раз реже обычного кроссинговера, оставляющего гены целыми, происходит «внутригенный» кроссинговер. Правда, ни к чему плохому он не приводит, потому что даже при разрыве гена обмен участками бывает строго равноценным. Как бы ни протекал кроссинговер, где бы ни разрезались молекулы ДНК, на количестве генов в хромосоме этот процесс не сказывается. Разрезанный ген не «портится», он просто обновляется.

Вот грубый пример. Вася и Ваня носят одежду одинакового размера. Если им захочется обменяться костюмами, то они могут обменять как пиджаки вместе с брюками, так и только брюки или только пиджаки. Но каким бы ни оказался обмен, у каждого будет пиджак и будут брюки, полуодетым никому разгуливать не придется.

Кроссинговер также может наблюдаться и во время митотических делений, вернее он происходит не при делении как таковом, а в течение интерфазы, во время подготовки клетки к следующему делению. Митотический кроссинговер достался нам по наследству от одноклеточных предков, которые размножались бесполом делением. При бесполом размножении митотический кроссинговер увеличивает генетическое разнообразие в будущих поколениях точно так же, как делает это мейотический кроссинговер при половом размножении.

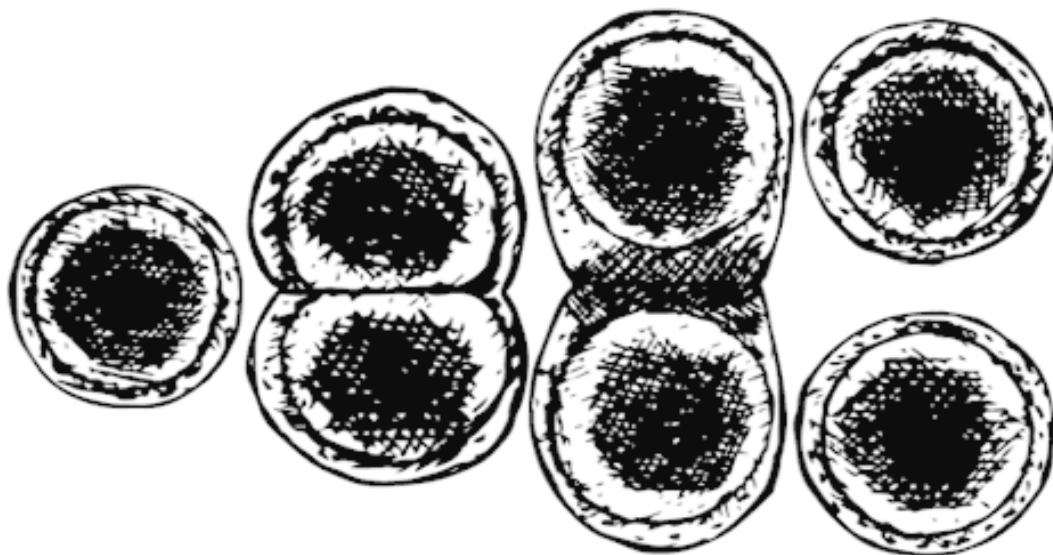
С кроссинговером мы закончили, возвращаемся к мейозу.

По окончании первого этапа мейоза практически сразу же начинается второе деление, перед которым удвоения числа хромосом не происходит (потому-то его можно начинать без подготовки). В результате второго деления дочерние клетки получают по одному гаплоидному набору хромосом, а в результате всего мейоза в целом из одной материнской клетки с полным набором хромосом образуются четыре дочерних клетки с половинным набором хромосом. Биологическая сущность мейоза состоит в уменьшении числа хромосом вдвое для того, чтобы зигота наследовала признаки как от отцовского, так и от материнского организмов, и могла бы нормально функционировать. Если бы половые клетки обладали бы полным, диплоидным набором хромосом, то у клетки, образовавшейся в результате их слияния в процессе оплодотворения оказалось двойное количество хромосом, что сделало бы клетку нежизнеспособной (мы недавно говорили о том, сколько проблем создает одна-единственная лишняя хромосома).

Особенности мейоза не ограничиваются отсутствием удвоения числа хромосом в короткой интерфазе второго этапа. Кроме этого для мейоза характерны очень длинная профазы первого этапа (например, у человеческих сперматозоидов она растягивается на несколько суток, а у человеческих яйцеклеток – на много лет) и отсутствие кроссинговера в профазе второго этапа.

Клетки эукариот могут делиться и простым способом, при котором происходит разделение ядра надвое без образования веретен деления. Такое «прямое» деление называется амитозом.

тозом («не митозом»). Поскольку веретена деления не образуются, наследственный материал распределяется между ядрами случайным образом. Цитокинеза (разделения клетки) при амитозе не происходит, делится только ядро. В результате образуются двуядерные, а при повторных амитозах – многоядерные клетки. Амитоз – редкое явление, характерное для стареющих клеток с пониженной активностью.



Амитоз

Деление прокариотических клеток, не имеющих ядра, обеспечивает септальное кольцо – кольцевидная белковая органелла, расположенная посередине клетки. Эта органелла способна сокращаться, ее можно сравнить с мышцей. При ее сокращении образуется перетяжка, делящая клетку на две дочерние клетки. После того, как перетяжка полностью сформирована, участок, соединяющий мембраны дочерних клеток, разрушается особым ферментом и клетки полностью отделяются друг от друга.

Как при этом делится наследственный материал?

Одна-единственная хромосома (молекула ДНК), обычно имеющая форму кольца, копируется до начала процесса деления и каждая из дочерних клеток получает по хромосоме. При дележке двух хромосом можно спокойно обойтись без веретена деления. Копирование ДНК происходит в месте формирования перетяжки. Молекула ДНК разделяется на две нуклеотидные цепочки, каждая из которых прикрепляется к внутренней поверхности клеточной мембраны. Молекулы фермента ДНК-полимеразы достраивают на каждой из цепочек недостающую парную цепочку. Таким образом, образуются две молекулы ДНК, каждая из которых содержит одну «старую» и одну вновь синтезированную нуклеотидную цепочку.

«Стоп! – скажут сейчас особо вдумчивые читатели. – Что это за волшебство получается? Молекулы ДНК-полимеразы достраивают на каждой из двух цепочек ДНК недостающие цепочки, но откуда они берет информацию о том, что именно нужно строить? Ползают по одной цепочке, но строят другую – как такое может быть?».

Может! Дело в том, что фрагменты цепочек одной молекулы ДНК, расположенные друг против друга, являются комплементарными. Комплементарностью называется взаимное соответствие молекул биополимеров²² или их фрагментов. Условно говоря, напротив фрагмента А

²² Биополимерами называются полимеры, входящие в состав живых организмов: белки, нуклеиновые кислоты, полисахара-

будет находиться фрагмент Б, а напротив фрагмента В – фрагмент Г и никак иначе. Молекула ДНК-полимеразы определяет, какой фрагмент находится перед ней, и подбирает ему комплементарную пару.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.