

Урок 2. Химическая организация клетки

Биомолекулы, ферменты, АТФ и буферные системы

Теория

Содержание урока

01. Буферные системы и постоянство pH
02. Химические элементы живых систем
03. Вода: строение определяет свойства
04. Минеральные соли, ионы и осмотические свойства
05. pH: логарифмическая шкала
06. Буферность и буферные системы
07. Углеводы: от моносахарида к функции
08. Липиды и принцип гидрофобности
09. Белки: уровни структуры и функции
10. Ферменты: катализ и специфичность
11. Нуклеотиды и нуклеиновые кислоты
12. АТФ и энергетическое сопряжение
13. Качественные реакции и логика эксперимента

01. Буферные системы и постоянство pH

70+

После короткого интенсивного бега в работающих мышцах усиливается образование продуктов обмена, способных повышать концентрацию ионов H^+ . Если бы каждый добавленный H^+ оставался свободным, pH внутренней среды быстро вышел бы из рабочего диапазона, белки изменили бы заряд и форму, а многие ферменты потеряли бы активность. Однако pH меняется гораздо слабее, чем можно ожидать. Причина — буферные системы: пары веществ, которые обратимо связывают избыток H^+ или отдают его при недостатке.

Эта история связывает весь урок. Вода создаёт среду реакций. Ионы определяют заряд и осмотические свойства. Белки выполняют большую часть каталитической и структурной работы. Нуклеотиды переносят информацию и энергию. Буферы удерживают условия, в которых вся система может работать.

70+ · Основное

Буферная система — смесь слабой кислоты и сопряжённого основания либо слабого основания и сопряжённой кислоты, способная уменьшать изменение pH при добавлении небольших количеств кислоты или щёлочи.

02. Химические элементы живых систем

70+

В клетке обнаруживаются десятки химических элементов, но их роль не выводится только из массовой доли. Углерод удобен для построения разнообразных цепей и колец; водород и кислород входят в воду и органические вещества; азот необходим аминокислотам и азотистым основаниям. Эти четыре элемента часто называют органогенами.

Макроэлементы содержатся в сравнительно больших количествах или выполняют массовые структурные и регуляторные функции. Фосфор входит в нуклеотиды, фосфолипиды и костную ткань; сера — в некоторые аминокислоты; кальций участвует в опоре, свёртывании крови и сигнализации; натрий и калий поддерживают мембранные потенциалы; магний необходим многим ферментам и входит в хлорофилл.

Микроэлементов мало, но дефицит может нарушить работу целой системы. Железо входит в гемоглобин и белки переноса электронов; йод — в гормоны щитовидной железы; цинк и медь входят в активные центры ферментов. Корректная причинная цепочка строится так: дефицит элемента → нарушение конкретной молекулы или процесса → изменение функции органа или организма.

Периодическая система химических элементов

		Группы																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Периоды	1	1 H																	2 He		
	2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
	3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
	4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
	5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
	6	55 Cs	56 Ba	57-71 Лантаноиды	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
	7	87 Fr	88 Ra	89-103 Актиноиды	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og		

В ячейке: атомный номер и символ. Лантаноиды — период 6; актиноиды — период 7.

Группы 1-18 и периоды 1-7. Атомные номера и символы сверены по [периодической системе IUPAC](#). В учебной таблице показаны атомные номера и символы элементов.

Рисунок. Периодическая система химических элементов

Элемент	Биологическая роль	Пример последствия дефицита
P	Нуклеотиды, АТФ, фосфолипиды, минеральная часть костей	Нарушение энергетического и минерального обмена
Fe	Гемоглобин, цитохромы	Снижение переноса O ₂ , слабость

Элемент	Биологическая роль	Пример последствия дефицита
I	Тиреоидные гормоны	Нарушение регуляции обмена веществ
Mg	Кофактор ферментов, хлорофилл	Нарушение фотосинтеза и ферментативных реакций
Ca	Опора, сокращение, секреция, свёртывание	Нарушение костной ткани и клеточной сигнализации

70+ · Основное

Органогены: C, H, O, N. Биологическую роль элемента объясняют через молекулу или процесс, в котором он участвует.

03. Вода: строение определяет свойства

70+

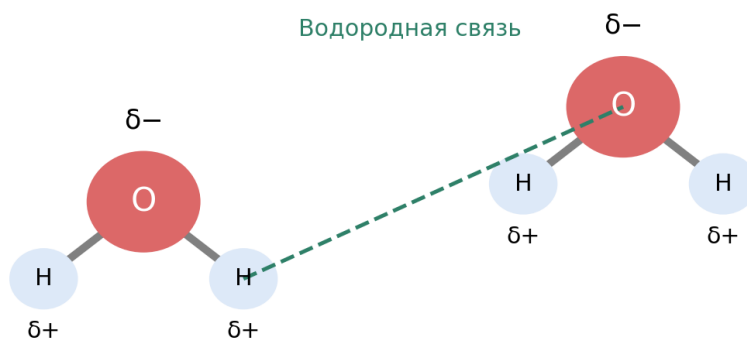
Молекула воды полярна: кислород сильнее притягивает общую электронную плотность и несёт частичный отрицательный заряд, атомы водорода — частичный положительный. Между соседними молекулами возникают водородные связи. Каждая связь сравнительно слабая, но их множество создаёт заметный суммарный эффект.

Высокая удельная теплоёмкость воды сглаживает температурные колебания: на разрыв части водородных связей требуется энергия. Высокая теплота испарения позволяет охлаждать организм при потоотделении или транспирации. Когеция поддерживает непрерывность водного столба в ксилеме, а адгезия помогает воде взаимодействовать со стенками сосудов.

Как растворитель вода окружает ионы и полярные молекулы гидратными оболочками. Гидрофобные неполярные молекулы не образуют выгодных взаимодействий с водой и группируются; это лежит в основе самосборки мембран. Вода участвует и как реагент: гидролиз расщепляет связь с присоединением компонентов воды, а в реакциях конденсации вода может выделяться.

На экзамене недостаточно сказать «вода — универсальный растворитель». Точнее: вода хорошо растворяет многие ионные и полярные вещества благодаря собственной полярности. Неполярные липиды растворяются плохо.

Полярность воды и межмолекулярные связи



Внутри молекулы: полярные ковалентные связи O-H

Рисунок. Водородные связи между молекулами воды

Свойство	Молекулярная причина	Биологическое значение
Растворяющая способность	Полярность и гидратация	Среда реакций и транспорт веществ
Высокая теплоёмкость	Много водородных связей	Стабилизация температуры
Высокая теплота испарения	Затраты энергии на переход в газ	Охлаждение при испарении
Когезия	Притяжение молекул воды	Непрерывный столб воды в растении
Малая сжимаемость	Плотная упаковка молекул	Гидростатическая опора

70+ · Основное

Полярность воды → водородные связи и гидратация → растворение, транспорт, терморегуляция и участие в реакциях.

04. Минеральные соли, ионы и осмотические свойства

70+

Минеральные соли в клетке находятся в виде ионов или твёрдых отложений. Ионы поддерживают осмотическое давление, кислотно-основное равновесие, мембранный потенциал и работу ферментов. Нерастворимые соли образуют опорные структуры: например, минеральную основу костей и зубов.

Осмотические свойства зависят от числа растворённых частиц, а не от их общей массы. Один моль NaCl после диссоциации создаёт больше частиц, чем один моль недиссоциирующего сахара. Однако в биологических задачах всегда проверяйте, проницаема ли мембрана для данного вещества: тоничность определяется эффективными, не проходящими свободно частицами.

Катионы и анионы не распределены равномерно. В цитоплазме и межклеточной жидкости различаются концентрации K^+ , Na^+ , Cl^- и других ионов. Эти градиенты будут

нужны в следующем уроке для объяснения активного транспорта и потенциала мембраны.

70+ · Основное

Ионы выполняют осмотическую, электрическую, каталитическую и структурную функции. В причинной цепочке называйте конкретный ион и процесс.

05. pH: логарифмическая шкала

80+

pH отражает концентрацию ионов H^+ : $pH = -\lg[H^+]$. Для школьных задач главное следствие — шкала логарифмическая. Раствор с pH 3 содержит примерно в 10 раз больше H^+ , чем раствор с pH 4, и в 100 раз больше, чем раствор с pH 5.

Нейтральность не всегда означает «безопасность», а кислотность не равна концентрации любой кислоты по массе. pH описывает состояние раствора. В клетке разные компартменты поддерживают разные значения: лизосомы имеют кислую среду, цитозоль близок к нейтральной, а в тилакоидах и межмембранном пространстве временно формируются протонные градиенты.

Изменение pH влияет на заряд боковых радикалов аминокислот. Это может нарушить ионные взаимодействия, форму активного центра и связывание субстрата. При сильном воздействии происходит денатурация. Не пишите, что pH «разрывает пептидные связи», если в условии нет гидролиза: первичная структура часто сохраняется.

Шкала pH



При 25 °C. Разница в одну единицу pH означает изменение $[H^+]$ в 10 раз.

Рисунок. Шкала pH

80+ · Основное

Разница в одну единицу pH соответствует десятикратной разнице $[H^+]$. pH влияет на заряд, структуру и активность белков.

06. Буферность и буферные системы

80+

Буфер содержит компоненты, способные обратимо принять или отдать H^+ . Если в систему добавили кислоту, сопряжённое основание связывает часть H^+ . Если добавили щёлочь, слабая кислота отдаёт H^+ , и OH^- превращается в воду. Поэтому свободная

концентрация H^+ изменяется слабее, чем в воде без буфера.

Бикарбонатная система крови условно описывается парой H_2CO_3/HCO_3^- . Фосфатная система важна внутри клеток и в почках. Белки также буферируют среду: некоторые боковые радикалы и концевые группы могут принимать или отдавать протоны. Гемоглобин участвует в связывании H^+ в эритроцитах.

Буферная ёмкость зависит от концентрации компонентов и их соотношения. Если добавить слишком много кислоты, запас компонента, связывающего H^+ , исчерпается, и pH начнёт резко падать. Лучшее буферное действие наблюдается вблизи характерной области равновесия пары.

В опыте сравнивают равные объёмы воды и буферного раствора. К каждому по каплям добавляют одинаковую кислоту и измеряют pH. Независимая переменная — тип раствора или число добавленных капель, зависимая — pH. Объём, температура, концентрация кислоты и способ перемешивания должны быть одинаковыми.

Добавление	Компонент буфера	Что происходит
Небольшое количество кислоты	Сопряжённое основание	Связывает часть H^+ ; образуется слабая кислота
Небольшое количество щёлочи	Слабая кислота	Отдаёт H^+ ; OH^- связывается с образованием воды
Кислоты больше ёмкости	Компонент исчерпан	pH меняется резко

80+ · Основное

Буфер не исключает изменение pH, а уменьшает его. Компоненты действуют обратимо и имеют ограниченную ёмкость.

07. Углеводы: от моносахарида к функции

70+

Моносахариды — простые сахара, которые не гидролизуются до более простых углеводов. Глюкоза служит субстратом энергетического обмена; рибоза и дезоксирибоза входят в нуклеотиды. Дисахариды состоят из двух остатков моносахаридов, полисахариды — из множества.

Крахмал и гликоген — запасные полисахариды глюкозы. Гликоген сильнее разветвлён, что создаёт много концов цепей и позволяет быстро мобилизовать глюкозные остатки. Целлюлоза имеет иное пространственное строение связей; прямые цепи образуют прочные волокна клеточной стенки растений.

Одинаковый набор мономеров не означает одинаковую функцию полимера. Важны тип связи, ветвление, длина цепи и пространственная укладка. Это общий принцип биологии: функция определяется не только составом, но и организацией.

Класс веществ	Строительные единицы
Белки	Аминокислоты, соединённые пептидными связями
Полисахариды	Остатки моносахаридов, соединённые гликозидными связями

Класс веществ	Строительные единицы
ДНК и РНК	Нуклеотиды, соединённые фосфодиэфирными связями
Липиды	Не являются типичными полимерами. Триацилглицерол содержит глицерин и три остатка жирных кислот.

Вещество	Строение	Главная функция
Глюкоза	Моносахарид	Энергетический субстрат
Сахароза	Дисахарид	Транспортная форма углевода у многих растений
Крахмал	Полимер α -глюкозы	Запас у растений
Гликоген	Сильно разветвлённый полимер α -глюкозы	Запас у животных и грибов
Целлюлоза	Прямые цепи β -глюкозы	Клеточная стенка растений

70+ · Основное

Углеводы выполняют энергетическую, запасную, структурную и рецепторную функции. Для полимера называйте мономер и функцию.

08. Липиды и принцип гидрофобности

70+

Липиды — химически неоднородная группа веществ, объединяемая слабой растворимостью в воде и хорошей растворимостью во многих неполярных растворителях. Поэтому не следует называть все липиды полимерами: триацилглицеролы и фосфолипиды не построены как длинные цепи повторяющегося одного мономера.

Триацилглицеролы образованы глицерином и тремя жирными кислотами и служат концентрированным энергетическим запасом. Фосфолипид имеет гидрофильную головку и гидрофобные хвосты; в воде такие молекулы самопроизвольно формируют бислой. Стероиды имеют характерную систему колец; холестерин регулирует свойства мембран и служит предшественником ряда гормонов.

Насыщенные жирные кислоты не имеют двойных связей в углеводородной цепи, ненасыщенные содержат одну или несколько. Изгибы в области двойных связей мешают плотной упаковке и обычно повышают текучесть. На экзамене связывайте химическую особенность со свойством мембраны или жира.

Класс	Ключевая особенность	Функции
Триацилглицеролы	Глицерин + 3 жирные кислоты	Запас энергии, теплоизоляция, защита
Фосфолипиды	Амфифильная молекула	Основа мембран
Стероиды	Система углеродных колец	Гормоны, регуляция мембран

Класс	Ключевая особенность	Функции
Воски	Гидрофобные сложные эфиры	Защитные водоотталкивающие покрытия

70+ · Основное

Фосфолипид амфифилен: полярная головка взаимодействует с водой, неполярные хвосты избегают её. Это обеспечивает самосборку бислоя.

09. Белки: уровни структуры и функции

70+

Белок — полимер аминокислот, соединённых пептидными связями. Каждая аминокислота имеет аминогруппу, карбоксильную группу и радикал. Именно радикалы различаются по размеру, заряду, полярности и способности образовывать взаимодействия.

Первичная структура — последовательность аминокислот. Вторичная поддерживается главным образом водородными связями между группами полипептидного остова. Третичная возникает при взаимодействии радикалов и определяет пространственную форму одной цепи. Четвертичная есть у белков из нескольких субъединиц.

Функции белков разнообразны: каталитическая, структурная, транспортная, двигательная, рецепторная, защитная и регуляторная. Ответ «белки нужны для строения» слишком общий. Назовите молекулу и механизм: гемоглобин обратимо связывает кислород; антитело узнаёт антиген; коллаген образует прочные волокна; канал создаёт гидрофильный путь через мембрану.

Денатурация — нарушение вторичной, третичной и/или четвертичной структуры без обязательного разрушения первичной. Причинами могут быть высокая температура, крайние pH, органические растворители, соли тяжёлых металлов. Ренатурация возможна не всегда: после агрегации или химического повреждения исходная форма может не восстановиться.

Уровни структуры белка: условные схемы

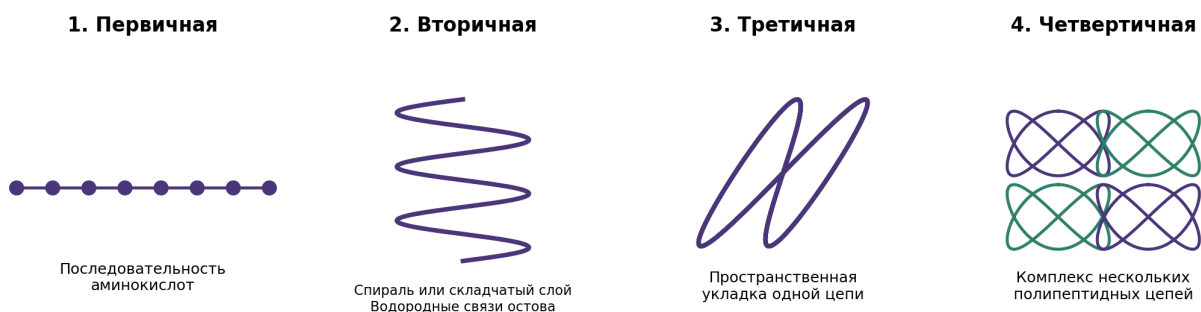


Рисунок. Уровни структуры белка

Уровень	Что описывает	Основные стабилизирующие взаимодействия
Первичный	Последовательность аминокислот	Пептидные связи

Уровень	Что описывает	Основные стабилизирующие взаимодействия
Вторичный	Локальная укладка цепи	Водородные связи остова
Третичный	Форма одной цепи	Гидрофобные, ионные, водородные, дисульфидные взаимодействия
Четвертичный	Комплекс субъединиц	Те же типы взаимодействий между цепями

70+ · Основное

Денатурация меняет пространственную организацию и функцию белка; гидролиз разрушает пептидные связи и первичную структуру.

10. Ферменты: катализ и специфичность

80+

Фермент ускоряет реакцию, снижая энергию активации, но не расходуется в её суммарном уравнении и не изменяет конечное положение химического равновесия. Субстрат связывается с активным центром, формируется фермент-субстратный комплекс, затем продукты освобождаются.

Специфичность определяется совместимостью формы, зарядов и химических групп активного центра с субстратом. Модель «ключ — замок» полезна как первое приближение, но индуцированное соответствие точнее: связывание субстрата может менять конформацию фермента.

С повышением температуры скорость сначала растёт из-за увеличения частоты столкновений, затем после оптимума падает из-за нарушения структуры белка. Зависимость от pH тоже часто имеет оптимум. При росте концентрации субстрата скорость выходит на плато: активные центры заняты, и ограничивающим фактором становится количество фермента.

Ингибитор может конкурировать с субстратом за активный центр или связываться в другом участке и изменять форму белка. Кофакторы — небелковые компоненты, необходимые некоторым ферментам; ими могут быть ионы металлов или органические производные витаминов.

Изменение активности фермента объясняют цепочкой: фактор → молекулярное изменение → изменение формы активного центра или частоты образования комплекса → изменение скорости реакции.

Кривая Михаэлиса-Ментен

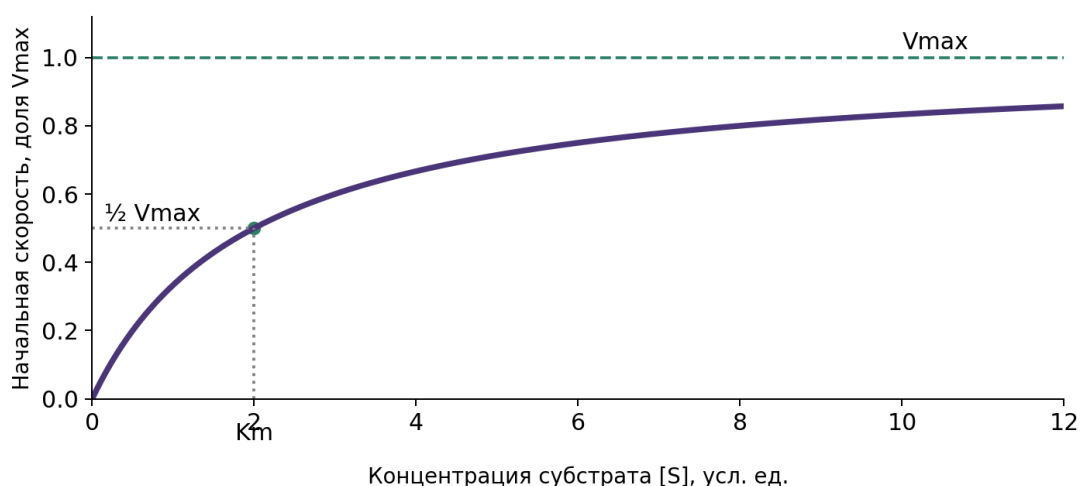


Рисунок. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата

80+ · Основное

Фермент снижает энергию активации. Факторы меняют скорость через столкновения, насыщение или сохранность пространственной структуры активного центра.

11. Нуклеотиды и нуклеиновые кислоты

70+

Нуклеотид состоит из азотистого основания, пентозы и остатка фосфорной кислоты. В ДНК сахар — дезоксирибоза, в РНК — рибоза. Основания ДНК: аденин, гуанин, цитозин и тимин; в РНК вместо тимина используется урацил.

Нуклеотиды одной цепи соединены фосфодиэфирными связями. Две цепи ДНК антипараллельны и удерживаются водородными связями между комплементарными основаниями: А-Т и Г-С. Между Г и С условно учитывают три водородные связи, между А и Т — две.

В двуцепочечной ДНК $A = T$ и $G = C$, но А не обязано равняться Г. Комплементарность оснований позволяет рассчитывать их относительное и абсолютное содержание.

Признак	ДНК	РНК
Пентоза	Дезоксирибоза	Рибоза
Характерное основание	Тимин	Урацил
Число цепей в типичной школьной модели	Две	Одна
Главная роль	Хранение наследственной информации	Реализация информации и другие функции

70+ · Основное

Нуклеотид = основание + пентоза + фосфат. Для двуцепочечной ДНК: A = T, G = C, сумма всех оснований — 100%.

12. АТФ и энергетическое сопряжение

80+

АТФ — нуклеотид, состоящий из аденина, рибозы и трёх фосфатных групп. При гидролизе АТФ образуются АДФ и неорганический фосфат, а изменение свободной энергии может быть использовано клеткой. Корректнее говорить, что энергия высвобождается в результате всей реакции гидролиза и образования более устойчивых продуктов, а не «хранится внутри одной связи как в пружине».

Клетка сопрягает энергетически выгодный гидролиз АТФ с невыгодными процессами: синтезом веществ, активным транспортом, движением моторных белков. Фосфат может временно переноситься на субстрат или белок, меняя его реакционную способность или конформацию.

Запас АТФ невелик и постоянно обновляется. Синтез идёт при субстратном и окислительном фосфорилировании, а у фотосинтезирующих организмов — также при фотофосфорилировании. Подробный механизм энергетического обмена начинается в уроке 5.

АТФ (аденозинтрифосфат) состоит из аденина, рибозы и трёх последовательно связанных фосфатных остатков. Аденин с рибозой образует аденозин. При гидролизе концевого фосфатного остатка образуются АДФ и неорганический фосфат; реакция может быть сопряжена с клеточной работой.

80+ · Основное

АТФ — универсальный непосредственный переносчик энергии и фосфатной группы. Она связывает энергетически выгодные и невыгодные процессы.

13. Качественные реакции и логика эксперимента

80+

Качественная реакция обнаруживает определённую химическую группу или класс веществ по наблюдаемому признаку: цвету, осадку, газу. Она не всегда идентифицирует конкретную молекулу. Например, положительная биуретовая реакция указывает на пептидные связи, но не на название белка.

Нужны положительный и отрицательный контроли. Положительный показывает, что реактив и процедура способны дать ожидаемый результат на известном образце. Отрицательный показывает фон и помогает убедиться, что цвет не появляется без искомого вещества.

При сравнении интенсивности окраски стандартизируют объём, концентрацию реактива, температуру, время и освещение. Если измерение проводится «на глаз», вывод должен быть осторожным. Для количественной оценки используют прибор и калибровочную зависимость.

Проба	Положительный результат
Крахмал + раствор йода	Синее или сине-фиолетовое окрашивание
Белок + биуретовый реактив	Фиолетовое окрашивание
Восстанавливающий сахар + реактив Бенедикта, нагревание	Окрашенный осадок, вплоть до кирпично-красного
Липиды + Судан III	Окрашивание липидной фазы в оранжево-красный цвет

Проба	Что обнаруживает	Наблюдаемый результат
Йодная	Крахмал	Сине-чёрное окрашивание
Биуретовая	Пептидные связи	Фиолетовое окрашивание
На восстанавливающие сахара	Восстанавливающие группы	Цветной осадок после нагревания
Эмульсионная	Липиды	Мутная белая эмульсия

80+ · Основное

Контроли отвечают на разные вопросы: положительный — работает ли метод; отрицательный — возникает ли сигнал без исследуемого вещества.

[Пройти тест по этому уроку: 60 заданий с ответами](#)

[Следующий урок: Урок 3. Клеточная теория и строение клетки](#)

[Все материалы курса «Биология ЕГЭ»](#)



К разделу 06

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 2

Как буфер уменьшает изменение pH

Условная система: слабая кислота HA и сопряжённое основание A^- .

Добавили кислоту: избыток H^+



Основание A^- связывает H^+ .
Свободных H^+ становится меньше,
чем было бы без буфера.

Добавили щёлочь: избыток OH^-



Кислота HA отдаёт протон.
 OH^- превращается в воду;
остаётся основание A^- .

Буферная ёмкость ограничена.

При избытке кислоты или щёлочи pH всё равно заметно изменится.

Буфер уменьшает сдвиг pH, но не делает среду неизменной при любом воздействии.

К разделу 07

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 2

Полисахариды: строение связано с функцией

Каждый кружок обозначает остаток глюкозы. Показана только общая организация цепей.

Крахмал



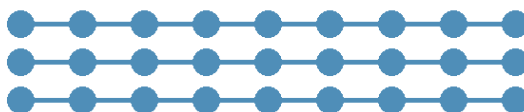
Запас у растений.
Амилоза: линейная цепь;
амилопектин: ветвится.

Гликоген



Запас у животных
и грибов. Частое
ветвление цепей.

Целлюлоза



Опора клеточной
стенки растений.
Неветвящиеся цепи.

У крахмала и гликогена α -связи, у целлюлозы β -связи: одинаковый мономер $\neq$ одинаковая функция.



К разделу 08

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 2

Фосфолипиды собираются в бислой

Полярные головки обращены к воде, неполярные хвосты скрыты внутри мембраны.

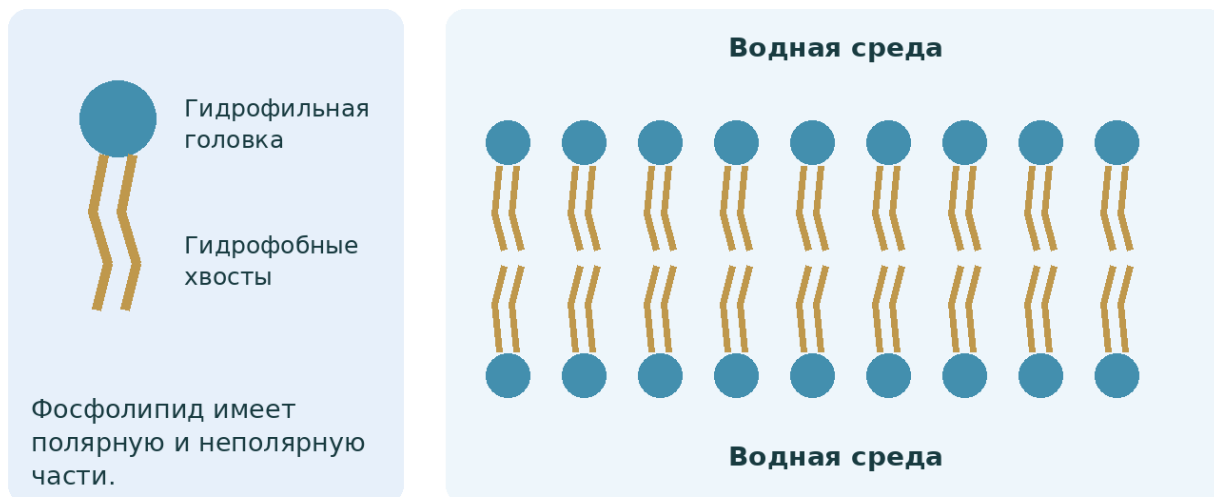


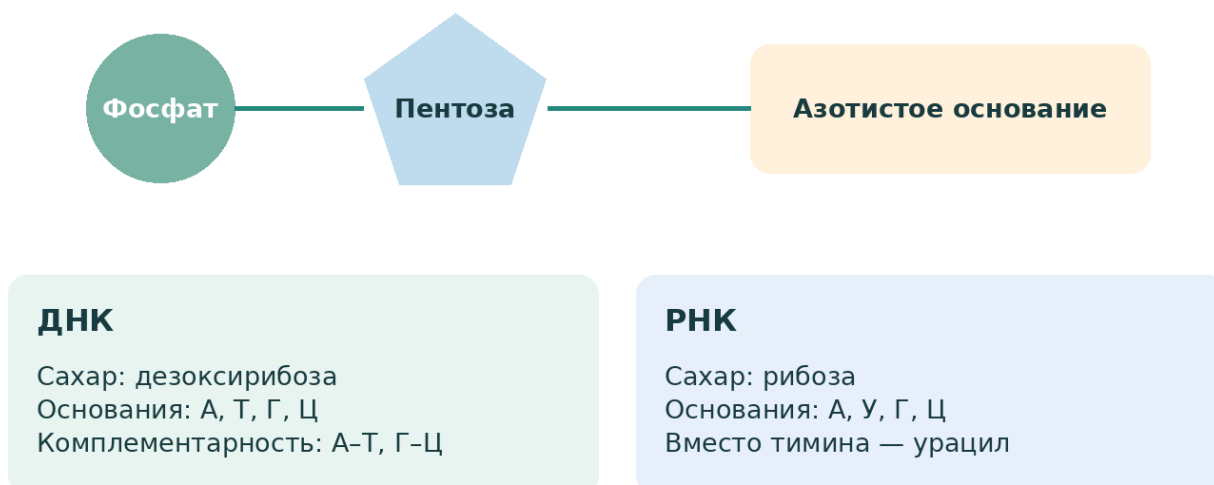
Схема показывает липидную основу; в настоящей мембране также есть белки и другие компоненты.

К разделу 11

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 2

Нуклеотид: три части одного звена

Основание и фосфат присоединены к сахару. Из нуклеотидов строятся ДНК и РНК.



Сахарофосфатный остов цепи образован чередующимися остатками сахара и фосфата.

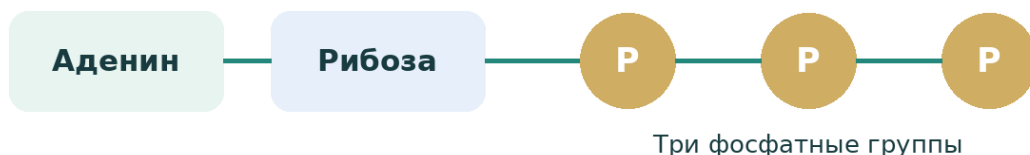


К разделу 12

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 2

АТФ: перенос энергии между реакциями

В состав АТФ входят аденин, рибоза и три фосфатные группы.



Сопряжение с работой клетки

Синтез веществ • Активный транспорт • Движение

Энергия высвобождается при всей реакции гидролиза, а не при одном только разрыве связи.