

"Физика в биологии. Биофизика клетки".

План занятия и комментарии к электронному учебно-методическому пособию

Цель: Показать межпредметные связи биологии, физики и химии.

Задачи:

- (1) объяснить явление осмоса с помощью II начала термодинамики,
- (2) показать биологическую роль данного явления.

Поскольку во время занятия проходят эксперименты, которые требуют длительного времени, семинар следует начать именно с экспериментальной части. Поскольку время семинара ограничено 1,5 часами, экспериментальная часть семинара также требует предварительной подготовки (за 1-2 дня)

Приборы и материалы.

- Картофель
- Лук репчатый, желательнo красный.
- Яйцо
- Лимонная кислота
- Поваренная соль
- Пластиковые стаканчики
- Маркер
- Предметные стекла
- Покровные стекла.
- Микроскопы.
- Булавка с головкой
- Вода дистиллированная (или кипяченая)
- Кровь или спирт, скалификатор.
- Пробирки
- Скальпели
- Пинцеты
- Линейки
- Миллиметровка
- Ватные диски, фильтровальная бумага.

Подготовка к занятию.

За 1-2 дня. Предварительно за 1-2 дня следует полностью снять скорлупу у двух сырых яиц. Для этого используется концентрированный раствор лимонной кислоты. После этого яйца следует поместить в насыщенный раствор соли и в дистиллированную воду, соответственно.

В день занятия. Рекомендуется в день проведения семинара взять в ЦНМТ 5 мл собственной крови в любом противосвертывающем растворе.

Перед занятием. Непосредственно перед занятием следует очистить лук от чешуи, разрезать его и разделить на отдельные листочки. Картофель нужно почистить и нарезать брусочками длиной около 35 мм, ни в коем случае не следует его заливать водой.

Приготовить насыщенный раствор поваренной соли, насыщенный раствор лимонной кислоты. Разлить по пластиковым стаканчикам дистиллированную воду и насыщенный раствор соли.

Ход семинара.

1. **Эксперимент 1.** Каждый участник семинара запускает эксперимент с картофелем. Для эксперимента берет кусочки картофеля 4-5 см. Измеряет линейкой длину брусочков, записывает ее в тетради и помещает один из них в воду, другой - в насыщенный раствор соли.

2. **Эксперимент 2.** Обсуждение с участниками, каким образом можно удалить скорлупу с яйца не повредив его. Скорлупа представляет собой карбонат кальция, который легко растворяется в кислоте. Запускаем демонстрационный эксперимент с яйцом - помещаем яйцо в насыщенный раствор лимонной кислоты, наблюдаем растворение скорлупы, выделение углекислого газа.

3. **Физика осмоса.** Гидростатическое давление в жидкостях. Сообщающиеся сосуды. Движение жидкости под действием давления. Явление осмоса. Сольватация катионов и анионов. Второе начало термодинамики в формулировке: "В изолированных системах энтропия системы не уменьшается с течением времени ". Применение 2 начала к процессам растворения и диффузии. Объяснение явления осмоса с помощью 2го начала.

4. **Осмоз и живые клетки.** Действие на эритроциты гипертонического и гипотонических растворов. Запускаем эксперимент с эритроцитами: помещаем на предметное стекло 3 капли крови, в одну из них добавляем раствор соли, в другую воду. Наблюдаем в микроскоп. Действие растворов различной концентрации на растительные клетки - плазмолиз и деплазмолиз. Запускаем эксперимент с кожицей лука. Отделяем кожицу лука, помещаем кусочки кожицы на предметное стекло в каплю воды и в раствор соли, накрываем покровным стеклом. Через 10 минут в микроскоп наблюдаем плазмолиз в клетках кожицы, помещенной в раствор соли, при необходимости подкрашиваем прижизненным красителем, например метиленовым синим.

5. **Осмоз в живых организмах.** Роль осмоса в поддержании механической функции травянистых растений. Тургор. Устьица. Регуляция испарения с помощью устьиц. Роль осмоса в формировании корневого давления. Роль осмоса в работе почки. Белки-аквапорины, их роль в осмотическом концентрировании. Функция петли Генле.

6. **Осмоз и утопление.** "Синие" утопленники. Механизм происходящих изменений, с точки зрения осмотических явлений: осмотическое движение воды, попавшей в легкие в кровь, увеличение объема крови, остановка сердца, разрушение эритроцитов из-за пониженной осмолярности крови . Последствия утопления: гипоксия тканей, отек легких. Симптомы отека легких, купирование отека легких.

7. **Завершение эксперимента 2.** Демонстрация заранее заготовленных яиц находящихся в гипо- и гипертонических растворах.

8. **Завершение эксперимента 1 (с картофелем).** Картофель извлекается из стаканчиков и измеряется линейкой. Результат заносится в тетрадь. Собираем результаты экспериментов со всей аудитории и статистически их обрабатываем: находим среднее и дисперсию. Строим график распределения.

9. **Зачетные вопросы.** Почему многие растения не могут расти на засоленных почвах? Почему компот быстро портится, а варенье может храниться годами? У каких животных петля Генле наиболее длинная ? Когда хозяйка варит компот из яблок, ей следует класть сахар до того, как она положит сахар, или после?

Описание теоретической части

Осмоз - это движение воды(растворителя) через полупроницаемую мембрану в сторону большей концентрации соли.

Давление в жидкости

Чтобы разобраться в данном явлении, нам следует в начале познакомиться с понятием давления столба жидкости. Давление в физике - это вес, который приходится на единицу площади. Одна и та же сила может давать разное давление в зависимости от площади к которой эта сила прикладывается. Классический пример того, когда надо увеличить давление: иголка - площадь мала и потому требуется сравнительно малая сила, чтобы проколоть, скажем, ткань. Если наоборот, требуется уменьшить давление, нужно увеличивать площадь, примером этого могут быть лыжи, они увеличивают площадь и мы не проваливаемся на рыхлом снегу. В жидкостях действует правило (Закон Паскаля), что давление распространяется равномерно во всех направлениях, иными словами, жидкость несжимаема. Если в какой то момент развивается разница давлений, то жидкость из области с большим давлением начинает течь в сторону области с меньшим давлением, до тех пор, пока не установится равное давление в этих областях.

Давайте рассмотрим, от чего будет зависеть давление столба жидкости. Давление -это вес (F), поделенный на площадь(S).

$$p=F/S$$

Вес жидкости (F) - это $F=mg$, где m- масса жидкости.

Масса, соответственно, равна: $m=\rho V$, где ρ - плотность, а V-объем. Объем в свою очередь равен $V=HS$, где S-площадь сечения, H-высота столба.

Если мы аккуратно выпишем:

$$p=\rho gHS/S=\rho gH$$

Таким образом $p \sim H$ (этим значком обозначается пропорциональность, т.е. $p=k \cdot H$, где k- постоянная величина(она зависит от плотности жидкости)). Из этого следуют важные выводы:

При движении с поверхности ко дну давление будет постоянно нарастать, а максимальное давление будет на дне сосуда.

Давление в жидкостях зависит только от глубины, и не зависит от площади поверхности.

Теперь представьте, что у нас есть два сосуда, дно которых соединено трубкой.

Если мы нальем в них разное количество воды, то в одном из сосудов давление будет больше чем в другом, поскольку уровни воды разные, а давление- это уровень воды умноженный на постоянное число. Раз есть разница давлений - есть и движение воды. Вода будет течь до тех пор, пока давления в разных сосудах не выровняются.

А теперь давайте заменим воду соленым раствором. Он будет "тяжелее" воды, или что точнее, иметь большую плотность. Там произойдет абсолютно тоже самое, единственное, давление будет меняться по другому закону- чтобы получить давление нужно будет умножить на другую постоянную величину.

Явление осмоса.

Давайте представим теперь, что наши два сосуда разделены полупроницаемой мембраной. Эта мембрана представляет собой мелкую сеть. Она легко пропускает воду, и другие маленькие молекулы, но не пропускает большие, одетые в "одежку" из молекул воды, сольватированные ионы соли. Нальем в оба сосуда воды. Поскольку вода без труда проходит через мембрану - уровни воды у нас выровняются. Давайте теперь насыпаем немного соли в один из сосудов.

Что произойдет?

Уровень воды в том сосуде, в которую мы добавили соль, вырастет.

Вода стремится иметь одинаковую концентрацию соли по обе стороны мембраны, это наиболее выгодно энергетически. Поэтому, часть воды утекает в сторону сосуда, содержащего большую концентрацию соли, чтобы растворить там её избыток. Это движение происходит до тех пор, пока концентрации солей по обе стороны мембраны не станут одинаковыми.

Почему это выгодно энергетически? Чтобы это понять - взглянем на воздух. Он состоит в основном из азота и кислорода. Как правило, они находятся в смеси, и маловероятно, что бы они самопроизвольно разделялись - скажем один угол комнаты заполнял бы азот, а другой чистый кислород - такое возможно, но крайне маловероятно. Почему? Дело в том, что согласно второму закону термодинамики, все САМОПРОИЗВОЛЬНЫЕ процессы в ИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ (т.е. системам к которым НЕ ПОДВОДИТСЯ ЭНЕРГИЯ) у нас идут с уменьшением порядка, или увеличением ЭНТРОПИИ (Это величина является мерой хаоса). Когда у нас в одном конце комнаты собран азот, а в другом конце - кислород - это достаточно упорядоченное состояние системы - а значит маловероятное, и не устойчивое. Стоит такую ситуацию создать, а затем предоставить систему самой себе: газы смешаются - порядок перейдет в хаос, причем это произойдет самопроизвольно, поскольку энтропия (мера хаоса) вырастет.

С точки зрения энтропии, осмос представляет ровно ту же самую ситуацию. Только тут в роли азота и кислорода выступают молекулы соли и воды. Очевидно, что выгоднее быть смешанными, чем отдельно.

Осмоз в живых клетках.

Кровь состоит из жидкой части (плазмы) и клеток крови (форменных элементов). Соленость в плазме и в форменных элементах одинакова.

Стоит лишь поместить клетки крови в дистиллированную воду (гипотонический раствор), поскольку они солонее - вода пойдет внутрь клеток. Они начнут набухать и в итоге лопнут, при этом гемоглобин выйдет из клеток в воду - кровь приобретет "лаковую окраску". Если же поместить клетки в гипертонический раствор - то есть в сильно соленый - вода пойдет из клеток - они сожмутся. Физиологический раствор - это такой раствор, в котором соленость совпадает с соленостью в клетке, вода из нее не выходит и не входит в нее, в итоге клетка не меняет своих размеров. В случае крови человека соленость равна 9 граммам соли на 1 литр.

Растения имеют в отличие от животных жесткую клеточную стенку из целлюлозы и пектина. Подобная клеточная стенка пропускает и воду, и ионы, и высокомолекулярные вещества, в то время как клеточная мембрана является полупроницаемой, как и у животных. Клеточная стенка не дает клетке слишком увеличивать свой объем и не дают мембране лопнуть при помещении в гипотонический раствор. Гипертонический раствор вызывает у растений отслоение клеточной мембраны от клеточной стенки, подобное явление очень хорошо видно в световой микроскоп и называется плазмолизом. Обратный процесс, т.е. восстановление плазмолитической клетки до нормального состояния - называют деплазмолизом. Пресноводные простейшие не имеют клеточной стенки, поэтому, чтобы не лопнуть, они вынуждены постоянно откачивать воду, проникающую в них по осмосу. Для этого у них служат специализированные органеллы - сократительные вакуоли.

Осмоз в живых организмах.

В растениях существует 2 типа механических тканей: склеренхима и колленхима. Клетки склеренхимы имеют сильное утолщение своих клеточных стенок, которые и придают им прочность. Утолщение клеточных стенок приводит к тому, что клетка не способна к метаболизму и погибает, а мертвая ткань продолжает выполнять механическую функцию у древесных растений. Колленхима - это живая ткань, утолщения клеточной стенки захватывают лишь часть поверхности клетки, благодаря чему клетка остается способной к метаболизму. Механическую роль колленхима выполняет когда воды в растении много. Соответственно, вода поступает по осмосу в клетки колленхимы, клетки набухают - переходят в состояние тургора - "напора", как надутый воздушный шар, который невозможно сложить. Как только воды в растении становится недостаточно, в межклеточниках повышается концентрация соли и вода по осмосу выходит из колленхимы, при этом она теряет тургор. А растение начинает вянуть, гнуться под собственной тяжестью к земле.

Растения используют осмотические явления для регуляции испарения в листьях. В листьях имеются устьица, элементы системы проветривания листа. Устьице состоит из обкладочных клеток, на которых расположены замыкающие клетки, между которыми в состоянии их тургора находится щель, через которую осуществляется газообмен листа. Когда воды много - замыкающие клетки находятся в состоянии тургора, устьичная щель открыта, газообмен происходит, активно идет испарение воды с листа. Как только ощущается недостаток воды, повышается осмолярность межклеточников, и замыкающие клетки теряют тургор, устьичная щель схлопывается, газообмен прекращается, испарение воды не идет - растение начинает экономить воду.

Для того, чтобы добыть воду из почвы, растения также пользуются осмотическими явлениями. Концентрация соли в корне выше, чем концентрация соли в почве. Вода движется в корень по осмосу. Концентрация соли в корне увеличивается по мере движения от краев к сердцевине, это приводит к выраженному току воды по градиенту концентрации соли в корне от краев к сердцевине, и в итоге служит одним из главных причин корневого давления.

Огромную роль играет осмос и в работе почек. Основной функциональной единицей почки является нефрон, состоящий из приносящего и выносящего капилляров, сосудистого Мальпигиева клубочка, капсулы Боумена-Шумлянского, проксимального и дистального извитых канальцев, петли Генле и собирательных трубочек. Обычно в школьном курсе объясняют каким образом происходит фильтрация и образование первичной мочи, а ее концентрирование связывают с взаимодействием с капиллярной сетью извитых канальцев, в которых кровь течет после фильтрации первичной мочи. Это конечно правда, но не вся. Значительная степень концентрирования мочи происходит в петле Генле. Эта петля имеет особенность, в ее стенке находятся белки аквапорины, которые являются каналами для воды. Кроме этого в почке, при движении от края к сердцевине постепенно нарастает концентрация соли. Это приводит к тому, что при движении по петле Генле к сердцевине почки вода постепенно выходит в почечные ткани из канальца петли, моча же в нем постепенно становится все более концентрированной. Затем петля делает изгиб и идет уже от середины почки к краю, в этой восходящей части петли, аквапоринов нет, и концентрация мочи не меняется.

Теперь я хотел бы рассказать поучительную историю об утопленниках. Утопленники бывают нескольких разных видов. Мы поговорим о т.н. "синих" утопленниках. Эти утопленники активно борются за свою жизнь при утоплении. Например, они стараются занять вертикальное положение, высунуть как можно выше голову из воды (при этом они уменьшают площадь поверхности опоры на воду и скорее тонут) и кричат (выпуская последний воздух из легких и уменьшая таким образом свою плавучесть - и опять таки быстрее тонут), при этом в легкие таких утопленников попадает большее количество воды. Как известно, в легких для

эффективного газообмена всего два слоя клеток отделяют поверхность альвеол от крови. Пресная вода с легкостью движется по осмосу в кровь. Кровь сильно разбавляется, ее объем резко возрастает, давление в кровеносной системе также быстро растет. Это приводит к тому, что сердце не справляется с такой нагрузкой и останавливается. Поскольку кровь разбавляется пресной водой, она становится гипотоничной по сравнению с эритроцитами. В эритроциты устремляется вода, они разбухают и лопаются. Синий цвет такого утопающего обусловлен не только кислородным голоданием тканей, но и образованием продуктов распада гемоглобина. Если вы извлекли "синего" утопающего из воды, постарайтесь как можно быстрее избавиться от воды из легких. И ни в коем случае нельзя отпускать его домой без осмотра врачом, даже если человек себя якобы нормально себя чувствует. Обычно опасность заключается в развитии отека легкого. Поскольку давление и объем крови высоки, после удаления воды из легких, наблюдается явление обратной фильтрации воды в легкие. При этом дыхательная поверхность легких находится под водой. Человек начинает задыхаться. Вода смешивается с сурфактантом и воздухом и у человека начинает идти из рта розовая пена, другой симптом - слышно характерное клопочущее дыхание. Что следует делать при отеке легких после утопления?

Усадить человека (в таком положении не вся дыхательная поверхность легких будет закрыта водой), приложить тепло к ногам (поверхностные вены расширятся и туда уйдет избыток объема крови). Далее, следует давать дышать кислородом (поскольку уменьшена дыхательная поверхность и количество эритроцитов также). Дальнейшая терапия связана с применением регулирующих давление препаратов, а так же мочегонных (уменьшить объем крови) и желчегонных препаратов (с желчью выводятся продукты распада гемоглобина, которого много в крови после гемолиза эритроцитов).