



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Лабораторные работы (практикум)

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности

1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

Минск
БНТУ
2013

УДК 614.87(076.5)(075.8)

ББК 51.26я7

В64

С о с т а в и т е л и :

Н. Т. Минченя, А. Л. Савченко

Р е ц е н з е н т ы :

М. В. Давыдов, Р. В. Новичихин

Воздействие физических полей на биологические объекты :
В64 лабораторные работы (практикум) для студентов специальности 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» / сост. : Н. Т. Минченя, А. Л. Савченко. – Минск: БНТУ, 2013. – 94 с.

ISBN 978-985-550-083-5.

Издание предназначено в качестве учебно-методического пособия по дисциплине «Воздействие физических полей на биологические объекты» для студентов специальности 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы».

Описание лабораторных работ, приведенных в издании, включает цель работы, инструменты и принадлежности к работе, основные теоретические положения, порядок выполнения работы, содержание отчета, контрольные вопросы и список литературы.

УДК 614.87(076.5)(075.8)

ББК 51.26я7

ISBN 978-985-550-083-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ

Цель работы: изучение природы и свойств рентгеновского излучения, методов его получения, использования в медицине, ознакомление с видами рентгеновских аппаратов, их характеристиками и устройством.

Правила техники безопасности

Рентгеновское излучение является опасным для организма человека. Кроме того, аппарат питается от сети переменного тока, а к рентгеновской трубке подводится высокое напряжение. В связи с этим необходимо строго соблюдать следующие правила:

1. **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** включать аппарат в сеть без разрешения преподавателя.
2. При включенном аппарате **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** включать высокое напряжение.
3. **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** направлять выходное окно рентгеновской трубки на людей, в окна и в сторону двери при включенном в сеть аппарате.
4. **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** снимать кожух высоковольтного генератора при включенном в сеть аппарате и включать аппарат при снятом кожухе.
5. Убедительная просьба: не позволять студентам, выполняющим другие лабораторные работы, скапливаться у аппарата во время занятий.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Палатный рентгеновский аппарат Nanodor 2– 1 шт.

Основные положения

Физическая природа и свойства рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение является электромагнитным и имеет длину волны порядка 0,005–10 нм. Рентгеновские лучи, применяемые в рентгенодиагностике, образуются в специальных рентгенов-

ских трубках в результате торможения быстро движущихся электронов. Рентгеновская трубка представляет собой стеклянный баллон, из которого выкачан воздух (рис. 1.1). В баллон вставлены два электрода: катод в виде металлической спирали и анод в виде массивного стержня из меди, имеющий расположенную под углом гладкую поверхность, покрытую тугоплавким металлом вольфрамом, молибденом или их сплавами с рением. Оба электрода установлены по продольной оси рентгеновской трубки с зазором порядка 20 мм. При подаче на спираль катода напряжения накала вокруг него в результате термоэлектронной эмиссии образуется электронное облако. Электроны разгоняются высоким напряжением, приложенным между катодом и анодом, и ударяются о поверхность анода. Большая часть энергии движения электронов при торможении выделяется в виде тепла, меньшая – в виде рентгеновского (или тормозного) излучения. Интенсивность излучения можно регулировать путем изменения числа электронов или их скорости. В первом случае изменяют температуру нагрева спирали, изменяя тем самым ток через трубку.

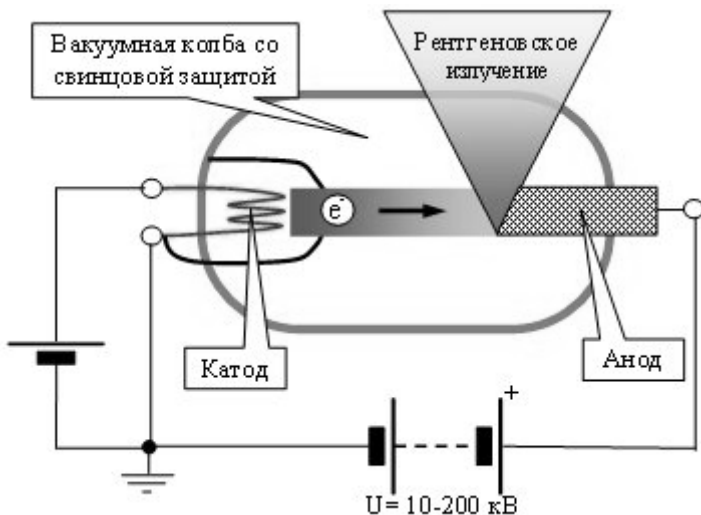


Рис. 1.1

В рентгенодиагностике применяются величины тока в пределах 0,2–1000 мА. Напряжение на трубке влияет на интенсивность и ка-

чество излучения. Интенсивность излучения возрастает пропорционально квадрату приложенного излучения. Качество излучения определяется длиной его волны. Чем выше скорость электронов (т. е. чем выше напряжение), тем большую энергию они имеют, тем больше жесткость излучения (короче длина волны). Чем больше жесткость излучения, тем выше его проникающая способность. Мягкое излучение образуется при 40–60 кВ, средней жесткости – при 60–110 кВ, повышенной жесткости – при 110–150 кВ.

Поток лучей, исходящий из рентгеновской трубки, не однороден, а состоит из волн различной длины. Это происходит из-за того, что анод поглощает электроны, имеющие различную энергию, а также из-за того, что к трубке приложено выпрямленное переменное (пульсирующее) напряжение. В разные моменты времени амплитуда напряжения имеет равные значения, что приводит к появлению в спектре излучения различных длин волн.

При прохождении через различные тела рентгеновские лучи ослабляются. Это ослабление происходит вследствие поглощения и рассеивания лучей. Поглощение лучей происходит из-за расходования энергии излучения на удаление электронов из атомов среды (фотоэлектрический эффект). Следствием фотоэффекта является ионизация и связанные с ней химические реакции – разложение и образование соединений. На разложении соединений серебра в эмульсиях рентгеновских пленок основана рентгенография.

Наряду с поглощением ослабление лучей происходит также за счет их рассеяния. При этом часть лучей, встречаясь с электронами среды, через которую они проходят, отклоняются от первоначального направления. Эти отклоненные лучи уходят в сторону от основного пучка лучей и тем самым ослабляют его. При этом, если энергия излучения невелика, длина его волны при отклонении остается неизменной. Это классическое рассеяние. При более жестком излучении, возникающем при напряжении около 100 кВ, излучение может выбивать электроны из атомов, так же, как при ионизации. Выбитый электрон унесет лишь часть энергии, остальная сохранится в виде рассеянного излучения с более низкой энергией (с большей длиной волны).

Это вторичное излучение может в свою очередь вызывать третичное и так далее до полного расхода энергии основного излучения. Это рассеяние с изменением длины волны называется комптоновским.

Излучение, возникающее при очень высоких напряжениях (свыше 1000 кВ), способно поглощаться в виде образования новых частиц. Квант излучения при поглощении «исчезает», а вместо него «возникают» две противоположно заряженные частицы – позитрон и электрон. Этот процесс называется поглощением с образованием пар.

Рентгеновские лучи распространяются прямолинейно в видеходящегося пучка. В результате этого на одну и ту же площадь по мере удаления от источника попадает меньше лучей. Величина ослабления пропорциональна квадрату расстояния.

Биологическое действие рентгеновского излучения

Как уже было сказано, одним из механизмов поглощения лучей является ионизация. Она вызывает изменение химической структуры вещества и образование новых соединений. Это приводит к разрушению клеток биологических тканей и вырабатываемых ими химических веществ. При больших дозах такой процесс может наступить очень быстро. Малые же дозы могут изменять свойства клеток в последующих поколениях, когда утрачиваются их функции и жизнеспособность. Наиболее чувствительны к излучению клетки костного мозга, вырабатывающие форменные элементы крови, половые клетки, содержащиеся в половых железах (гонадах), клетки слизистой оболочки кишечника, хрусталик глаза. Это так называемые «критические органы». При рентгенологическом исследовании рекомендуется использовать минимально возможные дозы облучения, а также по возможности прикрывать критические органы специальными экранами из свинца или просвинцованной резины. Рекомендуется также увеличивать кожно-фокусное расстояние (расстояние между фокусным пятном рентгеновской трубки и кожей пациента). При этом доза излучения на кожу становится меньше.

При исследованиях предпочтительнее применять мощные трехфазные аппараты с 6- или 12-вентильным выпрямителем (см. ниже). В таких аппаратах меньше пульсации высокого напряжения на трубке, следовательно, в излучении будет меньше мягких лучей, которые не достигают пленки и не участвуют в создании изображения, а, целиком поглощаясь в теле, увеличивают лучевую нагрузку. Вообще, чем меньше аппарат, тем он опасней, так как в нем больше пульсации высокого напряжения и больше мягких лучей в излуче-

нии. Маломощный генератор высокого напряжения не позволяет снимать с малыми выдержками и доза облучения увеличивается.

При рентгеноскопии, когда исследование изображения производится во время экспозиции, для уменьшения дозы облучения применяют системы усиления рентгеновского изображения и рентгено-телевизионные системы.

Для снижения количества мягких лучей применяют фильтры в виде алюминиевых пластин толщиной от 1 до 5 мм в зависимости от напряжения на трубке.

Большое значение для пациента имеет и ширина пучка излучения. Рекомендуется использовать пучок минимально необходимой ширины. Для контроля ширины пучка (величины входного поля) в тубус рентгеновского аппарата вводят световой визир (рис. 1.2). С его помощью можно отрегулировать диафрагму на оптимальную ширину пучка.

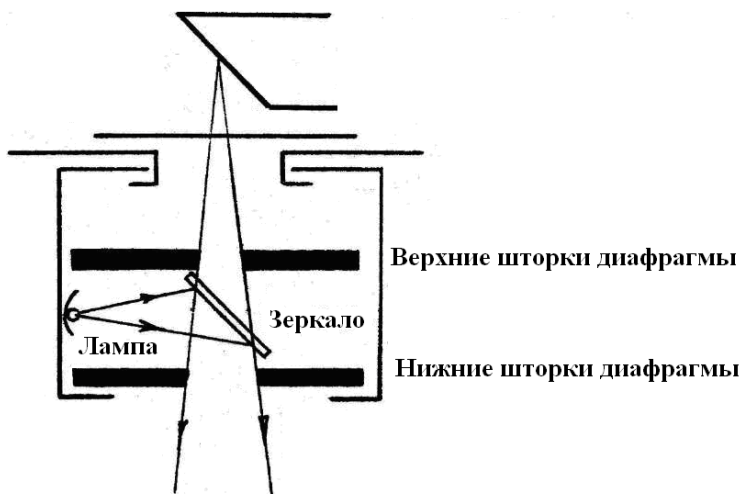


Рис. 1.2

Формирование рентгеновского изображения

Возникновение изображения

Рентгеновские лучи, проходя сквозь тело человека, по-разному поглощаются различными тканями. Если сравнить между собой вещества, входящие в состав человеческого тела, то можно видеть как

различаются их плотности: кости – 1,9; хрящи – 1,09; мышцы – 1,04; вода – 1,0; жир – 0,94; воздух – 0,0013 г/см³. Чем выше плотность, тем сильнее ткань поглощает рентгеновские лучи. Если принять поглощение водой за единицу, то показатели относительного поглощения веществами, входящими в тело человека таковы: воздух – 0,01; жир – 0,5; углерод – 0,7; фосфорнокислый кальций – 22,0. Эта разница приводит к тому, что рентгеновские лучи после прохождения через тело несут в себе информацию о рентгеновском изображении, которое визуализируется, попадая на флюоресцирующий экран или фотопластинку

Проекция

Рентгеновское излучение, полученное на экране или фотопластинке, является плоским, т. е. все части структуры, расположенные на разных расстояниях от экрана, будут располагаться на нем в одной плоскости. Поэтому для получения достоверной информации рентгенологическое исследование проводится не менее чем в двух проекциях. Кроме того, рентгеновское изображение получается увеличенным. Это происходит из-за того, что лучи распространяются расходящимся пучком из фокусного пятна. Степень увеличения зависит от расстояний между фокусом трубки, исследуемым объектом и экраном (фотопластинкой). Следует иметь в виду, что увеличение деталей объекта, лежащих на разной глубине, будет различным, что вызывает искажение формы анатомических структур. Чтобы искажение не было чрезмерным, при рентгенографии применяют правило, согласно которому расстояние фокус – пленка должно превышать толщину объекта не менее чем в пять раз. Искажения также возникают, когда центральный луч не перпендикулярен пленке (проекционное искажение).

Резкость изображения

Если на рентгенограмме переход от одной степени почернения к другой происходит скачкообразно, то изображение считается резким. При плавном переходе между тенью изображения и фоном, когда между ними имеется переходная тень шире 0,16–0,25 мм, изображение считается нерезким. Нерезкость имеет различное происхождение, в связи с этим различают геометрическую, динамическую и экранную нерезкости.

Геометрическая нерезкость зависит от величины фокусного пятна на аноде трубки, расстояния фокус – пленка и объект – пленка. Чем выше мощность трубки, тем больше фокусное пятно, так как при работе трубки температура в фокусе поднимается очень высоко, и большая нагрузка на трубку с малым фокусом может привести к его расплавлению. Величина фокусного пятна в различных трубках колеблется от $0,3 \times 0,3$ мм до $2,0 \times 2,0$ мм. Механизм образования геометрической нерезкости показан на рис. 1.3 и не нуждается в дополнительных комментариях. Для уменьшения геометрической нерезкости рекомендуется максимально возможно уменьшать расстояние объект – пленка и увеличивать расстояние фокус – пленка. Нерезкость может создаваться и из-за неровной поверхности анодного зеркала (фокусного пятна), которая возникает в связи с расплавлением вещества анода при больших нагрузках на трубку.

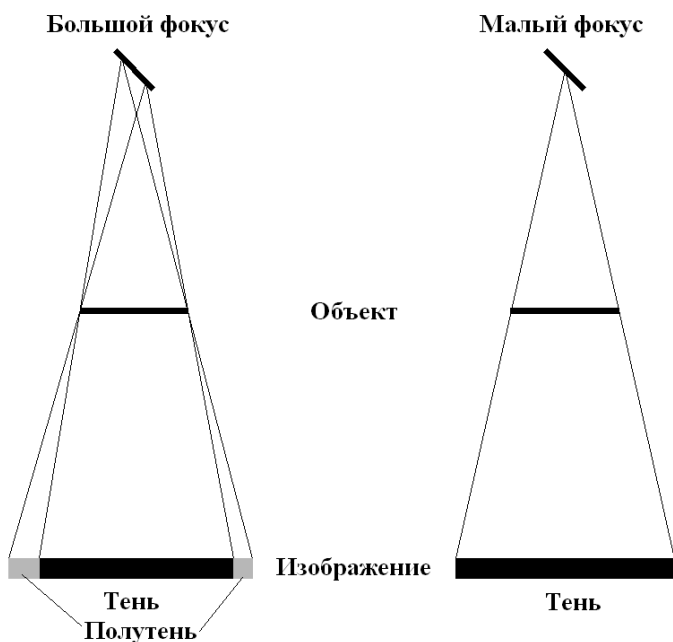


Рис. 1.3

Динамическая нерезкость обусловлена движениями органа или тела во время экспозиции. Произвольные движения человека могут

быть исключены фиксации тела или его отдельных частей. Однако, некоторые органы движутся независимо от воли человека со сравнительно высокими скоростями: контуры сердца – до 200 мм/с; легких – 190 мм/с; аорты – 130 мм/с; корней легких – 90 мм/с; перистальтика пищеварительного тракта – 1–6 мм/с. Практически установлено, что выдержка в 0,02 с достаточна для исключения динамической нерезкости при съемках сердца и других органов груди. Исключение составляют коронарные сосуды и некоторые участки сердца, где оптимальная выдержка равна 0,004–0,01 с.

Экранная нерезкость возникает из-за того, что образующееся в эмульсии экранов свечение рассеивается в их толще и создает нечеткость изображения. Высокочувствительные экраны с толстым слоем эмульсии создают нерезкость до 0,5 мм, более тонкие нежорисующие экраны с высокой разрешающей способностью – 0,2 мм.

Контраст

В рентгеновском изображении контраст – это разность в почернении двух соседних участков рентгенограммы. Контраст исчисляется в процентах. Если в одном участке исследуемой области тела до пленки дошла доза в 1 Р, а в соседнем 0,5 Р, то разность в степени почернения этих участков (контраст) составит 100 %. Наименьшая контрастность, воспринимаемая глазом при изучении рентгенограмм (порог контрастной чувствительности) составляет 2,5 %. При рентгеноскопии порог контрастной чувствительности даже при длительной адаптации (25 мин) составляет в среднем 10–20 %. Наличие нерезкости повышает порог контрастной чувствительности.

Многие органы состоят из элементов с одинаковой атомной массой, и потому их внутренние структуры – каналы, кровеносные и лимфатические сосуды на обычной рентгенограмме не видны. Для получения их рентгеновского излучения в них вводят контрастные вещества – создают искусственный контраст. Искусственные контрастные вещества делятся на негативные (азот, кислород), атомная масса которых меньше эффективной атомной массы тканей, и позитивные с более высокой атомной массой (бром, йод, барий). Эффективная атомная масса тканей человека лежит в пределах 18,01–40,07. Указанные контрастные вещества по атомной массе находятся за пределами этих величин (например, кислород – 14,01; барий – 137,36).

Наиболее широко распространенное рентгеноконтрастное вещество – серноокислый барий в виде мелкодисперсной взвеси в воде.

Как уже говорилось, ослабление рентгеновского пучка в теле человека происходит за счет поглощения и рассеивания. При этом, чем жестче первичное излучение, тем в большей степени ослабление идет за счет рассеяния. Рассеянное излучение возникает в любом предмете, на который попадают лучи: в частях аппарата, в теле пациента. Попадая на пленку, оно вызывает ее слабое почернение и тем самым уменьшает контрастность и резкость изображения, Рассеяние тем больше, чем больше толщина тканей, через которое проходит излучение, и шире пучок лучей (входное поле).

Поэтому для получения изображения лучшего качества нужно применять более узкий пучок лучей. С этой целью к кожуху трубки прикрепляют специальные цилиндрические или конические тубусы. Для тех же целей более эффективно применение диафрагм с подвижными свинцовыми шторками. Лучше, если шторки расположены в два этажа (глубинная диафрагма, рис. 1.2). Это позволяет более совершенно избавляться от рассеянных лучей, образующихся в самой диафрагме. Источник света позволяет точно задать размеры и положение входного поля до включения трубки. Для уменьшения количества рассеянного излучения, попадающего на пленку, нижняя крышка кассеты имеет свинцовое покрытие для поглощения рассеянного излучения от поверхности стола, а между исследуемой частью ж кассетой устанавливают отсеивающие решетки (рис. 1.4).

Решетка состоит из большого числа тонких свинцовых или вольфрамовых пластин, отделенных друг от друга полосками бумаги или другого материала, пронизываемого для рентгеновских лучей. Пластины расположены таким образом, что если продолжить направления поверхностей каждой пластины, то все они сойдутся в одной точке – фокусе решетки. Для правильной работы фокус решетки должен совпадать с фокусом рентгеновской трубки. Большое значение имеет также отношение высоты пластинок к расстоянию между ними – чем оно больше, тем больше эффект поглощения рассеянного излучения. При обычных режимах используются решетки с отношением 6:1, 8:1, поглощающие 70–80 % рассеянного излучения, при жестколучевом режиме (свыше 100 кВ), когда рассеянного излучения больше применяют решетки с отношением 10:1. Сovre-

менные решетки содержат 40–50 пластинок на 1 см (мелкорастровые). Вообще решетки бывает трех типов:

- 1) с фокусированным расположением пластинок;
- 2) с параллельными пластинками (применяются только при больших фокусных расстояниях);
- 3) с перекрестным расположением пластинок: на каждый квадратный сантиметр в таких решетках приходится по 50 пластинок в каждом из двух направлений, то есть они имеют 2500 точек/см²).

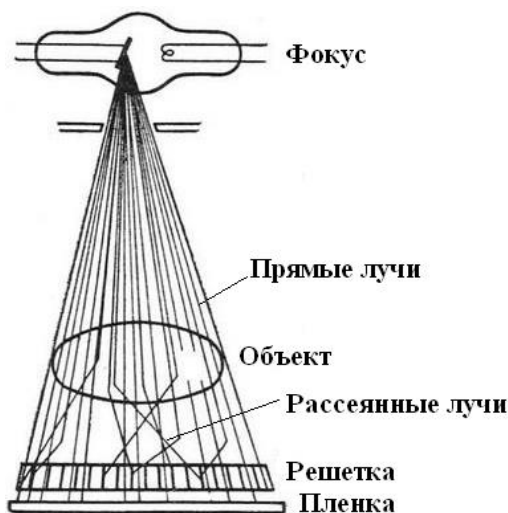


Рис. 1.4

Выравнивающие фильтры

При рентгенографии часто бывают ситуации, когда в одних участках нужно «приглушить» изображение по сравнению с другими. Для этого применяют выравнивающие фильтры в виде пластинок из алюминия, ослабляющие пучок в нужных местах. Часть лучей проходит через алюминиевые пластины и ослабляется, а часть проходит через просвет между пластинами.

Усиливающие экраны

Рентгеновское изображение создается на пленке благодаря воздействию на ее эмульсию двух факторов: самого рентгеновского излучения и свечения усиливающих экранов. Непосредственное воз-

действие рентгеновских лучей на эмульсию пленок довольно слабое, поэтому почернение пленки происходит на 95 % за счет свечения экранов, возникающего под действием рентгеновского излучения. Усиливающие экраны состоят из четырех слоев: несущего, отражающего, светящегося (флюоресцирующего) и защитного (рис. 1.5).

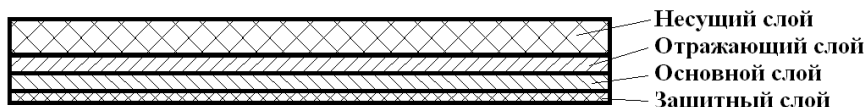


Рис. 1.5

Несущий слой выполняют из твердого малопоглощающего рентгеновские лучи материала (картон, пластмасса). Отражающий слой состоит из окиси титана, его назначение – направлять все свечение, возникающее в флюоресцирующем слое, в сторону пленки. Светящийся слой толщиной 3–12 мкм состоит из кристаллов вольфрамата кальция, заключенных в прозрачное эластичное вещество. Чем толще светящийся слой, тем выше разрешающая способность экрана. Светящийся слой покрыт тонким защитным слоем (обычно это лак), который предохраняет его от механических повреждений. Так как рентгеновская пленка имеет двустороннюю эмульсию, при рентгенографии применяются два экрана – передний и задний. Есть комплект (например «Стандарт»), где оба экрана взаимозаменяемы, есть комбинации (например, УФДМ), где задний экран более толстый, чтобы выравнять действие излучения, ослабленного при прохождении через пленку и передний экран. Экраны делятся на три типа: нежнорисующие, универсальные и высокочувствительные. В перечисленном порядке у них повышается яркость и снижается резкость изображения.

Экраны для рентгеноскопии и флюорографии имеют похожую конструкцию, только защитным слоем служит просвинцованное стекло. Светящийся слой в них состоит из кристаллов цинк-кадмий-сульфада, создающих желто-зеленое свечение. Эти экраны должны иметь яркое свечение и короткое послесвечение. Резкость изображения не имеет большого значения, так как разрешающая способность глаза, адаптированного к темноте, относительно невелика. Поэтому величина кристаллов в светящемся слое больше, чем в экранах для рентгеноскопии – до 30 мкм.

Рентгеновские пленки

Пленки для рентгенографии состоят из нескольких слоев. Несущий слой (основа) – из нитрата целлюлозы толщиной 0,2 мм, желтовато-белого или голубого цвета, прозрачный для видимого света. В настоящее время чаще применяется ацетатная основа, менее опасная в пожарном отношении. С двух сторон на пленку нанесен светочувствительный слой из желатиновой основы, в которой взвешены зерна бромистого серебра. Сверху этот слой закрыт тонким прозрачным слоем, защищающим от механических повреждений. Двусторонняя эмульсия повышает контрастность, так как серые и черные участки, накладываясь друг на друга, взаимно усиливаются в два раза. Пленки для флюорографии имеют одностороннюю эмульсию, так как это по сути дела фотография с экрана. Чувствительность пленки измеряется в обратных рентгенах. Чувствительность в 100 обратных рентген означает, что для почернения эмульсии до стандартной степени потребуется доза в 0,01 Р. Если такое же почернение вызывает доза, в три раза меньшая, то чувствительность пленки равна 300 обратных рентген.

Основные элементы рентгеновского аппарата

Основными частями рентгеновского аппарата являются: рентгеновская трубка, высоковольтный генератор (трансформатор), штатив для крепления трубки и расположения пациента, пульт управления.

Рентгеновские трубки

Рентгеновская трубка состоит из замкнутого стеклянного цилиндра, в котором находятся катод и анод. Из цилиндра откачан воздух. Стеклянная оболочка трубки выполнена из боросиликатного стекла, задерживающего мягкие лучи (собственная фильтрация трубки). Толщина стекла 1,5–2 мм, что по степени фильтрации эквивалентно слою алюминия толщиной 1 мм.

Катод представляет собой вольфрамовую спираль, смонтированную в фокусирующее устройство для точного направления потока электронов на анод.

Анод выполнен в виде массивного электрода с косым срезом, обращенным в сторону катода. В центре среза смонтирована отполированная вольфрамовая пластинка (анодное зеркало). Участок зеркала, на который падает поток электронов, называется электрическим фо-

кусом или фокусным пятном. Его форма и площадь определяются конструкцией катода и фокусирующего устройства. Обычно фокусное пятно формируется в виде полоски. Будучи расположенной под углом, полоска фокусируется на пленку в виде квадрата (рис. 1.6). Обычно трубка имеет два фокуса – малый размером $0,3 \times 0,3$ мм, когда нужна высокая резкость изображения, и большой до 2×2 мм, когда необходима большая мощность излучения. Под мощностью трубки понимают максимально допустимую мощность, при которой фокус трубки не выходит из строя. Численно она определяется произведением напряжения на трубке на ток через нее.

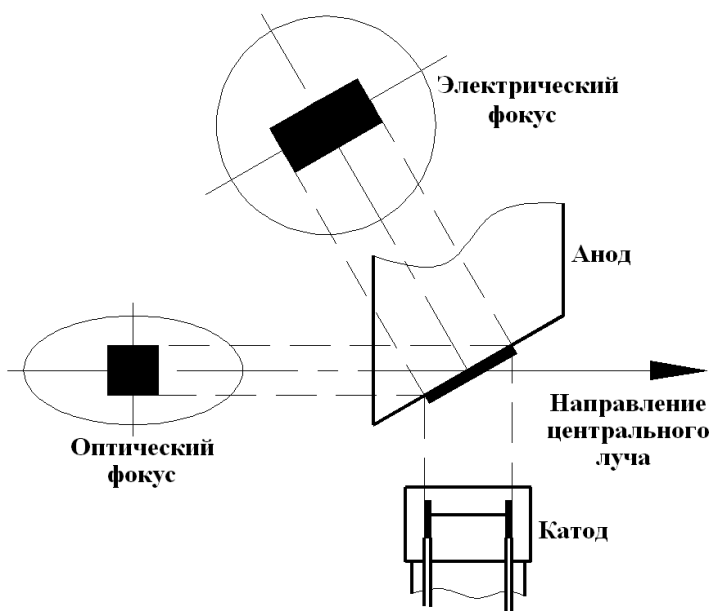
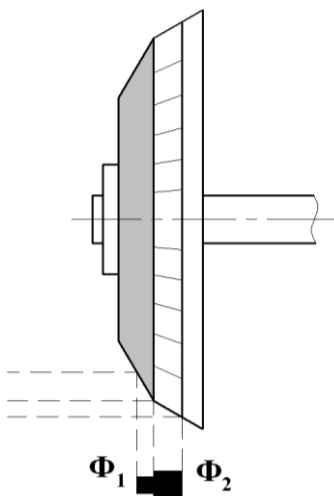


Рис. 1.6

Так как при работе анод сильно нагревается, то для предотвращения его повреждения аноды мощных трубок выполняют вращающимися. В них фокус постоянно меняет положение, и нагрев анодного зеркала не превышает 1000° . Скорость вращения анода – от 5600 до 9000 об/мин. Вращение анода осуществляется за счет подачи на статор, расположенный снаружи трубки, переменного напряжения частотой 50, 100 или 150 Гц. В такой трубке также

имеются два фокуса за счет разных углов наклона анодных зеркал (рис. 1.7). Типичная конструкция рентгеновской трубки с вращающимся анодом приведена на рис. 1.8.



Φ_1 – малый фокус; Φ_2 – большой фокус

Рис. 1.7

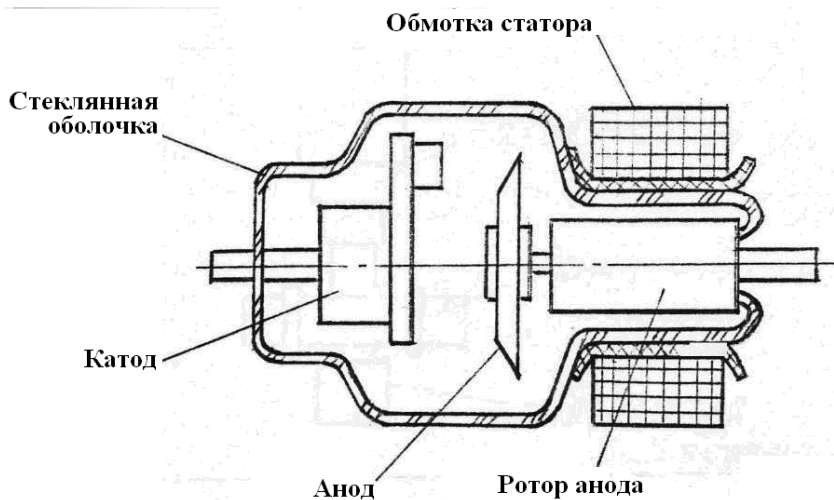


Рис. 1.8

Штативы

Многочисленные конструкции штативов можно объединить в две группы: универсальные, позволяющие производить рентгеноскопию и рентгенографию, и снимочные. В наиболее распространенных универсальных штативах одной из основных частей является вертикальная стенка (дека), положение которой можно регулировать (рис. 1.9). Экраноснимочное устройство закреплено на подвижной каретке вместе с рентгеновской трубкой. Часто применяют также потолочные штативы (рис. 1.10).

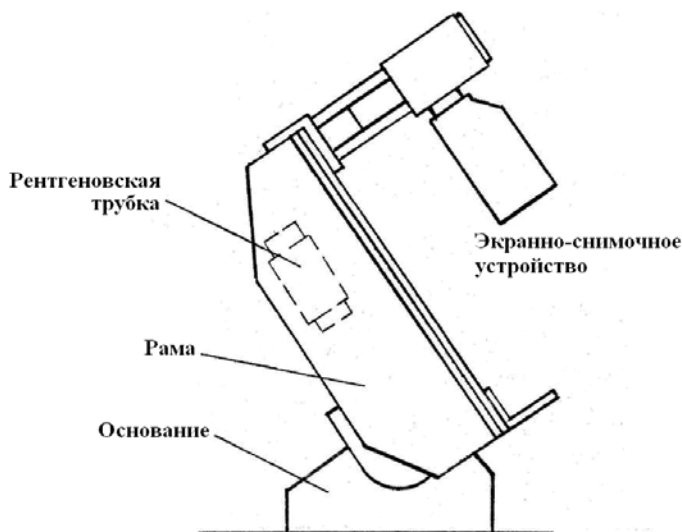


Рис. 1.9



Рис. 1.10

Высоковольтный генератор

Это электрическое устройство, позволяющее преобразовывать переменное напряжение сети в постоянное высокое напряжение, подаваемое на трубку. При питании аппарата от однофазной сети 220 В применяют двухполупериодное выпрямление, при питании от трехфазной сети 380 В – 6- или 12-вентильное выпрямление. Как видно на рис. 1.11, питание от трехфазной сети позволяет получить намного меньшие пульсации высокого напряжения, что обеспечивает большую однородность рентгеновского излучения.

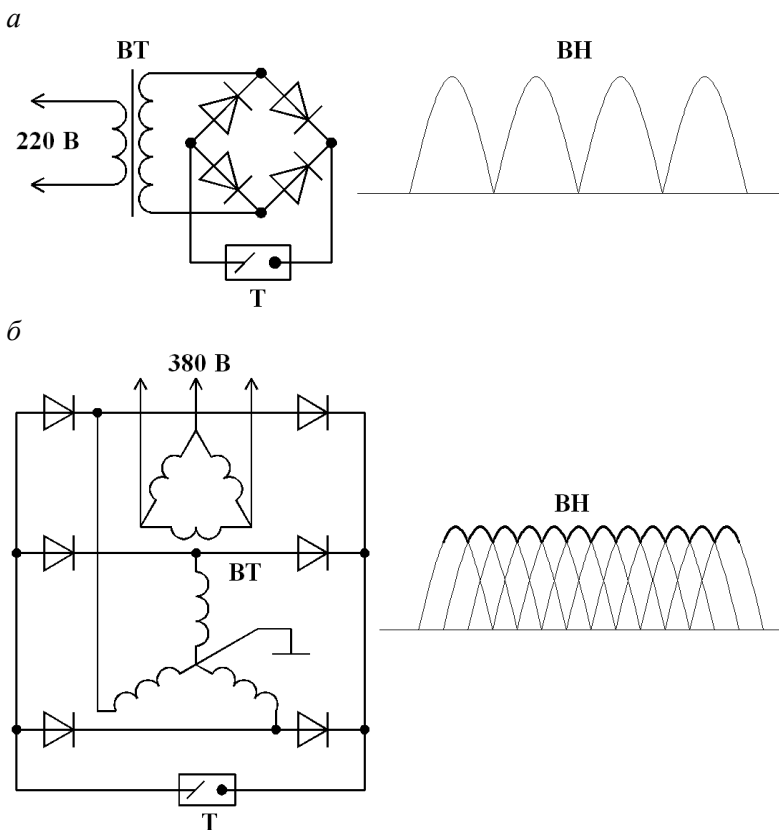


Рис. 1.11:

а – двухполупериодный выпрямитель; б – трехфазный 6-вентильный выпрямитель;
ВТ – высоковольтный трансформатор; Т – рентгеновская трубка;
ВН – высокое напряжение на рентгеновской трубке

Пульт управления

Пульт управления представляет собой устройство для управления режимами работы рентгеновского аппарата. На панель пульта управления обычно выводятся регуляторы анодного тока и напряжения с показывающими приборами, выключатели сети и высокого напряжения. Кроме того, могут быть выключатели сервомоторов для изменения положения штатива, переговорное устройство, часы и другие сервисные устройства.

Виды рентгеновских аппаратов

Рентгеновские аппараты в зависимости от назначения могут быть разных типов: переносные, палатные, подвижные и стационарные.

Переносные аппараты имеют малый вес и размеры. Количество узлов сведено к минимуму. Для питания используется однофазная сеть, трубка работает с неподвижным анодом. Аппарат обычно находится в чемодане.

Палатные аппараты имеют более высокую мощность. Они обычно состоят из высоковольтного генератора, смонтированного на тележке. На ней же установлена вертикальная штанга, выполняющая функцию штатива. На штанге смонтирован горизонтальный держатель с кожухом трубки.

Подвижные аппараты также компактны, но имеют более высокую мощность, чем предыдущие. Трубка имеет вращающийся анод. Все перечисленные аппараты питаются от однофазной сети.

Стационарные аппараты – большие и мощные, выполняются для разнообразных целей, обеспечивают выполнение рентгенографии и рентгеноскопии. Обычно они имеют два рабочих места: универсальный штатив и снимочный стол, что позволяет проводить исследование всего организма.

Специальные диагностические процедуры выполняют на специализированных аппаратах: ангиографы, маммографы, томографы.

Палатный рентгеновский аппарат NANODOR 2

Аппарат выпускался фирмой Siemens в 70-е годы XX века. Он предназначен для рентгенографии и имеет конструкцию, характерную для палатных рентгеновских аппаратов (рис. 1.12).

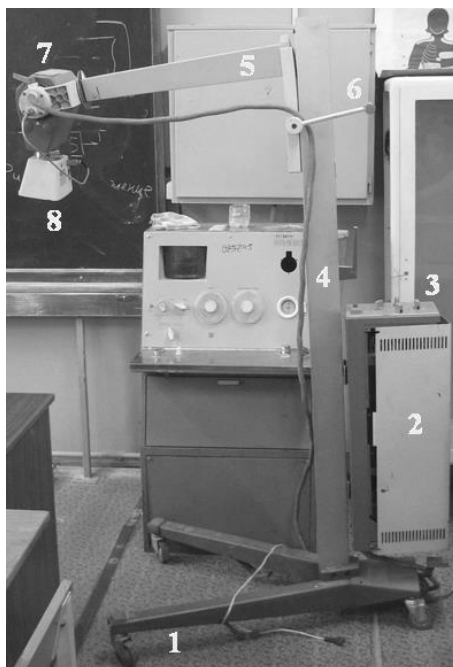


Рис. 1.12

На колесной тележке 1 установлен высоковольтный генератор 2, в верхней части которого смонтирован пульт управления 3. Кроме того, на тележке закреплена вертикальная стойка 4, по которой в вертикальном направлении перемещается траверса 5. Перемещение осуществляется с помощью реечной передачи рукояткой 6. На траверсе установлен кожух 7 с рентгеновской трубкой и глубинной диафрагмой 8. Кожух имеет шарниры, позволяющие поворачивать его вокруг двух осей на углы α_1 и α_2 .

Рентгеновская трубка имеет неподвижный анод и рассчитана на напряжение до 90 кВ при максимальном токе 20 мА.

Глубинная диафрагма имеет конструкцию, аналогичную показанной на рис. 1.12. В данном случае роль верхних шторок выполняет отверстие в корпусе диафрагмы, нижние шторки представляют собой сменные пластины с отверстиями разной площади. Это позволяет при расстоянии фокус-пленка 70 см получать размер снимка от $25,6 \times 35,6$ мм до 13×18 мм.

Высоковольтный генератор выполнен по схеме двухполупериодного выпрямителя (аналогично рис. 1.11, а) на основе селеновых полупроводниковых вентилей. Питание аппарата от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В. В верхней части блока генератора установлен пульт управления (рис. 1.13). Пульт имеет следующие органы управления и индикации:

- стрелочный индикатор 1 для контроля величины питающего напряжения. Аппарат включается в сеть переключателем 4 (крайнее левое положение – аппарат выключен). Переключатель имеет несколько положений для регулирования входного напряжения, подаваемого на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Это сделано для использования аппарата в условиях, где величина сетевого напряжения ниже 220 В (в сельской местности, при питании от автономных генераторов и т. п.). При нормальном напряжении на первичной обмотке высоковольтного трансформатора стрелка индикатора 1 находится в закрашенном секторе;

- индикаторные лампочки 2 (зеленая – индикатор включения сети) и 3 (красная – индикатор включения высокого напряжения на трубке);

- переключатель времени экспозиции 5. Встроенный таймер позволяет задавать время экспозиции от 0,1 до 5,0 секунд;

- переключатель 6 величины высокого напряжения на рентгеновской трубке от 50 до 90 кВ;

- переключатель величины тока через трубку 7. Величина тока регулируется изменением напряжения накала на катоде трубки;

- кнопка дистанционного включения высокого напряжения. Кнопка соединена с высоковольтным генератором с помощью гибкого шнура.

Перед включением аппарата все переключатели должны находиться в крайнем левом положении. Аппарат включается и переключателем 4 выбирается такое напряжение на первичной обмотке высоковольтного трансформатора, чтобы стрелка индикатора 1 находилась в закрашенном секторе. Затем переключателями 5–7 устанавливаются необходимые значения времени экспозиции, напряжения на трубке и тока через трубку. Аппарат после этого готов к работе.



Рис. 1.13

Выполнение работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Изучить конструкцию аппарата.
3. Ознакомиться с конструкцией элементов аппарата, описанных в теоретическом материале.

Содержание отчета

1. Схема компоновки аппарата.
2. Описание элемента конструкции, заданного преподавателем.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Что такое рентгеновское излучение?
2. Каковы основные параметры рентгеновского излучения?
3. Как формируется рентгеновское излучение?
4. Основные элементы рентгеновского аппарата.

Литература

Тихонов, К. Б. Техника рентгенологического исследования / К. Б. Тихонов. – Л. : Медицина, 1978. – 280 с.

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И ВОДЫ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ ОБОГАЩЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с методами и средствами измерения радиоактивности.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Радиометр КРВП-3Б– 1 шт.
2. Исследуемые образцы.

Основные положения

В связи с широким распространением в природе радионуклидов естественного и искусственного происхождения, в связи с постоянно увеличивающимся применением их в народном хозяйстве радиоактивное загрязнение внешней среды носит глобальный характер. Основными источниками загрязнений являются ядерные взрывы и выбросы радионуклидов предприятиями ядерной энергетики. Прослеживается тенденция дальнейшего повышения уровня загрязнения.

Радиоактивные продукты, образующиеся при ядерных взрывах, проникают в тропосферу и в стратосферу. Крупные частицы выпадают вблизи эпицентра, мелкие распространяются на большие расстояния и попадают на землю с атмосферными осадками. Радионуклиды, попавшие во внешнюю среду, становятся источниками длительного α - и β -облучения растительных и животных организмов, попадают в организм человека и животных. Активность этих выпадений в основном обусловлена изотопами ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Радиационная обстановка при эксплуатации АЭС определяется в основном инертными радиоактивными газами и изотопами йода, а кроме того другими продуктами деления (^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs и др.), продуктами коррозии (^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr и др.). Для реакторов на быстрых нейтронах основными источниками загрязнений являются ^{22}Na , ^{24}Na , ^{41}Ar . Продукты ядерной энергетики являются источниками α -, β -, γ -облучений.

Продукты ядерного деления (ПЯД) поступают в организм человека ингаляционным (через органы дыхания, раны и ожоговые поверхности) и пищевым путем. При ингаляционном поступлении ПЯД радиоактивные частицы задерживаются в верхних дыхательных путях, поступают в легкие, альвеолы, желудочно-кишечный тракт, накапливаются в лимфатических узлах, становятся источниками интенсивного облучения.

Один из основных источников поступления радионуклидов в организм человека – растительная и животная пища, вода. Поступившие в организм радионуклиды, претерпевая физико-химические и биологические изменения, накапливаются в клеточных структурах органов и тканей и становятся источником длительного облучения.

Эффект облучения зависит от величины поглощенной дозы, ее мощности, объема облученных тканей и органов, вида излучения.

Поглощенная доза излучения измеряется энергией ионизирующего излучения, переданного массе облучаемого вещества. Единица поглощенной дозы – грей (Гр), равная одному джоулю, поглощенному одним килограммом вещества ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$).

Для оценки возможного ущерба здоровью человека при хроническом облучении введено понятие эквивалентной дозы H , которая равна произведению поглощенной дозы D на средний коэффициент качества ионизирующего излучения k в данном элементе объема биологической ткани:

$$H = Dk.$$

Единица эквивалентной дозы – зиверт (Зв), равный 1 Дж/кг ($1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$).

Значения коэффициента k приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вид измерения	k
Рентгеновское и γ -излучение	1
β -излучение	1
Протоны с энергией < 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией < 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1–10 МэВ	10
α -излучение	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Для оценки ущерба здоровью при неравномерном облучении введено понятие эффективной дозы $H_{эф}$, применяемой при оценке возможных злокачественных новообразований

$$H_{эф} = W_T H_T,$$

где H_T – среднее значение эквивалентной дозы в органе или ткани;

W_T – коэффициент, равный отношению ущерба облучения всего тела при одинаковых эквивалентных дозах.

Значения коэффициента W_T приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Орган или ткань	W_T
Половые железы	0,25
Молочные железы	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Кость (поверхность)	0,03
Остальные органы (ткани)	0,3
Все тело	1,0

Методы измерений активности

Основной закон радиоактивного распада имеет вид:

$$dN/dt = -\lambda N,$$

где N – число атомов радионуклида на данный момент времени;

λ – постоянная распада этого радионуклида.

Период полураспада равен $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$. При этом число оставшихся радиоактивных атомов спустя промежуток времени t определяется соотношением:

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda t) = N_0 \cdot \exp(-\ln 2 t / T_{1/2}).$$

Активность радионуклида представляет собой уменьшение числа его ядер за интервал его времени dt и, следовательно, для нее

справедливо выражение $A = \lambda N$ и $A(t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda T)$. Единица активности в системе СИ – 1 Беккерель (1 Бк), представляющий собой один распад в секунду. Исторически первая единица радиоактивности – Кюри (1 Кю), т. е. радиоактивность радона, находящегося в равновесии с 1 г радия. 1 Кю = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Одному Бк соответствует $T_{1/2} = \ln 2$ атомов ($T_{1/2}$ в секунду).

Для измерения радиоактивных излучений используют приборы, основанные на ионизационных явлениях в газах, вызываемых излучением и приборы, основанные на влиянии излучения на твердые тела.

Ионизационные приборы

Если в объеме газа под влиянием облучения образуются ионы, то появляется ток, зависящий от величины приложенного напряжения U (рис. 2.1). В зоне I напряженность поля такова, что почти все ионы успевают дойти до электродов до их рекомбинации, и ионизационный ток I не зависит от U , а только от плотности потока частиц или мощности дозы. Этот режим является основным для работы ионизационных камер. Прибор с ионизационной камерой (рис. 2.2) состоит из камеры К с двумя электродами (внутренним и внешним), источника напряжения, показывающего прибора G и измерительного высокоомного резистора R . Ионизационный ток измеряют по величине падения напряжения на резисторе R . Диапазон измерения таких приборов 10^{-6} – 10^5 Гр/ч.

Область II – так называемая область пропорциональности. Кинетическая энергия ионов настолько велика, что они при соударениях вновь образуют пары ионов. Коэффициент газового усиления составляет 10^3 – 10^5 , кроме того, по числу первично образованных ионов можно определить вид и энергию излучения. В этой области работают пропорциональные счетчики, имеющие высокую чувствительность.

Область III – область с самостоятельным разрядом. Каждая первичная ионизация вызывает возникновение разрядных импульсов в камере. В таком режиме работают счетчики актов испускания (Гейгера–Мюллера), имеющие коэффициент газового усиления 10^7 – 10^{10} , что позволяет использовать их для регистрации очень малых активностей. Однако соотношение между результатом измерения и измеряемой величиной зависит от энергии частиц, и установить его практически невозможно.

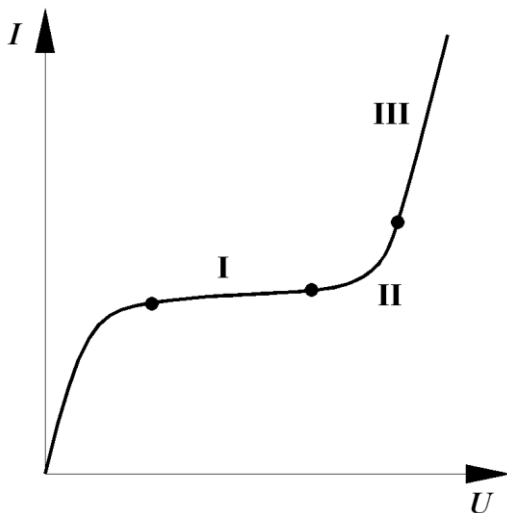


Рис. 2.1

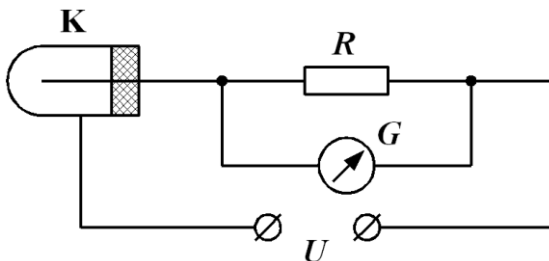


Рис. 2.2

Приборы, основанные на воздействии излучения на твердые тела

1. Полупроводниковые детекторы

Поглощенное излучение создает в диоде пары электрон-дырка, которые наводят электрический сигнал. Преимущество полупроводниковых детекторов в том, что для образования пары электрон-дырка требуется примерно в десять раз меньше энергии, чем для образования пары ионов в ионизационной камере. Однако суще-

ственным недостатком является сильная зависимость характеристик от температуры и энергии излучения.

2. Сцинтилляционные счетчики

В некоторых материалах (например, в кристаллах NaI) под действием излучения возникают световые вспышки малой продолжительности, которые с помощью ФЭУ преобразуются в электрические сигналы. Эти счетчики имеют высокую чувствительность, но установление точной зависимости между входным и выходным сигналом достаточно трудоемко.

3. Термолюминесцентные детекторы

У некоторых тел, подвергшихся облучению, электроны, поднятые облучением на более высокие энергетические уровни, при нагреве могут быть возвращены в исходное состояние. Часть высвобождающейся при этом энергии может излучаться в виде термолюминесцентного свечения, которое поддается измерению (кристаллы LiF ; CaF_2 ; $CaSO_4$; $Li_2B_4O_7$).

4. Радиоломинесцентные детекторы

Под воздействием излучения некоторые материалы изменяют характер поглощения ими светового потока. Возникающие при этом центры люминесценции используют для обнаружения ионизирующего излучения. Расшифровывающий прибор возбуждает люминесцентные центры и измеряет получившийся световой поток.

5. Окрашиваемые детекторы

Многие вещества (стекло, кварц, алмаз и др.) под влиянием больших доз облучения окрашиваются. Этот эффект после градуировки может быть использован в дозиметрии.

6. Фотографические детекторы

В этом случае используется эффект воздействия излучения на фотопластинку. По степени ее почернения судят о величине излучения. Диапазон измерения 10 мкГр–10 Гр (или 10 мкЗв–10 Зв в дозиметрии). Преимущество этого способа в том, что можно определить не только количество излучения, но и качество, направление.

7. Химическая дозиметрия

В некоторых веществах под действием излучения восстанавливаются ионы (дозиметр Фрикке), происходят химические изменения в полимерах, образуются свободные радикалы в некоторых органических веществах. Эти изменения могут быть обнаружены по способу электронно-спинового резонанса, при помощи окрашивающихся жидкостей или на основе люминесценции. Такие способы подходят для измерения больших доз.

8. Экзоэлектрическая дозиметрия

Во многих непроводящих веществах (BeO , $BaSO_4$, $SrSO_4$) при поглощении излучений электроны переходят на более высокие энергетические уровни, затем под воздействием тепла или света могут вылетать с поверхности материала. Их число может быть определено электронным счетчиком. Такой способ позволяет определять малые дозы излучения (от 10^{-8} Гр).

Радиометр КРВП-ЗБ

Основные технические данные

1. Назначение.

Радиометр КРВП-ЗБ предназначен для измерения объемной β -активности пищевых продуктов и воды прямым методом и методом обогащения.

2. Технические характеристики.

2.1. Радиометр обеспечивает измерение объемной β -активности воды и пищевых продуктов, загрязненных β -активными веществами в пределах:

а) прямым методом от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Кю/л при измерении активности воды и пищевых продуктов;

б) методом с предварительным обогащением от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Кю/л при измерении β -активности воды, загрязненной радионуклидами стронций-90 + иттрий-90.

2.2. Пределы допускаемых значений основной погрешности: 20 % относительно измеряемого значения.

2.3. Дополнительные погрешности измерений не более:

а) ± 5 % при изменении напряжения питающей сети на ± 10 %;

б) $\pm 10\%$ при изменении температуры окружающей среды на $10\text{ }^\circ\text{C}$ в пределах от 25 до $50\text{ }^\circ\text{C}$ и от 15 до $-10\text{ }^\circ\text{C}$;

в) $\pm 5\%$ при наличии постоянного магнитного поля напряженностью 5 Э , переменного магнитного поля напряженностью 1 Э при частоте $400 \pm 8\text{ Гц}$ и 5 Э при частоте $50 \pm 1\text{ Гц}$.

2.4. Предельная частота счета импульсов пересчетного блока составляет 2000 с^{-1} ; объем счета 10^5 имп.

2.5. Пересчетный блок обеспечивает счет импульсов входного сигнала, имеющего параметры:

а) импульсы отрицательной полярности;

б) амплитуда импульсов $0,5\text{--}10\text{ В}$;

в) длительность импульсов не менее 2 мкс .

2.6. Пересчетный блок обеспечивает регулировку уровня дискретизации входного сигнала от $0,5$ до 10 В .

2.7. Питание радиометра осуществляется от сети переменного тока напряжением $220 \pm 22\text{ В}$ или $127 \pm 12,7\text{ В}$ частотой $50 \pm 1\text{ Гц}$, содержание гармоник до 5% . Время установления рабочего режима не более 5 мин .

2.8. При β -измерениях мощность экспозиционной дозы внешнего γ -излучения не должна превышать 72 мкР/ч .

Принцип работы

Радиометр представляет собой установку счета импульсов с блоком детектирования β -излучения и блоком обработки, с помощью которого на катионообменные и анионообменные фильтры происходит осаждение β -активных катионов и анионов.

Измерение β -активности воды и пищевых продуктов основано на измерении с помощью пересчетного устройства и секундомера числа импульсов, поступающих с блока детектирования за определенное время. В качестве детектора β -излучения используется низковольтный галогенный счетчик типа СБТ10А, заключенный в свинцовый домик для снижения внешнего γ -излучения.

В качестве блока обогащения при измерении β -активности воды в диапазоне $10^{-10}\text{--}10^{-8}\text{ Кю/л}$ используется блок обработки.

Блок-схема радиометра

Радиометр состоит из следующих блоков:

1) блок обработки;

2) блок детектирования β -излучения;

3) пересчетный блок, который включает в себя следующие каскады:

- дискриминатор;
- усилитель;
- формирующее устройство;
- пересчетную декаду;
- узел проверки;
- секундомер;
- блок питания.

Импульсы, возникающие в блоке детектирования, по кабелю через дискриминатор и усилитель попадают на формирующий каскад.

В качестве формирующего каскада используется ждущий мультивибратор, обеспечивающий необходимый по амплитуде и длительности импульс для запуска первого каскада пересчетных декад.

Пересчетная схема включает в себя 5 пересчетных декад на декастрах СГ-4 и обеспечивает предельный объем счета 10^5 имп. с непосредственной визуальной индексацией числа зарегистрированных импульсов.

Для определения средней скорости счета, статически распределенных во времени импульсов пересчетный блок включает в себя часы 59ЧП, синхронно связанные с пуском и остановкой пересчетной схеме.

Все питание пересчетной схемы и блоков детектирования осуществляется от блока питания, расположенного в пересчетном блоке.

В радиометре предусмотрена возможность проверки работоспособности пересчетной схемы с помощью переменного напряжения частотой 100 Гц, полученного путем преобразования из напряжения сети 50 Гц двухполупериодным выпрямителем.

Блок детектирования β -излучения

Детектором β -излучения является галогенный счетчик типа СБТ10А.

Тонкое слюдяное окно (плотность слюды 5–0,5 мг/см) с площадью 35 см² позволяет регистрировать β -излучение с энергией от 0,1 МэВ и выше. Импульсы, возникающие под действием β -частиц и γ -квантов, усиливаются и по кабелю передаются на вход пересчетного блока.

Собственный фон счетчика СБТ10А не превышает $2,1 \text{ с}^{-1}$.

Блок смонтирован в плоском пластмассовом корпусе. Со стороны рабочей поверхности счетчика отверстие крышки защищено триацетатной пленкой толщиной 10 мкм ($\rho \approx 1,3 \text{ мг/см}^3$). Блок установлен на специальном держателе в свинцовом домике с толщиной стенок 30 мм, чтобы уменьшить влияние γ -фона на результаты измерения. Передняя стенка откидывается, открывая доступ внутрь домика. Блок детектирования β -излучения прикреплен к верхней стенке домика, к боковым стенкам домика прикреплена рамка с направляющими для установки кюветы с водой или продуктами питания, или кассеты с фильтром. Внешний вид блока детектирования показан на рис. 2.3, а, с откинутой передней стенкой – на рис. 2.3, б.



Рис. 2.3

Блок пересчетный

Схема пересчетного блока содержит дискриминатор, усилитель, формирующий каскад, пересчетные декады, узел проверки, блок питания.

Отрицательные импульсы со счетчика СБТ10А блока детектирования поступают на амплитудный дискриминатор, стоящий на входе пересчетной схемы. Дискриминатор предназначен для устранения шумов ФЭУ в блоках детектирования.

С дискриминатора сигнал поступает на усилительный каскад.

Формирующий каскад служит для запуска первого пересчетного каскада. В качестве формирующего каскада используется ждущий мультивибратор с катодной связью. Выходной отрицательный импульс с мультивибратора амплитудой 150–200 В и длительностью 200 мкс подается на запуск первого каскада пересчетной схемы (декатрона).

Пересчетная декада служит для регистрации и визуального отсчета поступающих на вход импульсов.

Пересчетная декада собрана на декатроне ОГ-4. На каждые 10 входных импульсов декатрон выдает один импульс амплитудой 15 В, который затем усиливается до 150 В и запускает следующий декатрон. Аналогично работают следующие декатроны, обеспечивающие объем счета 10^5 .

Узел проверки служит для определения работоспособности пересчетного блока. В качестве сигнала используется частота сети, преобразованная с помощью усилителя. Частота пульсации, снимаемая с выпрямителя, будет равна удвоенной частоте сети, т. е. 100 Гц для частоты сети 50 Гц.

Пуск, остановка и сброс счета с декатронов осуществляется при помощи контактной группы, смонтированной в секундомере 59 ЧП.

На лицевой панели блока расположены все органы управления: выключатель питающей сети, тумблер «Работа – Проверка», ось резистора регулировки уровня дискриминации (под шлиц), часы 59 ЧП с кнопкой «Пуск» и ручкой «Завод». Для подсчета количества зарегистрированных импульсов на лицевую панель выведены декатроны. Номерная шкала декатронов дает возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счета. Внешний вид блока показан на рис. 2.4.



Рис. 2.4

Блок обработки

Блок обработки служит для получения обогащенных проб из воды при измерении малых β -активностей (10^{-10} – 10^{-8} Кю/л). При этом применяется метод предварительного обогащения с использованием катионо-анионообменных фильтров, придаваемых к радиометру. Для этого резервуар блока обработки, в котором закреплены фильтры в специальных кассетах, заполняется контролируемой водой. Катионо- и анионообменные фильтры обрабатываются в контролируемой воде в течение 15 мин, а затем подсушиваются фильтровальной бумагой. Активность обработанного и подсушенного фильтра измеряется с помощью блока детектирования β -излучения и пересчетного блока. Чувствительность радиометра за счет применения катионо- и анионообменных фильтров увеличивается и при этом обеспечивается измерение объемной β -активности воды с активностью от 10^{-10} до 10^{-8} Кю/л.

В состав блока обработки входят резервуар для контролируемой воды и электродвигатель с крыльчаткой для перемешивания пробы. Внешний вид блока обработки показан на рис. 2.5, а и б (с открытым кожухом).



а



б

Рис. 2.5

Выполнение работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.

2. Подготовить радиометр к работе.

2.1. Ознакомиться с расположением и назначением органов включения и управления, расположенных на лицевой панели радиометра.

Примечания:

1) уровень дискриминации не регулировать;

2) пуск секундомера осуществляется после поворота кнопки «Пуск» влево с последующим нажатием.

2.2. Установить переключатель на пересчетном блоке в положение «Выкл.». Проверить завод часов, установить секундомер в исходное состояние кнопкой «Пуск».

2.3. Подать напряжение на пересчетный блок. Выключатель сети пересчетного блока поставить в положение «Сеть», при этом должна загореться сигнальная лампочка и засветиться декатроны.

2.4. По истечении 5 минут убедиться в исправности радиометра, для чего: перевести переключатель РАБОТА – ПРОВЕРКА в положение ПРОВЕРКА, нажатием кнопки секундомера «Пуск» включить пересчетную схему и через 10 с повторным нажатием кнопки «Пуск» остановить секундомер и пересчетную схему. Количество зарегистрированных декастроны импульсов должно быть равно 1000 ± 30 , что будет соответствовать частоте 50 Гц. Для большей точности можно взять время 100 с, тогда количество зарегистрированных импульсов должно быть 10000 ± 300 имп.

3. Проверить собственный фон блока детектирования. Для этого:

3.1. Подсоединить блок детектирования к пересчетному блоку.

3.2. Переключатель РАБОТА – ПРОВЕРКА поставить в режим РАБОТА.

3.3. Нажатием кнопки секундомера «Пуск» включается пересчетная схема и определяется число импульсов, регистрируемое радиометром от внешнего β -излучения. Время измерения не менее 10 минут.

3.4. По истечении этого времени путем нажатия кнопки «Пуск» пересчетная схема и секундомер останавливаются, и определяется собственный фон.

3.5. Повторным нажатием кнопки «Пуск» пересчетная схема и секундомер переводятся в исходное состояние.

3.6. Под рабочее окно блока детектирования β -излучения на верхние направляющие помещается источник β -излучения, прилагаемый к радиометру, включаются секундомер и пересчетная схема, определяется суммарное число импульсов за время не менее 1 минуты.

После этого определяется эффективность регистрации n :

$$n = \frac{N - N_0}{A},$$

где n – эффективность регистрации β -частиц;

N – скорость счета, зарегистрированная радиометром при изменении внешнего излучения источника;

N_{Φ} – скорость счета фона, с^{-1} ;

A – внешнее излучение источника, с^{-1} ($A = 182 \text{ с}^{-1}$).

Для источника с радионуклидами стронций-90 + иттрий-90 $n = 0,48 \pm 0,10$.

4. Измерение объемной активности β -излучающих нуклидов в пробах прямым методом.

4.1. Произвести измерение собственного фона блока детектирования. Время измерения собственного фона должно быть равно времени измерения пробы, но не менее 10 минут.

Измерение фона производится ежедневно путем регистрации скорости счета N_{Φ} с пустой измерительной кюветой или с «чистой» фоновой пробой (не загрязненной радиоактивными веществами) в измерительной кювете.

Если по результатам измерений фона его значение будет более $2,1 \text{ с}^{-1}$, то внутренние поверхности свинцового домика и кювета подлежат дезактивации.

4.2. В кювету после измерения фона налить 100 мл воды или жидкого пищевого продукта или насыпать приготовленную пробу пищевых продуктов, тщательно по внутренней кромке кюветы разровнять пробу.

4.3. Кювету с пробой поместить в свинцовый домик на верхнюю полку держателя, под рабочее окно детектора.

4.4. Нажатием кнопки «Пуск» включить секундомер и пересчетную схему и произвести измерение, определив скорость счета N контролируемой пробы. Продолжительность измерения согласно табл. 2.3.

Таблица 2.3

Объемная активность, Кю/л	Продолжительность измерения, мин	Среднеквадратическое отклонение, %
$5 \cdot 10^{-9}$	30	50
$5 \cdot 10^{-8}$	15	30
$5 \cdot 10^{-7}$	3	3
$5 \cdot 10^{-6}$	1	1

4.5. По результатам измерений произвести расчет объемной активности пробы по формуле

$$q = \frac{N - N_0}{P},$$

где q – объемная активность пробы, Кю/л;

N – скорость счета импульсов пробы, с⁻¹;

P – значение чувствительности радиометра к смеси радионуклидов в пробе, л/(с·Кю), рассчитанное по формуле

$$P = \sum_{i=1}^k P_i \cdot \varepsilon_i,$$

где P_i – чувствительность к i -му радионуклиду, см. табл. 2.4;

ε_i – относительное содержание i -го радионуклида в смеси радионуклидов, загрязняющих пробу;

k – количество радионуклидов в смеси.

Пример. Определить чувствительность радиометра P , если радионуклидный состав загрязнения пробы следующий:

$$^{137}\text{Cs} \text{ и } ^{134}\text{Cs} - 30 \% ; \quad ^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh} - 20 \% ;$$

$$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y} - 10 \% ; \quad ^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr} - 40 \% ;$$

$$P = 1,2 \cdot 10^7 \cdot 0,3 + 5,6 \cdot 10^7 \cdot 0,2 + 4,1 \cdot 10^7 \cdot 0,1 + 5,2 \cdot 10^7 \cdot 0,4 = \\ = 3,97 \cdot 10^7 \text{ л/(с·Кю)}.$$

Таблица 2.4

Чувствительность радиометра P при измерении объемной активности стандартных образцов имитаторов проб

Радионуклидный состав имитанта	Чувствительность радиометра, л/(Кю·с)
$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$	$1,2 \cdot 10^7$
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	$4,1 \cdot 10^7$
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	$5,2 \cdot 10^7$
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	$5,6 \cdot 10^7$
^{40}K	$4,1 \cdot 10^7$

5. Измерение объемной активности радионуклидов $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ в воде методом обогащения.

5.1. Произвести измерение собственного фона, для чего:

1) закрепить катионообменный фильтр в кассете;
2) кассету с фильтром поместить в свинцовый домик на нижнюю полку держателя, под рабочее окно детектора (при этом выпуклая сторона кассеты должна быть обращена к детектору), закрыть свинцовый домик;

3) нажатием кнопки «Пуск» включить пересчетную схему и определить скорость счета фона N_{ϕ} в течение времени, согласно табл. 2.5;

4) извлечь кассету с фильтром.

5.2. Произвести обработку фильтра, для чего:

1) открыв замки крепления верхней крышки, открыть резервуар блока обработки;

2) закрепить кассету с фильтром;

3) резервуар заполнить исследуемой жидкостью в количестве 2,5 л;

4) довести pH исследуемой жидкости до 3 азотной кислотой, контролируя pH с помощью универсальной индикаторной бумаги;

5) закрепить резервуар и включить электродвигатель;

6) по истечении 15 минут выключить электродвигатель, открыть резервуар и снять кассету с обработанным фильтром;

7) положить кассету между сложенными вчетверо кусками фильтровальной бумаги и слегка прижать их руками, что должно привести к сушке фильтра.

5.3. Порядок измерения обработанного фильтра:

1) поместить кассету с обработанным фильтром в свинцовый домик на нижнюю полку держателя под рабочее окно детектора (при этом выпуклая сторона кассеты должна быть обращена к детектору);

2) нажатием кнопки секундомера «Пуск» включить пересчетную схему и провести измерение, определив суммарную скорость счета обработанного фильтра.

5.4. Вычислить значение объемной активности воды по формуле

$$g = 4 \cdot 10^{-10} (N - N_{\phi}),$$

где g – объемная активность воды, Кю/л;

N – скорость счета фильтра, с^{-1} ;

N_{ϕ} – собственный фон радиометра, с^{-1} .

5.5. Продолжительность измерения проб воды с различной удельной активностью ориентировочно выбрать из табл. 2.5.

Таблица 2.5

Объемная активность, Кю/л	Продолжительность измерения, мин	Среднеквадратическое отклонение, %
$1,0 \cdot 10^{-10}$	15	30
$5,0 \cdot 10^{-9}$	3	3
$5,0 \cdot 10^{-8}$	1	1

Содержание отчета

1. Структурная схема аппарата.
2. Результаты измерений образцов.
3. Выводы по результатам измерений.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Основные источники радиоактивного загрязнения окружающей среды.
2. Как радионуклиды поступают в организм человека?
3. От чего зависит эффект облучения?
4. Что такое эффективная доза облучения?
5. Методы измерения активности.

Литература

Матвеев, В. В. Приборы для измерения ионизирующих излучений / В. В. Матвеев, Б. И. Хазанов. – М. : Атомиздат, 1972.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ЧЕРЕЗ ЖИВУЮ ТКАНЬ

Цель работы: ознакомиться со свойствами электродной цепи; с особенностями прохождения электрического тока через живую ткань; изучить зависимость импеданса живой ткани от частоты электрического тока.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Аппарат для гальванизации «Поток» – 1 шт.
2. Генератор ГЗ-58 – 1 шт.
3. Микроамперметр – 1 шт.
4. Вольтметр – 1 шт.
5. Электроды.

Указания по технике безопасности

1. Проверить заземление приборов.
2. При работе с генераторами ГЗ-56 в начале измерений регулятор амплитуды напряжения должен быть установлен в крайнее левое положение, когда выходное напряжение минимально.
3. При переходе с одного диапазона на другой обязательно сводить напряжение к нулю. Нажимать кнопку переключателя диапазона частот при наложенных электродах и поданном напряжении категорически запрещается. При появлении неприятных ощущений в месте наложения электродов, дальнейшее повышение амплитуды напряжения немедленно прекратить.
4. Выполнять измерения только в присутствии преподавателя.

Основные положения

Электроды

Электроды – проводники специальной формы, с помощью которых орган, поверхность кожи и т. д. включаются в электрическую цепь. Электроды применяются как для съема электрических потенциалов, имеющих в живом организме (получение электрограмм), так и для подведения внешнего электрического воздействия

(например, при гальванизации, реографии, электростимуляции). Особый случай представляют электроды, используемые в высокочастотной электрохирургии, а также микроэлектроды для физиологических исследований.

Медицинская практика налагает на электроды специфические требования: они должны быстро фиксироваться и сниматься, обладать постоянством электрических параметров, эластичностью, прочностью, не давать помех, не оказывать раздражающего действия.

Биоэлектрические сигналы, обусловленные функциональной активностью органов и систем человека, имеют малую амплитуду и занимают область низких частот. Поэтому важнейшее требование к электродам – передать снимаемый биоэлектрический сигнал на измерительный прибор и подвести внешнее электрическое воздействие к органу с минимальными потерями.

Рассмотрим эквивалентную схему первичного участка электрической цепи, применяемой для измерения биопотенциала (рис. 3.1).

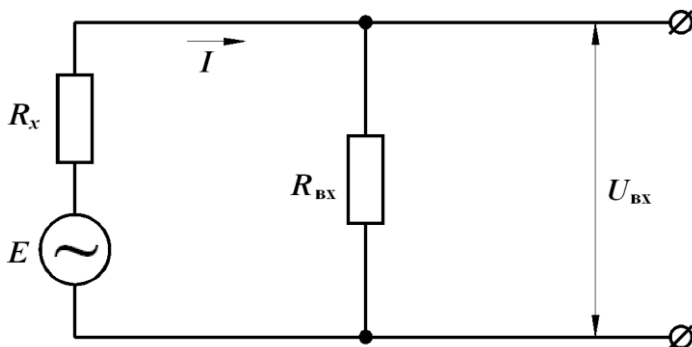


Рис. 3.1

Источник с ЭДС E на этой схеме моделирует наличие биопотенциала с соответствующей амплитудой, R_x – сопротивление тканей, кожи и электродов (переходное сопротивление), $R_{вх}$ – входное сопротивление любой усилительной или измерительной системы, I – ток, обусловленный источником биопотенциалов.

Из рис. 3.1 видно, что $U_{вх} = IR_{вх}$. Поскольку

$$I = \frac{E}{R_{a0} + R_x}, \text{ то } U_{a0} = \frac{E \cdot R_{a0}}{R_{a0} + R_x} = \frac{E}{1 + R_x/R_{a0}}.$$

Из выражения для $U_{вх}$ видно, что напряжение, поступающее на вход усилителя меньше, чем значение биопотенциала E . Потери в полезном сигнале, поступающем на вход усилительного или регистрирующего устройства, уменьшаются с уменьшением переходного сопротивления R_x и увеличением $R_{вх}$. Придерживаются правила, что входное сопротивление усилителей для электрофизиологических исследований должно в 10–20 раз превышать наибольшее возможное электрическое сопротивление объекта. Величину переходного сопротивления стремятся сделать минимальной для того, чтобы потери в регистрации слабых биологических сигналов были как можно меньше.

Переходное сопротивление зависит от типа металла электрода, площади соприкосновения электрода с кожей, свойств кожи. Для чистой сухой кожи переходное сопротивление составляет около 1 МОм. Марлевая прокладка, смоченная физиологическим раствором, снижает его до десятков кОм. Еще более снижают переходное сопротивление специальные электропроводящие пасты. Снижение переходного сопротивления можно достичь за счет увеличения площади контакта электрода с кожей. Однако при этом ухудшается локализация источника биопотенциала и возрастают помехи в регистрации.

В месте контакта электрода с кожей происходит диффузия электронов из металла в электролит и возникает электродный потенциал. С учетом наличия электродного потенциала и различий в электрических свойствах кожи и кровенаполненной ткани эквивалентную схему электродной цепи при регистрации биопотенциалов можно представить в виде, показанном на рис. 3.2.

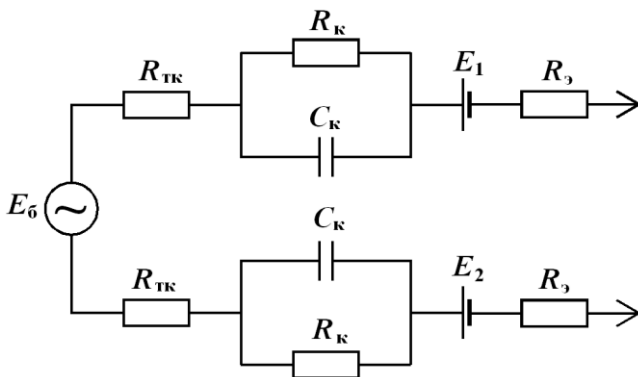


Рис. 3.2

Здесь источник с ЭДС E_6 моделирует генерируемый биопотенциал, $R_{\text{тк}}$ – сопротивление кровенаполняемых тканей тела, R_k – сопротивление кожи, E_1 и E_2 – электродные потенциалы, R_3 – сопротивление электрода, C_k – емкость кожи.

Если электродные потенциалы обоих электродов одинаковы, то они компенсируют друг друга. Если они не одинаковы, то возникает ошибка в измерении $\Delta E = E_1 - E_2$. Чтобы избежать этой ошибки, электроды изготавливают из одного и того же материала (металла) и одинаковым образом накладывают на кожу

Эквивалентная схема живой ткани и зависимость импеданса живой ткани от частоты

В структуре биологической ткани выделяются компоненты, которые обладают свойствами электролитов (цитоплазма, тканевая жидкость) и свойствами диэлектриков (клеточные мембраны). Следовательно, в выражении для полного сопротивления (импеданса) живой ткани должна входить как активная составляющая (омическое сопротивление R), так и реактивная (емкостное сопротивление, определяемое емкостью C и циклической частотой переменного тока ω). Если считать эти виды сопротивлений соединенными последовательно, то формула для импеданса живой ткани имеет вид

$$Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}.$$

Эквивалентные схемы живой ткани, применяемые для моделирования различных случаев прохождения тока через ткань, должны, следовательно, включать в себя некоторые омические сопротивления и емкости. Соединения же этих элементов в эквивалентные электрические схемы должны соответствовать реальным экспериментальным фактам и теоретическим положениям.

Упрощенная эквивалентная схема живой ткани, удовлетворяющая этим требованиям, представлена на рис. 3.3, а.

Активную составляющую импеданса, обусловленную сопротивлением тканевых электролитов, на этой схеме отображают сопротивления $R1$ и $R2$, а емкостную – конденсатор емкости C . Для постоянного тока ($\omega = 0$) общее сопротивление такой схемы $Z = R1$

и определяет сопротивление ткани постоянному току. При увеличении частоты ω общее сопротивление начинает уменьшаться за счет уменьшения емкостного сопротивления конденсатора, соединенного последовательно с сопротивлением $R2$. Если бы сопротивление $R2$ в эквивалентной схеме отсутствовало, то импеданс стремился бы к нулю при $\omega \rightarrow \infty$. На самом деле живая ткань обладает конечным сопротивлением даже на весьма высоких частотах, и наличие в схеме резистора $R2$ ограничивает падение сопротивления на высоких частотах. В предельном случае при $\omega \rightarrow \infty$ общее сопротивление

$$Z = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}.$$

Зависимость импеданса такой схемы от частоты показана на рис. 3.3, б и соответствует реальной частотной зависимости импеданса живой ткани.

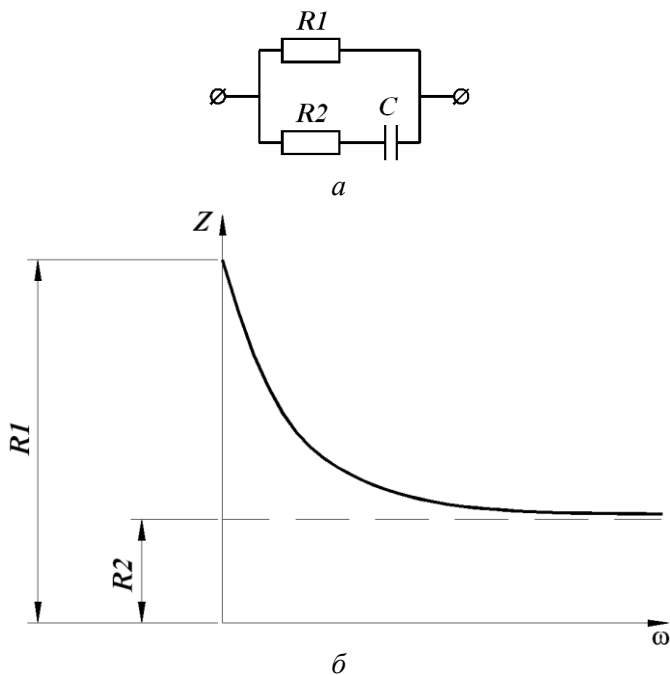


Рис. 3.3

Импеданс тканей и его реальная зависимость от частоты переменного тока определяются физиологическим состоянием и морфологическими особенностями ткани. Например, при разрушении клеточных мембран под действием повреждающих факторов зависимость импеданса от частоты становится менее выраженной. О степени жизнестойкости тканей можно судить по отношению импеданса на низких и высоких частотах. Коэффициент жизнестойкости ткани (K) вводят отношением импеданса на частоте $\omega_1 = 10^3$ Гц к его значению на частоте $\omega_2 = 10^6$ Гц:

$$K = \frac{Z(\omega = 1 \text{ кГц})}{Z(\omega = 1 \text{ МГц})}$$

В частности, этот метод может быть использован для оценки качества трансплантата.

Импеданс тканей изменяется периодически в такт с изменением пульсового кровенаполнения ткани. На измерениях этих периодических колебаний импеданса основан диагностический метод определения характеристики кровенаполнения ткани, называемый реографией (импедансной плетизмографией). Более подробно описание физических основ этого метода дано в другой методической разработке кафедры.

Выполнение работы

1. Ознакомиться с устройством аппарата гальванизации.
2. Для измерения сопротивления участка тела постоянному току собрать схему, показанную на рис. 3.4.



Рис. 3.4

3. Электроды Э₁ и Э₂ через марлевые прокладки, смоченные соевым раствором, укрепить на поверхности предплечья. При нескольких значениях напряжения (от 5 до 15 В), измеряемого вольтметром (V), определить силу тока между электродами, измеряемую микроамперметром (мкА). Рассчитать сопротивление участка тела между электродами и привести его среднее значение.

4. Для измерения зависимости сопротивления биологической ткани от частоты собрать схему, показанную на рис. 3.5.

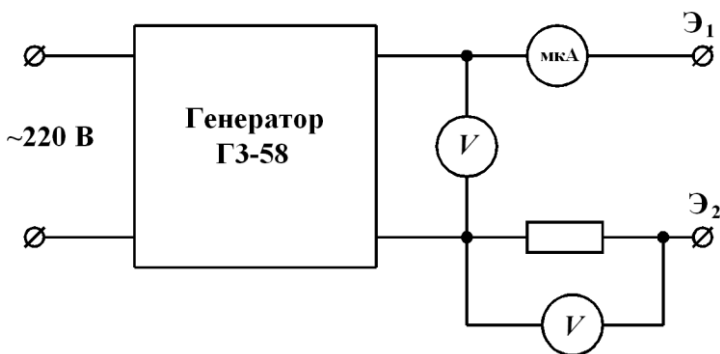


Рис. 3.5

5. Предплечье положить на подставку с электродами Э₁ и Э₂. На электроды должна быть наложена марлевая прокладка, смоченная соевым раствором.

На частотах в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц при напряжении 3–10 В, полученных от генератора электрических сигналов, определить микроамперметром силу тока через участок тела между электродами Э₁ и Э₂.

Результаты измерений занести в таблицу (табл. 3.1).

Таблица 3.1

ω , Гц	$\lg \omega$	U , В	I , мА	Z , кОм

6. Построить график зависимости $Z = f(\lg \omega)$ (логарифмический масштаб выбирается для удобства построения).

Содержание отчета

1. Схемы измерения.
2. Результаты измерений и расчетов по пп. 3, 5.
3. График в соответствии с п. 6.
4. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Чем отличается прохождение через биологическую ткань постоянного и переменного токов?
2. Что такое импеданс цепи, от чего он зависит, и как его вычисляют?
3. Как зависит импеданс живой ткани от частоты переменного тока?
4. Какими морфологическими структурами определяется активная и емкостная составляющие импеданса биологической ткани?
5. Что характеризует поляризация биологической ткани?

Литература

Лещенко, В. Г. Медицинская и биологическая физика: учебное пособие / В. Г. Лещенко, Г. К. Ильич. – Минск : Новое знание, 2012. – 552 с.

Лабораторная работа № 4

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОСОБЕННОСТЯМИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА И ЕГО БИОЛОГИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ

Цель работы: ознакомиться со свойствами поляризованного света; изучить механизмы воздействия света на биологические ткани.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Лампа поляризационная «Биоптрон» – 1 шт.
2. Держатель лампы (штатив) – 1 шт.
3. Прозрачный сосуд с терморезистором СТ1-18 – 1 шт.
4. Измеритель R, L, C Е7-8 – 1 шт.

Основные положения

Введение

Фототерапия, имеющая глубокие исторические корни и уже давно занявшая важное место в практической медицине, в последнее время переживает новый этап в своем развитии. Наряду с активным использованием лазерного излучения в комплексной терапии больных различного профиля разрабатывается еще целый ряд перспективных направлений светолечения. К их числу относятся применение с лечебно-профилактическими целями белого света, внедрение в медицинскую практику люминесцентных источников света, а также разработка и использование в светолечении узкополосного спектра излучения с различной длиной волны. Весьма модным становится использование при различных болезнях и с профилактическими целями поляризованного света, изучение его биологического действия и особенностей влияния на отдельные системы организма. Большую актуальность это направление приобрело в связи с широким внедрением в различных странах прибора «Биоптрон» (Швейцария), являющегося источником плоско поляризованного света в диапазоне 400–2000 нм.

Особенности поляризованного света по сравнению с неполяризованным

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле. Электромагнитная волна характеризуется векторами напряженности E электрического и индукции B магнитного полей.

Возможность существования электромагнитных волн обусловлена тем, что существует связь между переменными электрическим и магнитным полями. Переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле. Существует и обратное явление: переменное во времени электрическое поле порождает вихревое магнитное поле.

Электромагнитные волны в зависимости от длины волны λ (или частоты $\nu = c/\lambda$) разделены условно на следующие основные диапазоны: радиоволны, инфракрасные волны, рентгеновские лучи, видимый спектр, ультрафиолетовые волны и гамма-лучи. Такое разделение электромагнитных волн основано на различии их свойств при излучении, распространении и взаимодействии с веществом.

Несмотря на то, что свойства электромагнитных волн различных диапазонов могут резко отличаться друг от друга, все они имеют единую волновую природу и описываются системой уравнений Максвелла. Величины E и B в электромагнитной волне в простейшем случае меняются по гармоническому закону. Уравнениями плоской электромагнитной волны, распространяющейся в направлении Z , являются:

$$E_x = E_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_0);$$

$$B_y = B_0 \sin(\omega t - kx + \alpha_0),$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота, ν – частота;

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

α_0 – начальная фаза колебаний.

Электромагнитные волны являются поперечными волнами, т. е. колебания векторов напряженности E переменного электрического и индукции B переменного магнитного поля взаимно перпендикулярные и лежат в плоскости, перпендикулярной вектору V скорости распространения волны. Векторы V , E и B образуют правовинтовую систему: из конца вектора V поворот от E к B на наименьший угол виден происходящем против часовой стрелки (рис. 4.1).

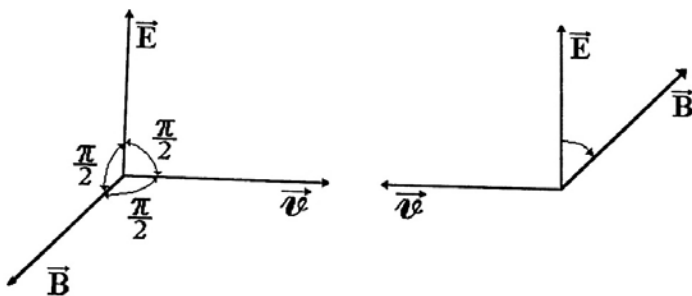


Рис. 4.1

Из формулы следует, что вектора E и B в электромагнитной волне колеблются в одинаковой фазе (синфазно), т. е. они одновременно обращаются в нуль и одновременно достигают максимальных значений (рис. 4.2).

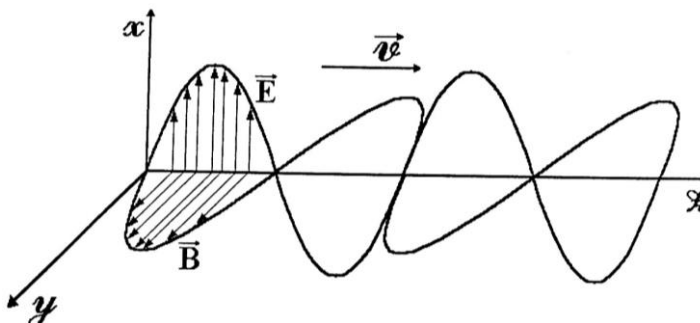


Рис. 4.2

Для описания закономерностей поляризации света достаточно знать поведение лишь одного из векторов, характеризующих электромагнитную волну. Обычно все рассуждения ведутся относительно светового вектора – вектора напряженности E электрического поля (при действии света на вещество основное значение имеет электрическая составляющая поля волны, действующая на электроны в атомах вещества).

Свет представляет собой суммарное электромагнитное излучение множества атомов. Атомы же излучают световые волны незави-

симо друг от друга, поэтому световая волна, излучаемая телом в целом, характеризуется всевозможными равновероятными колебаниями светового вектора.

В данном случае равномерное распределение вектора E объясняется большим числом атомарных излучателей, а равенство амплитудных значений векторов E одинаковой (в среднем) интенсивностью излучения каждого из атомов. Свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора E называется естественным. Неполяризованный (естественный) свет испускают большинство типовых источников, например лампы накаливания.

Свет, в котором направление колебаний светового вектора каким-то образом упорядочены, называется поляризованным. Так, если в результате каких-либо внешних воздействий появляется преимущественное (но не исключительное) направление колебаний вектора E (рис. 4.3, *a*), то мы имеем дело с частично поляризованным светом.

Свет, в котором вектор E колеблется только в одном направлении, перпендикулярном лучу (рис. 4.3, *б*), называется плоско поляризованным (линейно поляризованным).

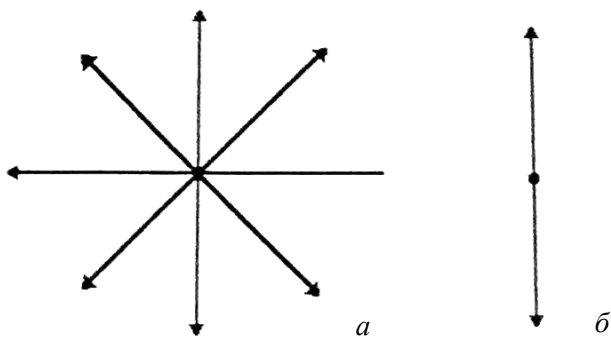


Рис. 4.3

Плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоско поляризованной волны и направление распространения этой волны, называется плоскостью поляризации. Плоско поляризованный свет является предельным случаем эллиптически поляризованного света – света, для которого вектор E изменяется со

временем так, что его конец описывает эллипс, лежащий в плоскости, перпендикулярной лучу (рис. 4.4, *a*).

Если эллипс поляризации вырождается в прямую, то имеем дело с рассмотренным выше плоско поляризованным светом, если в окружность, то имеем дело с циркулярно поляризованным светом (рис. 4.4, *б* и *в*).

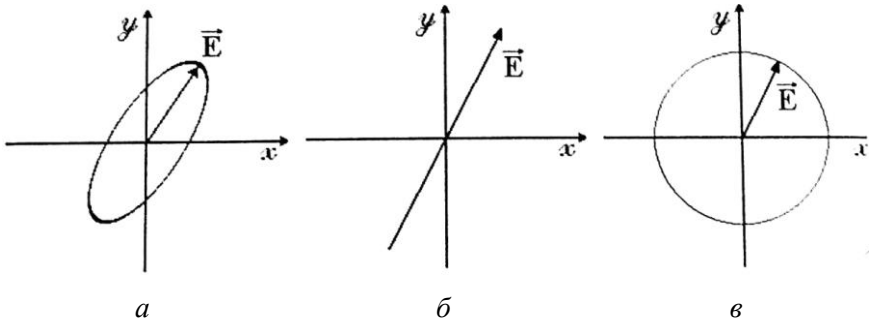


Рис. 4.4

Поляризация также может быть вертикальной (рис. 4.5) и горизонтальной (рис. 4.6).

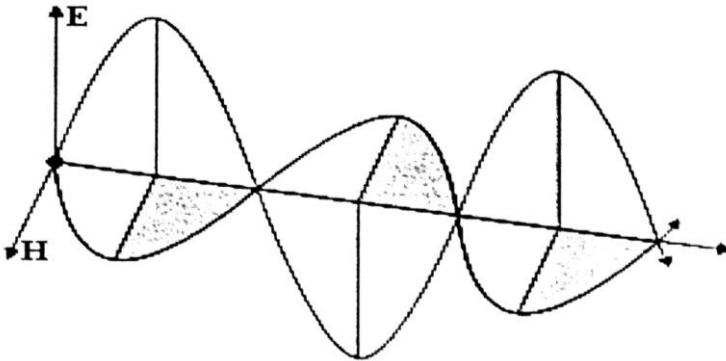


Рис. 4.5. Вертикальная поляризация

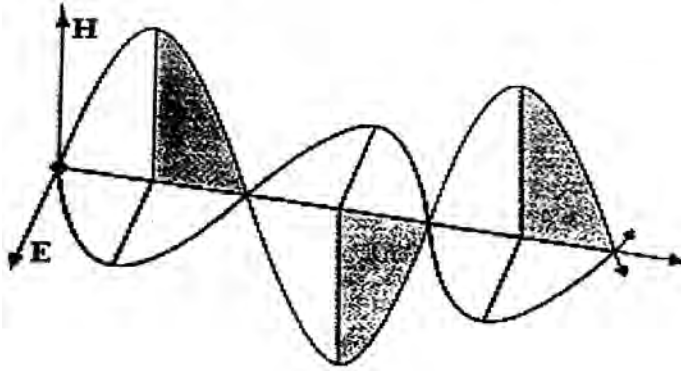


Рис. 4.6. Горизонтальная поляризация

E и B взаимно ортогональны и составляют правую тройку, что позволяет ограничиться рассмотрением ориентации вектора электрической напряженности E . Именно его поведение и определяет состояние поляризации света. Если конец вектора E описывает в пространстве хаотическую кривую (проекция на плоскость $X-Y$ не демонстрирует преимуществ ни одной ориентации) говорят о естественном или неполяризованном свете. Конечно, предполагается, что наблюдение ведется в течение времени, много большего периода световой волны (порядка $10-15$ с).

Если временные изменения вектора E подчиняются строгому закону, то говорят о полностью поляризованном свете. При этом если вектор колеблется в одной плоскости, то такой свет называют линейно или плоско поляризованным. Если проекция вектора E описывает окружность, то говорят о круговой или циркулярной поляризации, различая право- и левоциркулярную. Наконец, если проекция – эллипс, то такую поляризацию называют эллиптической. Вообще говоря, линейная и круговая поляризации являются частными случаями эллиптической.

Между этими двумя крайними состояниями находятся все остальные, характеризующиеся частичной поляризацией. Ее можно рассматривать как смесь (векторную сумму) неполяризованной и полностью поляризованной компоненты. Отношение интенсивности поляризованной компоненты к общей интенсивности световой волны называют степенью поляризации p .

Методы и средства получения поляризованного света

Преобразование естественного света в поляризованный и изменение типа поляризации при различных оптических явлениях почти всегда связаны с оптической анизотропией вещества, т.е. с различием оптических свойств по различным направлениям. Оптическая анизотропия является следствием анизотропии структуры и вещества. Создавать или менять анизотропию структуры и вещества можно воздействием самых различных факторов (деформация, электрическое поле и т. д.). Этим и объясняется разнообразие эффектов, так или иначе влияющих на поляризацию светового излучения. В ряде таких эффектов поляризации света происходит без дополнительного воздействия на вещество. Так, например, естественный свет, отраженный под углом Брюстера, полностью линейно поляризован. На границе анизотропных прозрачных тел (в первую очередь кристаллов) свет испытывает двойное лучепреломление, т. е. расщепляется на два взаимно перпендикулярно поляризованных луча, имеющие различные скорости распространения в среде – обыкновенный и необыкновенный. Первый из них поляризован перпендикулярно оптической оси кристалла и распространяется в нем как в изотропной среде. Второй луч поляризован в главной плоскости кристалла и испытывает на себе все «превратности анизотропии». Так, его коэффициент преломления изменяется с направлением, он преломляется даже при нормальном падении на кристалл.

Эффект двойного преломления положен Николем в основу изобретенной им поляризационной призмы. Он использовал различные показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, создав для одного из них условия полного внутреннего отражения, после которого этот луч, изменив свое направление, поглощается боковой зачерненной гранью призмы. Другой луч полного внутреннего отражения не испытывает и проходит сквозь призму, а так как это полностью поляризованный луч, то на выходе призмы получается полностью линейно поляризованный свет.

Эффекты, индуцируемые поляризованным светом в тканях биообъекта

Принцип действия поляризованного света сводится к следующему: под влиянием поляризованного света увеличивается энергетическая

активность клеточной мембраны. Приводятся в действие регенерационные процессы, поглощение кислорода тканью увеличивается. Поляризованный некогерентный свет оказывает прямое воздействие на нервные окончания, меридианы и нервную систему. Таким образом, свет вызывает изменения в организме на различных уровнях:

1. Клетка

Увеличение отрицательного поля клетки, положительное изменение активности клеточной мембраны, стимуляция обменных регенерационных процессов.

2. Ткань

Регенерация и нормализация ткани.

3. Организм

Поляризованный свет способствует улучшению общего самочувствия и укрепляет организм.

Наше тело состоит из миллиардов клеток, каждое расстройство здоровья отражается на клеточном уровне. В клетках организма же за регулирование обмена веществ отвечает мембрана. Нарушение данной функции клеточной мембраны (пришедшие в беспорядочное движение полярные головки и липиды) приводит к нарушению функционирования энзимов мембраны и их рецепторов (отвечают за питание и поступление энергии в клетку), что, в свою очередь, может привести к уменьшению активности цепи клеточного дыхания с дефицитом АТФ (аденозина трифосфата), химическая активность клетки снижается с уменьшением клеточного потенциала (энергии) приблизительно до 20 мВ. Затрудняется поступление информации, хранящейся в ДНК. Регенерационные процессы могут прекратиться. Поляризованный свет физиологически воздействует на полярные головки (положительно и отрицательно заряженные частицы) в клеточной мембране и тем самым дает возможность энзимам и их рецепторам продолжать процессы обмена. Митохондрии, отвечающие за дыхание клетки (энергетические резервы клетки) снова производят АТФ, клетка становится активной, и клеточный потенциал (разность потенциалов) повышается до уровня здоровой клетки 70 мВ. Информация в ДНК может снова использоваться. Это способствует регенерационным процессам.

Исследованиями было доказано, что поляризованный свет действует на клеточную мембрану совсем иначе, чем обычный, он дей-

ствительно обладает свойством менять структуру мембраны, что отражается в изменении заряженных компонентов на ее поверхности.

Поляризационные свойства линейно поляризованного света проявляются в поверхностных тканях примерно на глубине 250–300 мкм (в то время как глубина проникновения света составляет 2,5 см). Утрата поляризационных свойств, возможно, происходит из-за того, что биологические ткани являются разнородными структурами и световые волны проходят разные оптические пути. Неоднородность структуры тканей обуславливает градиентное изменение коэффициентов преломления, не подчиняющееся известным законам, а зависящее только от структуры чередующихся тканей. Поэтому механизмы и особенности биологических эффектов линейно поляризованного света, прежде всего, обусловлены воздействием его на форменные элементы крови, находящиеся в момент облучения в сосудистой сети поверхностных тканей; поверхностно лежащие ткани; разнообразные рецепторные окончания, находящиеся на поверхностных тканях, а также действием на более глубокие ткани света с измененными свойствами. Помимо многочисленных опосредованных эффектов установлено прямое влияние поляризованного света на мембраны клеток. Мембрана в живых клетках находится в метастабильном состоянии, которое похоже на нематическую фазу жидкого кристалла, а, следовательно, может быть изменено прямым воздействием электрической составляющей электромагнитной волны. Согласно этому представлению, линейно поляризованный свет действует на липидный бислой мембраны и вызывает в ней структурные изменения. Изменяется распределение структурных элементов мембраны, модифицируется поверхность клетки и, по-видимому, могут нарушаться связи между липидами и белками. Это объясняется изменением конформационной структуры липидного бислоя под действием поляризованного света. Перемещение и поворот полярных «головок» липидов происходит так же, как и молекул жидких кристаллов под влиянием поляризованного света. Мембранные изменения происходят в результате взаимодействия индуцированного поля полярных участков мембраны и электрической составляющей электромагнитной волны. При температуре около 37 °C состояние липидного бислоя близко к переходу в нестабильное состояние, поэтому даже минимальная энергия способна вызвать изменение конформации липидного бислоя. Так как в мембранах

имеется очень тесный контакт между липидами и белками, то изменение конформационной структуры липидного бислоя оказывает влияние на процессы, протекающие с участием клеточной стенки. Это и энергетика клетки, и иммунные реакции, и активная эффективность поляризованного и неполяризованного света. При лечении ревматологических больных (ревматизм, ревматоидный артрит) было обнаружено, что поляризованный свет более эффективно снижал мышечный тонус деформированных конечностей при ревматоидном артрите (на 3-й день), в то время как при обычной светотерапии эффект наблюдался лишь на 140-е сутки. После проведения лечения поляризованным светом больные отмечали исчезновение болей в покое, уменьшение их интенсивности при движении, увеличение продолжительности сна, чего не наблюдалось после терапии неполяризованным светом. В настоящее время поляризационная светотерапия широко применяется для лечения самых различных заболеваний: экзема, лишай, герпес, псориаз, трофическая язва, ожог, длительно незаживающие раны, воспалительные процессы в тканях и др. Поляризованный свет эффективно устраняет болевой синдром, способствует регенерации тканей при травматологических заболеваниях, сокращает сроки лечения при ожогах.

Применение поляризованного света

Информация о применении поляризованного света в медицине и воздействии поляризованного света на ткани биообъектов, распространяемая в Интернете и периодической литературе, носит зачастую рекламный характер, т. е. освещается воздействие определенных аппаратов на биообъект (не исключено, что с некоторым пристрастием).

Весьма распространенной (сведения о которой наиболее тиражированы) является лампа Биоптрон фирмы Цептор (ЦЛБ).

На первом месте в списке заболеваний, которые лечатся с помощью ЦЛБ хотя бы в двух различных клиниках, стоят острые хронические воспалительные процессы различной локализации: ринит, гайморит, тонзиллит, конъюнктивит, бронхит, артрит, радикулит и др. Поддаются лечению светом: дерматит, насморк, ожоги, плохо заживающие раны, язвы, псориаз и угревые заболевания. Из описанных эффектов, которые выявлены различными авторами, наиболее выражены: противовоспалительный, анальгетический, противо-

зудный, десенсибилизирующий, а также улучшение микроциркуляторного кровотока, и ускорение процессов заживления.

Несколько слов о применении лампы в хирургии.

По сообщениям кафедры хирургических болезней № 1 Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова лампа Биоптрон обладает такими важными свойствами, как противовоспалительное, антиаллергическое, улучшающее обменные процессы в тканях, регенерирующее.

Вышеуказанные свойства поляризованного света в волновом диапазоне 400–2000 нм были использованы при лечении больных с трофическими язвами нижних конечностей различного генеза, а также у больных с ангиопатиями при сахарном диабете, облитерирующем атеросклерозе.

Лампа Биоптрон была использована для лечения 48 пациентов. У 15 больных с трофическими язвами венозного происхождения уже после 5–10 сеансов бионикотерапии снимались явления воспаления с выраженным анализирующим эффектом, исчезали отечность и дерматит. Менялся характер экссудата (вместо гноя — серозный). У 10 больных к концу срока лечения сокращались размеры язвы при выраженной их эпителизации.

Обнадеживающие результаты получены при лечении больных с диабетическим и атеросклеротическими ангиопатиями с появлением признаков улучшения кровообращения в конечностях.

Особо следует выделить случаи использования бионикотерапии у двух больных с диабетической гангреной пальцев стопы. Процесс имел тенденцию к распространению. После бионикотерапии, в течение 7 дней, некротический процесс локализовался в пределах «пальца», что позволило ампутировать палец, а не стопы или голени, как предполагалось до бионикотерапии.

Положительный результат был достигнут и при лечении келлоидных рубцов, срок которых не превышал 5 месяцев. Например, после струмэктомии, операций на молочной железе, флебэктомии. Уменьшение толщины рубца, его побледнение начиналось уже после 4 сеансов. После 10 сеансов рубец становился тонким, бледным и мягким. Больные оценивают эффект от лечения Биоптроном, как очень хороший. Повторный курс потребовался лишь у одной больной с рубцом 5-месячной давности после струмэктомии.

Ускоренное заживление ран после бионикотерапии, отсутствие гнойных осложнений и каких-либо других побочных реакций сократили сроки пребывания больных в клинике и соответственно стоимость лечения.

Из опыта аллергологов и дерматологов.

Применение ЦЛБ не вызывает каких-либо общих или местных осложнений у больных, страдающих различными аллергическими заболеваниями. Положительный результат был достигнут при лечении приобретенных аллергических заболеваний кожи, таких как аллергический дерматит, крапивница. При этом было достаточно 10 сеансов биотерапии. Улучшение состояния наблюдалось при атонических дерматитах. Для повышения иммунного статуса больных целесообразно также обработка поля непосредственно под грудиной. ЛБ может быть применена для лечения и профилактики аллергических ринита, конъюнктивита, дерматитов в условиях стационара, в поликлинике и на дому. Специалисты кафедры кожных и венерических заболеваний ММА им. Сеченова отмечают эффективность ЦЛБ в процессе комплексной терапии дерматитов, сопровождающихся воспалительными явлениями в области лица (угревая сыпь, себорейный дерматит). При определенном курсе фототерапии уменьшается зуд и болевые ощущения в очагах поражения.

Таким образом, экспериментальные и клинические наблюдения свидетельствуют о существовании определенных различий в действии поляризованного и неполяризованного света. Несмотря на недостаточную изученность этого вопроса, фототерапия поляризованным светом активно внедряется в медицинскую практику, что диктует необходимость дальнейшего углубленного исследования особенностей механизмов физиологического и лечебного воздействия источников поляризованного света. Без таких исследований применение этого сравнительно нового физиотерапевтического фактора будет носить, как и прежде, эмпирический характер.

Следует отметить плохую освещенность данного вопроса в отечественной литературе. Не доступны конкретные сведения о экспериментах (с полным их описанием), подтверждающих столь часто упоминающееся «прямое влияние поляризованного света на мембраны клеток». Информация о применении поляризованного света в медицине и воздействии поляризованного света на ткани биообъекта распространяемая в Интернете и периодической литературе

носит зачастую рекламный характер, т. е. освещается воздействие определенных аппаратов на биообъекты (не исключено, что с некоторым пристрастием), поэтому не освещены побочные явления; мало где подчеркивается важность дозировки излучения и ее индивидуальный характер.

Не освещены модели воздействия поляризованного света на мембраны, которые увеличивали бы значимость пространственной упорядоченности электромагнитных колебаний.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 4.7) предназначена для исследования глубины проникновения поляризованного света в воду. Она включает поляризационную лампу «Биоптрон» 1, установленную на штативе. Излучение лампы направлено на прозрачный сосуд 2, в котором установлен терморезистор 3 типа СТ1-18, предварительно проградуированный для измерения температуры (рис. 4.8). Терморезистор для проведения измерений подключен к прибору Е7-8 (4).

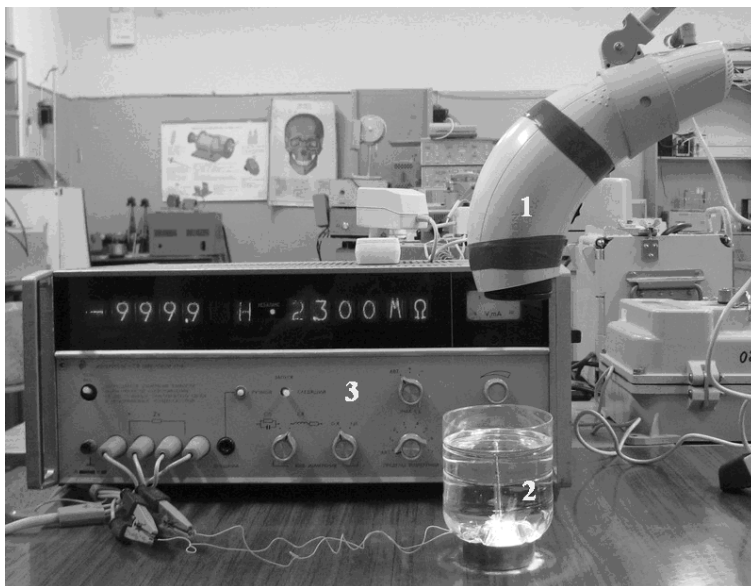


Рис. 4.7

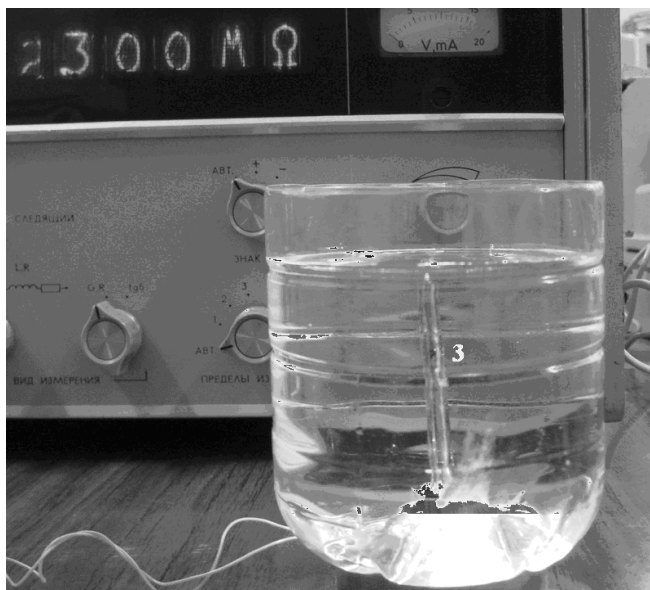


Рис. 4.8

Выполнение работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. В сосуд залить воду так, чтобы чувствительная часть терморезистора располагалась на одном уровне с поверхностью воды.
3. Терморезистор подключить к прибору E7-8.
4. Измерить и записать значение сопротивления терморезистора при комнатной температуре.
5. Лампу закрепить в штативе и расположить излучатель приблизительно перпендикулярно поверхности воды в сосуде на расстоянии 50–60 мм.
6. Включить лампу и через 10–15 минут произвести измерение сопротивления терморезистора. Лампу выключить.
7. Добавить воды в сосуд, чтобы уровень располагался на 2 мм выше чувствительной части терморезистора. Повторить п. 6.

8. Добавить воды в сосуд, чтобы уровень располагался на 4 мм выше чувствительной части терморезистора. Повторить п. 6.

9. Добавить воды в сосуд, чтобы уровень располагался на 6 мм выше чувствительной части терморезистора. Повторить п. 6.

10. По результатам измерений построить график зависимости температуры от толщины слоя воды.

Содержание отчета

1. Результаты работы по пп. 4, 6 –11.
2. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Чем поляризованный свет отличается от обычного?
2. Основные эффекты от взаимодействия поляризованного света с биологической тканью.

Литература

1. Апанасевич, П. А. Основы взаимодействия света с веществом / П. А. Апанасевич. – Минск : Наука и техника, 1978.
2. Жевандров, Н. Д. Применение поляризованного света / Н. Д. Жевандров. – М. : Наука, 1978.

Лабораторная работа № 5

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУХА ПЫЛЬЮ И РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ИЗВ-3М

Цель работы: изучение методов и средств измерения загрязненности воздуха пылью и радиоактивными продуктами, изучение свойств радона и продуктов его распада.

Задание: изучить методы и средства измерения загрязненности воздуха пылью и радиоактивными продуктами, свойства радона и продуктов его распада; измерить концентрацию пыли и содержание дочерних продуктов распада радона в воздухе лаборатории.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Прибор ИЗВ-3М – 1 шт.

Основные положения

О радоне и продуктах его распада

Радон – бесцветный газ без запаха, атомный номер 86, атомная масса 222. Природные изотопы: ^{218}Rn (период полураспада 0,035 с); ^{219}Rn , или актинон; ^{220}Rn , или торон (54,5 с); ^{222}Rn (3,83 сут). Изотопы радона являются дочерними продуктами распада изотопов радия, распадаясь с испусканием α -частиц, образуют изотопы полония. Природный радон, образующийся в радиоактивных рудах, постоянно поступает в атмосферу и гидросферу. Наибольшее содержание радона в атмосфере наблюдается в приземном слое, с увеличением высоты оно падает. Средняя концентрация радона с продуктами распада в воздухе у земной поверхности составляет примерно $(3,7-11,1) \cdot 10^{-3}$ Бк/л. Содержание радона в природных водах колеблется в широких пределах: от 0,37 Бк/л в озерах и реках до 370 Бк/л в грунтовых водах. Обычная концентрация для водопродонной воды порядка 37 Бк/л.

Кроме радиоактивных руд источниками поступления радона в атмосферный воздух являются сжигаемые природный газ и каменный уголь, образование из строительных материалов в домах. Концен-

трация радона в обычных помещениях в 4–6 раз, а в подвальных – в 8–25 раз выше, чем в атмосферном воздухе.

В процессе распада радон образует несколько твердых радиоактивных дочерних продуктов в виде частиц очень малых размеров (около 10 мкм). Этот аэрозоль из частиц изотопов ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{208}Pb , ^{207}Pb поступает в организм человека с продуктами питания, из табачного дыма, из атмосферного воздуха, особенно в шахтах и горных выработках. Продукты распада, попадая в организм через органы дыхания, повреждают клетки бронхиального эпителия, что приводит к развитию рака легких и бронхов.

Значения предельно допустимого поступления продуктов распада в организм через органы дыхания (ПДП), допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (ДКА) и допустимая концентрация в атмосферном воздухе (ДКБ) нормируется в единицах «скрытой энергии» (энергии, выделяющейся при полном распаде короткоживущих дочерних продуктов радона). Для категории А (персонал):

$$\text{ПДП} = 9,6 \cdot 10^{10} \text{ МэВ/год}; \quad \text{ДКА} = 3,8 \cdot 10^4 \text{ МэВ/л.}$$

Для категории Б (лица, не работающие непосредственно с источниками излучений, но по условиям размещения и проживания могущие подвергаться облучению):

$$\text{ПДП} = 9,6 \cdot 10^9 \text{ МэВ/год}; \quad \text{ДКА} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ МэВ/л.}$$

Измерение концентрации радона в рудниках обычно проводят отбором проб в подземных выработках с последующим измерением их на поверхности. Для определения концентрации воздух накачивается в ионизационную камеру, и регистрируется ионизация. Измерение концентрации дочерних продуктов распада производят подсчетом числа α -частиц, испущенных за время прокачки воздуха через камеру с детектором излучения.

Радон используется в медицине в лечебных целях. Радонотерапия является разновидностью α -терапии, ее разновидности – радоновые ванны и орошения (облучение кожи), питье (органы пищеварения), ингаляции (органы дыхания). Терапевтический эффект связан с радиационным воздействием всосавшегося радона и продуктов его распада.

Измерение содержания пыли в воздухе

При исследовании запыленности воздуха в помещениях измеряют концентрацию пыли, которая определяется как масса пыли в единице объема воздуха или как число частиц в той же единице объема. В большинстве приборов процесс измерения включает три этапа:

- 1) отбор части потока;
- 2) отделение (осаждение) пыли на соответствующий носитель;
- 3) измерение количества пыли.

Для осаждения пыли используют различные методы. Применяют осаждение пыли при помощи фильтров, под действием электростатических сил, сил инерции, центробежных сил, термомолекулярных сил.

В осадителях с фильтром частицы задерживаются соответствующей пористой системой (волоконным материалом тканью и т. д.).

В электрических пылеотделителях запыленный воздух ионизируется под воздействием коронного разряда на проволочном электроде. Пыль, приобретающая заряд того же знака, что и на разрядном электроде, осаждается на поверхность осадительного электрода.

При осаждении под действием сил инерции поток запыленного воздуха разгоняется и, ударяясь о пластину, резко меняет направление. Частицы, имеющие размер больше некоторого минимума, под действием сил инерции летят на отражательную поверхность и прилипают к ней.

На основе использования центробежных сил работают циклоны. Запыленный воздух приводится во вращательное движение в цилиндрическом резервуаре, при этом частицы пыли под действием центробежных сил перемещаются к стенке резервуара.

Количество осевшей пыли измеряется чаще всего весовым методом, однако существуют и другие методы – исследование под микроскопом, радиометрический. Радиометрический метод применяется в приборе ИЗВ-3М, и его суть описана ниже.

Концентрацию пыли также можно измерять без отбора пробы и осаждения пыли, например оптическими способами. При этом измеряется ослабление светового потока, поглощаемого частицами пыли и преломляемого на них.

Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе лабораторных помещений равна 2 мг/м^3 .

Измерение загрязненности воздуха пылью и радиоактивными частицами с помощью прибора ИЗ-3М

Прибор для измерения загрязненности воздуха ИЗВ-3М предназначен для измерения массовой концентрации аэрозоля и объемной активности дочерних продуктов распада радона в воздухе подземных горных выработок и помещений предприятий металлургической, цементной, строительной и других отраслей промышленности по значениям скрытой энергии.

Технические данные

1. Диапазон измерения прибора:
 - при измерении массовой концентрации аэрозоля от 0,25 до 200,0 мг/м³;
 - при измерении объемной активности дочерних продуктов распада радона в воздухе от $16 \cdot 10^{-7}$ до $16 \cdot 10^{-4}$ Дж/м³ (от 10^7 до 10^{10} МэВ/м³).
2. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения прибора ± 30 % с доверительной вероятностью 0,95.
3. Нелинейность градуировочной характеристики не более ± 15 %.
4. Минимальное время для одного измерения составляет: при измерении массовой концентрации аэрозоля 1 мг/м³ – 5 мин; при измерении объемной активности дочерних продуктов распада радона в воздухе 32 с.
5. Уровень собственного фона не более $0,20 \text{ с}^{-1}$.
6. Чувствительность регистрации внешнего излучения образцовых источников для α -излучения ^{239}Pu составляет $(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^2$; чувствительность при измерении плотности контрольных поглотителей составляет $200 \pm 20 \text{ мг}^{-1} \cdot \text{см}^2$.
7. Объемная скорость прокачивания воздуха равна $0,033 \pm 0,003 \text{ л с}^{-1}$.
8. Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи 10НКГЦ-1Д или от «шахтного» аккумулятора с напряжением 3 В через преобразователь, или через зарядное устройство от сети переменного тока 220 В/50 Гц.

Устройство и работа прибора

В основу работы прибора положен метод концентрирования дисперсной фазы аэрозоля путем прокачивания определенного объема воздуха через фильтрующую ленту и последующего измерения собственной активности пробы или плотности пылевого осадка.

Измерение значений скрытой энергии продуктов распада радона производится путем регистрации количества α -частиц, испущенных пробой за время прокачки воздуха. Общее количество зарегистрированных импульсов пропорционально значению скрытой энергии. Отбор пробы производится не более 256 с.

Определение массовой концентрации аэрозоля производится путем измерения степени поглощения α -частиц от рабочего источника осажденным на фильтр аэрозолем. Для этого производят два измерения α -частиц, прошедших через чистый фильтр с осевшим аэрозолем. Чувствительность α -изотопного метода измерения массовой концентрации не зависит от дисперсности аэрозоля в диапазоне от 0 до 10 мкм. При увеличении размеров пылинок выше этой величины чувствительность падает обратно пропорционально размеру частиц. Таким образом, метод обладает повышенной чувствительностью к силикозоподобной фракции аэрозоля. Время прокачивания воздуха, обеспечивающее требуемую статистическую точность измерения, определяется, исходя из ожидаемой запыленности воздуха, и составляет: 1024 с для массовой концентрации аэрозоля от 0,25 до 1 мг/м³; 512 с – от 1,0 до 5,0 мг/м³; 256 с – от 3,0 до 15 мг/м³; 128 с – от 10 до 25 мг/м³; 64 с – от 15 до 50 мг/м³; 32 с – от 50 до 200 мг/м³.

Функциональная схема прибора изображена на рис. 5.1.

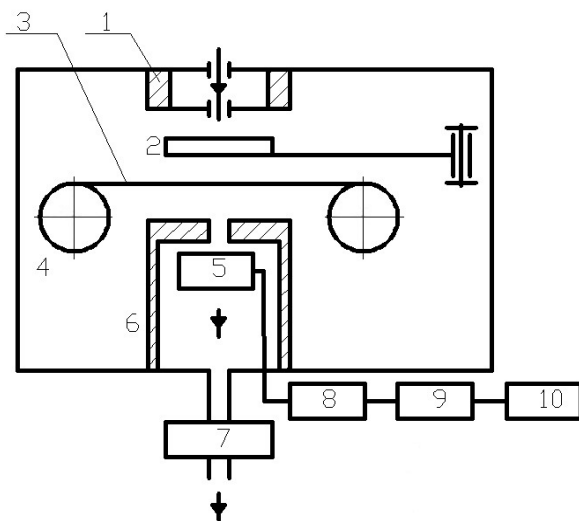


Рис. 5.1. Функциональная схема прибора:

1 – воздухозаборный канал; 2 – рабочий источник; 3 – фильтрующая лента;
4 – лентопротяжный механизм; 5 – детектор; 6 – стакан; 7 – воздуходувка;
8 – усилитель; 9 – узел обработки; 10 – цифровой индикатор

Прибор (рис. 5.2) состоит из следующих основных узлов:

пульт;

лентопротяжный механизм;

воздухозаборная система;

узел детектирования;

узел обработки;

цифровой индикатор;

источник питания (зарядное устройство).



Рис. 5.2

На пульте (рис. 5.3) расположены органы управления прибором и лентопротяжный механизм, служащий для покадрового перемещения фильтрующей ленты.



Рис. 5.3

Лентопротяжный механизм (рис. 5.4) состоит из приемной и подающей катушек с фильтрующей лентой типа НЭЛ-3-25 в количестве 10 м, что достаточно для отбора 800 проб, механизма перемещения ленты и индикатора расхода ленты.



Рис. 5.4

Воздухозаборная система (воздуходувка) выполнена на базе четырех мембранных насосов, которые последовательно приводятся в движение через эксцентриковую муфту электродвигателем постоянного тока типа ДПМ-25-Н1-05. Через окно прокачки площадью $0,2 \text{ м}^2$

воздуходувка обеспечивает расход воздуха, равный $0,033 \pm 0,003$ л/с или $1,98 \pm 0,18$ л/мин.

Узел детектирования (рис. 5.5) состоит из рабочего источника, детектора и усилителя. Рабочий источник снабжен механизмом ввода-вывода и имеет площадь активного слоя 1 см. В качестве нуклида применен полупроводниковый детектор типа ДКПс-100, расположенный за фильтрующей лентой в воздухозаборном стакане, одновременно служащем экраном. Площадь чувствительной поверхности детектора равна 1 см^2 и закрыта защитной пленкой толщиной 3 мм. Детектор с усилителем позволяет получить на выходе импульсную последовательность с амплитудой импульсов, пропорциональной энергии α -частиц.



Рис. 5.5

Питание прибора осуществляется от аккумуляторных батарей или вторичного источника питания, выполненного в виде зарядного устройства (рис. 5.6).



Рис. 5.6

Выполнение работы

1. Соедините прибор с зарядным устройством, и нажмите кнопку СЕТЬ на зарядном устройстве. При этом должен засветиться индикаторный светодиод.
2. Снимите лентопротяжный механизм и проверьте наличие фильтрующей ленты.
3. В нише узла детектирования под рабочим источником, окрашенным в красный цвет, находятся переключатели. Переключатель S2 установите в положение ВОЗД, переключатель S3 – в положение ИЗМ. Установите лентопротяжный механизм на место.
4. Отверните до упора заглушки ЗАБОР ВОЗДУХА и ВЫБРОС.
5. Поверните ручку СМЕНА КАДРА на 360°. Проверьте, находится ли переключатель управления в положении СБРОС, а рабочий источник в выведенном положении и после этого переведите тумблер включения прибора в положение ВКЛ.

6. Установите переключатель ВРЕМЯ ПРОКАЧКИ в положение 512.

7. Переключатель управления переведите в положение ПУСК. Сразу начинает мигать светодиод ИСТОЧНИК ВВЕСТИ. Введите рабочий источник. Через 32 с начинает мигать светодиод ИСТОЧНИК ВЫВЕСТИ. Выведите рабочий источник, после чего автоматически включается воздуходувка и начинается отбор пробы. После окончания времени отбора пробы начинает мигать светодиод ИСТОЧНИК ВВЕСТИ, и включается индикатор, высвечивающий количество зарегистрированных импульсов при измерении значений скрытой энергии дочерних продуктов распада радона. Запишите показания индикатора.

8. Введите источник. Через 32 с включится светодиод ИСТОЧНИК ВЫВЕСТИ. Выведите источник. Сразу включается индикатор, высвечивающий значение массовой концентрации аэрозоля в $\text{мг}/\text{м}^3$.

9. Определите значение скрытой энергии дочерних продуктов распада радона по формуле

$$E = N \cdot \mu,$$

где E – значение скрытой энергии в $\text{МэВ}/\text{м}^3$;

N – показания цифрового индикатора, зарегистрированные в пункте 7;

μ – чувствительность прибора при измерении дочерних продуктов распада радона, $\text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$, определяемая по формуле

$$\mu = \frac{4 \cdot 10^5}{K \cdot V \cdot t^2 \cdot \eta},$$

где K – чувствительность прибора к образцовым источникам ^{239}Pu ($K = 0,0204$);

V – скорость прокачивания воздуха, л/мин;

t – время отбора пробы, мин;

η – эффективность улавливания аэрозолей на фильтре.

Для выражения значений скрытой энергии E в $\text{Дж}/\text{м}^3$ чувствительность прибора определяется по формуле

$$\mu = \frac{6,4 \cdot 10^{-8}}{K \cdot V \cdot t^2 \cdot \eta}.$$

10. После окончания работы отключите прибор от сети.

Содержание отчета

1. Схема прибора ИЗВ-3М.
2. Результаты измерения.
3. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Основной источник загрязнения воздуха α -частицами.
2. На каких принципах основаны методы измерения концентрации пыли в воздухе?
3. Что такое радиометрический метод контроля концентрации пыли в воздухе?
4. Какой принцип измерения положен в основу измерения загрязненности воздуха α -частицами, возникающими при распаде радона?

Литература

Горелик, Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения / Д. О. Горелик, Л. А. Копелько. – М. : Издательство стандартов, 1992.

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОДЫ, КАК ОСНОВНОГО ВЕЩЕСТВА БИОТКАНЕЙ, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Цель работы: приобретение практических навыков исследования особенностей воды.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Лабораторное устройство (стеклянный сосуд, два электрода, сосуд из плотной ткани, полупроводниковый диод, вода)– 1 шт.
2. *pH*-метр типа *pH-150M*– 1 шт.
3. Измеритель *L, C, R* цифровой E7-8– 1 шт.

Основные положения

Основные сведения о воде

Вода – это соединение водорода и кислорода. Вот ее всем известная формула: H_2O .

Химики до сих пор никак не могут решить, где же должен стоять водород в таблице Менделеева, и помещают его одновременно сразу в двух группах: в VII, где он зачисляется в родственники галогенам – фтору, хлору, бром, и в I группу за его сходство со щелочными металлами – литием, натрием, калием.

В свое время наши исследователи, изучая свойства водорода при высоких давлениях, обнаружили, что при давлении около трех миллионов атмосфер сжатый водород внезапно приобретает удивительное свойство. Он становится электропроводным, так же как любые обычные металлы. Это явление теоретики предвидели уже давно, а теперь оно было обнаружено на опыте. Как ни удивительно, но, по видимому, водород – металл.

В природе существует три различных водорода – три его изотопа. Самый легкий – 1H . Химики его часто называют протием. Водород в обычной воде почти нацело состоит из протия. Кроме него, во всякой воде есть тяжелый водород – дейтерий 2H , его чаще в химии обозначают символом D . Дейтерия в воде очень мало. На каждые 6700 атомов протия в среднем приходится только один атом дейтерия. Кроме протия и дейтерия, существует еще сверхтяжелый водород 3H . Его обычно называют тритием и обозначают символом T . Тритий радиоактивен, период его полураспада немного больше 12 лет. Он непрерывно образуется в стратосфере под действием космического излучения. Количество трития на нашей Земле ничтожно мало – меньше одного килограмма на всем земном шаре; но, несмотря на это, его можно обнаружить повсюду, в любой капле воды. Физики научились получать тритий искусственно в ядерных реакторах. Ученые заподозрили, что возможно существование четвертого изотопа водорода – 4H и даже пятого 5H . Они тоже должны быть радиоактивными.

В природе найдены три различных изотопа кислорода. Больше всего легкого кислорода ^{16}O , значительно меньше тяжелого ^{18}O и совсем мало легкого кислорода ^{17}O . В кислороде воздуха, которым мы дыши, на 10 атомов ^{17}O приходится 55 атомов ^{18}O и более 26000 атомов изотопа кислорода ^{16}O .

Физики сумели создать в своих ускорителях и реакторах еще пять реактивных изотопов кислорода ^{13}O , ^{14}O , ^{15}O , ^{19}O , ^{20}O . Все они живут очень недолго и через несколько минут распадаются, превращаясь в изотопы других элементов.

Если подсчитать все возможные различные соединения с общей формулой H_2O , то результат покажется неожиданным – всего могут существовать сорок восемь разных вод. Из них тридцать девять вод будут радиоактивными, но и стабильных, устойчивых вод тоже будет немало – девять: H_2^{16}O , H_2^{17}O , H_2^{18}O , HD^{16}O , HD^{17}O , HD^{18}O , D_2^{17}O , D_2^{18}O . Если же окончательно подтвердится сообщение о том, что существуют еще два сверхтяжелых изотопа водорода – ^4H и ^5H , то будут возможны уже сто двадцать различных вод. Но и это еще не все. Советские физики в 1970 г. на большом ускорителе многозарядных ионов создали совершенно удивительный кислород – сверхтяжелый изотоп ^{24}O . В его ядре огромный избыток нейтронов, и оно очень неустойчиво. Если принять во внимание и этот новый изотоп кислорода, то тогда различных вод можно будет насчитать уже сто тридцать пять.

По изотопному составу вода в природе всегда различна. Состав зависит от истории воды – от того, что с ней происходило в бесконечном многообразии ее круговорота в природе. При испарении вода обогащается протием, и вода дождя, поэтому отлична от воды озера. Вода реки не похожа на морскую воду. В закрытых озерах вода содержит больше дейтерия, чем вода горных ручьев. В каждом источнике свой изотопный состав воды. Когда зимой замерзает вода в озере, никто из тех, кто катается на коньках, и не подозревает, что изотопный состав льда изменился – в нем уменьшилось содержание тяжелого водорода, но повысилось количество тяжелого кислорода. Вода из тающего льда другая и отличается от воды, из которой лед был получен.

Если воду разложить химически и сжечь добытый из нее водород, то получится снова вода, но совсем другая, потому что в воздухе изотопный состав кислорода отличается от среднего изотопного состава кислорода воды. Но зато в отличие от воды изотопный состав воздуха один и тот же на всем земном шаре.

Вода в природе не имеет постоянного изотопного состава, она вечно меняется, и только поэтому нельзя сказать, что где-то есть какая-то обыкновенная вода.

Легкая вода – это та самая вода, формулу которой знают все школьники – ${}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}$, Но такой воды в природе нет. Такую воду с огромным трудом приготовили ученые. Она им понадобилась для точного измерения свойств воды, и в первую очередь для измерения ее плотности. Пока такая вода существует только в нескольких крупнейших лабораториях мира, где изучают свойства различных изотопных соединений.

Тяжелой воды в природе тоже нет. Строго говоря, нужно было бы называть тяжелой воду, состоящую только из одних тяжелых изотопов водорода и кислорода – $\text{D}_2{}^{18}\text{O}$, но такой воды нет даже и в лабораториях ученых.

В науке и ядерной технике принято условно называть тяжелой водой тяжеловодородную воду. Она содержит только дейтерий, в ней совсем нет обычного легкого изотопа водорода. Изотопный состав по кислороду в этой воде соответствует обычно составу кислорода воздуха. Формулу тяжеловодородной воды написать нельзя. Это не химическое соединение, смесь нескольких различных вод, в которых во всех содержится дейтерий, легкого водорода нет совсем, а стабильные изотопы кислорода в этой смеси вод с разным изотопным составом находятся точно в таком же соотношении, в каком они присутствуют в воздухе.

Полутяжелой водой можно назвать воду со смешанными молекулами состава HDO . Она есть во всякой природной воде, но получить ее в чистом виде невозможно, потому что в воде всегда протекают реакции изотопного обмена. Атомы изотопов водорода очень подвижны и непрерывно переходят, из одной молекулы воды в другую. Приготовить воду, средний состав которой будет соответствовать формуле полутяжелой воды, нетрудно. И благодаря реакции обмена



она будет представлять собой смесь молекул с разным изотопным составом H_2O , HDO , D_2O .

Нулевая вода состоит из чистого легкого водорода и кислорода воздуха. И для нулевой воды формулу не напишешь. Она тоже смесь нескольких вод, каждая из которых состоит из легкого водорода и одного из стабильных изотопов кислорода.

Соотношение между кислородами в нулевой воде тоже точно такое же, как и в воздухе. Тяжелого водорода в нулевой воде нет. Эту воду физико-химики выбрали в качестве эталона, у нее очень постоянный состав. Ее не так уж трудно получить, и с ней удобно сравнивать воду неизвестного состава, определив разницу в плотности, легко найти содержание дейтерия.

Кроме всех перечисленных вод, еще существует тяжелоокислородная вода – $H_2^{18}O$. Получить ее из природной воды очень сложно и трудно. До сих пор эту воду в чистом виде еще, пожалуй, никто не сумел приготовить. Тяжелоокислородная вода очень важна для исследования многих биологических и химических процессов, поэтому довольно концентрированные растворы этой воды в воде обычно получают теперь на заводах.

Все без исключения живые организмы содержат значительное количество воды. Без воды невозможен обмен веществ, а также обмен информацией между клетками. Для всех жизненно важных процессов, которые протекают в нашем организме, нужна посредническая среда. Она должна быть активной, чтобы передача информации и энергии зарядов происходила эффективно и быстро, что обеспечивает оптимальную приспособляемость организма. Такой важнейшей средой является π -вода энергетическая микросгруппированная структурированная вода, которая обеспечивает обмен информацией между клетками.

В результате тридцатилетних исследований и научных разработок, после тщательных опытов для получения π -воды японские ученые создали фильтрующую установку, которая «оживляет» воду, вырабатывает воду, призванную помочь нашему организму достичь того состояния, в котором он должен бы быть, живя в гармонии с Природой. Это вода, которую в мире называют *real water* (настоящая вода) и *living water* (живая вода).

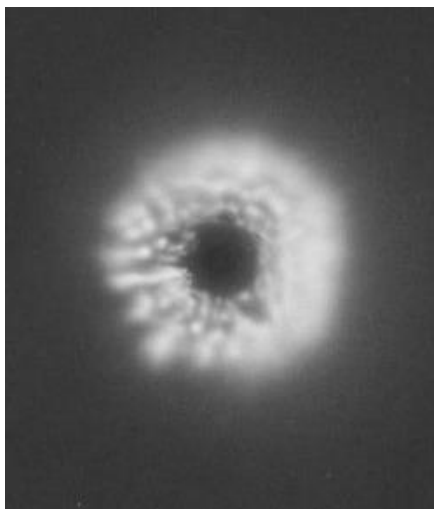


Рис. 6.1. Фотография энергетической ауры водопроводной воды



Рис. 6.2. Фотография энергетической ауры «живой» воды

Водные кластеры

За последние 10–15 лет стало появляться все больше и больше данных о том, что вода в воде на самом деле вовсе не представляет из себя некий газ со слабо связанными друг с другом отдельными частицами H_2O , которые на невероятно малые промежутки време-

ни друг с другом слипаются водородными связями, образуя так называемые мигающие кластеры, а затем рассыпаются снова. Время жизни таких структур в воде до последнего времени считалось чрезвычайно малым и, поэтому, естественно, не предполагалось, что вода может играть какую-то структурную, важную организующую роль.

Сейчас стало появляться все больше и больше физико-химических данных, которые свидетельствуют о том, что в жидкой воде существуют довольно много самых разнообразных устойчивых структур, которые можно назвать кластерами. Вообще, в последнее время появилось целое направление химии – кластерная химия. Кластерная химия появилась не только в связи с водой, даже не столько в связи с водой, но она стала приобретать достаточно большое значение. В качестве примера кластеров, сейчас, может быть, наиболее тщательно изучаемых, можно привести так называемые углеродные кластеры, которые называются фуллеренами (или другая форма этого углеродного кластера – нанотрубки).

В середине 80-х годов было обнаружено, что в определенных условиях, когда углерод превращается в пар, а затем быстро этот пар охлаждают, то появляются некие структуры, которые называли фуллерены или бака-боллз, такие мячики имени американского архитектора, Бакмейстера Фуллера, который строил задолго до открытия фуллеренов дома, похожие на позднее открытые фуллерены. Оказалось, что фуллерен – это молекула, состоящая из нескольких десятков атомов углерода, соединенных друг с другом своими связями как показано на рис. 6.3.

Самый известный фуллерен включает 60 атомов углерода, но очень устойчивые шарики можно строить из других наборов атомов углерода. Фуллерены и нанотрубки и являются примерами кластеров, а собственно под кластером подразумевается вот такая замкнутая, объемная архитектурная молекула, которая не похожа на известные нам планарные молекулы. Вот такого рода кластеры обладают совершенно удивительными свойствами с точки зрения их химической активности, потому, что химически эта молекула обладает чрезвычайно низкой активностью, но в то же время она может катализировать массу разнообразных реакций. Эта молекула способна, по-видимому, выступать в роли трансформатора энергии. В частности, она может выступать в роли трансформатора низкочастотных

радиоволн в высокочастотные колебания, вплоть до колебаний, которые способны вызывать электронные возбуждения. Другая форма такого кластера – нанотрубка, ими сейчас усиленно занимаются инженеры, пытающиеся создавать новые поколения компьютеров, поскольку она обладает сверхпроводящими свойствами в определенных условиях и т. д.

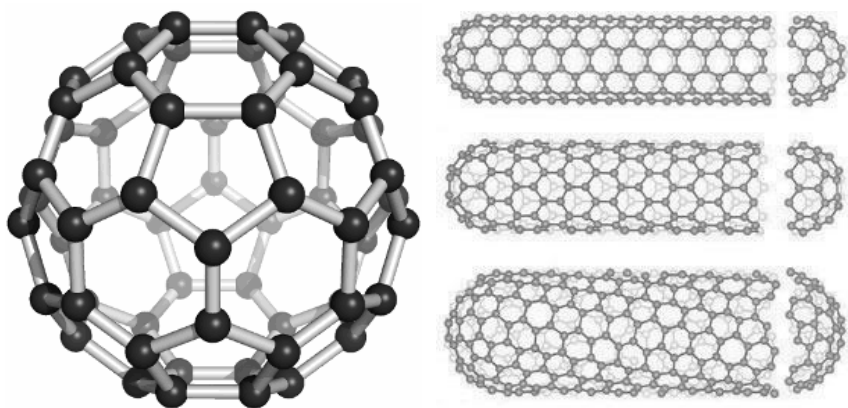


Рис. 6.3. Фуллерен и нанотрубки – объемные полимеры углерода

Обе эти молекулы, во-первых, очень устойчивые, их можно выделять, их можно тщательно исследовать, изучать, и ими сейчас очень много занимаются. Во-вторых, эти молекулы, эти кластеры, отражающие совершенно новые свойства химической, физической материи таковы, что их даже некоторые считают новым состоянием вещества. В последнее время стало появляться довольно много моделей воды, которые чрезвычайно похожи по своей организации на эти фуллерены и нанотрубки (рис. 6.4).

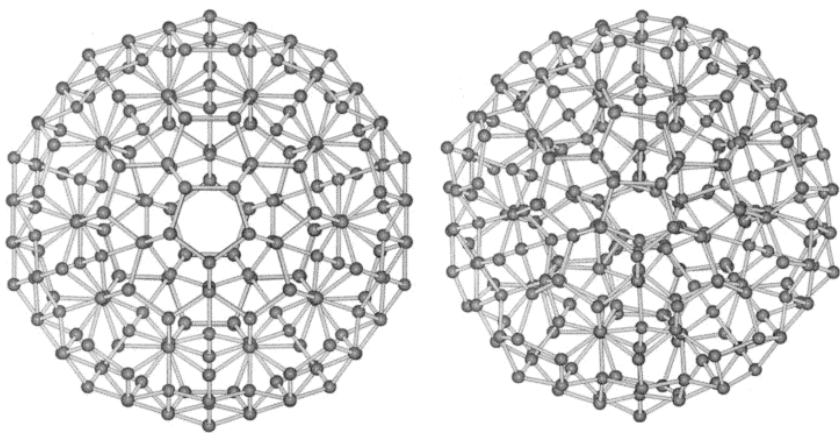


Рис. 6.4. Возможная структура воды

Сейчас в литературе, посвященной квантовой химии, приводится много разнообразных форм водных кластеров, начиная с кластеров, которые включают в себя 5 молекул воды, 6 молекул воды и так далее. К примеру, английский физико-химик Мартин Чаплин рассчитал, какого рода кластеры наиболее вероятно существуют в воде и предложил, что там может присутствовать целая иерархия довольно устойчивых структур такого рода. Блокируясь друг с другом, они могут достигать громадных размеров, включающих в себя 280 молекул воды.

В чем особенность такого рода кластеров? Чем они отличаются от общепринятых, стандартных представлений о молекулах воды? Кластер – это объемная структура, в которой каждая молекула воды может быть связана с другими молекулами либо одной водородной связью, двумя водородными связями, либо тремя водородными связями и возникает некое кооперативное образование. Кооперативное в том смысле, что если вырвать из этого сооружения одну молекулу воды, то оно не распадется, в нем еще достаточно связей, несмотря на то, что водородные связи довольно слабые. Но когда этих слабых связей много, они поддерживают друг друга, и если за счет теплового движения одна молекула воды может выскочить, а кластер сохранится, и вероятность того, что какая-то молекула воды займет это место прежде, чем кластер развалится намного, выше вероятности, что раз-

валится весь соответствующий кластер. И чем больше молекул объединяются в такие структуры, тем более стабильными являются эти кластеры. Когда появляются такого рода гигантские молекулы, уже полимолекулы воды, фактически полимеры, водяные полимеры, они обладают высокой устойчивостью и совершенно другими химическими, физико-химическими свойствами, чем одна молекула воды.

Методы исследования проводимости воды

Удельная проводимость (или, как ее еще называют, удельная электролитическая проводимость) представляет собой способность вещества проводить электрический ток. Это величина является обратной удельному сопротивлению.

При химическом очищении воды очень важно измерить удельную проводимость воды, зависящую от растворенных в воде ионных соединений. Удельная проводимость легко может быть измерена электронными приборами. Широкий спектр соответствующего оборудования позволяет сейчас измерять проводимость практически любой воды, от сверхчистой (очень низкая проводимость) до насыщенной химическими соединениями (высокая проводимость).

Проводимость – величина обратная сопротивлению, она измеряется в Сименсах (раньше она называлась *mho*). Удельная электрическая проводимость (удельная электропроводимость) – это количественная характеристика способности воды проводить электрический ток. В чисто физическом смысле это величина, обратная электрическому сопротивлению воды при температуре 25 °С, находящейся между двумя электродами с поверхностью 1 см², расстояние между которыми равно 1 см. Единица удельной электрической проводимости – Сименс на 1 м (См/м). Для воды в качестве единицы измерения используют произвольные величины – миллиСименс на 1 м (мСм/м) или микроСиммес на 1 см (мкСм/см).

В большинстве случаев удельная электрическая проводимость поверхностных вод суши является приблизительной характеристикой концентрации в воде неорганических электролитов – катионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и анионов Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Присутствие других ионов, например $Fe(II)$, $Fe(III)$, $Mn(II)$, NO_3^- , HPO_4^{2-} , обычно мало сказывается на величине удельной электрической проводимости, так как эти ионы редко встречаются в воде в значительных количе-

ствах. Водородные и гидроксильные ионы в диапазоне их обычных концентраций в поверхностных водах суши на удельную электрическую проводимость практически не влияют. Столь же мало и влияние растворенных газов.

Таким образом, удельная электрическая проводимость поверхностных вод суши зависит в основном от их минерализации и обычно колеблется в пределах от 50 до 10000 мкСм/см.

Рост удельной проводимости указывает на рост примесей, и можно установить критический уровень для контроля максимального уровня примесей.

Таблица 6.1

Удельная проводимость некоторых растворов 1000 мг в л

Состав	мкС/см при 25 °С	мкС/мг в л
Бикарбонат натрия	870	0,87
Сульфат натрия	1300	1,30
Хлорид натрия	1990	1,99
Карбонат натрия	1600	1,60
Гидроксид натрия	5820	5,82
Гидроксид аммония	189	0,19
Соляная кислота	11000	11,10
Фтористоводородная кислота	2420	2,42
Азотная кислота	6380	6,38
Фосфорная кислота	2250	2,25
Серная кислота	6350	6,35

Измерения удельной проводимости широко используются при исследовании воды, используемой в промышленности, муниципальных и коммерческих учреждениях, больницах с помощью кондуктометров (портативных, лабораторных, карманных или промышленных).

Пока индивидуальные ионы не могут быть определены, удельная проводимость дает величину общих примесей.

Главный недостаток измерений удельной проводимости это то, что они не специфичны, не дают возможности распознавания различных типов ионов. Вместо этого определяется пропорция общего

эффекта присутствия всех имеющихся ионов и некоторых ионов, как $NaOH$, HCl , представленных в значительно большей степени.

Второй недостаток соотношения удельной проводимости с концентрацией заключается в том, что концентрированные растворы показывают слегка заниженное число мкС/см на каждый мг в л в отличие от разбавленных. Этот эффект основан на снижении скорости движения ионов при увеличении концентрации, что лежит в основе теории межионного притяжения.

Некоторые соединения могут снижать точность измерений, осаждаясь на датчике или щупе, например, карбонат кальция. В большинстве случаев эти трудности не превращаются в серьезные помехи и могут быть достигнуты достаточно точные результаты. В целом, измерение удельной проводимости – это быстрый, надежный и недорогой способ измерения количества ионных соединений в потоке. Как правило, при повторных измерениях разброс значений не превышает 1 %.

Удельная проводимость водных растворах из-за движения ионов и постоянно возрастающей температуры противоположна удельной проводимости металлов, но приближается к показателям графита. Это обусловлено природой самих ионов и вязкостью воды. При низкой концентрации ионов (сверхчистая вода) ионизация воды позволяет определить часть проводящих ионов.

Все эти процессы, а, следовательно, и удельная проводимость существенно зависят от температуры. Эта зависимость обычно выражается, как относительное изменение удельной проводимости на $^{\circ}C$ при конкретной температуре, а в особых случаях, как процент на $^{\circ}C$, называемый наклоном конкретного раствора. Сверхчистая вода имеет наибольшее наклонение в 5,2 % на $^{\circ}C$., в то время как наклонение большей части водопроводной воды и воды в охлаждающих системах находится в диапазоне 1,8–2,0 % на $^{\circ}C$. Концентрированные соленые растворы, кислоты и щелочные растворы имеют наклонение около 1,5 % на $^{\circ}C$.

Таким образом, становится очевидно, что небольшая разница в температуре значительно изменяет удельную проводимость. По этой причине, чаще всего удельную проводимость относят к 25 $^{\circ}C$. К счастью, доступны температурные датчики с характеристиками, близкими к раствору, в исследовании которого мы заинтересованы, и с исполь-

зованием дополнительных резисторов и электронных схем можно получить температурные кривые почти для любого раствора.

Температурный датчик используется как элемент регулировки электрической цепи, и значение проводимости автоматически приводится к эквивалентному 25 °С.

Самые современные технологии используют микропроцессор и соответствующую таблицу, содержащую информацию о реакции раствора на температуру. Температура раствора измеряется, переводится в цифровой формат, затем сопоставляется с данными таблицы для получения точных значений температурной компенсации. Все температурные датчики имеют временную задержку, величина которой зависит от позиции и установки датчика.

Простой датчик удельной проводимости может быть создан как ячейка, состоящая из куба со стороной 1 см, где расстояние между электродами, формирующими две противоположные стороны, площадью 1 см² каждая, приблизительно равно 1 см. У данной ячейки константа ячейки равна 1,0. Данная величина используется для подсчета удельной проводимости в других ячейках по формуле

$$R_{\text{const}} = \frac{l}{S},$$

где R_{const} – константа ячейки;

l – расстояние между электродами;

S – площадь электрода.

Для очень слабых растворов расстояние между электродами может быть сокращено так, что константа ячейки будет равна 0,1 или 0,01. Благодаря этому, возрастает проводимость, что позволяет датчикам измерить даже очень слабую проводимость.

Для концентрированных растворов дистанция между электродами, наоборот, увеличивается так, что константа ячейки становится равной 10 или больше.

В датчиках, изготовленных по технологии Акварис (используемой в контроллерах) в качестве электродов используется графит. Графит имеет такой же температурный коэффициент, как и проводимость, менее подвержен поляризации, чем обычные металлы, такие как нержавеющая сталь и никель, и обходится дешевле, чем платина, которая часто используется для изготовления лабораторных сенсоров.

Поляризация может вызвать образование газа на металлических поверхностях несмотря на то, что для измерения используется высокочастотный ток, эффект может иметь место даже в течение одного полупериода полярности. Другая причина – это истощение анионов и катионов вокруг электрода из-за роста заряда. Из-за эффекта поляризации полученные показатели проводимости могут оказаться заниженными, однако прибор не сможет обнаружить ошибку. Похожий эффект возникает, если в растворе содержится масло или жир, или если электроды загрязнены, или покрыты осадком. Эффект поляризации может быть ниже использованием высокочастотного тока, поддержанием низкой плотности, путем правильного регулирования константы ячейки и использования грубых поверхностей, таких как графит, а также при работе с удельной проводимостью, меньшей, чем 30,000 мкС/см, а в случае загрязнения – путем извлечения и тщательной очистки датчика.

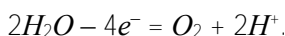
Электролиз воды

Электролиз – процесс восстановления или окисления веществ на электродах, сопровождаемый приобретением или потерей электронов частицами веществ в результате электрохимической реакции.

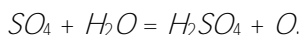
Процессы, происходящие при прохождении тока через электролит, и в самом электролите, и на обоих электродах, очень сложны и многообразны. По этой причине результаты электролиза часто практически не воспроизводимы. Как только электролиз начался, и уже идет некоторое время, вернуться к первоначальному состоянию после его прекращения уже невозможно. И в электролите, и на электродах произойдут изменения, которые не восстановятся и после сколь угодно долгого ожидания. Да и начало электролиза невоспроизводимо – этот процесс зависит от материала и состояния поверхности электрода, наличия в нем незначительных примесей и т. д. Почти то же самое относится и к химическому составу электролита. Поэтому, даже, несмотря на то, что в связи с широким промышленным использованием электрохимических процессов исследования явления электролиза, как его понимает электрохимия, велись и ведутся многими специальными институтами, полной ясности понимания того, что же происходит при электролизе до сих пор нет.

Вопрос о том, как же конкретно «ток разлагает воду», в каком элементарном акте это происходит, в электрохимии не рассматрива-

ется. В электрохимии полагают, что на аноде будет протекать один из трех процессов, в которых нейтральная молекула воды отдает аноду 4 или 2 своих электрона, превращаясь в ион H^+ и OH^- . Но как нейтральная молекула вдруг отдает свои электроны? Ей ведь нужна за это «плата» – 1,228, 1,776 или 2,42 эВ в каждом из трех приведенных процессов. В электрохимии предполагают, что наблюдаемая при электролизе убыль воды в анолите указывает на протекание ее разложения. Это может происходить, по-видимому, по реакции



В физике отмечают, что на аноде происходит реакция



Нейтральный остаток серной кислоты получается из отрицательного иона, который нейтрализуется на аноде. Образовавшаяся молекула серной кислоты тут же распадается на ионы, восполняя их убыль на аноде и на катоде. По этому сценарию в «анолите» концентрация молекул воды уменьшается. Вода разлагается. Но по другой реакции разряд отрицательных ионов SO_4^- на аноде представляется вполне естественным.

Конечно, работа тока в электролите, как и во всяком проводнике, расходуется и на его нагревание. Ионы, приходя в ускоренное движение в направлении электрического поля, упруго взаимодействуют с нейтральными молекулами воды, и передают им часть своей энергии, нагревают электролит. Если это изменение внутренней энергии электролита за счет нагревания его током будет равно, или больше уменьшения внутренней энергии электролита израсходованной им на разложение молекул воды, то температура его будет постоянной, или он будет нагреваться. Это и происходит в промышленных электролизерах. Создается иллюзия, что «ток разлагает воду».

Помимо бытовых водоочистителей фильтрационно-сорбционного типа для постоянного пользования (с картриджами, рассчитанными на несколько сотен литров воды) существуют электрохимические установки для очистки воды, которые одновременно дают возможность получения питьевой воды с заранее заданными физико-химическими свойствами. Традиционные фильтрационно-сорбционные

бытовые водоочистители такими функциями не обладают. Вода, прошедшая через каскадный фильтрационный фильтр, практически не меняет показатели pH . Кластерная структура воды после фильтрационно-сорбционной обработки также меняется незначительно. Однако первые опыты по электрохимической обработке пресной воды, сделанные в СССР около 25 лет назад группой ученых Мингазпрома, показали, что физические, химические и биологические свойства такой воды могут быть оптимизированы для потребителей. Журналисты назвали такую электрохимически обработанную воду живой и мертвой, в зависимости от ее способности стимулировать или сдерживать и (или) подавлять физиологические процессы. На самом деле термины «живая» и «мертвая» вода в значительной степени условны. Обычно живой водой называли фракцию разбавленного водно-солевого раствора (не более 3 г/л), подвергнутую электрохимическому воздействию в области катода. Техническое название такой воды – католит. Соответственно, водно-солевой раствор, обработанный у анода, называется анолитом.

Схематически процесс раздельного получения католита и анолита представлены на рис. 6.5.

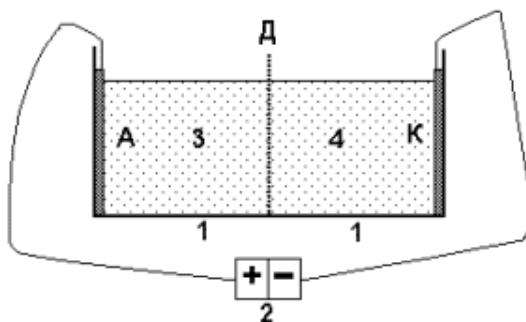


Рис. 6.5. Схема для раздельного получения анолита и католита

На рисунке изображена электролитическая камера 1, разделенная проницаемой перегородкой Д на две полукамеры, анодную 3 и катодную 4. Соответственно, анодная и катодная полукамеры снабжены электродами – анодом А и катодом К, на которые подается постоянный ток от источника тока 2. Электролитическая камера 1 за-

полняется пресной водой или разбавленным соевым раствором (при этом необходимо учитывать, что любая питьевая вода представляет собой солевой раствор с низкой концентрацией, абсолютно химически чистая субстанция H_2O может быть получена на земле только в лабораторных условиях и в очень ограниченных количествах). При прохождении электрического тока через межэлектродное пространство, разделенное проницаемой диафрагмой, окисленные продукты анодного синтеза (анолит) накапливаются в полукамере 3, восстановленные продукты катодного синтеза (католит) – в полукамере 4.

Установка, изображенная на рис. 6.5, является двухкамерным диафрагменным электролизером статического типа. Электрондонорная вода (католит) обладает способностью отдавать свободные электроны окисленным соединениям, в том числе свободным радикалам, такая вода называется противooksидлительной или антиоксидантной, получение электронов от электрондонорных соединений означает восстановление окисленных веществ, принимающих электроны.

Электронакцепторная вода (анолит) принимает электроны от донорных восстановленных соединений, которые, таким образом, окисляются, такая вода обладает бактерицидной активностью за счет окисления молекулярных структур в составе микроорганизмов.

Электроды при исследовании проводимости воды выполнены из графита, при проведении электролиза – из нержавеющей стали.

Описание лабораторной установки

В первой части лабораторной работы исследуется электрическая проводимость воды. Для этого используется лабораторная установка, показанная на рис. 6.6.

Исследуемая вода наливается в резервуар 1, в котором находятся два графитовых электрода 2 и 3 с сечением 10×10 мм и терморезистор 4 типа СТ1-18. Электроды для измерения сопротивления или проводимости подключают к прибору Е7-8, к нему же подключают терморезистор. Для исследования зависимости проводимости воды от температуры сосуд устанавливают на нагревательный элемент, подключенный к источнику питания Б5-47 (на рис. 6.6 не показаны).

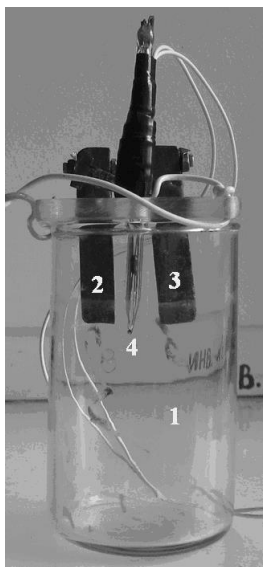


Рис. 6.6

Для исследования процесса электролиза воды используется установка, показанная на рис. 6.7.

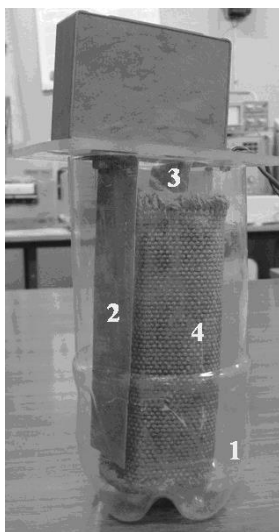


Рис. 6.7

В прозрачном сосуде 1 расположены два электрода 2 и 3. В крышке имеется выпрямитель, установленный таким образом, что электрод 2 является катодом, электрод 3 – анодом. Анод расположен в резервуаре 4 из плотной проницаемой ткани. Установка питается от сети переменного тока 220 В.

Выполнение работы

Часть I. Исследование электропроводности воды.

1. Сосуд (рис. 6.6) заполнить дистиллированной водой, не доливая 5–6 мм до верхнего края.

2. Подключить электроды к прибору Е7-8 и измерить сопротивление воды при комнатной температуре. Пересчитать сопротивление в проводимость.

3. Включить нагревательный элемент. Через 5, 10, 15 и 20 минут измерить сопротивление воды и сопротивление терморезистора, которое по градуировочной характеристике перевести в значение температуры.

4. Удалить из сосуда дистиллированную воду и выполнить действия по пп. 1–3 с водопроводной водой.

5. Построить графики зависимостей проводимости дистиллированной и водопроводной воды от температуры.

Часть II. Исследование электролиза воды.

1. Сосуды 1 и 4 (рис. 6.7) заполнить дистиллированной водой, не доливая 10–15 мм до верхнего края сосуда 4.

2. Установить электроды так, чтобы анод располагался внутри сосуда 4, катод – вне сосуда 4.

3. Подключить электроды к сети 220 В.

4. Через 2 минуты отключить питание и взять пробы воды из сосудов 1 и 4 объемом 10 мл каждая.

5. Измерить pH проб с помощью pH -метра.

6. Повторять процесс электролиза 4, 6 и более минут, до тех пор, пока pH проб практически перестанет изменяться.

7. Построить зависимости pH полученных анолита и католита от времени электролиза.

Содержание отчета

1. Схемы лабораторных установок.
2. Результаты исследований проводимости воды и pH анолита и католита.
3. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Чем объясняется различный изотопный состав воды, полученной из разных источников?
2. Что представляют собой водные кластеры?
3. От чего зависит проводимость воды?
4. Почему при электролизе воды полученные в результате фракции имеют различные свойства?

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ.....	3
Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ β -АКТИВНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И ВОДЫ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ ОБОГАЩЕНИЯ.....	23
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ЧЕРЕЗ ЖИВУЮ ТКАНЬ	41
Лабораторная работа № 4 ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОСОБЕННОСТЯМИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА И ЕГО БИОЛОГИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ	49
Лабораторная работа № 5 ИЗМЕРЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУХА ПЫЛЬЮ И РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ИЗВ-3М	64
Лабораторная работа № 6 ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОДЫ, КАК ОСНОВНОГО ВЕЩЕСТВА БИОТКАНЕЙ, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	74

Учебное издание

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности

1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

С о с т а в и т е л и :

МИНЧЕНЯ Николай Тимофеевич

САВЧЕНКО Андрей Леонидович

Редактор *К. П. Юройть*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 03.01.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 100. Заказ 1293.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.