

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Кафедра медицинской физики с курсом информатики

Утверждаю

Зав. кафедрой мед. физики с курсом
информатики к. физ.- мат. наук, доцент

_____ Кудрейко А.А.

« 18 » апреля 2023г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

Дисциплина: Механика, электричество

Специальность: 30.05.02 - Медицинская биофизика

Курс: 1, 2

Семестр: 1-3

Количество часов – 252

Уфа, 2023

Методические указания для обучающихся к лабораторным занятиям разработаны на основании рабочей программы по дисциплине «Медицинская биофизика», утвержденной Учебно-методическим советом специальности 30.05.02 Медицинская биофизика от «18» апреля_2023 г. протокол № 10.

Рецензенты:

Главный врач ГБУЗ Республиканский кардиологический центр,

к.м.н Николаева И.Е.

Зав. кафедрой общей физики

Уфимского университета науки и технологий ,

д.ф.-м.н., профессор Балапанов М.Х.

Автор: к.физ-мат.н., доцент

Зелеев М Х.

Утверждено на заседании кафедры медицинской физики с курсом информатики протокол № 10 от « 18 » апреля 2023 г.

Содержание

Введение.....	3
1. Лабораторное работа №3 «Статистическая обработка опытных данных».....	4
2. Лабораторное работа №4 «Аудиометрия».....	7
3. Лабораторное работа №5 «Определение вязкости жидкости».....	11
4. Лабораторное работа №6 «Пассивные электрические свойства тканей».....	12
5. Лабораторное работа №7 «Физические основы электрографии».....	15
6. Лабораторное работа №9 «Ультразвук. Физические основы звуковых методов исследования в клинике».....	16
7. Лабораторная работа №10 «Снятие спектральной характеристики уха на пороге слышимости».....	22
8 Лабораторная работа № 11 «Определение вязкости жидкости медицинским вискозиметром и методом Стокса».....	25
9. Лабораторная работа №12 «Пассивные электрические свойства тканей».....	28
10 Лабораторная работа №13 «Изучение устройства электрокардиографа и физических основы электрокардиографии и вектор кардиографии».....	32
11 Лабораторная работа № 14 «Изучение работы генератора незатухающих электрических колебания».....	39
12 Лабораторная работа № ФПЭ-02_Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона.....	70
13 Лабораторная работа № ФПЭ-04 «Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла».....	81
14 Лабораторная работа № ФПЭ-05 Изучение явления взаимной индукции.....	93
15. Лабораторная работа № ФПЭ-06 Определение работы выхода электронов из металла.....	103
16. Лабораторная работа № ФПЭ-09 Изучение электрических процессов в простых линейных цепях при действии гармонической электродвижущей силы.....	119
17.Лабораторная работа № ФПЭ-12 Изучение релаксационных колебаний.....	135

Введение

В настоящее время в биологических исследованиях и в медицинской практике применяется большое количество приборов: диагностических, терапевтических и хирургических, действие которых основано на самых разнообразных физических законах. Специалист в области медицины сегодняшнего дня должен быть хорошо знаком как с биологическими процессами, протекающими в живом организме, так и с возможностями медицинской аппаратуры, с которой он может встретиться на производстве, в лаборатории и клинике. В учебном плане медицинских вузов предусмотрена лабораторные работы под руководством преподавателя. Данное пособие может быть использовано при проведении этих занятий как для изучения теоретического материала, в дополнение к учебнику, так и для самостоятельного выполнения отдельных лабораторных работ.

Порядок выполнения работ

Подготовка и выполнение лабораторной работы. По программе, полученной в начале каждой работы (после содержания занятия) студент должен:

- а) разобраться в теоретических основах изучаемого явления;
- б) ознакомиться с описанием приборов или установок, изучить описание метода измерения;
- в) наметить ход работы и подготовить протокол для результатов измерений;
- г) при выполнении работы строго придерживаться намеченного хода работы. Все операции проводить самостоятельно, соблюдая правила техники безопасности.
- д) после выполнения работы рассчитать погрешности измерений и оформить протокол.

Издание является руководством к выполнению лабораторных работ студентами в аудиторное время может быть использовано и для усвоения и закрепления знаний студентов во внеаудиторное время. В начале каждой лабораторной работы приводятся теоретические сведения и формулы необходимые для расчетов и выполнения отчета по данной лабораторной работе, а также представлены задачи разной степени сложности и тесты для контроля степени усвоения знаний студентов.

Лабораторная работа №3 «Статистическая обработка опытных данных».

1. Тема и ее актуальность.

В данной лабораторной работе изучается статистическая обработка опытных данных. Статистическая обработка опытных данных позволяет врачам учесть, что постановка диагноза имеет вероятностный характер. Только патологоанатомическое исследование может достоверно определить диагноз умершего человека.

В практической деятельности врач постоянно имеет дело с количественными показателями. Методы математической статистики позволяют систематизировать и оценивать эти показатели, которые рассматриваются как случайные величины.

2. Учебные цели.

В результате усвоения темы обучающийся должен **знать**: основные математические характеристики непрерывной случайной величины, нормальный закон распределения; характеристики дискретной и непрерывной случайной величины; нормальный закон распределения случайной величины.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента; вычислять вероятности различных случайных событий, уметь составить статистическое распределение случайных величин, гистограмму частот, уметь определять выборочную среднюю, выборочную дисперсию, выборочное среднее квадратичное отклонение, уметь вычислять плотность вероятности распределения случайной величины и овладеть следующими **компетенциями ОПК-1, ОК-1**.

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

- основные математические характеристики непрерывной случайной величины;
- нормальный закон распределения.

4. Вид занятий: Практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 часа

6. Оснащение: типовые задачи, микрокалькулятор.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

1. Что называется вероятностью? Какие значения может она принимать?
2. Что называется случайной величиной? Какими бывают случайные величины?
3. Каковы числовые характеристики случайных величин (непрерывных и дискретных)?

4. Что называется плотностью вероятностей?
5. Что такое математическое ожидание?
6. Что такое гистограмма?
7. Что собой представляет нормальное распределение Гаусса и какого его значение для практических целей?

8. Для каких явлений применяется распределение Гаусса?

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Случайной величиной называют такую величину, которая в результате эксперимента принимает какое-либо одно значение из множества ее возможных значений, причем до эксперимента невозможно предсказать, какое именно.

Случайная величина называется дискретной, если совокупность всех ее возможных значений представляет собой конечное или бесконечное, но обязательно счетное множество значений.

Случайная величина называется непрерывной, если множество ее возможных значений представляет собой некоторый конечный или бесконечный промежуток числовой оси.

Наиболее полную информацию о дискретной случайной величине дает закон распределения этой величины.

Законом распределения дискретной случайной величины называется соответствие между всеми возможными значениями этой случайной величины и соответствующими им вероятностями.

На практике закон распределения изучаемой величины часто неизвестен, даже и в тех случаях, когда он известен, для описания определенных особенностей этой величины используют ее так называемые основные числовые характеристики, из которых рассмотрим математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение (стандарт).

Математическим ожиданием $M(X)$ (часто используется так же обозначение " μ ") дискретной случайной величины X называется сумма произведений каждого из всех ее возможных значений на соответствующие вероятности:

$$M(X) = \mu = \sum_{i=1}^n x_i p_i = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n,$$

где индекс i принимает значения $1, 2, 3, \dots, n$.

Основной смысл математического ожидания дискретной случайной величины состоит в том, что оно представляет собой среднее значение данной величины.

Для характеристики степени разброса возможных значений дискретной случайной величины относительно ее математического ожидания вводят понятие дисперсии дискретной случайной величины.

Дисперсией $D(X)$ дискретной случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения этой величины от ее математического ожидания:

$$D(X) = \sigma^2 = M((X - \mu)^2)$$

Следует, однако, отметить, что на практике дисперсию часто удобнее вычислять по формуле:

$$D(X) = \sigma^2 = M(X^2) - \mu^2$$

Наряду с дисперсией в качестве числовой характеристики степени разброса возможных значений дискретной случайной величины относительно ее математического ожидания часто используют ее среднее квадратическое отклонение (иногда называемое стандартным отклонением или просто стандартом), размерность которого совпадает с размерностью случайной величины.

Средним квадратическим отклонением дискретной случайной величины называется квадратный корень из ее дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$$

Если функция распределения непрерывной случайной величины имеет непрерывную производную, то для задания такой величины наряду с функцией распределения можно так же использовать плотность распределения вероятностей.

Плотность распределения вероятностей (плотностью вероятности) $f(x)$ непрерывной случайной величины X называется производная функции распределения $F(x)$ этой величины:

$$f(x) = F'(x)$$

Как и для дискретной величины для непрерывной случайной величины, математическое ожидание представляет собой среднее значение этой величины, а дисперсия и среднее квадратическое отклонение являются усредненными характеристиками степени разброса возможных значений этой величины относительно ее математического ожидания.

Однако формулы, определяющие математическое ожидание $M(X) = \mu$ и дисперсию $D(X) = \sigma^2$ непрерывной случайной величины, отличаются от соответствующих формул для дискретной величины и в общем случае имеют соответствующий вид:

$$M(X) = \mu = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx;$$

$$D(X) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx;$$

Среднее квадратическое отклонение, как и для дискретной случайной величины, определяется формулой:

$$\sigma = \sqrt{D(X)}$$

Из известных видов распределения непрерывных случайных величин наиболее часто используют нормальное распределение, описываемое законом Гаусса. Это объясняется как его относительной простотой, так и тем, что многие случайные величины, формирование значений которых определяется большим количеством неконтролируемых факторов, каждый из которых вносит относительно небольшой вклад, имеют распределение, близкое к нормальному.

Непрерывная случайная величина называется распределенной по нормальному закону (закону Гаусса), если ее плотность вероятности имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где μ - математическое ожидание; σ^2 - дисперсия; σ - среднее квадратическое отклонение этой величины.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Тест 1.

1. Дискретной случайной величиной называется:

- а) совокупность всех возможных значений случайной величины, представляющее бесконечное множество значений;
- б) совокупность всех ее возможных значений, которое представляет собой конечное или бесконечное, но обязательно счетное множество значений;
- в) совокупность всех возможных значений случайной величины, представляющее конечное множество значений.

2. Непрерывной случайной величиной называется:

- а) множество возможных значений представляет собой некоторый конечный или бесконечный промежуток числовой оси;
- б) множество возможных значений представляет собой некоторый конечный или бесконечный промежуток числовой оси;
- в) множество возможных значений представляет собой некоторый бесконечный промежуток числовой оси.

Тест 2.

Математическое ожидание дискретной случайной величины А. $M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$

Дисперсия дискретной случайной величины Б. $D(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx$

Среднее квадратическое отклонение В. $D(x) = M\left[(x - \mu)^2\right]$

Математическое ожидание непрерывной случайной величины Г. $\sigma(X) = \sqrt{D(x)}$

Дисперсия непрерывной случайной величины D . $M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i$

Решить следующие задачи:

1. Из 982 больных, поступивших в больницу за месяц, 275 человек имели травмы. какова относительная частота поступления больных с этим видом заболевания.
2. В урне находится 10 шаров: 3 белых и 7 черных. Из нее наугад извлекают 1 шар. Какова вероятность того, что этот шар белый? черный?
3. Найдите математическое ожидание, дисперсию, и среднее квадратическое отклонение дискретной случайной величины, распределенной в соответствии со следующим законом распределения:

a	1	4	6	7
p	0,1	0,2	0,2	0,5

4. В нормальном законе распределения математическое ожидание $a=2$, среднее квадратическое отклонение $\sigma=4$. Чему равно x , если вероятность того, что случайная величина принимает значения меньше x , равна $3/4$?

Лабораторная работа №4 «Аудиометрия».

1. Тема и ее актуальность.

Современная акустика охватывает широкий круг вопросов, в ней выделяют несколько разделов: физическая акустика, которая изучает особенности распространения упругих волн в различных средах; физиологическая акустика, изучающая устройство и работу звуковоспринимающих и звукообразующих органов у человека и животных и др. В узком смысле слова под акустикой понимают учение о звуке, т.е. об упругих колебаниях и волнах в газах, жидкостях и твердых телах, воспринимаемые человеческим ухом (частоты от 16 до 20000 Гц).

2. Учебные цели.

В результате освоения темы обучающийся должен уметь решать задачи по аудиометрии и освоить методы получения аудиограммы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические характеристики звуковой волны.
- физиологические характеристики звука и связь с физическими характеристиками.
- устройство и принцип работы аудиометра.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.
- определить порог слышимости при различных значениях частоты звука, действующего на левое ухо через наушники аудиометра;
- определить среднее значение порога слышимости для каждого значения частоты;
- по полученным результатам построить аудиограммы для каждого уха.
- и овладеть следующими компетенциями **ОПК-1 , ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

- устройство и принцип работы аудиометра;
- закон Вебера-Фехнера;
- шкалы равной громкости;
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;

- уметь применять справочные данные физических величин.

4. Вид занятия: Практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: аудиометр.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме: _

1. Что представляет собой звук? Укажите физические характеристики звука.

2. Перечислите характеристики слухового ощущения и укажите, как они связаны с физическими характеристиками звука.

3. Сформулируйте закон Вебера-Фехнера.

4. Как строится шкала интенсивности и громкости? Укажите единицы уровня интенсивности и громкости звука.

5. Что называется аудиометрией?

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Звуковые колебания и волны - частный случай механических колебаний и волн. Для оценки слуховых ощущений принято различать звуки: 1) тоны или музыкальные звуки, 2) шумы, 3) звуковые удары.

Простой или чистый тон, основной физической характеристикой которого является частота, если он гармонический, соответствующая плоская звуковая волна описывается уравнением: $x = A \cos[\omega(t - x/v)]$.

Негармоническому колебанию соответствует сложный тон, который создается музыкальным инструментом, аппаратом речи (гласные звуки) и т.д.

Важной физической характеристикой сложного тона является акустический спектр. Спектр сложного тона линейчатый, наименьшая частота которого соответствует основному тону, остальные обертоны.

Шум - есть сочетание беспорядочно изменяющихся сложных тонов. Спектр шума сплошной, различной амплитуды, изменяющийся без определенной упорядоченности (шум от вибрации машины, пламени горелки, согласные звуки речи и т.д.).

Звуковой- удар - это кратковременное звуковое воздействие (хлопок, взрыв и т.д.).

Энергетической характеристикой звука является интенсивность. Интенсивностью (I) звуковой волны называется плотность потока энергии волн, который есть поток энергии волны, отнесенный к площади, ориентированной перпендикулярно направлению распространения волн: $I = \Phi/S$.

Поток энергии (Φ) есть количественная характеристика перенесенной энергии в процессе распространения волны, которая есть средняя энергия, переносимой волнами в единицу времени через некоторую поверхность.

Единицей потока энергии (Φ) является - Вт, Интенсивности (плотности потока энергии) - Вт/м²: И так, $I = (\rho A^2 \omega^2 / 2) * v$, где A - амплитуда колебаний точек среды, ρ - плотность среды, ω - частота колебаний, v - скорость распространения волны.

На практике для оценки звука удобнее использовать звуковое давление, которое возникает дополнительно при прохождении звуковых волн в газообразной или жидкой среде. Для плоской волны интенсивность и звуковое давление связаны формулой: $I = p^2 / 2\rho v$, где p - амплитуда звукового давления, ρ - плотность среды, v - скорость среды.

Нормальное человеческое ухо воспринимает довольно широкий диапазон интенсивности звука: например, на частоте 1 кГц: от $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² или $p_0 = 2 * 10^{-5}$ Па (порог слышимости) до $I = 10$ Вт/м² или $p_{max} = 60$ Па (порог болевого ощущения).

Логарифмическое соотношение между измерениями уровней громкости и интенсивности звука, отражающее свойство адаптации уха, положено в основу системы звуковых измерений. Для того чтобы исключить зависимость громкости от частоты, эта система относится к определенному (эталонному) тону частотой 1000 Гц. Кроме того,

вместо натурального логарифма в соотношение был введен десятичный, а единицы измерения выбраны относительными (поэтому $k=1$).

Тогда (для тона 1000 Гц) уровень громкости ΔL при интенсивности звука I в относительных единицах измерения будет

$$\Delta L = \lg I / I_0 \text{ при } v_{\text{эт}} = 1000 \text{ Гц.}$$

Шкала единиц для измерения интенсивности звука составлена следующим образом. За нулевой уровень принята интенсивность звука $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ ($10^{-10} \text{ мкВт/см}^2$) или звуковое давление $\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$, что согласно средним опытным данным соответствует (при тоне 1000 Гц) порогу слышимости.

За верхний уровень шкалы принята интенсивность звука $I_{\text{max}} = 10 \text{ Вт/м}^2$ (10^2 мкВт/см^2) или звуковое давление $\Delta p = 60 \text{ Н/м}^2$, при которых звуковое ощущение переходит в болевое.

Соответственно соотношению между верхним и нижним уровнями шкалы 10^{13} вся шкала разделена на 13 уровней или единиц, каждая из которых соответствует отношению интенсивности двух звуков, равному 10 или звуковых давлений равному $\sqrt{10} = 3,17$. Эта единица шкалы названа белом (Б), единица, в десять раз меньшая, - децибел (дБ).

Бел - есть единица шкалы уровней интенсивности звука, соответствующая изменению уровня интенсивности в 10 раз.

Характеристиками звукового ощущения являются: высота тона, тембр, громкость. Они являются субъективными характеристиками звука.

Высота тона - обуславливается частотой основного тона.

Тембр звука - определяется спектральным составом.

Громкость звука - характеризует уровень звукового ощущения. Несмотря на субъективность, громкость оценивается путем сравнения слухового ощущения от двух источников. В основе создания шкалы уровней громкости лежит психофизический закон Вебера-Фехнера: если раздражение увеличивается в геометрической прогрессии, то ощущение этого раздражения возрастает в арифметической прогрессии. Громкость (E) действующего раздражителя (J) связана с порогом слышимости (J_0) следующим образом: $E = k \lg(J/J_0)$, где k - коэффициент, зависящий от частоты и интенсивности.

Подобно шкале интенсивности звука, интервал уровней громкости между порогом слышимости и порогом боли также разделен на 13 единиц, которое носят такое же название: фон. Таким образом, фон по шкале громкости при тоне 1000 Гц соответствует белу по шкале интенсивности звука. Поэтому фон громкости можно определить так: Фон - это изменение уровня громкости тона частотой 1000 Гц при изменении интенсивности звука в 10 раз. В системе звуковых измерений учитывается сложная связь между интенсивностью и громкостью звука, обусловленная чувствительностью уха: зависимость чувствительности уха от интенсивности звуковой волны в следствии адаптации учитывается логарифмической шкалой для ее измерения; зависимость от частоты - тем, что шкала громкости отнесена к эталонному тону 1000 Гц.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

1. Что такое аудиометрия?

- а) запись шумов сердца;
- б) метод измерения остроты слуха;
- в) метод измерения порога слышимости.

2. аускультация?

- а) выслушивание звуков, возникающих внутри организма;
- б) измерение болевого порога;
- в) метод измерения остроты слуха.

3. Что такое ФКГ?

- а) запись биопотенциалов сердца;
- б) запись звуков, сопровождающих работу сердца;
- в) запись биопотенциалов нервных тканей.

4. Что такое звук?

- а) колебания, распространяющиеся в пространстве с частотой 16 Гц;
- б) колебания с частотой 20000 Гц;
- в) колебания, воспринимаемые человеческим ухом с частотой от 16 Гц до 20000 Гц.

5. Что такое бел?

- а) единица измерения громкости;
- б) единица измерения шкалы уровней интенсивности;
- в) единица измерения частоты звука.

6. Что такое фон?

- а) единица измерения интенсивности;
- б) единица измерения шкалы громкости;
- в) звуки, сопровождающие работу сердца.

Задание 2.

Решить следующие задачи:

1. На сколько увеличится громкость звука, если интенсивность звука увеличилась от порога слышимости в 1000 раз. Задачу решите для звука частотой: а) 100Гц; б) 1кГц. Для решения воспользуйтесь кривыми ровной громкости.
2. По условиям некоторого производства определен допустимый уровень шума $E=70$ фон. определите максимально допустимую интенсивность звука. Условно считать, что шум соответствует звуку частотой $\nu=1$ кГц.
3. Уровень громкости звука частотой $\nu=5000$ Гц равен $E=50$ фон. Найдите интенсивность этого звука.

Лабораторная работа №5 «Определение вязкости жидкости».

1. Тема и ее актуальность.

Жидкие среды составляют наибольшую часть организма, их перемещение обеспечивает обмен веществ и снабжение клеток кислородом, поэтому механические свойства и течение жидкости представляют собой интерес для медиков и биологов.

2. Учебные цели.

В результате освоения темы обучающийся должен уметь решать задачи по определению коэффициента вязкости и других реологических характеристик жидкостей.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- основные законы и формулы по определению коэффициента вязкости и других реологических характеристик жидкостей.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- решать задачи по определению коэффициента вязкости и других реологических характеристик жидкостей. навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных;

- уметь применять справочные данные физических величин.

- знать основные формулы и этапы решения;

- и овладеть следующими компетенциями **ОПК-1 , ОК-1**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. В чем причина вязкости жидкости?
2. От чего зависит сила вязкости при слоистом течении жидкости (уравнение Ньютона)?
3. От чего зависит коэффициент вязкости жидкости? Единицы его измерения?
4. Какие значения может иметь коэффициент вязкости крови?

4. Вид занятия: практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: типовые задачи, формулы, таблицы и графики.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

Тест.

Найди правильный ответ к поставленным вопросам.

1. Уравнение Ньютона для характеристики вязкости жидкости.	А) $\frac{v}{v_0} = \frac{\eta_0}{\eta}$
2. Градиент скорости жидкости в трубах при слоистом течении.	Б) $\eta = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\vartheta_0}$
3. Формула Пуазейля для труб постоянного сечения.	В) $\vartheta = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\eta}$
4. Гидравлическое сопротивление.	Г) $F_{тр} = 6\pi r\eta\vartheta$
5. Формула Пуазейля для труб переменного сечения.	Д) $Q = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8\eta l}$
6. Формула закона Стокса.	Е) $X = 8\eta l / (\pi R^4)$
7. Скорость равномерного падения сферического тела в жидкости.	Ё) $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{dp}{dl}$
8. Формула для расчета коэффициента вязкости методом падающего шарика.	З) $d\vartheta/dx$
9. Формула для расчета коэффициента вязкости методом Гесса.	Ж) $F_{тр} = \eta(d\vartheta/dx)S$
10. Число Рейнольдса.	И) $Re = \rho_{ж}\vartheta D / \eta$

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Причиной того, что для протекания жидкости или газа через трубку требуется некоторая разность давления, является внутреннее трение. Сила внутреннего трения выражается законом Ньютона:

$$F = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} S \quad (6.1.1)$$

где $\frac{\Delta v}{\Delta x}$ - градиент скорости; S - площадь соприкасающихся слоев жидкости; η - коэффициент вязкости жидкости, измеряется в Па*с.

Зависимость между объемом жидкости или газа V , протекающего за время t через трубку длиной l и необходимой для этого разностью давлений выражается формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{l} \quad (6.1.2)$$

$$V = Qt$$

где Q - объем жидкости, протекающий через сечение трубки в 1 с;

V - объем жидкости, протекающий через сечение трубки за t с;

R - радиус трубки;

$\frac{\Delta P}{l}$ - градиент давления;

7.3. Демонстрация преподавателем методики решения задач по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы.

Решить задачи № 2.141; 2.144; 2.149; 2.152.

Лабораторная работа №6 «Пассивные электрические свойства тканей».

1. Тема и ее актуальность.

Изучить природу тока в электролитах, причины электролитической диссоциации, прохождение постоянного и переменного тока через живые ткани, эквивалентную схему электропроводимости тканей организма.

2. Учебные цели.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- основные законы постоянного и переменного тока;
- принцип выпрямления переменного тока с помощью полупроводниковых диодов.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками применения формул, таблиц и графиков для решения задач;
- строить вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов;
- овладеть следующими **компетенциями ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. Природа тока в электролитах, причина электролитической диссоциации.
2. Первичное действие постоянного и импульсного электрического тока на биологические ткани.
3. Прохождение постоянного и переменного тока через живые ткани.
4. Удельное сопротивление различных тканей и биологических жидкостей.
5. Эквивалентная схема электропроводимости тканей организма.
6. Поляризационные явления в тканях и на границе раздела жидкости и электрода.

4. Вид занятия: Практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: типовые задачи, формулы, таблицы и графики.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений.

Тестовые вопросы

1. При прохождении постоянного тока через ткани организма с течением времени наблюдается уменьшение тока, связанное с:
 - а) адаптацией организма;
 - б) поляризационными явлениями, приводящими к возникновению встречного электрического поля;
 - в) «накоплением» заряженных частиц на мембранах;
 - г) адаптацией организма, вследствие «накопления» ионов на мембранах и уменьшением «свободных» ионов, способных передвигаться под действием электрического поля.
2. Что собой представляет электролитическая диссоциация?
 - а) процесс распада молекул на ионы под действием электрического поля;
 - б) процесс, в результате которого нейтральная молекула преобразуется в электрический диполь;
 - в) процесс перемещения связанных зарядов под действием электрического поля;
 - г) движение ионов в электрическом поле;
 - д) процесс распада молекулы на ионы в результате ее взаимодействия с полярными молекулами растворителя.
3. Первичное действие постоянного тока на биологические ткани:
 - а) тепловое;
 - б) стимулирующее;
 - в) раздражающее;
 - г) колебательное движение ионов;
 - д) направленное перемещение ионов изменение их концентрации около клеточных мембран.
4. При прохождении постоянного тока через ткани организма:
 - а) наблюдается электролитическая диссоциация и поляризационные явления;
 - б) оказывается раздражающее действие за счет движения ионов;
 - в) оказывается раздражающее действие за счет необратимой поляризации клеток;

г) оказывается раздражающее действие.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Лечебный метод, при котором используется действие на ткани организма постоянного тока малой силы, называется гальванизацией. При гальванизации постоянный ток со специального аппарата подводится к участку тканей организма с помощью проводов и металлических пластинчатых электродов с прокладками, наложенные на соответствующие места на поверхности тела.

Первичное действие электрического тока на ткани организма связано с передвижением имеющихся в них ионов и других заряженных частиц. При этом вследствие различной подвижности ионов, а главным образом, задержки и накопления их у полупроницаемых мембран, в тканевых элементах снаружи и внутри клетки, происходит изменение функционального состояния клетки и другие физиологические процессы в тканях.

Обычно гальванизацию совмещают с введением при помощи постоянного тока в ткани организма лекарственных веществ, образующие в растворе ионы или заряженные частицы. Растворами этих веществ смачиваются прокладки между электродами. Процедура называется лечебным электрофорезом.

При медленном увеличении силы тока под электродами в начале появляется ощущение легкого покалывания, жжения, чувство тепла. С усилением тока ощущение жжения нарастает, появляется боль, нестерпимое чувство сдавливания. Сильный ток может вызвать ожоги.

7.3. Демонстрация преподавателем методики решения задач по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы.

Тестовые вопросы

1. Электрофорез представляет собой:

- а) движение взвешенных в жидкости или газе коллоидных частиц под действием постоянного электрического поля;
- б) введение лекарственных веществ при помощи постоянного тока через кожу или слизистые оболочки;
- в) движение частиц дисперсной фазы в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду;
- г) метод введения через неповрежденную кожу и слизистые оболочки различных лекарственных веществ с помощью постоянного тока;
- д) движение дисперсионной среды в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду и одновременно с частицами дисперсной фазы;
- е) явления, возникающие в двухфазных средах и представляющие собой движение одной фазы относительно другой под действием электрического поля, благодаря наличию двойного электрического слоя на границе раздела фаз;
- ж) явления, возникающие между верхними и нижними слоями гетерогенной системы при оседании частиц дисперсной фазы под действием силы тяжести;
- з) процесс перемещения связанных зарядов под действием электрического поля.

2. Явление, обратное электрофорезу:

- а) электроосмос;
- б) потенциал течения;
- в) потенциал оседания;
- г) гальванизация.

3. Что называют гальванизацией?

- а) движение взвешенных в жидкости или газе коллоидных частиц под действием постоянного электрического поля;
- б) введение лекарственных веществ при помощи постоянного тока через кожу или слизистые оболочки;

- в) движение частиц дисперсной фазы в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду;
 - г) метод введения через неповрежденную кожу и слизистые оболочки различных лекарственных веществ с помощью постоянного тока;
 - д) воздействие постоянным электрическим током на ткани организма в лечебных целях.
4. Какой метод электротерапии осуществляется при помощи постоянного тока малой силы:
- а) электростимуляция;
 - б) электрофорез;
 - в) индуктотермия;
 - г) УВЧ-терапия;
 - д) гальванизация;

Задачи

№ 4.37; 4.38; 4.14, 4.20.

Лабораторное занятие №7 «Физические основы электрографии».

1. Тема и ее актуальность.

Изучение физических основ методов электрокардиографии и вектор электрокардиографии. Электрокардиограф является основным электронным устройством для снятия биопотенциалов сердца. Анализ биопотенциалов позволяет описать сердечную деятельность пациента, находит широкое применение в медицине.

2. Учебные цели.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- устройство и принцип работы электронных усилителей;
- назначение датчиков и электродов;
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;
- уметь применять справочные данные физических величин.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для решения типовых задач.
- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-1, ОК-1.

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. В чём состоит принцип усиления слабых электрических сигналов ?
2. Принцип работы двухкаскадного усилителя.
3. В чём состоит принцип работы дифференциального усилителя ?
4. Объясните устройство и назначение датчиков.
5. Что называется электрическим сопротивлением ?

4. Вид занятия: практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: типовые задачи, таблиц и графики для решения типовых задач.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Для выполнения практической работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. Принцип усиления слабых электрических сигналов;
3. Электроды, используемые для электрокардиографии;
4. Электродное сопротивление и способы его уменьшения.

Тестовые вопросы

1. Какова природа биопотенциалов:

- а) механическая;

- б) электрическая;
- в) магнитная;
- г) оптическая;
- д) электромагнитная.

2. Что называют электрокардиограммой?

- а) геометрическое место точек, соответствующих концу вектора электрического момента сердца, положение которого изменяется с течением времени;
- б) изменение положения вектора электрического момента сердца – диполя;
- в) геометрическое место точек, соответствующих концу вектора электрического момента сердца – диполя;
- г) зарегистрированное на бумаге изменение вектора электрического момента сердца – диполя за время сердечного цикла.

4. Как ведет себя диполь в неоднородном электрическом поле?

- а) втягивается в область большего поля;
- б) выталкивается из области большего поля;
- в) наличие электрического поля не меняет его поведения;
- г) ориентируется в поле.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

7.3. Демонстрация преподавателем методики решения задач по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Тесты

1. Токовый диполь представляет собой:

- а) систему, состоящую из истока и стока тока;
- б) систему, состоящую из двух разноименных точечных зарядов, находящихся в электрическом поле;
- в) систему, состоящую из двух равных точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, и находящихся в электрическом поле.

2. Биопотенциалы представляют собой :

- а) электрические напряжения в клетках и тканях человека;
- б) электрические напряжения в клетках и тканях человека и животных;
- в) электрические напряжения в клетках и тканях человека и растений;
- г) электрические напряжения в клетках биологических организмов;
- д) электрические напряжения в клетках и тканях биологических организмов.

3. Электрическим диполем называют:

- а) систему из двух зарядов;
- б) систему, состоящую из двух равных точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга;
- в) систему, состоящую из двух зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга;
- г) систему, состоящую из двух точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.
- г) систему, состоящую из двух точечных зарядов

Задачи № 4.9, 4.10, 4.15, 4.17.

Лабораторная работа №9 «Ультразвук. Физические основы звуковых методов исследования в клинике».

1. Тема и ее актуальность

В данной лабораторной работе рассматриваются методы получения ультразвука и его применение. Ультразвуковые методы диагностики и лечения, а также воздействие на вещество находят широкое применение в медицине и фармации.

2. Учебные цели.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- природу ультразвука;
- методы получения ультразвука;
- свойства ультразвука;
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные законы, формулы и этапы решения задач;
- уметь применять справочные данные физических величин.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных;
- овладеть следующими **компетенциями: ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. Объясните природу звуковых волн. Что является источником звука?
2. Напишите, что называется ультразвуком, что называется инфразвуком?
3. Объясните сущность явлений обратного пьезоэлектрического эффекта и магнитострикции.
4. Что такое пьезоэлектрический эффект?
5. В чем заключаются особенности распространения УЗ-ых волн?
6. Какие действия могут оказать УЗ-ые волны на вещество?
7. Опишите физическую основу работы диагностических УЗ-ых аппаратов.
8. Опишите физическую основу применения УЗ в терапии и хирургии.
9. Начертите блок-схему УЗ аппарата.

4. Вид занятия: практическое занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: типовые задачи, таблиц и графики для решения типовых задач.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме: _

1. *Какова природа звука?*

- а) Это механические колебания, распространяющиеся в воздухе;
- б) Это электромагнитные колебания, распространяющиеся в окружающей среде;
- в) Механические колебания, распространяющиеся в упругой среде;
- г) Механические колебания с частотой от 16 Гц до 20 КГц распространяющиеся в упругой среде;

2. *Что такое ультразвук?*

- а) Механические колебания с частотой меньше 20 КГц;
- б) Электромагнитные колебания с частотой 20 КГц;
- в) Механические колебания с частотой больше 20 КГц;
- г) Механические колебания с частотой от 20 КГц до 10^6 КГц

3. *Что такое инфразвук?*

- а) Механические колебания с частотой больше 20 КГц;
- б) Электромагнитные колебания с частотой 4–5 Гц;
- в) Механические колебания с частотой 20 Гц;
- г) Механические колебания с частотой менее 16 Гц распространяющиеся в упругой среде;

4. *В чем заключается эффект Доплера?*

- а) Изменение амплитуды колебаний, воспринимаемых наблюдателем сравнительно с действительной амплитудой колебаний источника при их относительном движении.
- б) Изменение скорости распространения колебаний воспринимаемых наблюдателем.
- в) Изменение частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем сравнительно с действительной частотой колебаний источника при относительном движении.

г) увеличение частоты источника воспринимаемой наблюдателем при удалении источника.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Упругие механические колебания и волны с частотой выше 20 кГц, верхняя граница частоты определяется длиной пути свободного пробега молекул, называются ультра звуком. Ультразвук можно подразделить на три подобласти: низких частот – УНЧ, средних частот – УСЧ и область высоких частот – УВЧ. Каждая из этих подобластей характеризуется своими специфическими особенностями генерации, приема, распространения и применения.

Физические свойства и особенности распространения УЗ

По своей физической природе УЗ представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука. Частотная граница между звуковыми и УЗ-ми волнами условна, она определяется субъективными свойствами человеческого слуха и соответствует усредненной верхней границе слышимого звука. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн, имеет место ряд особенностей распространения ультразвука. УЗ в газах и, в частности, в воздухе распространяется с большим затуханием. Жидкости и твердые тела (в особенности монокристаллы) представляют собой, как правило, хорошие проводники УЗ, затухание в которых значительно меньше. Так, например, в воде затухание УЗ при прочих равных условиях приблизительно в 1000 раз меньше, чем в воздухе. Поэтому области использования УСЧ и УВЧ относятся почти исключительно к жидкостям и твердым телам, а в воздухе и газах применяют только УНЧ.

Ввиду малой длины волны УЗ на характере его распространения сказывается молекулярная структура среды, поэтому, измеряя скорость УЗ и коэффициент поглощения α , можно судить о молекулярных свойствах вещества. Этими вопросами занимается молекулярная акустика. Характерная особенность распространения УЗ в газах и жидкостях - существование отчетливо выраженных областей дисперсии, сопровождающейся резким возрастанием его поглощения.

Дисперсия звука – зависимость фазовой скорости монохроматических звуковых волн от частоты. Дисперсия звука является причиной изменения формы звуковой волны (звукового импульса) при распространении его в среде. Различают дисперсию звука, обусловленную физическими свойствами среды, и дисперсию звука, обусловленную наличием границ тела, в котором звуковая волна распространяется.

Коэффициент поглощения α , УЗ в ряде жидкостей существенно превосходит рассчитанный по классической теории и не обнаруживает предсказанного этой теорией увеличения, пропорционального квадрату частоты. Все эти эффекты находят объяснение в релаксационной теории, которая описывает распространение УЗ в любых средах и является теоретической базой современной молекулярной акустики. Основным экспериментальный метод – измерение зависимости v (скорости) и особенно α от частоты и от внешних условий (температура, давление и др.).

Релаксация – процесс установления термодинамического, а, следовательно, и статистического равновесия в физической системе, состоящей из большого числа частиц.

Совокупность уплотнений и разрежений, сопровождающая распространение УЗ-волны, представляет собой своеобразную решетку, поэтому дифракцию волн можно наблюдать в оптически прозрачных телах. Малая длина волн является основой для того, чтобы рассматривать их распространение в ряде случаев методами **геометрической акустики**. Физически это приводит к лучевой картине распространения. Отсюда вытекают такие свойства УЗ, как возможность геометрического отражения и преломления, а также **фокусировки ультразвука**.

Следующая важная особенность УЗ – возможность получения большой интенсивности даже при сравнительно небольших амплитудах колебаний, так как при данной амплитуде плотность потока энергии пропорциональна квадрату частоты. УЗ-волны большой интенсивности сопровождаются рядом эффектов, которые могут быть

объяснены лишь законами **нелинейной оптики**. Так, распространению УЗ-волн в газах и жидкостях сопутствует движение среды, которое называется акустическим течением. Скорость акустического течения зависит от вязкости среды, интенсивности УЗ и его частоты.

К числу важных нелинейных явлений, возникающих при распространении интенсивного УЗ в жидкостях, относится акустическая кавитация – рост в УЗ-ом поле пузырьков из имеющихся субмикроскопических зародышей газа или пара в жидкостях до размеров в доли мм, которые начинают пульсировать с частотой УЗ и захлопываются в положительной фазе давления. При захлопывании пузырьков газа возникают большие давления порядка тысяч атмосфер, образуются сферические ударные волны. Возле пульсирующих пузырьков образуются акустические микро потоки. Появление их в кавитационном поле приводит к ряду как полезных (получение эмульсии, очистка загрязненных деталей и др.), так и вредных явлений. Частоты УЗ, при которых используется УЗ кавитация в технологических целях, лежат в области УНЧ. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от рода жидкости, частоты звука, температуры и других факторов. В воде на частоте 20 кГц она составляет примерно 0,3 Вт/см². На частотах диапазона УСЧ в УЗ-ом поле с интенсивностью несколько Вт/см² могут возникнуть фонтанирование жидкости и распыление ее с образованием весьма мелкодисперсного тумана.

Прием и обнаружение ультразвука

Вследствие обратимости пьезоэффекта он широко применяется и для приема УЗ. Изучение УЗ-ого поля может производиться и оптическими методами: УЗ, распространяясь в какой-либо среде, вызывает изменение ее оптического показателя преломления, благодаря чему его можно визуализировать, если среда прозрачна для света. Смежная область акустики и оптики (акустооптика) получила большое развитие, в особенности после появления газовых лазеров непрерывного действия, развились исследования по дифракции света на УЗ и ее различным применениям.

Ультразвук в биологии и медицине

При действии УЗ на объекты в облучаемых органах и тканях на расстояниях, равных половине длины волны, могут возникать разности давлений от единиц до десятков атмосфер. Столь интенсивные воздействия приводят к разнообразным биологическим эффектам, физическая природа которых определяется совместным действием механических, тепловых и физико-химических явлений, сопутствующих распространению УЗ в среде. Биологическое действие УЗ, т.е. изменения, вызываемые в жизнедеятельности и структурах биологических объектов при воздействии на них УЗ, определяется главным образом интенсивностью УЗ и длительностью облучения и может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на жизнедеятельность организмов. Так, возникающие при сравнительно небольшой интенсивности УЗ (до 1–11 Вт/см²) механические колебания частиц производят своеобразный микро массаж тканей, способствующий лучшему обмену веществ и лучшему снабжению тканей кровью и лимфой. Повышение интенсивности УЗ может привести к возникновению в биологических средах акустической кавитации, сопровождающейся механическим разрушением клеток и тканей (кавитационными зародышами служат имеющиеся в биологических средах газовые пузырьки).

При поглощении УЗ в биологических объектах происходит преобразование акустической энергии в тепловую. Локальный нагрев ткани на доли и единицы градусов, как правило, способствует жизнедеятельности биологических объектов, повышая интенсивность процессов обмена веществ. Однако более интенсивные и длительные воздействия могут привести к перегреву биологических структур и к их разрушению (денатурация белков и др.).

В основе биологического действия УЗ могут лежать также вторичные физико-химические эффекты. Так, при образовании акустических потоков может происходить

перемешивание внутриклеточных структур. Кавитация приводит к разрыву молекулярных связей в биополимерах и других жизненно важных соединениях и развитию окислительно-восстановительных реакций. УЗ повышает проницаемость **биологических мембран**, вследствие чего происходит ускорение процессов обмена веществ из-за диффузии. Все перечисленные факторы в реальных условиях действуют на биологические объекты в том или ином сочетании совместно, и поэтому трудно, а подчас невозможно раздельно исследовать процессы, имеющие различную физическую природу.

УЗ используется для диагностики, терапевтического и хирургического лечения в различных областях клинической медицины. Способность УЗ без существенного поглощения проникать в мягкие ткани организма и отражаться от акустических неоднородностей используется для **исследования внутренних органов**. УЗ-е методы диагностики в ряде случаев позволяют более тонко, чем рентгеновские, различать структуру тканей. Так, с помощью УЗ обнаруживаются опухоли мягких тканей, часто не различимые другими способами. УЗ применяют в акушерстве для диагностического исследования плода беременной женщины, в нейрохирургии – для распознавания опухолей в головном мозге (эхо энцефалография), в кардиологии – для изучения гемодинамики, выявления гипертрофии мышцы сердца.

Микромассаж тканей, активация процессов обмена и локальное нагревание тканей под действием УЗ используются в медицине для **терапевтических целей**. УЗ-я терапия, применение УЗ с лечебной целью – один из методов физиотерапии. Для УЗ-терапии используют колебания в диапазоне 500–3000 КГц. УЗ оказывает выраженное обезболивающее, спазмолитическое, противовоспалительное и общетонизирующее действия, стимулирует крове- и лимфа обращения, регенеративные процессы, улучшает нервную трофику. УЗ-терапия проводится с помощью портативных и стационарных лечебных аппаратов, работающих обычно с частотой около 900 КГц в непрерывном или импульсном режимах мощностью от 0,1 до 1,0 Вт/см². УЗ воздействуют лишь на ограниченные участки тела площадью 100–200 см² (на так называемые рефлексогенные зоны или на область поражения). УЗ-ую терапию проводят в виде курса лечения (10–20 процедур по 5–10 мин каждая). Применяют при болезнях периферических нервов, суставов, кожных, гинекологических и других воспалительных заболеваниях, помутнении стекловидного тела глаза, роговицы и др. Противопоказания: опухоли, острые инфекции, выраженные сердечно-сосудистые расстройства и др.

УЗ-я хирургия подразделяется на две разновидности, одна из которых связана с разрушением тканей соответственно звуковым колебаниям, а вторая – с наложением УЗ-ых колебаний на хирургический инструмент. В первом случае применяется фокусированный УЗ с частотами 10⁶–10⁷ Гц, во втором – колебания на частотах 20–25 КГц с амплитудой 10–50 мкм. УЗ инструменты применяются для рассечения мягких и костных тканей, позволяя при этом существенно уменьшать усилие резания, кровопотери и болевые ощущения. В травматологии и ортопедии УЗ используют для сварки сломанных костей: при этих операциях костной стружкой, смешанной с жидкой пластмассой, заполняют пространство между костными отломками; под действием УЗ образуется их соединение.

УЗ применяется также в медицинской и биологической **лабораторной практике**, в частности для **диспергирования биологических структур** – тонкое воздействие на структуру клеток, при стерилизации инструментов и лекарственных веществ, для изготовления аэрозолей, а также в бактериологии, иммунологии и т.д., для получения ферментов и антигенов из бактерий и вирусов, для изучения морфологических особенностей и антигенной активности бактериальных клеток и др.

Ультразвук в диагностике

Метод ультразвуковой диагностики все больше входит в практику медицинских учреждений, и, очевидно, с дальнейшим развитием приборного оснащения сфера его применения будет неуклонно расширяться.

Ультразвук применяется при исследовании трудно доступных органов, а также с целью обнаружения внутри тела патологических образований (в частности, опухолей в

тканях головного мозга). При этом используется два метода: УЗ-е просвечивание и УЗ-я локация. Первый основан на различном поглощении ультразвука тканями с различными акустическими свойствами (плотность, упругость). При исследовании через объект в различных его точках попускается УЗ-й луч определенной интенсивности, который воспринимается датчиком, находящимся по другую сторону объекта. По изменению интенсивности луча воспроизводится теневая картина внутреннего строения объекта.

В основе УЗ-ой локации лежит способность ультразвуковых колебаний отражаться от структурных неоднородностей биологического объекта. Отраженные сигналы используются либо для синтеза картины распределения структур разной плотности в исследуемом объекте – эхо графические приборы, либо для выделения информации о движении отражающих структур – приборы, работающие на принципе Доплера.

Установка первого типа, например, состоит (рис. 2) из генератора (Г), датчика (Д), образующего прямой пьезоэлектрический эффект, и электроннолучевого осциллографа, на экране (Э) которого наблюдаются импульсы. Расстояние между импульсами дает возможность судить о глубине расположения искомого образования, а при перемещении датчика – о его форме и расположении. Аппарат для диагностики опухолей головного мозга называется эхоэнцефаллографом.

Установки второго типа (для измерения скорости кровотока в сосудах) работают на основе эффекта Доплера. Эффектом Доплера называют изменение частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем сравнительно с действительной частотой колебаний источника при их относительном движении.

Рассмотрим это на примере звуковых колебаний. Имеется источник колебаний с частотой $\nu_0 = \frac{v}{\lambda_0}$ (где v – скорость распространения колебания, λ_0 – длина волны),

который воспринимается наблюдателем, неподвижным относительно источника. Если наблюдатель приближается к источнику со скоростью U_n , то скорость звука относительно наблюдателя будет $v = v_0 + U_n$. Тогда частота колебаний ν воспринимается наблюдателем

как $\nu' = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v_0 + U_n}{\lambda_0}$. Таким образом, $\nu' > \nu_0$, т.е. воспринимаемая приближающимся

наблюдателем частота выше, чем неподвижным (при удалении наблюдателя от источника частота колебаний ниже). Аналогичное явление происходит и при приближении источника звука к неподвижному наблюдателю, хотя соотношения при этом будут несколько отличаться. Общеизвестен факт, что при приближении поезда гудок его воспринимается более высоким, а при удалении, наоборот, более низким. Эффект Доплера имеет место и при распространении звука в движущейся среде при неподвижном источнике и наблюдателе. Если, например, среда движется по направлению от источника к наблюдателю, то это равносильно приближению к источнику.

При измерении скорости кровотока вдоль сосуда на определенном расстоянии устанавливаются датчик УЗ определенной частоты и приемник. Частота колебаний, воспринимаемая приемником, регистрируется. По разности частот определяется искомая скорость.

Таким образом, ультразвуковая локация биологического объекта позволяет получать информацию об анатомо-морфологическом строении органов и тканей и их динамике.

Одним из важных явлений, наблюдаемых при действии УЗ на ткани организма, является трансформация механической энергии в энергию электронного возбуждения; эта энергия электронного возбуждения проявляется в свечении жидкости в УЗ поле. Молекулярный механизм ультразвукового свечения остается невыясненным, но его связь с биологическим действием УЗ не вызывает сомнений. Поэтому, можно ожидать, что в ближайшем будущем УЗ свечение станет чувствительным и информативным методом исследования молекулярных процессов в биосистемах.

Хирургический крио-ультразвуковой инструмент

Современные возможности применения физических методов в хирургии особенно четко проявились в развитии отечественной ультразвуковой и криогенной техники. Каждый из этих методов обладает рядом достоинств при различных специализированных хирургических вмешательствах. Так, основным достоинством ультразвуковых методов, используемых в хирургии для разъединения тканей, является атравматичность вмешательства, его обезболивающий и гемо статический эффект, повышенная по сравнению с ручным процессом высокая производительность резания или распиливания.

Особое место занимают вопросы по применению УЗ в качестве хирургического инструмента – рассечение и соединение тканей, а также УЗ "сварка" костей. Это, по существу, новое применение УЗ в хирургической и травматологической клинике очень быстро завоевывает признание.

У криогенного метода также есть свои положительные стороны – это строго локальная деструкция патологических тканей при отсутствии диссеминации их клеток, возможность почти бескровной операции на тканях и эффект местного обезболивания.

Ультразвук в природе

Целый ряд животных способен воспринимать и излучать частоты упругих волн значительно выше 20 КГц. Так, птицы болезненно реагируют на УЗ частоты более 25 КГц, что используется, например, для отпугивания чаек от водоемов с питьевой водой. Мелкие насекомые при своем полете создают УЗ волны. Летучие мыши, имея совсем слабое зрение или вовсе не имея его, ориентируются в полете, ловят добычу методом УЗ локации. Они излучают своим голосовым аппаратом УЗ импульсы с частотой 50–60 КГц. Дельфины излучают и воспринимают УЗ до частот 170 КГц; метод УЗ-ой локации у них, по-видимому, совершеннее, чем у летучей мыши.

7.3. Решение задач с преподавателем и методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов. Решение задач.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Решите следующие задачи:

Частота колебаний стержневого вибратора, для получения ультразвука, может быть определена по формуле:

$$f = \frac{nc}{2l} = \frac{n}{2l} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

где l – длина стержня, n – номер гармоники, E – модуль Юнга, ρ – плотность материала, c – скорость ультразвука в стержне.

Задача №1. Какова длина ультразвуковой волны в плексиглазе, если возбуждаемые ультразвуковым генератором волны частотой $\nu = 4,0$ МГц распространяются в плексиглазе со скоростью 2200 м/с? (0.7)

Задача №2. Генератор, работающий на частоте 60 КГц посылает ультразвуковые импульсы длительностью 1/600 с. Сколько ультразвуковых волн содержится в одном импульсе. (100)

Задача №3. Ультразвук применяется для измерения скорости потоков жидкости и газа. Какова скорость потока, если расстояние между двумя вибраторами равно 100 м, ультразвук в одном направлении проходит за 0.5 с, а в противоположном за 1 с? Зависит ли результат измерений от температуры и рода жидкости? (50 м/с).

Задача №4. Определить частоту собственных колебаний ферритового стержня длиной 10 см. Скорость ультразвука в феррите принять равной $c = 5,15 \cdot 10^5$ см/с. (26 кГц).

Тест

1. Запишите выражение уравнения плоской волны:

а) $S = A \cdot \cos \cdot \omega \cdot (t - \frac{x}{v})$; б) $x = A \cdot \cos \cdot \omega \cdot (t - \frac{S}{v})$; в) $S = A \cdot \cos \cdot \omega \cdot (t - \frac{x}{v})$

2. Запишите формулу объемной плотности энергии упругой волны, распространяющейся в веществе:

$$\text{а) } \omega_p = \frac{S^2 \cdot A^2 \cdot \omega_0^2}{2}; \quad \text{б) } \omega_p = \frac{S \cdot A^2 \cdot \omega_0^2}{2}; \quad \text{в) } \omega_p = \frac{S \cdot \omega_0 A^2}{2}$$

3. По какой формуле рассчитывается частота колебаний воспринимаемых наблюдателем (эффект Доплера)?

$$\text{а) } v' = \frac{v - v_n}{v + v_n} \cdot v; \quad \text{б) } v' = \frac{v_n \pm v}{v_n \pm v} \cdot v; \quad \text{в) } v' = \frac{v + v_n}{v - v_n} \cdot v$$

4. Выберите, какова связь интенсивности звука и звукового давления для плоской волны:

$$\text{а) } J = \frac{P}{2\rho v}; \quad \text{б) } J = \frac{P}{2\rho v^2}; \quad \text{в) } J = \frac{P}{2\rho v^3}$$

Лабораторная работа № 10 «Снятие спектральной характеристики уха на пороге слышимости».

1. Тема и ее актуальность.

Современная акустика охватывает широкий круг вопросов, в ней выделяют несколько разделов: физическая акустика, которая изучает особенности распространения упругих волн в различных средах; физиологическая акустика, изучающая устройство и работу звуковоспринимающих и звукообразующих органов у человека и животных и др. В узком смысле слова под акустикой понимают учение о звуке, т.е. об упругих колебаниях и волнах в газах, жидкостях и твердых телах, воспринимаемые человеческим ухом (частоты от 16 до 20000 Гц).

2. Учебные цели.

В результате освоения темы обучающийся должен уметь пользоваться аудиометром и освоить метод получения аудиограммы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические характеристики звуковой волны.
- физиологические характеристики звука и связь с физическими характеристиками.
- устройство и принцип работы аудиометра.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.
- определить порог слышимости при различных значениях частоты звука, действующего на левое ухо через наушники аудиометра;
- определить среднее значение порога слышимости для каждого значения частоты;
- по полученным результатам построить аудиограммы для каждого уха.
- и овладеть следующими **компетенциями ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

- устройство и принцип работы аудиометра;
- закон Вебера-Фехнера;
- шкалы равной громкости;
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;
- уметь применять справочные данные физических величин.

4. Вид занятия: лабораторное занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: аудиометр.

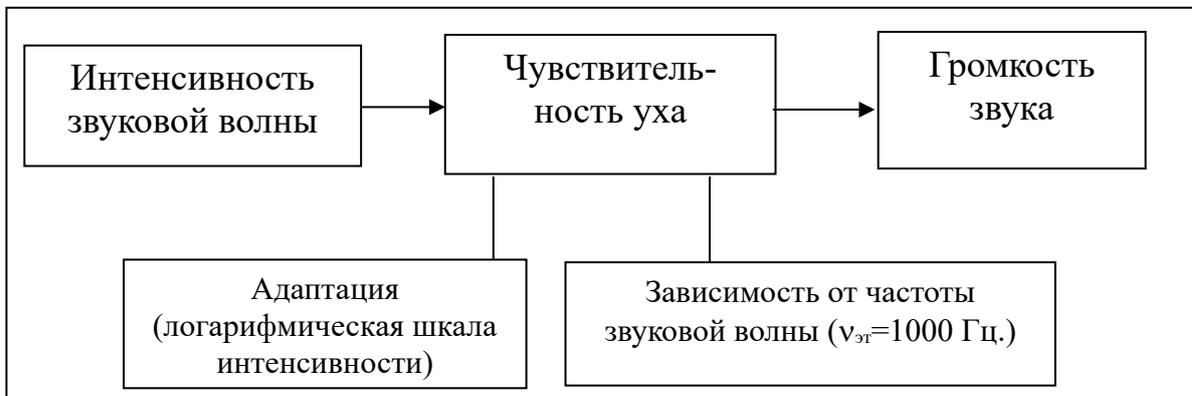
7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

1. Что представляет собой звук? Укажите физические характеристики звука.
2. Перечислите характеристики слухового ощущения и укажите, как они связаны с физическими характеристиками звука.
3. Сформулируйте закон Вебера-Фехнера.
4. Как строится шкала интенсивности и громкости? Укажите единицы уровня интенсивности и громкости звука.
5. Что называется аудиометрией?

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Исследование (определение остроты) слуха называется аудиометрией. Обычно определяют точки кривой порога слышимости при различных частотах. Потеря слуха определяется как разность между полученными данными и нормой. График, показывающий эту разность в дБ в зависимости от частоты колебаний, называется аудиограммой.



Аудиометрия производится с помощью аппарата называемого аудиометром, основу которого представляет звуковой генератор с тонкой и независимой регулировкой частоты и уровня интенсивности звука во всем диапазоне звуковых частот.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

Задание 1.

Изучить устройство аудиометра.

Задание 2.

Построить аудиограммы для левого и правого уха пациента (студента). Для этого необходимо определить порог слышимости при различных значениях частоты звука, действующего на одно ухо через наушники аудиометра, в следующей последовательности:

1. установить частоту звука (например, 250 Гц.)
2. увеличивая интенсивность звука от 0 Дб (от неслышимого уровня) зафиксируйте значение интенсивности L_1 , при котором "пациент" услышит звук.
3. не меняя значения частоты, зафиксируйте значение интенсивности звука, при котором обратно исчезает звук
4. такие действия по пунктам 1 и 2 повторить три раза и записать полученные результаты в таблицу.
5. повторите измерения порогов слышимости по предыдущим пунктам 1,2,3,4 еще для других значений частот (например 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, и т.д.)
6. результаты, предыдущих измерений по пунктам 1,2,3,4,5 повторить для правого уха.
7. по полученным результатам построить аудиограммы для каждого уха
8. определите среднее значение порога слышимости для каждого значения частоты.

Таблица

v, Гц	Значение интенсивности звука, Дб					
	Левое ухо			Правое ухо		
	L1, Дб	L2, Дб	Lcp, Дб	L1, Дб	L2, Дб	Lcp, Дб
250						
500						
1000						
...						

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

1. Что такое аудиометрия?

- а) запись шумов сердца;
- б) метод измерения остроты слуха;
- в) метод измерения порога слышимости.

2. аускультация?

- а) выслушивание звуков, возникающих внутри организма;
- б) измерение болевого порога;
- в) метод измерения остроты слуха.

3. Что такое ФКГ?

- а) запись биопотенциалов сердца;
- б) запись звуков, сопровождающих работу сердца;
- в) запись биопотенциалов нервных тканей.

4. Что такое звук?

- а) колебания, распространяющиеся в пространстве с частотой 16 Гц;
- б) колебания с частотой 20000 Гц;
- в) колебания, воспринимаемые человеческим ухом с частотой от 16 Гц до 20000 Гц.

5. Что такое бел?

- а) единица измерения громкости;
- б) единица измерения шкалы уровней интенсивности;
- в) единица измерения частоты звука.

6. Что такое фон?

- а) единица измерения интенсивности;
- б) единица измерения шкалы громкости;
- в) звуки, сопровождающие работу сердца.

Лабораторная работа № 11 «Определение вязкости жидкости медицинским вискозиметром и методом Стокса».

1. Тема и ее актуальность.

Жидкие среды составляют наибольшую часть организма, их перемещение обеспечивает обмен веществ и снабжение клеток кислородом, поэтому механические свойства и течение жидкости представляют собой интерес для медиков и биологов.

2. Учебные цели.

В результате освоения темы обучающийся должен уметь определять коэффициент вязкости медицинским вискозиметром.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- сущность методов определения вязкости жидкости.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.

- определять вязкость жидкости с помощью медицинского вискозиметра и методом Стокса;
- определять погрешность измерения
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;
- уметь применять справочные данные физических величин.
- и овладеть следующими компетенциями **ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

5. В чем причина вязкости жидкости?
6. От чего зависит сила вязкости при слоистом течении жидкости (уравнение Ньютона)?
7. От чего зависит коэффициент вязкости жидкости? Единицы его измерения?
8. Как устроен медицинский капиллярный вискозиметр?
9. На какой зависимости основан метод измерения вязкости крови медицинским вискозиметром (метод Гесса)?
10. Какие значения может иметь коэффициент вязкости крови?

4. Вид занятия: лабораторное занятие

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: медицинский вискозиметр, цилиндр с глицерином, свинцовые шарики, микрометр, секундомер, различные жидкости.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме: _

Тест.

Найди правильный ответ к поставленным вопросам.

1. Уравнение Ньютона для характеристики вязкости жидкости.	А) $\frac{v}{v_0} = \frac{\eta_0}{\eta}$
2. Градиент скорости жидкости в трубах при слоистом течении.	Б) $\eta = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\vartheta_0}$
3. Формула Пуазейля для труб постоянного сечения.	В) $\vartheta = \frac{2(\rho - \rho_0)gr^2}{9\eta}$
4. Гидравлическое сопротивление.	Г) $F_{тр} = 6\pi r\eta\vartheta$
5. Формула Пуазейля для труб переменного сечения.	Д) $Q = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8\eta l}$
6. Формула закона Стокса.	Е) $X = 8\eta l / (\pi R^4)$
7. Скорость равномерного падения сферического тела в жидкости.	Ё) $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{dp}{dl}$
8. Формула для расчета коэффициента вязкости методом падающего шарика.	З) $d\vartheta/dx$
9. Формула для расчета коэффициента вязкости методом Гесса.	Ж) $F_{тр} = \eta(d\vartheta/dx)S$
10. Число Рейнольдса.	И) $Re = \rho_{ж}\vartheta D / \eta$

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Причиной того, что для протекания жидкости или газа через трубку требуется некоторая разность давления, является внутреннее трение. Сила внутреннего трения выражается законом Ньютона:

$$F = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} S \quad (6.1.1)$$

где $\frac{\Delta v}{\Delta x}$ - градиент скорости; S - площадь соприкасающихся слоев жидкости; η - коэффициент вязкости жидкости, измеряется в Па*с.

Зависимость между объемом жидкости или газа V , протекающего за время t через трубку длиной l и необходимой для этого разностью давлений выражается формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta l} \quad (6.1.2)$$

$$V = Qt$$

где Q - объем жидкости, протекающий через сечение трубки в 1 с;

V - объем жидкости, протекающий через сечение трубки за t с;

R - радиус трубки;

$\frac{\Delta P}{l}$ - градиент давления;

Если в наконечнике вискозиметра создать разрежение, то при равных температурах за равные промежутки времени через капилляры равного сечения под действием одинаковой разности давлений жидкости с равными объемами, пройдут пути, обратно пропорциональные их вязкости $\frac{l}{l_0} = \frac{\eta}{\eta_0}$. Этот вывод получает на основании формулы Пуазейля:

$$V = \frac{\pi R^4 t \Delta P}{8\eta l}, \quad V_0 = \frac{\pi R^4 t \Delta P}{8\eta_0 l_0}, \quad (6.1.3)$$

где V - объем исследуемой жидкости, протекающей за время t ;

V_0 - объем дистиллированной воды, протекающей за то же время.

Левые части равны ($V=V_0$), равны и правые. После сокращения имеем: $\frac{l}{l_0} = \frac{\eta}{\eta_0}$.

Относительный коэффициент вязкости равен: $\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{l}{l_0}$. Так как в опыте берем $l=1$, относительная вязкость исследуемой жидкости численно равна пути, пройденному водой.

Окончательный результат записать в виде $\eta = \eta_{\text{ср}} \pm \Delta\eta_{\text{ср}}$.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

1. Определите вязкость жидкости медицинским вискозиметром Рис.1.

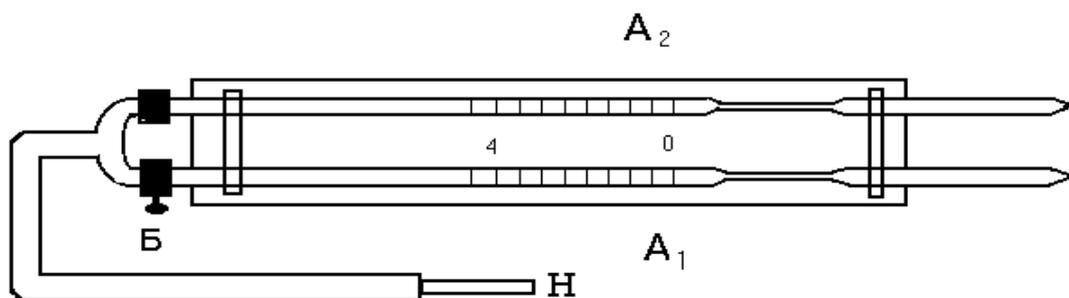


Рис.1.

1. Внимательно еще раз рассмотреть устройство данного вискозиметра и другие принадлежности.

2. Опустив конец пипетки (2) вискозиметра во флакон с дистиллированной водой и открыв кран (6) движениями поршенька (3) набрать воду до метки 0.

3. Закрыв кран (6) аналогичным способом набирают кровь в пипетку (1) до метки 0.

4. Положив вискозиметр на стол и открыв кран (6), медленно продвигают поршнем, создав в капиллярах пипеток разрежение.

5. Вода и кровь будут одновременно продвигаться вдоль капилляров с разными скоростями.

6. Остановив движение жидкостей закрытием крана (6), отметить пути l и l_0 , пройденные кровью и водой. Затем из выражения $\frac{l}{l_0} = \frac{\eta_0}{\eta}$ определить вязкость крови.

Данные опыта и расчетные величины занести в таблицу. Опыт повторить 3 раза.

№	Вязкость воды η_0 в Па*с	Длина воды в капилляре l_0 , в см	Среднее значение l_{0cp} в см	Длина крови в капилляре l в см	Среднее значение l_{cp}	Значение коэффициента вязкости крови η_{cp} , в Па*с	Сравнение η_{cp} с табличными значениями η крови при комнатной температуре.
1							
2							
3							

2. Определение вязкости жидкости по методу Стокса.

а) измерьте микрометром диаметр шарика 3 раза;

б) вычислите среднее значение диаметра шарика;

в) опустите шарик в сосуд с жидкостью так, чтобы шарик двигался по оси цилиндра.

Измерьте время прохождения шариком расстояние между метками А и Б;

г) измерьте расстояние между метками;

д) определите с помощью ареометра плотность исследуемой жидкости (вязкость глицерина);

е) вычислите вязкость жидкости;

ж) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу;

з) определите погрешность измерения вязкости с доверительной вероятностью равной 0,95;

и) произведите аналогичные измерения и вычислите с 3 шариками. Найдите и занесите данные в таблицу.

№	d (м)	t (с)	l (м)	ϑ (м/с)	ρ (кг/м ³)	ρ_0 (кг/м ³)	η (Па с)	η_{cp} (Па с)	$\Delta\eta$	$\Delta\eta_{cp}$	$\Delta\eta_{cp} \pm \Delta\eta$
1.											
2.											
3.											

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы.

Лабораторная работа №12 «Изучение аппарата гальванизации и электрофореза»

1. Тема и ее актуальность.

Изучение устройства и работа с аппаратом для терапии постоянным током. Аппарат гальванизации является одним из самых распространенных электронных устройств, используемых для лечения. Кроме того, подобные устройства являются составной частью любых электронных приборов, поэтому изучение устройства и принципа работы аппарата для обучающихся является необходимым.

2. Учебные цели.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- устройство аппарата, назначение отдельных узлов;

- принцип выпрямления переменного тока с помощью полупроводниковых диодов.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.

- строить вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов

- и овладеть следующими **компетенциями ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

7. Природа тока в электролитах, причина электролитической диссоциации.
8. Первичное действие постоянного и импульсного электрического тока на биологические ткани.
9. Прохождение постоянного и переменного тока через живые ткани.
10. Удельное сопротивление различных тканей и биологических жидкостей.
11. Эквивалентная схема электропроводимости тканей организма.
12. Поляризационные явления в тканях и на границе раздела жидкости и электрода.

4. Вид занятия: лабораторное занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: аппарат гальванизации, реостат, вольтметр, миллиамперметр, соединительные проводники, схема аппарата, электроды.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений.

Тестовые вопросы

1. При прохождении постоянного тока через ткани организма с течением времени наблюдается уменьшение тока, связанное с:

- а) адаптацией организма;
- б) поляризационными явлениями, приводящими к возникновению встречного электрического поля;
- в) «накоплением» заряженных частиц на мембранах;
- г) адаптацией организма, вследствие «накопления» ионов на мембранах и, следовательно, уменьшения «свободных» ионов, способных передвигаться под действием электрического поля.

2. Что собой представляет электролитическая диссоциация?

- а) процесс распада молекул на ионы под действием электрического поля;
- б) процесс, в результате которого нейтральная молекула преобразуется в электрический диполь;
- в) процесс перемещения связанных зарядов под действием электрического поля;
- г) движение ионов в электрическом поле;
- д) процесс распада молекулы на ионы в результате ее взаимодействия с полярными молекулами растворителя.

3. Первичное действие постоянного тока на биологические ткани:

- а) тепловое;
- б) стимулирующее;
- в) раздражающее;
- г) колебательное движение ионов;
- д) направленное перемещение ионов изменение их концентрации около клеточных мембран.

4. При прохождении постоянного тока через ткани организма:

- а) наблюдается электролитическая диссоциация и поляризационные явления;
- б) оказывается раздражающее действие за счет движения ионов;
- в) оказывается раздражающее действие за счет необратимой поляризации клеток;
- г) оказывается раздражающее действие.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

Лечебный метод, при котором используется действие на ткани организма постоянного тока малой силы, называется гальванизацией. При гальванизации постоянный

ток со специального аппарата подводится к участку тканей организма с помощью проводов и металлических пластинчатых электродов с прокладками, наложенные на соответствующие места на поверхности тела.

Электроды изготавливаются из свинцовых, луженных оловом, пластинок.

Наложение металлических электродов непосредственно на кожу недопустимо, так как образующиеся на их поверхности продукты электролиза раствора хлористого натрия, содержащегося в тканях, обладающим прижигающим действием. Для предупреждения этого на поверхность кожи под электрод подкладывают толстую прокладку из гигроскопической ткани, смоченной физиологическим раствором или водой, в которой и накапливаются продукты вторичных реакций на электродах. Прокладку с электродом укрепляют на месте при помощи эластичных бинтов. После процедуры прокладка отмывается, стерилизуется кипячением и может применяться повторно.

Первичное действие электрического тока на ткани организма связано с передвижением имеющихся в них ионов и других заряженных частиц. При этом вследствие различной подвижности ионов, а главным образом, задержки и накопления их у полупроницаемых мембран, в тканевых элементах снаружи и внутри клетки, происходит изменение функционального состояния клетки и другие физиологические процессы в тканях.

Обычно гальванизацию совмещают с введением при помощи постоянного тока в ткани организма лекарственных веществ, образующие в растворе ионы или заряженные частицы. Растворами этих веществ смачиваются прокладки между электродами. Процедура называется лечебным электрофорезом.

При медленном увеличении силы тока под электродами в начале появляется ощущение легкого покалывания, жжения, чувство тепла. С усилением тока ощущение жжения нарастает, появляется боль, нестерпимое

чувство сдавливания. Сильный ток может вызвать ожоги.

Для лечения постоянным током используют аппарат для гальванизации. Питание аппарата осуществляется от осветительной сети переменного тока напряжением 127 или 220 В. Переменный ток выпрямляется или с помощью кенотрона или с помощью полупроводникового диода. Максимальная величина постоянного тока в цепи пациента при подключении к клеммам пациента нагрузочного сопротивления 500 Ом составляет 50-55мА.

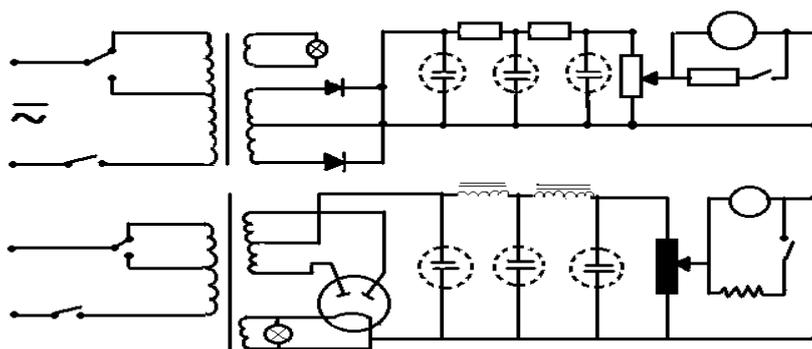


Схема аппарата гальванизации:

- 1-выключатель сети;
- 2-переключатель напряжения сети;
- 3-трансформатор;
- 4-двуханодный кенотрон для выпрямления переменного тока (полупроводниковые диоды);
- 5-электролитические конденсаторы;
- 6-дроссель (сопротивление);

- 7-потенциометр;
- 8-миллиамперметр;
- 9-переключатель шунта (5. 50);
- 10-клеммы пациента;
- 11-сигнальная лампочка.

Для сглаживания пульсации тока применяется электрический фильтр, состоящий из двух (трех) электролитических конденсаторов (5) емкостью по 20 мкф каждый и дросселя с индуктивностью 60 Гн. (6).

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

1. Найти узлы в аппарате и объясните их назначение. Работа с аппаратом гальванизации: аппарат может быть включен в сеть переменного тока с напряжением 127 или 220 В (в нашем случае 220). Перед включением проверить, находится ли переключатель в положение "0", переключатель шунта миллиамперметра в положение "Выкл.", ручку потенциометра в положение "50". Стрелку миллиамперметра при помощи корректора установить на ноль.
2. Подсоединить к клеммам "пациент" ("+", "-") реостат сопротивлением 500 Ом (во время работы ползунок реостата не перемещать). Параллельно реостату включить вольтметр постоянного тока.
3. Включить аппарат в сеть переменного тока через вольтметр.
4. Поставить выключатель сети в положение "Вкл.", при этом сигнальная лампочка должна загореться.
5. Плавным поворотом ручки потенциометра включить аппарат при силе тока 10 мА, 30 мА, 40 мА, 50 мА.

Данные записать в таблицу 1.

Таблица 1.

Измерения	Напряжение в сети (В)	Показания миллиампер	Показания вольтметра	Сопротивление реостата (Ом)
1.				
2.				
3.				

Ознакомление с техникой гальванизации.

Введение в организм лекарственных ионов при помощи постоянного тока носит название йоно гальванизации. Количество введенных в организм ионов находится в прямой зависимости от силы пропускаемого тока.

Для проведения тока к больному от аппарата пользуются специальными проводами (на одном конце – штыри, на другом зажимы). С зажимами соединены свинцовые электроды; во избежании прикосновения к телу металлических электродов пользуются прокладками (из бумази, байки). Лекарственным веществом смачивают фланелевую прокладку, которую накладывают на тело.

1. Подключить электроды к аппарату гальванизации.
2. Смочить фланелевые прокладки простой водой.
3. Наложить электроды на переднюю и заднюю поверхности нижней трети предплечья человека и зафиксировать бинтом из резины.
4. Поставить выключатель в положение "Вкл." и плавным поворотом ручки потенциометра добиться тока 20 мА, затем 15 мА, 10 мА, 5 мА, снять показания вольтметра. Вычислить сопротивление организма человека постоянному току.

Полученные результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2 .

Измерения	Напряжение в сети (В)	Показания миллиампер	Показания вольтметра	Сопротивление человека (Ом)
1.	220			
2.	220			
3.	220			

5. Построить график зависимости напряжения от силы тока, по оси абсцисс откладывая силу тока, по оси ординат – напряжение.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

1. Гальванизация.
2. Значения токов и напряжений воздействия на организм при гальванизации.
3. Схема аппарата гальванизации и характеристика основных блоков.
4. Лекарственный электрофорез, плотности тока при лекарственном электрофорезе.
5. Определение вида вводимых ионов при лекарственном электрофорезе.
6. Электроды для лекарственного электрофореза.

Тестовые вопросы

1. Электрофорез представляет собой:

- а) движение взвешенных в жидкости или газе коллоидных частиц под действием постоянного электрического поля;
- б) введение лекарственных веществ при помощи постоянного тока через кожу или слизистые оболочки;
- в) движение частиц дисперсной фазы в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду;
- г) метод введения через неповрежденную кожу и слизистые оболочки различных лекарственных веществ с помощью постоянного тока;
- д) движение дисперсионной среды в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду и одновременно с частицами дисперсной фазы;
- е) явления, возникающие в двухфазных средах и представляющие собой движение одной фазы относительно другой под действием электрического поля, благодаря наличию двойного электрического слоя на границе раздела фаз;
- ж) явления, возникающие между верхними и нижними слоями гетерогенной системы при оседании частиц дисперсной фазы под действием силы тяжести;
- з) процесс перемещения связанных зарядов под действием электрического поля.

2. Явление, обратное электрофорезу:

- а) электро-осмос;
- б) потенциал течения;
- в) потенциал оседания;
- г) гальванизация.

3. Что называют гальванизацией?

- а) движение взвешенных в жидкости или газе коллоидных частиц под действием постоянного электрического поля;
- б) введение лекарственных веществ при помощи постоянного тока через кожу или слизистые оболочки;
- в) движение частиц дисперсной фазы в электрическом поле по направлению к противоположно заряженному электроду;
- г) метод введения через неповрежденную кожу и слизистые оболочки различных лекарственных веществ с помощью постоянного тока;
- д) воздействие постоянным электрическим током на ткани организма в лечебных целях.

4. Какой метод электротерапии осуществляется при помощи постоянного тока малой силы:

- а) электростимуляция;
- б) электрофорез;
- в) индуктотермия;

- г) УВЧ-терапия;
- д) гальванизация;
- е) диатермия;
- ж) дарсонвализация;
- з) микроволновая терапия.

Задачи

№ 4.37; 4.38; 4.14, 4.20.

Лабораторная работа №13 «Изучение устройства электрокардиографа и физических основы методов электрокардиографии и вектор кардиографии».

1. Тема и ее актуальность

Изучение устройства электрокардиографа и физических основ методов электрокардиографии и вектор кардиографии. Электрокардиограф является основным электронным устройством для снятия биопотенциалов сердца. Анализ биопотенциалов позволяет описать сердечную деятельность пациента, находит широкое применение в медицине.

2. Учебные цели.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- устройство и принцип работы электронных усилителей;
- назначение датчиков и электродов.
- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;
- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;
- уметь применять справочные данные физических величин.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.
- пользоваться электрокардиографом ЭК1Т-03М;
- снимать электрокардиограмму;
- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-8 , ТФ А/06.7.

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. В чём состоит принцип усиления слабых электрических сигналов ?
2. Принцип работы двухкаскадного усилителя.
3. В чём состоит принцип работы дифференциального усилителя ?
4. Объясните устройство и назначение датчика для ЭКГ.
5. Что называется электродным сопротивлением ?

4. Вид занятия: лабораторное занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: электрокардиограф ЭК1Т-03М, электроды, прокладки, блок-схема и описание электрокардиографа.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений. Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. Принцип усиления слабых электрических сигналов.
2. Устройство и принцип работы электрокардиографа ЭК 1Т-03М
3. Электроды, используемые для электрокардиографии.
4. Электродное сопротивление и способы его уменьшения.

Тестовые вопросы

1. Какова природа биопотенциалов

- а) механическая;
- б) электрическая;
- в) магнитная;
- г) оптическая;
- д) электромагнитная.

2. Что называют электрокардиограммой

- а) геометрическое место точек, соответствующих концу вектора электрического момента сердца, положение которого изменяется с течением времени;
- б) изменение положения вектора электрического момента сердца – диполя;
- в) геометрическое место точек, соответствующих концу вектора электрического момента сердца – диполя;
- г) зарегистрированное на бумаге изменение вектора электрического момента сердца – диполя за время сердечного цикла.

3. Первое стандартное отведение

- а) ПР;
- б) ПР-ЛН;
- в) ЛН;
- г) ПР-ЛР;
- д) ПН;
- е) ЛР-ЛН.

4. Как ведет себя диполь в неоднородном электрическом поле?

- а) втягивается в область большего поля;
- б) выталкивается из области большего поля;
- в) наличие электрического поля не меняет его поведения;
- г) ориентируется в поле.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

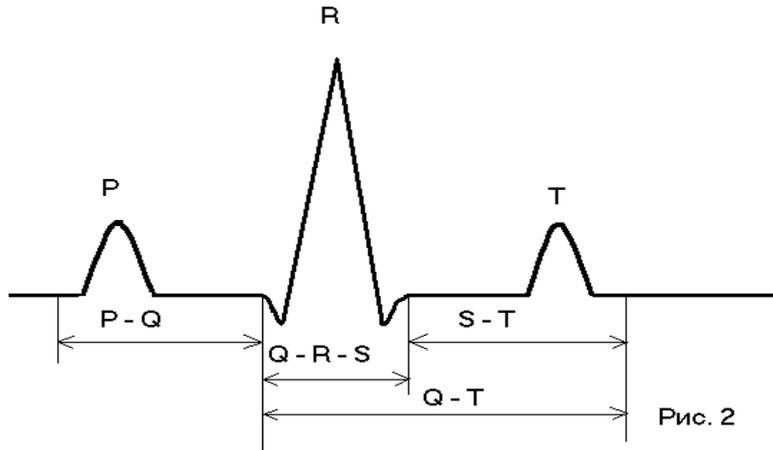
Одним из методов исследования, применяемых в медицине, является электрокардиография - регистрация электрических процессов сердечной мышцы, возникающих при её возбуждении. Этот метод нашел широкое применение в следствии доступности и абсолютной безвредности. В основе электрокардиографии лежит теория Эйнтховена, в которой сердце рассматривается как токовый диполь.

Изменение модуля и направления электрического дипольного момента сердца во времени можно отразить графически с помощью электрокардиограммы ЭКГ. По теории Эйнтховена существует связь между вектором электрического дипольного момента сердца и разностями потенциалов, изменяемых между определенными точками на поверхности тела человека. Пары точек, с которых снимается изменение разности потенциалов во времени, называется отведением.

Существуют системы отведений. Они отличаются методом наложения электродов на пациента: грудные отведения, отведения от конечностей и т.д. Наиболее широко в клинической практике применяются отведения конечностей.

Отведения 1,2,3 называются стандартными. Для их получения электроды накладываются на верхние и нижние конечности. К правой ноге подключают провод заземления. Возможно также применение добавочного грудного электрода. Отведения с этим электродом называются грудными. Эти отведения дают дополнительную диагностическую информацию.

Нормальная ЭКГ за цикл работы сердца для I отведения приведена на рис.2.



Зубцы ЭКГ обозначают условно буквами латинского алфавита P, Q, R, S, T. При патологических изменениях сердца происходит изменение формы ЭКГ, меняются высота зубца и интервалы. Это позволяет использовать ЭКГ при диагностике заболеваний сердца.

Возбуждение сердца начинается возбуждением предсердий, которое отражает зубец P. Комплекс QRS и зубец T обусловлены возникновением и распространением возбуждения в желудочках. Отсутствие сигнала в интервале между зубцами S и T объясняется тем, что в этот период возбуждение охватило всю мускулатуру и поэтому разность потенциалов между отдельными участками отсутствует. Зубец T соответствует восстановительным процессам, происходящим в мускулатуре желудочков после прекращения возбуждения. Интервал T - P соответствует диастолической паузе.

Величина зубцов определяется в мм от нулевой линии вверх для положительных P, R и T, а вниз для отрицательных Q и S, и сравнивается с калибровочным масштабом (прямоугольный импульс = 1 мВ). Для самого большого зубца R это 1-2 мВ. Длительность зубцов и интервалов определяется по отметкам времени или по специальной сетке на бумаге и для наиболее кратковременных (Q) составляет сотые доли секунды, а весь цикл около 1 сек. Т., т.е. электрокардиограф должен регистрировать разность потенциалов с частотой от 0,3 до 120-300 Гц и амплитудой порядка 1 мВ. Это требует усиления биоэлектрических потенциалов сердца до десятков тысяч раз.

Прибор с помощью которого производится запись ЭКГ, называется электрокардиографом. Существует много различных марок электрокардиографов, которые отличаются количеством каналов для записи, типом питания (батарейное, сетевое), видом записи (чернильно-перьевая, фото запись, тепловая запись).

Кроме электрокардиографии существует методика исследования изменения и электрического момента сердца по его проекциям на координатные плоскости - вектор-электрокардиография. Проекция вектор-электрокардиографии на плоскости может быть получена сложением двух взаимно перпендикулярных отведений. Если подать на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки напряжение от 2-х отведений, то на её экране можно наблюдать их векторную сумму-вектор-электрокардиограмму ВЭКГ, дающую более полную информацию о работе сердца, чем ЭКГ. Прибор для визуального наблюдения ВЭКГ называется вектор-электрокардиоскопом. В качестве регистрирующего устройства в нём используется электронно-лучевая трубка.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе используется одноканальный электрокардиограф ЭК 1Т-03М с тепловой записью (рис.3).

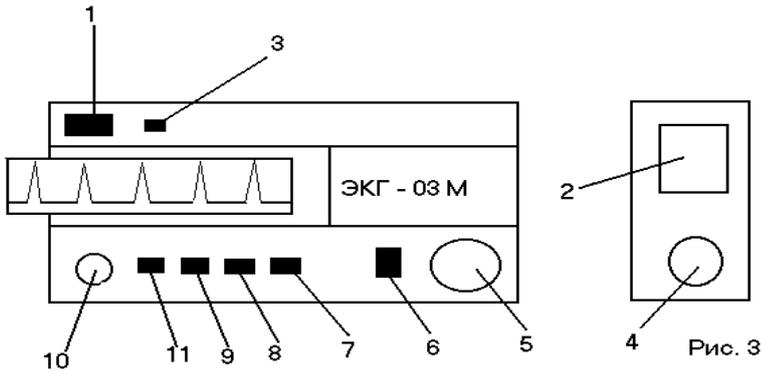
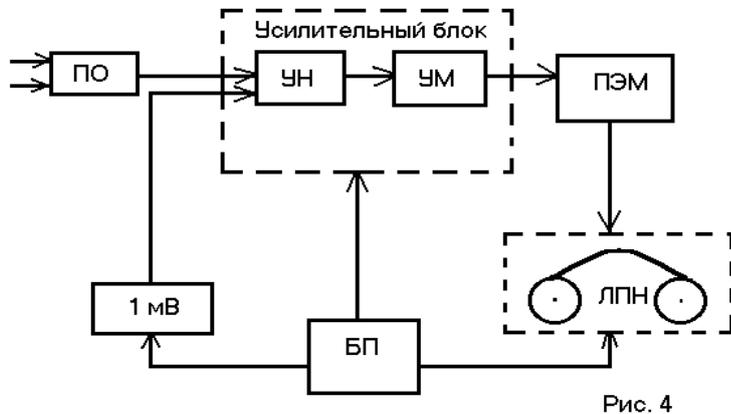


Схема электрокардиографа приведена на рис.4.



Биоэлектрические сигналы через кабель отведений и переключатель отведений ПО подаются на вход усилителя напряжения УН. К выходу усилителя напряжения подключается также источник калибровочного напряжения 1мВ. Усиленный сигнал с выхода усилителя напряжения подаётся на вход усилителя мощности УМ, осуществляющим преобразование электрического сигнала в перемещение теплового пера. Теплочувствительная бумажная лента движется относительно пера с помощью лентопротяжного механизма ЛПМ.

Для питания усилителя биопотенциалов, электродвигателя ЛПМ, теплового пера в приборе имеется блок питания БП. Органы управления прибором даны на рис.3 :сетевой выключатель 1, регулятор канала 2, индикатор включения питания 3, разъём для подключения кабеля отведений 4, переключатель отведений 5, регулятор смещения пера 6, кнопка калибровки "1мВ" 7, кнопка переключателя скорости движения ленты 8, кнопка успокоения "0-МТ" 9, переключатель чувствительности 10, кнопка включения ЛПМ 11 (см.рис.3).

Для снятия электрокардиограммы электроды накладываются на пациента по системе стандартных отведений на внутренние поверхности предплечий и голени. Для лучшего контакта электрода с кожей между ними помещаются прокладки из марли, смоченные 10% раствором поваренной соли в дистиллированной воде. Провода кабеля отведений соединяются с электродами в следующем порядке: **КРАСНЫЙ** к электроду на правой руке, **ЖЕЛТЫЙ** к электроду на левой руке, **ЗЕЛЕНый** к электроду на левой ноге, **ЧЕРНЫЙ** - к правой ноге, **БЕЛый** - к грудному электроду.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка прибора ЭКГ к работе:

а) заправить электрокардиограф бумажной лентой;

б) установить: выключатель сети в положение ОТКЛЮЧЕНО, переключатель отведений в положение 1мВ, кнопку переключения ЛПМ в положение ОТКЛЮЧЕНО, кнопку успокоения "0-МТ" в нижнее положение, скорость записи 25 мм/с.;

в) соединить электрокардиограф с заземляющим контуром (гнезда заземления расположены на задней стенке электрокардиографа);

г) подключить электрокардиограф в сеть;

д) подключить кабель отведения к вилке 4 (рис.3) электрокардиографа.

2. Запись электрокардиограммы:

а) установить перо на середину поля записи регулятором смещения пера;

б) кнопку "0-МТ" установить в верхнее положение;

в) включить запись, нажав кнопку включения ЛПМ и, нажимая кнопку "1мВ" записать несколько кратковременных импульсов;

г) записать ЭКГ в трёх стандартных отведениях, изменяя положение переключателя отведений. При переключении отведений в приборе ЭК 1Т-ОЗМ нужно нажимать кнопку "0-МТ". Если амплитуда ЭКГ в каком-либо из отведений выходит за пределы поля или слишком мала, то следует изменить чувствительность, поставив переключатель чувствительности соответственно в положение 5 или 20 мм/мВ, снова записать калибровочные импульсы;

д) для одного из отведений произвести измерение высоты зубцов ЭКГ. По измеренной высоте зубцов ЭКГ и чувствительности вычислить разность потенциалов $U=h/s$ соответствующую каждому зубцу.

е) результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица № 1

Условное обозначение зубца ЭКГ	S, мм/мВ	h, мм	U, мВ
P			
Q			
R			
T			
S			

ж) произвести измерение длительности временных интервалов ЭКГ. Для этого расстояние между соответствующими точками (рис.2), измеренные по ЭКГ, разделить на скорость движения ленты (скорость записи). $t=l/v$;

з) результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2;

Таблица № 2

Условное обозначение интервалов	V, мм/с	I, мм	t, с
R - R			
P - Q			
Q - R - S			
S - T			
Q - T			

и определить частоту пульса пациента.

3. Изучение влияния возможных помех, искажающих ЭКГ:

а) записать ЭКГ в отведение 1;

- б) установить тепловое перо на середину поля записи регулятором смещения пера 6 (рис.3)
- в) под электродом правой руки заменить мокрую прокладку сухой, подключить заземление и вновь записать ЭКГ;
- г) учитывая установленную чувствительность электрокардиографа и скорость развертки, определить амплитуду помех;
- д) проверить установку пера (на середине поля записи);
- е) определить амплитуду отклонения записи от нулевой линии.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

1. Природа биопотенциалов.
2. Что такое электрограмма.
3. Понятие об эквивалентном электрическом генераторе.
4. Основы теории отведений.
5. Интегральный вектор сердца.
6. Векторэлектрокардиоскопия.
7. ЭКГ и его параметры.
8. Что такое отведение?
9. Стандартная система отведений (по Эйнтховену).
10. Система усиленных униполярных отведений (по Гольдбергу).
11. Система прекардиальных униполярных отведений (по Вильсону).
12. Усиление электрических сигналов.
13. Характеристики усилителей.
14. Структурная схема электрокардиографа и принцип его работы.
15. Электроды для электрокардиографии.

Тесты

4. Токовый диполь представляет собой;
 - а) систему, состоящую из истока и стока тока;
 - б) систему, состоящую из двух разноименных точечных зарядов, находящихся в электрическом поле;
 - в) систему, состоящую из двух равных точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, и находящуюся в электрическом поле.
5. Электрокардиограмма – это;
 - а) временные зависимости напряжения на стандартных отведениях, вызванные изменением электрического момента диполя сердца с течением времени;
 - б) изменение напряжения на стандартных отведениях;
 - в) временная зависимость изменения биопотенциалов сердца;
 - г) зарегистрированное на бумаге изменение электрического момента диполя за время сердечного цикла;
 - д) геометрическое место точек, соответствующих концу вектора электрического момента сердца, положение которого изменяется с течением времени.
6. Можно ли "снять" звуки работы сердца при помощи электрокардиографа?
 - а) да;
 - б) нет.
7. Стандартная система отведений
 - а) ПР-ЛР, ПР-ПН, ЛР-ПН;
 - б) ПР-ЛР, ПР-ЛН, ЛР-ЛН;
 - в) ПР-ЛР, ПН-ЛН, ЛР-ЛН;
 - г) ПР-ЛР, ПН-ЛН, ПР-ЛН;
 - д) ПР-ЛР, ПР-ПН, ЛР-ЛН.
8. Биопотенциалы представляют собой:
 - а) электрические напряжения в клетках и тканях человека;
 - б) электрические напряжения в клетках и тканях человека и животных;
 - в) электрические напряжения в клетках и тканях человека и растений;

- г) электрические напряжения в клетках биологических организмов;
 д) электрические напряжения в клетках и тканях биологических организмов.
9. Электрическим диполем называют:
- а) систему двух зарядов;
 б) систему, состоящую из двух равных точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга;
 в) систему, состоящую из двух зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга;
 г) систему, состоящую из двух точечных зарядов противоположного знака, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.
10. Электрографией называют:
- а) метод регистрации биоэлектрической активности мышц;
 б) метод регистрации биопотенциалов тканей и органов;
 в) диагностику тканей и органов;
 г) метод усиления и записи биопотенциалов;
 д) метод записи биопотенциалов жизнедеятельности организма.
11. Отведением называют:
- а) разность потенциалов, регистрируемую между двумя точками тела;
 б) любые две точки тела, между которыми снимаются биопотенциалы;
 в) место, на которое накладываются электроды при регистрации биопотенциалов;
 г) электроды, которые накладываются на тело при регистрации биопотенциалов.
12. Электромиография это:
- а) метод регистрации биоэлектрической активности мышц;
 б) метод электростимуляции мышц для их сокращения;
 в) метод лечебного воздействия на мышечную ткань электрическим током;
 г) метод лечебного воздействия с образованием тепла в мышечной ткани.
13. Стандартной системой отведений называется система отведений, предложенная:
- а) В. Эйнтховеном;
 б) Е. Гольдбергом;
 в) Ф. Вильсоном;
 г) В. Небом.

Лабораторная работа № 14 «Изучение работы генератора незатухающих электрических колебания».

1. Тема и ее актуальность.

Изучение работы генератора незатухающих высокочастотных электрических колебаний является необходимой для обучающихся, так-как это электронное устройство является основой всех приборов высокочастотной терапии, находящих большое применение в медицинской практике.

2. Учебные цели.

Изучить физические основы электрических свойств тканей организма и физиотерапевтического оборудования.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- принципы возникновения электромагнитных колебаний в колебательном контуре;
- методы высокочастотной терапии и действие каждого из используемого методов на ткани организма.

- знать технику безопасности при работе с физическим оборудованием;

- знать основные формулы и этапы проведения лабораторного эксперимента;

- уметь применять справочные данные физических величин.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь**:

- навыками подготовки лабораторного оборудования и оснащения, навыками применения формул, таблиц и графиков для представления данных и оформления лабораторного эксперимента.
- включать прибор и выбирать режим работы.
- и овладеть следующими компетенциями **ОПК-1, ОК-1.**

3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. Как можно получить электромагнитные колебания?
2. Что такое колебательный контур? Объясните происходящие в нем преобразования энергии.
3. В чем заключается явление поляризации диэлектрика?
4. Каковы основные характеристики электрического поля, магнитного поля?
5. Как вычисляется теплота, выделяющаяся под действием тока?

4. Вид занятия: лабораторное занятие.

5. Продолжительность занятия: 6 ч.

6. Оснащение: аппарат УВЧ-терапии, индикаторная лампочка, стаканчики с растворами, термометры, схемы генераторов.

7. Содержание занятия.

7.1. Контроль исходного уровня знаний и умений.

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме.

1. Перечислите в методы высокочастотный терапевт, используемые в медицинской практике.
2. записать физические характеристики методов.
3. описать воздействия каждого метода на ткани организма.
4. индуктотермия называется:
 - 1) физиотерапевтические процедуры, заключающиеся в прогревание органов током высокой частоты;
 - 2) физиотерапевтический метод, основанный на применении электромагнитных волн СВЧ диапазона.
 - 3) воздействие переменным магнитным полем на ткани организма в лечебных целях;
 - 4) воздействием переменном электрическом поле в лечебных целях.

5. диатермия представляет собой:

- 1) хирургический метод сваривания ткани токами высокой частоты;
- 2) хирургические методы рассекали тканей токами высокой частоты;
- 3) «сваривание» тканей переменным током;
- 4) «сваривание» тканей постоянным током.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы занятия.

При воздействии высокочастотных токов и электромагнитных полей, изменение направления тока происходит миллионы и десятки миллионов раз в секунду. Ионы, входящие в систему живого вещества, настолько мало успевают переместиться за время течения тока в одном направлении, что нарушения нормальной концентрации ионов в клетках организма и прочие нежелательные эффекты, имеющие место при действии токов низкой частоты, практически отсутствуют.

Вместе с тем, ничтожно малые перемещения ионов связаны в вязкой среде, следствием чего является выделение количества тепла в тканях организма.

Однако в действии высокочастотного поля и тока на электролиты и диэлектрики имеется существенное различие. В электролитах, как во всяком проводнике при наличии электрического поля, возникает перемещение заряженных частиц, т.е. обычный ток проводимости. В диэлектриках при помещении их в электрическое поле возникает смещение первоначально уравновешенных положительно и отрицательно заряженных

молекул (Образование электрических диполей) вдоль силовых линии поля. При наличии быстропеременного электрического поля в диэлектрике происходит непрерывное периодическое изменение ориентации полюсов диполей с соответствующей частотой. Такое смещение электрических зарядов внутри диэлектрика, выражающееся в образовании диполей или в их повороте, является током особого рода, называемом током смещения.

Живое вещество является сложной системой, содержащей как электролиты, проводящие ток и характеризующиеся электропроводностью или омическим сопротивлением, так и другие элементы, являющиеся диэлектриками, изоляторами и характеризующиеся определенным значением диэлектрической проницаемости.

Как ток проводимости, так и ток смещения в тканях сопровождаются превращением энергии тока или поля в тепловую энергию. Рассматривая ткани живого организма как однородный диэлектрик с определенными значениями диэлектрической проницаемости и электропроводности, нужно учитывать в тканях действие двух различных механизмов нагревания: выделение тепла за счет тока проводимости (как в электролитах) и за счет тока смещения (как в диэлектриках).

Теория показывает, что количество тепла, выделяемого высокочастотным электрическим полем в единице объёма ткани за единицу времени, может быть выражена двумя формулами.

Для тока проводимости:

$$Q = \kappa_1 \frac{E^2}{\rho} = \kappa_1 j E^2 \quad (1)$$

для тока смещения:

$$Q = \kappa_2 \omega E^2 \varepsilon_r \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta, \quad \varepsilon_r \varepsilon_0 = \varepsilon \quad (2)$$

Здесь j -электропроводность электролита, E -диэлектрическая проницаемость диэлектрика, ω -частота электрического поля, и δ - угол, определяющий отставание по фазе колебаний молекулярных диполей от колебаний напряженности E (так называемый угол диэлектрических потерь). κ_1 и κ_2 -некоторые коэффициенты пропорциональности. Из формулы (2) видно, что кол-во тепла, выделяемого током смещения, растет пропорционально частоте поля. Это значит, что с увеличением частоты кол-во тепла, выделяемое в тканях за счёт тока проводимости. Под действием ультравысокочастотного поля большее значение имеет ток, вызывающий более равномерное прогревание различных тканей благодаря относительно небольшим в их электрической непроницаемости.

Таким образом, соотношение между количествами тепла, выделяющимися в единице объёма электролита и в единице объёма диэлектрика, зависит от их природы (различных значений удельной тепло проводимости или диэлектрической проницаемости), а также от частоты изменения электрического поля. Вместе с тем, для электролитов количество выделенного в единице объёма тепла зависит ещё и от концентрации электролита.

При воздействии переменным магнитным полем в тканях организма возникают вихревые электрические токи, приводящие к их нагреванию. Этот лечебный метод ,называемый индуктотермией, широко используется в медицине. Количество теплоты, выделяющееся при этом в тканях, пропорционально квадратам частоты и индукции переменного магнитного поля и обратно пропорционально удельному сопротивлению.

Электромагнитная волна СВЧ-диапазона поляризует молекулы вещества и периодически переориентирует их как электрические диполи, а также вызывает в тканях ток проводимости: все это приводит их к нагреванию. В этом процессе наиболее важны токи проводимости, обусловленные переориентацией молекулы воды, поэтому максимальное влияние микроволны оказывают на водосодержащие ткани - мышцы и кровь. Воздействие микроволн на ткани имеет ряд особенностей может возникнуть

перегрев ткани недостаточным кровоснабжением и плохой терморегуляцией- в хрусталике глаза, стекловидном теле и др.

Генератор гармонических колебаний (см. рис.1) состоит из колебательного контура-катушки индуктивности L и конденсатора C ; полупроводникового или лампового триода, играющего в данном случае роль выключателя энергии и усилителя; катушки обратной связи L_c , осуществляющей связь между колебательным контуром и источником питания.

$$q = \kappa \frac{\omega^2}{\rho} B^2_{\max} \sin^2 \omega t$$

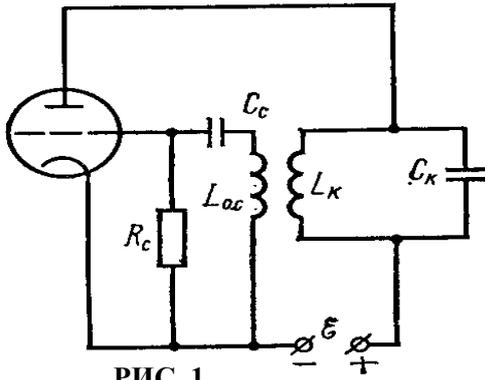


РИС. 1

Элементы схемы R_b и C_b (конденсатор переменной ёмкости) служат для создания на базе нужного напряжения "смещения", чтобы выбрать оптимальное положение рабочей точки. Данная схема генерирует колебания, частота которых равна частоте собственных колебаний контура LC . Данный генератор гармонических колебаний служит основой устройства аппаратов для высокочастотной терапии. В этих аппаратах кроме такого генератора имеется ещё колебательный контур, к которому подключаются электроды, накладываемые на тело больного. Этот контур

называют терапевтическим (см.рис.2). Наличие его обязательно по условиям, электробезопасности. В таком случае электроды, накладываемые на больного, связаны с источником питания только индуктивно и больной не может подвергнуться действию высокого напряжения. В состав терапевтического контура включается также конденсатор переменной ёмкости для настраивания его в резонанс с любым объектом при каждой процедуре. Аппарат для УВЧ-терапии представляет собой двухтактный генератор, работающий на лампах (рис.2). Питание осуществляется от трансформатора, поэтому можно устанавливать разную выходную мощность. До включения аппарата УВЧ устанавливают электроды у соответствующего назначения участка тела больного. Электроды -устройство, между которыми создается электрическое УВЧ-поле, воздействующее на больного. Величина и форма электродов должна соответствовать величине участка тела, на котором проводится воздействие. Между электродами и поверхностью тела больного должно оставаться определенное воздушное пространство. Электрическое поле УВЧ проникает сквозь любую толщу тела больного вне зависимости от толщины зазора. При проведении процедуры УВЧ-терапии электроды располагают на определенном расстоянии и в той области тела больного, какое указано в назначении. Электроды прочно фиксируются. Включают аппарат, настраивая терапевтический контур в резонанс с генератором, проверяют наличие поля стрелкой индикаторного прибора аппарата и свечением неоновой лампочки. При изменении положения больного вновь настраивают резонанс.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа студентов под контролем.

В настоящей работе предлагается изучить на опыте процесс выделение тепла под воздействием генератора УВЧ в электролите и диэлектрике. Метод работы - наблюдение изменения температуры этих жидкостей при их помещении между электродами пациента генератора

УВЧ. Для этого между электродами аппарата УВЧ-терапии устанавливаются кюветы с исследуемыми жидкостями. Количество жидкостей подбирается так, чтобы их

теплоемкости были одинаковы. Изменения температуры фиксируется термометрами, установленными в кюветах.

Задание 1. Включить аппарат УВЧ-терапии в сеть, дать ему прогреться 2-3 мин.

Задание 2. Измерить начальную температуру исследуемых жидкостей (раствора поваренной соли и касторового масла) с точностью до $0,2^{\circ}\text{C}$. Данные занести в таблицу.

Задание 3. Между электродами аппарата УВЧ расположить кюветы с исследуемыми жидкостями. Через каждые 3-5 минут 5-6 раз измерить температуру электролита и диэлектрика. Результаты измерений записать в таблицу.

Задание 4. Построить график зависимости изменений температуры жидкости от времени пребывания их в высокочастотном поле (на одном чертеже).

Задание 5. Сделать вывод.

Жидкость	Время в мин.	Температура в град.
Электролит	0	
	3	
	6	
	9	
	12	
	15	
Диэлектрик	0	
	3	
	6	
	9	
	12	
	15	

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы: решить задачи.

3. После того, как конденсатору колебательного контура сообщён заряд $= 1$ мкКл, в контуре происходят затухающие электромагнитные колебания. Какое кол-во теплоты выделяется в контуре к тому времени, когда колебания полностью затухают? Емкость конденсатора $C = 0,01$ мкф.

4. Эффективное напряжение на конденсаторе колебательного контура $U_e = 100$ В. Емкость конденсатора $C = 10$ пф. Найти максимальные значения электрической и магнитной энергии в контуре.

1. При увеличении частоты ВЧ-тока количество тепла, выделяемого в тканях за счет тока смещения, по сравнению с количеством тепла, выделяемого за счет тока проводимости:

1. возрастает;
2. уменьшается;
3. остается постоянным.

Лабораторная работа ФПЭ-02.

Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков.

1. Тема и ее актуальность.

В данной лабораторной работе изучается поляризация сегнетоэлектриков в зависимости от напряженности электрического поля. Некоторые ткани организма обладают пьезоэлектрическими свойствами (костные ткани), поэтому изучение законов поляризации диэлектриков можно использовать в медицине для воздействия электрического поля на костные ткани.

2. Цель занятия.

В результате усвоения темы студент должен:

- а) знать электрические свойства диэлектриков,
- б) знать характерные свойства диэлектриков,
- в) знать свойства сегнетоэлектриков,
- г) знать, как влияет постоянное электрическое поле на костные ткани.
- д) знать, как влияет переменное электрическое поле на ткани организма.

3. Вид занятия: лабораторная работа

4. Продолжительность: 3 академических часа (135 мин).

5. Оснащение: приборы и оборудование.

6. Содержание: Теоретическое введение, описание установки, контроль исходного уровня знаний, самостоятельная работа студентов, контроль степени усвоения, подведение итогов занятия

6.1 Теоретическое введение и метод измерения.

Как известно, молекулы диэлектриков по своим электрическим свойствам эквивалентны электрическим диполям и могут обладать электрическим моментом

$$\vec{p}_e = q\vec{l} \quad (6.1.1)$$

где q - абсолютная величина суммарного заряда одного знака в молекуле (т.е. заряда всех ядер или всех электронов); \vec{l} -вектор , проведенный из "центра тяжести" отрицательных зарядов электронов в "центр тяжести" положительных зарядов ядер (плечо диполя).

Поляризация диэлектриков обычно описывается на основе представлений о жестких и индуцированных диполях. Внешнее электрическое поле либо упорядочивает ориентацию жестких диполей (ориентационная поляризация в диэлектриках с полярными молекулами). Во всех этих случаях диэлектрики поляризуются.

Поляризация диэлектрика заключается в том, что под действием внешнего электрического поля суммарный электрический момент молекул диэлектрика становится отличным от нуля .

Количественной характеристикой поляризации диэлектрика служит вектор поляризованности (или вектор поляризации), который равен электрическому моменту единицы объема диэлектрика:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_e}{\Delta V}, \quad (6.1.2)$$

где $\sum \vec{p}_e$ - векторная сумма дипольных электрических моментов всех молекул диэлектрика в физически бесконечно малом объеме ΔV .

У изотропных диэлектриков поляризованность \vec{P} связана с напряженностью электрического поля E в той же точке соотношением

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E} \quad (6.1.3)$$

где χ - коэффициент, не зависящий в первом приближении от \vec{E} и называемой диэлектрической восприимчивостью вещества;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная.

Для описания электрического поля в диэлектриках, кроме напряженности \vec{E} и поляризованности \vec{P} используют вектор электрического смещения D , определяемый равенством

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (6.1.4)$$

С учетом (6.1.3) вектор смещения можно представить в виде

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (6.1.5)$$

где $\varepsilon = 1 + \chi$ - безразмерная величина, называемая диэлектрической проницаемостью среды. Для всех диэлектриков $\chi > 0$, а $\varepsilon > 1$.

Сегнетоэлектрики представляют собой особую группу кристаллических диэлектриков, обладающих в отсутствие внешнего электрического поля в определенном интервале температур и давлений спонтанной (самопроизвольной) поляризацией, направление которой может быть изменено электрическим полем и в ряде случаев механическими напряжениями.

В отличие от обычных диэлектриков сегнетоэлектрики обладают рядом характерных свойств, которые были изучены советскими физиками И.В. Курчатовым и П.П. Кобеко. Рассмотрим основные свойства сегнетоэлектриков.

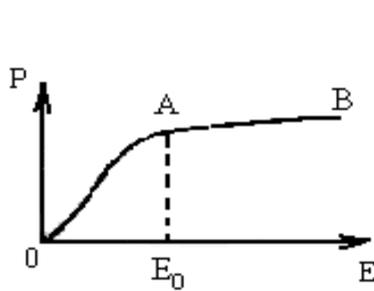


Рис. 1

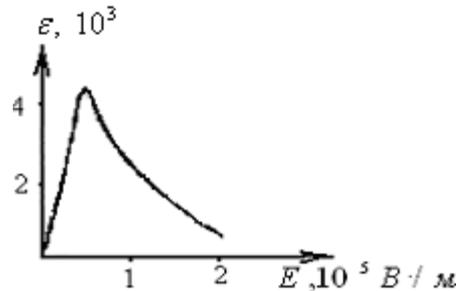


Рис. 2

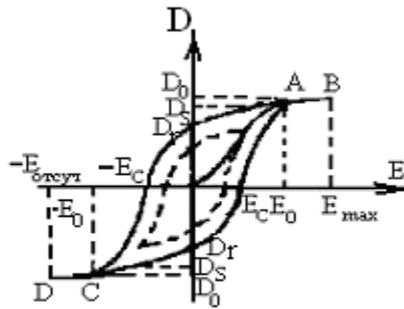


Рис. 3

I. Сегнетоэлектрики характеризуются очень высокими значениями диэлектрической проницаемости ε . Она может достигать величин порядка $10^3 - 10^6$. Например, диэлектрическая проницаемость сегнетовой соли $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ при комнатной температуре ($\sim 20^\circ\text{C}$) близка 10000.

II. Особенностью сегнетоэлектриков является нелинейный характер зависимости поляризованности \vec{P} , а значит, и электрического смещения D от напряженности поля \vec{E} (рис.1). На рис. 2 показана зависимость ε от \vec{E} для сегнетовой соли при температуре 20°C .

III. Всем сегнетоэлектрикам свойственно явление диэлектрического гистерезиса, заключающееся в запаздывании изменения поляризованности \vec{P} (или смещения D) при изменении напряженности поля \vec{E} . Это запаздывание связано с тем, что величина \vec{P} (или D) не только определяется значением поля \vec{E} , но и зависит еще от предшествовавшего

состояния поляризации образца. При циклических изменениях напряженности поля \vec{E} зависимость поляризованности \vec{p} и смещения D от \vec{E} выражается кривой, называемой петлей гистерезиса.

На рис. 3 представлена петля гистерезиса в координатах D, E . С увеличением поля E смещение D в образце, которой первоначально не был поляризован, изменяется по кривой OAB . Эта кривая называется начальной или основной кривой поляризации.

С уменьшением поля сегнетоэлектрик ведет себя сначала как обычный диэлектрик (на участке BA гистерезис отсутствует), затем (от точки A) изменения смещения отстают от изменения напряженности. Когда напряженность поля $\vec{E}=0$, сегнетоэлектрик остается поляризованным и величина электрического смещения, равна D_r , называется остаточным смещением.

Для снятия остаточного смещения к сегнетоэлектрику необходимо приложить электрическое поле противоположного направления с напряженностью $-E_c$. Величину E_c принято называть коэрцитивным полем.

Если максимальное значение напряженности поля таково, что спонтанная поляризация достигает насыщения, то получается петля гистерезиса, называемая петлей частного цикла (сплошная кривая на рис. 3).

Если же при максимальной напряженности поля насыщение не достигается, то получается так называемая петля частного цикла, лежащая внутри предельного цикла (пунктирная кривая на рис.3). Частных циклов переполаризации может существовать бесконечное множество, но при этом максимальное значения смещения D частных циклов всегда лежат на основной кривой поляризации OA .

IV. Сегнетоэлектрические свойства сильно зависят от температуры. Для каждого сегнетоэлектрика существует такая температура T_c , выше которой его сегнетоэлектрические свойства исчезают, и он превращается в обычный диэлектрик.

Температура T_c называется точкой Кюри. Для титаната бария $BaTiO_3$ точка Кюри равна $120^\circ C$. Некоторые сегнетоэлектрики, имеют две точки Кюри (верхнюю и нижнюю) и ведут себя как сегнетоэлектрики лишь в температурном интервале между этими точками Кюри. К числу таковых относится сегнетова соль, для которой точки Кюри равны $-18^\circ C$ и $+24^\circ C$.

На рис.4 приведен график температурной зависимости диэлектрической проницаемости монокристалла $BaTiO_3$. В достаточно большом интервале температур значения ϵ $BaTiO_3$ существенно превышают значения ϵ обычных диэлектриков (для которых $\epsilon=1-10^3$). Вблизи точки Кюри наблюдается значительное возрастание ϵ (аномалия).

Все характерные свойства сегнетоэлектриков связаны с существованием у них спонтанной поляризации. Спонтанная поляризация есть следствие собственной асимметрии элементарной ячейки кристалла, приводящей к появлению у нее дипольного электрического момента. В результате взаимодействия между отдельными поляризованными ячейками они располагаются так, что их электрические моменты ориентированы параллельно друг другу. Ориентация электрических моментов многих ячеек в одном направлении приводит к образованию областей спонтанной поляризации, называемых доменами. Очевидно, что, каждый домен поляризован до насыщения. Линейные размеры доменов не превышают 10^{-6} м.

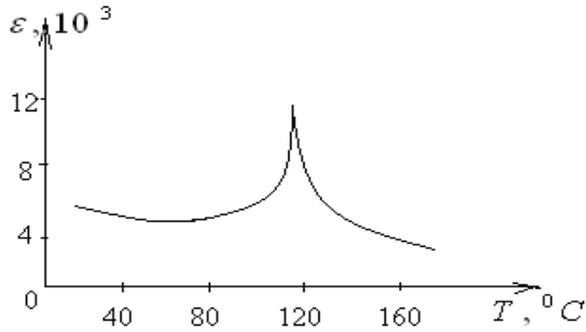


Рис.4

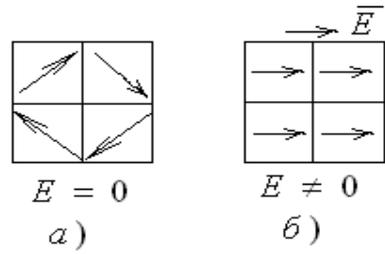


Рис.5

В отсутствие внешнего электрического поля поляризованность всех доменов различна по направлению, по этому в целом кристалл оказывается неполяризованным. Это показано на рис.5, а, где схематично изображены домена образца, стрелками показаны направления спонтанной поляризации различных доменов. Под влиянием внешнего электрического поля в много- доменном кристалле происходит переориентация спонтанной поляризации. Этот процесс осуществляется: а) смещением доменных стенок (домены, поляризованность которых составляет острый угол θ с внешним полем, растут за счет доменов, у которых $\theta > \pi/2$); б) поворотом электрических моментов доменов в направление поля; в) образованием и прорастанием зародышей новых доменов, электрические моменты которых направлены по полю.

Перестройка доменной структуры, происходящая при наложении и увеличение внешнего электрического поля, приводит к появлению и росту суммарной поляризованности P кристалла (нелинейный участок ОА на рис. 1 и 3). при этом вклад в суммарную поляризованность P , помимо спонтанной поляризации, вносит так же и индуцированная поляризация электронного и ионного смещения, т.е. $P = P_s + P_i$.

При некоторой напряженности поля (в точке А) во всем единичное направление спонтанной поляризации, совпадающее с направлением поля (рис.5,б). Говорят, что кристалл становится однодоменным с направлением параллельным полю. Это состояние называется насыщением. Увеличение поля E после достижения насыщения сопровождается дальнейшим ростом общей поляризации P кристалла, но теперь уже только за счет индуцированной поляризации (участок АВ на рис.1 и 3). При этом поляризованность P и смещение D практически линейно зависят от E . Экстраполируя линейный участок АВ на ось ординат, можно оценить спонтанную поляризацию насыщения $P_{s \max}$, которая приблизительно равна значению D_s , отсекаемому экстраполированным участком на оси ординат: $P_{s \max} \approx D_s$. Это приблизительно равенство вытекает из того, что для большинства сегнетоэлектриков $\epsilon_0 E \ll P$ и $D = \epsilon_0 E + P \approx P$.

Как отмечалось выше, в точке Кюри при нагревании сегнетоэлектрика исчезают его особые свойства и он превращается в обычный диэлектрик. Это объясняется тем, что при температуре Кюри происходит фазовый переход сегнетоэлектрика из полярной фазы, характеризующейся наличием спонтанной поляризации, в неполярную, в которой спонтанная поляризация отсутствует. При этом изменяется симметрия кристаллической решетки. Полярная фаза часто называется сегнетоэлектрической, а полярная – параэлектрической.

В заключении обсудим вопрос о диэлектрических потерях в сегнетоэлектриках вследствие гистерезиса.

Потери энергии в диэлектриках, находящихся в переменном электрическом поле, могут быть связаны со следующими явлениями: а) отставанием во времени поляризованности P от напряженности поля E из-за молекулярно-теплового движения; б)

наличием небольших токов проводимости - необратимое преобразование электрической энергии в теплоту.

Диэлектрические потери приводят к тому, что на участке цепи переменного тока, содержащем конденсатор, сдвиг по фазе между колебаниями тока и напряжения никогда не бывает точно равным $\pi/2$, а всегда оказывается меньше, чем $\pi/2$, на угол δ , называемый углом потерь. Диэлектрические потери в конденсаторах оцениваются тангенсом угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{\chi} \quad (6.1.6)$$

где χ - реактивное сопротивление конденсатора; R- сопротивление потерь в конденсаторе, определяемое из условия: мощность, выделяемая на этом сопротивлении при прохождении по нему переменного тока, равна мощности потерь в конденсаторе.

Тангенс угла потерь есть величина, обратная добротности Q:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q}$$

и для его определения, наряду с (6.1.6), может быть использовано выражение

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta \omega}{\varepsilon \pi \omega} \quad (6.1.7)$$

где $\Delta \omega$ – потери энергии за период колебаний (в элементе цепи или во всей цепи);
 ω - энергия колебаний (максимальная для элемента цепи и полная для всей цепи).

Воспользуемся формулой (6.1.7) для оценки потерь энергии, вызванных диэлектрическим гистерезисом. Эти потери, как и сам гистерезис, есть следствие необратимого характера процессов, ответственных за переориентацию спонтанной поляризации.

Перепишем соотношение (6.1.7) в виде

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega_r}{2\pi\omega_0} \quad (6.1.8)$$

где ω_r – потери энергии переменного электрического поля на диэлектрический гистерезис в единице объема сегнетоэлектрика за время одного периода; ω_0 – максимальная плотность энергии электрического поля в кристалле сегнетоэлектрика. Так как объемная плотность энергии электрического поля

$$\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}, \quad (6.1.9)$$

то при увеличении напряженности поля на dE объемная плотность энергии соответственно изменяется на

$$d\omega = Ed(\varepsilon \varepsilon_0 E) = EdD$$

Эта энергия затрачивается на переполяризацию единицы объема сегнетоэлектрика и идет на увеличение его внутренней энергии, т. е. на его нагрев. Очевидно, что за один полный период величина диэлектрических потерь в единице объема сегнетоэлектрика определяется формулой

$$\omega_r = \oint EdD \quad (6.1.10)$$

И численно равна площади петли гистерезиса в координатах D, E. Максимальная плотность энергии электрического поля в кристалле составляет

$$\omega_0 = \frac{E_0 D_0}{2} \quad (6.1.11)$$

где E_0 и D_0 – амплитуды напряженности и смещения электрического поля.

Подставляя (6.1.10) и (6.1.11) в формулу (6.1.8), получаем следующее выражение для тангенса угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектриках

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \oint \frac{E dD}{E_0 D_0}, \quad (6.1.12)$$

где \oint -знак контурного интеграла.

Сегнетоэлектрики используются для изготовления конденсаторов большой емкости, но малых размеров, применяются для создания различных нелинейных элементов. Во многих радиотехнических устройствах используются вариконды- сегнетоэлектрические конденсаторы с резко выраженными нелинейными свойствами: емкость таких конденсаторов сильно зависит от величины приложенного к ним напряжения. Вариконды характеризуются высокой механической прочностью, устойчивостью к вибрации, тряске, влаге. Недостатки варикондов - ограниченный диапазон рабочих частот и температур, высокие значения диэлектрических потерь.

Диэлектрические свойства живых тканей

Наибольшее значение поляризации P_m и время релаксации τ зависят от механизма поляризации. Характерный для каждого типа поляризации временной параметр- время релаксации τ (табл.1) определяет быстроту перехода системы в новое поляризованное состояние. За время $t = \tau$ поляризация достигает значения в e -раз меньше максимального.

В постоянном электрическом поле проявляются все типы поляризации, величина диэлектрической проницаемости максимальна.

При увеличении частоты переменного тока (электрического поля) промежутки времени действия электрического поля уменьшается. Если этот промежуток времени меньше времени релаксации какого-то типа поляризации, то данный тип поляризации дает малый вклад в общее значение поляризации или совсем не проявляется. Этим объясняется зависимость диэлектрической проницаемости биологической ткани и импеданса от частоты.

Табл.1. Значения времени релаксации для разных типов поляризации.

Ткани, суспензии клеток	Клетки	Ядра и внутриклеточные органеллы	Протеины и макромолекулы	Вода и электролиты
$10^{-1}-10^{-3}$	$10^{-2}-10^{-4}$	$10^{-5}-10^{-7}$	$10^{-6}-10^{-8}$	10^{-11}

Неодинаковые величины частоты разных тканевых компонентов, способных поляризоваться в электромагнитном поле, обуславливают неравномерный ход кривой дисперсии диэлектрической проницаемости, отображающей зависимость ϵ ткани от ν электромагнитных колебаний, воздействующих на нее. На графике (рис.6) можно выделить три участка, где кривая идет круче, чем в промежутках. Эти участки называют зонами областями дисперсии (зонами релаксации) и обозначают греческими буквами α, β, γ .

Первый участок (α -дисперсия живых тканей) соответствует низкочастотному диапазону (до 1 кГц). Он отображает поляризацию внутриклеточных компартментов, с которыми связаны сегнетоэлектрические свойства живых тканей. В силу значительной инерционности релаксационных процессов в доменах- компартментах вращение этих «гигантских диполей» запаздывает относительно перемен направления напряженности внешнего электромагнитного поля даже на низких частотах, что проявляется в уменьшении диэлектрической проницаемости по мере повышения частоты в низкочастотном диапазоне. Некоторый вклад в α - дисперсию вносит релаксация зарядов на фасциях, внутриорганных соединительнотканых прослойках, клеточных поверхностях.

Второй участок (β - дисперсия живых тканей) отображает изменение поляризации макромолекул по мере повышения частоты внешнего электромагнитного поля. В скелетной мышце β - дисперсия наблюдается в диапазоне частот от 10^4 до 10^8 Гц. Снижение диэлектрической проницаемости по мере повышения частоты в этом диапазоне зависит от

того, что все менее крупные молекулы не успевают поворачиваться в соответствии с частотой внешнего электромагнитного поля, когда она превосходит частоту той или иной полярной молекулы. Очевидно, 10^8 Гц является частотой, соответствующей частоте наименее инерционных макромолекул, а 10^4 Гц- наиболее инерционных макромолекул.

Третий участок (γ - дисперсия живых тканей) приходится на частоту выше 10^{10} Гц, чему соответствует частоты ориентационной поляризации молекул воды. Поскольку воде свойственно несколько значений частот, лежащих около 20 ГГц (явление много структурности воды), то изменение диэлектрической проницаемости на частоте больше 10^{10} Гц имеет немонотонно убывающий характер.

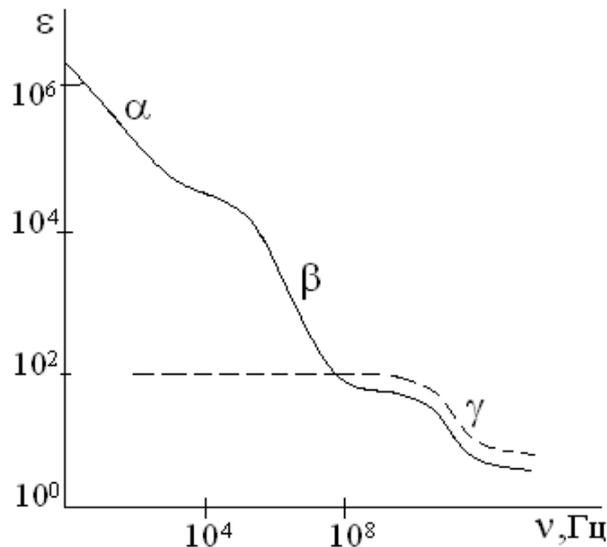


Рис. 6. Дисперсия диэлектрической проницаемости скелетной мышцы (сплошная линия): по оси абсцисс – частота (Гц); по оси ординат – диэлектрическая проницаемость. Штриховая линия – зависимость ϵ 0,85% раствора NaCl от ν .

Диэлектрическая проницаемость уменьшается потому, что даже такие мелкие молекулы, как H_2O , не успевают совершать повороты с частотой, соответствующей частотному диапазону γ - дисперсии.

Влияние постоянного электрического поля на костные ткани

В живом организме кость удивительно изменчива – ведь это живая ткань нашего организма. Известно, что кость растет там, где на нее действуют нагрузки, и рассасывается там, где их нет.

Каким образом кость может изменять свою форму и массу в зависимости от величины действующей нагрузки? Важную роль в этой цепи саморегуляции играют изменения электрического поля костной ткани. Кость обладает пьезоэлектрическими свойствами, и поэтому ее деформация сопровождается возникновением электрического поля. При этом растягиваемая поверхность кости всегда заряжается положительно по отношению к сжимаемой. Если кость работает на изгиб, то вогнутая ее поверхность заряжается отрицательно, а выпуклая – положительно. Напряженность электрического поля при обычных нагрузках, как правило, не превышает 0,5 В/см. Данные клинических наблюдений указывают на то, что при длительных деформациях кость способна изменять свою форму, «доставляя» костную ткань в вогнутых участках и разрушая в выпуклых. В результате кость выпрямляется.

Сопоставление этих данных привело к гипотезе о влиянии электрического поля на процесс новообразования костной ткани.

Эксперименты на животных показали, что при длительном пропускании электрического тока через кость масса костного вещества увеличивается вблизи отрицательного электрода. Необходима для этого напряженность электрического поля близка к той, которая возникает при естественных деформациях кости.

Действие электрического поля на рост костной ткани можно объяснить следующим образом. Известно, что в процессе образования кости сначала появляются новые коллагеновые нити, которые потом обрастают кристаллами минерального вещества. Было показано, что ориентация коллагеновых нитей и их слияния ускоряется в электрическом поле; при этом слипшиеся под действием внешнего поля нити ориентируются перпендикулярно к электрическим силовым линиям вблизи отрицательного электрода. Процесс слипания и ориентация коллагеновых нитей становится заметным уже через 5 минут после включения электрического поля при токах, сравнимых с теми, которые были обнаружены в деформированной кости. Очевидно, что электрическое поле, возникающее при деформации кости вследствие пьезоэффекта, способно ориентировать образующие коллагеновые нити и вызывать изменение костной ткани.

В некоторых отечественных и зарубежных клиниках стали успешно применять электрическое поле для лечения костных переломов у пожилых людей. Так как этот метод связан с вживлением под кожу специальных электродов, его применяют только в тех случаях, когда обычное лечение (с фиксацией) не дает положительного эффекта в течении нескольких лет. Результаты электролечения превзошли все ожидания. В 84% больных пропускание постоянного тока (10-20) микроампер через 3 месяца приводило к интенсивному срастанию кости в месте перелома.

Влияние переменного электрического поля на ткани организма

В тканях находящихся в переменном электрическом поле, возникают токи смещения и токи и проводимости. Наличие этих токов в тканях живых организмов, приводит к нагреванию тканей. Для этих целей, используют электрические поля ультравысокой частоты (У.В.Ч.). В аппаратах УВЧ используют частоту 40, 58 МГц. Электропроводящие части тканей выделяют количество теплоты q за 1 секунду в 1 м^3 .

$$q = \frac{E^2}{\rho} \text{ или } q = E^2 \gamma$$

где ρ - удельное сопротивление ткани

γ - удельная проводимость ткани,

E - эффективная напряженность электрического поля.

Эффективная напряженность электрического поля, аналогично силе тока и напряжению, связана с максимальным значением соотношения:

$$E = E_{\max} / \sqrt{2} .$$

В диэлектрических частях тканей количество теплоты выделяемое 1 м^3 тканей за 1 секунду равно:

$$q = E^2 * \omega * \varepsilon * \varepsilon_0 \text{tg} \delta$$

где E – эффективная напряженность электрического поля,

ω – частота электрического поля,

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды,

ε_0 – электрическая постоянная,

δ – угол диэлектрических потерь.

Чем больше угол диэлектрических потерь, тем больше активная составляющая силы тока. Таким образом, в обоих случаях выделяемое количество теплоты пропорционально квадрату эффективной напряженности электрического поля, которое зависит от характеристики среды, а для диэлектрических частей тканей – от частоты поля и диэлектрической проницаемости среды.

Электромагнитная волна поляризует молекулы вещества тканей и периодически переориентирует их как электрические диполи. Кроме того, электромагнитная волна воздействует на ионы и вызывает переменный ток проводимости. Все это приводит к нагреванию тканей организма. Большое значение имеют токи смещения, обусловленные переориентацией молекул воды. Глубина проникновения электромагнитных волн в ткани организма человека зависит от частоты электромагнитных волн. Условно считают, что при микроволновой терапии глубина проникновения электромагнитных волн равна 3-5 см от поверхности тела, а при ДЦВ – терапии до 9 см. [1].

Приборы и оборудование.

- 1.ФПЭ -02 - модуль.
- 2.PV -цифровой вольтметр.
- 3.РО -осциллограф.

На рис. 7 приведена структурная схема, с помощью которой изучаются свойства сегнетоэлектриков.

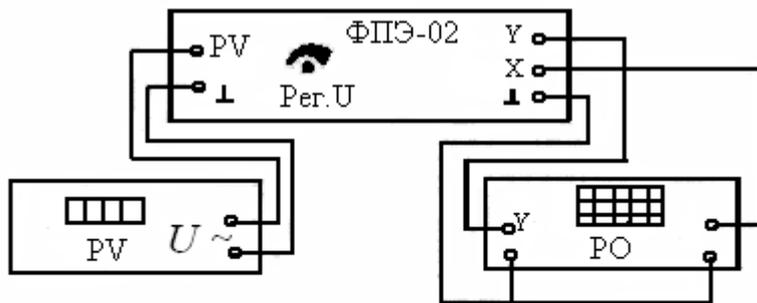


Рис.7

На передней панели модуля имеются:

- 1) ручка "Per U" потенциометра R ;
- 2) гнезда "PU" - для подключения вольтметра;
- 3) гнезда "PO" ("Y", "X", "⊥") - для подключения осциллографа.

От источника питания на схему поступают напряжение сети ~ 220 В, 50 Гц.

Напряжение, снимаемое со вторичной цепи понижающего трансформатора Т (220/100), через потенциометр R_3 подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R_1 и R_2 . Параллельно делителю R_1 , R_2 включены последовательно два конденсатора, образующие емкостной делитель: исследуемый керамический сегнетоэлектрический конденсатор C_1 и эталонный конденсатор C_2 . Вольтметр PV обеспечивает измерение величины напряжения, подаваемого на делители R_1 , R_2 и C_1 , C_2 .

Осциллограф РО служит для наблюдения и изучения поляризации сегнетоэлектрического конденсатора C_1 при подаче на него переменного гармонического напряжения.

Метод измерения

На вертикально отклоняющиеся пластины осциллографа подается напряжение U_y с эталонного конденсатора

$$U_y = \frac{q}{C_2}. \quad (6.1.13)$$

Так как C_1 и C_2 соединены последовательно, то они имеют одинаковый заряд q на обкладках. Величина этого заряда может быть выражена через электрическое смещение поля в исследуемом конденсаторе C_1 :

$$D = \delta = \frac{q}{S},$$

откуда

$$q = DS, \quad (6.1.14)$$

где δ - поверхностная плотность заряда на обкладках конденсатора C_1 ;

$S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь, d - диаметр обкладок конденсатора C_1 . С учетом (6.1.14) напряжение

$$U_y = \frac{S}{C_2} D \quad (6.1.15)$$

На горизонтально отклоняющиеся пластины подается напряжение U_x , снимаемое с сопротивления R_2 :

$$U_y = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (6.1.16)$$

Это напряжение, как видим, составляет часть полного напряжения U , подаваемого на делитель напряжения R_1, R_2 , а значит, и на емкостной делитель C_1, C_2 . Емкости C_1 и C_2 подобраны таким образом, что $C_1 \ll C_2$. Поэтому с достаточной степенью точности можно считать, что практически все напряжение U , снимаемое с потенциометра R_3 , на емкостном делителе приложено к сегнетоэлектрическому конденсатору C_1 . Действительно, так как $\frac{U_{C_1}}{U_{C_2}} = \frac{C_2}{C_1} \gg 1$, то $U = U_{C_1} + U_{C_2} \approx U_{C_1}$. Тогда, полагая электрическое поле внутри конденсатора C_1 однородным, имеем

$$U = Eh \quad (6.1.17)$$

где E - напряженность электрического поля в пластине сегнетоэлектрика; h - толщина пластины сегнетоэлектрика.

С учетом (6.1.17) напряжение U_x можно представить в виде

$$U_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Eh \quad (6.1.18)$$

Таким образом, в данной электрической схеме на вертикально и горизонтально отклоняющиеся пластины осциллографа одновременно подаются периодически изменяющиеся напряжения, пропорциональные, соответственно, электрическому смещению D и напряженности поля E в исследуемом сегнетоэлектрике, в результате чего на экране осциллографа получается петля гистерезиса рис.3.

Выражения (6.1.15), (6.1.17) и (6.1.18) позволяют найти напряженность E электрического поля в сегнетоэлектрике, если предварительно определены величины U_y, U_x и U . Напряжение U определяется по показанию вольтметра PV . Напряжение U_y и U_x измеряются с помощью осциллографа и рассчитываются по формулам:

$$U_y = K_y y$$

$$U_x = K_x x$$

где Y, X - отклонения электронного луча на экране осциллографа по осям Y и X соответственно; K_y, K_x - коэффициент отклонения каналов Y и X осциллографа.

Учитывая (6.1.19) и (6.1.20), из выражений (6.1.15) и (6.1.18) получим:

$$D = \frac{C_2 K_y}{S} Y; \quad (6.1.21)$$

$$E = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{K_x}{h} X \quad (6.1.22)$$

Кроме того, из выражения (6.1.17) следует

$$E_0 = \frac{U_0}{h} = \frac{\sqrt{2}}{h} U \quad (6.1.23)$$

где U -эффективное значение напряжения, измеряемое вольтметром PV . Для напряженности поля получили две формулы. Формула (6.1.22) используется для определения текущего, а формула (6.1.23) - используется для определения амплитудного значения напряженности поля в сегнетоэлектриках.

Применим полученные соотношения для нахождения тангенса угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектрике и исследования зависимости $\varepsilon = f(E)$,

Подставляя в (6.1.12) выражения (6.1.21) и (6.1.22), имеем

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \oint \frac{E dD}{E_0 D_0} = \frac{1}{\pi} \oint \frac{x dy}{y_0 x_0} = \frac{1}{\pi} \frac{S_n}{x_0 y_0} \quad (6.1.24)$$

где S_n - площадь петли гистерезиса в координатах $X, Y; X_0, Y_0$ - координаты вершины петли гистерезиса.

Для измерения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика используем тот факт, что основная кривая поляризации (кривая OAB на рис.3) является геометрическим местом точек вершин циклов переполаризации, полученных при различных максимальных значениях E_0 напряженности поля в образце. Для каждой ее точки можем записать соотношение (6.1.5) в виде $D_0 = \varepsilon \varepsilon_0 E_0$, где D_0, E_0 - координаты вершины циклов переполаризации. Тогда определив с помощью формул (6.1.21) и (6.1.23) значения D_0 и E_0 вершин нескольких циклов, можно из (6.1.5) найти значения ε при различных значениях E_0 согласно выражению

$$\varepsilon = \frac{D_0}{\varepsilon_0 E_0} = \frac{C_2 h}{\sqrt{2 \varepsilon_0 S}} \frac{K_y Y_0}{U} \quad (6.1.25)$$

и изучить зависимость $\varepsilon = f(E)$.

6.2 Контроль исходного уровня знаний.

Задание 1

1. В чем заключается поляризации диэлектриков? Какая величина является количественной характеристикой поляризации? Как эта величина связана с напряженностью электрического поля в диэлектрике?

2. Опишите различные типы поляризации: электронного смещения, ионного смещения, ориентационную, спонтанную.

3. Опишите описание свойства сегнетоэлектриков.

4. Нарисуйте принципиальную электрическую схему для получения петли гистерезиса и объясните ее работу.

5. Получите формулу, по которой в работе определяется диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика.

6. Какова роль поляризации диэлектриков в понимании электрических процессов, происходящих в организме?

7. Как влияет явление остаточной поляризации в понимание электрических свойств биологических сред?

8. С чем связано понимание механизма воздействия постоянного электрического поля на организм?

9. В чем заключается применение теории релаксации в понимание явления электрического гистерезиса диэлектриков и его влияние на процессы протекания биохимических реакций в организме.

Задание 2

Решить следующие задачи:

1. В воде 3% молекул ориентированы упорядоченно вдоль линий напряженности приложенного электрического поля, остальные молекулы ориентированы хаотически. Найдите поляризованность воды. Электрический момент диполя молекул воды $p = 1,86 \text{ Дб}$.

2. На пластины плоского конденсатора, расстояние между которыми $\ell = 3 \text{ см}$ подано напряжение $U = 1 \text{ кВ}$. Пространство между пластинами заполнено кровью. Найдите поверхностную плотность связанных зарядов и поляризованность.

3. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $\ell = 0,5 \text{ см}$ заряжен до разности потенциалов $U = 700 \text{ В}$. Диэлектрик-кровь. Определите объемную плотность энергии поля конденсатора.

4. Вычислите емкость тела человека, считая ее равной емкости электропроводящего шара того же объема. Среднюю плотность тела принять равной $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, масса человека $m = 60 \text{ кг}$.

6.3 Самостоятельная работа студентов.

Порядок выполнения работы

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с описанием приборов, используемых в данной установке.

1. Установить ручку "Рег U" на панели модуля ФПЭ-02 в среднее положение.
2. Установить органы управления на панелях осциллографа РО в положении, обеспечивающее наблюдение фигур Лиссажу, измерение величины переменного напряжения и исследование зависимости между двумя внешними сигналами.
3. Подготовить к работе вольтметр РУ.
4. Собрать схему согласно рис. 7.
5. После проверки схемы преподавателем или лаборантом присоединить все приборы к сети $\sim 220 \text{ В}$, 50 Гц и включить тумблеры "Сеть" на панелях всех приборов. На экране осциллографа должна появиться петля гистерезиса.
6. Установить петлю гистерезиса в центральную часть экрана осциллографа.

Задание 1. Определение тангенса угла диэлектрических потерь.

1. Получить петлю гистерезиса предельного цикла. Для этого повернуть в крайнее правое положение ручку "Рег U" на панели модуля и подобрать, если это необходимо, такой коэффициент отклонения K_Y осциллографа, чтобы кривая гистерезиса предельного цикла целиком размещалась в пределах экрана, занимая не менее половины (по вертикали).
2. Измерить координаты X_0 и Y_0 вершины петли гистерезиса. Для этого, подводя каждую из вершин петли (точки А и С на рис. 3.) сначала к оси X, а затем к оси Y (центральным, градуированным линиям сетки экрана), определить их координаты $+X_0$ и $-X_0$, $+Y_0$ и Y_0 и взять среднее арифметическое из модулей полученных значений. Записать значение коэффициента отклонения K_Y при измерении Y_0 .
3. Установить кривую гистерезиса симметрично относительно осей Y и X и перерисовать ее с экрана осциллографа на миллиметровую бумагу по точкам, снятым с помощью сетки экрана.
4. Определить площадь петли гистерезиса, используя рисунок, выполненный на миллиметровой бумаге.
5. Вычислить $\text{tg } \delta$ по формуле (6.1.24).

6.4 Контроль степени усвоения материала.

Тест 1.

1. Что представляет собой диполь?
 - а) система состоящая из двух одноименных зарядов;
 - б) система, состоящая из двух равных противоположных по знаку точечных электрических зарядов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга;

в) система, состоящая из двух неравных противоположных по знаку зарядов.

2. Что собой представляет пьезоэффект?

а) это возникновение поляризации в кристаллических диэлектриках под действием электрического поля;

б) возникновение поляризации в кристаллических диэлектриках при изменении температуры;

в) возникновение поляризации в кристаллических диэлектриках при механической деформации.

3. Каково влияние постоянного электрического поля на биологические ткани.

а) электрическое поле действует на костные ткани;

б) электрическое поле влияет на процесс новообразования костной ткани;

в) постоянное электрическое поле оказывает тепловое воздействие на биологические ткани.

Тест2.

Выбрать правильную формулу для:

1. Электрического дипольного момента:

А. $p = ql$

2. Вращательного момента действующего на диполь

Б. $M = pE$

в однородном магнитном поле:

В. $p = \chi \varepsilon_0 E$

3. Вектора электрического смещения

Г. $D = \varepsilon \varepsilon_0 E + \rho$

4. Вектора поляризации диэлектрика

Д. $\varepsilon = 1 + \chi$

5. Диэлектрической проницаемости среды

6.5. Подведение итогов занятия.

Проверить расчетные данные лабораторной работы, наличие графиков, расписаться в тетради для лабораторных работ, отметить в журнале выполнение работы.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебная комната для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Работа ФПЭ – 03.

Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнетрона

1. Тема и ее актуальность.

Действие магнитного поля на движущийся заряд широко используют в современной технике. Достаточно упомянуть телевизионные трубки (кинескопы), в которых летящие к экрану электроны отклоняются с помощью магнитного поля, создаваемого особыми катушками.

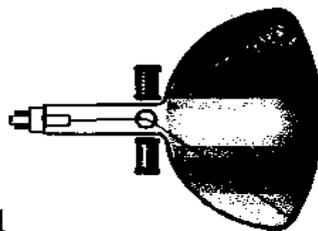


Рис.1

Другое применение действие магнитного поля нашло в приборах, позволяющих разделять заряженные частицы по их удельным зарядам, т. е. по отношениям заряда частицы к ее массе, и по полученным результатам точно определять массы частиц. Такие приборы получили название масс-спектрографов.

2. Цель занятия:

2.1. В результате освоения темы студент должен уметь снимать сбросовую характеристику т.е. зависимость анодного тока от тока в соленоиде.

2.2 Для формирования умений необходимо усвоить:

а) поведение электрона в однородном магнитном поле, когда скорость электрона перпендикулярна вектору индукции магнитного поля ($\vec{v} \perp \vec{B}$)

б) когда скорость электрона \vec{v} направлена под углом α к линиям индукции магнитного поля \vec{B} .

3. Вид занятия: лабораторная работа

4. Продолжительность: 3 академических часа (135 мин)

5. Оснащение занятия

ФПЭ-03 – модуль;

ИП – модуль питания;

РА – миллиамперметр.

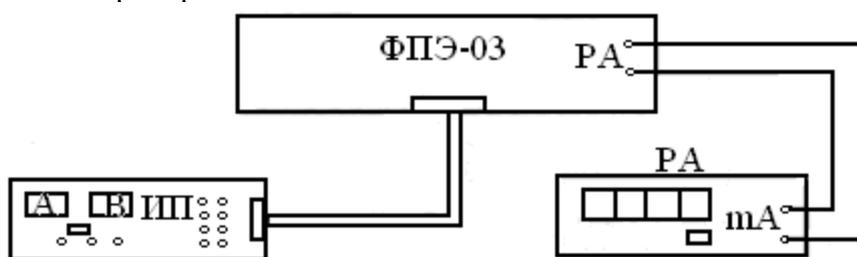


Рис.2

6. Содержание занятия: теоретическое введение, описание установки, контроль исходного уровня знаний, самостоятельная работа студентов, контроль степени усвоения, подведение итогов занятия.

6.1. Теоретическое введение:

На рисунке 2 изображена принципиальная схема простейшего масс-спектрографа. Вакуумная камера прибора помещена в магнитное поле (вектор индукции B перпендикулярен к плоскости рисунка). Ускоренные электрическим полем заряженные частицы (электроны или ионы), описав дугу, попадают на фотопластинку, где оставляют след, позволяющий с большой точностью измерить радиус r . По известному радиусу траектории определяется удельный заряд иона. Зная же заряд иона, легко определить его массу.

Батарея, создающая
ускоряющее напряжение

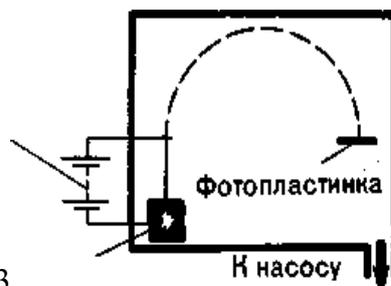


Рис.3

На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила, которую называют магнитной (сила Лоренца):

$$\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}], \quad (6.1.1)$$

где q - заряд частицы; \vec{v} - его скорость; \vec{B} - индукция магнитного поля.

Направлена эта сила перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы \vec{v} , \vec{B} .
Модуль магнитной силы

$$F = qvB \sin \alpha ,$$

где α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Траектория движения заряженной частицы в магнитном поле определяется конфигурацией магнитного поля, ориентацией вектора скорости и отношением заряда частицы к ее массе.

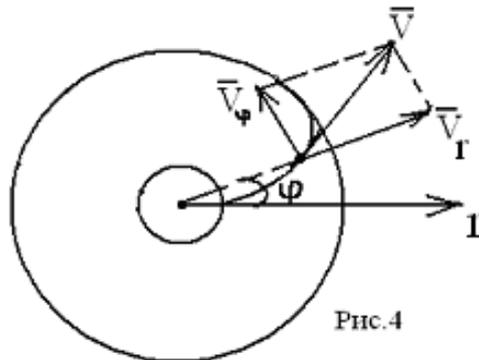
Если действуют одновременно электрическое и магнитное поля, то сила, действующая на заряженную частицу определяется выражением:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + [\vec{v}\vec{B}]) ,$$

где \vec{E} - напряженность электрического поля.

Метод измерения

Существуют различные методы определения отношения e/m , в основе которых лежат результаты исследования движения электрона в электрическом и магнитном полях. Один из них - метод магнетрона. Называется он так потому, что конфигурация полей в нем напоминает конфигурацию полей в магнетронах - генераторах электромагнитных колебаний сверхвысоких частот. Сущность метода состоит в следующем: специальная двухэлектродная электронная лампа, электроды которой представляет собой коаксиальные цилиндры, помещается внутри соленоида так, что ось лампы совпадает с осью соленоида. Электроны, вылетающие из катода лампы, при отсутствии тока в соленоиде движутся радиально к аноду. При подключении тока к соленоиду в лампе создается магнитное поле, параллельное оси лампы, и на электроны начинает действовать магнитная сила Лоренца (6.1.1.).



Под действием этой силы, направленной в каждый момент времени перпендикулярно вектору скорости, траектория электронов искривляется. При определенном соотношении между скоростью электрона и индукцией магнитного поля электроны перестают поступать на анод, и ток в лампе прекращается.

Рассмотрим подробнее движение электронов в лампе при наличии магнитного поля. Для описания этого движения воспользуемся цилиндрической системой координат (рис. 4.), в которой положение электрона определяется расстоянием его от оси лампы r , полярным углом φ и смещением вдоль оси z (параллельно оси лампы). Электрическое поле, имеющее только радиальную компоненту, действует на электрон с силой, направленной по радиусу от катода к аноду. Магнитная сила, действующая на электрон, не имеет составляющей, параллельной оси Z . Поэтому электрон, вылетающий из катода без начальной скорости (начальные скорости электронов, определяемые температурой катода, много меньше скоростей, приобретаемых ими при движении в электрическом поле лампы), движется в плоскости, перпендикулярной оси Z .

Момент импульса электрона относительно оси Z

$$L_z = mv_\varphi r \quad (6.1.2)$$

где $v_\varphi = r \frac{d\varphi}{dt}$ - составляющая скорости, перпендикулярная радиусу r .

Момент M сил, действующих на электрон, относительно оси Z определяется только составляющей магнитной силы, перпендикулярной r и оси OX . Электрическая сила и составляющая магнитной силы, направленные вдоль радиуса r , момента относительно оси Z не создают. Таким образом:

$$M_z = rF_\varphi = rev_r B \quad (6.1.3)$$

где $v_r = \frac{dr}{dt}$ - радиальная составляющая скорости электрона.

Согласно уравнению моментов

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}. \quad (6.1.4)$$

Проектируя (6.1.4.) на ось z , получаем

$$\frac{d(mv_\varphi r)}{dt} = ev_r B = er \frac{dr}{dt} B$$

$$\text{или} \quad \frac{d(mv_\varphi r)}{dt} = \frac{1}{2} eB \frac{d(r^2)}{dt} \quad (6.1.5)$$

Интегрируем уравнение (6.1.5):

$$mv_\varphi r = \frac{1}{2} eBr^2 + const.$$

Константу найдем из начальных условий: при $r=r_k$ (r_k - радиус катода) $v_\varphi = 0$. Тогда

$$const = -\frac{1}{2} eBr_k^2 \quad \text{и} \quad v_\varphi = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{B}{r} (r^2 - r_k^2). \quad (6.1.6)$$

Кинетическая энергия электрона равна работе сил электрического поля:

$$\frac{m(v_\varphi^2 + v_r^2)}{2} = eU, \quad (6.1.7)$$

где U - потенциал относительно катода точки поля, в которой находится электрон.

Подставляя в (6.1.7) значение v_φ из (6.1.6), получаем

$$eU = \frac{m}{2} \left[v_r^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \frac{B^2}{r^2} (r^2 - r_k^2)^2 \right], \quad (6.1.8)$$

При некотором значении индукции магнитного поля B_{kp} , которое называют критическим, скорость электрона вблизи анода станет перпендикулярной радиусу т.е. $v_r = 0$. Тогда уравнение (6.1.8) примет вид

$$eU_a = \frac{m}{8} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \frac{B_{kp}^2}{r_a^2} (r_a^2 - r_k^2)^2,$$

где U_a - потенциал анода относительно катода (анодное напряжение); r_a - радиус анода.

Отсюда находим выражение для удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{B_k^2 r_a^2 \left(1 - \frac{r_k^2}{r_a^2} \right)} \quad (6.1.9)$$

Индукция магнитного поля соленоида, длина L которого соизмерима с диаметром D , находится по формуле

$$B_{кр} = \mu_0 n i_{кр} \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} = \frac{\mu_0 N i_{кр}}{\sqrt{L^2 + D^2}}, \quad (6.1.10)$$

где μ - магнитная постоянная; n - число витков соленоида на единицу его длины.

Таким образом, экспериментально определив $B^{кр}$, можно вычислить величину e/m . Для нахождения $B^{кр}$ в лампе следует установить разность потенциалов между анодом и катодом и, включив ток в соленоиде, постепенно наращивать его, что увеличивает магнитное поле в лампе. Если бы все электроны покидали катод со скоростью равной нулю, то зависимость величины анодного тока от величины индукции магнитного поля имела бы вид, показанный на рис. 6 (пунктирная линия). В этом случае при $B < B^{кр}$ все электроны, испускаемые катодом, достигали бы анода, а при $B > B^{кр}$ ни один электрон не попадал бы на анод. Однако некоторая не коаксиальность катода и анода, наличие остаточного газа в лампе, падение напряжения вдоль катода, неоднородность поля соленоида по высоте анода и т.д. приводят к тому, что критические условия достигаются для разных электронов при различных значениях B . Все же перелом кривой останется достаточно резким и может быть использован для определения $B^{кр}$.

6.2 Контроль исходного уровня знаний

Задание 1.

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. В чем суть метода магнетрона для определения отношения e/m .
2. Влияет ли на величину $B_{кр}$ изменение направления тока в соленоиде на противоположное?
3. Зависит ли величина e/m от величины анодного напряжения?
4. Рассмотреть движение электрона в однородном магнитном поле в двух случаях: а) скорость электрона $\vec{v} \perp \vec{B}$; б) скорость электрона \vec{v} направлена под углом α к полю \vec{B} .

Задание 2.

Решить следующие задачи:

1. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. У какой частицы и во сколько раз радиус кривизны траектории будет больше?
2. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,18$ Тл. Определите период обращения электрона.
3. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,1$ Тл движется протон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом $r=30$ см и шагом $h=20$ см. Определите кинетическую энергию протона. Масса протона $m=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.
4. Найдите удельный заряд для протона, если он, влетая со скоростью $v=10^8$ см/с в однородном магнитном поле напряженностью $H=2 \cdot 10^5$ А/м, движется по дуге окружности, радиус которой $r=4,2$ см. Направления скорости протона и индукции магнитного поля перпендикулярны.

6.3. Самостоятельная работа студентов

Порядок выполнения работы.

1. Собрать электрическую схему установки (рис. 2 и 5)

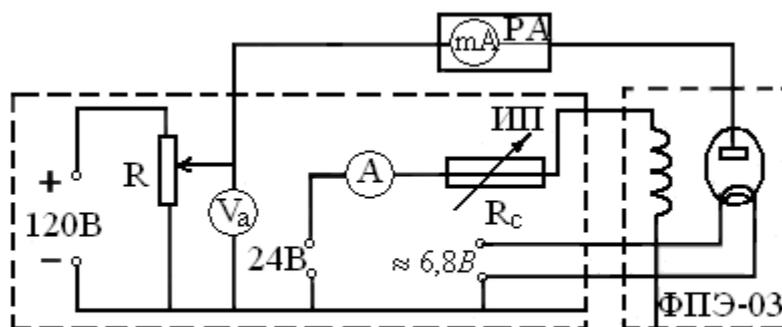


Рис.5

2. Установить анодное напряжение $U_a \approx 50$ В по вольтметру ИП.

3. Изменяя ток в соленоиде от минимального (начального) значения до максимального через 0,1 А при постоянном анодном напряжении, снять сбросовую характеристику, т.е. зависимость, анодного тока i_a от тока в соленоиде i_c . Значения анодного тока определяемые по прибору РА, и значения тока в соленоиде, определяемые по показаниям амперметра ИП, занести в табл. 1.

4. Повторить пп. 2 и 3 при двух других значениях анодного напряжения (больших 50В). Результаты измерений занести в табл.1.

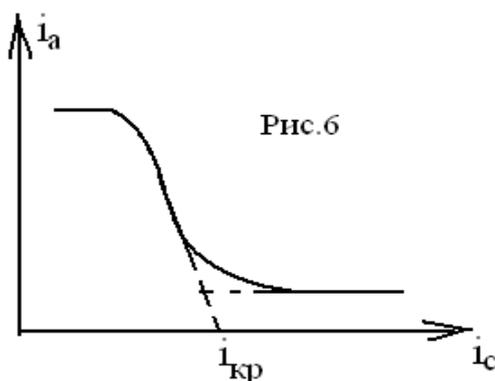


Рис.6

5. Для каждого значения анодного напряжения построить сбросовую характеристику, откладывая по оси ординат значения анодного тока, а по оси абсцисс - значения тока в соленоиде. Для нахождения критического значения тока в соленоиде $i_{кр}$ провести до взаимного пересечения касательную к точке перегиба сбросовой характеристики (на участке до спада) и прямую, соответствующую изменению минимальных значений анодного тока (как показано на рис. 6). Занести полученные значения $i_{кр}$ в табл.2.

6. Для каждого критического значения тока в соленоиде рассчитать по формуле (6.1.10) индукцию магнитного поля.

Величины $L = 167$ мм, $D = 62$ мм, $N = 2300$, $r_a = 7,5$ мм и $r_k = 1$ мм.

7. Вычислить e/m по формуле (6.1.9) для каждого значения критического поля в соленоиде и определить ее среднее значение.

8. Вычислить погрешность полученной величины e/m .

Таблица 1

$U_a = \dots B$		$U_a = \dots B$		$U_a = \dots B$	
i_c	i_a	i_c	i_a	i_c	i_a

--	--	--	--	--	--

Таблица 2

U_a	$i_{кр}$	$B_{кр}$	e/m

6.4 Контроль степени усвоения материала**Тест 1.**

1. Что собой представляет магнитное поле?
 - а) силовая характеристика взаимодействия магнитов;
 - б) характеристика движущихся зарядов;
 - в) вид материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на движущиеся электрические заряды, помещенные в поле.
2. Что такое магнитная индукция?
 - а) характеристика магнитного поля;
 - б) силовая характеристика магнитного поля;
 - в) энергетическая характеристика магнитного поля
3. Что собой представляет сила Ампера?
 - а) сила, действующая на заряд;
 - б) сила, действующая на проводник с током;
 - в) сила, действующая на проводник с током в магнитном поле.
4. Что собой представляет сила Лоренца?
 - а) сила, действующая на проводник с током;
 - б) сила, действующая на движущийся заряд в магнитном поле;
 - в) сила, действующая на неподвижный заряд в магнитном поле.

Тест 2.

Найти правильный ответ:

1. Магнитный момент

$$A. \quad p_M = IS$$

2. Магнитная индукция

$$B. \quad B = \frac{M_{\max}}{IS}$$

3. Магнитный поток

$$B. \quad \Phi = BS \cos \alpha$$

4. Закон Ампера

$$Г. \quad F = qvB \sin \beta$$

5. Сила Лоренца

$$Д. \quad F = IBl \sin \beta$$

6. Напряженность магнитного поля

$$E. \quad H = \frac{B}{\mu\mu_0}$$

6.5. Подведение итогов занятия:

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Работа ФПЭ- 04.

«Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла»

1. Тема и ее актуальность.

Магнитное поле оказывает воздействие на биологические объекты, которые в нем находятся. Первичным действием магнитного поля на биологические объекты является: ориентация молекул, обладающих магнитными моментами; силовое воздействие (сила Лоренца) на ионы, перемещающиеся вместе с биологической жидкостью; эффект Холла, возникающий в магнитном поле при распространении электрического импульса и т. д. В данной работе изучается датчик Холла для измерения магнитного поля.

2. Цель работы. Изучить датчик Холла.

3. Вид занятия. Лабораторная работа.

4. Продолжительность. 3 академических занятия (135 мин.)

5. Оснащение. Источник питания (ИП), цифровой вольтметр (PV), модуль ФПЭ- 04, соленоид (С), штوك (Ш) с намеченной шкалой и закрепленным на торце датчиком Холла.

6. Содержание.

- Теоретическое введение;
- метод измерения;
- контроль исходного уровня знаний студентов;
- самостоятельная работа студентов;
- контроль степени усвоения материала;
- подведение итогов занятия.

6.1. Теоретическое введение.

Магнитное поле. Взаимодействия между движущимися зарядами называются магнитными взаимодействиями. Подобно тому, что вокруг неподвижных и движущихся зарядов возникает электрическое поле, вокруг движущихся зарядов или вокруг проводника с током возникает магнитное поле. Магнитное поле представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на движущиеся заряженные частицы, помещенные в поле, и другие тела, обладающие магнитными моментами. Магнитное поле есть одна из форм проявления электромагнитного поля.

Для определения величины магнитного поля можно использовать контур с током. (Рис.1). Если поместить пробный контур с током в магнитное поле, то на него будет действовать вращающий момент M со стороны поля, и контур с током в магнитном поле будет вести себя как компас. Максимальный вращающий момент силы M_{\max} пропорционально магнитному моменту \vec{p}_m контура

$$\vec{p}_m = Is. \quad (6.1.1)$$

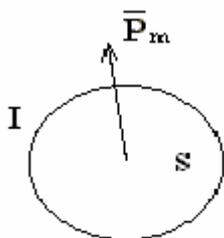


Рис.1

Магнитный момент контура (6.1.1.) является векторной величиной, численно равняется произведению силы тока контура на площадь контура, а направление определяется по правилу правого винта. Единица измерения магнитного момента: $[\vec{p}_m] = 1 \text{ A} \cdot \text{M}^2$.

Отношение максимального момента силы к магнитному моменту контура определяет индукцию магнитного поля \vec{B} .

$$\vec{B} = \frac{\vec{M}_{max}}{\vec{P}_m} \quad (6.1.2)$$

Единица измерения магнитной индукции в СИ $[\vec{B}] = 1 \frac{H \cdot m}{A \cdot m^2} = 1 \frac{H}{A \cdot m} = 1 Tл$ (Тесла).

Момент силы будет максимальным, если контур с током располагается перпендикулярно к магнитному полю и момент силы равен нулю, если вектора \vec{B} и \vec{P}_m параллельны. Силовые линии магнитного поля являются замкнутыми. Подобные поля называются вихревыми.

Магнитная индукция зависит от среды. Для характеристики магнитного поля вводят еще одну физическую величину – напряженность магнитного поля \vec{H} . Напряженность \vec{H} и индукция \vec{B} магнитного поля связаны соотношением:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}. \quad (6.1.3)$$

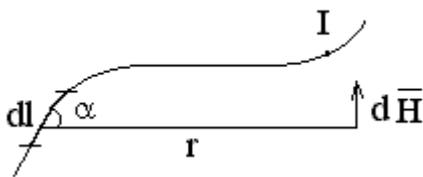
где $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная, μ - магнитная проницаемость среды.

Для диамагнетиков (висмут, серебро, фосфор, алюминий, кислород, сера и т.д.) $\mu < 1$, а для парамагнитных веществ $\mu > 1$. Вещества обладающие большим парамагнитным эффектом ($\mu \gg 1$) называются ферромагнитными.

\vec{H} векторная величина, совпадает с направлением \vec{B} . Напряженность магнитного поля \vec{H} , созданного током, не зависит от среды, а зависит от конфигурации тока и вычисляется на основе закона Био-Савара-Лапласа.

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (6.1.4)$$

где $|dl|$ - элемент тока, r - расстояние до рассматриваемой точки, α - угол между (рис.2.)



Векторами \vec{r} и \vec{dl} . Направление \vec{dH} определяется правилом правого винта. Закон Био-Савара-Лапласа пишется в векторной форме:

$$\vec{dH} = \frac{I \vec{dl} \times \vec{r}}{4\pi r^3} \quad (6.1.5)$$

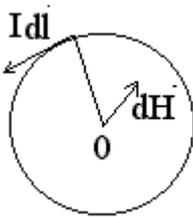
По общему правилу векторного произведения видно, что вектор \vec{dH} направлен перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы \vec{r} и \vec{dl} . Интегрируя выражение (6.1.5) находим напряженность поля, созданного контура с током.

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \int \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} \text{ или в скалярной форме}$$

$$\mathbf{H} = \frac{I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{l} \sin \alpha}{r^2} \quad (6.1.6)$$

Рассмотрим круговой ток, или ток по проводнику в форме окружности. Этому току соответствует также вращающийся по окружности электрический заряд, например: вращение электрона вокруг ядра.

Выделим элемент тока $I d\mathbf{l}$ (рис.3). Напряженность $d\mathbf{H}$, созданная этим элементом тока, направлен перпендикулярно плоскости контура.
 r - равен радиусу контура. $\alpha = \pi/2$, поэтому $\sin \alpha = 1$. Элемент контура dl меняется от 0 до $2\pi r$. Подставляя в (6.6) находим $\overline{\mathbf{H}}$ в центре кругового тока.



$$\mathbf{H} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi r} \frac{I dl}{r^2} = \frac{I}{4\pi r^2} \int_0^{2\pi r} dl = \frac{dl}{4\pi r^2} \Big|_0^{2\pi r} = \frac{I}{2r} \quad (6.1.7)$$

Рис.3

Рассмотрим прямолинейный проводник с током бесконечной длины (рис.4.).

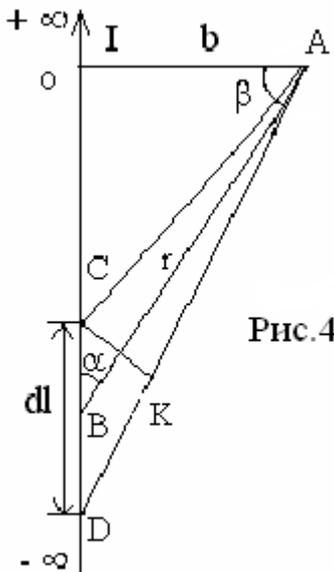


Рис.4

Выделим элементы тока Idl в т. В. $|CD| = dl$. Рассмотрим напряженность $d\mathbf{H}_A$ в т. А, созданного элементом тока. Из $\triangle OAB$ видно $r = |AB| = \frac{|OA|}{\cos \beta} = \frac{b}{\cos \beta}$. Берем малый угол $\angle CAK = d\beta$. Когда элемент dl меняется от $-\infty$ до $+\infty$, элемент $d\beta$ меняется от $-\pi/2$ до $\pi/2$. Из $\triangle CAK$ следует $|CK| = r d\beta$, т.к. $d\beta$ принимает бесконечно малое значение. С другой стороны, из $\triangle CDK$ можно выразить $|CK| = dl \sin \alpha$. Поэтому, $r d\beta = dl \sin \alpha$. Из $\triangle OAB$ можно заметить, что $\alpha = \pi/2 - \beta$, поэтому $\sin \alpha = \cos \beta$. Подставив все эти значения в (6.6) получаем:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{Id\beta}{r} = \frac{I}{4\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos \beta d\beta}{b} = \frac{I \sin \beta}{4\pi b} \Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} = \frac{I}{2\pi b} \quad (6.1.8)$$

Силовые линии магнитного поля касательные к этим линиям совпадают с вектором $\overline{\mathbf{H}}$ (рис.5.) в плоскости, перпендикулярной бесконечному проводнику с током, представляют замкнутые линии в виде концентрических окружностей.

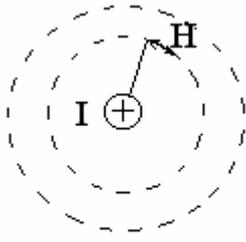


Рис.5

Вычислим циркуляцию напряженности магнитного поля (интегральная сумма от скалярного произведения \vec{H} и $d\vec{l}$ по контуру) по окружности произвольного радиуса b . Согласно формулы (6.1.8) напряженность магнитного поля по модулю в каждой точке окружности принимает постоянное значение, поэтому H можно вынести за знак интеграла:

$$\oint H dl = H \int_0^{2\pi b} dl = H 2\pi b = \frac{I}{2\pi b} \cdot 2\pi b = I \quad (6.1.9)$$

Если контур охватывают любые токи, то выражение (6.1.9) записывают в виде:

$$\oint H dl = \sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 - I_3 + \dots + I_n \quad (6.1.10)$$

Это закон полного тока, который связывает циркуляцию вектора \vec{H} магнитного поля по произвольному контуру с алгебраической суммой входящих в контур (+) и выходящих из контура (-) токов.

Закон полного тока можно применить для вычисления напряженности магнитного поля соленоида (рис.6.).

Пусть $l = |00'|$ длина соленоида, N - количество витков соленоида, $n = N/l$ - плотность катушки, т.е. количество витков, приходящегося на единицу длины соленоида.

Выберем произвольный контур $00'BAO$. Циркуляцию магнитного поля можно разбить на 4- части

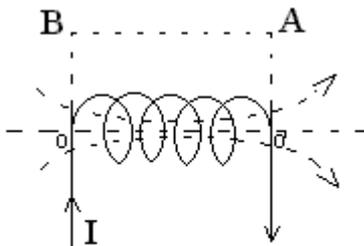
$$\oint H dl = \int_{00'} H_{00'} dl - \int_{0'A} H_{0'A} dl + \int_{AB} H_{AB} dl + \int_{BO} H_{BO} dl$$

В этом выражении $H_{0'A}$, H_{AB} и H_{BO} можем считать малыми и пренебречь последними 3-мя интегралами, а первый интеграл

$$\oint_{00'} H_{00'} dl = H \int_{00'} dl = H |0'0| = Hl$$

Подставив все эти выражения в (6.1.10) получаем напряженность магнитного поля соленоида:

$$Hl = NI \text{ или } H = nI \quad (6.1.11)$$



(рис.6.)

Метод измерения.

Для экспериментального исследования напряженности магнитного поля на оси соленоида в настоящей работе используется метод, основанный на явлении Холла. Если через проводящую пластинку поперечным сечением $a \cdot h_d$ пропустить ток плотностью \vec{j} и

поместить ее в поперечное магнитное поле с индукцией \vec{B} , то перпендикулярно векторам \vec{j} и \vec{B} создается электрическое поле напряженностью \vec{E} (рис. 7). Возникающая при этом разность потенциалов $\Delta\varphi_x$ (ЭДС Холла) пропорциональна величине тока и индукции магнитного поля:

$$\Delta\varphi_x = R_x jBa = R_x \frac{i_d B}{h_d} \quad (6.1.12)$$

где $i_d = j \cdot a \cdot h_d$

Коэффициент пропорциональности R_x называется постоянной Холла. В работе используется полупроводниковый датчик Холла марки Х501 с управляющим током $i_d = 90\text{ мА}$, поскольку постоянная Холла для полупроводников значительно больше чем для проводников. Силовые линии магнитного поля на оси соленоида направлены вдоль оси, поэтому датчик Холла должен располагаться на торце специального штока, вставляемого в соленоид. Толщина датчика h_d в направлении магнитного поля равна 0,2 мм. Для измерения положения датчика внутри соленоида на боковой грани штока нанесена миллиметровая шкала.

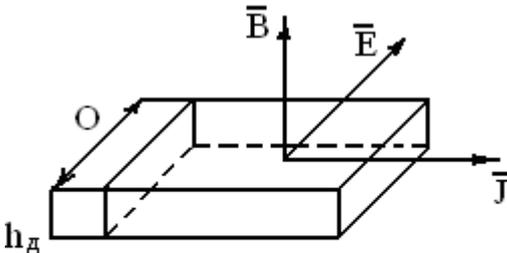


Рис.7

При отсутствии магнитного поля ЭДС Холла должна быть равна нулю. Однако вследствие различных побочных явлений, например, недостаточно точной установки выходных электродов датчика, измерительный прибор может показать некоторую разность потенциалов даже при отсутствии тока в соленоиде. Для исключения погрешностей измерения проводят дважды при двух противоположных направлениях тока в соленоиде. Тогда $\Delta\varphi_x = \frac{1}{2}(\Delta\varphi_{x1} + \Delta\varphi_{x2})$. Однако в данной работе изменение направления тока в соленоиде не предусмотрено. Поэтому погрешность в определении $\delta\varphi_x$ указана в паспорте ФПЭ-04.

6.2. Контроль исходного уровня знаний студентов.

1. Вычислите напряженность магнитного поля, созданного отрезком прямолинейного проводника длиной $l = 8$ см в точке, лежащей на перпендикуляре к его середине на расстоянии $r = 3$ см от проводника, если по проводнику течет ток $I = 20$ А.
2. Из проволоки длиной $l = 40$ см сделана квадратная рамка, по которой течет ток $I = 10$ А., найдите напряженность и индукцию магнитного поля в центре этой рамки. Относительная магнитная проницаемость среды $\mu_r = 2$.
3. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи $I_1 = 1$ А и $I_2 = 2$ А. Расстояние между проводами $l = 6$ см. Определите напряженность магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $b_1 = 6$ см и от второго $b_2 = 3$ см.

4. По тонкой катушке течет ток $I = 7$ А, радиус витков $r = 10$ см. При каком числе витков N напряженность магнитного поля в центре катушки будет $H = 245$ А/ м? Считать катушку плоской.

6.3. Самостоятельная работа.

Задание 1. Определение зависимости магнитной индукции в средней точке на оси соленооида и тарировка датчика Холла.

- 1) Собрать схему изображенную на рис. 8. и 9

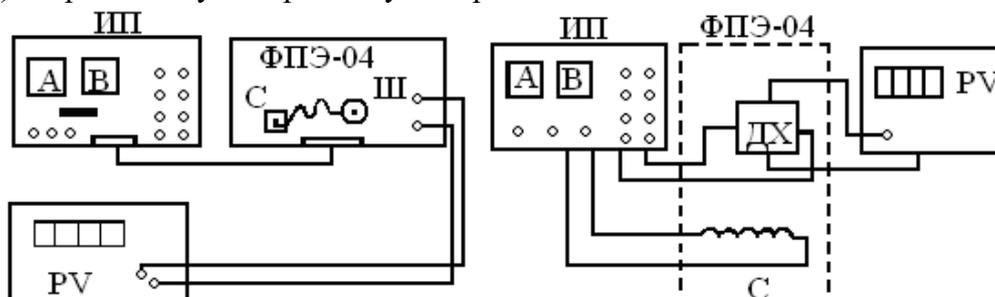


Рис.8

Рис.9

- 2) Поставить штوك с датчиком Холла в среднее положение на оси соленооида (“0” по шкале).
- 3) Включить источник питания и цифровой вольтметр в сеть 220 В. Измерить ЭДС Холла в центре соленооида для токов 0,5; 1.0; 1.5; 2.0 А, при этом из измеренного значения необходимо вычесть поправку $\delta\varphi_x$, указанную в паспорте. Данные занести в табл. 1.

Таблица 1

№ измерения	Ток соленооида J_c, A	ЭДС датчика Холла $\Delta\varphi_x, B$	Индукция $B, Tл$	Постоянная Холла $R_x, B^*M/Tл*A$

1) Вычислить индукцию магнитного поля для заданных значений силы тока J_c по формулам (6.1.12), данные занести в таблицу.

2) Вычислить значения постоянной Холла R_x для каждого измерения по формуле (4.11)?; данные занести в табл.1. Найти среднее значение R_x .

3) Построить графики зависимости $B=f(J_c)$ и $\Delta\varphi_x=f(J_c)$ по данным табл. 1.

Задание 2. Исследование зависимости индукции магнитного поля от координаты z , отсчитываемой от средней точки.

- 1) Установить величину тока в катушке соленооида по указанию преподавателя.
- 2) Перемещая штук с датчиком Холла вдоль оси соленооида с интервалом $\Delta z=1$ см, измерить ЭДС Холла. Полученные данные занести в табл. 2.

Таблица 2.

Положение датчика $z, мм$	110	100	90	80	...
ЭДС датчика Холла, В					
Индукция, Тл					

- 3) Вычислить индукцию поля B для каждого положения датчика Холла по формуле (4.11).? При расчете использовать значение R_x , полученное в задании 1. Данные занести в табл. 2.
- 4) Построить график зависимости $B=f(z)$ по данным табл. 2
- 5) Повторить измерения и расчеты по пп. 2-4 для нового значения J_c (по заданию преподавателя).
- 6) Для одного из полученных значений B рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения.

6.4. Контроль степени усвоения материала.

- 1) Дайте определение и характеристику магнитного поля.
- 2) Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
- 3) Выведите формулу для вычисления магнитного поля на оси кругового витка с током.
- 4) Выведите формулу для вычисления магнитного поля провода бесконечной длины с током.
- 5) Сформулируйте теорему о циркуляции вектора магнитной индукции по контуру. Пользуясь законом полного тока дайте вывод формулы для индукции магнитного поля бесконечного соленоида.
- 6) Дайте вывод формулы для ЭДС Холла.
- 7) Нарисуйте схему измерений для исследования зависимости $B=f(z)$.

6.5. Подведение итогового занятия.

Тест 1.

1. Индукция и напряженность магнитного поля связаны соотношением:

1. $\vec{H} = \mu\mu_0\vec{B}$;

2. $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$;

3. $\mu_0\vec{B} = \mu\vec{H}$;

4. $\mu\vec{B} = \mu_0\vec{H}$.

2. Магнитное поле порождается:

1. только неподвижными зарядами;
2. только током;
3. только движущимися зарядами;
4. движущимися зарядами и током.

3. Магнитная проницаемость диамагнитных μ_g и парамагнитных μ_n веществ обладают свойством:

1. $\mu_D > 1, \mu_n > 1$;

2. $\mu_g > 1, \mu_n < 1$;

3. $\mu_g < 1, \mu_n > 1$;

4. $\mu_g < 1, \mu_n < 1$.

1. Принцип работы датчика Холла основано:

1. на законе Био-Савара-Лапласа;
2. на законе полного тока;
3. на законе Ампера;
4. на силе Лоренца.
- 5.

Тест 2.

1. Закон полного тока

$$A. H = \frac{I}{2r};$$

2. Закон Био-Савара-Лапласа

$$Б. H = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2};$$

3. Напряженность магнитного поля провода с током бесконечной длины

$$В. H = nI;$$

4. Напряженность магнитного поля соленоида

$$Г. H = \frac{I}{2\pi b};$$

5. Напряженность поля кругового тока

$$Д. \oint Hdl = \sum_{i=1}^n I_i.$$

6.5. Подведение итогов занятия:

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Лабораторная работа ФПЭ-05.

Изучение явления взаимной индукции

1. Тема и ее актуальность.

Явление индукции широко применяется в медицине. Блок питания любого медицинского аппарата содержит трансформатор. Принцип работы трансформатора, а также терапевтического контура аппарата УВЧ, применяемого в терапии, основано на взаимной индукции.

2. Цель работы.

2.1. В результате усвоения темы студент должен:

- а) уметь собрать схему для измерения коэффициента взаимной индукции;
- б) уметь работать электронным осциллографом;
- в) уметь работать звуковым генератором;
- г) уметь измерять коэффициент взаимной индукции.

2.2. Для формирования умений необходимо знать:

- а) магнитное поле;
- б) магнитный поток;
- в) закон электромагнитной индукции;
- г) явление взаимной индукции двух катушек.

3. Вид занятия: Лабораторная работа.

4. Продолжительность: 3 академических часа (135 мин.)

5. Оснащение: модуль ФПЭ- 05, PQ - звуковой генератор, РО- электрический осциллограф.

6. Содержание:

теоретическое введение;
описание установки;
контроль исходного уровня знаний;
самостоятельная работа студентов;
контроль степени усвоения материала.

6.1. Теоретическое введение.

При всяком изменении магнитного тока, пронизывающего контур, в нем возникает ЭДС электромагнитной индукции:

$$E_i = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (6.1.1)$$

Это основной закон электромагнитной индукции, или закон Фарадея. Поясним его на следующем примере. Пусть к контуру приближается магнит северным полюсом (рис. 6.1). Магнитный поток Φ в контуре зависит от площади контура S , индукции магнитного поля B и от угла α , образованного между вектором \vec{B} и нормалью \vec{n} к площади контура:

$$\Phi = B S \cos \alpha \quad (6.1.2)$$

$[\Phi] = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2 = 1 \text{ Вб}$.

Направление нормали \vec{n} к площади контура определяется по правилу правого винта. Допустим направление контура выберем положительным (маленькие стрелочки) на рис. 6.1. Тогда α образует тупой угол, т.е. $\Phi < 0$. Т.к.

количество силовых линий, пронизывающих контур, увеличивается при приближении магнита к контуру, то $\Delta \Phi < 0$, а значит

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} < 0, \text{ или } E_i > 0.$$

Значит, сила тока в контуре совпадает с выбранным направлением контура.

Возникновение ЭДС индукции в контуре при изменении силы тока этого же контура называют самоиндукцией. Контур с током обладает магнитным потоком.

$$\Phi = LI \quad (6.1.3)$$

где L - индуктивность катушки, $[L] = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{А}} = 1 \text{ Гн}$.

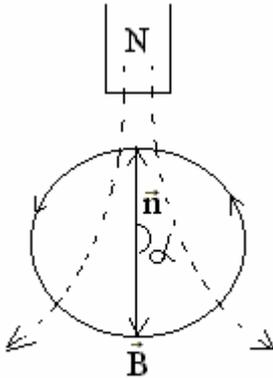


Рис. 1

Катушка индуктивности представляет собой соленоид из N витков ($N \cdot$ контур) с длиной l и площадью сечения S .

Индуктивность катушки вычисляют по формуле:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (6.1.4)$$

где μ - магнитная проницаемость среды, μ_0 - магнитная постоянная $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Возникновение ЭДС в одном контуре при изменении силы тока, протекающего по другому контуру, называют взаимной индукцией.

Рассмотрим два контура 1 и 2, расположенные на некотором расстоянии друг от друга (рис.2.). Если по контуру 1 пропустить ток I_1 , то он создает поток магнитной индукции через контур 2, который будет пропорционален току

$$\Phi_{21} = M_{21} I_1 \quad (6.1.5)$$

Коэффициент пропорциональности M_{21} называется коэффициентом взаимной индукции контуров или взаимной индуктивностью контуров. Он зависит от формы и взаимного расположения контуров 1 и 2, а также от магнитных свойств окружающей среды.

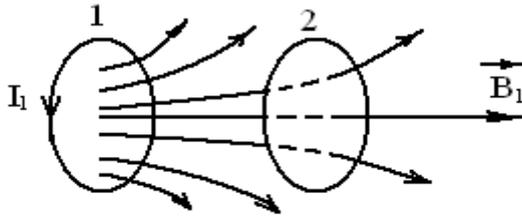


Рис. 2

При изменении тока в первом контуре магнитный поток через второй контур изменяется, следовательно, в нем наводится ЭДС взаимной индукции:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (6.1.6)$$

Формула (6.1.6) справедлива в отсутствие ферромагнетиков.

Если поменять местами контуры 1 и 2 и провести все предыдущие рассуждения, то получим:

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad (6.1.7)$$

Можно показать, что коэффициенты взаимной индукции равны:

$$M_{21} = M_{12} \quad (6.1.8)$$

Описание установки.

В данной работе изучается коэффициент взаимной индукции между длинной катушкой 1 и короткой катушкой 2, которая надевается на одну ось и может перемещаться вдоль ее оси (рис.6.3.). Питание одной из катушек, например 1, осуществляется от генератора звуковой частоты PQ, напряжение с которого

$$U = U_0 \cos \omega t \quad (6.1.9)$$

подается через сопротивление R. Вольтметр, расположенный на панели PQ, измеряет действующие значения напряжения $U_d = U_0 / \sqrt{2}$

R выбирается таким образом, чтобы выполнялось неравенство

$$R \geq \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2} \quad (6.1.10)$$

где L_1 – индуктивность катушки 1; R_1 – ее активное сопротивление.

В этом случае ток, протекающий через катушку 1, можно определить по формуле:

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t = I_{01} \cos \omega t \quad (6.1.11)$$

Переменный ток в катушке 1 создает переменную ЭДС взаимной индукции в катушке 2:

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega \sin \omega t \quad (6.1.12)$$

Для измерения ε_2 используется осциллограф РО. Амплитуда ЭДС взаимной индукции

$$\varepsilon_{02} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega = M_{21} \frac{U_0}{R} 2\pi f \quad (6.1.13)$$

где f - частота звукового генератора

$$\text{Из (6.13) имеем: } M_{21} = \frac{R \varepsilon_{02}}{2\pi f U_0} \quad (6.1.14)$$

Если поменять местами катушки 1 и 2, то можно получить

$$M_{12} = \frac{R \varepsilon_{01}}{2\pi f U_0} \quad (6.1.15)$$

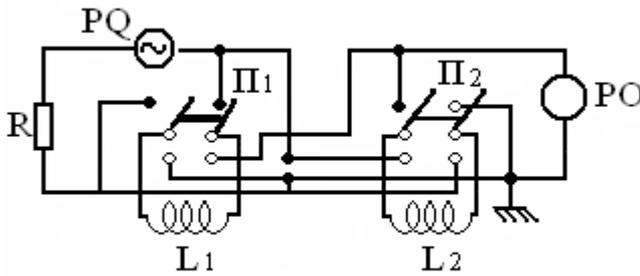


Рис.3

Для перестановки катушек необходимо переключатели Π_1 и Π_2 перебросить в противоположное положение.

6.2. Контроль исходного уровня знаний.

Задание 1

Решить следующие задачи:

1. По катушке протекает ток $I=1\text{А}$, который создает в ней магнитный поток $\Phi=0,6\text{Вб}$. Сколько витков имеет катушка, если длина катушки $l=40\text{ см}$, радиус $r=5\text{ см}$, магнитная проницаемость железного сердечника при этом $\mu=100$?
2. По первичной обмотке трансформатора течет ток, сила которого изменяется по закону $I=12\sin 10\pi t$. Найдите максимальное значение ЭДС., индуцируемой во вторичной обмотке, если взаимная индуктивность обмоток трансформатора $L=0,1\text{ Гн}$.
3. Кольцо радиусом $r=4\text{ см}$ находится в магнитном поле напряженностью $H=300\text{ А/м}$. Плоскость кольца перпендикулярна линиям поля. Каково сопротивление кольца, если при исчезновении поля по кольцу протекает заряд $q=0,01\text{ Кл}$?
4. Соленоид с радиусом поперечного сечения $r=3\text{ см}$ изготавливают, плотно наматывая провод диаметром $d=0,6\text{ мм}$. Какой длины должен быть соленоид. Если его индуктивность $L=6\text{ мГн}$?

Задание 2

Выберите правильный ответ:

Тест 1.

1. Магнитная индукция в системе СИ измеряется в:

- а) Гн;
- б) Тл;
- в) В;
- г) А;
- д) Ом.

2. Индуктивность катушки в системе СИ измеряется в:

- а) Гн;
- б) Тл;
- в) Ом;
- г) В;
- д) А.

3. На одну обмотку трансформатора подают переменный ток частотой f . ЭДС второй обмотки:

- а) не зависит от f ;
- б) обратно зависит от f ;
- в) линейно зависит от f ;
- г) квадратично зависит от f ;
- д) экспоненциально зависит от f .

4. Зависимость индуктивности катушки от числа витков N и длины катушки l :

- а) прямо пропорционально от N и от l катушки;
- б) прямо пропорционально от N и обратно пропорционально от l ;
- в) прямо пропорционально от N^2 и обратно пропорционально от l ;
- г) обратно пропорционально от N и прямо пропорционально от l ;
- д) обратно пропорционально от N^2 и прямо пропорционально от l .

5. К контуру приближается нормально магнит с северным полюсом. Магнитный поток, пронизывающий контур:

- а) не меняется;
- б) убывает;
- в) возрастает;

г) убывает, если \vec{n} и \vec{B} совпадает и возрастает, если \vec{n} и \vec{B} противоположно направлены.

Тест 2.

1. Закон Фарадея:

$$A. U_d = U_0 / 2;$$

2. Закон взаимной индукции:

$$B. E_i = -\frac{d\varphi}{dt};$$

3. Закон Ома для участка цепи (импеданс):

$$B. E_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt};$$

4. Полное сопротивление катушки:

$$Г. U = IR;$$

5. Действующее значение переменного напряжения:

$$Д. X_L = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

6.3. Самостоятельная работа студентов.

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Измерение коэффициентов взаимной индукции M_{21} и M_{12} и исследование их зависимости от взаимного расположения катушек.

- 1) Собрать схему, изображенную на рис.4 и 5.
- 2) Ознакомиться с работой электронного осциллографа и звукового генератора.

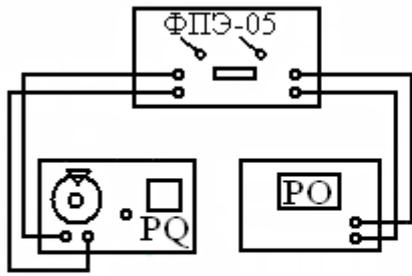


Рис.4

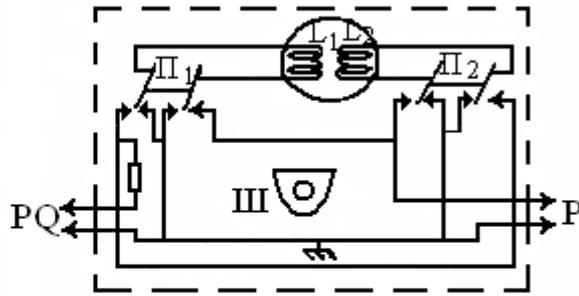


Рис.5

- 3) Задать напряжение U_0 и частоту f сигнала генератора (по указанию преподавателя), подать напряжение на катушку 1 (с помощью переключателя Π_1), а ЭДС катушки 2 подать на осциллограф (с помощью переключателя Π_2).
- 4) Установить подвижную катушку 1 в крайнее положение. Перемещая ее в противоположное крайнее положение через 1 см, записывать значение ЭДС взаимной индукции в цепи катушки 2. Метод измерения ЭДС с помощью электронного устройства описан в приложении 1.
- 5) По формуле (6.1.14) рассчитать значение M_{21} , полученные данные занести в табл. 1.
- 6) Поменяв местами катушки L_1 и L_2 (с помощью переключателей Π_1 и Π_2), повторить измерения по пп. 2, 3 и рассчитать M_{12} .
- 7) Построить графики зависимости M_{21} и M_{12} как функции координаты z (z – расстояние между центрами катушек 1 и 2).

Таблица 1

$U_0 = \dots$		$f = \dots$				
$Z, \text{см}$	\mathcal{E}_{02}		$M_{21}, \text{Гн}$	\mathcal{E}_{01}		$M_{1,2}, \text{Гн}$
	дел.	В		дел.	В	

Задание 2. Измерение M_{21} при различных значениях амплитуды питающего напряжения.

- 1) Поставить катушку 1 в среднее положение относительно катушки 2.
- 2) Задать частоту питающего генератора по указанию преподавателя (например, 10^4 Гц).
- 3) Измерить амплитуду ЭДС взаимной индукции \mathcal{E}_{02} при различных значениях напряжения U_0 в цепи катушки 1 в интервале 0-5 В через 0,1 В.
- 4) По формуле (6.1.14) рассчитать M_{21} . Полученные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

$f = \dots$	$R = 10^4 \text{ Ом}$				
$U_0, \text{В}$					
$\mathcal{E}_{02}, \text{В}$					
$M_{21}, \text{Гн}$					

Задание 3. Измерение M_{21} при различных частотах питающего напряжения.

- 1) Поставить катушку 1 в среднее положение относительно катушки 2.
- 2) Задать амплитуду напряжения генератора по указанию преподавателя (например, 2 В).
- 3) Измерить амплитуду ЭДС взаимной индукции \mathcal{E}_{02} при различных частотах звукового генератора от 5 до 20 кГц (не менее 10 значений).
- 4) По формуле (6.1.14) рассчитать M_{21} . Полученные данные занести в табл. 3.

$U_0 = \dots$	$R=10^4 \text{ Ом}$				
$f, \text{ Гц}$					
$\varepsilon_{02}, \text{ В}$					
$M_{21}, \text{ Гн}$					

5) Для одного из полученных значений M_{21} рассчитать абсолютную и относительную погрешности ΔM_{21} и $\Delta M_{21}/M_{21}$.

6.4. Контроль степени усвоения материала.

1. Сформулируйте закон электромагнитной индукции Фарадея и правило Ленца.
2. В чем состоит явление взаимной индукции?
3. Чему равна ЭДС взаимной индукции двух контуров?
4. От чего зависит коэффициент взаимной индукции?
5. Объясните график зависимости M_{21} от частоты, полученный в данной работе.

6.5. Подведение итогов занятия:

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Лабораторная работа ФПЭ-06

Определение работы выхода электронов из металла

Тема и ее актуальность:

Построение и изучение вольт-амперной характеристики диода; исследование зависимости плотности тока насыщения при термоэлектронной эмиссии от температуры катода и определение работы выхода электрона из вольфрама методом прямых Ричардсона.

2. Цель занятия.

2.1. В результате освоения темы студент должен уметь настраивать аппарат, измерять на опыте зависимость тока насыщения от температуры и определить работу выхода электронов для данного металла. В нашем случае для определения работы выхода используется метод прямых Ричардсона.

2.2. Для формирования умений необходимо знать:

- а) Физические основы действия постоянного тока на организм человека;
- б) Принцип работы аппарата ФПЭ - 06;
- в) Как определяется сила действующая на заряженные ионы в электростатическом поле;
- г) Каким выражением определяется подвижность ионов и от каких факторов она зависит?

3. Вид занятия: - практическое занятие.

4. Продолжительность: - 3 академических часа (135мин).

5. Оснащение: аппарат ФПЭ - 06, вольтметр, блок питания, выпрямитель переменного тока, амперметр.

6. Содержание: Теоретическое введение, описание установки, контроль исходного уровня знаний, самостоятельная работа студентов, контроль степени усвоения, подведение итогов занятия

6.1. Теоретическое введение.

Металлическая связь характеризуется обобществлением валентных электронов отдельных атомов по всему кристаллу. Эти обобществленные электроны называются электронами проводимости и могут свободно перемещаться внутри металла. Однако выйти из металла они не могут вследствие притяжения положительно заряженными ионами кристаллической решетки. Электроны, совершая тепловое движение, могут пересекать поверхность металла и удаляться от нее на небольшие расстояния (порядка атомных). При этом у поверхности металла возникает электронный слой, а в металле остается некомпенсированный положительный заряд ионных остатков. Образуется двойной электронный слой наподобие конденсатора. В результате в поверхностном слое металлов появляется электрическое поле, а потенциал при переходе из внешнего пространства внутрь металла увеличивается на некоторую величину ϕ . Соответственно, потенциальная энергия электрона уменьшается на $\Delta W = e\phi$. Распределение потенциальной энергии электрона у границы металл- вакуум имеет вид потенциального барьера (рис. 1).

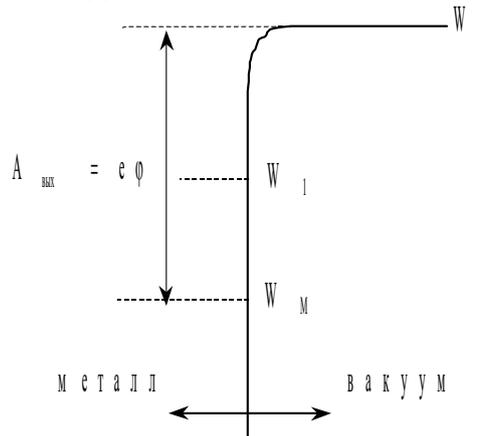


Рис. 1.

Обозначения на рисунке: W_0 – энергия покоящегося электрона в вакууме; W_M – энергия Ферми, т.е. максимальная энергия электрона в металле при нулевой абсолютной температуре. Величина $A_{\text{вых}} = e\phi = W_0 - W_M$ называется **работой выхода электрона**. Такую работу должен совершить электрон, чтобы выйти из металла в вакуум. Если электрон внутри металла имеет полную энергию, например, W_1 (рис. 1), он не сможет покинуть металл. Условие вылета электрона из металла: $W \geq W_0$.

Рассмотрим природу сил, препятствующих выходу электрона из металла и образующих работу выхода. Отдельные электроны проводимости, двигаясь внутри металла с большими скоростями, могут пересекать поверхность металла. На месте, которое покинул электрон, возникает избыточный положительный заряд. Вылетевший из металла электрон удаляется от поверхности до тех пор, пока кулоновское взаимодействие с этим зарядом не заставит его вернуться обратно.

Постоянно одни электроны «испаряются» с поверхности металла, другие возвращаются обратно. Поэтому металл оказывается окутанным облаком электронов, образующих совместно с наружным слоем положительных ионов двойной электрический слой, подобно плоскому конденсатору. Поле двойного слоя препятствует выходу электронов из металла.

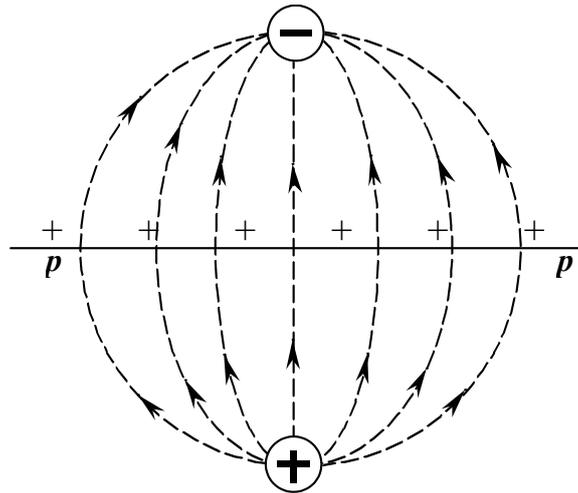


Рис. 2.

Другой силой, препятствующей выходу электрона из металла, является кулоновская сила индуцированного им положительного заряда (рис. 2). Эта сила носит название «силы электрического изображения», т.к. действие распределенного по поверхности проводника заряда эквивалентно действию равного по величине положительного заряда, являющего зеркальным изображением электрона в плоскости PP . Оба этих физических процесса и определяют величину $A_{\text{вых}}$. При комнатной температуре практически все свободные электроны заперты в пределах проводника, имеется лишь небольшое количество электронов, энергия которых достаточна для того, чтобы преодолеть потенциальный барьер и выйти из металла. Однако электронам можно различными способами сообщить дополнительную энергию. В этом случае часть электронов получает возможность покинуть металл. Явление испускания электронов металлами называют **электронной эмиссией**. По способам возбуждения различают термо-, фото-, авто-, вторичную электронную эмиссию.

Термоэлектронная эмиссия имеет место при нагревании металлов; при возбуждении электронов светом говорят о фотоэлектронной эмиссии; при автоэлектронной эмиссии электроны вырываются из металла сильным электрическим полем; вторичной электронной эмиссией называют выбивание электронов бомбардировкой поверхности металла электронами или ионами.

Термоэлектронной эмиссией называют испускание электронов нагретыми телами. Для ее наблюдения можно использовать вакуумную лампу-диод.

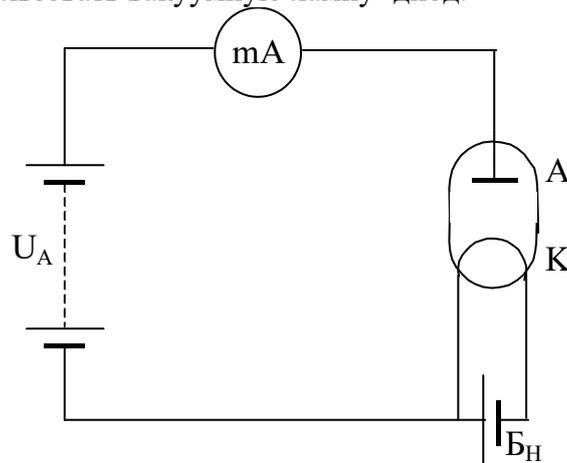


Рис. 3.

На рисунке 3 представлена электрическая цепь для изучения термоэлектронной эмиссии.

Батарея B_n служит для нагрева катода K . Если раскалить катод K до высокой температуры, то он начнет испускать в вакуум электроны. Если же приложить к аноду A положительное напряжение U_A , то эти электроны устремятся к A , и в цепи возникнет

электрический ток. Сила термоэлектронного тока зависит от величины напряжения U_A (рис. 4).

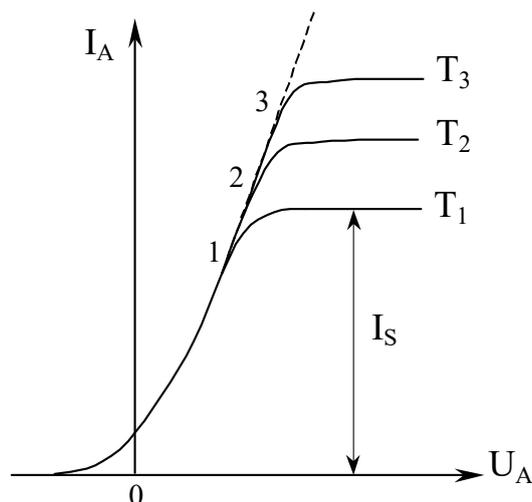


Рис. 4.

Отклонение зависимости анодного тока I_A от анодного напряжения U_A (рис. 4) от прямолинейной связано: а) с наличием в промежутке между катодом и анодом неоднородной области пространственного заряда; б) с отсутствием центров рассеяния в данном промежутке. В результате классическая теория электропроводности неприменима и закон Ома не выполняется.

Зависимость тока диода от анодного напряжения имеет вид:

$$I_A = C \cdot \sqrt{U_A^3}, \quad (6.1.1)$$

где C зависит от формы и размеров электродов.

Соотношение (6.1.1) выражает уравнение кривой 0123 (рис. 4) и носит название закона Богуславского- Ленгмюра.

Когда потенциал анода становится настолько большим, что все электроны, испускаемые в единицу времени, попадают на анод, ток достигает своего максимального значения и перестает зависеть от анодного напряжения. Число электронов, эмитируемых с катода в единицу времени, зависит от его температуры. На рисунке 4: I_S – величина тока насыщения, три кривые относятся к трем разным температурам, причем $T_1 < T_2 < T_3$.

Плотность тока насыщения j_s характеризует эмиссионную способность катода. Число электронов в металле, способных преодолеть потенциальный барьер $A_{\text{вых}} = e\phi$ (рис. 1) и выйти в вакуум, резко увеличивается при повышении температуры. Температурная зависимость тока насыщения выражается формулой Ричардсона- Дешмана:

$$j_s = B \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{A_{\text{вых}}}{kT}}, \quad (6.1.2)$$

где B – постоянная, одинаковая для всех металлов;

k – постоянная Больцмана;

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла;

T – абсолютная температура.

Экспоненциальная зависимость числа электронов, преодолевающих барьер $A_{\text{вых}}$, от величины работы выхода и обратной температуры вытекает из распределения Больцмана.

Метод измерения.

Измеряя на опыте зависимость тока насыщения от температуры, можно определить работу выхода для данного металла.

В нашем случае для определения работы выхода используется метод *прямых Ричардсона*. Суть метода в следующем.

Прологарифмируем уравнение (2):

$$\ln \frac{j_s}{T^2} = \ln B - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{k} \cdot \frac{1}{T}. \quad (6.1.3)$$

Переходя к десятичным логарифмам, найдем:

$$\lg \frac{j_s}{T^2} = \lg B - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{k} \cdot \lg e \cdot \frac{1}{T}. \quad (6.1.4)$$

Подставляя $\lg e = 0,43$, получим:

$$\lg \frac{j_s}{T^2} = \lg B - \frac{0,43}{k} \cdot A_{\text{ВЫХ}} \cdot \frac{1}{T}. \quad (6.1.5)$$

Такой вид уравнения удобен для его экспериментальной проверки.

График зависимости $\lg \frac{j_s}{T^2}$ от $\frac{1}{T}$ является прямой линией с угловым коэффициентом $\frac{0,43A_{\text{ВЫХ}}}{k}$. Определив тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс $\frac{1}{T}$, рассчитывают работу выхода электрона:

$$A_{\text{ВЫХ}} = \frac{k \cdot \text{tg} \alpha}{0,43}. \quad (6.1.6)$$

Для построения графика необходимо знать плотность анодного тока насыщения и температуру катода. Плотность тока насыщения определяют как отношение величины анодного тока к площади катода. Температуру определяют по измеренному току накала катода при помощи графика зависимости температуры катода от тока накала (рис. 5).

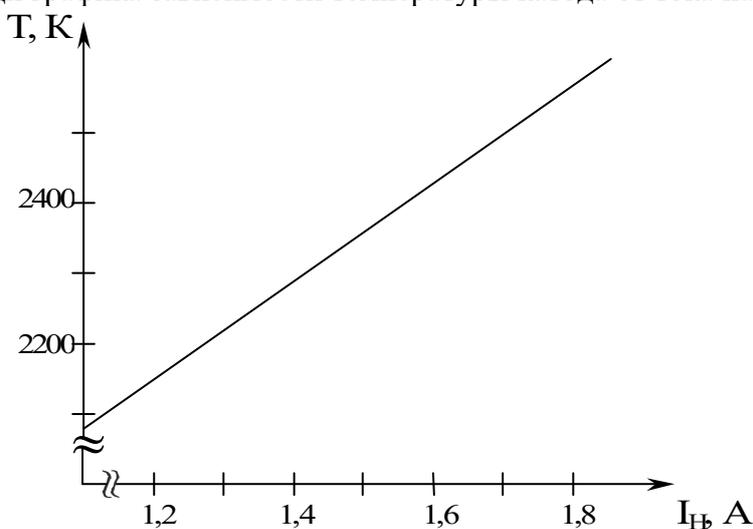
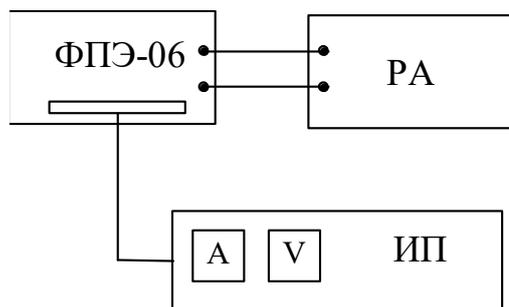


Рис. 5.

Описание установки.

Измерения проводятся по схеме, представленной на рисунках 6 и 7.



ИП – источник питания;
ФПЭ – модуль ФПЭ-06;
РА – миллиамперметр.

Рис. 6.

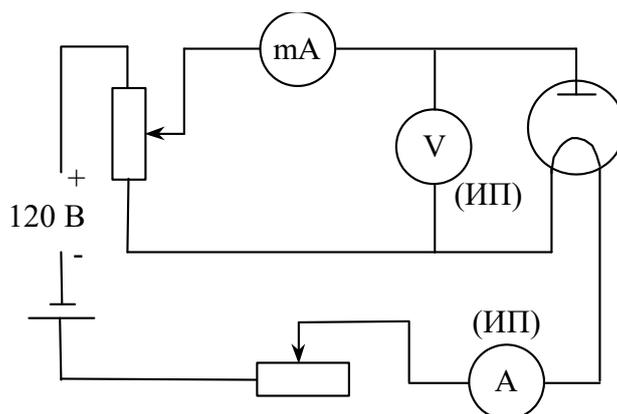


Рис. 7.

Амперметр на панели источника питания служит для контроля тока накала I_H , максимальное значение которого не должно превышать 2,2 А. Плавная регулировка накала осуществляется ручкой, расположенной под амперметром. Вольтметр на панели источника питания измеряет анодное напряжение U_A , регулировка которого производится ручкой на панели источника питания, расположенной непосредственно под вольтметром. Для измерения анодного тока I_A используется миллиамперметр РА (рис. 6, 7), который подключается к модулю ФПЭ-06.

Требования по технике безопасности.

- перед началом работы тумблеры «Сеть» на стенде и приборах должны быть отключены;
- убедиться в исправности электрических шнуров, вилок, розеток;
- проверить правильность соединения приборов по рис. 6;
- вывести регулировки тока накала и анодного напряжения в крайние левые положения;
- установить на миллиамперметре РА предел измерения последовательным нажатием клавиш «I =» и «АВП».
- во избежании поражения током не прикасайтесь руками к открытым токоведущим частям включенной установки.

6.2. Контроль исходного уровня знаний

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующие вопросы:

Задание 1.

- 1) Что представляет собой ток в металлах и электролите?
- 2) По какой формуле определяется плотность тока?
- 3) В каком случае заряды и концентрации ионов обоего знака в растворе электролита равны?
- 4) Что называется подвижностью иона? Какой физический смысл этой величины? В каких единицах она измеряется?
- 5) От каких причин зависит электропроводимость тканей и органов?
- 6) От каких величин зависит удельное сопротивление, электропроводимость электролита? Запишите формулу расчета
- 7) Что понимают под электрокинетическими явлениями? Каковы причины электрокинетических явлений?
- 8) Какие явления происходят на электродах при проведении тока через электролит? Как проявляются эти явления в тканях организма?
- 9) Опишите движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Какое применение находит это явление в медицине и биологии?

Задание 2.

Решить следующие задачи:

1. Через плоское сечение проводника проходят электроны со скоростью $v=1,5$ см/с. Концентрация электронов равна $n= 10^{19}$ см⁻³. Найдите плотность тока. Определите силу тока создаваемого этими зарядами, если сечение проводника $S=0,3$ мм².

2. Найдите плотность тока в электролите, если концентрация ионов в нём $n= 10^5$ см³, их подвижности $b_+=4,5 \times 10^4$ см²/(В с), $b_-=6,5 \times 10^4$ см²/(В с) и напряженность электрического поля $E=10$ В/см. Считая плотность тока всюду одинаковой, найдите силу тока, если площадь каждого электрода $S= 1$ дм². Принять заряд иона равным заряду электрона.

3. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $L= 0,5$ см, заряжен до разности потенциалов $U= 700$ В. Диэлектрик- воздух. Определите объемную плотность энергии поля конденсатора.

6.3. Самостоятельная работа студентов**Порядок выполнения работы.**

1. Подключить модуль ФПЭ-06 соединительным кабелем к источнику питания ИП (рис. 4).
2. Установить ток накала $I_H = 1,3$ А.
3. Увеличивая анодное напряжение U_A от 10 до 100 В через каждые 10 В, записать соответствующие значения анодного тока в таблицу 1. Показания снимать через каждые 30 секунд после переключения анодного напряжения.

Таблица 1

№	U_A	I_A				
		$I_H = 1,3$ А	$I_H = 1,4$ А	$I_H = 1,5$ А	$I_H = 1,6$ А	$I_H = 1,7$ А
1						
2						
3						
4						
5						

4. Установить последовательно ток накала $I_H = 1,3$ А; 1,4 А; 1,5 А; 1,6 А и для каждого значения I_H провести измерения по п. 3.
5. Для каждого тока накала построить вольтамперную характеристику и точку перегиба на каждой кривой считать точкой насыщения (I_S).
6. По графику зависимости температуры катода T от тока накала I_H определить температуру катода для каждого значения I_H .

7. Рассчитать плотность анодного тока насыщения по формуле $j_S = \frac{I_S}{S}$. Площадь катода принять $S = 11 \cdot 10^{-6}$ м².

8. Все полученные данные занести в таблицу 2.

9. Построить график зависимости $\lg \frac{j_S}{T^2}$ от $\frac{1}{T}$, откладывая по оси абсцисс $\frac{1}{T}$, а по оси ординат $\lg \frac{j_S}{T^2}$.

10. Определить тангенс угла наклона полученной прямой к оси абсцисс. Рассчитать работу выхода по формуле (6.1.6). Тангенс угла наклона определяется как отношение катетов

$$\Delta \left(\lg \frac{j_S}{T^2} \right) \text{ к } \Delta \left(\frac{1}{T} \right).$$

Таблица 2

№	I_H, A	I_s, mA	T, K	$\frac{1}{T}, K^{-1}$	$J_s, mA/m^2$	$\frac{j_s}{T^2}$	$lg \frac{j_s}{T^2}$
1							
2							
3							
4							
5							

Требования к отчету.

Отчет должен содержать:

1. номер и название лабораторной работы;
2. конспект по контрольным вопросам;
3. результаты исследований и расчетов в виде таблиц и графиков;
4. окончательный результат: значение работы выхода и выводы.

6.4. Контроль степени освоения темы занятия.

1. Контрольные вопросы:

1. Подчиняется ли зависимость анодного тока от анодного напряжения для вакуумного диода по закону Ома? Почему?
2. Какова причина насыщения тока в вакуумном диоде?
3. Что называют работой выхода электрона из металла?
4. Какова природа сил, удерживающих электрон в металле?
5. В чем состоит явление электронной эмиссии?
6. Нарисуйте и объясните вольтамперные характеристики диода.
7. Объясните качественно зависимость тока насыщения от температуры катода. Каким законом эта зависимость описывается?
8. Какие измерения необходимы для определения работы выхода электрона?
- 9) Чем объясняется большая погрешность измерений?

2. Тест

1. Закон Ампера выражает:

- а) силу, действующую на проводник в магнитном поле;
- б) силу, действующую на заряд в магнитном поле;
- в) силу, действующую на электрический заряд, движущийся в магнитном поле;
- г) силу, действующую на проводник с током в магнитном поле;
- д) силу, действующую на заряд в электромагнитном поле.

2. Магнитным полем называется:

- а) разновидность материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на неподвижные электрические заряды.
- б) вид материи, посредством которой взаимодействуют постоянные магниты;
- в) вид материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на движущиеся электрические заряды, помещенные в поле, и другие тела, обладающие магнитным моментом;
- г) вид материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие между токами;
- д) скопление электронов и ядер атомов.

3. Энергия электрического поля выражается формулой:

а) $\frac{qU}{2}$

б) $\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$

в) $4\pi\varepsilon_0\varepsilon$

г) $\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

д) $\frac{\varepsilon\varepsilon_0 H^2}{2d}$

4. Электрическим полем называется:

- а) разновидность материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на электрические заряды, находящиеся в этом поле;
- б) электрическим полем называется напряженность поля;
- в) вид материи, посредством которой взаимодействуют любые тела;
- г) разновидность материи, с помощью которой взаимодействуют магниты;
- д) скопление электронов и ядер атомов.

5. Выберите формулировку основного закона электромагнитной индукции:

- а) возникновение ЭДС в одном контуре при изменении силы тока, протекающего по другому контуру;
- б) ЭДС индукции - отношение изменения магнитного потока, пронизывающего контур ко времени, в течение которого это происходит;
- в) возникновение ЭДС индукции в контуре при изменении силы тока этого же контура;
- г) все определения не верны.

6. Плотностью тока называется:

- а) векторная характеристика электрического тока равная $j=qn\mathcal{E}$;
- б) траектория направленного движения положительных ; электрических зарядов;
- в) величина равная отношению напряжения к сопротивлению;
- г) величина равная отношению заряда ко времени;
- д) величина равная заряду электрона по времени.

7. Силовой характеристикой электрического поля является:

- а) напряжение;
- б) разность потенциалов;
- в) потенциал;
- г) напряженность;
- д) намагниченность.

8. Энергетической характеристикой электрического поля является:

- а) напряженность поля;
- б) потенциал поля;
- в) силы электрического поля;
- г) работа сил электрического поля;

д) сила взаимодействия двух зарядов.

9. Две основные характеристики электрического поля:

- а) напряженность и напряжение;
- б) потенциал и разность потенциалов;
- в) напряженность и потенциал;
- г) работа и напряжение.

6.5. Подведение итогов занятия:

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Лабораторная Работа ФПЭ-09.

Изучение электрических процессов в простых линейных цепях при действии гармонической электродвижущей силы

1. Тема и ее актуальность

ДНК ткани организма проводят не только постоянный, но и переменный ток. В организме нет систем, которые были бы подобны катушкам, поэтому индуктивность его равна нулю. Биологические мембраны и, следовательно, весь организм обладают емкостными свойствами, в связи с этим импеданс тканей организма определяется только омическим и емкостными сопротивлениями. Импеданс тканей и органов зависит также и от их физиологического состояния. Поэтому знания процессов происходящих в линейных цепях можно использовать, как диагностический метод определения состояния органов и тканей, который называется реографией.

2. Цель занятия:

1. Изучение электрических процессов в цепях, состоящих из последовательно соединенных элементов: а) двух резисторов (цепь RR), б) резистора и конденсатора (цепь RC), резистора и катушки индуктивности (цепь RL).

2. Измерение коэффициента передачи цепей RR , RC , RL ; изучение зависимости коэффициента передачи цепей RC и RL от частоты входного сигнала;

3. Оценка параметров цепей R , C , L ;

4. Определение разности фаз между колебаниями тока в изучаемых цепях и входным напряжением.

3. Вид занятия: лабораторная работа

4. Продолжительность: 3 академических часа (135 минут).

5. Приборы и оборудование:

На рис.1 приведена электрическая схема:

1. ФПЭ-09 – модуль.
2. PQ – генератор.
3. PO – осциллограф.
4. ИП – источник питания.

В модуле ФПЭ-09 собраны изучаемые электрические цепи (рис.1). В нем находятся также коммутатор А, применение которого позволяет наблюдать на экране однолучевого осциллографа одновременно два синусоидальных сигнала, напряжение со входа изучаемой цепи подается на “Вх1” коммутатора, а напряжение с выхода изучаемой цепи – на “Вх2” коммутатора. С выхода коммутатора исследуемые напряжения подаются на вход Y осциллографа.

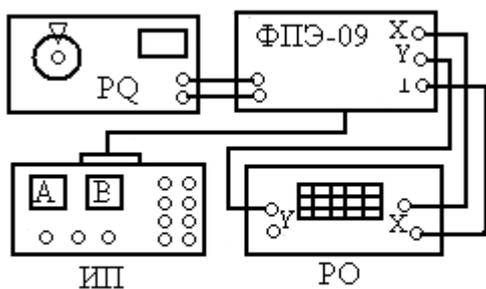


Рис.1

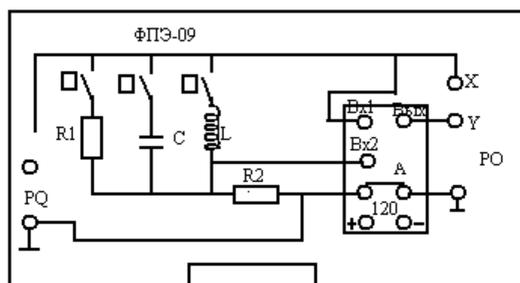


Рис.2

Генератор PQ является источником гармонической ЭДС. Выходное напряжение и частоту генератора можно менять в широких пределах.

Осциллограф PO служит для измерения амплитуд напряжений на входе и выходе цепи, а также для измерения угла сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением.

Источник питания ИП предназначен для питания схемы коммутатора.

6. Содержание: теоретическое введение, описание установки, контроль исходного уровня знаний, самостоятельная работа студентов, контроль степени усвоения, подведение итогов занятия.

6.1. Теоретическое введение

Цепь переменного электрического тока представляет собой ряд соединенных между собой в той или иной последовательности элементов, в которых возбуждаются токи одним или несколькими источниками ЭДС.

Все элементы электрической цепи обладают сопротивлением. Это сопротивление может быть двух видов: активное и реактивное. Если при прохождении тока через элемент происходит только необратимое превращение электрической энергии в теплоту, то его сопротивление называют активным. Если же подобной потери электрической энергии не происходит, сопротивление элемента называют реактивным.

Элемент цепи с активным сопротивлением называется резистором. Реактивным сопротивлением – емкостным и индуктивным – обладают соответственно конденсаторы и катушки индуктивности.

Элементы цепи называются идеальными, если они обладают только одним видом сопротивления – активным, емкостным или индуктивным. Для идеальных элементов справедливы соотношения:

$$U_R = RI \quad R = \text{const}; \quad (6.1.1)$$

$$U_C = \frac{1}{C}q = \frac{1}{C} \int Idt \quad C = \text{const}; \quad (6.1.2)$$

$$U_L = -E_S = -L \frac{dI}{dt} \quad L = \text{const}, \quad (6.1.3)$$

где R – сопротивление резистора; C – емкость конденсатора; L – индуктивность катушки; U_R , U_C , U_L – падения напряжения (или просто напряжение) на соответствующих элементах; I – ток через элемент; q – заряд конденсатора; $E_S = -L \frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке индуктивности при прохождении через нее переменного тока.

Элементы цепи могут быть линейными и нелинейными. Если сопротивление элемента не зависит от величины тока в цепи или от напряжения на элементе, то такой элемент называется линейным. Электрические цепи, составленные из линейных элементов, также называются линейными. В линейных цепях электрические процессы описываются

линейными алгебраическими или дифференциальными уравнениями. Этому условию, например, отвечают выражения (6.1.1)-(6.1.3). Электрические процессы в линейных цепях называются установившимися (стационарными), если закон изменения всех токов и напряжений совпадает с точностью до постоянной величины с законом изменения внешней ЭДС, действующей в цепи. Если это условие не выполняется, процессы называются переходными.

При анализе электрических процессов в цепях переменного тока к мгновенным значениям тока можно применять законы Ома и Кирхгофа и другие правила, установленные для постоянного тока, если переменный ток является квазистационарным. Условие квазистационарности означает, что мгновенные значения переменного тока практически одинаковы на всех участках. Это условие выполняется для медленно изменяющегося тока, когда его мгновенное значение не успевает измениться за время распространения электрического процесса вдоль цепи. Если T – характерное время изменения мгновенного значения тока, а τ – время распространения электрического процесса вдоль цепи протяженностью l со скоростью v (равной по порядку величины скорости распространения электромагнитного возмущения $c=3 \cdot 10^8$ м/с), то условие квазистационарности запишется в виде $\tau \ll T$.

В дальнейшем будем полагать, что элементы цепи являются идеальными и, в соответствии с соотношениями (6.1.1)-(6.1.3), линейными. Электрические процессы будем считать установившимися, а переменные токи – квазистационарными.

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора R , емкости C и индуктивности L (рис. 3). Допустим, что источник переменной ЭДС (генератор) не обладает внутренним сопротивлением R_r и создает на входе цепи напряжение U , равное его ЭДС E . Такое допущение всегда можно сделать, включив сопротивление генератора R_r в состав рассматриваемой электрической цепи

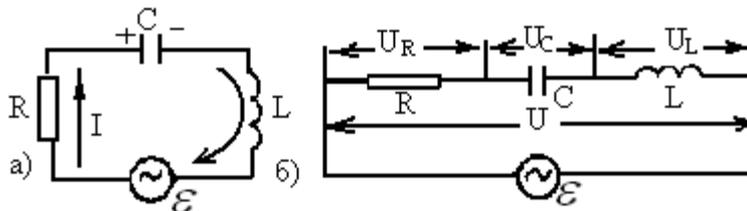


Рис.3

Положим далее, что генератор с гармонической ЭДС

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cos \omega t \quad (6.1.4)$$

Создает в стационарном состоянии в цепи ток

$$I = I_0 \cos(\omega t - \varphi) \quad (6.1.5)$$

где $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота колебаний ЭДС и тока;

T – период колебаний;

φ – угол сдвига фазы тока относительно фазы ЭДС;

ε_0 – амплитуда ЭДС;

I_0 – амплитуда тока.

Найдем, чему равны амплитуда и сдвиг фазы тока, если известны параметры цепи R , C , и L уравнение для ЭДС (6.1.4). Одновременно определим, какой вид имеет величина Z , равная отношению амплитуды ЭДС к амплитуде тока: $Z = \frac{\varepsilon_0}{I_0}$. Эта величина (по аналогии с законом Ома для замкнутой цепи постоянного тока) называется полным сопротивлением цепи переменного тока.

На основании второго правила Кирхгофа для контура на (рис.3.а) можем записать $U_R + U_C = \varepsilon_s + \varepsilon$ или (рис.3.б)

$$U_R + U_C + U_L = \varepsilon \quad (6.1.6)$$

Т.е. сумма напряжений на отдельных элементах контура равна в каждый момент времени внешней ЭДС, действующей в контуре.

Учитывая соотношения (6.1.1) – (6.1.3), имеем

$$IR + \frac{1}{C} \int Idt + L \frac{dI}{dt} = E \quad (6.1.7)$$

Подстановка в уравнение (6.1.7) выражений (6.1.4), (6.1.5) и выполнение операций интегрирования и дифференцирования приводит это уравнение к виду

$$I_0 R \cos(\omega t - \varphi) + \frac{I_0}{\omega C} \sin(\omega t - \varphi) - I_0 \omega L \sin(\omega t - \varphi) = E_0 \cos \omega t.$$

Используя далее соотношения

$$\sin(\omega t - \varphi) = \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}), \quad -\sin(\omega t - \varphi) = \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}),$$

окончательно получим

$$I_0 R \cos(\omega t - \varphi) + \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}) + I_0 \omega L \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) = E_0 \cos \omega t. \quad (6.1.8)$$

Из уравнения (9.8) можно сделать ряд выводов.

Выпишем из этого уравнения выражения для напряжений U_R , U_C , U_L и рассмотрим их совместно с выражением (6.1.5) для тока I :

$$\begin{aligned} U_R &= U_{0R} \cos(\omega t - \varphi), & \text{где } U_{0R} &= I_0 R; \\ U_C &= U_{0C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}), & \text{где } U_{0C} &= \frac{I_0}{\omega C}; \\ U_L &= U_{0L} \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}), & \text{где } U_{0L} &= I_0 \omega L. \end{aligned} \quad (6.1.9)$$

Сравнивая фазы напряжений U_R , U_L , U_C с фазой тока I , видим, что:

- 1) напряжение на резисторе U_R совпадает по фазе с током I ;
- 2) напряжение на емкости U_C отстает по фазе от тока I на угол $\frac{\pi}{2}$;
- 3) напряжение на индуктивности U_L опережает по фазе ток I на угол $\frac{\pi}{2}$;

Далее найдем отношения амплитуд напряжений U_{0R} , U_{0C} , U_{0L} к амплитуде тока I_0 :

$$\frac{U_{0R}}{I_0} = R; \quad \frac{U_{0C}}{I_0} = \frac{1}{\omega C}; \quad \frac{U_{0L}}{I_0} = \omega L. \quad (6.1.10)$$

Формулы (6.1.10) определяют величины, которые называются соответственно активным, реактивным емкостным и реактивным индуктивным сопротивлениями. Емкостное сопротивление обозначается X_C , индуктивное X_L .

$$X_C = \frac{1}{\omega C}; \quad X_L = \omega L. \quad (6.1.11)$$

Перейдем к основной задаче: нахождению выражений, определяющих амплитуду тока I_0 , сдвиг по фазе φ тока относительно ЭДС и полное сопротивление Z цепи, изображенной на (рис.3).

Уравнение (6.1.8) позволяет решить эту задачу, при этом методы решения могут быть различные. Воспользуемся графическим способом представления гармонических колебаний – методом векторных диаграмм. В этом методе гармоническим величинам (напряжениям, токам) сопоставляются вращающиеся векторы. Для этого на плоскости выбирают произвольное начало координат O и проводят ось X . Изучаемую гармоническую величину изображают вектором, построенным из начала координат. Длина вектора равна

(в выбранном масштабе) амплитуде гармонической величины, а угол между вектором и осью X равен углу начальной фазы. Вектор равномерно вращается вокруг точки O с угловой скоростью в направлении против часовой стрелки. При этом проекция вектора на ось X в любой момент времени равна мгновенному значению гармонической величины, изменяющейся со временем по закону косинуса.

В соответствии со сказанным левую часть уравнения (6.1.8) можно рассматривать как сумму проекций векторов, изображающих напряжения U_R , U_C и U_L , а правую часть – как проекцию вектора, изображающего суммарное напряжение $U = E = U_R + U_C + U_L$. Поскольку при сложении векторов сумма проекций слагаемых равна проекции суммы, то можно найти геометрическую сумму векторов, изображающих напряжения U_R , U_C , U_L , и приравнять эту геометрическую сумму вектору, изображающему напряжение $U = E$. Другими словами, вместо алгебраического равенства (6.1.8) можно рассматривать векторное равенство

$$(\vec{I}_0 R) = \left(\frac{\vec{I}_0}{\omega C}\right) + (\vec{I}_0 \omega L) = \vec{E}_0; \quad (6.1.12)$$

что значительно упрощает нахождение амплитуды I_0 и сдвига фаз φ . На (рис.4.а,б) построены векторные диаграммы для момента времени $t=0$, соответствующие уравнениям (6.1.8) и (6.1.12).

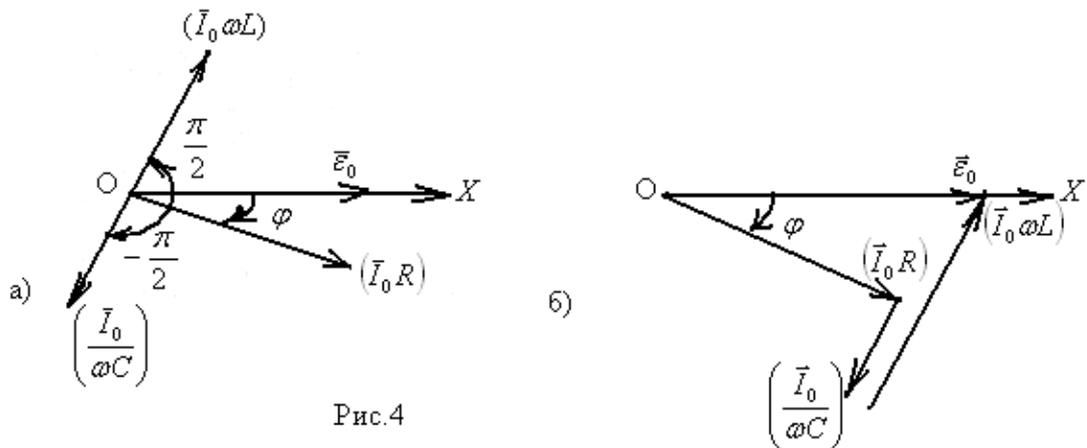


Рис.4

Из рис.4,б следуют соотношения:

$$E_0^2 = I_0^2 R^2 + I_0^2 \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R},$$

откуда

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (6.1.13)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}; \quad (6.1.14)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (6.1.15)$$

Видим, что колебания тока в цепи отстают по фазе от колебаний ЭДС на угол φ , зависящий от частоты и определяемый согласно (9.14). Можно также сказать, что напряжение U во внешней цепи, содержащей последовательно соединенные R , C и L , опережает по фазе ток на угол φ , определяемый выражением (6.1.14). Полное сопротивление цепи Z , в соответствии с (6.1.15), также зависит от частоты и может быть записано в виде

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (6.1.16)$$

где $X = X_L - X_C$ – полное реактивное сопротивление цепи. Из формулы (6.1.16) следует, что активное и реактивное сопротивления цепи складываются геометрически.

Метод измерения

В работе исследуются электрические процессы в цепях, состоящих из следующих последовательно соединенных элементов: а) двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 (цепь RR , рис.5а); б) резистора R_2 и конденсатора C (цепь RC , рис.5б).

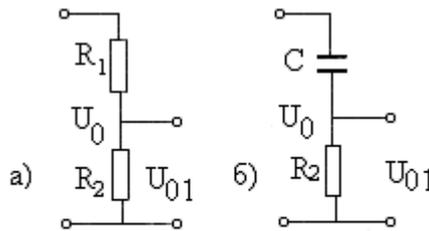


Рис.5

Основным параметром, характеризующим изучаемые цепи, является коэффициент передачи цепи K , представляющий собой отношение амплитуды напряжения на выходе цепи U_1 к амплитуде напряжения на ее входе U_0 :

$$K = \frac{U_1}{U_0} \quad (6.1.17)$$

Напряжение на выходе цепи равно падению напряжения на резисторе R_2 :

$$U_{01} = IR_2 \quad (6.1.18)$$

т.е. прямо пропорционально току в цепи I и находится в одинаковой с ним фазе. На основании соотношения (6.1.18) коэффициент передачи цепи можно записать в виде

$$K = \frac{IR_2}{U_0} \quad (6.1.19)$$

Из соотношения (6.1.18) следует, что для измерения угла сдвига фаз между током в цепи I и входным напряжением U достаточно измерить угол сдвига фаз между напряжениями U_{01} и U_0 .

Для схем, изображенных на рис.5, найдем аналитический вид выражений для коэффициента передачи цепи K и угла сдвига фаз φ . Для этого воспользуемся формулами (6.1.13), (6.1.14) и (6.1.19), подставляя в них соответствующие каждой схеме значения сопротивлений, напряжений и токов.

1. Цепь RR : $R = R_1 + R_2$; $X_L = 0$; $X_C = 0$; $E_0 = U_0$.

Из (6.1.13)

$$I_0 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} \quad (6.1.20)$$

Из (6.1.14) $\varphi = 0$.

$$(9.21)$$

Из (6.1.19) и (6.1.20)

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6.1.22)$$

2. Цепь RC : $R=R_1$; $X_L=0$; $X_C = \frac{1}{\omega C}$; $E_0=U_0$.

Из (6.1.13)

$$I_0 = \frac{U_0 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}} \quad (6.1.23)$$

Из (6.1.14)

$$\varphi = -\arctg \frac{1}{R_2 \omega C} \quad (6.1.24)$$

Из (6.1.19) и (6.1.20)

$$K = \frac{R_2 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}} \quad (6.1.25)$$

При высоких частотах ($\omega \rightarrow \infty$): $I_0 \approx \frac{U_0}{R_2}$; $\varphi \approx 0$; $K \approx 1$.

Этот результат соответствует тому, что в цепи замкнут конденсатор С.

При низких частотах ($\omega \rightarrow 0$):

$$I_0 \approx U_0 \omega C ; \varphi \approx -\frac{\pi}{2} ; K \approx R_2 \omega C = 2\pi R_2 \nu \quad (6.1.26)$$

Этот результат соответствует тому, что в цепи замкнут резистор R_2 .

6.2. Контроль исходного уровня знаний:

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующие вопросы.

Задание 1.

1. Какой ток называется квазистационарным? Напишите условие квазистационарности.
2. Получите выражение: а) для емкостного сопротивления;
б) для индуктивного сопротивления.
3. Постройте векторную диаграмму для цепи, содержащей последовательно соединенные:
а) R и C; б) R и L .
Определите с помощью векторной диаграммы для каждой цепи полное сопротивление Z и сдвиг фаз между током и ЭДС.
4. Получите выражение для коэффициента передачи цепи для схемы состоящей: а) из R и C; б) из R и L.
5. Как в работе проводится оценка: а) величины емкости конденсатора C;
б) величины индуктивности катушки L.

Задание 2.

Решить следующие задачи:

1. Сдвиг фаз между током и напряжением при прохождении переменного тока частотой 25 Гц через мышцу лягушки составил 35° . Чему равна емкость конденсатора в эквивалентной схеме последовательно соединенных резистора и конденсатора, если активное сопротивление равно 0,5 кОм?
2. Почему с увеличением частоты переменного тока уменьшается его раздражающее действие на ткани организма человека?
3. Найдите амплитудное значение тока в цепи содержащей конденсатор емкостью 1 мкФ. Напряжение в электрической цепи равно 250 В, а активное сопротивление 2,5 кОм. Конденсатор и резистор соединены последовательно. Частота равна 50 Гц.

6.3. Самостоятельная работа студентов.

Порядок выполнения работы

Перед выполнением заданий ознакомиться с описаниями приборов, используемых в данной установке.

Подготовка установки к работе

1. Установить исходное положение кнопочных переключателей на панели модуля ФПЭ-09 : все кнопки отжаты.
2. Установить органы управления на панелях осциллографа РО в положение, обеспечивающее измерение амплитуды и развертку во времени переменного напряжения. Тумблер сигнала синхронизации развертки установить в положение синхронизации внешним сигналом.
3. Подготовить к работе генератор PQ и источник питания ИП.
4. Собрать схему, изображенную на рис.1.
5. После проверки схемы преподавателем присоединить все приборы к сети 220 В. Включить приборы тумблерами «Сеть». Дать приборам прогреться в течение 3-5 мин.
6. Установить следующие параметры выходного сигнала генератора: частота – 20 кГц, напряжение – около 2 В, сопротивление $R_2=1$ кОм.
7. Установить размах колебаний напряжения генератора на экране осциллографа в пределах $2/3$ экрана подбором коэффициента отклонения K_y канала вертикального отклонения осциллографа.
8. Получить устойчивое изображение сигнала генератора на экране.
9. Установить такую длительность развертки, при которой на экране наблюдается 2-3 периода исследуемого сигнала.
10. Отрегулировать окончательно вертикальный размер изображения сигнала генератора на экране осциллографа с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения генератора. Этот размер изображения сигнала генератора рекомендуется поддерживать постоянным при всех измерениях.

Задание 1. Изучение электрических процессов в цепи, содержащей два резистора.

1. Замкнуть с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую резистор R_1 .
 2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение двух исследуемых сигналов.
 3. Зарисовать наблюдаемые колебания на миллиметровой бумаге. Убедиться, что угол сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением равен нулю.
 4. Произвести измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи. Для этого измерить величину амплитуды каждого сигнала в делениях шкалы экрана и умножить полученные значения на коэффициент отклонения K_y канала вертикального отклонения осциллографа.
- При измерении напряжений с помощью осциллографа, используемого в данной работе, рекомендуется устанавливать такое значение коэффициента отклонения K_y , при котором размер изображения сигнала по вертикали составляет не менее двух делений шкалы экрана.
5. Рассчитать значение коэффициента передачи цепи K по формуле (6.1.17).
 6. Определить величину сопротивления резистора R_1 по формуле (6.1.22).
 7. Оценить погрешности измерения коэффициента передачи цепи и сопротивления резистора R_1 .

Данные измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

U_0		U_{01}			K	ΔK	$R_1, \text{Ом}$	$\varphi, \text{град}$
$U_0, \text{дел}$	$K_y, \text{дел}$	$U_0, \text{В}$	$U_{01}, \text{дел}$	$K_y, \text{В/дел}$				

Задание 2. Изучение электрических процессов в цепи, содержащий резистор и конденсатор.

1. Замкнуть с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую конденсатор С.

2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение двух исследуемых сигналов.

3. Зарисовать колебания, наблюдаемые на экране осциллографа при частоте генератора 20 кГц.

4. Определить угол сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением при частоте 20 кГц. Для этого измерить в делениях шкалы экрана осциллографа сдвиг по времени t между изображениями двух исследуемых сигналов и период колебаний T (рис.2). Разность фаз рассчитать по формуле

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} 360(\text{град}). \quad (6.3.1)$$

5. Повторить пп.3,4 при частоте генератора 80 кГц.

6. Провести измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи при различных значениях частоты (по методике, описанной в п.4 задания 1). Частоту генератора менять в пределах от 20 до 80 кГц сначала с интервалом 5 кГц (до 40 кГц), а затем с интервалом 10 кГц.

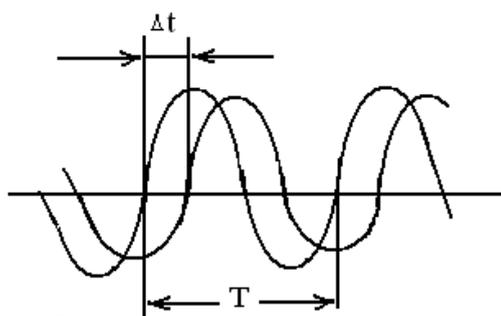


Рис.6

7. Рассчитать значения коэффициента передачи цепи K по формуле (6.1.17) для всего исследованного диапазона частот.

8. Построить график зависимости коэффициента передачи цепи RC от частоты входного напряжения $K=f(\nu)$.

9. С помощью графика $K=f(\nu)$ оценить величину емкости конденсатора C . Для этого воспользуемся линейным участком графика, который описывается формулой (6.1.26). Определив тангенс угла наклона линейного участка и приравняв его угловому коэффициенту зависимости (6.1.26), получим соотношение $tg\alpha = 2\pi R_2 C$, откуда $C = \frac{tg\alpha}{2\pi R_2}$

10. Рассчитать разность фаз по формуле (6.1.24) при двух значениях частоты генератора: 20 и 80 кГц. Сравнить результаты расчета с результатами непосредственного измерения угла φ .

11. Данные измерений и вычислений занести в таблицу 2.
Таблица 2.

	U_0	U_{01}	K	C ,	T ,		
--	-------	----------	-----	-------	-------	--	--

ν 10 ⁴ Гц	U_0 , дел	K_y , В/дел	U_0 , В	U_{01} , дел	K_y , В/дел	U_{01} , В		Φ	Δt дел	дел	φ град	$\varphi_{расч}$, град

6.4. Контроль степени усвоения материала:

Тест 1.

1. Переменным током называется:

- любое кратковременное изменение тока или напряжения;
- любой изменяющийся ток;
- любой ток изменяющийся со временем по гармоническому закону.

2. Импедансом цепи переменного тока называется:

- его омическое сопротивление;
- его реактивное сопротивление;
- его полное сопротивление.

3. Импеданс тканей организма зависит:

- от его активного сопротивления;
- от его емкостного сопротивления;
- от его активного и емкостного сопротивления.

Тест 2.

Выберите правильную формулу сопротивления в цепи переменного тока

1. Емкостное сопротивление

$$A. x = \omega L$$

2. индуктивное сопротивление

$$B. x = \frac{1}{\omega C}$$

3. полное сопротивление

$$C. z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$$

4. полное сопротивление тканей организма.

$$D. z = \sqrt{R^2 + x_C^2}$$

6.5. Подведение итогов занятия:

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Лабораторная работа ФПЭ-12. Изучение релаксационных колебаний

Тема и ее актуальность.

В данной лабораторной работе изучается принцип работы газонаполненной лампы и ее использование для получения релаксационных колебаний. Релаксационные колебания используются в различных электростимуляторах, которые имеют широкое применение в медицине.

2.Цель занятия.

В результате усвоения темы студент должен:

- знать, как происходит прохождение тока в газах;
- знать вольт-амперную характеристику газоразрядных ламп;
- знать, как работает генератор релаксационных колебаний;
- знать какой формы бывают импульсные колебания;
- знать отчего зависит действие импульсных колебаний на организм;

е) как получаются фигуры Лиссажу и что можно определить зная форму фигуры.

3. Вид занятия: лабораторная работа

4. Продолжительность: 3 академических часа (135 мин)

5. Оснащение.

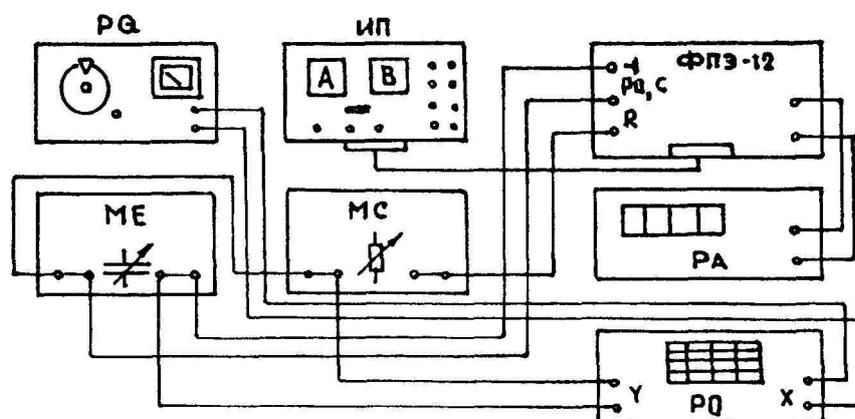


Рис.1

Приборы и оборудование:

1. ИП - источник питания
2. РО - электронный осциллограф
3. РQ - звуковой генератор
4. РА - амперметр
5. МС - магазин сопротивлений
6. МЕ - магазин емкостей
7. ФПЭ-12 - модуль

Описание установки.

Электрическая схема установки собрана в модуле ФПЭ-12 (рис.1). При отжатой кнопке "режим" реализуется схема получения вольт - амперной характеристики газонаполненной лампы. При нажатой кнопке "режим" получается схема генератора релаксационных колебаний (см. рис.3). Магазины емкостей МЕ и сопротивлений МС выполняют роль емкости С и сопротивления R генератора.

В работе определяется период релаксационных колебаний двумя способами. Первый способ заключается в том, что сигнал от полученных в цепи релаксационных колебаний поступает на вход осциллографа и на экране последнего можно наблюдать изображение этих колебаний.

Период можно измерить непосредственно с экрана при работе осциллографа в режиме измерения длительности сигнала.



Рис.2

Второй способ, более точный, заключается в том, что дополнительно на второй вход осциллографа поступает сигнал определенной частоты. В электронно - лучевой трубке происходит сложение двух взаимно перпендикулярных колебаний лампы и синусоидальных колебаний, подаваемых на второй вход осциллографа. В результате на экране появляются фигуры Лиссажу. Если частоты складываемых колебаний относятся как целые числа, то картина на экране неподвижна. Зная частоту подаваемого сигнала, по виду фигуры Лиссажу можно определить соотношение и частоту релаксационных колебаний.

В отличие от сложных гармонических колебаний фигура Лиссажу при соотношении частот 1:1 не имеет вид эллипса (рис.2).

6. Содержание: теоретическое введение, описание установки, контроль исходного уровня знаний, самостоятельная работа студентов, контроль степени усвоения, подведение итогов занятия.

6.1. Теоретическое введение.

Газы в естественном состоянии состоят из электрически нейтральных атомов и молекул, т.е. не содержат свободных зарядов и поэтому не проводят электрический ток. Проводить они могут только в том случае, если часть молекул ионизируется - расщепляется на положительные и отрицательные ионы. Обычно происходит расщепление на одновалентный положительно заряженный ион и электрон. Ионизация может происходить под влиянием различных воздействий на газ: сильного нагрева, рентгеновский лучей, радиоактивных излучений, космических лучей, бомбардировки молекул газа быстро движущимися ионами и электронами (так называемая ударная ионизация) и т.д.

Если газ, находящийся под действием внешнего ионизатора, заключен в колбу с впаянными в неё электродами, то при подаче на электроды напряжения по трубке потечет ток. Процесс протекания тока через газ называется газовым разрядом. Если электропроводность газа создается за счет внешнего ионизатора, то электрический ток, возникающий в нем, называется несамостоятельным разрядом. С прекращением действия внешнего ионизатора такой разряд прекращается. Электрический разряд в газе, сохраняющийся после действия внешнего ионизатора, называется самостоятельным газовым разрядом. Для его осуществления необходимо, чтобы в результате самого разряда в газе непрерывно образовывались свободные заряды. Зависимость тока от приложенного напряжения называется вольт-амперной характеристикой. Она изображена на рис.3.

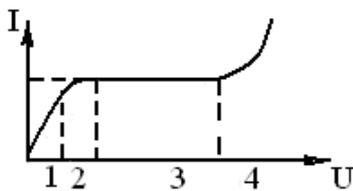


Рис.3

Если к электродам приложить напряжение, то ионы и электроны под действием сил со стороны электрического поля будут двигаться к противоположным электродам. При малых напряжениях (участок 1) концентрация зарядов остается постоянной, т.к. интенсивность ионизации Δn_i будет постоянной, а электродов будет достигать лишь незначительное число заряженных частиц.

С увеличением разности потенциалов (участок 2) линейная зависимость нарушается. Это связано с тем, что под действием поля значительная часть ионов и электронов достигает электродов. Это приводит к уменьшению концентрации зарядов и нарушению пропорциональности между током и напряжением. Начиная с некоторого значения напряжения (участок 3), ток остается неизменным с увеличением напряжения. Это объясняется тем, что все заряды, возникшие в газе под действием внешнего ионизатора, достигают электродов. Если в объеме трубки V в единицу времени образуется $\Delta n_i V$ пар свободных зарядов и все они приходят на электроды, то ток в трубке будет

$$I_H = \Delta n_i V e \quad (6.1.1)$$

где I_H - ток насыщения - максимально возможный ток при данной интенсивности ионизации. Газовый разряд, происходящий при напряжениях, соответствующих областям 1, 2, 3 является несамостоятельным газовым разрядом.

При дальнейшем увеличении напряжения (участок 4) происходит резкое увеличение тока. Это объясняется ударной ионизацией: электроны, возникшие в газе за счет внешнего ионизатора во время своего движения к аноду под действием электрического поля, приобретают энергию, достаточную для ионизации нейтральных молекул газа при столкновении с ними. При столкновении образуются вторичные электроны и ускоряясь полем, могут также ионизировать нейтральные молекулы газа.

Число носителей тока лавинообразно возрастает, возрастает и величина тока. Но разряд в газе остается еще несамостоятельным, т.к. ударная ионизация, вызванная одними

электронами, недостаточна для поддержания разряда при удалении внешнего ионизатора. Это вызвано тем, что электроны движутся в электрическом поле от катода к аноду. Поэтому они могут ионизировать только те молекулы газа, которые лежат ближе к аноду по сравнению с местом возникновения данного электрона. Вблизи катода электроны еще не имеют энергии, достаточной для ионизации, и в этой области электроны могут возникать только благодаря внешнему ионизатору.

Если действие последнего прекратится, то область ударной ионизации будет постепенно сокращаться, стягиваясь к аноду по мере движения к нему электронов, и в конце концов ударная ионизация и электрический ток в газе прекратятся. Переход от несамостоятельного разряда к самостоятельному становится возможным лишь при таком напряжении между электродами, когда положительные ионы также приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа, т.е. возникают два встречных потока, каждый из которых способен вызвать ионизацию газа. В этом случае внешний ионизатор не играет существенной роли в газовом разряде, т.к. число создаваемых им первоначальных ионов мало по сравнению с числом вторичных ионов и прекращение действия ионизатора не влияет на протекание разряда.

Опыт показывает, что в большинстве случаев наблюдается не ударная ионизация молекул газа ионами, а выбивание ими электронов с поверхности катода, т.к. в этом случае работа, совершаемая ионом, меньше, чем при ударной ионизации. Наряду с процессом выбивания ионами электронов из катода - вторичной эмиссией, не менее важным является фотоэффект - выбивание электронов из катода под действием света - достаточно быстрый электрон может не только ионизировать молекулу, но и перевести образовавшийся ион в возбужденное состояние. Переходя затем в устойчивое состояние, ион испускает квант энергии, который способен вызвать фотоионизацию. Испускание света происходит при рекомбинации положительных ионов с электронами - "рекомбинационное свечение".

Повышая напряжение на электродах, можно возбудить все эти процессы и осуществить переход от несамостоятельного разряда к самостоятельному. Этот переход называется электрическим пробоем газа, а соответствующее напряжение - напряжением зажигания U_3 . Оно зависит от химической природы газа, материала катода, формы электродов и расстояния между ними, давления газа и наличия в нем примесей.

В данной работе мы будем рассматривать идеализированную вольт - амперную характеристику газонаполненной лампы приведенной на рис. 4.

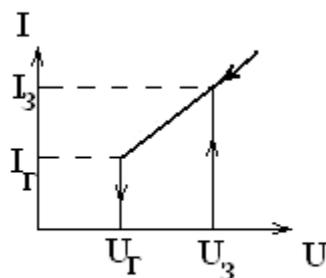


Рис. 4

При напряжениях $U < U_3$ скачком устанавливается значение тока, равное I_3 , и лампа "загорается". При дальнейшем росте напряжения ток растет по закону, близкому к линейному. Если уменьшать напряжение на "горящей лампе", то при напряжении, равном U_3 , лампа еще не гаснет. Продолжая уменьшать напряжение, можно увидеть, что лишь при некотором напряжении (напряжении гашения U_r), которое меньше, чем U_3 , лампа "гаснет" и ток скачком резко падает. При этом самостоятельный разряд в лампе прекращается. У реальной лампы зависимость $I = f(U)$ является не вполне линейной, причем при $U < U_3$ кривые, снятые при возрастании и убывании напряжения, не вполне совпадают. Но эти отличия несущественны, и мы можем ими в данной работе пренебречь.

Газонаполненные лампы часто используют для получения релаксационных колебаний. Релаксационные колебания - периодические колебания, по форме резко

отличающиеся от синусоидальных. Представляет собой периодически повторяющийся процесс возникновения электрического напряжения и последующего его исчезновения.

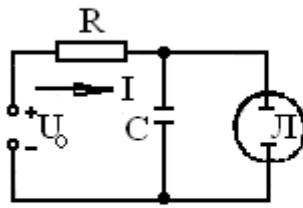


Рис. 5

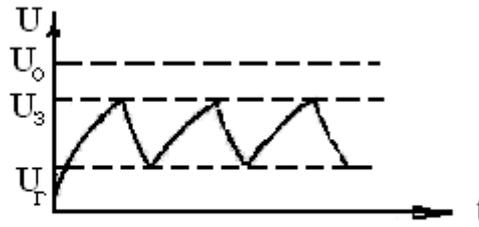


Рис. 6

Рассмотрим работу генератора релаксационных колебаний. Принципиальная его схема приведена на рис 5. Он состоит из источника, дающего постоянное напряжение U_0 , конденсатора емкостью C , сопротивления R и лампы L . Если включить источник, то в цепи появится ток. Сопротивление незажженной лампы бесконечно велико, и ток будет заряжать конденсатор. Разность потенциалов на его обкладках будет расти. Соответственно растет и разность потенциалов на электродах лампы, подсоединенной параллельно конденсатору. Когда она достигнет значения напряжения зажигания U_3 , лампа "зажжется" - ее сопротивление скачком уменьшится, и она начнет проводить ток. Т.к. сопротивление R велико, то поддерживать ток будут в основном заряды, расположенные на обкладках конденсатора. Это вызовет быстрое падение напряжение на конденсаторе, и когда оно достигнет значения напряжения гашения U_r , лампа "гаснет" и процесс начинается сначала. Возникают релаксационные колебания. Кривая изменения напряжения на конденсаторе представлена на рис.6.

Найдем закон, по которому будет меняться напряжение на конденсаторе.

В любой момент времени величина напряжения U_0 равна сумме напряжений в элементах цепи:

$$U_0 = IR + U \quad (6.1.2)$$

где U - разность потенциалов на обкладках конденсатора.

Заряд конденсатора изменяется вследствие протекания по цепи электрического тока:

$$dq = Idt \quad (6.1.3)$$

Изменение заряда вызывает изменение разности потенциала:

$$dU = \frac{dq}{C} \quad (6.1.4)$$

Из уравнений (6.1.3) и (6.1.4) находим:

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (6.1.5)$$

Подставляя (6.1.5) в (6.1.2), получаем

$$RC \frac{dU}{dt} = U_0 - U \quad (6.1.6)$$

Преобразуем выражение (6.1.6)

$$\frac{dU}{U_0 - U} = \frac{dt}{RC} \quad (6.1.7)$$

Проведем интегрирование:

$$\ln(U_0 - U) = -\frac{t}{RC} + const \quad (6.1.8)$$

Постоянная интегрирования находится из условия: при $t=0$, $U=0$. Тогда $const = \ln U_0$.

Потенцируя выражение (6.1.8) получим закон возрастания напряжения на конденсаторе генератора релаксационных колебаний:

$$U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (6.1.9)$$

6.2. Контроль исходного уровня знаний.

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующие вопросы:

Задание 1.

1. От чего зависит электропроводность газов?
2. Объясните вольт - амперную характеристику газонаполненной лампы.
3. Каков механизм возникновения самостоятельного разряда?
4. Как работает генератор релаксационных колебаний?
5. Что такое фигуры Лиссажу и как они получаются в данной работе?

Задание 2.

Решить следующие задачи:

1. В ионизационной камере, расстояние между плоскими электродами которой $L=4$ см, проходит ток насыщения. Плотность тока $j=15\text{мкА/м}^2$. Найдите среднее число пар ионов, образующихся под действием ионизатора в одном кубическом сантиметре пространства камеры в единицу времени. Заряд иона численно равен заряду электрона.

2. Между плоскими электродами площадью $S=100\text{ см}^2$ каждый находится $V=300\text{ см}^3$ водорода. Концентрация ионов в газе $n=5 \cdot 10^{-7}\text{ см}^{-3}$. Какое напряжение нужно приложить к электродам, чтобы получить ток силой $I=1\text{мкА}$? Подвижности ионов: $b_+=5.4\text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $b_-=7,4\text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

6.3. Самостоятельная работа студентов.

Порядок выполнения работы.

Собрать электрическую схему (см. рис.1).

Задание 1. Снятие вольт - амперной характеристики газонаполненной лампы.

1. Подготовить прибор к работе: Кнопку "режим" модуля ФПЭ-12 отжать. Ручку регулировки напряжения 120 В источника питания установить в крайнее левое положение. Измерительный прибор РА подготовить к работе в режиме, обеспечивающим измерение силы тока до 10мА.

2. Включить лабораторный стенд, источник питания ИП и измерительный прибор РА.

3. Ручкой регулировки напряжения от 40 до 120 В через 10 В и измерять силу тока $I_{\text{пр}}$. Записать во вторую строку табл.1 значения силы тока.

Таблица 1.

U, В	40	50	60	70	80	90	100	110	...
$I_{\text{пр}}$, мА									
$I_{\text{обр}}$, мА									

4. Уменьшая напряжение от 120 до 40 В, измерить силу тока $I_{\text{обр}}$. Результаты занести в третью строчку табл.1.

5. Определить напряжение зажигания и гашения лампы. Для этого выбрать из табл.1 интервал напряжений, в котором лампа зажглась (погасла). В выбранном интервале, постепенно увеличивая (уменьшая) напряжение на 1-2 В, зафиксировать такое

напряжение, при котором ток в лампе скачком увеличится от нуля до конечной величины (либо уменьшится до нуля). Это и будет напряжение зажигания (гашения).

6. Выключить измерительный прибор.

7. Построить график зависимости тока I от напряжения U .

Задание 2. Изучение работы генератора релаксационных колебаний.

1. Подготовить приборы к работе: Нажать на кнопку "режим" модуля ФПЭ-12. Установить на магазине сопротивлений $R = 1 \cdot 10^6$ Ом. На магазине емкостей установить емкость $C = 3 \cdot 10^3$ мкФ. На источнике питания ручку регулирования выходного напряжения 120 В установить в крайнее левое положение. Осциллограф подготовить к работе в режиме измерения времени длительности сигнала.

2. Включить лабораторный стенд, источник питания и осциллограф. Установить ручкой регулировки напряжения источника питания 110 В, которое в дальнейшем поддерживать постоянным. Усиление по оси Y осциллографа установить таким, чтобы можно было измерять переменное напряжение до 1 В. Включить генератор развертки осциллографа и установить такую частоту развертки, чтобы на экране были видны одно-два релаксационных колебания.

3. Измерить с экрана осциллографа период релаксационных колебаний.

4. Измерить период релаксационных колебаний с помощью генератора сигналов PQ. Подготовить осциллограф к работе в режиме наблюдения фигур Лиссажу. Включить генератор PQ и установить выходное напряжение ~ 1 В и частоту ~ 200 Гц. Включить генератор развертки осциллографа. Плавно изменяя на генераторе PQ частоту выходного сигнала, получить на экране осциллографа неподвижную фигуру Лиссажу, соответствующую соотношению частот 1:1 (см. рис.2). Записать значение частоты генератора PQ. Постепенно увеличивая частоту сигнала, получить фигуры Лиссажу, соответствующие отношениям частот 1:2 и 1:3. Записать значения этих частот. Рассчитать частоту релаксационных колебаний по формуле $f = \frac{f_n}{n}$, где f_n - частота сигнала

генератора PQ, измеренная в первом, втором и третьем случаях; $n=1,2,3$ - отношение частоты сигнала генератора PQ к частоте релаксационных колебаний. Найти среднее значение f и рассчитать период релаксационных колебаний: $T = \frac{1}{f}$.

5. Выключить осциллограф, генератор сигналов, источник питания и лабораторный стенд.

6. Рассчитать погрешность определения периода релаксационных колебаний, полученных по п.4, задаваясь погрешностью генератора сигналов из его паспортных данных ($\sim 1\%$).

6.4. Контроль степени усвоения материала.

Тест1.

1. Какой разряд в газе называется самостоятельным?

- а) если ионизация создается за счет внешнего ионизатора;
- б) если в результате разряда в газе непрерывно образуются свободные заряды;
- в) если ударная ионизация вызвана одними электронами.

2. Какие колебания называются релаксационными?

- а) периодические колебания, по форме резко отличающиеся от синусоидальных. Представляющий собой периодически повторяющийся процесс возникновения электрического напряжения и последующего его исчезновения;
- б) любые гармонические колебания;
- в) любые негармонические колебания.

3. Для чего в медицине используются релаксационные колебания?

- а) для наблюдения за состоянием тканей организма;
 б) для стимулирования какого-либо эффекта раздражением ткани;
 в) для прогревания тканей организма.

Тест2.

Выбрать правильную формулу:

1. Тока при газовом разряде в трубке $A. Q = \frac{T}{\tau_U}$
2. Формула скважности $B. \frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$
3. Коэффициента заполнения $B. I = nV\bar{e}$
4. Закона возрастания напряжения на конденсаторе генератора релаксационных колебаний
- Г. $k = \frac{1}{Q}$
5. Сложения взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты $D. U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$

6.5. Подведение итогов занятия

Показать преподавателю расчетные данные лабораторной работы, ответить на поставленные преподавателем вопросы по данной теме и получить итоговую оценку.

Задание на дом: подготовка к следующей лабораторной работе, решение задач.

Место проведения самоподготовки: учебные комнаты для самостоятельной работы студентов, читальный зал.

Литература.

Основная:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика, М: Высшая школа, 2003.
2. Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике. М.: Высшая школа, 2001.
3. Блохина М.Е. и др. «Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике». М.: Дрофа, 2001.

Литература

1) Основная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год, место издания
1	2	3	4
1.	Курс физики: учебник	Ливенцев Н. М.	М. ; Краснодар : Лань, 2019. - 667 с.
2.	Основы высшей математики: учебник	Н. Л. Лобозкая	М. : Альянс, 2020. - 479 с.

3.	Учебник по медицинской и биологической физике: учебник	А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко.	М. : Дрофа, 2019. - 558 с.
4.	Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие	А. Н. Ремизов, А. Г. Максина	М. : Дрофа, 2020. - 189 с.
5.	Электродинамика: руководство к лаб. работам	М.Х. Зелеев [и др.]	БГМУ, 2021. - 104 с.

2) Дополнительная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год, место издания
1	2	3	4
1.	Физика и биофизика. Курс лекций для обучающихся медицинских вузов: учеб.	В. Ф. Антонов, А. В. Коржуев	М. : ГЭОТАР-МЕДИА, 2019. - 236 с.
2.	Основы высшей математики и статистики : учебник	Ю. В. Морозов	М. : Медицина, 2020. - 232 с.
3.	Учебник по медицинской и биологической физике: учебник	А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко	М. : Дрофа, 2019. - 560 с.
4.	Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике: учеб.	М. Е. Блохина, И. А. Эссаулова, Г. В. Мансурова	М. : Дрофа, 2019. - 288 с.
5.	Механика: руководство к лаб. работам по физике и биофизике	С. Н. Загидуллин	БГМУ, 2021. - 49 с.
6.	Медицинская биофизика: учебник	В. О. Самойлов	СпецЛит, 2019. - 558 с.

Интернет ресурсы:

<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970424841.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970419243.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970416440.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970426777.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970408308.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970412022.html>
<http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785299003352.html>

Подписи составителя методической разработки _____ Зелеев М.Х.

« 18 » апреля 2023г.