

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине
Физические основы измерений и эталоны

Направление подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология
Направленность (профиль) «Стандартизация, метрология и управление качеством»

Ставрополь
2026

Предисловие

Методические указания составлены с учетом требований ФГОС ВО, в соответствии с рабочими учебными планами, рабочими программами дисциплины «Физические основы измерений и эталоны» для студентов специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

Методические указания включают в себя описание физических явлений, используемых при разработке измерительной техники, принципов работы лабораторных установок, их устройство, правила работы с ними, указания по технике безопасности, методику и порядок выполнения лабораторной работы, контрольные вопросы, рекомендуемую литературу

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Оценка соответствия класса точности вольтметра (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Ознакомление с методикой оценки погрешностей измерений и проверка соответствия класса точности.
2. Ознакомление с методикой поверки показывающих приборов прямого действия.

Теоретическое обоснование

Приведенному описанию источника постоянного напряжения соответствует электрическая схема замещения, состоящая из источника ЭДС и соединенного последовательно с ним сопротивления, представленная на рисунке 1.3.

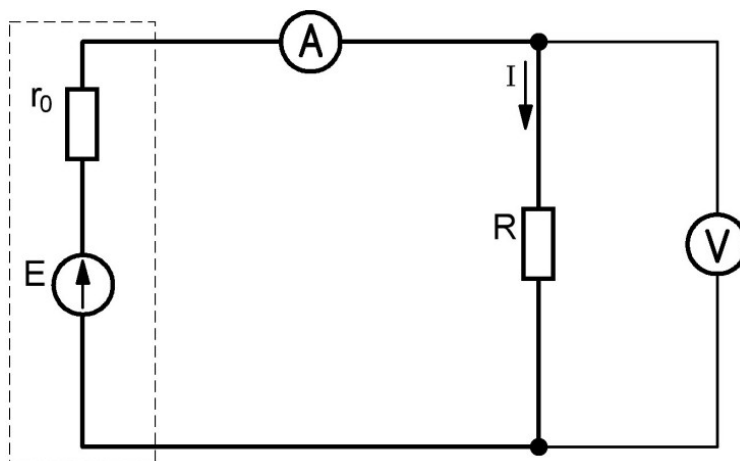


Рисунок 1.1 – Схема замещения неидеального источника напряжения

Величина E называется электродвижущей силой (ЭДС) источника и определяется как работа, затрачиваемая сторонними силами на перемещение единицы положительного заряда от отрицательного контакта к положительному. Компоненты схемы замещения реального источника постоянного напряжения, ЭДС, и внутреннее сопротивление источника физически неразделимы.

График внешней характеристики источника напряжения при подключенной нагрузке R показан на рисунке 1.1.

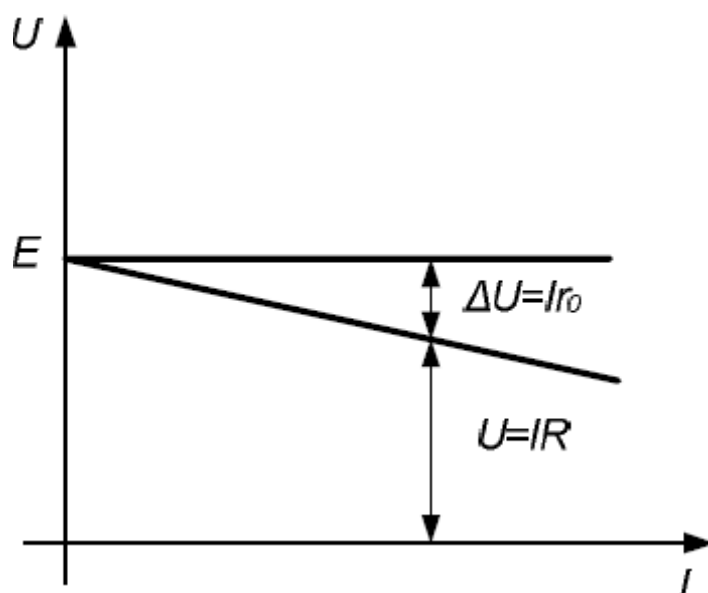


Рисунок 1.4 – Внешняя характеристика источника напряжения

В большинстве случаев внешняя характеристика источника питания имеет почти линейный вид.

Выражение для внешней характеристики источника:

$$U = E - I \cdot r_0 . \quad (1.1)$$

Компоненты схемы замещения реального источника – идеальный источник постоянного тока и внутренняя проводимость (или сопротивление) – физически не разделимы.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Ознакомление с методикой оценки погрешностей измерений электрических величин различными методами осуществляется по схеме рис. 1.1 с использованием многопредельного вольтметра типа Э-59, цифрового вольтметра, регулятора напряжения.

2. В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры физики, электротехники и электроники и ознакомившиеся с настоящими

методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на нее напряжения проверяется преподавателем.

6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схему осуществляют по разрешению преподавателя.

7. Запрещается включение лабораторного стенда в сеть в присутствии легковоспламеняющихся жидкостей или в атмосфере, содержащей горючие газы.

8. При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к обслуживающему персоналу.

Методика и порядок выполнения работы

Описание макетной платы лабораторного стенда.

1. Ознакомиться с лицевой панелью вольтметра V и записать его основные технические данные.

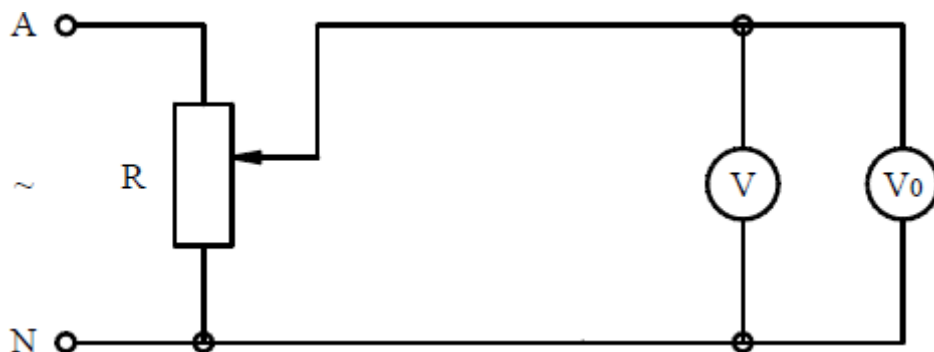


Рис. 1.1

2. Установить регулятором напряжение, чтобы показания вольтметра V оказались в средней части шкалы. Зная класс точности вольтметра V , рассчитать величину относительной погрешности измерения напряжения по формуле:

$$\delta = \pm K \frac{X_N}{X}$$

Приняв показание вольтметра V_0 за действительное значение измеряемой величины, определить экспериментальные значения абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения. Сравнить расчётное и экспериментальное значения относительной погрешности измерения. Сделать вывод.

3. В качестве поверяемого вольтметра используется электромеханический вольтметр V , в качестве поверяющего вольтметр V_0 .

Изменением напряжения указатель испытуемого прибора установить последовательно на всех числовых отметках шкалы: сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до наибольшего значения по шкале и затем по тем же отметкам при убывании от наибольшего значения по шкале до нуля.

При этом необходимо следить за тем, чтобы указатель подходил к числовой отметке только, с одной стороны. По образцовому прибору (вольтметр V_0) определить действительное значение измеряемой величины на этих отметках.

Результаты наблюдений и вычислений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Показания поверяемого прибора X_{Π} , В	Показания образцового прибора X		Абсолютные погрешности Δ		Приведённая погрешность γ , %	Вариация показаний $\gamma_{\text{вар}}$, %
	При увеличении напряжения, В	При уменьшении напряжения, В	При увеличении напряжения, В	При уменьшении напряжения, В		

Вычислить абсолютные и приведённые погрешности и поправки, выбирая для этого большее значение для каждой пары абсолютных погрешностей, полученных для данной точки. Вычислить вариацию показаний. Вычисления производить по формулам:

$$\Delta = X_{\Pi} - X; \quad \gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100 \%; \quad -\Delta = X - X_{\Pi}$$

$$\gamma_{\text{вар}} = \frac{X_{\Pi \text{восх}} - X_{\Pi \text{нисх}}}{X_N} \cdot 100 \%$$

где Δ – абсолютная погрешность; X_{Π} – показание поверяемого прибора; X – показание образцового прибора; γ – приведенная погрешность в процентах; X_N – нормирующее значение поверяемого прибора; $-\Delta$ – поправка; $\gamma_{\text{вар}}$ – вариация показаний в процентах.

По данным таблицы 1.1 построить кривую поправок $-\Delta = f(X_{\Pi})$. По максимальному значению приведённой погрешности определить класс точности прибора и проверить, не превосходит ли вариация показаний допустимых для данного класса точности значений.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Принципиальные схемы исследуемых цепей.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики зависимостей, полученных в результате эксперимента и расчета.
5. Выводы по результатам работы, в которых должна быть дана оценка исследуемых явлений, подтверждение в выполнении законов, объяснение характера кривых.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Вопросы для защиты работы:

1. Принцип работы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем. Способы создания в приборах вращающего и противодействующего моментов, момента успокоения.
2. Особенность и область применения логометров.
3. Применение приборов магнитоэлектрической системы в цепях переменного тока.
4. Способы и приборы, применяющиеся для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров различных систем.
5. Класс точности прибора, что он характеризует и как определяется?
6. Причина, по которой класс точности показывающих приборов определяется по приведённой, а не по относительной погрешности.
7. Влияние магнитных полей на показания приборов различных систем.
8. Имеются два вольтметра: с пределом измерения 300 В класса точности

0,5 и с пределом измерения 30 В класса точности 1,5. Какой вольтметр и почему следует использовать для измерения напряжения величиной 15 В?

9. Вариация показаний прибора. Что характеризует, способы определения.

10. Чувствительность, цена деления, диапазон измерений и диапазон показаний измерительного прибора..

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Поверка однофазного индукционного счетчика электроэнергии (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ПК-11, ОПК-8. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Изучение принципа действия, устройства и основных характеристик однофазного индукционного счётчика электрической энергии.
2. Ознакомление с методикой поверки однофазного индукционного счётчика.

Теоретическое обоснование

Синусоидальным током называют ток, изменяющийся во времени по синусоидальному закону (рисунок 2.1).

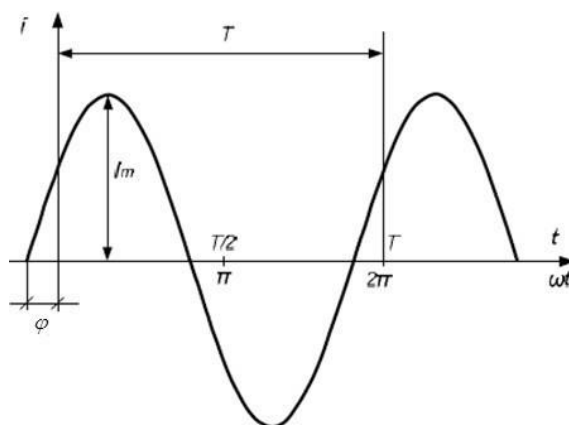


Рисунок 2.1 – График функции синусоидального тока

Выражения для тока, напряжения и ЭДС в цепи синусоидального тока могут быть представлены в следующем виде:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_i), \quad (2.1)$$

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_u), \quad (2.2)$$

$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_e), \quad (2.3)$$

где $i(t)$, $u(t)$, $e(t)$ – мгновенные значения тока, напряжения и ЭДС; I_m , U_m , E_m – амплитуды (максимальные значения) тока, напряжения и ЭДС; T – период; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – угловая частота, $f = \frac{1}{T}$ – частота; φ – начальная фаза.

Для удобства принято производить отсчет с нулевой начальной фазы напряжения, $\varphi_u = 0$ и, соответственно, $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$

В электротехнике широко применяется понятие *действующего значения* синусоидально изменяющейся величины (его называют также эффективным или среднеквадратичным). Действующее значение синусоидального тока определяется следующим образом:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (I_m \cdot \sin(t))^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot I_m^2 \cdot \left(\left(\frac{t}{2} - \frac{\sin(2 \cdot t)}{4} \right) \Big|_0^T \right)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_m)^2 \cdot \left(\frac{T}{2} - \frac{\sin(2 \cdot T/2)}{4} - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_m)^2 \cdot \left(\frac{T}{2} \right)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Действующее значение синусоидального тока численно равно значению такого постоянного тока I , который за время, равное периоду синусоидального тока, выделяет на активном сопротивлении такое же количество теплоты, что и при прохождении синусоидального тока с амплитудой I_m .

Все электроизмерительные приборы, предназначенные для измерения синусоидальных токов и напряжений, показывают действующие значения.

Протекание синусоидальных токов по участкам электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источников. Скорость поступления энергии характеризуется мощностью. Под *мгновенной мощностью*, понимают произведение мгновенного значения напряжения $u(t)$ на участке цепи на мгновенное значение тока $i(t)$, протекающего по этому участку:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Напряжение и ток на входе нагрузки в общем случае сдвинуты по фазе на угол φ . Примем начальную фазу напряжения $\psi_u = 0$, а начальную фазу тока $\psi_i = -\varphi$. При таком условии мгновенные значения напряжения и тока: $u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$.

Таким образом, мгновенная мощность определится следующим образом:

$$p = u \cdot i = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot [\cos(\varphi) - \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi)] =$$

$$= U \cdot I \cdot \cos(\varphi) - U \cdot I \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi).$$

Мгновенная мощность имеет постоянную составляющую и гармоническую составляющую, частота которой в 2 раза больше частоты напряжения и тока (рисунок 2.2). Мгновенная мощность положительна, когда у напряжения и тока одинаковые знаки, и она отрицательна, когда у напряжения и тока разные знаки.

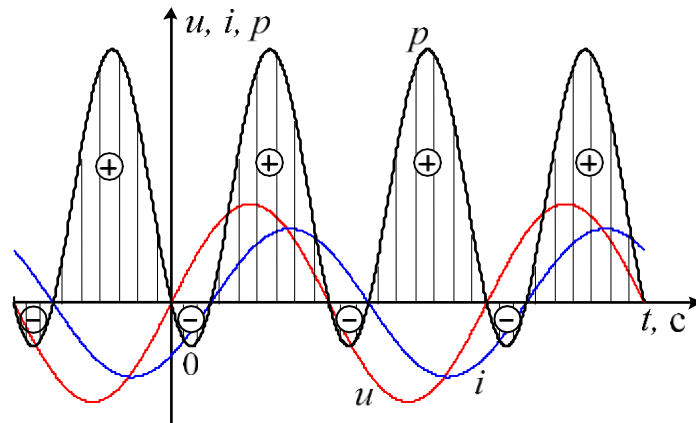


Рисунок 2.2 – График изменения мгновенных значений величин: синусоидального напряжения, тока и мощности

Когда мгновенная мощность отрицательна, энергия поступает не в нагрузку, а возвращается из нагрузки к источнику ЭДС. Такой возврат энергии источнику питания возможен, так как энергия периодически запасается в магнитном и электрическом полях элементов цепи, входящих в состав нагрузки. Если нагрузка состоит из резистивных элементов, энергия накапливаться в нем не может. В этом случае нет сдвига фаз между напряжением и током. Среднее значение мгновенной мощности за период называется *активной мощностью* или иногда просто мощностью:

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p dt = U \cdot I \cdot \cos(\varphi). \quad (2.4)$$

Активная мощность, получаемая нагрузкой, не может быть отрицательной (рисунок 2.6). Активная мощность измеряется в ватах [Вт].

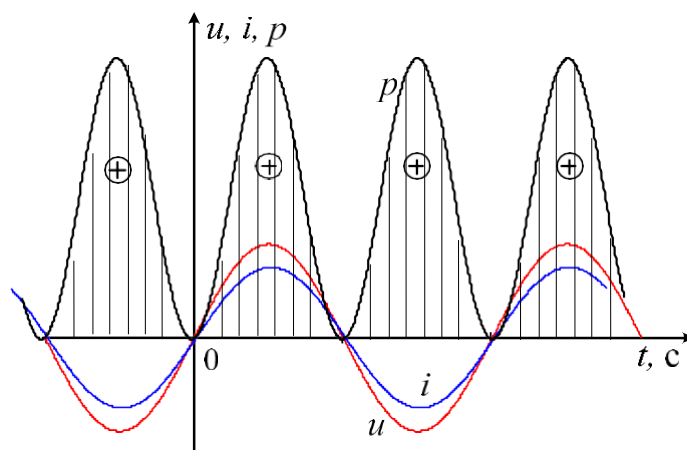


Рисунок 2.6 – Графики изменения мгновенных значений активной мощности и синусоидальных напряжения и тока, совпадающих по фазе

При $\varphi = 0^\circ$ будет наблюдаться наибольшее значение активной мощности, равное произведению $U \cdot I$. Эту величину принято назвать *полной мощностью* и обозначать буквой $S = U \cdot I$. Единицей измерения полной мощности является вольтампер [В·А].

Отношение активной мощности P к полной S равно косинусу угла сдвига фаз между напряжением и током и называется коэффициентом мощности:

$$\frac{P}{S} = \frac{U \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{U \cdot I} = \cos(\varphi). \quad (2.5)$$

$$S = U \cdot I$$

На практике желательно обеспечивать работу электрооборудования при высоком $\cos(\varphi)$, в идеале $\cos(\varphi) = 1$. Высокий $\cos(\varphi)$ приводит к уменьшению)

потерь при передаче энергии по линиям.

При расчетах электрических цепей находит применение так называемая *реактивная мощность*: $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$, которая положительна $\varphi > 0$ и при

отрицательна при $\varphi < 0$. Единицей измерения реактивной мощности является вар [Var]. За один период переменного тока Q дважды отдается генератором в цепь и дважды он получает ее обратно, т.е. реактивная мощность является энергией, которой обмениваются генератор и приемник.

можно представить прямоугольным треугольником с
катетами P , Q

и гипотенузой S , тогда справедлива следующая зависимость:

$$P^2 + Q^2 = S^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Аппаратура, оборудование и материалы

Для выполнения настоящей работы на лабораторном стенде установлены однофазный индукционный счётчик электрической энергии типа СО-505, однофазный регулятор напряжения, регулируемый резистор R , используемый в качестве сопротивления нагрузки, цифровые амперметр A и вольтметр V переменного тока, электродинамический ваттметр W .

Кроме того, в комплект лабораторной установки входит цифровой секундомер. В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

1. Привести эскиз измерительного механизма однофазного индукционного счётчика электрической энергии. Указать элементы, с помощью которых в счётчике создаются вращающий момент, момент торможения и компенсирующий момент.

2. Начертить векторную диаграмму токов и напряжений для однофазного счётчика и указать порядок её построения.

3. Изучить метод поверки однофазного счётчика, основанный на использовании ваттметра и секундомера, указать цель проводимой поверки и требования, предъявляемые к исправному счётчику.

4. Привести выражения, по которым могут быть рассчитаны номинальная и действительная постоянные счётчика, указать физический смысл постоянных.

5. Привести выражение для определения относительной погрешности счётчика и указать назначение каждого из членов данного выражения.

6. Дать определение самохода счётчика, указать требования, предъявляемые к исправному счётчику по величине самохода, и способы его устранения.

7. Привести схемы включения однофазного счётчика непосредственно в измеряемую цепь и через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

8. Показать конструктивные особенности и схемы включения трёхфазных двух- и трёхэлементных индукционных счётчиков электрической энергии.

Подготовка к проведению эксперимента.

Счётчики электрической энергии подлежат поверке одним из следующих методов:

1) с использованием ваттметра и секундомера, при котором определяется действительное значение электрической энергии, вызвавшей вращение диска счётчика на заданное число оборотов;

2) с использованием образцового счётчика, при котором показания поверяемого счётчика сравниваются с показаниями образцового.

Независимо от метода поверки применяемые образцовые средства измерений должны обеспечивать определение действительного значения энергии с погрешностью, не превышающей $1/4$ допустимой погрешности поверяемого счётчика.

Поверка счётчика должна производиться в нормальных условиях.

Для счётчиков классов 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 нормальными считаются условия, при которых отклонение счётчика от вертикального положения не превышает 1° , отклонение температуры окружающего воздуха не более чем $\pm 3^\circ\text{C}$ от 20°C , отклонение напряжения питания счётчика не более чем на $\pm 1\%$ номинального значения напряжения питания и т.д.

В данной работе производится частичная поверка однофазного счётчика активной энергии методом, предусматривающим применение ваттметра и секундомера, и позволяющая проверить счётчик на отсутствие самохода, определить порог чувствительности и погрешность при различных по величине токах нагрузки и коэффициенте мощности $\cos\phi = 1$.

1. Ознакомиться с приборами, входящими в комплект лабораторной установки и записать их технические характеристики.

2. Для проверки счётчика на отсутствие самохода в данной схеме используется цифровой вольтметр V переменного тока.

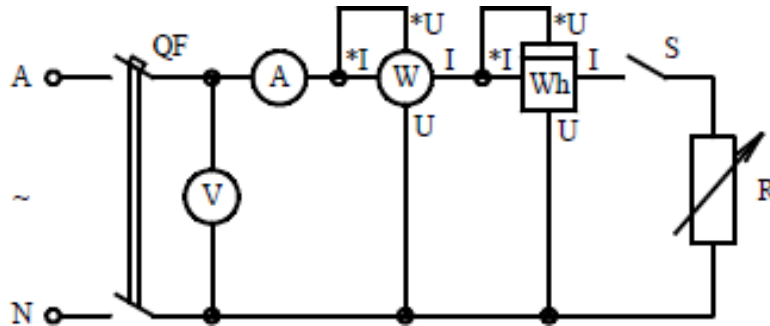


Рис. 2.7

При отсутствии тока нагрузки (токовая обмотка счётчика отключена – выключатель S разомкнут) с помощью регулятора напряжения установить напряжение питания счётчика, равное $110\% U_{\text{ном}}$. Если при этом диск счётчика не совершает более одного полного оборота, то самоход счётчика отсутствует.

3. Для определения порога чувствительности счётчика в схеме используется цифровой амперметр A и цифровой вольтметр V переменного тока.

Установить максимальное значение сопротивления регулируемого резистора R и номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$. При этом диск счётчика должен быть неподвижен. Далее путём плавного уменьшения сопротивления добиться начала движения и непрерывного, без толчков, вращения диска.

Соответствующее началу непрерывного движения диска значение тока нагрузки $I_{\text{порог}}$ внести в отчёт.

4. Для определения относительной погрешности счётчика установить напряжение равное номинальному $U_{\text{ном}}$ и при токе нагрузки $I = I_{\text{ном}} = 5 \text{ A}$.

Установку значения тока I осуществить путём изменения величины сопротивления регулируемого резистора R .

5. После прогрева схемы с помощью секундомера измерить время вращения диска счётчика при совершении им N целых оборотов. Число N

$$W_{\text{сч}} = C_{\text{ном}} \cdot N,$$
$$C_{\text{HOM}} = (3600 \cdot 1000)/N_0,$$
$$W = P_w \cdot t_H,$$
$$P_w = C_w \cdot a,$$
$$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W}{W} \cdot 100\%.$$
[illegible]

9. П.п. 4, 5, 6, 7, 8 повторить при токах нагрузки I , равных 1, 2, 3, 4 А.

10. Сделать заключение о допустимости определённых выше параметров счётчика с учётом обозначенного на лицевой панели поверяемого счётчика класса точности.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе
Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Способы создания в индукционных счётчиках электрической энергии вращающего момента и момента торможения.
2. Цель и способы создания в индукционных счётчиках электрической энергии компенсирующего момента.
3. Понятие самохода индукционного счётчика и способы его устранения.
4. Номинальная и действительная постоянные счётчика, что характеризуют и от чего зависят?
5. Отличие трёхфазных индукционных счётчиков электрической энергии от однофазных.
6. Погрешность, определяющая класс точности счётчиков.
7. Отличие трёхфазных счётчиков реактивной энергии от трёхэлементных трёхфазных счётчиков активной энергии.
8. Особенности схем включения трёхфазных двух- и трёхэлементных счётчиков активной энергии.
9. Особенности поверки счётчиков электрической энергии методом ваттметра и секундомера.
10. Особенности поверки счётчиков электрической энергии с использованием образцового счётчика.?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Физические явления, используемые при высокоточных измерениях. (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. В ходе освоения темы занятия изучаются основные физические величины и их эталоны, что позволяет выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством, а также проводить изучение и анализ необходимой информации, технических данных, показателей и результатов работы, их обобщение и систематизацию.
2. Проводить изучение и анализ необходимой информации, технических данных, показателей и результатов работы, их обобщение и систематизацию.

Теоретическое обоснование

Явление сверхпроводимости было обнаружено в 1911 г.

Камерлинг-Оннесом, когда опыты показали, что электрическое сопротивление ртути при температуре 4,15 К скачкообразно обращается в нуль. Далее это явление было обнаружено и для ряда металлов и сплавов. Температура, при которой происходит переход в сверхпроводящее состояние, называется критической температурой.

Для сверхпроводящего состояния характерно то, что магнитное поле не проникает в толщу сверхпроводника (эффект Мейсснера) и сверхпроводник является качественным диамагнетиком.

В 1986 - 87 гг. был обнаружен ряд высокотемпературных проводников с критической температурой порядка 100 К. Такая температура достигается с помощью жидкого азота. Все открытые до сих пор высокотемпературные сверхпроводники принадлежат к группе металлооксидной керамики. Исследование уже открытых и поиск новых высокотемпературных сверхпроводников производится очень интенсивно.

В 1962 г. Брайан Джозефсон предсказал на основе теории сверхпроводимости существование явления, получившего название эффекта Джозефсона. Этот эффект заключается в протекании сверхпроводящего тока

через тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника. Этот слой называется контактом Джозефсона и обычно представляет собой пленку окиси металла толщиной порядка 1 нм. Электроны проводимости проходят через диэлектрический контакт, благодаря туннельному эффекту. Если ток через контакт Джозефсона превышает критическое значение, наблюдается нестационарный эффект. В этом случае на контакте возникает падение напряжения U и контакт начинает излучать электромагнитные волны с частотой $\omega = 2e \cdot U / \hbar$.

В эффекте Джозефсона непосредственно проявляется важнейшее свойство сверхпроводника - согласованное поведение его электронов. Эффект Джозефсона нашел применение для создания уникальных по точности приборов для измерения малых токов (до 10^{-10} А), напряжений (до 10^{-15} В), магнитных полей (до 10^{-18} Тл) и др.

Эффект Холла был обнаружен в 1879 г., и он заключается в том, что если металлическую пластинку, вдоль которой течет постоянный электрический ток, поместить в перпендикулярное к ней магнитное поле, то между гранями, параллельными направлениям тока и поля, возникает разность потенциалов:

Уже созданы усилители и АЦП с порогом чувствительности 10-14 В, тесламетры и градиентометры с порогом чувствительности соответственно 10^{-15} Тл Гц $^{-1/2}$ на основе эффекта Джозефсона.

Применение сверхпроводящего термошумового датчика на основе эффекта Джозефсона позволяет распространить термошумовой метод на измерение сверхнизких температур. В этом случае переход Джозефсона используется как преобразователь напряжение - частота, т.е. преобразует напряжение тепловых шумов в переменный ток с определенной частотой.

Практически с помощью эффекта Джозефсона можно измерять температуру в диапазоне 10 мК - 10 К с точностью порядка 1% при усреднении результатов измерений в течение нескольких минут.

Интерференция электромагнитных волн

Этот способ измерения линейных и угловых размеров и перемещений основан на сравнении измеряемой ФВ с пространственной естественной шкалой электромагнитных или акустических волн с использованием

интерференционных эффектов, обусловленных волновой природой излучения. Существуют различные модификации этого способа и многочисленные типы интерферометров. Наиболее широко развиты методы оптической интерферометрии, точность и области применения которых, существенно увеличены в результате применения лазерных источников излучения. Способ лазерной интерферометрии основан на сравнении измеряемого размера с длиной волны излучения от стабилизированного по частоте лазера и широко используется в машиностроении.

Процедура измерений заключается в определении числа длин волн укладывающихся на измеряемом размере.

Для измерения очень малых линейных и угловых размеров применяется метод голографической интерферометрии, основанный на использовании естественной периодичности атомных плоскостей в совершенных монокристаллах. Примером лазерного интерферометра является двухлучевой интерферометр Майкельсона.

Другой тип подобного СИ - интерферометр с двухчастотным гелий-неоновым лазером.

Современные лазерные интерферометры представляют собой **многоцелевую измерительную систему**, позволяющую в условиях промышленного производства с высокой точностью измерять длину, **плоскостность, линейные и угловые перемещения, скорость перемещения объектов** и др. Наличие сменных блоков позволяет реализовать эту multifunctionality данного СИ.

Способ рентгеновской интерферометрии основан на применении естественной периодичности атомных плоскостей в совершенных монокристаллах кремния или германия, которые используются в качестве дифракционной решетки с делениями в виде плоскостей, на которых дифрагирует рентгеновское излучение. В качестве меры малой длины используется в данном СИ расстояние между атомными плоскостями, являющиеся характерным параметром кристаллической решетки. Рентгеновская интерферометрия позволяет определять, например, искажение структуры кристаллов, а применение ее для измерения межплоскостного

расстояния в монокристаллах с точностью 10^{-8} позволяет повысить точность определения постоянной Авогадро, что имеет значение для уточнения ряда физических констант и для создания естественного эталона массы, основанного на атомной единице массы.

Голографический способ применяется для решения ряда задач в науке, биологии и изобразительном искусстве, его можно использовать для измерения геометрических размеров, деформаций, параметров шероховатостей, виброперемещений и т.д. Голография - это метод получения объемного изображения объектов путем одновременной регистрации амплитуды и фазы рассеянной исследуемым объектом волны электромагнитного излучения. Наиболее развита оптическая голография с использованием когерентного лазерного излучения. В основе голографии лежат явления дифракции и интерференции волн. Достоинствами голографического способа являются высокая чувствительность и возможность его применения для измерения параметров различных объектов в статике и динамике. Голограмма представляет собой сложную дифракционную решетку.

Голографический способ дает возможность определять геометрические параметры трехмерных объектов по восстановленному изображению на голограмме, являющейся пространственной оптической моделью исследуемого объекта. В частности, можно осуществить бесконтактное измерение параметров рельефа различных объектов. Сущность таких измерений заключается в получении путем интерференции на голограмме контурных линий равного уровня, образующих естественную шкалу размеров (уровней), цена деления которой определяется длиной волны источника излучения.

Электромагнитная индукция

В соответствии с законом электромагнитной индукции, ЭДС, индуцируемая в контуре, определяется формулой:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

где Φ - магнитный поток сквозь поверхность ограниченную контуром.

Как видно из этого выражения, естественной входной величиной СИ, основанных на индукционном способе, является скорость изменения

магнитного потока, пронизывающего индукционный измерительный преобразователь, который обычно выполняется в виде многовитковой катушки (измерительной катушки) или ферромагнитного сердечника с одной или несколькими обмотками.

Индукционный способ можно использовать для измерения параметров как переменных, так и постоянных магнитных полей, поскольку магнитный поток, пронизывающий контур индукционного преобразователя, может изменяться как из-за изменения самого измеряемого потока, так и вследствие изменения во времени параметров преобразователя (угол α между нормалью к плоскости витков и вектором магнитной индукции, площадь контура S , относительная магнитная проницаемость сердечника μ , коэффициент размагничивания сердечника N).

Достоинствами СИ, основанных на индукционном способе, является линейность функции преобразования в широком диапазоне измерений, высокая стабильность характеристик, малая температурная ошибка, применимость для измерения параметров как постоянных, так и переменных магнитных полей в широком диапазоне частот.

Индукционный способ позволяет также измерять магнитную индукцию и напряженность магнитного поля.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

Изучить теоретический материал.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Что означает процесс воспроизведения единиц физических величин?
2. Назовите физические явления, используемые при высокоточных измерениях.
3. Какие явления оптики используются при высокоточных измерениях.
4. Какие законы электромагнетизма используются для высокоточных измерений? Почему?

Примерные темы для рефератов.

1. Применение эффекта Джозефсона для высокоточных измерений.
2. Применение эффекта Мейснера для высокоточных измерений.
3. Применение явления интерференции для высокоточных измерений.
4. Применение голографических методов для высокоточных измерений.
5. Применение электромагнитной индукции для высокоточных измерений.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме:

1. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 559 с. : ил. ; 24. - (Высшее образование). - Предм. указ.: с. 537-549. - ISBN 978-5-4468-2023-8.
3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Константы и эталоны (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. В ходе освоения темы практического занятия изучаются основные физические величины и их эталоны, что позволяет выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством.

2. Провести изучение и анализ необходимой информации, технических данных, показателей и результатов работы, их обобщение и систематизацию.

Теоретическое обоснование

Основные физические величины и универсальные константы

Общепринятые или установленные законодательным путем характеристики (меры) различных свойств, общих в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальных для каждого из них, называются физическими величинами (ФВ.). Это длина, время, температура, масса, давление, скорость и т.д.

Числовые значения измеряемых ФВ зависят от того, какие используются единицы измерений. Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся, несопоставимы между собой, т.е. нарушится **единство измерений**. Чтобы этого не произошло, единицы измерений устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем.

Совокупность единиц измерений основных и производных величин называется системой единиц.

XI Генеральная конференция по мерам и весам в 1960 г. приняла Международную систему единиц ФВ, получившую у нас в стране сокращенное обозначение СИ.

Основными единицами СИ являются: метр (единица длины); килограмм (единица массы); секунда (единица времени); ампер (единица силы электрического тока); кельвин (единица термодинамической температуры); кандела (единица силы света); моль (единица количества вещества).

Производные единицы СИ образуются из основных и дополнительных по определенным правилам.

Универсальные физические постоянные – это величины, входящие в качестве количественных коэффициентов в математические выражения фундаментальных физических законов или являющиеся характеристиками микрообъектов.

Таблица 4.1 Универсальные физические постоянные

Наименование	Символ	Числовое значение в СИ
Гравитационная постоянная	G	$6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2 \text{ кг}^{-2}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Фарадея	F	$9,648456 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Заряд электрона	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Скорость света в вакууме	c	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Постоянная Ридберга	R_∞	$1,0973731 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$

Рассматривая таблицу, можно заметить, что значения констант измерены с большой точностью. Однако возможно более точное знание величины той или иной константы оказывается принципиально важным для науки, поскольку это часто является критерием справедливости одной физической теории или ошибочности, другой. Надежно измеренные экспериментальные данные являются фундаментом для построения новых теорий.

Точность измерения физических констант представляет собой точность наших знаний о свойствах окружающего мира. Она дает возможность сравнивать выводы основных законов физики и химии.

Гравитационная постоянная

Все тела падают на Землю с одинаковым ускорением – вот основной вывод из опытов Галилея. Он же измерил и значение ускорение свободного падения, которое с учетом последующих уточнений оказалось равным: $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Исаак Ньютон (1642-1727) в 23 –летнем возрасте пришел к выводу, что движение планет происходит под действием радиальной силы притяжения, направленной к солнцу и по модулю обратно пропорциональной квадрату расстояния между Солнцем и планетой.

Но это предположение необходимо было проверить Ньютон, предположив, что такая же по происхождению сила тяготения удерживает около Земли ее спутник – Луну, выполнил несложный расчет. Он исходил из следующего, Луна движется вокруг Солнца по орбите, которую в первом приближении можно считать круговой. Ее центростремительное ускорение a , можно рассчитать по формуле

$$a = r\omega^2$$

где r -расстояние от Земли до Луны, а ω - угловое ускорение Луны. Величина r равна шестидесяти земным радиусам ($R_z=6370 \text{ км}$). Ускорение ω рассчитывается из периода обращения Луны вокруг Земли, который равен 27,3 сут: $\omega = 2\pi \text{ рад}/27,3 \text{ сут}$.

Тогда ускорение a равно: $a = r\omega^2 = 0,27 \text{ см/с}^2$.

Но если справедливо то, что силы тяготения убывают обратно пропорционально квадрату расстояния, то ускорения свободного падения g_L на Луне должно быть:

$$g_L = g / (60)^2 = 980 / 3600 \text{ см/с}^2 = 0,27 \text{ см/с}^2.$$

В результате расчетов получено равенство $a = g_L$, т.е. сила, удерживающая Луну на орбите, есть не что иное как сила притяжения Луны Землей. Это же равенство показывает справедливость предположений

Ньютона о характере изменения силы с расстоянием. Все это дало основание Ньютону записать закон тяготения в окончательном математическом виде

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

где F —сила взаимного притяжения, действующая между двумя массами M_1 и M_2 , удаленными друг от друга на расстояние r .

Коэффициент G входящий в закон всемирного тяготения, пока еще таинственная гравитационная постоянная. О ней ничего неизвестно - ни ее значение, ни зависимость от свойств притягивающихся тел.

Поскольку этот закон был сформулирован Ньютоном одновременно с законами движения тел (законами динамики), ученые получили возможность теоретически рассчитывать орбиты планет.

Несмотря на очевидные успехи, теория тяготения Ньютона еще долгое время не была признана окончательно. Было известно значение постоянной тяготения G в формуле закона.

В 1798 г. английский физик Г. Кавендиш обнаружил притяжение между небольшими телами в земных условиях. Два маленьких свинцовых шарика массами по 730 г. подвешивали на концах коромысла. Затем к этим шарикам подводили два больших свинцовых шара массами по 158 кг. В этих экспериментах Кавендиш впервые наблюдал притяжение тел друг другу. Он же экспериментально определил значение гравитационной постоянной:

$$G=(6,6 + 0,041)*10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{с}^2 \text{ кг})$$

Опыты Кавендиша имеют громадное значение для физики. Во-первых, было измерено значение гравитационной постоянной, а во-вторых, эти опыты доказали всеобщность закона тяготения.

Постоянные Авогадро и Больцмана

Впервые корпускулярную теорию строения вещества, в которой строение материи объяснялось с атомистических позиций, создал английский ученый Р.Бойль (1627-1691).

Французский ученый А.Лавуазье (1743-1794) дал первую в истории науки классификацию химических элементов.

Корпускулярная теория получила дальнейшее развитие в трудах выдающегося английского ученого-химика Дж.Дальтона (1776-1844). В 1803г. Дальтон открыл закон простых кратных отношений, согласно котором различные элементы могут соединиться друг с другом в соотношениях 1:1, 1:2 и т.п.

Парадоксом истории науки является абсолютное непризнание Дальтоном открытого в 1808 г. французским ученым Ж. Гей-Люсаком закона простых объемных отношений.

Согласно этому закону объемы как участвующих в реакции газов, так и газообразных продуктов реакции находятся в простых кратных соотношениях. Это противоречило теории Дальтона, который отвергал закон Гей-Люсака как не соответствующий его атомной теории.

Выход из этого кризисного положения был указан Амедео Авогадро. Он нашел возможность объединить атомистическую теорию Дальтона с законом Гей-Люсака. Гипотеза состоит в том, что число молекул всегда одно и то же в одинаковых объемах любых газов или всегда пропорционально объемам. Авогадро тем самым впервые вводит в науку понятие молекулы как соединение атомов.

Исключительную важность гипотеза Авогадро приобретает в связи с тем, что из нее вытекает существование постоянного числа молекул в моле любого вещества. В самом деле если обозначить молярную массу (массу вещества, взятого в количестве одного моля) через M , а относительную молекулярную массу через m , то очевидно, что

$$M = N_A m$$

где N_A - число молекул в моле. Оно одинаково для всех веществ

$$N_A = \frac{M}{m}.$$

Используя это, можно получить еще один важный результат. Гипотеза Авогадро гласит, что одинаковое число молекул газа всегда занимает одинаковый объем.

Одной из первоочередных задач физики стало определение числа молекул в моле любого вещества N_A , получившего в дальнейшем постоянная Авогадро.

Австрийский ученый Людвиг Больцман (1844-1906), выдающийся физик-теоретик, автор многочисленных фундаментальных исследований в различных областях физики, он горячо отстаивал атомистическую гипотезу.

Больцман впервые рассмотрел важный вопрос о распределении тепловой энергии по различным степеням свободы частиц газа. Он строго показал, что средняя кинетическая энергия частиц газа E пропорциональна абсолютной температуре T .

Коэффициент пропорциональности можно найти, пользуясь основным уравнением молекулярно-кинетической теории:

$$p = \frac{2}{3} n E$$

где n – концентрация молекул газа. Умножив обе части этого равенства на молекулярный объем V . Поскольку $n V$ есть число молекул в моле газа, получим:

$$p V = \frac{2}{3} N_A E.$$

С другой стороны, уравнение состояния идеального газа определяет произведение pV как

$$pV = RT$$

Следовательно, $\frac{2}{3} N_A E = RT$

Отношение R/N_A является постоянной величиной, одинаковой для всех для всех веществ. Эта новая универсальная физическая постоянная получила, по предложению Планка, название *постоянной Больцмана* k

$$k = R/N_A.$$

Заслуги Больцмана в создании молекулярно-кинетической теории газов получили тем самым должное признание.

Численное значение постоянной Больцмана равно $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ Дж/К, а числа Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ Моль⁻¹.

Постоянная Больцмана как бы связывает характеристики микромира (средняя кинетическая энергия частиц E) и характеристики макромира (давление газа и его температуру).

Постоянная Фарадея

Изучение явлений, так или иначе связанных с электроном и его движением, позволили с единых позиций объяснить самые разнообразные физические явления: электричества и магнетизм, свет и электромагнитные колебания. Строение атома и физику элементарных частиц.

Первая работа, в которой была предпринята попытка теоретически объяснить электрические явления, была написана американским физиком В.Франклином в 1747 г. Для объяснения электризации он предложил существование некой «электрической жидкости» (флюида), которая входит в качестве составной части во всякую материю. Наличие двух видов электричества он связывал с существованием двух типов жидкостей «положительной» и «отрицательной». Обнаружив, что при трении друг о друга стекло и шелк электризуются по-разному.

Основными понятиями в науке об электричестве удалось сформулировать лишь после того, как появились первые количественные исследования. Измеряя силу взаимодействия электрических зарядов, французский ученый Ш. Кулон в 1785 г. установил закон взаимодействия электрических зарядов.

Трудности с использованием электрических явлений во многом были вызваны тем, что в распоряжении ученых не было удобного источника электрического тока. Такой источник в 1800 г. изобрел итальянский ученый А.Вольта – это был столб из цинковых и серебряных кружочков,

разделенных смоченной в подсоленной воде бумагой. Начались интенсивные исследования прохождения тока через различные вещества.

Уже в 1801 г. было установлено, что при пропускании тока через растворы солей на электродах происходит выделение вещества. Полученное явление было названо электролизом, оно содержало в себе первые указания на то, что материя и электричество связано друг с другом. Важнейшие количественные исследования в области электролиза выполнил величайший английский физик М.Фарадей (1791-1867). Он установил, что масса вещества, выделившегося на электроде при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени (закон электролиза Фарадея). Исходя из этого, он показал, что для выделения на электродах массы вещества, численно равной M/p (M - молярная масса вещества, p - его валентность), нужно пропустить через электролит строго определенный заряд F . Таким образом, в физике появилась еще одна важнейшая универсальная константа F , равная как показали измерения, $F=96484,5$ Кл/моль.

Впоследствии постоянная F была названа числом Фарадея. Анализ явления электролиза привел Фарадея к мысли, что носителем электрических сил являются не какие-либо электрические жидкости, а атомы - частицы материи.

Фарадей впервые обнаружил влияние среды на взаимодействие электрических зарядов и уточнил вид закона Кулона, введя понятие ε - характеристики среды, так называемой диэлектрической постоянной. На основании этих исследований Фарадей отверг действие электрических зарядов на расстоянии (без промежуточной среды) и ввел в физику совершенно новое и важнейшее представление о том, что носителем и передатчиком электрического влияния является электрическое поле.

Заряд и масса электрона

Эксперименты по определению постоянной Фарадея заставили физиков думать о том, не слишком ли большое значение придается характеристикам электрического поля. Не существует ли более конкретный, более материальный носитель электричества? Впервые эту мысль четко в 1881 г. выразил Г.Гельмольц: «Если мы допускаем существование химических атомов, то мы принуждены заключить отсюда далее, что также и электричество, как

23

положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные количества, которые играют роль атомов электричества».

Расчет этого «определенного элементарного количества электричества» выполнил ирландский физик Дж. Стоней (1826-1911). Он предельно прост. Если для выделения одного моля одновалентного элемента при электролизе требуется заряд, равный 96484,5 Кл, а в одном моле содержится $6 \cdot 10^{23}$ атомов, то очевидно, что разделив число Фарадея F на число Авогадро N_A , мы получаем количество электричества, необходимое для выделения одного атома вещества. Обозначим эту минимальную порцию электричества через e :

$$e = F / N_A = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

В 1891 г. Стоней предложил назвать эту минимальную порцию электричества электроном. Вскоре это было принято всеми.

Универсальные физические постоянные F и N_A - в соединении с интеллектуальными усилиями ученых вызвали к жизни еще одну постоянную – заряд электрона e .

Честь прямого измерения заряда электрона и доказательства того, что этот заряд действительно является мельчайшей неделимой порцией электричества, принадлежит замечательному американскому физику Р.Э.Милликену.

Скорость света

Впервые метод прямого измерения скорости света предложил основоположник экспериментальной физики Галилей. Его идея была очень проста. Два наблюдателя с фонарями располагались на расстоянии нескольких километров друг от друга. Первый открывал заслонку на фонаре, посылая в направлении второго световой сигнал. Второй заметив свет фонаря, открывал заслонку своего и посылал сигнал в сторону первого наблюдателя. Первый наблюдатель измерял время t , прошедшее между открытием им своего фонаря и временем, когда он заметил свет второго фонаря. Скорость света c , очевидно равна:

$$c = 2s/t$$

где S - расстояние между наблюдателями, t – измеренное время.

Однако первые опыты, предпринятые во Флоренции по этому методу, не дали однозначных результатов. Уж очень малым и трудным для измерения оказался промежуток времени t . Все же из опытов следовало, что скорость света конечна.

Честь первого измерения скорости света принадлежит датскому астроному О. Ремеру. Проводя в 1676 г. наблюдения затмения спутника Юпитера, он заметил, что когда Земля находится на отдаленной от Юпитера точке своей орбиты, спутник Ио появляется из тени Юпитера на 22 мин позже. Объясняя это, Ремер писал: «Это время свет употребляет на прохождение места от моего первого наблюдения до теперешнего положения». Разделив диаметр земной орбиты D на время запаздывания, можно было получить значение света c .

Во времена Ремера, D было известно неточно, поэтому из его измерений следовало, что $c \approx 215000$ км/с. В дальнейшем были уточнены как значение D , так и время запаздывания, поэтому теперь, пользуясь методом Ремера, мы получили бы $c \approx 300\,000$ км/с.

Спустя почти 200 лет после Ремера скорость света была впервые измерена в земных лабораториях. Это сделал в 1849г. француз Л. Физо. Его

метод в принципе не отличался от метода Галилея, только второй наблюдатель был заменен отражающим зеркалом, а вместо заслонки, открываемой рукой было применено быстро вращающееся зубчатое колесо.

Однако при измерениях на больших расстояниях могла возникнуть ошибка за счет неоднородности воздуха. Чтобы устранить эту ошибку, Майкельсон в 1932 г. измерил скорость света методом вращающейся призмы, но при распространении света в трубе, из которой был выкачан воздух, и получил

$$c=299774 \pm 2 \text{ км/с.}$$

Развитие науки и техники позволило внести в старые методы некоторые улучшения и разработать принципиально новые. Так в 1928 г. вращающееся зубчатое колесо заменяется безынерционным электрическим прерывателем света, при этом

$$c=299788 \pm 20 \text{ км/с.}$$

С развитием радиолокации возникли новые возможности для измерения скорости света. Аслаксон, используя этот метод в 1948 г. получил значение $c = 299792 \pm 1,4 \text{ км/с}$, а Эссен методом интерференции микроволн-

$$c = 299792 \pm 3 \text{ км/с.}$$

Постоянные Планка и Ридберга

В отличие от многих других универсальных физических постоянных постоянная Планка имеет точную дату своего рождения- 14 декабря 1900 г. В этот день М.Планк в Немецком физическом обществе сделал доклад, где для объяснения излучательной способности абсолютно черного тела фигурировала новая для физиков величина h . Исходя из экспериментальных данных, Планк вычислил ее значение:

$$h= 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с.}$$

Один из пионеров изучения этой проблемы – немецкий физик Г.Кирхгоф в 1859г. установил правило: когда какая –либо физическая

постоянная приходит в тепловое равновесие, поглощаемая телом энергия и отдаваемая им в форме излучения становятся равны друг другу.

В дальнейшем после выяснения ее физического смысла она была названа постоянной Планка и под этим именем вошла в таблицу универсальных физических постоянных.

В 1905г. появилась работа Эйнштейна, посвященная фотоэффекту. Это была первая – после Планка – работа, в которой нашла применение новая постоянная h . Энергия светового кванта, заключает Эйнштейн, определяется соотношением:

$$E = h\nu.$$

Если Планк изменил лишь трактовку процесса испускания и поглощения, то Эйнштейн решительно опроверг положения классической физики. Электромагнитное поле прерывно и стоит из отдельных квантов, утверждал он.

Прямые экспериментальные проверки уравнения Эйнштейна завершились доказательством его справедливости. В 1922 г. Эйнштейну «За открытие закона фотоэлектрического эффекта и за работы в области теоретической физики»

26

присуждают Нобелевскую премию. Квантовые представления завоевали прочное место в науке.

Между теми многочисленными исследованиями спектры излучения атомов надежно показали, что они представляют собой совокупность дискретных линий, характерных для каждого атома. Вслед за ранними исследованиями спектров различных элементов появились и первые попытки найти определенные закономерности в расположении спектральных линий. В 1885 г. И.Бальмер установил, что длины волн, соответствуют некоторым линиям спектра водорода, хорошо описываются математически.

В дальнейшем Ю.Ридберг показал, что расположение линий в спектрах многих элементов подчиняется закономерностям, вытекающим из формулы:

$$\nu = cR_{\infty} (1/4 - 1/n^2),$$

где R_{∞} - постоянная введения Ридбергом и равна

$$R_{\infty} = 10973731 \text{ м}^{-1}.$$

Эта постоянная R_{∞} названная впоследствии постоянной Ридберга

Мы изучили 9 констант, общее число их значительно больше. Разделение констант на две группы, характеризующие макро- и микромир, противоречит принципиальному единству природы, которое предполагает наличие связей между константами различных групп. В ряде случаев эти связи найдены. Например, константа Больцмана k определяется через универсальную газовую постоянную R и постоянную Авогадро N_A . Но ряд важнейших постоянных (например, гравитационная постоянная G , постоянная Авогадро N_A , скорость света c , заряд электрона e , постоянная планка h) никак не связаны между собой. Проблема науки – отыскать эти внутренние связи между ними, найти пути единого описания природы.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Лабораторная работа выполняется на стенде.

Эталоны единиц измерения

Рассмотрим основные единицы измерений:

- единица длины – метр, равен длине пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды;

27

- единица массы – килограмм, равен массе международного прототипа килограмма, представляющего собой цилиндр из сплава платины и иридия;

- единица времени – секунда, равна продолжительности 9192631770 периодов излучения, соответствующих переходу между двумя сверхтонкими

уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;

- единица силы электрического тока – ампер, равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н;

- единица термодинамической температуры – кельвин, равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды (допускается также применение шкалы Цельсия);

- единица количества вещества – моль, количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в углероде-12 массой 0,012 кг;

- единица силы света – кандела, сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср (ватт на стерадиан).

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1. Кроме того, все студенты обязаны соблюдать следующие требования техники безопасности:

Методика и порядок выполнения работы

Изучить теоретический материал.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Что такое универсальные константы?
2. Что такое основные физические величины?

3. Сколько основных физических величин в системе СИ?
4. Что такое система СИ?
5. Какие эталоны физических величин вы знаете?

Примерный список тем для рефератов:

1. Эталон длины.
2. Эталон времени.
3. Эталон массы.
4. Эталон силы тока.
5. Эталон термодинамической температуры.
6. Эталон количества вещества.
7. Эталон силы света.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме:

1. Ахмеджанов Р.А. Физические основы получения информации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ахмеджанов Р.А., Чередов А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013.— 212 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26844>.— ЭБС «IPRbooks».

2. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стьюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».

3. Тарбеев А.В. Эталоны единиц основных физических величин: Учебное пособие. - Л.: СЗПИ. 1983.

4. Камке Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения: Учебное пособие. - М.: Мир. 1980.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

Резонансные явления, используемые при высокоточных измерениях (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Изучение эффекта Фарадея. Эффекты Керра и Поккельса.
2. Изучение Пьезоэффекта. Эффекта Доплера.

Теоретическое обоснование

Эффект Фарадея

Эффект Фарадея заключается во вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света в оптически активных веществах под действием магнитного поля. Угол поворота плоскости поляризации света

$$Q = C_V B l,$$

где C_V - постоянная Верде; l - длина пути света в веществе; B - магнитная индукция.

Измеряя угол поворота плоскости поляризации света, можно определить индукцию магнитного поля или силу тока, если преобразователь поместить в магнитном поле измеряемого тока.

Эффекты Керра и Поккельса

Измерение напряжения с использованием электрооптических эффектов Керра и Поккельса основано на возникновении двулучепреломления поляризованного света, распространяющегося в электрическом поле, создаваемом измеряемым напряжением.

Возникновение квадратичного эффекта Керра можно пояснить следующим образом. Поляризованный луч света, образуемый с помощью источника света и поляризатора, проходит через электрическое поле, создаваемое конденсатором, к электродам которого приложено измеряемое напряжение U_x . При этом луч света направлен перпендикулярно вектору напряженности этого поля. После анализатора свет попадает в фотоприемник, где он преобразуется в электрический сигнал, измеряемый прибором. Интенсивность света на выходе преобразователя Керра определяется выражением

$$I_k = I_0 \sin^2(\pi C_k l_k U_x^2 / d^2),$$

где l_k - эффективная длина преобразования;

d - расстояния между электродами преобразователя Керра;

C_k - коэффициент Керра;

I_0 - интенсивность света на входе преобразователя.

Таким образом, интенсивность света на выходе преобразователя связана с измеряемым напряжением U_x .

Линейный электрооптический эффект Поккельса наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, находящихся в электрическом поле, и применяется для измерения напряжения.

Интенсивность света на выходе преобразователя Поккельса определяется из выражения

$$I_n = I_0 \sin^2(\pi r n_0^3 U_x / \lambda),$$

где r - электрооптический коэффициент кристалла; n_0 - его показатель преломления при отсутствии электрического поля; λ - длина волны излучения лазера.

Пьезоэффект

Прямой пьезоэффект заключается в электризации кристаллических тел под действием механических напряжений и широко используется для измерения сил и давлений. Поскольку преобразование механического напряжения в электрический заряд осуществляется достаточно точно, а собственная частота пьезоэлектрических преобразователей достаточно высока (20-200 кГц), то на их основе выпускаются весьма точные СИ для определения быстропеременных сил и давлений.

Высокими характеристиками обладают манометры с пьезорезонансными преобразователями, основанными на изменении частоты резонатора под действием механического усилия, а также динамометры для измерения сил.

В многокомпонентных динамометрах находит применение упругий элемент в виде параллелограмма.

Эффект Доплера

Для измерения скоростей подвижных объектов, жидких, газообразных и сыпучих сред, а также для измерения параметров вибраций широкое применение находят способы, основанные на использовании эффекта Доплера. Эти способы используются для измерения скоростей в широком диапазоне - от 0,001 мкм/с до скоростей, близких к скорости света.

Эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты излучения при движении его источника или приемника, нашел широкое применение в акустике, радиофизике, оптике, а также для ряда прикладных целей, особенно для измерения параметров движения. Относительное изменение частоты излучения пропорционально отношению измеряемой скорости к скорости распространения колебаний.

Для измерения скорости на основе эффекта Доплера применяются излучения в широком спектра частот - от ультразвуковых колебаний до γ -излучения. Достоинствами способа являются бесконтактность, высокая чувствительность и точность, возможность сканирования и измерения локальных скоростей отдельных частиц, размеры которых ограничены дифракционным пределом. Все это обеспечивает возможность не только измерять скорости, но также определять топографию поля скоростей сложных потоков или получать пространственные виброграммы. Для измерения скорости жидких и газообразных сред необходимо наличие в этих средах инородных частиц (твердые частицы или пузырьки), отражающих направленное на них излучение.

Эффект Доплера широко используется для измерений в радиочастотном диапазоне. СИ, основанные на эффекте Доплера, обычно содержат источник излучения, фокусирующие системы, приемник излучения и средства обработки и регистрации сигнала.

Аппаратура, оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 3.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

Ознакомиться с теоретическим материалом.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Что означает процесс воспроизведения единиц физических величин?
2. Назовите физические явления, используемые при высокоточных измерениях.
3. Какие явления физики используются при высокоточных измерениях напряжения и силы тока?.

Примерные темы для рефератов.

1. Применение эффекта Доплера для высокоточных измерений.
2. Применение эффекта Керра и Поггеля для высокоточных измерений.
3. Применение пьезоэффекта для высокоточных измерений.
4. Применение эффекта Фарадея для высокоточных измерений.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме:

1. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. -

21-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 559 с. : ил. ; 24. - (Высшее образование). - Предм. указ.: с. 537-549. - ISBN 978-5-4468-2023-8.

3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

Фундаментальные физические законы, используемые в измерительной технике (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством.
2. Выбирать средства измерений и контроля.

Теоретическое обоснование

Использование в измерительной технике законов механики

В таблице приведены основные сведения о типовых физических законах, используемых в измерительной технике

Типовые физические законы, используемые в измерительной технике

№п/п	Название закона	Формулировка закона	Типовые средства измерений
1.	Первый закон Ньютона (закон инерции)	Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние	
2.	Второй закон Ньютона	Скорость изменения импульса частицы равна действующей на частицу силе F: $\frac{dp}{dt} = F; \quad F = ma$ где m - масса; a - ускорение	Весы; акселерометры; деселерометры.
3.	Закон Архимеда	Поддерживающая сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, равна весу жидкости в объеме, занимаемом телом, направлена вертикально вверх и приложена в центре тяжести этого объема: $F_A = \rho g V$ где ρ - плотность жидкости; V - объем тела.	Ареометры; уровнемеры; измерители удельного веса.
4.	Закон Паскаля	Давление во всех точках жидкости одинаково	Жидкостные манометры; барометры.
5.	Закон Кулона	Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов пропорциональна величине каждого из зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ где k - коэффициент пропорциональности; q_1 и q_2 — величины двух взаимодействующих зарядов; r – расстояние между зарядами.	Электрометры
6.	Закон Ампера	Сила, действующая на элемент тока dl в магнитном поле с индукцией B: $dF = I [dl, B]$ модуль силы: $ dF = I \cdot B \, dl \sin \alpha,$ где α - угол между векторами dl и B	Электромеханические амперметры, вольтметры магнитоэлектрической системы

Взвешивание основано на использовании закона всемирного тяготения, согласно которому гравитационное поле Земли притягивает массу силой, пропорциональной этой массе. При этом сила притяжения может сравниваться с известной по величине силой, создаваемой различными способами, а именно: а) в качестве уравнивающей силы используется груз известной массы; (этот метод является классическим); б) уравнивающее усилие возникает при растяжении слабой пружины (пружинные весы); в) уравнивающее усилие возникает при деформации достаточно жестких пружинных элементов; такие деформации измеряются преимущественно при помощи тензорезисторных датчиков (электромеханические весы); г) уравнивающее усилие создается электродинамически при помощи соленоидной обмотки, находящейся в постоянном магнитном поле; при этом ток, протекающий по обмотке, является мерой подлежащего взвешиванию груза. В основе всех методов измерений параметров линейного движения твердого тела лежит измерение силы инерции $F_{\text{и}}$, пропорциональной массе m и ускорению a тела:

$$F_{\text{и}} = m \cdot a.$$

С помощью инерциальных СИ измеряется линейное ускорение твердого тела и другие, связанные с ускорением параметры линейного движения. В подобных СИ сила инерции преобразуется в линейное перемещение чувствительного элемента (ЧЭ). Схема прибора инерционного действия приведена на рисунке.

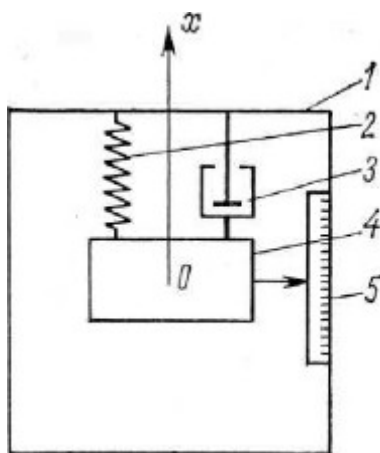


Схема прибора инерционного действия

Чувствительный элемент 4 прибора - твердое тело массой m с помощью упругого элемента - пружины 2 с жесткостью k подвешен в корпусе 1 прибора, укрепленного на движущемся теле. Успокоение ЧЭ производится успокоителем 3, перемещение x чувствительного элемента относительно корпуса определяется по шкале 5. В установившемся положении

$$x = \frac{-m}{k} a$$

где a - составляющая ускорения по направлению оси Ox .

Широкое применение нашли также маятниковые СИ параметров линейного движения, в которых сила инерции преобразуется в угловое перемещение ЧЭ.

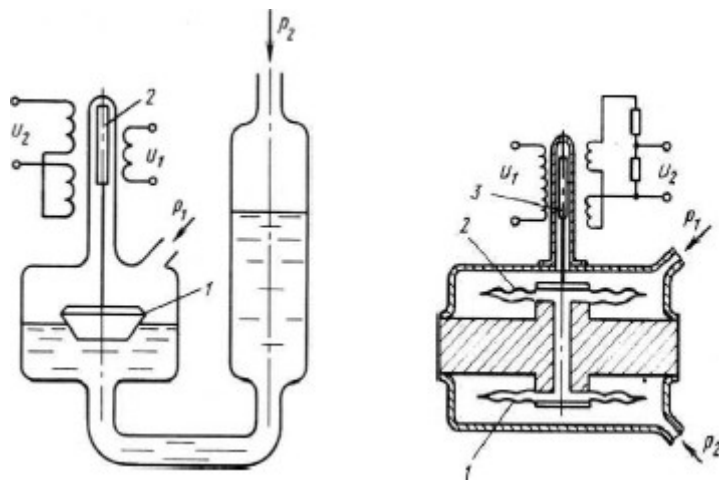
На законе Паскаля основано действие ряда манометров и барометров.

Манометры - СИ давления, и особое применение получили жидкостные манометры. Эти приборы имеют два сообщающихся сосуда, заполненных жидкостью. На поверхность жидкости в одном сосуде действует измеряемое давление, что изменяет уровень жидкости в другом.

Разность давлений Δp пропорциональна разности давлений ($p_1 - p_2$), действующих в одном и другом сосуде:

$$\Delta h = (p_1 - p_2) / \rho g,$$

где ρ - плотность жидкости; g - ускорение силы тяжести.



Жидкостный манометр

С помощью этого дифференциального манометра измеряется разность давлений, но, если во втором сосуде над жидкостью создан вакуум, то манометр измеряет абсолютное давление. Если измеряемое абсолютное давление меньше атмосферного, то разность уровней будет пропорциональна вакууму.

Измерение плотности твердых тел может быть проведено на основании закона Архимеда. Так, для определения удельного веса у однородного тела неправильной формы, объем которого трудно определить при помощи измерения размеров тела, можно поступить следующим образом. Тело дважды взвешивают на весах: в воздухе и в жидкости, плотность которой известна. Пусть первое взвешивание дает показание P_1 , второе – P_2 . Тогда, согласно закону Архимеда, разность $P_2 - P_1$ равна весу жидкости в объеме, равном объему V тела.

Объем тела равен

$$V = \frac{P_2 - P_1}{\rho_a g}.$$

С другой стороны, объем тела равен

$$V = \frac{P_2}{\rho g}$$

где ρ - искомая плотность тела.

Отсюда плотность тела равна:

$$\rho = \frac{P_2}{P_2 - P_1} \rho_a.$$

Также закон Архимеда дает возможность измерить **плотность жидкости**. **Ареометр** представляет собой стеклянный сосуд с грузиком, снабженным длинным отростком, на котором нанесена шкала. При плавании на поверхности жидкости ареометр погружается на большую или на меньшую глубину в зависимости от плотности жидкости. Чем больше плотность жидкости, тем меньше погружается ареометр. Шкала ареометра отградуирована в единицах плотности жидкости (отметки на шкале растут сверху вниз).

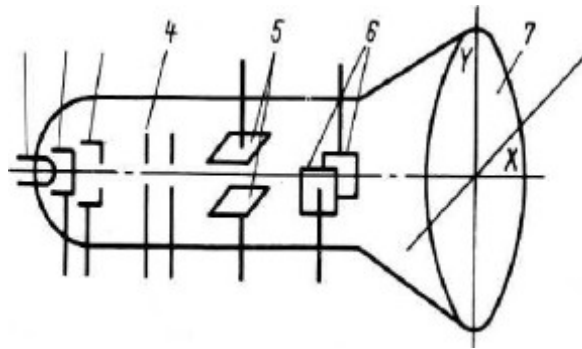
Использование в измерительной технике законов электромагнетизма

На явлении электрического отталкивания заряженных тел устроено устройство о электроскопа - прибора для обнаружения электрических зарядов. Электроскоп состоит из металлического стержня, к которому привешен тонкий алюминиевый или бумажный листочек. Стержень укреплен при помощи эбонитовой или янтарной пробки внутри стеклянной банки, предохраняющей листок от движения воздуха.

Электро метр представляет собой электроскоп, имеющий металлический корпус. Если соединить корпус этого прибора с землей, после чего коснуться его стержня каким-нибудь заряженным телом, то при этом часть заряда перейдет на стержень и листочки электрометра разойдутся на некоторый угол. Такой прибор измеряет разность потенциалов между проводником и землей.

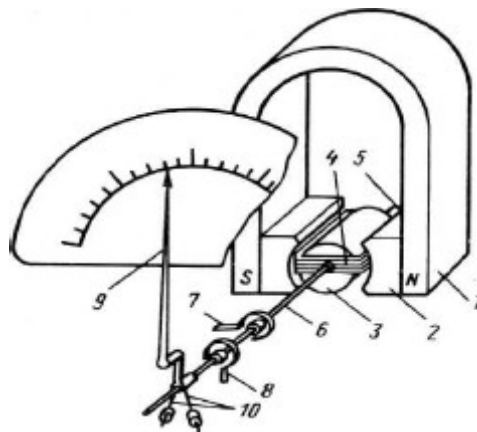
Осциллографом называется прибор, предназначенный для наблюдения, регистрации и измерения параметров исследуемого сигнала, как правило, напряжения, зависящего от времени. Светолучевые осциллографы используют электромеханическое отклонение светового луча под действием исследуемого напряжения.

Электронно-лучевые осциллографы (ЭЛО) строятся на основе электронно-лучевых трубок. Отклонение электронного луча осуществляется непосредственно электрическим сигналом. Основным узлом ЭЛО является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), представляющая собой стеклянную вакуумированную колбу (рис.), внутри которой имеется оксидный катод 1 с подогревателем 2, модулятор 3, аноды 4 и система отклоняющих пластин 5 и 6. Часть ЭЛТ, включающая в себя катод, модулятор и аноды, называется электронной пушкой. Если к отклоняющим пластинам приложить напряжение, то электронный луч отклонится, как показано на следующем рисунке.



Электронно-лучевая трубка

К вертикально отклоняющим пластинам обычно подводится исследуемое напряжение U_y , а к горизонтально отклоняющим - развертывающее напряжение (в данном случае линейно изменяющееся периодическое с периодом T_p). Приборы магнитоэлектрической системы (амперметры, вольтметры и омметры) годны для использования в цепях постоянного тока, а при применении детекторов - и в цепях переменного тока. Принцип действия измерительного механизма магнитоэлектрической системы использует эффект взаимодействия поля постоянного магнита с катушкой (рамкой), по которой протекает ток. На рисунке показана типовая конструкция (с подвижной катушкой).

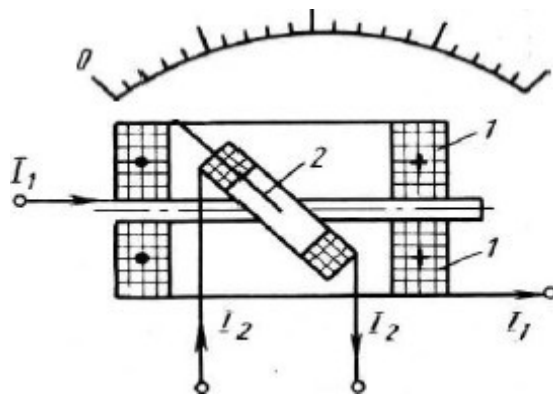


Типовая конструкция с подвижной катушкой

Постоянный магнит 1, магнитопровод с полюсными наконечниками 2 и неподвижный сердечник 3 составляют магнитную систему механизма. В зазоре между полюсными наконечниками и сердечником создается сильное равномерное радиальное магнитное поле, в котором находится подвижная прямоугольная катушка (рамка) 4, намотанная медным или алюминиевым

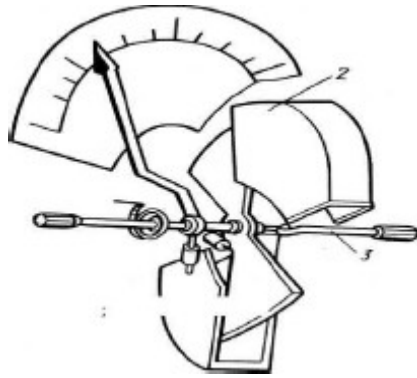
проводом на каркасе. Катушка закреплена между полуосями 5 и 6. Спиральные пружины 7 и 8 предназначены для создания противодействующего момента и, одновременно, для подачи измеряемого тока. Рамка жестко соединена со стрелкой 9. Для балансировки подвижной части имеются передвижные грузики на усиках 10.

Приборы электромагнитной, электродинамической, ферродинамической и электростатической систем широко используются в качестве типовых электромеханических амперметров, вольтметров, ваттметров и частотомеров. Принцип действия электродинамических приборов основан на взаимодействии магнитных полей двух катушек, по которым протекает ток. Устройство подобного измерительного механизма показано на рисунке. Внутри неподвижной катушки 1 может вращаться подвижная катушка 2, ток к которой подается через пружинки.



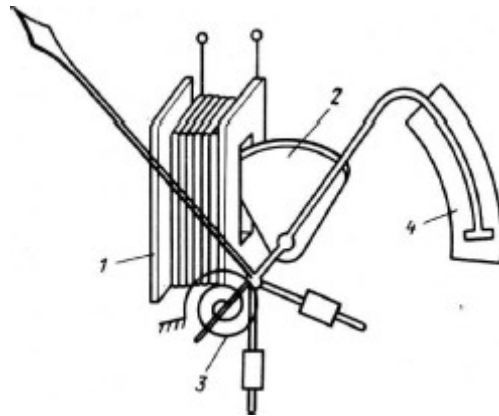
Электромеханический преобразователь электродинамической системы **Ферродинамические измерительные механизмы**, по существу, являются разновидностью электродинамических приборов, от которых они отличаются только по конструкции, поскольку катушка имеет магнитомягкий сердечник (магнитопровод), между полосками которого размещается подвижная катушка. Наличие сердечника значительно увеличивает магнитное поле неподвижной катушки, а следовательно, и чувствительность.

В электростатических приборах осуществляется принцип взаимодействия электрически заряженных проводников. Одна из распространенных конструкций подробного измерительного механизма приведена на рисунке.



Преобразователь электростатической системы

Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого током в неподвижной катушке с подвижным ферромагнитным сердечником. Одна из наиболее распространенных конструкций представлена на рисунке.



Преобразователь электромагнитной системы: 1 - катушка, 2 - сердечник, 3 - спиральная пружина, создающая противодействующий момент, 4 - воздушный успокоитель. Под действием магнитного поля сердечник втягивается внутрь катушки.

Аппаратура, оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 3.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

Ознакомиться с теоретическим материалом.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Объясните применение законов механики при измерениях физических величин.
2. Объясните применение законов Паскаля и Архимеда при измерениях физических величин.
3. Объясните применение закона Кулона при измерениях физических величин.
4. Объясните применение закона Ампера при измерениях физических величин.
5. Объясните применение законов электромагнетизма при измерениях физических величин.

Примерные темы для рефератов:

1. Применение законов Ньютона при измерениях.
2. Применение законов Архимеда при измерениях.
3. Применение закона Паскаля при измерениях.
4. Применение закона Кулона при измерениях.
5. Применение закона Ампера при измерениях.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме:

1. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стьюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 559 с. : ил. ; 24. - (Высшее образование). - Предм. указ.: с. 537-549. - ISBN 978-5-4468-2023-8.

3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

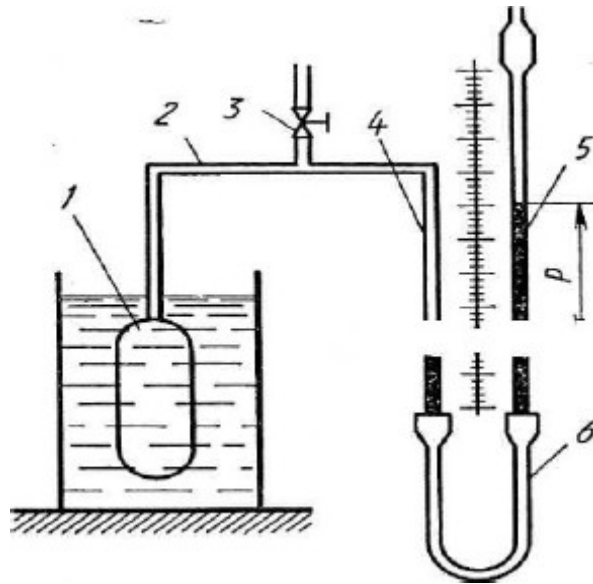
Измерительные преобразователи (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством.
2. Выбирать средства измерений и контроля.

Теоретическое обоснование

Газовые термометры бывают трех типов: постоянного объема, постоянного давления и постоянной температуры. Обычно применяют газовый термометр постоянного объема, в котором изменение температуры газа пропорционально изменению давления. Газовый термометр состоит из баллона 1 и соединительной трубки 2, заполненных через вентиль 3 водородом, гелием или азотом (для высоких температур). Соединительная трубка 2 подсоединена к трубке 4 двухтрубного манометра, у которого трубку 5 можно перемещать вверх или вниз благодаря гибкому соединительному шлангу 6. При изменении температуры объем системы, заполненной газом, изменяется, и для приведения его к первоначальному значению трубку 5 вертикально перемещают до тех пор, пока уровень ртути в трубке 4 не совпадет с осью $x - x'$. При этом столб ртути в трубке 5, отсчитанный от уровня $x - x'$, будет соответствовать давлению газа P в баллоне. Обычно измеряемую температуру T определяют относительно некоторой точки отсчета, например по отношению к температуре тройной точки воды T_0 , при которой давление газа в баллоне будет P_0 . Газовые термометры используют в интервале $= 2... 1300$ К. Это достаточно точные приборы.



Газовый термометр

Термошумовой метод можно использовать для измерения температур в диапазоне от 0,001 до 2000 ... 2500 К. Выходным информативным сигналом подобного измерительного преобразователя является напряжение. Наибольшее распространение получили термошумовые термометры, основанные на сравнении средних квадратических значений напряжений двух резисторов, один из которых находится при известной температуре, а другой - при измеряемой. Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления рабочего (термометрического) вещества в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры. В соответствии с агрегатным состоянием рабочего вещества в термосистеме манометрические термометры подразделяют на газовые, жидкостные и парожидкостные. Подобные приборы могут быть использованы для измерения температур от -150 до 600° С. Диапазон измерения определяется наполнителем термосистемы. В жидкостных манометрических термометрах в качестве термометрического вещества используется ртуть под давлением 10-15 МПа при комнатной температуре или толуол, ксилол, силиконовые жидкости и т.п. при давлении 0,5 - 5 МПа. При ртутном заполнении диапазон измерений лежит в пределах - 30...600°С. Ввиду того, что жидкость практически не сжимаема, объем термобаллона в жидкостных манометрических термометрах должен быть согласован со свойствами используемой манометрической пружины.

Термоэлектрические термометры в настоящее время широко используются, а измерение ими температуры основано на использовании открытого в 1821 г. Зеебеком термоэлектрического эффекта. Термоэлектрический преобразователь представляет собой цепь, состоящую из двух или нескольких соединенных между собой разнородных проводников. Места соединения термоэлектродов 1 и 2 называют спаями. Зеебеком было установлено, что если температуры спаев t и t_0 не равны, то в замкнутой цепи будет протекать электрический ток. При размыкании такой цепи на ее концах может быть измерена термоэлектродвижущая сила, которая измеряется вольтметром, шкала которого отградуирована в единицах температуры. Термопреобразователи сопротивления (терморезисторы) используют свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Подобные преобразователи позволяют измерять температуру в пределах от -260 до $+1100$ °C. Изменение сопротивления материала с изменением температуры от 0 до 100 °C характеризуется коэффициентом $\alpha = (R_{100} - R_0)/R_0$. Металлы имеют положительный температурный коэффициент сопротивления, полупроводники - отрицательный. Пирометрические методы измерений температуры охватывают широкий диапазон температур от 173 до 6000 К, включающий в себя низкие, средние и высокие температуры. Эти методы основаны на определении параметров теплового излучения объекта без нарушения его температурного поля. Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, возбуждаемое тепловым движением атомов и молекул в твердых, жидких и газообразных веществах. При температурах выше 4000 К излучение вызывается процессами диссоциации и ионизации.

Теория пирометрических методов измерений температуры основана на законах, устанавливающих связь между излучением абсолютно черного тела (АЧТ) и его температурой.

Закон Планка устанавливает связь между абсолютной температурой и спектральным распределением потока излучения (светимости) АЧТ.

При малых значениях λT можно пользоваться законом Вина.

Полная энергия, излучаемая с единицы поверхности АЧТ в единицу времени, определяется законом Стефана-Больцмана:

$$R = \sigma T^4,$$

где сигма = $5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/ (м² К⁴) - постоянная Стефана-Больцмана.

С увеличением температуры максимумы кривых $R_T = F(\lambda, T)$ сдвигаются в ультрафиолетовую область спектра, т.е. в сторону более коротких волн. Сдвиг максимума излучения подчиняется закону смещения Вина, установленному в виде:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

где $b = 2,89 \cdot 10^{-3}$ м К.

Разработка чувствительных приемников инфракрасного излучения позволяет применить пирометрические методы для измерения не только высоких, но и низких температур. Приборы для измерения температуры объектов по их тепловому электромагнитному излучению называют пирометрами.

В зависимости от входной величины пирометры разделяются на пирометры полного излучения (радиационные пирометры), воспринимающие полную (интегральную) энергию излучения; пирометры частичного излучения (яркостные пирометры), основанные на зависимости от температуры энергетической яркости излучения в ограниченном диапазоне длин волн, и пирометры спектрального отношения (цветовые пирометры), в которых используется зависимость от температуры отношения спектральных плотностей энергетических яркостей на двух или нескольких длинах волн.

Радиационные пирометры основаны на зависимости от температуры интегральной мощности излучения АЧТ во всем диапазоне длин волн, определяемой **законом Стефана-Больцмана:**

$$R = \sigma T^4.$$

Для реального тела эта зависимость определяется выражением $R_T = a\sigma T^4$, где $0,04 < a < 1$ - коэффициент теплового излучения (коэффициент излучательной

способности), зависящий от материала излучателя и от состояния и температуры его поверхности. Например, для стальных изделий в зависимости от появления на них окалины значение α может изменяться от 0,1 до 0,9. Пирометры полного излучения применяются для измерения в диапазоне температур от -50 до 3500 °С. Наиболее целесообразно использовать такие пирометры для измерения температуры объектов, излучательные свойства которых мало отличаются от свойств АЧТ. Этому условию удовлетворяют большинство закрытых печей и топок с малым отверстием, кожа человека, стекло, резина и др.

Пирометры частичного излучения основаны на использовании зависимости от температуры мощности излучения в ограниченном диапазоне длин волн. Рабочий диапазон измерений таких пирометров от -100 до + 6000 °С.

Цветовые пирометры показывают так называемую цветовую температуру тела T_c - условную температуру, при которой АЧТ имеет такое же относительное спектральное распределение энергетической яркости, что и исследуемое реальное тело с действительной температурой T .

Аппаратура, оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 3.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

Ознакомиться с теоретическим материалом.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Какие тепловые законы вы знаете?
2. Когда применяют газовые термометры? Каков принцип их действия?

3. Как используют законы термоэлектронной эмиссии для измерения температуры?

4. Какие квантовые законы используются при измерении температуры?

5. В чем состоит суть бесконтактного измерения температуры?

Примерные темы для докладов:

1. Газовые термометры.

2. Термоэмиссионные термометры.

3. Терморезисторы и их применение для измерения температуры.

4. Радиационные пирометры.

5. Пирометры частичного излучения.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме:

1. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».

2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 559 с. : ил. ; 24. - (Высшее образование). - Предм. указ.: с. 537-549. - ISBN 978-5-4468-2023-8.

3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

Параметрические и генераторные измерительные преобразователи (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ПК-11. В связи с этим выполняются следующие задачи:

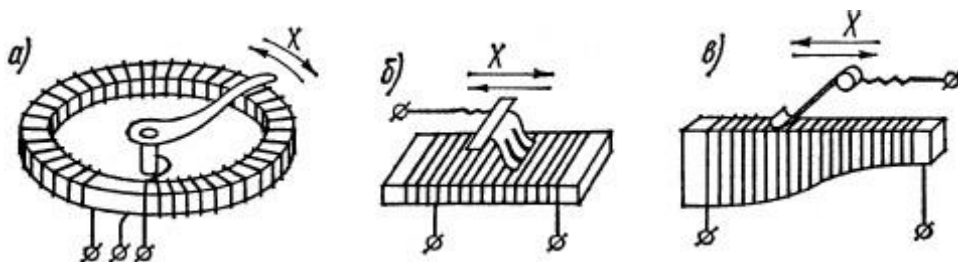
1. Использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством.
2. Выбирать средства измерений и контроля.

Теоретическое обоснование

Параметрические измерительные преобразователи

В параметрических преобразователях выходной величиной является параметр электрической цепи (R , L , M , C). При использовании параметрических преобразователей необходим дополнительный источник питания. Параметрические преобразователи весьма разнообразны по своему устройству, назначению и областям применения. Ниже приводятся описание устройства и теории параметрических преобразователей, получивших наибольшее практическое применение.

Реостатные преобразователи - основаны на изменении электрического сопротивления проводника под влиянием входной величины - перемещения. Реостатный преобразователь, как показывает само название, представляет собой в простейшем случае реостат, щетка (движок) которого перемещается под воздействием измеряемой неэлектрической величины. На рис. схематически показаны некоторые варианты конструкций реостатных преобразователей для углового и линейного перемещений.



Преобразователь состоит из обмотки, нанесённой на каркас, и щётки. Для изготовления каркаса применяют диэлектрики (пластмасса, керамика) и

металлы (дюралюминий с анодированной поверхностью). Проволока выполняется из различных сплавов (константан, нихром, фехраль). Для обмотки используется изолированный эмалью или оксидной плёнкой провод. В местах соприкосновения со щёткой изоляцию счищают.

Зависимость изменения сопротивления от перемещения щётки имеет ступенчатый характер. Это вызывает погрешность преобразования $\gamma = \Delta R/R$. Чтобы исключить эту погрешность, иногда применяют конструкции, в которых щетка скользит вдоль оси проволоки.

Выходной параметр реостатных преобразователей - сопротивление - измеряется обычно с помощью мостовой схемы.

К достоинствам преобразователей относится возможность, получения высокой точности, значительных по уровню выходных сигналов и относительная простота конструкции. Недостатки - наличие скользящего контакта, необходимость относительно больших перемещений движка, а иногда и значительного усилия для его перемещения.

Применяются реостатные преобразователи для преобразования сравнительно больших перемещений (угловых, линейных) и других неэлектрических величин (усилия, давления и т. д.), которые могут быть преобразованы в перемещение.

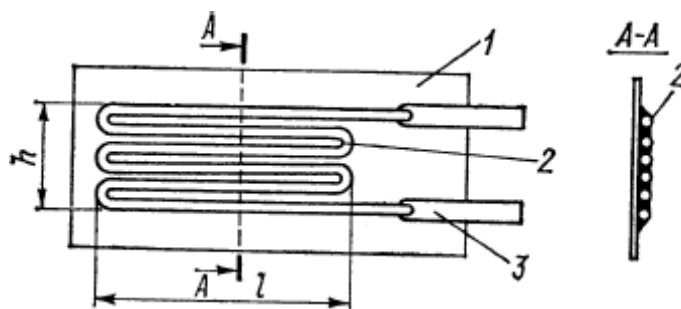
Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы). В основу работы преобразователей положен тензоэффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводника (полупроводника) под действием вызываемого в нем механического напряжения и деформации.

Если проволоку подвергнуть механическому воздействию, например растяжению, то ее сопротивление изменится. Относительное изменение сопротивления проволоки

$$\Delta R/R = S \Delta l/l$$

где S - коэффициент тензочувствительности, $\Delta l/l$ - относительная деформация проволоки.

Изменение сопротивления проволоки при механическом воздействии на нее объясняется изменением геометрических размеров (длины, диаметра) и удельного сопротивления материала.



Тензочувствительные преобразователи, широко применяемые в настоящее время, представляют собой тонкую зигзагообразную уложенную и приклеенную к полоске бумаги (подложке) проволоку. Подложка наклеивается на поверхность исследуемой детали так, чтобы направление ожидаемой деформации совпадало с продольной осью проволоочной решетки. Преобразователь включается в схему с помощью привариваемых или припаиваемых выводов.

Погрешности наклеиваемых тензорезисторов могут быть $\pm 1\%$. Достоинства этих преобразователей: линейность функции преобразования, малые габариты и масса, простота конструкции. Недостатком их является малая чувствительность.

Используются тензорезисторы для измерения деформаций и других неэлектрических величин: усилий, давлений, моментов и т. д.

Термочувствительные преобразователи (терморезисторы). Принцип действия преобразователей основан на зависимости электрического сопротивления проводников или полупроводников от температуры.

Между терморезистором и исследуемой средой в процессе измерения происходит теплообмен. Так как терморезистор при этом включён в электрическую схему, с помощью которой производится измерение его

сопротивления, то по нему протекает ток, выделяющий в нем теплоту. Теплообмен терморезистора со средой происходит из-за теплопроводности среды и конвекции в ней, теплопроводности самого терморезистора и арматуры, к которой он крепится и из-за излучения.

Интенсивность теплообмена, а следовательно, и температура терморезистора зависят от его геометрических размеров и формы, от конструкции защитной арматуры, от состава, плотности, теплопроводности, вязкости и других физических свойств газовой или жидкой среды, окружающей терморезистор, а также от температуры и скорости перемещения среды.

Таким образом, зависимость температуры, а следовательно, и сопротивления терморезистора от перечисленных выше факторов может быть использована для измерения различных неэлектрических величин, характеризующих газовую или жидкую среду.

Электролитические преобразователи - основаны на зависимости электрического сопротивления раствора электролита от его концентрации. В основном они применяются для измерения концентраций растворов.

Преобразователь, применяемый в лабораторных условиях для измерения концентрации, представляет собой сосуд с двумя электродами (электролитическая ячейка).

Индуктивные преобразователи - основаны на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток на магнитопроводе от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов их магнитной цепи.

Конструкция преобразователя определяется главным образом значением измеряемого перемещения. Габариты преобразователя выбирают, исходя из необходимой мощности выходного сигнала и других технических требований.

Для измерения выходного параметра индуктивных преобразователей наибольшее применение получили мостовые схемы (равновесные и неравновесные), а также компенсационная схема (в автоматических приборах) для дифференциальных трансформаторных преобразователей.

По сравнению с другими преобразователями перемещения индуктивные преобразователи отличаются значительными по мощности выходными сигналами, простотой и надежностью в работе.

Вихретоковые индуктивные преобразователи - основаны на изменении индуктивности и взаимоиנדуктивности катушек при приближении к ним проводящего тела. Глубина проникновения электромагнитной волны в материал определяется формулой

$$Z_{0,05} = (2/\omega\mu\gamma)^{1/2}.$$

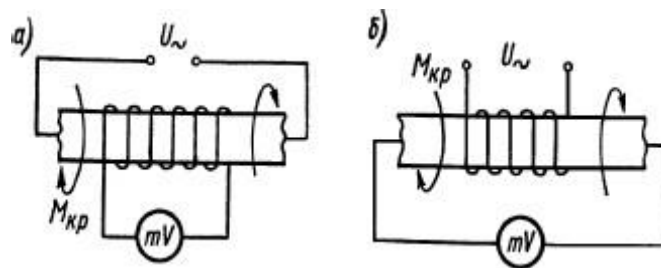
Вихретоковые преобразователи находят самое широкое применение в области бесконтактного контроля линейных размеров тонких пластин и толщины покрытий (индукционная толщинометрия) и обнаружения дефектов - поверхностных царапин и трещин.

Магнитоупругие преобразователи - основаны на изменении магнитной проницаемости μ ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений (магнитоупругий эффект), обусловленный воздействием на ферромагнитные тела механических сил (растягивающих, сжимающих, изгибающих, скручивающих). Изменение магнитной проницаемости $\Delta\mu/\mu$ для различных материалов составляет 0,5- 3% при изменении σ на 1 МПа.

Магнитоупругие преобразователи можно разбить на две основные группы. К первой группе относят преобразователи, в которых используется изменение магнитной проницаемости чувствительного элемента в одном направлении; магнитный поток в них направлен в большей части магнитной цепи вдоль линии действия усилия.

Ко второй группе относят преобразователи, в которых используется изменение магнитной проницаемости одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях (магнитная анизотропия материала чувствительного элемента).

Магнитоанизотропные свойства проявляются и при скручивании ферромагнитных тел. Этот эффект, называемый эффектом Видемана, заключается в том, что при прохождении тока через стержень, на который воздействует крутящий момент, в стержне, кроме кругового магнитного потока, возникает продольный магнитный поток, наводящий в обмотке, намотанной на стержень (рис. а), ЭДС, пропорциональную крутящему моменту. При скручивании ферромагнитного стержня, находящегося в продольном магнитном поле (рис б), в стержне появляется винтовая составляющая потока, которую можно считать результатом суперпозиции продольного и кругового потоков. Круговой поток наводит в контуре, образованном стержнем и подключенным к нему милливольтметром, ЭДС, пропорциональную потоку и зависящую от крутящего момента.



Магнитоупругие датчики применяют для измерения сил, давлений, крутящих моментов. Мощность, развиваемая датчиком, как правило, достаточна для непосредственного включения указателя без предварительного усиления. Датчик представляет собой жесткий элемент, имеющий собственную частоту колебаний в диапазоне 1-10 кГц и позволяющий измерять как статические, так и высокочастотные динамические величины. Механическое напряжение в материале датчика

составляет 10 –50 МПа. Датчик обладает высокой надёжностью и предел измерений 250 Н или 10⁷ Па.

Емкостные преобразователи - основаны на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

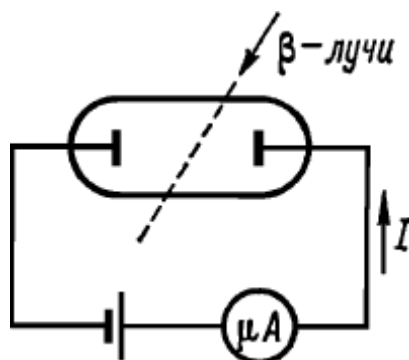
Для двухобкладочного плоского конденсатора электрическая емкость

$$C = \epsilon \epsilon_0 S / \delta$$

где ϵ_0 - диэлектрическая постоянная; ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками, S - активная площадь обкладок; δ - расстояние между обкладками.

Функция преобразования $C = f_3(\delta)$ нелинейна. Чувствительность преобразователя резко возрастает с уменьшением расстояния δ , поэтому целесообразно уменьшать начальное расстояние между пластинами. При выборе начального расстояния между пластинами необходимо учитывать пробивное напряжение воздуха (10 кВ/см). Такие преобразователи используются для измерения малых перемещений (менее 1 мм).

Ионизационные преобразователи. Преобразователи основаны на явлении ионизации газа или люминесценции некоторых веществ под действием ионизирующего излучения.



Если камеру, содержащую газ, подвергнуть облучению, например, β - лучами, то между электродами, включенными в электрическую цепь, потечет ток. Этот ток зависит от приложенного к электродам напряжения, от плотности и состава газовой среды, размера камеры и электродов, свойств и

интенсивности ионизирующего излучения и т. д. Эти зависимости используются для измерения различных неэлектрических величин (плотности и состава газовой среды, геометрических размеров деталей и т. д.)

В качестве ионизирующих агентов применяют α , β и γ - лучи радиоактивных веществ, значительно реже - рентгеновские лучи и нейтронное излучение.

Волоконно-оптические преобразователи. (ВОП).

Световод – направляющая система для электромагнитных волн оптического диапазона, представляет собой стеклянное или полимерное волокно, покрытое оболочкой. Распространение света по световоду происходит за счёт явления полного внутреннего отражения на границе волокно-оболочка и характеризуется светопропусканием. Светопропускание определяется потерями энергии при распространении по волокну

$$T = \Phi_{\text{вых}} / \Phi_{\text{вх}},$$

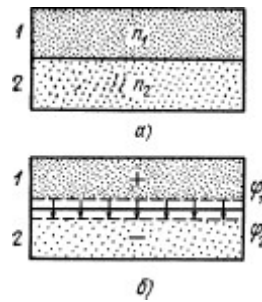
где $\Phi_{\text{вх}}$ – световой поток на входе, а $\Phi_{\text{вых}}$ – на выходе световода, $T = \tau_1 \tau_2 \tau_3$, τ_1 – характеризует потери за счёт отражения от торцов волокна на входе и выходе; τ_2 – светопропускание материала световода, $\tau_2 = e^{-\epsilon P}$, ϵ – показатель поглощения материала, P – путь, проходимый лучом в волокне; τ_3 – потери за счёт неполноты внутренних отражений, $\tau_3 = \rho^n$, ρ – потери при одном отражении, n – число отражений.

Принцип действия ВОП динамических перемещений основан на модуляции интенсивности светового потока за счёт изменения зазора между поверхностью и торцами световодов. Свет от источника излучения по передающему световоду попадает на поверхность и, отразившись от неё, по приёмному световоду подводится к фотопреобразователю.

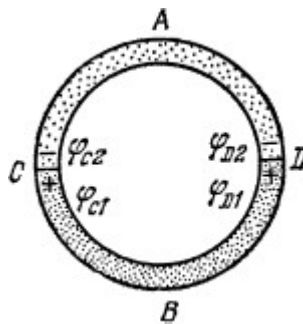
Генераторные измерительные преобразователи

В генераторных преобразователях выходной величиной являются. э.д.с. или заряд, функционально связанные с измеряемой неэлектрической величиной.

Термоэлектрические преобразователи - основаны на термоэлектрическом эффекте, возникающем в цепи термопары.



Пусть имеются две пластинки из разных металлов, причём $n_1 > n_2$. Контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$ при одинаковой температуре всех контактов в замкнутой цепи из металлических проводников не может создать тока, так как она лишь уравнивает потоки электронов в противоположных направлениях. Если найти алгебраическую сумму всех изменений потенциала в контактах такой цепи, то она будет равна нулю. Следовательно, в этих условиях контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$ не является э.д.с. Однако если температуры контактов С и D будут разными, то в цепи возникнет э.д.с.



Действительно, если подогреть контакт D, то в нем произойдет переход электронов из металла B в металл A, а контактная разность потенциалов в соединении D возрастет. Так как в металле A на конце D электронов стало больше, то они устремятся к концу C. Увеличение концентрации электронов на конце C вызовет их переход из металла A в металл B через контакт C. Отсюда они по металлу B перейдут к контакту D. Таким образом, если температура контакта D будет все время больше, чем контакта C, то по

замкнутой цепи будет происходить направленное движение электронов против часовой стрелки. Следовательно, в такой цепи действует э.д.с.

Преобразователь, состоящий из двух разнородных металлов со спаянными концами, в котором создается электрическая энергия за счет внутренней энергии другого тела, поддерживающего разность температур спаев, называют термопарой. У термопары часто делают один спай, спаивая отрезки проволоки (или пластинки) из двух разнородных металлов, а к свободным концам присоединяют внешнюю цепь и измерительные приборы. Роль второго (холодного) спаев выполняют контакты с проводами внешней цепи.



Эффект Пельтье. Выясним, что произойдет, если в цепь из двух разнородных металлов А и В, включить источник электрической энергии, который создаст ток такого же направления, как ток, возникающий в них при подогреве контакта D. В этом случае поток электронов в спае D будет тормозиться, так как они должны преодолевать контактную разность потенциалов в переходном слое контакта D. В спае С будет происходить обратное явление, электроны будут ускоряться, так как силы поля переходной области в этом контакте будут действовать на электроны в сторону их движения. Таким образом, в контакте D кинетическая энергия электронов будет переходить в потенциальную энергию, а в контакте С, наоборот, их потенциальная энергия будет переходить в кинетическую. Это означает, что при замыкании цепи контакт D будет охлаждаться, а контакт С – нагреваться. Это явление называют эффектом Пельтье и особенно сильно оно проявляется в полупроводниковых термоэлементах.

Индукционные преобразователи - основаны на использовании закона электромагнитной индукции, согласно которому э.д.с., индуцированная в катушке, имеющей ω витков

$$e = - \omega \frac{d\Phi}{dt}$$

где $d\Phi/dt$ - скорость изменения магнитного потока, сцепленного с катушкой. Индукционные преобразователи применяются для измерения скорости линейных и угловых перемещений.

Пьезоэлектрические преобразователи - основаны на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, заключающегося в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли и др.) под влиянием механических напряжений. Из кристалла кварца вырезается пластинка, грани которой должны быть перпендикулярны оптической оси O_z , механической оси O_y и электрической оси O_x кристалла. При воздействии на пластину усилия F_x вдоль электрической оси на гранях x появляются заряды.

$$Q_x = kF_x$$

где k - пьезоэлектрический коэффициент (модуль).

При воздействии на пластину усилия F_y вдоль механической оси на тех же гранях x возникают заряды $Q_y = -kF_y a/b$, где a и b - размеры граней пластины. Механическое воздействие на пластину вдоль оптической оси не вызывает появления зарядов.

В пьезоэлектрических преобразователях главным образом применяют кварц, у которого пьезоэлектрические свойства сочетаются с высокой механической прочностью и высокими изоляционными качествами, а также с независимостью характеристик от температуры в широких пределах. Используется также поляризованная керамика из титаната бария ($BaTiO_3$). Размеры пластин и их число выбирают исходя из конструктивных соображений и требуемого значения заряда.

Аппаратура, оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 3.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Методика и порядок выполнения работы

Ознакомиться с теоретическим материалом.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы 1.

Вопросы для защиты работы:

1. Дайте определение измерительного преобразователя?
2. Что такое «измерительное преобразование»?
3. Какие бывают преобразователи?
4. В чем сущность параметрических измерительных преобразователей?
5. В чем специфика генераторных измерительных преобразователей?

Примерные темы для рефератов:

1. Измерительные преобразователи неэлектрических величин в неэлектрические.
2. Измерительные преобразователи электрических величин в неэлектрические.
3. Измерительные преобразователи неэлектрических величин в электрические.
4. Измерительные преобразователи электрических величин в электрические.
5. Аналогово-цифровые преобразователи в измерительной технике.
6. Цифро-аналоговые преобразователи в измерительной технике.
7. Генераторные измерительные преобразователи.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной

теме:

1. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».

2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва : Академия, 2015. - 559 с. : ил. ; 24. - (Высшее образование). - Предм. указ.: с. 537-549. - ISBN 978-5-4468-2023-8.

3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

Учебно-методическое пособие

к лабораторным работам по дисциплине

Редакторы:

По

дписано в печать

Формат 60x84 1/16.	Усл. п. л. — .	Уч.-изд. л. — .	
Бумага газетная.	Печать офсетная.	Заказ	Тираж экз.
ГОУВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»			
355028, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2			

Издательство ГОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет
Отпечатано в типографии СКФУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНЫ**

Для студентов по направлению подготовки

27.03.01 Стандартизация и метрология

Направленность (профиль)

Стандартизация, метрология и управление качеством

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
План-график выполнения самостоятельной работы	4
Методические рекомендации по изучению теоретического материала	5
Методические рекомендации по работе с литературой	5
Контрольные вопросы для самостоятельной оценки качества освоения дисциплины	9
Методические рекомендации по самостоятельному изучению тем	11
Список рекомендуемой литературы	13

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания для студентов по организации самостоятельной работы являются обязательной частью учебно-методического комплекса. Цель методических указаний – обратить внимание студента на главное, существенное в физических основах измерений и эталонах, научить связывать теоретические положения с практикой, научить конкретным методам и приемам выполнения различных учебных заданий: решение задач, выполнение лабораторных работ, подготовка к лекциям.

Современные стандарты подготовки бакалавров предусматривают значительный объем внеаудиторной работы. Освоение программы курса физические основы измерений и эталоны предполагает получение, как теоретических знаний, так и формирование навыков практической работы. Поэтому самостоятельная работа в рамках курса ориентирована как на теоретический, так и на практический аспект.

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим лабораторным и практическим занятиям, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений; умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению специальности;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации;
- овладение технологическим учебным инструментом.

Самостоятельная работа включает те разделы курса, которые не получили достаточного освещения на лекциях по причине ограниченности лекционного времени и большого объема изучаемого материала.

Методическое обеспечение самостоятельной работы по дисциплине состоит из:

- 1) Определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- 2) Подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- 3) Поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- 4) Определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- 5) Организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у обучающихся затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;

- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение собственной информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Виды самостоятельных работ по учебной дисциплине:

1) Подготовка к практическим занятиям: изучение теоретического материала, выявление основных законов, уравнений и соотношений, используемых при решении задач по указанной теме;

2) Подготовка к лабораторным занятиям: изучение теоретического материала, ознакомление с методикой и порядком выполнения лабораторных работ, выполнение расчетов и обработка экспериментальных данных, оформление отчетов по выполняемой лабораторной работе;

3) Самостоятельное изучение тем: изучение теоретического материала, подготовка письменного обзора по темам, выносимым на самостоятельное изучение.

Подготовленный обзор студенты предоставляют в виде доклада или реферата на обсуждение, проводимого в рамках изучения дисциплины;

4) Подготовка к экзаменам (зачетам): изучение теоретического материала по полному курсу изучаемой дисциплины, подготовка по вопросам, выносимым на экзамен.

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля. Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных и практических занятиях, а также подготовку домашнего задания. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Комплексное изучение предлагаемой студентам учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния» предполагает овладение материалами лекций, учебников, программы, работу студентов в ходе проведения практических и лабораторных занятий, а также систематическое выполнение заданий для самостоятельной работы.

В ходе лекций раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемых тем, делаются акценты на наиболее сложные и интересные положения изучаемого материала, которые должны быть приняты студентами во внимание. Материалы лекций являются основой для подготовки студентов к лабораторным и практическим занятиям.

Работа с конспектом лекций

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попробуйте найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Перед лабораторными и практическими занятиями изучите теорию явления, предполагаемого к исследованию, ознакомьтесь с основными законами и формулами, подготовьте отчет по лабораторной работе, в который занесите:

- название работы; цель работы; ход работы.

Оформление лабораторных работ часто требует наличия справочной литературы, которую необходимо иметь при себе на занятии.

Оформление отчетов должно производиться непосредственно на занятии, а вычисления - при наличии свободного времени или дома.

Для подготовки к защите отчета следует проанализировать экспериментальные результаты, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе.

Целью лабораторных и практических занятий является:

- проверка основных законов и положений теории физики конденсированного состояния;
- проверка уровня понимания студентами вопросов, рассмотренных на лекциях и по учебной литературе, степени и качества усвоения материала;
- обучение навыкам освоения методики эксперимента и работы с нормативно-справочной литературой;
- восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельная работа с литературой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

1. План - наиболее краткая форма записи. Это перечень вопросов, рассматриваемых в литературе. План обычно раскрывает структуру, определяет логику построения материала, способствует лучшей ориентации в содержании.

Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного материала. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мест и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает

основные идеи, может включать выдержки, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую пользу составление плана даст подготовленным лицам, которым бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного материала или подготавливаемого выступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего-либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними. Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к **конспекту**, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с литературой.

3. Выписки. Это записи текста из первоисточников: теоретических положений, статистических данных, имеющих, по мнению студента, важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому источнику. Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать материал. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку изучаемого материала.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что аннотация сжато характеризует материал в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте,

сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников. Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В **текстуальном конспекте** сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению **тематического конспекта** предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

Следующим методом самостоятельной работы с книгой является **реферирование** на определенную тему. Слово реферат употребляется в двух различных значениях: 1. Краткое

изложение содержания книги, научной работы; 2. Доклад за заданную тему на основе критического образа литературных источников.

7. Реферат – это один из самых сложных видов самостоятельной работы с книгой, а для этого следует овладеть более простыми приемами работы – разработкой плана, составлением тезисов и конспектов. Подготовка реферата и выступление с его изложением углубляет знания, расширяет кругозор, приучает логически, творчески мыслить, развивать культуру речи.

При просмотре литературы намечается ориентировочный план реферата, в который включается обычно 3-4 основных вопроса или раздела. В каждом из разделов формулируются подвопросы, помогающие последовательно раскрыть содержание проблемы.

В процессе изучения материала формулировки подвопросов и разделов обычно уточняются. При реферировании следует делать выписки, записывать мысли, возникающие при чтении; следует также точно записывать и определения тех понятий, которые будут использованы в реферате. Из прочитанной литературы нужно заимствовать не буквальный текст, а важнейшие мысли, идеи, теоретические положения; можно цитировать небольшие отрывки, приводить диаграммы, схемы, чертежи, но главное – высказывать собственные соображения по вопросам реферата. Приведенные выше советы следует рассматривать как примерные, предполагающие и другие подходы, поскольку у каждого человека вырабатываются свои приемы и навыки составления рефератов. Большую помощь в работе над рефератом оказывают предисловия к монографиям и сборникам. В них можно найти сведения о цели издания, а также о существующих пробелах в исследовании.

При разработке плана реферата важно учитывать, чтобы каждый его пункт раскрывал одну из сторон избранной темы, а все пункты в совокупности охватывали тему целиком. Важными разделами реферата является вступление и заключение. Во вступлении надо обосновать актуальность темы, обозначить круг составляющих ее проблем, четко и кратко определить задачу своей работы. В заключении делаются краткие выводы, подводятся итоги. В конце реферата должен быть приложен список литературы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Контрольные вопросы позволяют студенту оперативно оценить уровень своей подготовленности по данной теме и определить степень готовности к изучению следующей темы. Контрольные вопросы направлены на то, чтобы студент мог проверить понимание понятийного аппарата учебной дисциплины, смог воспроизвести фактический материал, раскрыть причинно-следственные, временные связи, а так же мог выделять главное, сравнивать, доказывать, конкретизировать, обобщать и систематизировать знания.

Базовый уровень

Раздел 2. «Физические величины, явления и законы, лежащие в основе измерений»

1. Каковы условия возникновения ЭДС Холла, от чего она зависит?
2. Как с помощью эффекта Холла определить основной тип носителя в полупроводнике?
3. Какова температурная зависимость удельного сопротивления и подвижности полупроводников и металлов?

4. Каковы особенности собственной и примесной проводимости полупроводников?
5. В чем различие энергетического спектра состояний электронов в полупроводниках и диэлектриках?
6. Что является причиной возникновения дрейфового тока при контакте двух полупроводников?
7. Что такое «электронная эмиссия»?
8. Какие бывают типы электронной эмиссии?
9. Что такое «работа выхода электрона из вещества»?
10. Какие силы препятствуют выходу электронов из вещества?
11. В чем состоит внутренний фотоэффект в полупроводниках, чему равна красная граница?
12. Какие виды оптического поглощения полупроводников вам известны?
13. Какие принципы заложены в измерение температуры приборами различного типа?
14. В чем заключается явление Зеебека?
15. Чем обусловлено появление контактной разности потенциалов?
16. В чем заключается физический смысл соотношения неопределенностей?
17. Какое максимальное пространственное разрешение может обеспечить поток нейтронов с энергией $E = 1 \text{ эВ}$?
18. Почему проверка соотношения неопределенностей при помощи лазерного излучения более надежна, чем при работе с другими источниками света (например, газосветной лампой)?
19. Каковы общие принципы работы лазера?
20. Что такое спонтанное и вынужденное излучение? В чем их отличие?
21. Как происходит излучение света в полупроводниках?
22. Как энергия фотона зависит от частоты и длины волны излучения?
23. Что такое фотоэлектрический эффект?

Повышенный уровень

Раздел 2. «Физические величины, явления и законы, лежащие в основе измерений»

1. Почему при изготовлении датчиков Холла применяют полупроводниковые материалы, а не металлы?
2. Как экспериментально определить ширину запрещенной зоны собственного полупроводника, энергию активации примесного полупроводника?
3. Как из кривой оптического поглощения определить ширину запрещенной зоны собственного полупроводника?
4. Как из кривой оптического поглощения определить энергию активации примесного полупроводника?
5. Каким образом осуществляется рекомбинационное излучение в полупроводниках?
6. Что такое электролюминесценция?
7. Нарисуйте зонную диаграмму светодиода. Что такое внешний квантовый выход излучения светодиода?
8. Объясните зависимость мощности излучения и внешнего квантового выхода излучения от тока через светодиод.

9. Почему достигается режим насыщения тока на вольтамперной характеристике вакуумного диода?
10. Какая часть вольтамперной характеристики диода объясняется формулой Ричардсона - Дэшмана?
11. Предложите варианты использования внутреннего фотоэффекта в измерительной технике.
12. Укажите преимущества и недостатки измерения температуры с помощью термопар? Какие виды термопар Вы знаете?
13. 4. В чем заключается явление Пельтье?
14. 5. Чем определяется высота потенциального барьера, возникающего на границе контакта двух полупроводников?
15. Почему электронный микроскоп может обеспечить более высокое разрешение, чем оптический микроскоп?
16. Что такое нулевые колебания? Как объяснить наличие нулевых колебаний с помощью принципа неопределенностей?
17. Какие преимущества обеспечивает анализ величины $F \frac{\Delta x D}{L \lambda}$, по сравнению с анализом зависимости $D = f(\Delta x)$?
18. Что такое инверсия населенностей?
19. Каким образом осуществляется инверсия населенностей в лазере?
20. Рассмотрите явление излучения света в полупроводниках с точки зрения законов сохранения энергии и импульса.
21. Поясните механизм излучения света полупроводниками через локальные уровни в запрещенной зоне.
22. Какой участок вольтамперной характеристики является рабочим прямой или обратный?
23. Каковы режимы работы фотодиода?

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ

В процессе изучения дисциплины по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, студенты должны подготовить обзор, пользуясь научной литературой, учебниками, учебными пособиями, а также возможно использовать материалы электронных ресурсов сети "Интернет".

Используя рассмотренные ранее методы сбора информации необходимо подготовить письменный, либо устный обзор по темам, выносимым на самостоятельное изучение.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополнительная	Методическая	Интернет-ресурсы
1	Самостоятельное изучение темы « Основные механизмы	[1] – [3]	[1] – [10]	[1] – [4]	[1] – [7]

	проникновения помех в измерительную цепь»				
2	Самостоятельное изучение темы «Условия работы преобразователей»	[1] – [3]	[1] – [10]	[1] – [4]	[1] – [7]
4	Самостоятельное изучение темы «Защита электрических цепей от внешнего магнитного поля»	[1] – [3]	[1] – [10]	[1] – [4]	[1] – [7]
5	Подготовка к лабораторным занятиям	[1] – [3]	[1] – [10]	[1] – [4]	[1] – [7]
6	Подготовка к практическим занятиям	[1] – [3]	[1] – [10]	[1] – [4]	[1] – [7]

Подготовленный обзор студенты предоставляют в виде доклада или реферата на обсуждение на практических занятиях, проводимых в рамках изучения дисциплины.

Реферируемый источник, списки использованной литературы, а также все ссылки на литературные работы должны быть оформлены по алфавиту с указанием фамилии и инициалов автора, название источника, места и года издания; для журнальных статей необходимо указать фамилию и инициалы автора, название статьи, журнала, год издания и номер.

Этапы работы над докладом (рефератом)

Подбор и изучение основных источников по теме (как правильно, при разработке проекта используется не менее 8-10 различных источников).

Составление списка использованных источников.

Обработка и систематизация информации

Разработка плана доклада (реферата).

Написание доклада (реферата).

Публичное выступление с результатами исследования.

Структура доклада (реферата):

- титульный лист
- содержание (в нем последовательно излагаются названия пунктов доклада (реферата), указываются страницы, с которых начинается каждый пункт);
- введение (формулирует суть исследуемой проблемы, обосновывается выбор темы, определяются ее значимость и актуальность, дается характеристика используемой литературы);
- основная часть (каждый раздел ее, доказательно раскрывая отдельную проблему или одну из ее сторон, логически является продолжением предыдущего; в основной части могут быть представлены таблицы, графики, схемы);
- заключение (подводятся итоги или дается обобщенный вывод по теме доклада (реферата), предлагаются рекомендации);
- список использованных источников

Критерии оценки доклада (реферата):

- актуальность темы исследования;
- соответствие содержания теме;
- глубина проработки материала; правильность и полнота использования источников;
- соответствие оформления доклада (реферата) стандартам.

По усмотрению преподавателя доклады (рефераты) могут быть представлены на семинарах, а также использоваться как зачетные работы по пройденным темам.

Оценкой «отлично» оценивается доклад (реферат), в котором соблюдены следующие требования: полно и четко представлены основные теоретические понятия; проведен глубокий анализ по проблеме; продемонстрировано знание методологических основ изучаемой проблемы; уместно и точно использованы различные иллюстративные приемы – примеры, схемы, таблицы и т. д.; показано знание межпредметных связей; работа написана с использованием терминов современной науки, хорошим русским языком, соблюдена логическая стройность работы; соблюдены все требования к оформлению проекта.

Оценкой «хорошо» оценивается доклад (реферат), в котором в целом раскрыта актуальность темы; в основном представлен обзор основной литературы по данной проблеме; недостаточно использованы последние публикации по данному вопросу; выводы сформулированы недостаточно полно; собственная точка зрения отсутствует или недостаточно аргументирована; в изложении преобладает описательный характер

Оценка «удовлетворительно» выставляется при условии: изложение носит исключительно описательный, компилятивный характер; библиография ограничена; изложение отличается слабой аргументацией; работа не выстроена логически; недостаточно используется научная терминология; выводы тривиальны; имеются существенные недостатки в оформлении.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы:

1. Мищенко С.В. Физические основы технических измерений [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Мищенко С.В., Мордасов Д.М., Мордасов М.М.— Электрон. текстовые данные.— Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012.— 176 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64612.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Сборник задач и вопросов по курсу «Физические основы измерений и эталоны» [Электронный ресурс]/сост. Дресвянников А.Ф., Сорокина И.Д. — Электрон. текстовые данные.— Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014.— 179 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62664.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Шклярова Е.И. Обработка многократных измерений при малом числе наблюдений с использованием таблиц Стюдента [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 15 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46488.html>.— ЭБС «IPRbooks».

Перечень дополнительной литературы:

1. Физические основы измерений [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. А. Ф. Дресвянников, Е. В. Петрова, Е. А. Ермолаева. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2008. — 305 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63532.html>. — ЭБС «IPRbooks»
2. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации [Электронный ресурс]: учебник/ Гольдштейн А.Е. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2010. — 292 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34730.html>. — ЭБС «IPRbooks»
3. Бегунов А.А. Метрология. Аналитические измерения в пищевой и перерабатывающей промышленности [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Бегунов А.А. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: ГИОРД, 2014. — 440 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20180>. — ЭБС «IPRbooks».
4. Шклярова Е.И. Классы точности средств измерений [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Е.И. Шклярова — Электрон. текстовые данные. — М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2014. — 14 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46466.html>. — ЭБС «IPRbooks».
5. Черевко А.Г. Расчет неопределенности результатов измерений в физическом эксперименте [Электронный ресурс]: практикум/ Черевко А.Г. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2008. — 73 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54797>. — ЭБС «IPRbooks».
6. Трофимова, Т. И. Курс физики : [учеб. пособие*]. – 19-е изд., стер. – М. : Академия, 2012. – 558 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование). – Предм. указ.: с. 537-549. – ISBN 978-5-7695-9433-5
7. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2009. - Т. 3. Электричество. - 655 с. - ISBN 978-5-9221-0673-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82998>.
8. Тарбеев А.В. Эталоны единиц основных физических величин: Учебное пособие. - Л.: СЗПИ. 1983.
9. Лазерные измерительные системы: Учебное пособие / Под ред. Лукьянова Д.П. М.: Радио и связь. 1981.
10. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. Учебное пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. 1983.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физические основы измерений и эталоны» для студентов специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология» / сост. С. В. Лисицын; рец. И.М. Хабибулин - Ставрополь : СКФУ, 2016. - 62 с.
2. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Физические основы измерений и эталоны» для студентов специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология» / сост. С. В. Лисицын; рец. И.М. Хабибулин - Ставрополь : СКФУ, 2016. - 67 с.
3. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Физические основы измерений и эталоны» для студентов специальности 27.03.01 «Стандартизация и метрология» / сост. С. В. Лисицын; рец. И.М. Хабибулин - Ставрополь : СКФУ, 2016. - 14 с.

4. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Физические основы измерений" для студентов специальности 200503 "Стандартизация и сертификация" / сост. И. М. Хабибулин, С. В. Лисицын, В. Г. Зубрилов ; рец. Д. П. Валюхов. - Ставрополь : СевКавГТУ, 2006. - 65 с. - Библиогр.: с. 65(5 назв.).

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»,
необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»
2. <http://www.en.edu.ru> – естественно-научный образовательный портал
3. <http://window.edu.ru> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
4. <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО.
5. <http://eLibrary.ru/> - Научная электронная библиотека.
6. <http://www.biblioclub.ru/> - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
7. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно-библиотечная система IPR Books.