

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»
факультет высшего образования**

ОП по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по освоению учебной дисциплины
Б1.Б.06 Физика**

Обеспечивающая преподавание дисциплины кафедра	гуманитарных, социально-экономических и фундаментальных дисциплин
Выпускающее подразделение ОП	кафедра агрономии и агроинженерии
Разработчики РПУД, уч. степень, уч. звание	Берестовский А.М., к.п.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ

1. Настоящее издание является основным организационно-методическим документом учебно-методического комплекса Б1.Б.06 Физика в составе образовательной программы высшего образования (ОП ВО) по подготовке по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Оно предназначено стать для них методической основой по освоению данной дисциплины.

2. Содержательной основой для разработки настоящего издания послужила примерная программа Минобрнауки по дисциплине физика для ФГОС.

3. Методические аспекты настоящего издания развиты в учебно-методической литературе и других разработках, входящих в состав УМК по данной дисциплине. По мере совершенствования методики преподавания и методического обеспечения процессов изучения обучающимися дисциплины, совокупность изданной для обучающихся учебно-методической литературы и других методических разработок по ней будет расширяться. Состояние этой совокупности отражено в п. 7.

4. Доступ студентов к электронной версии Методических указаний по изучению дисциплины в Тарском филиале, обеспечен Б1.Б.06 Физика на выпускающей кафедре.

При этом в электронную версию могут быть внесены текущие изменения и дополнения, направленные на повышение качества настоящих методических указаний до их переиздания в установленном порядке.

Уважаемые обучающиеся!

Приступая к изучению новой для Вас учебной дисциплины, начните с вдумчивого прочтения разработанных для Вас кафедрой специальных методических указаний. Это поможет Вам вовремя понять и правильно оценить ее роль в Вашем образовании.

Ознакомившись с организационными требованиями кафедры по этой дисциплине и соизмерив с ними свои силы, Вы сможете сделать осознанный выбор собственной тактики и стратегии учебной деятельности, уберечь самих себя от неразумных решений по отношению к ней в начале семестра, а не тогда, когда уже станет поздно. Используя это издание, Вы без дополнительных осложнений подойдете к семестровой аттестации по этой дисциплине – экзамен. Успешность аттестации зависит, прежде всего, от Вас. Ее залог – ритмичная, целенаправленная, вдумчивая учебная работа, в целях обеспечения которой и разработаны эти методические указания.

1. Место учебной дисциплины в подготовке выпускника

Учебная дисциплина Б1.Б.06 Физика относится к дисциплинам (модулям) базовой части Блока 1 ОП, состав которых определяется вузом и требованиями ФГОС. Рабочая программа учебной дисциплины сформирована обеспечивающей её преподавание кафедрой.

Цель дисциплины – сформировать цельное представление о физических законах окружающего мира в их единстве и взаимосвязи, вооружить бакалавров необходимыми знаниями для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах

В ходе освоения дисциплины обучающийся должен:

1) Иметь целостное представление об основных явлениях, законах физики и границах их применимости.

2) Знать:

- основные физические явления и основные законы физики; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях;
- основные физические величины и физические константы, их определение, смысл, способы и единицы их измерения;
- фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки;
- назначение и принципы действия важнейших физических приборов;

3) Уметь использовать (владеть):

- объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;
- указать, какие законы описывают данное явление или эффект;
- истолковывать смысл физических величин и понятий;
- записывать уравнения для физических величин в системе СИ;
- работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;
- использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;
- использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем;

4) Иметь опыт:

- использования основных общефизических законов и принципов в важнейших - практических приложениях;
- применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;
- правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;
- обработки и интерпретирования результатов эксперимента;
- использования методов физического моделирования в инженерной практике.

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения учебной дисциплины:

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями:

Компетенции, в формировании которых задействована учебная дисциплина		Компоненты компетенций, формируемые в рамках данной учебной дисциплины (как ожидаемый результат её освоения)			Стадия формирования компетенции*
код	наименование	знать и понимать	уметь делать (действовать)	владеть навыками (иметь навыки)	
	1	2	3	4	5
ОПК-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий, а также физические явления, на которых основаны данные процессы.	Получать, хранить, перерабатывать и представлять в требуемом формате информацию.	работы с компьютером как средством управления информацией.	ПФ
ОПК-2	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	основные физические явления и основные законы естественнонаучных дисциплин, границы их применимости	объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий; использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических задач	использования основных законов естественнонаучных дисциплин и принципов в важнейших практических приложениях.	ПФ
ОПК-6	способность проводить и оценивать результаты измерений.	основные теоретические и экспериментальные методы физических исследований	планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений.	обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории.	ПФ
<p>* НФ - формирование компетенции начинается в рамках данной дисциплины ПФ - формирование компетенции продолжается в рамках данной дисциплины ЗФ - формирование компетенции завершается в рамках данной дисциплины</p>					

1.2 Описание показателей, критериев и шкал оценивания компетенций по дисциплине

Шифр и название компетенции	Этапы формирования компетенций в рамках дисциплины	Показатель оценивания – знания, умения, навыки (владения)	Уровни сформированности компетенций				Формы и средства контроля формирования компетенций
			не сформирована	минимальный	средний	высокий	
			Шкала оценивания				
			2	3	4	5	
		<p>Оценка «неудовлетворительно» говорит о том, что обучающийся не знает значительной части материала по дисциплине, допускает существенные ошибки в ответах, не может решить практические задачи или решает их с затруднениями.</p>	<p>Оценку «удовлетворительно» получает обучающийся, который имеет только основного материала, но не усвоил его детали, испытывает затруднения при решении практических задач. В ответах на поставленные вопросы обучающимся допущены неточности, даны недостаточно правильные формулировки, нарушена последовательность в изложении программного материала.</p>	<p>Оценку «хорошо» заслуживает обучающийся, твердо знающий программный материал дисциплины, грамотно и по существу излагающий его. Не следует допускать существенных неточностей при ответах на вопросы, необходимо правильно применять теоретические положения при решении практических задач, владеть определенными навыками и приемами их выполнения.</p>	<p>Оценку «отлично» выставляют обучающемуся, глубоко и прочно освоившему теоретический и практический материал дисциплины. Ответ должен быть логичным, грамотным. Обучающемуся необходимо показать знание не только основного, но и дополнительного материала, быстро ориентироваться, отвечая на дополнительные вопросы. Обучающийся должен свободно справляться с поставленными задачами, правильно обосновывать принятые решения.</p>		
ОПК -1	ПФ	<p>Знает и понимает основные методы, способы получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий, а также физические явления, на которых основаны данные процессы.</p>	<p>Не знает и не понимает основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий,</p>	<p>Поверхностно знает основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий</p>	<p>Свободно ориентируется в основных методах, способах и средствах получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий, а также физических явлениях, на которых основаны данные процессы.</p>	<p>В совершенстве владеет методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий, а также понимает физические явления, на которых основаны данные процессы.</p>	Предэкзаменационный тест; Теоретические вопросы экзаменационного задания
		<p>Умеет получать, хранить, перерабатывать и представлять в требуемом формате информацию.</p>	<p>Не умеет получать, хранить, перерабатывать и представлять в требуемом формате информацию.</p>	<p>С большим трудом перерабатывает и представляет в требуемом формате информацию</p>	<p>Свободно получает, хранит, перерабатывает и представляет в требуемом формате информацию.</p>	<p>В совершенстве умеет получать, хранить, перерабатывать и представлять в требуемом формате информацию.</p>	
		<p>Владеет навыками получения, хранения, переработки и представления в требуемом формате информации.</p>	<p>Не владеет навыками получения, хранения, переработки и представления в требуемом формате информации.</p>	<p>Плохо перерабатывает и представляет в требуемом формате информацию.</p>	<p>Свободно владеет навыками получения, хранения, переработки и представления в требуемом формате информации</p>	<p>В совершенстве владеет навыками получения, хранения, переработки и представления в требуемом формате информации.</p>	
ОПК -2	ПФ	<p>Знает основные физические явления, фундаментальные понятия и основные законы</p>	<p>Не знает основные физические явления, фундаментальные понятия и</p>	<p>Поверхностно знает основные физические явления, фундаментальные понятия, законы естественнонаучных</p>	<p>Свободно объясняет основные физические явления, владеет фундаментальными понятиями, законами</p>	<p>В совершенстве знает основные физические явления, фундаментальные понятия, законы естественнонаучных</p>	

		естественнонаучных дисциплин	основные законы естественнонаучных дисциплин	дисциплин	естественнонаучных дисциплин	дисциплин	
		Умеет на практике применять законы естественнонаучных дисциплин, ориентируется и умеет объяснять основные физические явления	Не умеет на практике применять законы естественнонаучных дисциплин, не ориентируется и не умеет объяснять основные физические явления	Частично умеет на практике применять законы естественнонаучных дисциплин, плохо ориентируется и не умеет объяснять основные физические явления	Свободно применяет на практике законы естественнонаучных дисциплин, ориентируется и объясняет суть основных физических явлений	В совершенстве умеет применять на практике законы естественнонаучных дисциплин, свободно ориентируется и объясняет суть основных физических явлений	
		Владеет навыками описания физических явлений и процессов, планирования и проведения физических экспериментов адекватными экспериментальными методами; использования различных методов физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивания точности и погрешности измерений	Не имеет навыков описания физических явлений и процессов, планирования и проведения физических экспериментов адекватными экспериментальными методами; использования различных методов физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивания точности и погрешности измерений	Частично имеет навыки описания физических явлений и процессов, планирования и проведения физических экспериментов адекватными методами, а также использования различных методов физических измерений и обработки экспериментальных данных, оценивания точности и погрешности измерений	Свободно владеет навыками описания физических явлений и процессов, планирования и проведения физических экспериментов адекватными экспериментальными методами; владеет навыками использования различных методов физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивания точности и погрешности измерений	В совершенстве владеет навыками описания физических явлений и процессов, планирования и проведения физических экспериментов адекватными экспериментальными методами; использования различных методов физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивания точности и погрешности измерений	
ОПК -6	ПФ	Знает основные теоретические и экспериментальные методы физических исследований	Не знает и не понимает основные теоретические и экспериментальные методы физических исследований	Поверхностно знает основные теоретические и экспериментальные методы физических исследований	Свободно ориентируется в основных теоретических и экспериментальных методах физических исследований	В совершенстве знает основные теоретические и экспериментальные методы физических исследований	Предэкзаменационный тест. Теоретические вопросы экзаменационного задания
	ПФ	Умеет планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений	Не умеет планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений	С большим трудом умеет планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений	Свободно умеет планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений	В совершенстве умеет планировать и проводить физические эксперименты адекватными экспериментальными методами; использовать различные методы физических измерений и обработки экспериментальных данных; оценивать точность и погрешность измерений	
	ПФ	Владеет	Не владеет	Плохо владеет	Свободно владеет	В совершенстве	

	навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории	навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории	навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории	навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории	владеет навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента; правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории	
--	---	---	---	---	---	--

2. Общие организационные требования к учебной работе студента

2.1. Организация занятий и требования к учебной работе студента

Организация занятий по дисциплине носит циклический характер. По трем разделам предусмотрена взаимосвязанная цепочка учебных работ: лекция – практическое занятие – лабораторные работы – самостоятельная работа студентов (аудиторная и внеаудиторная). На занятиях студенческая группа получает задание для практической самостоятельной работы, которая представляет собой два блока по 15-20 задач. Предусмотрено также самостоятельное изучение тем и подготовка к аудиторным занятиям и контрольным испытаниям.

Для своевременной помощи студентам при изучении дисциплины кафедрой организуются индивидуальные и групповые консультации, устанавливается время приема выполненных работ.

По итогам изучения дисциплины осуществляется аттестация студента в форме итогового контроля (тестирование).

Учитывая статус дисциплины к её изучению предъявляются следующие организационные требования:

- обязательное посещение студентом всех видов аудиторных занятий;
- обязательное ведение конспекта в ходе лекционных занятий;
- качественная самостоятельная подготовка к практическим и лабораторным занятиям, активная работа на них;
- активная, ритмичная самостоятельная аудиторная и внеаудиторная работа студента в соответствии.
- своевременная сдача преподавателю отчетных документов по аудиторным и внеаудиторным видам работ;
- в случае наличия пропущенных студентом занятий, необходимо получить консультацию по подготовке и оформлению отдельных видов заданий.

Для успешного освоения курса, студенту предлагаются учебно-информационные источники в виде учебной, учебно-методической литературы по всем разделам (см. п.7)

2.2 Условия допуска к зачету

Согласно Положения о текущем контроле успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратура) и среднего профессионального образования в ФГБОУ ВО Омский ГАУ, выполнившему в полном объеме все требования к учебной работе, прошедший все виды контроля (текущий, рубежный, итоговый). В случае не полного выполнения указанных условий по уважительной причине, студенту могут быть предложены индивидуальные задания по пропущенному учебному материалу.

3. Общие методические рекомендации по изучению отдельных разделов дисциплины

При изучении конкретного раздела дисциплины, из числа вынесенных на лекционные и практические лабораторные занятия, обучающемуся следует учитывать изложенные ниже рекомендации. Обратите на них особое внимание при подготовке к аттестации.

Раздел 1. Физические основы классической механики.

Тема 1.1. Кинематика механического движения. Координатный, векторный методы описания движения. Кинематика движение по окружности.

Вопросы для самоконтроля по разделу:

1. Дайте понятия основных кинематических характеристик криволинейного движения: скорости и ускорения.
2. В чем различие нормального и тангенциального ускорения?
3. Расскажите о кинематике вращательного движения.
4. Дайте понятие угловой скорости и углового ускорения, их связи с линейной скоростью и ускорением.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 1.2. Динамика. Законы динамики. Закон сохранения импульса. Масса, сила, импульс. Момент силы, момент импульса. Основной закон динамики вращательного движения. Теорема Штейнера. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела.

Понятие инерциальных систем отсчета; законы Ньютона; закон сохранения импульса; закон всемирного тяготения; силы трения.

Вопросы для самоконтроля по разделу:

1. В чем заключается сущность инерциальных систем отсчета?
2. В чем заключается сущность законов Ньютона?
3. Дайте понятие и объясните физический смысл массы, импульса, силы, момента силы, момента импульса.
4. Запишите и объясните физический смысл уравнения моментов.
5. Сформулируйте и объясните физический смысл основного закона динамики вращательного движения.
6. Запишите и объясните смысл уравнения движения материальной точки?
7. В чем заключается сущность закона сохранения импульса?
8. В чем заключается сущность закона всемирного тяготения?
9. Расскажите о положительной составляющей силы трения.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 1.3. Работа и энергия. Работа переменной силы. Кинематическая и потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии.

Сила, работа и потенциальная энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Работа и кинетическая энергия. Закон сохранения полной механической энергии в поле потенциальных сил.

Вопросы для самоконтроля по разделу:

1. Дайте понятие силы, работы, потенциальной и кинетической энергии.
2. Дайте определение работы и ее единицы.
3. Дайте определение единицы мощности.
4. Дайте определение потенциальным силам.
5. Сформулируйте и обоснуйте закон сохранения полной механической энергии в поле потенциальных сил.
6. Что называется центральным ударом абсолютно упругих шаров?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 1.4 Элементы СТО. Преобразование Галилея. Механический принцип относительности. Преобразование Лоренца и следствие из них.

Принцип относительности и преобразования Галилея. Неинвариантность электромагнитных явлений относительно преобразований Галилея. Постулаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна. Относительность одновременности и преобразования Лоренца. Относительность одновременности и преобразования Лоренца. Парадоксы релятивистской кинематики: сокращение

длины и замедление времени в движущихся системах отсчета. Релятивистский импульс. Взаимосвязь массы и энергии в СТО. СТО и ядерная энергетика.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте, запишите и объясните принцип относительности и преобразования Галилея.
2. Сформулируйте и запишите преобразования Лоренца.
3. Сформулируйте и объясните постулаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна.
4. Объясните парадоксы релятивистской кинематики: сокращение длины и замедление времени в движущихся системах отсчета.
5. Что такое релятивистский импульс?
6. Обоснуйте взаимосвязь массы и энергии в СТО.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика.

Тема 2.1. Термодинамический и м-к методы изучения макротел. Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно – кинетической теории. Средняя энергия молекулы.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими величинами характеризуется состояние газа?
2. В чем заключается сущность термодинамического и м-к методов изучения макротел, что собой представляет термодинамическое равновесие?
3. Что такое эмпирическая температурная шкала?
4. Что называется идеальным газом?
5. Сформулируйте и объясните физический смысл основного уравнения молекулярно – кинетической теории.
6. Охарактеризуйте давление газа с точки зрения МКТ.
7. Как связаны теплоемкость и число степеней свободы молекул газа?
8. В чем заключается распределение Максвелла для модуля и проекций скорости молекул идеального газа и экспериментальное обоснование распределения Максвелла?
9. В чем заключается сущность распределения Больцмана?
10. Запишите и объясните сущность барометрической формулы.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Раздел 2,

Тема 2.2 Внутренняя энергия идеального газа. Теплота, работа. Первое начало термодинамики и его применение в изопроцессах. Обратимые и не обратимые процессы. Цикл Карно. Второе начало термодинамики. Энтропия, её статическое толкование и связь с термодинамической

Вопросы для самоконтроля.

1. Охарактеризуйте понятия и физический смысл внутренней энергии идеального газа, теплоты, работы.
2. Сформулируйте и запишите уравнение состояния в термодинамике.
3. Дайте понятие теплоемкости, сформулируйте и запишите уравнение Майера.
4. Каким законам подчиняются изопроцессы?
5. Охарактеризуйте процесс преобразования теплоты в механическую работу.
6. Объясните процессы, протекающие в цикле Карно и от чего зависит его коэффициент полезного действия?
7. Сформулируйте и объясните физический смысл второго начала термодинамики.
7. Что такое энтропия и ее статистическое толкование?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Раздел 3, Электричество и магнетизм

Тема 3.1. Электростатика. Элементарный заряд. Закон сохранения заряда. Электрическое поле, Закон Кулона. Теорема Гаусса её применение для расчёта полей. Работа сил поля по перемещению точечного заряда. Циркуляция вектора напряжённости. Потенциал. Связь напряжённости и потенциала.

Вопросы для самоконтроля.

1. Сформулируйте закон сохранения заряда.
2. Сформулируйте закон Кулона.
2. Сформулируйте определение напряжённости и потенциала электростатического поля.
3. Воспроизведите вывод теоремы Гусса и покажите ее применение для расчета электрических полей.
4. Как связаны между собой напряжённость и потенциал?
5. Запишите и объясните физический смысл работы сил поля по перемещению точечного заряда.
4. Сформулируйте основную задачу электростатики проводников.
5. Объясните физический смысл потенциала и эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля между проводниками.
6. Объясните физический смысл электростатической защиты.
7. Расскажите о емкости проводников и конденсаторов и энергии заряженного конденсатора.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 3.2 Постоянный ток. Условия существования тока. Закон Ома. Правила Кирхгофа и его применения.

Вопросы для самоконтроля.

1. Объясните физический смысл постоянного электрического тока и условий его существования?
2. Сформулируйте и объясните физический смысл закона Ома.
3. Сформулируйте и объясните физический смысл правил Кирхгофа.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 3.3 Магнитное поле. Взаимодействие токов. Закон Ампера. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчёту полей: поля кругового тока, прямого тока. Магнитный поток. Работа магнитного поля.

Вопросы для самоконтроля.

1. Объясните процессы взаимодействия токов.
2. Сформулируйте и объясните физический смысл закона Ампера?
3. Запишите и объясните физический смысл закона Био-Савара-Лапласа и его применения к расчёту полей: поля кругового тока, прямого тока.
4. Объясните физический смысл магнитного потока.
5. Охарактеризуйте процесс работы магнитного поля.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема 3.4. Явление электромагнитной индукции. Магнитные свойства вещества. Циркуляция вектора магнитной индукции. Явление самоиндукции. Трансформаторы. Энергия магнитного поля. Электромагнитная теория Максвелла для э/м поля.

Вопросы для самоконтроля.

1. В чем заключается сущность явления электромагнитной индукции?
2. Сформулируйте и объясните физический смысл явления самоиндукции?
3. Объясните устройство и принцип действия трансформатора?
4. Сформулируйте правило Ленца, проиллюстрировав его примерами?
5. От чего зависит ЭДС самоиндукции?
6. По какой формуле определяют энергию магнитного поля?
7. В чем заключается сущность электромагнитной теории Максвелла для э/м поля?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Колебания и волны.

Тема: Гармонические колебания. Незатухающие электрические и механические колебания. Колебательный контур. Маятники. Сложение гармонических колебаний.

Идеальный гармонический осциллятор. Уравнение идеального осциллятора и его решение. Амплитуда, частота и фаза колебания. Примеры колебательных движений различной физической природы. Незатухающие электрические и механические колебания. Вынужденные колебания. Сложение колебаний (биения, фигуры Лиссажу). Колебательный контур. Маятники.

Вопросы для самоконтроля по разделу:

1. Что называется гармоническим осциллятором?
2. Запишите уравнение идеального осциллятора и объясните физический смысл входящих в него величин.
3. Запишите уравнения для свободных затухающих и вынужденных колебаний и объясните физический смысл входящих в них величин.
4. Назовите условия протекания незатухающих электрических и механических колебаний.
5. Объясните сущность работы электрического колебательного контура.
4. Какое явление называется резонансом?
5. Что такое автоколебания?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Единый подход к колебаниям различной физической природы. Дифференциальные уравнения свободных гармонических колебаний, их решение.

Дифференциальные уравнения свободных гармонических колебаний, их решение.

1. Запишите и объясните физический смысл дифференциального уравнения и его решения свободных гармонических колебаний.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Затухающие колебания (электрические и механические). Аперiodический процесс. Вынужденные колебания. Резонанс. Переменный ток.

Затухающие колебания (электрические и механические). Аперiodический процесс. Вынужденные колебания. Резонанс. Переменный ток.

1. Охарактеризуйте свободные затухающие колебания пружинного маятника.
2. Охарактеризуйте свободные затухающие колебания в электрическом колебательном контуре.
3. Какой процесс называется аперiodическим?
4. Запишите и объясните физический смысл дифференциального уравнения и его решения вынужденных (механических и электромагнитных) колебаний.
5. Объясните физический смысл амплитуды и фазы вынужденных (механических и электромагнитных) колебаний.
6. Объясните физический смысл явления резонанса.
7. . Объясните физический смысл основных характеристик и свойств переменного электрического тока.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Волновые процессы. Волновое уравнение (одномерное). Фазовая и групповая скорость

Волновое движение. Плоская гармоническая волна. Длина волны, волновое число, фазовая скорость. Уравнение волны. Одномерное волновое уравнение. Упругие волны в газах жидкостях и твердых телах. Плоские и сферические электромагнитные волны. Поляризация волн.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните различие между скоростью волны и скоростью движения частиц в волне.
2. Объясните понятия периода, длины волны, фазовой скорости.
3. Сформулируйте и объясните физический смысл уравнения волны.
4. Охарактеризуйте плоские и сферические электромагнитные волны

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Оптика

Тема: Развитие представлений о природе света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчёт интерференционной картины от двух источников. Интерференция света. Интерференция света в тонких плёнках. Просветление оптики. Интерферометры.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова природа света?
2. Сформулируйте и объясните условия когерентности и монохроматичности световых волн.
 1. Что такое интерференция? Каким условиям должны удовлетворять волны при интерференции?
 2. Как определяется оптическая разность хода?
 3. При каких условиях наблюдают полосы равной толщины? равного наклона?
 4. В чем заключается суть просветления оптики?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракция на пространственной решётке.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля на простейших преградах.

Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Понятие о голографическом методе получения и восстановления.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте и объясните физический смысл принципа Гюйгенса-Френеля.
2. В чем заключается суть дифракции Фраунгофера?
3. В чем заключается метод зон Френеля?
4. Охарактеризуйте дифракционную решетку как спектральный прибор.
5. Запишите условия дифракционных максимумов для решетки?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Законы Брюстера и Малюса. Поляроиды и их применение.

Форма и степень поляризации монохроматических волн. Получение и анализ линейно-поляризованного света. Линейное двулучепреломление. Прохождение света через линейные фазовые пластинки. Искусственная оптическая анизотропия. Фотоупругость. Циркулярная фазовая анизотропия. ЭлектрОПтические и магнитОПтические эффекты. Законы Брюстера и Малюса. Поляроиды и их применение.

Вопросы для самоконтроля.

1. Охарактеризуйте форму и степень поляризации монохроматических волн, получение и анализ линейно-поляризованного света.
2. Объясните явление линейного двулучепреломления.
3. В чем заключаются сущность явления фотоупругости.
4. В чем заключается сущность электрОПтических и магнитОПтических эффектов?
5. Сформулируйте и объясните физический смысл законов Брюстера и Малюса.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Атом и ядро.

Квантовая физика

Тема: Квантовые свойства электромагнитного излучения.

Квантовая природа излучения. Тепловое излучение. Законы абсолютно чёрного тела. Фотоэффект. Эффект Комптона. Световое давление. Корпускулярно – волновой дуализм. Дифракция электронов. Волновая функция. Уравнение Шредингера.

Вопросы для самоконтроля.

1. Охарактеризуйте спектральные характеристики теплового излучения.
2. Сформулируйте и объясните физический смысл законов Кирхгофа, Стефана-Больцмана и Вина и формулы Релея-Джинса?
3. В чем заключаются сущность гипотезы Планка?
4. Объясните законы теплового излучения с квантовой точки зрения.
5. В чем заключается сущность корпускулярно-волнового дуализма света?
6. Объясните физический смысл дифракции электронов.
7. Охарактеризуйте волновую функцию, ее статистический смысл и условия, которым она должна удовлетворять.
8. Запишите и объясните физический смысл уравнения Шредингера.
9. В чем заключается сущность опыта Штерна и Герлаха, Эффект Зеемана?
10. В чем заключается сущность фотоэффекта и эффекта Комптона?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Атом водорода по Резерфорду - Бору. Происхождения линейчатого спектра водорода. Серийная формула

Атом водорода по Резерфорду - Бору. Происхождения линейчатого спектра водорода. Серийная формула

Вопросы для самоконтроля.

1. В чем заключается сущность опытов Резерфорда?
2. В чем заключается сущность происхождения линейчатого спектра водорода?
3. Объясните физический смысл серийной формулы?
3. Охарактеризуйте ядерную модель атома.
4. В чем заключается сущность эмпирических закономерностей в атомных спектрах?
5. Запишите и объясните физический смысл формулы Бальмера.

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

Тема: Основы физики атомного ядра.

Строение атома. Изотопы. Радиоактивность. Ядерная реакция. Законы сохранения в ядерных реакциях. Цепная реакция деления. Элементы физики элементарных частиц

Вопросы для самоконтроля.

1. Какой состав имеет атомное ядро?
2. Дайте характеристику ядра: заряда, массы, энергии связи нуклонов.
3. Охарактеризуйте явление радиоактивности.
4. Назовите основные виды и законы радиоактивного излучения.
5. Приведите примеры ядерных реакций.
6. При каких условиях происходит деление и синтез ядер?
7. Что Вы узнали о дозиметрии и защите?

Учебная литература

Основная и дополнительная работа представлена в п. 7 настоящих Указаний.

3.1 .Общие методические рекомендации по оформлению и выполнению лабораторных работ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели работы:

- 1) изучение различных видов погрешностей, возникающих при прямых и косвенных измерениях физических величин,
- 2) определение плотности вещества твердых тел правильной геометрической формы (цилиндр, параллелепипед).

Приборы и принадлежности: штангенциркуль, весы, цилиндр.

Теоретические сведения

Измерение физической величины – процесс сравнения измеряемой величины с помощью технических средств с однородной ей величиной, условно принятой за единицу.

Различают два вида измерений: прямые и косвенные.

Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опыта.

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной функциональной зависимости между ней и величинами полученными при проведении прямых измерений.

Погрешностью измерения является величина отклонения результата измерений от истинного значения измеряемой величины.

Действительным значением физической величины называется её значение, найденное экспериментальным путём и максимально приближенное к истинному значению. Как таковое действительным значением может являться среднее арифметическое отдельных измерений.

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{при } x_i - \text{результат } i - \text{ого замера величины } x. \quad n - \text{число измерений величины } x.$$

Абсолютная погрешность – это модуль отклонения результата i -ого измерения x_i , от действительного значения. Выражается в единицах измерения величины.

$$\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle$$

Относительная погрешность – это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины.

$$\delta_i = \frac{\Delta x_i}{\langle x \rangle}$$

Представленная погрешность может содержать в себе систематическую составляющую и случайную составляющую.

Систематической погрешностью называют погрешность, сохраняющую постоянное значение и знак или меняющуюся по известному закону при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях.

Случайной погрешностью является погрешность, возникающая при повторных измерениях одной и той же величины в виду изменения внешних условий.

«**Выпады**» («**промахи**») – значительные отклонения полученных результатов от ожидаемых, при известных погрешностях.

Средняя арифметическая погрешность измерения физической величины.

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad \text{при } \Delta x_i - \text{абсолютная погрешность } i - \text{ого измерения величины } x.$$

Среднеквадратичное отклонение результата измерения величины

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad \square$$

Приборная погрешность

В ряде случаев многократное проведение наблюдений дает одно и то же значение измеряемой величины. Например, при измерении диаметра цилиндра миллиметровой линейкой получается одно и то же значение $d = 45,0$ мм. Это не означает, что отсутствует погрешность измерений. Любой измерительный прибор обладает собственной или приборной погрешностью, которая определяется точностью изготовления и градуировки прибора, условиями работы. Приборная погрешность заносится в паспорт прибора. Если специальных указаний нет, то, как правило, в качестве приборной погрешности берется половина наименьшего деления шкалы. В нашем примере величину цилиндра можно записать:

$$d = (45,0 \pm 0,5) \text{ мм.}$$

Если прибор имеет одну шкалу или один предел измерения, тогда наименьшее деление шкалы определяет цену деления прибора. В многопределных, универсальных приборах шкала обычно не градуируется в значениях измеряемой величины. В таком случае, цена деления прибора зависит от выбранного предела измерения. Предел измерения – это максимально возможная, в данном случае, измеряемая прибором физическая величина.

Рассмотрим пример. Предел измерения для вольтметра составляет $U_{max} = 50$ В, шкала прибора имеет $n_{max} = 100$ делений. Цена деления шкалы:

$$c = \frac{U_{max}}{n_{max}} = 0,5 \frac{\text{В}}{\text{дел.}}$$

Стрелка прибора остановилась на $n_x = 30$ дел. Измеренное напряжение в этом случае равно:

$$U_x = c \cdot n_x = 0,5 \frac{\text{В}}{\text{дел.}} \cdot 30 \text{ дел} = 15 \text{ В.}$$

Таким образом, для определения значения измеряемой многопределным прибором физической величины необходимо прежде всего, исходя из выбранного предела измерения X_{max} , который соответствует n_{max} – делений шкалы, рассчитать цену деления

$$c = \frac{X_{max}}{n_{max}}. \quad (1.6)$$

Затем определить искомое значение, умножив показания прибора на цену деления:

$$X = c \cdot n_{max}. \quad (1.7)$$

Точность прибора определяется точностью его изготовления и градуировки. Согласно ГОСТ все электроизмерительные приборы разделяют на 8 классов точности:

$$4,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0 - 0,5 - 0,2 - 0,1 - 0,05.$$

По классу точности можно определить абсолютную погрешность измерительного прибора. Абсолютная погрешность зависит от предела измерения и постоянна в любой части шкалы. Для определения абсолютной погрешности необходимо величину выбранного предела измерения умножить на класс точности. Класс точности задан в процентах.

Например, для прибора с классом точности 0,5 при измерении тока на пределе 10А абсолютная погрешность составляет:

$$\Delta I = \pm (10 \text{ А} \cdot 0,5 \%) = \pm (10 \text{ А} \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ А.}$$

Если измерить этим прибором следующие токи $I_1 = 10 \text{ А}$, $I_2 = 5 \text{ А}$, $I_3 = 1 \text{ А}$, то абсолютная погрешность во всех случаях одинакова $I = 5 \cdot 10^{-2} \text{ А}$. Результаты измерений:

$$I_1 = (10 \pm 0,05) \text{ А};$$

$$I_2 = (5 \pm 0,05) \text{ А};$$

$$I_3 = (1 \pm 0,05) \text{ А.}$$

Однако, относительные погрешности, характеризующие качество измерения, будут различны:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta I_1}{I_1} \cdot 100\% = \frac{0,05}{10} \cdot 100\% = 0,5\%;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta I_2}{I_2} \cdot 100\% = \frac{0,05}{5} \cdot 100\% = 1\%;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta I_3}{I_3} \cdot 100\% = \frac{0,05}{1} \cdot 100\% = 5\%.$$

Относительная погрешность тем меньше, чем ближе измеряемая величина к пределу измерения. Поэтому рекомендуется выбирать предел таким образом, чтобы измеряемое значение находилось во второй половине шкалы прибора. При использовании стрелочных лабораторных приборов с зеркальной шкалой при считывании показаний необходимо совместить стрелку с ее зеркальным изображением. При таком положении глаза оказывается наименьшей ошибка на параллакс.

В случае измерения физических величин сложными приборами и устройствами, приборная погрешность определяется по зависимостям, которые указаны в паспорте прибора. Например, при измерении тока, напряжения, сопротивления универсальными цифровыми приборами относительная погрешность измерения определяется формулами:

$$\varepsilon = \pm \left(0,1 \pm 0,1 \frac{X_K}{X} \right) \%;$$
 (1.8)

$$\varepsilon = \pm \left(0,05 \pm 0,05 \frac{X_K}{X} \right) \%.$$
 (1.9)

Коэффициенты 0,1 и 0,05 определяются условиями измерения и конструктивными особенностями приборов. X_K – конечное значение установленного предела измерений (предел), X – показания прибора.

Выбор формулы (1.8) или (1.9) определяется измеряемой величиной и пределом измерения. Во всех случаях необходимо, для расчета погрешности измерений такими приборами, обращаться к паспортным данным измерительного устройства.

2. Определение плотности твердых тел правильной геометрической формы Плотностью тела называют массу тела, объем которого равен единице объема 1 м^3 .

$$\text{Средняя плотность тела равна отношению массы тела к его объему } V = h \frac{\pi D^2}{4}; \quad \rho = \frac{m}{V}$$

$$(\text{кг/м}^3); \quad \rho = \frac{4m}{h\pi D^2},$$

где m – масса тела определяется взвешиванием на технических весах;

V – объем тела, находится посредством измерения его линейных размеров штангенциркулем и микрометром.

Порядок выполнения работы

1. Определить высоту цилиндра штангенциркулем.
2. Измерения повторить не менее 3-х раз, каждый раз поворачивая цилиндр.
3. Записать данные измерений в таблицу 1.3.
4. Вычислить среднее значение высоты цилиндра, абсолютную и относительную погрешности.
5. Записать в таблицу 1.3 погрешность прибора.

Таблица 1.3

№ изм.	h , мм	$\langle h \rangle$, мм	Δh , мм	$\langle \Delta h \rangle$, мм	$\Delta h_{пр.}$, мм	$\Delta h = \langle \Delta h \rangle + \Delta h_{пр.}$, мм

						$h = \langle \Delta h \rangle \pm \Delta h$ $\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{\langle h \rangle} 100\%$
--	--	--	--	--	--	--

6. Прежде, чем пользоваться микрометром, необходимо, чтобы нули шкал (барабана и миллиметровой шкалы) совпадали.

Основным источником ошибок при пользовании микрометром является неравномерность нажатия винта на измеряемый предмет. Для устранения этого недостатка современные микрометры снабжаются специальным приспособлением (трещеткой), не допускающим слишком сильного нажатия (деформации тела).

7. Измерить диаметр цилиндра (проволоки) D микрометром, повторить измерения 3-5 раз.
8. Вычислить абсолютную и относительную погрешность.
9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

№ изм.	D , мм	$\langle D \rangle$, мм	ΔD , мм	$\langle \Delta D \rangle$, мм	$\Delta D_{пр.}$, мм	$\Delta D = \langle \Delta D \rangle + \Delta D_{пр.}$, мм	$\varepsilon_2 = \frac{\Delta D}{\langle D \rangle} 100\%$
1							
2							
3							
4							
5							
$D = \langle \Delta D \rangle \pm \Delta D$							

В этих таблицах Δh и ΔD – погрешность отдельных измерений;

$\langle \Delta h \rangle$ и $\langle \Delta D \rangle$ – средняя абсолютная погрешность;

$\Delta h_{пр.}$ и $\Delta D_{пр.}$ – погрешность приборная, инструментальная;

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{\langle h \rangle} 100\%; \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta D}{\langle D \rangle} 100\%.$$

10. Измерить массу цилиндра

Δm – абсолютная погрешность измерения массы, вычисляется по таблице 1.5.

11. По формуле $V = h \frac{\pi D^2}{4}$ – вычислить объем цилиндра в см^3 , а затем в м^3 .

12. По формуле $\rho = \frac{m}{V}$ вычислить плотность тела.

13. По выведенным формулам вычислить абсолютную, относительную погрешность ε плотности и запишите окончательный результат:

$$\rho = \langle \rho \rangle \pm \Delta \rho \text{ (кг/м}^3\text{)},$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta \rho}{\langle \rho \rangle} 100\%.$$

Таблица 1.5

Погрешности гирь		Погрешности гирь	
Номинальное значение	Погрешность	Номинальное значение	Погрешность
10 мг; 20 мг, 50 мг, 100 мг	± 1 мг	5 г	± 8 мг
200 мг	± 2 мг	10 г	± 12 мг
500 мг	± 3 мг	20 г	± 20 мг
1 г	± 4 мг	50 г	± 30 мг
2 г	± 6 мг	100 г	± 40 мг

3. Контрольные вопросы

1. Классификация погрешностей.
2. Вычисление погрешностей при прямых измерениях.

3. Приборная погрешность. Класс точности прибора.
4. Как оценивается погрешность измерения при наличии систематических погрешностей и промахов?
5. Округление результатов, погрешность табличной величины.
6. Построение графиков, таблиц, указание погрешностей на графиках.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цели работы: определить ускорение свободного падения методом математического маятника, сравнить результаты измерений с g_0 .

Теоретические сведения

Гармоническим колебанием физической величины α называется процесс изменения ее за время t по закону гармонической функции, например:

$$\alpha = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний – максимальное значение колеблющейся величины,
 ω – циклическая частота колебания, величина $\varphi = \omega t + \varphi_0$ носит название фазы колебания,
 φ_0 – начальная фаза колебаний.

Периодом колебания называется промежуток времени, за который совершается одно полное колебание. При этом фаза колебания изменится на 2π , т.е. $\omega(t + T) + \varphi_0 = \omega t + \varphi_0 + 2\pi$,

откуда

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2)$$

Величина ω – круговая (циклическая) частота колебания, характеризует изменение фазы колебания за единицу времени.

Примерами гармонических колебаний являются колебания физического и математического маятников.

Физическим маятником называется тело, укрепленное на неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через его центр тяжести, и способное совершать колебания относительно этой оси (рисунок 1).

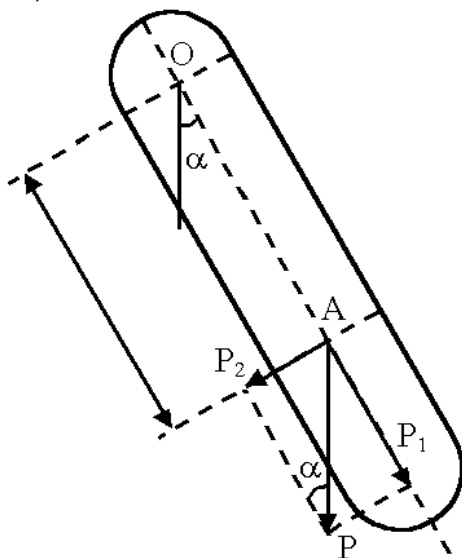


Рисунок 1

Математический маятник – это идеализированная система, состоящая из материальной точки m , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити и колеблющейся под действием силы тяжести. Хорошим приближением математического маятника является тяжелый шарик, подвешенный на тонкой длинной нити (диаметр шарика во много раз меньше длины нити, масса которой во много раз меньше массы шарика), второй конец которой закреплен неподвижно.

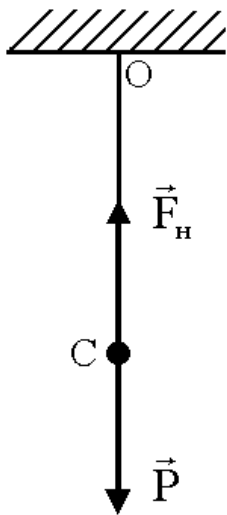


Рисунок 2

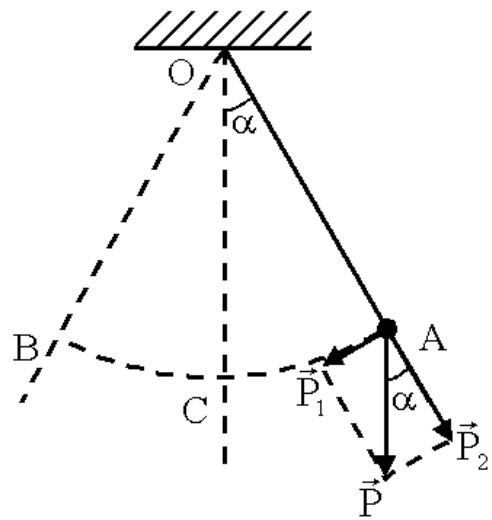


Рисунок 3

При малых углах отклонения математический маятник совершает гармонические колебания с циклической частотой ω_0 и периодом колебания T .

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (3)$$

Из формулы следует, что период колебаний математического маятника не зависит от его массы.

2. Описание установки и теория метода

Математический маятник представляет собой массивный шарик небольшого размера, подвешенный на длинной двойной нити, чтобы колебания происходили строго в одной плоскости (рисунок 5.5).

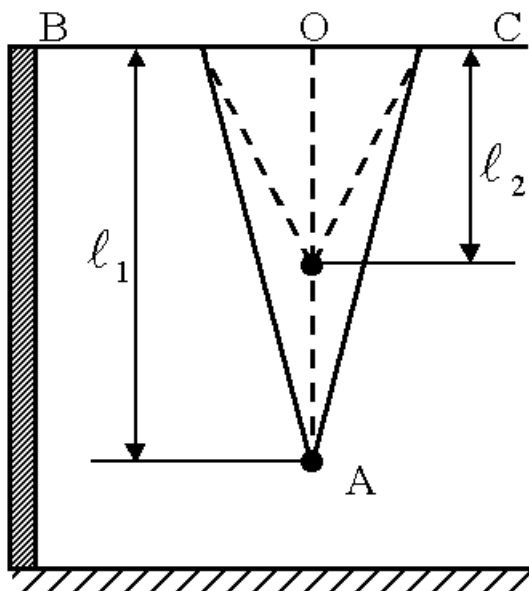


Рисунок 4.

На перекладине BC подвешен на двойной нити шарик A. Длину математического маятника можно изменять, натягивая нить на барабан. Периоды колебаний математического маятника T_1 и T_2 определяются при разных длинах l_1 и l_2 по формуле (5.12)

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g}} \quad (4)$$

Возводим в квадрат T_1 и T_2

$$T_1^2 = 4\pi^2 \frac{l_1}{g}, \quad T_2^2 = 4\pi^2 \frac{l_2}{g}$$

и получим для ускорения свободного падения g следующее соотношение:

$$g = 4\pi^2 \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2}. \quad (5)$$

Так как в формулу (5) входит разность длин маятников, то можно измерить расстояние точки O до точки подвеса шарика (\cdot)А (рисунок 4).

3. Порядок выполнения работы

1. Установить максимальную длину математического маятника l_1 .
2. Определить с помощью секундомера время t 20-30 N полных колебаний и вычислить период

колебаний $T_1 = \frac{t_1}{N}$ маятника. Измерение повторить не менее 3^x раз. Углы отклонения маятника должны быть $4^0 - 6^0$.

3. Поднять шарик на 15-20 см, наматывая нить на барабан, закрепив его стопорным винтом, и определить его длину l_2

4. Определить период колебаний маятника $T_2 = \frac{t_2}{N}$. Измерение произвести не менее 3^x раз.

5. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности ускорения свободного падения Δg и ε и сравнить с $g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2$.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ изм.	N число колеб.	l_1	t_1	T_1	l_2	t_2	T_2	g	$\varepsilon, \%$	$\Delta g, \text{ м/с}^2$
1										
2										

4. Контрольные вопросы

1. Какой процесс называется гармоническим колебанием?
2. Что называется физическим маятником?
3. Вывести формулу периода математического маятника.
4. Зависит ли период колебаний математического маятника от его массы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

Цель работы:

- знакомство с одним из методов экспериментального определения момента инерции тел;
 - проверка основного закона вращательного движения твёрдого тела относительно неподвижной оси.
- Оборудование:** маятник Обербека, набор грузов, секундомер, масштабная линейка, штангенциркуль, технические весы.

Теоретические сведения

Вращение твёрдого тела постоянной массы вокруг неподвижной оси описывается законом вращательного движения:

$$\varepsilon = \frac{M}{J} \quad (1)$$

Т.е. угловое ускорение ε прямо пропорционально моменту силы M относительно оси вращения и обратно пропорционально моменту инерции тела J относительно той же оси.

Моментом силы (или вращающим моментом) M называется произведение действующей силы F на кратчайшее расстояние l между осью вращения и направлением линии действия силы, т.е.

$$M = F \cdot l \quad (2)$$

где l – радиус-вектор точки приложения силы.

Момент инерции тела J является физической величиной, характеризующей инертность тела к изменению угловой скорости под действием вращающего момента.

Моментом инерции материальной точки относительно оси вращения называется произведение ее массы m на квадрат ее расстояния r до этой оси:

$$J = mr^2 \quad (3)$$

Момент инерции тела относительно оси вращения равен сумме моментов инерции всех точек относительно той же оси:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i \cdot r_i^2 \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что момент инерции тела J относительно оси вращения зависит от распределения ее массы относительно данной оси.

Из основного закона вращательного движения (1) следует, что при постоянном моменте инерции $J_1 = J_2$ угловые ускорения ϵ_1 и ϵ_2 пропорциональны действующим на тело моментам сил $M_1 = M_2$, т. е.

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{M_1}{M_2} \quad (5)$$

а при постоянном моменте сил ($M_1 = M_2$) угловые ускорения ϵ_1 и ϵ_2 обратно пропорциональны моментам инерции J_1 и J_2 , т. е.

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{J_2}{J_1} \quad (6)$$

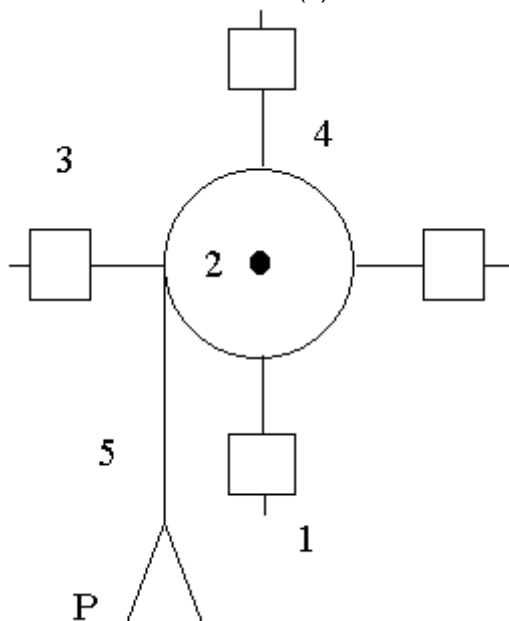


Рис.1

В данной работе изучается вращательное движение твердого тела на специальном приборе, называемом маятником Обербека (рис. 1).

Основной частью маятника Обербека является крестообразный маховик 1, закрепленный на горизонтальной оси 2. На спицы крестовины насажены одинаковые по размерам и массе цилиндры 3, положение которых можно менять. Когда цилиндры расположены на равных расстояниях от оси вращения, маховик находится в безразличном равновесии. На одной оси с маховиком находится шкив 4 с намотанной на него нитью 5. К концу нити привязан груз P .

Если намотать нить на шкив, предоставить маховик самому себе, то под действием груза нить, разматываясь, приводит маховик в равноускоренное вращение с угловым ускорением ϵ . Измеряя секундомером время падения груза t с высоты h , можно определить ускорение падения a , пользуясь уравнением пути равноускоренного движения без начальной скорости

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (7)$$

Если нить нерастяжима и при падении груза сматывается со шкива без скольжения, то ускорение точек, лежащих на поверхности шкива, равно ускорению падения груза P . Тогда, измерив радиус шкива R и использовав связь между линейным и угловым ускорением, можно определить угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{a}{R} = \frac{2h}{Rt^2} \quad (8)$$

Вращающий момент создается силой натяжения нити T , которая приложена по касательной к шкиву. Плечом силы T является радиус R шкива. Следовательно,

$$M = TR \quad (9)$$

Сила натяжения вызвана действием груза P . При условии невесомости нити натяжение остается постоянным вдоль всей нити.

Чтобы найти силу T , применим второй закон Ньютона. При падении груза P с ускорением a на него действуют две силы: сила веса этого груза $P = mg$ и натяжение нити T , т.е. $Ma = P - T$ отсюда:

$$T = P - ma = m(g - a) = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \quad (10)$$

Если подставить это в (9), получим расчетную формулу для вращающего момента силы:

$$M = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)R = mgR\left(1 - \frac{2h}{gt^2}\right) \quad (11)$$

Чтобы получить расчетную формулу для момента инерции, произведем подстановку (8) и (11) в (1)

$$J = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{mgR^2t^2}{2h}\left(1 - \frac{2h}{gt^2}\right) \quad (12)$$

Это и есть расчетная формула, позволяющая по измеренным P , R , h , t найти момент инерции маятника Обербека.

Заметим, что формулу (12) можно вывести на основе закона сохранения энергии. Вращение маховика и поступательное движение груза P происходит за счет потенциальной энергии. Если не учитывать потери энергии вследствие трения в подшипниках осей маховика и блока, то можно считать, что потенциальная энергия груза полностью переходит в кинетическую энергию вращения маховика

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} \quad (13)$$

где ω - угловая скорость вращения маховика, а $v = \omega R$ скорость поступательного движения груза (линейная скорость точек на поверхности шкива).

Решим уравнение (13) относительно J :

$$J = \left(mgh - \frac{mv^2}{2}\right) \frac{2}{\omega^2} = \frac{2mghR}{v^2} \left(1 - \frac{mv^2}{2mgh}\right) \quad (14)$$

$$h = \frac{vt}{2} \quad \text{или} \quad v = \frac{2h}{t}$$

Так как для равноускоренного движения выполняется подстановки в (14) получим окончательно (12)

$$J = \frac{mgR^2t^2}{2h} \left(1 - \frac{2h}{gt^2} \right) \quad (12a)$$

Момент инерции маятника Обербека можно записать с хорошим приближением в виде:

$$J \approx \frac{mgR^2t^2}{2h} \quad (14a)$$

$$\frac{2h}{gt^2} \approx 0,01$$

если

С другой стороны, момент инерции маятника можно рассчитать по формуле

$$J = J_0 + m_0 L^2 \quad (15)$$

где J_0 - момент инерции крестовины маятника без грузов,
 m_0 - масса четырех цилиндрических грузов, надетых на крестовину,
 L - расстояние от оси прибора до центра цилиндров.

Порядок выполнения работы

1. Закрепите цилиндры у основания крестовины. Измерьте расстояние L_1 от оси до центра цилиндров с точностью $\Delta L = 0,1 \text{ см}$.
2. Определите массу гири с точностью $\Delta m = 0,5 \text{ г}$.
3. Измерьте радиус шкива с точностью $\Delta R = 0,1 \text{ см}$.
4. Подвесьте гирю на нити и вращением маятника намотайте нить на шкив так, чтобы расстояние от пола было $h = 100 \text{ см}$. Измерьте высоту h с точностью $\Delta h = 0,1 \text{ см}$.
5. Отпустите маятник; включив секундомер, определите промежуток времени t , в течение которого гиря опускается до пола. Повторите 3 раза и найдите среднее время и средние ошибки t .
6. Рассчитайте момент инерции J_1 по формуле (14а).
7. Закрепите цилиндры маятника на концах крестовины, измерьте L_2 и среднее время, согласно п.5.
8. Рассчитайте момент инерции J_2 по формуле (14а).
9. Результаты занесите в соответствующие колонки таблицы 1.

Определение момента инерции и момента силы		
Таблица 1	I	II
L		
P		
R		
h		
t_1		
t_2		
t_3		
t_{cp}		
M		
J		
e		

1. Снимите цилиндры маятника с крестовины и измерьте, согласно п. 5, момент инерции одной крестовины J_0 . Результаты занесите в таблицу 2.

Определение момента инерции крестовины

Таблица 2	
L	
P	
R	
h	
t_1	
t_2	
t_3	
t_{cp}	
J_0	

1. Оцените погрешности $D J_1, D J_2, D J_3$. Согласно формуле (14), относительные и абсолютные погрешности оцениваются соответственно так:

$$\left| \frac{\Delta J}{J} \right| = \frac{\Delta m}{m} + 2 \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta h}{h}$$

2. Найдите по данным измерениям $D J_1, D J_2, D J_3$.

3. Запишите окончательный результат в виде $J_1 + \Delta J_1; J_2 + \Delta J_2$

4. Рассчитайте моменты J_1 и J_2 по формуле (15) и сравните с экспериментальными значениями.

5. При разных L рассчитайте по данным измерений угловые ускорения ϵ согласно (8) и вращающие моменты M согласно (11), проверьте соотношение (6).

Контрольные вопросы.

1. Какая физическая величина называется моментом инерции материальной точки, тела?
2. Что называется моментом силы, плечом силы?
3. Сформулируйте основной закон вращательного движения. Сравните с поступательным движением.
4. С какой силой движущийся вместе с нитью груз действует на нить?
5. Как определяется в работе момент силы? Как его можно измерить?
6. Как определяются линейное ускорение груза и угловое ускорение маховика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ МЕТОДОМ НАКЛОННОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучение силы трения качения методом наклонного маятника, определение коэффициента трения качения.

Краткие теоретические сведения

При любом перемещении соприкасающихся тел или их частей друг относительно друга возникает сопротивление этому движению, что объясняется действием сил трения. Трение, возникающее между соприкасающимися телами, называется внешним, а трение, возникающее между частями одного и того же тела; называется внутренним. Трение между поверхностями твердых тел при отсутствии какой-либо смазки между ними называется сухим, а трение между слоями жидкости или газа - жидким или вязким.

Кинетическое трение разделяют на трение скольжения и трение качения. Трение скольжения возникает тогда, когда во время всего движения одно тело соприкасается с другим определенной частью своей поверхности. Чтобы вызвать движение (скольжение) тела, необходимо приложить к нему внешнюю силу F . Минимальное значение этой силы соответствует значению силы трения покоя ($F_{трпокоя}$) макс. Амонтон и Кулон также экспериментально установили, что сила трения скольжения $F_{трск}$ подчиняется закону:

$$F_{трск}^{ск} = \mu F_N, \quad (2)$$

где μ - коэффициент трения скольжения, зависящий от природы и состояния поверхностей, а также от скорости скольжения V (рис 2). Часто зависимость μ от V выражена слабо и ею пренебрегают. Коэффициент трения скольжения определяется опытным путем и в большинстве случаев при малых скоростях движения соприкасающихся тел он оказывается меньше коэффициента трения покоя, то есть $\mu < \mu_0$.

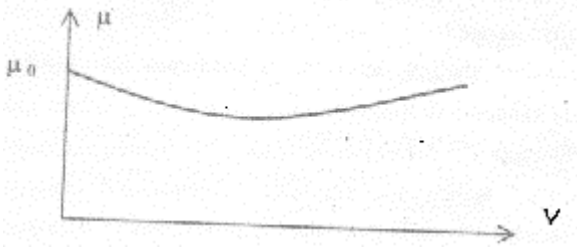


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения скольжения от относительной скорости движения соприкасающихся тел

Универсальный механизм трения не установлен, но основную роль в его возникновении играют две группы сил: а) силы механического взаимодействия, обусловленные наличием неровностей (шероховатостей) соприкасающихся поверхностей; б) силы межмолекулярного взаимодействия, которые быстро убывают с расстоянием и поэтому проявляются только в местах непосредственного контакта тел.

Закон трения скольжения, учитывающий обе эти группы сил, был предложен Дерягиным Б.В. в следующем виде:

$$F_{mp}^{ск} = \mu(F_N + P_0 S_0), \quad (3)$$

где P_0 - давление, обусловленное действием сил межмолекулярного взаимодействия, S_0 - площадь непосредственного контакта тел. S_0 всегда много меньше площади S кажущегося контакта, то есть площади поверхностей соприкасающихся тел. Для шероховатых поверхностей величина S_0 пренебрежимо мала и уравнение (3) переходит в уравнение (2). В случае идеально гладких поверхностей величина S_0 значительно возрастает и действие межмолекулярных сил может привести к "слипанию" тел. У пластических металлов эффект "слипания" может наблюдаться из-за деформаций неоднородностей поверхностей под действием сил F_N нормального давления.

Трение качения возникает при перекатывании цилиндра или шара по поверхности твердого тела. Сила трения качения описывается законом Кулона:

$$F_{mp}^{кач} = \mu_k F_N / R, \quad (4)$$

где μ_k - коэффициент трения качения. F_N - сила нормального давления, R - радиус катящегося тела.

Коэффициент трения качения в отличие от коэффициента трения скольжения не является безразмерной величиной, μ_k имеет размерность длины. Сила трения качения в десятки раз меньше силы трения скольжения. Сила трения качения возникает вследствие взаимных деформаций поверхностей цилиндра (или шара) и твердого тела. В реальных условиях могут возникать как обратимые упругие деформации, так и необратимые пластические (неупругие) деформации,

Рассмотрим цилиндр, катящийся без скольжения по горизонтальной плоскости (рис.3). Из-за возникающих деформаций касание цилиндра с плоскостью происходит не в одной точке А, а вдоль некоторой площадки АВ, смещенной в направлении движения цилиндра. Этот незначительный на первый взгляд факт, приводит к тому, что линия действия силы реакции опоры F_p не совпадает с линией действия силы тяжести цилиндра F_T .

Рассмотрим моменты этих сил относительно оси цилиндра. Момент силы тяжести F_T равен нулю, так как равно нулю плечо этой силы относительно оси цилиндра. Момент силы реакции опоры F_p равен

$$M = F_p k, \quad (5)$$

где k - плечо силы F_p . Момент силы реакции опоры F_p , как видно из рис. 3, тормозит качение цилиндра.

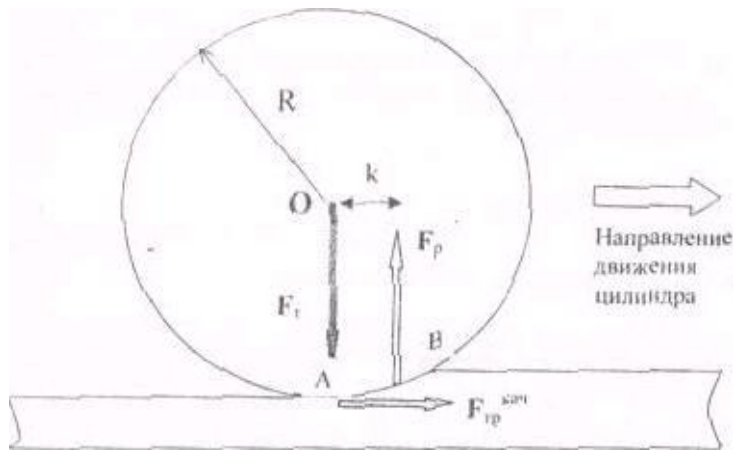


Рис.3. Сила трения качения. Причина возникновения трения качения - деформации поверхностей. Формально можно заменить момент силы реакции опоры F_p на момент силы трения качения $F_{тр}^{кач}$. Будем считать при этом, что сила трения качения $F_{тр}^{кач}$ направлена, как и сила трения скольжения, по касательной к области соприкосновения (площадка АВ) цилиндра с плоскостью. Тогда момент силы трения качения относительно оси цилиндра выразится формулой

$$M_{тр} = F_{тр}^{кач} R, \quad (6)$$

где R - плечо силы трения качения, равное радиусу цилиндра. Из сопоставления формул (5) и (6), с учетом $|F_p| = |F_N|$, следует

$$F_{тр}^{кач} = kF_p / R = kF_N / R. \quad (7)$$

Из сравнения полученного результата с законом Кулона для силы трения качения (формула 4), видно, что коэффициент k представляет собой коэффициент трения качения. Формально он равен плечу силы реакции опоры и имеет размерность длины.

1.2. Описание установки.

Наклонный маятник (рис.4) состоит из шарика (1), подвешенного на кронштейне (2) с помощью тонкой нити (3). Шарик опирается на наклонную плоскость (4). Если нить с шариком отклонить на небольшой угол α от положения равновесия и отпустить, то шарик начнет перекатываться без проскальзывания по плоскости, совершая колебания. Эти колебания будут постепенно затухать в результате действия силы трения качения.

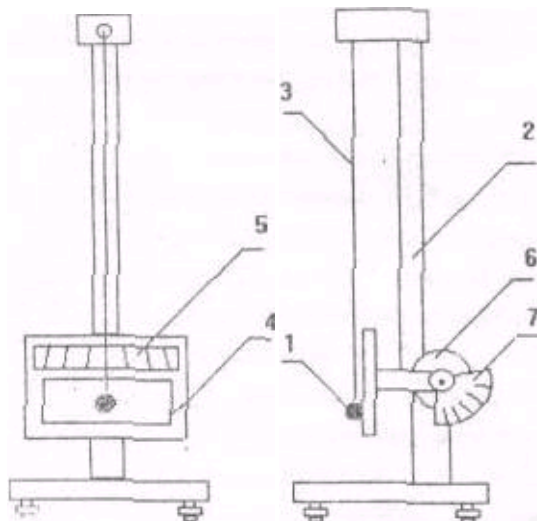


Рис. 4. Наклонный маятник

Коэффициент трения качения может быть определен по уменьшению угла отклонения маятника (нити с шариком) от положения равновесия со временем. Угол отклонения α определяется визуально по шкале (5). С помощью воротка (6), расположенного у основания кронштейна (2), можно изменять угол γ - угол наклона плоскости (4) к горизонту. Там же у основания кронштейна находится шкала (7) для измерения угла γ .

1.3. Методика определения коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника

Определение коэффициента трения качения методом наклонного маятника основано на измерении уменьшения амплитуды его колебаний со временем. Когда маятник совершит n колебаний, угол отклонения его от положения равновесия уменьшится от α_0 до α_n . При этом силы трения совершат работу $A_{тр}$ что приведет к уменьшению полной механической энергии маятника E :

$$A_{мп} = -\Delta E \quad (8)$$

Так как шарик перекачивается по плоскости без проскальзывания, то работа сил трения равна лишь работе сил трения качения (сопротивлением воздуха пренебрегаем),

$$A_{мп} = -F_{мп}^{кач} S, \quad (9)$$

где S - путь, пройденный шариком за n колебаний.

С другой стороны, уменьшение полной механической энергии маятника равно уменьшению его максимальной потенциальной энергии $\Delta E_n^{макс}$, которое, в свою очередь, равно

$$\Delta E_n^{макс} = mg\Delta h, \quad (10)$$

где m - масса маятника, Δh - уменьшение максимальной высоты подъема маятника за n колебаний.

Подставляя выражения (9) и (10) в формулу (8), получим

$$F_{мп}^{кач} S = mg\Delta h \quad (11)$$

Следовательно,

$$\Delta h = L \sin \gamma (\cos \alpha_n - \cos \alpha_0). \quad (12)$$

Учитывая, что для малых углов приближенно выполняется соотношение $\cos \alpha = 1 - \alpha^2/2$, преобразуем выражение (12) к следующему виду :

$$\Delta h = 0,5L \sin \gamma (\alpha_0^2 - \alpha_n^2). \quad (13)$$

С другой стороны, путь S_1 , проходимый шариком за одно полное колебание, равен $S_1 = L \cdot 4\alpha$. Следовательно, за n полных колебаний шарик пройдет путь:

$$S = n(L \cdot 4\alpha_{ср}), \quad (14)$$

где $\alpha_{ср} = (\alpha_0 + \alpha_n)/2$.

Подставляя выражения (13) и (14) в формулу (11), получим для силы трения качения следующее соотношение :

$$F_{тр}^{кач} = mg \sin \gamma (\alpha_0 - \alpha_n) / 4n. \quad (15)$$

Подставляя полученное выражение (15) в формулу (7) и учитывая, что сила нормального давления F_N шарика на наклонную плоскость равна

$$F_N = mg \cos \gamma, \quad (16)$$

получим окончательную формулу для определения коэффициента трения качения методом наклонного маятника :

$$k = \text{Rtg} \gamma \cdot (\alpha_0 - \alpha_n) / 4n \quad (17)$$

1.4. Порядок выполнения работы

1. Установить угол γ наклона плоскости маятника к горизонту в интервале 300 – 600 (по указанию преподавателя).

2. Отклонить шарик от положения равновесия на небольшой угол $\alpha_0 \approx 8 - 100$. (во всех последующих измерениях α_0 сохранять одинаковым')

3 Измерить угол отклонения шарика от положения равновесия α_n после совершения им $n = 10-15$ полных колебаний. Измерения α_n повторить пять раз, результаты записать в таблицу.

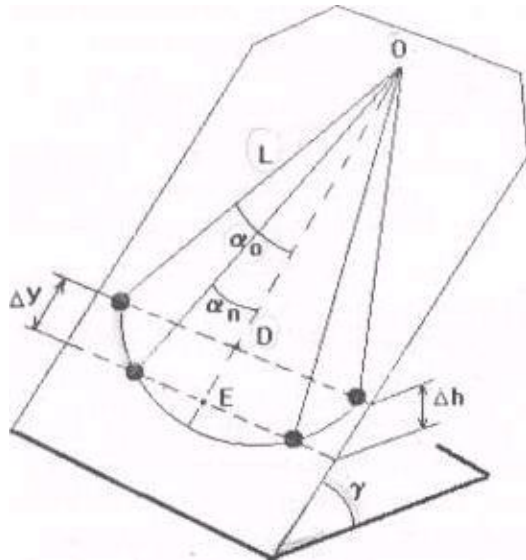


Рис. 5. Схематический вид наклонного маятника

4. Вычислить среднее значение угла отклонения маятника от положения равновесия после n

колебаний: $\alpha_n^{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_{ni}$, (m - число измерений).

5. По формуле (17), взяв среднее значение: α_n^{cp} , рассчитать среднее значение коэффициента трения качения k_{cp} (Радиус шарика $R = 11,1$ мм)

6. Оценить погрешность измерения коэффициента трения качения, пользуясь правилами обработки результатов косвенных измерений:

а) вычислить относительную ошибку $\varepsilon = \Delta k / k$ измерения коэффициента трения качения при доверительной вероятности (надежности) $\delta = 0,95$ по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{3R} t_{\delta, \infty}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \gamma}{3 \cos \gamma \sin \gamma} t_{\delta, \infty}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_0}{3(\alpha_0 - \alpha_n)} t_{\delta, \infty}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_n}{(\alpha_0 - \alpha_n)}\right)^2},$$

где $\Delta R = 0,05$ мм, $\Delta \gamma = 0,5$ град, (в расчетах $\Delta \gamma$ выразить в радианах.), $\Delta \alpha_0 = 0,5$ град; $\Delta \alpha_n$ - погрешность измерения угла α_n , которая рассчитывается по правилам обработки результатов прямых измерений в следующей последовательности :

- находим по результатам измерений среднее значение угла α_n :

$$\alpha_n^{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_{ni};$$

- находим остаточные ошибки отдельных измерений угла α_n :

$$\Delta \alpha_{ni} = (\alpha_{ni} - \alpha_n^{cp});$$

- вычисляем среднюю квадратичную ошибку отдельных измерений:

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\Delta \alpha_{ni})^2}$$

- и отбрасываем промахи (промахом считается результат, остаточная ошибка которого $\Delta \alpha_{ni} > 3S_m$);
- определяем среднюю квадратичную ошибку среднего арифметического:

$$S_{\alpha, cp} = \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (\Delta \alpha_{ni})^2};$$

- по числу измерений m и доверительной вероятности $\delta = 0,95$ находим значение коэффициента Стьюдента $t_{\delta,m}$;

- находим ошибку измерений угла α_n с учетом случайной и систематической погрешностей :

$$\Delta\alpha_n = \sqrt{(t_{\delta,m} S_{\alpha, \text{cp}})^2 + (t_{\delta, \infty} \frac{\Delta\alpha}{3})^2},$$

где $\Delta\alpha = \Delta\alpha_0 = 0,5$ град.

б) оценить границы доверительного интервала Δk :

$$\Delta k = \delta k_{\text{cp}}.$$

7. Записать окончательный результат измерений в виде

$k = k_{\text{cp}} \pm \Delta k$, при $\delta =$, $m =$, $\varepsilon =$ %.

γ , град	α_0 , град	α_n , град	α_n^{cp} , град	k_{cp} , М
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		

1.5. Контрольные вопросы

1. Что называется статическим трением, кинематическим трением, трением скольжения, трением качения?
2. Укажите природу сил трения скольжения, поясните формулу (3).
3. Укажите природу трения качения, поясните физический смысл коэффициента трения качения.
4. Получите выражение (7) для силы трения скольжения.
5. Как зависит сила трения скольжения от радиуса катящегося тела?
6. Что представляет собой наклонный маятник?
7. Опишите методику определения коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника, дайте вывод формулы (17).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ БАЛЛИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: изучение движения крутильного маятника под действием короткого импульса внешней силы и определение скорости пули методом крутильного маятника.

Оборудование: лабораторная установка, набор, набор «пуль», электронный секундомер.

Теоретическое введение

Основным элементом лабораторной установки является крутильный маятник (рис. 1). При попадании в него выпущенной стреляющим устройством «пули» маятник начинает вращаться и совершать крутильные колебания вокруг вертикальной оси.

Опишем удар пули о маятник с помощью закона сохранения момента импульса для системы «пуля – маятник» :

$$mVoL + 0 = 0 + I\omega \quad (1)$$

Здесь m – масса пули, Vo – скорость пули непосредственно перед ударом, L – прицельное расстояние (рис. 1), I – момент инерции маятника относительно оси

начальная угловая скорость приобретенного маятником в

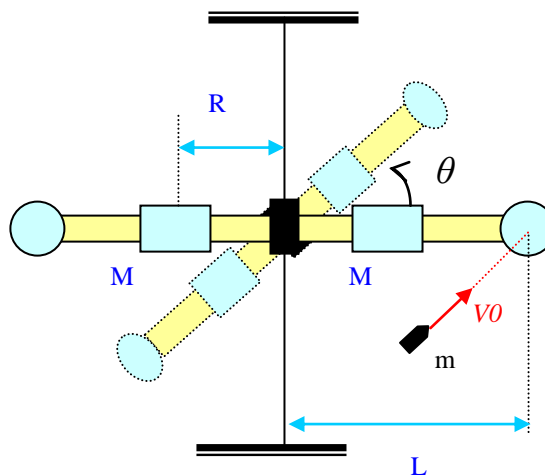


Рис.1

вращения, ω –
вращения,
результате

удара. Перед ударом маятник неподвижен. Считаем, что пуля в результате удара практически

останавливается. Кроме того, будем считать, что удар происходит очень быстро - время соударения мало по сравнению с периодом последующих крутильных колебаний маятника.

После удара маятник начнет поворачиваться, его начальная кинетическая энергия вращательного движения будет переходить в потенциальную энергию закрученной проволоки подвеса маятника. Если максимальный угол закручивания проволоки (в момент остановки маятника) обозначить через $\theta_{\text{макс}}$ (измеряется в радианах!), то закон сохранения энергии можно записать в виде:

$$I\omega^2/2 = D\theta_{\text{макс}}^2/2 \quad (2)$$

где D – постоянная момента упругих сил, возникающих в закрученной проволоке.

Из (1) и (2) можно найти:

$$V_O = \frac{\sqrt{ID}}{mL} \theta_{\text{макс}} \quad (3)$$

Для экспериментального определения скорости пули удобно преобразовать соотношение (3) так, чтобы в него входили непосредственно измеряемые на опыте величины. Сначала воспользуемся формулой для периода колебаний T слабо затухающих крутильных колебаний маятника (см. например, описание работы № 9):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{D}} \quad (4)$$

и исключим неизвестную величину D . В результате получим:

$$V_O = \frac{2\pi}{T} \frac{I}{mL} \theta_{\text{макс}} \quad (5)$$

Согласно теореме Гюйгенса – Штейнера, момент инерции маятника можно представить в виде:

$$I = I_0 + 2MR^2 \quad (6)$$

где $2M$ – масса двух имеющихся на маятнике подвижных грузов, R – расстояние от центра масс каждого из этих грузов до оси вращения маятника, I_0 – момент инерции маятника при условии, что расстояние R было бы равно нулю. Подставляя это выражение в (5), получим следующую формулу для определения скорости пули:

$$V_O = \frac{2\pi}{T} \frac{I_0 + 2MR^2}{mL} \theta_{\text{макс}} \quad (7)$$

Порядок выполнения работы

1. Установите подвижные грузы M на минимальном расстоянии от оси вращения и, сделав 2 – 3 выстрела, определите приблизительно угол отклонения θ_1 маятника при попадании в него пули.

2. Оцените по формуле (9) $\Delta\theta_{\text{сист}}$. Для этого отклоните маятник из положения равновесия на угол θ_1 , отпустите без толчка, измерьте амплитуду θ_2 второго отклонения маятника в ту же сторону. Измерения повторите три раза и найдите среднее арифметическое значение θ_2 . Результаты измерений занесите в табл. 1.

Таблица 1

θ_1	$\theta_{2,1}$	$\theta_{2,2}$	$\theta_{2,3}$	$\theta_{2\text{ср}}$	$\Delta\theta_{\text{сист}}$	$\Delta(\Delta\theta_{\text{сист}})$

3. Сравните найденное значение $\Delta\theta_{\text{сист}}$ с погрешностью $\Delta\theta$ измерений угла по шкале устройства (она равна половине цены деления шкалы).

4. Определите I_0 . Для этого измерьте периоды колебаний маятника T_1 и T_2 при двух различных положениях R_1 (минимальном) и R_2 (максимальном) пар подвижных грузов M . Результаты измерений занесите в табл. 2.

Таблица 2

R_1	R_1^2	ΔR_1	R_2	R_2^2	ΔR_2	T_1	T_1^2	T_2	T_2^2	M	I_0	ΔI_0

4. Установив на расстоянии R_1 (минимальном) грузы M , измерьте отклонение маятника $\theta_{\text{макс}}$ и прицельное расстояние L в серии из четырех выстрелов. Результаты занесите в табл. 3.

Таблица 3.

L_1	L_2	L_3	L_4	$L_{\text{ср}}$	ΔL	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	$\theta_{\text{ср}}$	$\Delta\theta_{\text{ср}}$

Rcp	Rcp ²	Tcp	ΔTcp	Vo, м/с	ΔVo, м/с

Пользуясь соотношением (7), определите скорость пули.

Контрольные вопросы.

1. Выведите формулу (3).
2. На основании полученных Вами опытных данных оцените постоянную момента упругих сил D .
3. По экспериментальным результатам оцените кинетическую энергию маятника сразу после удара пули о маятник. Оцените, какая часть кинетической энергии пули при ударе переходит в тепло.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цель работы: измерить коэффициент вязкости.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндр с исследуемой жидкостью, металлические шарики, микрометр, секундомер, миллиметровая линейка.

Краткие теоретические сведения

При движении жидкости между ее соседними слоями, движущимися с разными скоростями, возникают силы **внутреннего трения**, действующие таким образом, чтобы уравнивать скорости всех слоев. Возникновение этих сил объясняется тем, что слои, движущиеся с разными скоростями, обмениваются молекулами. Молекулы из более быстрого слоя передают более медленному слою некоторое количество движения (импульс), вследствие чего он начинает двигаться быстрее. Молекулы из более медленного слоя получают в быстром слое некоторое количество движения, что приводит к торможению быстрого слоя. При переносе импульса от слоя к слою происходит изменение импульса всех слоев. Это значит, что **на каждый из слоев действует сила, равная изменению импульса в единицу времени (второй закон Ньютона)**.

Рассмотрим жидкость, движущуюся в направлении оси x (рис. 2.1). Пусть на расстоянии dz скорости потока отличаются на величину dv . Отношение dv/dz характеризует изменение скорости потока в направлении оси z и называется **градиентом скорости**. Таким образом, *градиент скорости численно равен изменению скорости на единице длины в направлении, перпендикулярном скорости*.

Согласно закону Ньютона, сила внутреннего трения (вязкости), действующая между двумя слоями, пропорциональна площади их соприкосновения ΔS и градиенту скорости:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S \quad (2.1)$$

Величина η ("эта") называется **коэффициентом внутреннего трения** или коэффициентом динамической вязкости. Если в формуле (2.1) положить численно $dv/dz = 1$ и $\Delta S = 1$, то $F = \eta$, т.е. *коэффициент динамической вязкости численно равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения двух слоев, движущихся относительно друг друга с градиентом скорости, равным единице*.

В системе СИ единица измерения $[\eta] = \text{кг} / (\text{м} \cdot \text{с}) = \text{Па} \cdot \text{с}$.

Коэффициент вязкости η зависит от природы жидкости и для данной жидкости с повышением температуры уменьшается.

Силами внутреннего трения в жидкости обусловлено сопротивление, которое испытывает твердое тело при движении относительно жидкости. Аналитическое решение задачи нахождения силы сопротивления является очень сложным. Подобная задача была решена английским физиком **Стоксом** лишь для случая очень медленного движения шарика в безграничном объеме жидкости. **Сила вязкого трения** в

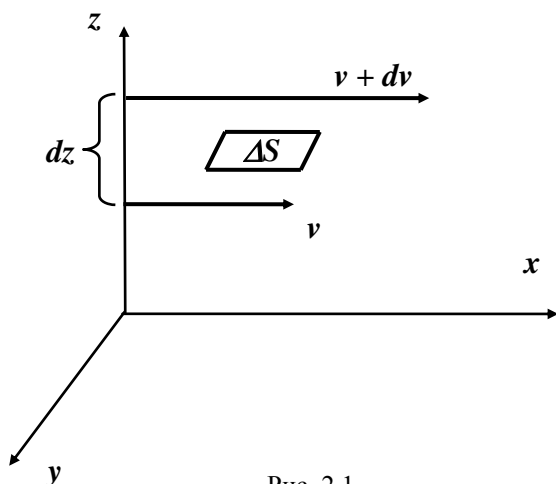


Рис. 2.1

этом случае оказалась равной следующей величине:

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (2.2)$$

здесь r - радиус шарика; v - его скорость относительно части жидкости, находящейся в покое.

Метод Стокса

Формула Стокса (2.2) позволяет определить коэффициент вязкости η , если известны другие величины. Метод определения коэффициента вязкости с помощью уравнения (2.2) называется методом Стокса.

Рассмотрим падение шарика в вязкой жидкости. При движении шарика слой жидкости, граничащий с его поверхностью, прилипает к шару и движется со скоростью шарика, поэтому различные слои отличаются по скорости, и возникает сила вязкого трения.

На шарик, падающий в вязкой жидкости, действуют три силы (рис.2.2):

- 1) сила тяжести $F_1 = mg = \rho Vg$;
- 2) сила Архимеда $F_2 = \rho_{ж} Vg$ (равная весу жидкости в объеме шарика);
- 3) сила вязкого трения, обусловленная вязкостью жидкости $F_3 = 6\pi\eta r v$.

Здесь ρ - плотность материала шарика; $\rho_{ж}$ - плотность жидкости; V - объем шарика; g - ускорение свободного падения. Все три силы направлены по вертикали: F_1 - вниз, F_2 и F_3 - вверх.

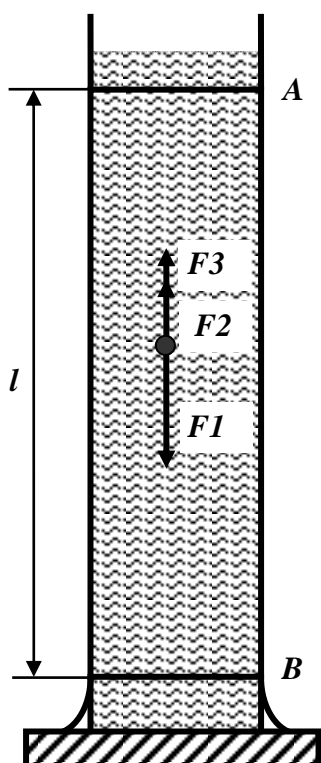


Рис. 2.2

В общем случае уравнение движения шарика имеет вид $F_1 - F_2 - F_3 = m dv/dt$. (2.3)

Поскольку сила вязкого трения, действующая на шарик, зависит от скорости, то ускорение dv/dt уменьшается до тех пор, пока шарик не достиг такой скорости v_0 , при которой ускорение равно нулю. Тогда уравнение (2.3) примет вид:

$$(\rho - \rho_{ж})Vg - 6\pi\eta r v_0 = 0. \quad (2.4)$$

В этом случае шарик движется с постоянной скоростью v_0 .

Решая уравнение (2.4) относительно η , получим

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_{ж})Vg}{6\pi r v_0}. \quad (2.5)$$

Если теперь учесть, что $V = 4/3\pi r^3$, $r = d/2$, $v_0 = l/t$, где d - диаметр шарика; l - длина участка равномерного движения, пройденного за время t , то формула (2.5) примет окончательный вид:

$$\eta = \frac{g(\rho - \rho_{ж})d^2 t}{18l}. \quad (2.6)$$

Таким образом, для нахождения η нужно измерить d , l , t .

Описание установки

Длинный стеклянный цилиндр, наполненный исследуемой жидкостью, имеет две горизонтальные метки: A и B , расположенные на расстоянии l друг от друга. Метка A установлена так, что при прохождении через нее шарики уже имеют постоянную скорость v_0 (см. рис.2.2).

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Измерить диаметр шарика микрометром. Записать результат в табл. 2.1.

Таблица 2.1

$\rho = \dots \text{ кг/м}^3 \quad \rho_{ж} = \dots \text{ кг/м}^3 \quad l = \dots \text{ см}$					
№ п/п	d , мм	t , с	η_i , Па·с	$\Delta\eta_i = \langle \eta \rangle - \eta_i$, Па·с	$\Delta\eta_i^2$, Па ² ·с ²
1					
2					
3					
4					
.					
.					
.					

7					
$\langle \eta \rangle =$		$\frac{\sum \Delta \eta_i^2}{n}$			

2. С помощью секундомера измерить время прохождения шариком расстояния между метками **A** и **B**. Записать результат в табл. 2.1. Опыт произвести с 5 - 7 шариками.

3. Измерить расстояние l между метками. Записать в табл. 2.1.

4. Так как η зависит от температуры, записать в таблицу температуру T , при которой производятся измерения.

5. По результатам каждого опыта вычислить коэффициент вязкости по формуле (2.6). Плотность материала шарика указывается лаборантом, плотность жидкости измеряется ареометром (если прибор отсутствует - ее тоже задает лаборант).

6. Найти среднее значение $\langle \eta \rangle$ из вычисленных по формуле

$$\langle \eta \rangle = \frac{g(\rho - \rho_{жк})d^2 \langle t \rangle}{18 \langle l \rangle}.$$

7. Абсолютную погрешность измерений (полуширину доверительного интервала) найти по формуле

$$\Delta \eta = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum \Delta \eta_i^2}{n(n-1)}}.$$

Коэффициент Стьюдента, $t_{\alpha, n}$ - найти по таблице (приложение 1), задавшись надежностью α .

8. Оценить точность измерений, найдя относительную погрешность

$$\varepsilon = \Delta \eta / \langle \eta \rangle.$$

9. Окончательный результат записать в виде доверительного интервала $\eta = \langle \eta \rangle \pm \Delta \eta$ с указанием значения α .

Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость жидкости? Объясните возникновение сил вязкости с молекулярно-кинетической точки зрения.
2. Каков физический смысл коэффициента динамической вязкости? Пользуясь формулой (2.2), выведите единицы измерения коэффициента вязкости.
3. Что называется градиентом скорости?
4. Запишите и поясните формулу Стокса для силы вязкости.
5. Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкости? Как они направлены?
6. Сформулируйте закон Архимеда.
7. Запишите уравнение движения шарика в жидкости.
8. Каков характер движения шарика в жидкости между метками **A** и **B**?
9. Выведите расчетную формулу для коэффициента вязкости.
10. Порядок выполнения лабораторной работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: определить коэффициент поверхностного натяжения воды при комнатной температуре.

Приборы и принадлежности: сосуд с водой, мерный стакан.

1.1. Краткие теоретические сведения

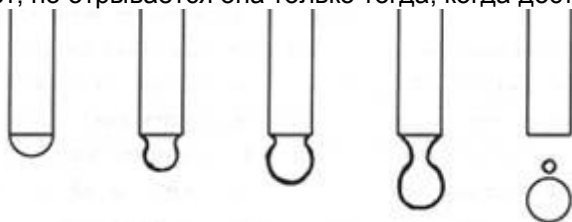
Наблюдая за отрывом капли жидкости от вертикальной узкой трубки, можно определить коэффициент σ поверхностного натяжения жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины границы свободной поверхности жидкости:

$$\sigma = \frac{F}{l}, \quad (1)$$

где l – длина участка контура, на который действует сила F (см. рис. 3 лаб. раб. № 207, а также небольшое теоретическое введение об энергии поверхностного слоя и поверхностном натяжении жидкостей).

Рассмотрим, как растет капля жидкости при выходе из узкой трубки. Размер капли постепенно нарастает, но отрывается она только тогда, когда достигает определенного размера (см. рис. 1 а).



а bc

Рис. 1.

Пока капля недостаточно велика, силы поверхностного натяжения достаточны, чтобы противостоять силе тяжести и предотвратить отрыв. Перед отрывом образуется сужение – шейка капли (рис. 1b). Пока капля удерживается на конце капиллярной трубки, на нее будут действовать силы:

сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз и стремящаяся оторвать каплю (рис. 2);

силы поверхностного натяжения \vec{f} , направленные по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно контуру l шейки капли.

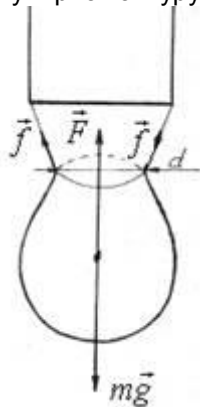


Рис. 2.

Эти силы стремятся удержать каплю. Результирующая сила поверхностного натяжения \vec{F} направлена вверх и равна

$$F = \sigma l, \quad (2)$$

где l – длина контура шейки капли. Когда сила тяжести станет равна силе поверхностного натяжения произойдет отрыв капли:

$$m\vec{g} = -\vec{F}.$$

Для модулей сил:

$$mg = F. \quad (3)$$

С учетом (2) запишем:

$$mg = \sigma l.$$

Так как длина контура шейки капли

$$l = \pi d,$$

где d – диаметр шейки капли, следовательно

$$mg = \sigma \pi d,$$

откуда

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d}. \quad (4)$$

Масса одной капли

$$m_k = \rho V_k,$$

где ρ – плотность жидкости (для воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$), V_k – объем одной капли.

Если посчитать, сколько капель вытечет из капиллярной трубки в мерный стакан, и измерить их объем V , то можно найти объем одной капли:

$$V_x = \frac{V}{N}$$

Тогда коэффициент поверхностного натяжения можно рассчитать по формуле:

$$\sigma = \frac{\rho V g}{\pi d N} \quad (5)$$

Формула (5) является рабочей расчетной формулой.

Описанный способ экспериментального определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости дает хорошие результаты, несмотря на то, что в действительности отрыв капли происходит не совсем так, как описано выше.

В действительности капля не отрывается по линии окружности шейки. В момент, когда размер капли достигает значения, определяемого равенством (3), шейка начинает быстро сужаться (рис. 1*b*), причем ей сопутствует еще одна маленькая капля (рис. 1*c*).

Кроме того, в расчетах, диаметр шейки капли в момент отрыва можно принять равным внутреннему диаметру трубки, так как трубка достаточно узкая и ее диаметр сравним с диаметром шейки капли.

Для расчета σ по формуле (5) необходимо во время измерения следить за чистотой капилляра и воды. Кроме того, коэффициент поверхностного натяжения σ зависит от температуры исследуемой жидкости: с ростом температуры он уменьшается. При комнатной температуре 20 °С табличное значение коэффициента σ для дистиллированной воды $\sigma_{\text{табл}} = 72,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

1.2. Описание рабочей установки

Рабочая установка состоит из сосуда с водой 1, укрепленного на штативе 5.

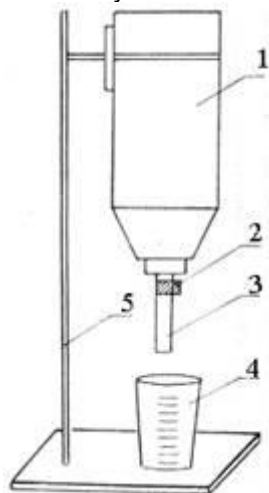


Рис. 3.

К сосуду прикреплена капиллярная трубка 3 с клапаном 2. Клапан позволяет регулировать поток воды, вытекающей из сосуда 1 в мерный стакан 4.

При открытом клапане 2 вода капает из трубки 3 в мерный стакан 4. Если посчитать число капель N и измерить их объем в мерном стакане V , а также, зная диаметр капилляра d , можно найти коэффициент поверхностного натяжения воды σ .

1.3. Порядок выполнения работы

1. Налить воду в сосуд 1.
2. Открыть клапан 2, так чтобы вода из капиллярной трубки 3 вытекала по одной капле.
3. Посчитать, сколько капель вытечет из трубки, чтобы мерный стакан был заполнен до объема $V \approx 5 \div 20 \text{ мл}$ (по указанию преподавателя) ($1 \text{ мл} = 10^{-6} \text{ м}^3$).
4. Занести в таблицу число капель N и объем V жидкости в мерном стакане.
5. Опыт повторить 3 – 4 раза.
6. Рассчитать коэффициент поверхностного натяжения по формуле (5). Значение диаметра капилляра d спросите у преподавателя или у лаборанта.
7. Измерить температуру окружающей среды.
8. Сравнить рассчитанное значение коэффициента поверхностного натяжения с табличным (см. выше).

9. Рассчитать абсолютную $\Delta\sigma$ и относительную E погрешности искомой величины:

$$\Delta\sigma = \left| \langle \sigma \rangle - \sigma_{\text{мэбрл}} \right| \quad \text{и} \quad E = \frac{\Delta\sigma}{\langle \sigma \rangle} 100\%.$$

Таблица результатов

№ опыта	t	V	N	d	σ	$\langle \sigma \rangle$	$\Delta\sigma$	E
	°C	м ³		м	Н/м	Н/м	Н/м	%

1.4. Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?
2. Напишите рабочую формулу и поясните входящие в нее величины.
3. От чего зависит коэффициент поверхностного натяжения жидкостей?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

1. Цель работы: измерение теплоемкости твердого тела, закрепление ряда понятий термодинамики, связанных со способами теплопередачи.

Приборы

и

принадлежности:

2 калориметра, 2 термометра, твердое тело массой 100 г из стандартного набора, горячая и холодная вода, сосуд объемом не менее 300 мл, лопатка для перемешивания воды.

Краткое

теоретическое

введение

Термодинамика (или общая теория теплоты) изучает системы из большого числа частиц на основе анализа возможных в этой системе превращений энергии без учета ее микроскопического строения. Для описания состояния системы используются физические величины, относящиеся к системе в целом – термодинамические параметры (например, давление, объем, температура). Если эти параметры имеют определенные и постоянные значения в любой части макросистемы, то состояние системы называют равновесным. Изменение состояния происходит при совершении системой (или над ней) работы, а также при передаче ей (или отведении) теплоты. **Внутренняя энергия U** складывается из энергии беспорядочного теплового движения атомов или молекул и энергии межмолекулярных и межатомных взаимодействий и движений. **Количество теплоты Q** – физическая величина, показывающая энергию, полученную телом при теплообмене. Согласно первому началу термодинамики это количество теплоты идет на приращение ее внутренней энергии и на совершение системой работы ($\Delta A = p \Delta V$) над внешними телами: $Q = \Delta U + \Delta A$.

Теплообмен – переход внутренней энергии одного тела во внутреннюю энергию другого тела без совершения механической работы. Существуют **три способа теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение.**

Теплообмен - самопроизвольный необратимый перенос теплоты (точнее, энергии в форме теплоты) между телами или участками внутри тела с различной температурой. В соответствии со вторым началом термодинамики теплота переносится в направлении меньшего значения температуры. Теплообмен всегда ведет к выравниваю температур тел.

Теплопроводность осуществляется в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц (атомов, молекул, ионов и др.). Более подвижные (т. е. более нагретые) частицы тела (молекулы, атомы) при непосредственном соприкосновении передают часть своей энергии менее подвижным, т. е. более холодным частицам. Процесс теплообмена теплопроводностью имеет место главным образом в твердых телах, частицы которых более сближены друг с другом. Так, при нагревании металлического листа водном месте, например при его сварке, спустя некоторое время можно обнаружить, что повысилась температура и других участков листа, которые непосредственно

не нагревались: тепло распространилось теплопроводностью. В чистом виде теплопроводность может встречаться в твердых телах, не имеющих внутренних пор и в неподвижных слоях жидкостей, газов или паров. В тепловых процессах капельных жидкостей, а тем более газов, теплопроводность играет малую роль (теплопроводность жидкостей и газов невелика). **Конвекция (К)** (от лат. convectio — принесение, доставка), перенос теплоты в жидкостях, газах или сыпучих средах потоками вещества. Различают естественную, или свободную, и вынужденную К. **Естественная К.** возникает при неравномерном нагреве (нагреве снизу) текучих или сыпучих веществ, находящихся в поле силы тяжести (или в системе, движущейся с ускорением). Вещество, нагретое сильнее, имеет меньшую плотность и под действием архимедовой силы F_A перемещается относительно менее нагретого вещества. Сила $F_A = \Delta\rho \cdot Vg$ ($\Delta\rho$ — разность плотностей нагретого вещества и окружающей среды, V — объём нагретого вещества, g — ускорение свободного падения). Направление силы F_A , а следовательно, и К. для нагретых объёмов вещества противоположно направлению силы тяжести. К. приводит к выравниванию температуры вещества. При стационарном подводе теплоты к веществу в нём возникают стационарные конвекционные потоки, переносящие теплоту от более нагретых слоев к менее нагретым. С уменьшением разности температур между слоями интенсивность К. падает. При высоких значениях теплопроводности и вязкости среды К. также оказывается ослабленной. В условиях невесомости естественная К. невозможна. **При вынужденной К.** перемещение вещества происходит главным образом под воздействием какого-либо устройства (насоса, мешалки и т.п.). Интенсивность переноса теплоты здесь зависит не только от перечисленных выше факторов, но и от скорости вынужденного движения вещества. К. широко распространена в природе: в нижнем слое земной атмосферы, морях и океанах, в недрах Земли, на Солнце (в слое до глубины ~20—30% радиуса Солнца от его поверхности) и т.д. С помощью К. осуществляют охлаждение или нагревание жидкостей и газов в различных технических устройствах.

Лучистый теплообмен, радиационный теплообмен, осуществляется в результате процессов превращения внутренней энергии вещества в энергию излучения, переноса энергии излучения и её поглощения веществом. Протекание процессов **Лучистый теплообмен** определяется взаимным расположением в пространстве тел, обменивающихся теплом, свойствами среды, разделяющей эти тела. Существенное отличие **лучистого теплообмена** от других видов теплообмена заключается в том, что он может протекать и при отсутствии материальной среды, разделяющей поверхности теплообмена, так как осуществляется в результате распространения электромагнитного излучения.

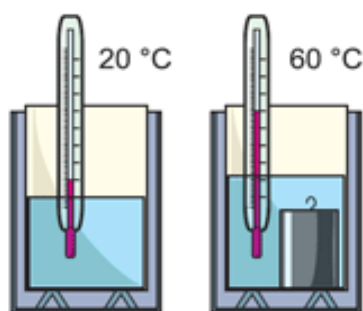
Удельная теплоемкость вещества С — физическая величина, показывающая количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 кг этого вещества на 1 градус. Единица — 1 Дж/(кг·°С). Количество теплоты, полученное/отданное телом при теплообмене, пропорционально массе тела m и изменению его температуры ΔT . Коэффициент пропорциональности — удельная теплоемкость вещества:

$$Q = C \cdot m \cdot \Delta T. \tag{1}$$

Для того, чтобы рассчитать температуру, которую будет иметь тело при теплопередаче, необходимо составить уравнение теплового баланса: Количество тепла, отданного одними телами, равно количеству тепла, принятому другими телами системы. Оно выражает собой всеобщий закон сохранения энергии в термодинамике. (Отметим, что работы в рассматриваемой задаче над системой не совершалось).

$$\left(\sum_i Q_i\right)^{прин} = \left(\sum_j Q_j\right)^{отдан} \tag{2}$$

2.2. Методика измерения теплоемкости



Для сравнения теплоемкостей разных тел пользуются **калориметром**. Калориметр представляет собой металлический сосуд с крышкой, имеющий форму стакана. Сосуд ставят на пробки, помещенные в другой, больший сосуд так, что между обоими сосудами остается слой воздуха (рис.). Все эти предосторожности уменьшают отдачу теплоты окружающим телам. Сосуд наполняют известным количеством воды массой $m_в$, температура которой до опыта измеряется (пусть она равна t_1). Теплоемкость воды при комнатных температурах берем из таблиц: $c_в = 4,19$ Дж/(кг·К). Затем берут тело массы m , теплоемкость которого хотят измерить, и нагревают до известной температуры t_2 (например, помещают в пары кипящей воды, так что температура

$t_2=100^{\circ}\text{C}$). Нагретое тело опускают в воду калориметра, закрывают крышку и, помешивая мешалкой, ждут, пока температура в калориметре установится (это произойдет, когда вода и тело примут одинаковую температуру). Тогда отмечают эту температуру t .

Из результатов опытов можно найти удельную теплоемкость тела c_2 , пользуясь тем, что уменьшение энергии охлаждающегося тела равно увеличению энергии нагревающейся при этом воды и калориметра, т. е. применяя закон сохранения энергии:

$$c_0 m_0 (t - t_1) + C_k (t - t_1) = c_2 \cdot m \cdot (t_2 - t), \quad (3)$$

Где C_k – полная (не удельная, а для всей массы) теплоемкость калориметра и мешалки (при ее использовании). Эта величина неизвестна, и определить ее можно в ходе следующего простого эксперимента.

Нальем в калориметр некоторое количество воды (массы m) при комнатной температуре t_1 , а затем такое же количество воды при температуре t_2 . Через некоторое время измерим установившуюся температуру t . Запишем уравнение теплового баланса:

$$c_0 m_0 (t - t_1) + C_k (t - t_1) = c_0 \cdot m_0 \cdot (t_2 - t) \quad (4)$$

Выразим из него неизвестную C_k :

$$C_k = \frac{c_0 m_0 (t_2 + t_1 - 2t)}{(t - t_1)}. \quad (5)$$

Замечание: Погрешность расчетов такого метода довольно велика – до 30%. Рекомендуем для ее уменьшения измерить теплоемкость калориметра несколько раз в ходе отдельной лабораторной работы или в качестве индивидуального задания для группы учащихся. Это значение можно указать при выполнении данной работы как известное, а работу по нахождению выполнять во фронтальном варианте.

Теперь выразим из (3) искомую теплоемкость c_2 :

$$c_2 = \frac{(c_0 m_0 + C_k) \cdot (t - t_1)}{m \cdot (t_2 - t)} \quad (6)$$

3. Экспериментальная часть.

1. Налить в калориметр 100 г воды комнатной температуры t_1 .
2. Тело массой 100 г, теплоемкость которого хотят измерить, помещают в пары кипящей воды, так что температура $t_2=100^{\circ}\text{C}$.
3. Осторожно погружают нагретое тело в калориметр (этот этап осуществляется лаборантом). Помешивая воду лопаткой, дождаться установления равновесной температуры t , записать ее значение в таблицу.
4. Рассчитать значение теплоемкости тела.

№	$t_1, ^{\circ}\text{C}$	$t_2, ^{\circ}\text{C}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	Средн $\langle c_2 \rangle$

5. Рассчитать среднеквадратическое отклонение среднего по формуле:

$$S_{c_2} = \sqrt{\frac{\sum_i (\langle c_2 \rangle - c_{2i})^2}{n(n-1)}}$$

где n – число опытов.

6. Рассчитать оценку относительной погрешности расчета $\delta c_2 = S_{c_2} / \langle c_2 \rangle$ и записать результат в стандартном виде:

$$c_2 = (\langle c_2 \rangle \pm S_{c_2}) \text{ кДж/(кг К)}, \quad \delta c_2 = .$$

7. Сравнить полученное значение с табличным. Сформулируйте и запишите вывод.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое теплота?
2. Сформулируйте 1 и 2 начала термодинамики.
3. Какие виды теплопередачи вы знаете? Какие из них осуществлялись в рассматриваемой работе? Выделите из них основные.
4. Опишите устройство калориметра. Какова роль воздушной прослойки между наружным и внутренним стаканами прибора?
5. Что изменилось бы в ходе эксперимента, если бы мы не перемешивали ложечкой воду в калориметре? Как это сказалось бы на результатах?
6. Что нужно было бы сделать, чтоб уменьшить потери тепла на излучение?
7. Если к твердым телам с одинаковой массой и начальной температурой подвести одинаковое количество теплоты (все материалы остаются твердыми), то температура вещества с большей теплоемкостью будет больше, меньше или равна температуре тела с меньшей теплоемкостью?
8. Из наблюдений известно, что в летний день суша нагревается и остывает быстрее, чем вода в озере. Что можно сказать про удельные теплоемкости суши и воды (какая из величин больше)?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

Исследование изопроцессов (изобарный процесс)

Цель: проверка соотношения между измерением объема и температуры определенного количества газа при его изобарном охлаждении. В соответствии с законом Гей-Люссака это соотношение должно иметь вид: $V_1/T_1 = V_2/T_2$ (1), где V_1 и V_2 – объемы, занимаемые данной массой газа соответственно до и после охлаждения, а T_1 и T_2 – его температуры.

Оборудование: прозрачная трубка с двумя кранами на концах, лабораторный термометр, измерительная лента, внешний стакан калориметр, сосуд с теплой водой, сосуд с холодной водой.

Содержание и метод выполнения работы

Исследуемый газом в данной работе является воздух, находящийся внутри прозрачной трубки. Для изоляции внутренней полости трубки от внешней среды на концах закреплены специальные краны.

Измерения объема и температуры теплого и холодного воздуха внутри трубки проводят в следующем порядке.

Трубку плотно, виток к витку, укладывают внутрь стакана калориметра. Кран, который расположится при этом вблизи дна, предварительно закрывают. Верхний кран оставляют открытым. Затем в калориметр наливают нагретую до 55 – 60°С воду. Воду заливают так, чтобы открытый кран оказался бы погруженным в нее не более чем на 5 – 10мм. По мере прогрева объем воздуха в трубке будет возрастать и из открытого крана станут выходить пузырьки. В момент, когда температура воздуха сравнивается с температурой теплой воды, выделение пузырьков прекратится. Это состояние воздуха в трубке принимают за исходное. Температура воздуха в исходном состоянии T_1 можно определить, если измерить температуру воды в стакане. Его объем V_1 равен объему внутренней полости трубки.

После измерения температуры теплой воды воздух переводят в состояние с другими параметрами. Для этого закрывают кран, теплую воду сливают и заполняют стакан холодной водой, следя за тем, чтобы ее уровень над верхним краном оказался таким же, как в первой части опыта. После этого кран опять открывают. При охлаждении объем воздуха уменьшается, и через открытый кран в трубку поступит некоторое количество воды. Когда температура воды и воздуха опять станут одинаковыми (через 1-2 минуты), приступают к определению параметров газа в новом состоянии.

Температуру воздуха вновь определяют по температуре воды. Чтобы определить его объем после охлаждения, закрывают верхний кран, трубку извлекают из калориметра и, удерживая вертикально, резко встряхивают несколько раз. При этом капли воды, попавшие внутрь, сольются и образуют неразрывный столбик. Измерив объем этого водяного столба и вычтя его из внутреннего объема трубки, узнают объем воздуха в конечном состоянии.

Измерение объемов в этой работе удобно проводить в условных единицах по длине воздушного или водяного столба : внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и ее объем $V = Sx l$, но площадь поперечного сечения S в ходе опыта не меняется, и, чтобы не измерять эту величину, которая после подстановки в равенство (1) все равно сократится, объем выражают в единицах длины.

Давление воздуха в трубке в первой и второй части опыта равнялось сумме атмосферного давления и давления небольшого столба воды над открытым краном. Поскольку уровень теплой и холодной воды не менялся, то эта сумма в ходе опыта не менялась, а значит и давление воздуха в трубке при его охлаждении оставалось постоянным, то есть процесс протекал изобарически.

В завершении работы сравнивают отношения объема воздуха к его температуре до и после охлаждения

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

2.

l_1 , см	t_1 , °С	T_1 , °К	Δl , см	l_2 , см	t_2 , °С	T_2 , °К	l_1/T_1	l_2/T_2

3. Измерьте длину воздушного столба в трубке – l_1 .

4. Закройте один кран и уложите трубку виток к витку в стакан калориметра. Кран на верхнем конце оставьте открытым.

5. Заполните стакан теплой водой и поместите в него калориметр.

6. Наблюдайте за выделением пузырьков воздуха из открытого крана. Как только оно прекратится, определите и запишите показания - t_1 (°С).

7. Закройте кран, слейте теплую воду, заполните стакан холодной водой до прежнего уровня и снова откройте кран.

8. Выждав полторы – две минуты, определите и запишите показания термометра - t_2 (°С).

9. Закройте кран, слейте воду, извлеките шланг из стакана, встряхните его и измерьте длину столба воды в нем - Δl (см).

10. Вычислите длину столба охлажденного воздуха: $l_2 = l_1 - \Delta l$

11. Переведите записанные показания термометра в градусы Кельвина: $T = t + 273^0$.

12. Вычислите отношения l_1/T_1 и l_2/T_2 и сделайте вывод о том, насколько точно измерение параметров газа в проделанном опыте соответствует закону Гей-Люссака.

13. Укажите причины, повлиявшие на точность полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Почему процесс охлаждения воздуха в данной работе можно считать изобарным?

2. Какие условия должны выполняться, чтобы, определяя параметры газа, можно было воспользоваться законом Гей-Люссака?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

ОПЫТ ПЕРРЕНА

Цель: наблюдение броуновского движения

Краткие теоретические или справочно-информационные материалы

В 1827 г. английский ботаник Роберт Броун обратил внимание на движение взвешенных в жидкости частиц. Позднее он описал это движение. Оно было беспорядочным, все частицы двигались по необычным траекториям, представляющим собой ломанные линии. Движение было непрерывным и ни на миг не прекращалось. Обнаруженное ученым движение частиц стало называться в его честь **броуновским движением** [21, С. 5] (рис. 1).

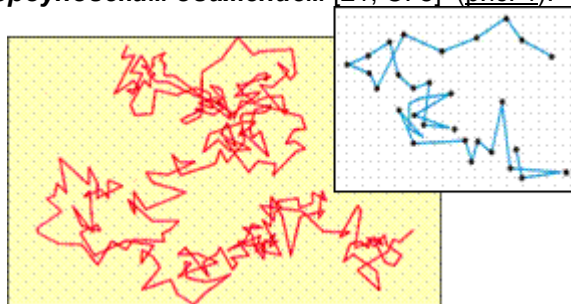


Рис 1. Траектории движения броуновских частиц [24]

Первоначально ученые не проявляли интерес к этому явлению. Тем более, не предпринимались сколько-нибудь серьезные попытки к его объяснению. Во второй половине XIX века объяснение данного явления заинтересовало многих ученых. Выяснилось, что движение каждой частицы является непрерывным и не связано с движением окружающих частиц. Оно не зависит от яркости направленного на него света. При этом на скорость частиц влияет их масса и вязкость окружающей среды. Мелкие частицы двигались быстрее, чем крупные.

В 1863 г. Людвиг Кристиан Винер, обобщив результаты всех ранее проведенных исследований, установил, что это броуновское движение вызвано не внешними воздействиями, а определяется только внутренними движениями, присущими самой жидкости. Оно обязано своим происхождением столкновениям броуновской частицы с молекулами жидкости. Л.Винер впервые попытался измерить скорость перемещения броуновских частиц и ее зависимость от их размера

Не смотря на то, что в начале 20 в. большинство ученых верно понимали молекулярную природу броуновского движения, все объяснения этого явления оставались чисто качественными. Количественной теории явления не существовало, Соответственно не было ясно, какие именно характеристики этого явления нужно измерить, чтобы убедиться в справедливости молекулярной теории строения вещества.

Как это не удивительно, но, не смотря на кажущийся беспорядок и случайные перемещения броуновских частиц, оказалось все же возможным описать это движение математической формулой. Впервые строгое объяснение броуновского движения дал в 1904 польский физик Мариан Смолуховский (1872–1917). Одновременно разработку теории этого явления вел Альберт Эйнштейн (1879–1955). В мае в 1905 в немецком журнале *AnnalenderPhysik* появилась его статья под длинным названием «*О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты*». Такое название А.Эйнштейн выбрал для того, чтобы показать, что существование случайного движения мельчайших твердых частиц в жидкостях является прямым следствием молекулярно-кинетической теории строения вещества. В соответствии с теорией Смолуховского-Эйнштейна, среднее значение квадрата смещения броуновской частицы (s^2) за время t прямо пропорционально температуре T и обратно пропорционально вязкости жидкости h , размеру частицы r и постоянной Авогадро N_A :

$$s^2 = \frac{2RT \cdot t}{6\pi\eta \cdot r \cdot N_A} ,$$

где R – газовая постоянная.

Оказалось принципиально важным, что в эту формулу входит постоянная Авогадро, которую теперь можно было определить путем количественных измерений перемещения броуновской частицы.

Французский физик Жан Батист Перрен в 1908 г. поставил эксперимент, результаты которого должны были стать прямым подтверждением статистической теории броуновского движения Эйнштейна–Смолуховского.

Истинность теории Ж. Перрен проверил, исследуя распределение частиц эмульсии по высоте. В основу экспериментальной работы Ж.Перрена легли результаты исследования Л. Больцмана,

который в 1876 г. открыл закон распределения молекул атмосферного воздуха в поле тяготения. В математической формулировке этот закон имел следующий вид:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{m \cdot g \cdot h}{kT}}$$

Ж. Б. Перрен применил эту формулу для исследования распределения броуновских частиц с высотой, поскольку считал, что систему из броуновских частиц можно рассматривать в качестве модели молекулярно-кинетической структуры газа.

Итак, эксперимент, поставленный Ж. Перреном, был направлен на проверку полученных теоретическим путем математических закономерностей, которым подчиняется броуновское движение. В случае успеха получала подтверждение и молекулярная теория строения вещества.

Для проверки статистической теории Эйнштейна-Смолуховского и закона распределения Л. Больцмана Ж. Перрен использовал следующее оборудование: предметное стекло с цилиндрическим углублением, однородную эмульсию из частиц гуммигута (смолы garsiniatogel) одинакового размера ($r \sim 10^{-5}$ см), покровное стекло, микроскоп с малой глубиной изображения.

Одинаковые по размеру зернышки раствора должны были расположиться по предположению Ж. Перрена в соответствии с законом распределения числа частиц с высотой. Именно для исследования распределения частиц по высоте экспериментатор сделал в предметном стекле цилиндрическое углубление. Это углубление он заполнил эмульсией, затем закрыл сверху покровным стеклом. Для наблюдения эффекта Ж. Перрен использовал микроскоп с малой глубиной изображения (рис.2) . [19, С. 197].

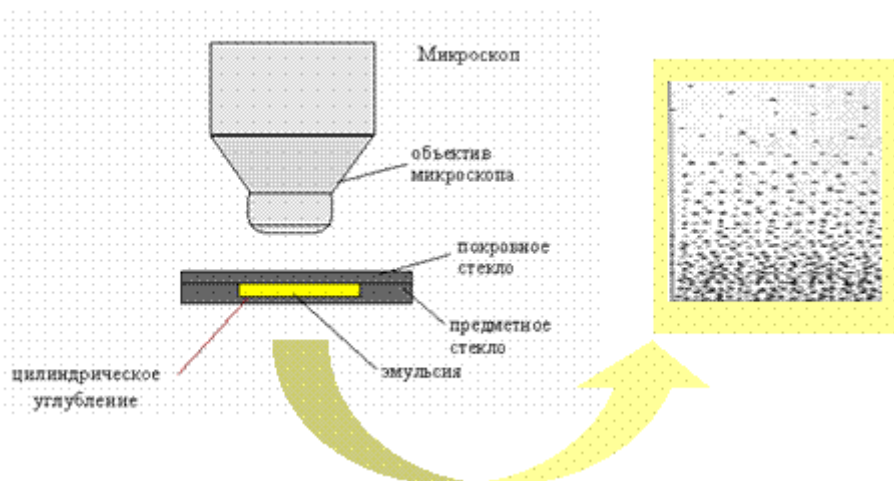


Рис.2. Метод наблюдения броуновских частиц в микроскоп в опыте Ж.Перрена

Свои исследования Ж. Перрен начал с проверки основной гипотезы статистической теории А. Эйнштейна. Экспериментатор отмечал и потом зарисовывал в масштабе на разграфленном листе бумаги положение броуновских частиц через равные временные интервалы. Наблюдения проводились через каждые 30 сек. Соединяя полученные точки прямыми, Ж.Перрен получал замысловатые ломанные траектории (см. рис. 3 из книги Ж. Перрена «Атомы», опубликованной в 1920 г. в Париже).

Далее Ж. Перрен определил число частиц в разных по глубине расположения слоях эмульсии. Для этого он последовательно фокусировал микроскоп на отдельные слои взвеси. Используя этот метод, ученый мог количественно определить изменение числа броуновских частиц с высотой. [19, С. 197].

Опираясь на результаты последнего эксперимента, Ж. Перрен смог определить значение числа Авогадро - N_A .

Способ расчета фундаментальной константы базировался на следующих рассуждениях.

Броуновские частицы, как и молекулы, находятся в беспорядочном движении. Соответственно они подчиняются всем газовым законам. Из общих соображений можно показать, что средняя

кинетическая энергия \bar{E}_k одной броуновской частицы равна средней кинетической энергии молекул при данной температуре T , то есть:

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \kappa \cdot T = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{N_A} \right) \cdot T$$

где R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,31441$ Дж/ моль · К), κ – постоянная Больцмана ($\kappa = 1,38$ Дж / К), N_A – число Авогадро, T – температура раствора.

Из этой формулы можно выразить число Авогадро N_A :

$$N_A = \frac{3}{2} \frac{R}{\bar{E}_k} \cdot T$$

Определив среднюю кинетическую энергию \bar{E}_k броуновской частицы при данной температуре, можно найти значение N_A .

Ж. Перрен нашел среднюю кинетическую энергию другим способом (из закона распределения частиц с высотой). [19, С. 235]. Действительно, в формулу распределения броуновских частиц с высотой можно вместо температуры подставить ее выражение через \bar{E}_k . Тогда формула Больцмана приобретет вид:

$$n_h = n_0 \cdot e^{-\frac{3mgh}{2\bar{E}_k}}$$

Зная массу частиц - m , их число в слоях, находящихся на различных высотах, можно найти \bar{E}_k , а затем и число Авогадро - N_A .

Очевидно, что для определения числа Авогадро необходимо найти массу шариков гуммигута. С той целью Ж.Перрен выпаривал каплю раствора гуммигута. Взвесив сухой остаток, он сосчитал количество зернышек, затем определил размеры и массу каждого из них [17, С. 146].

Наблюдая в освещенной камере через равные промежутки времени последовательные положения взвешенных в растворе глицерина частиц, Ж. Перрен выполнил построение их траекторий. На рисунке 3 представлена копия фотоснимка результатов его опыта.

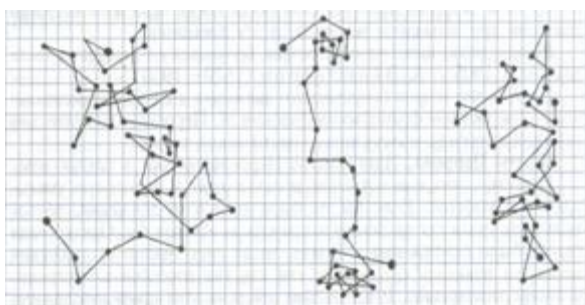


Рис. 3 Рисунки траекторий броуновских частиц из книги Ж. Перрена «Атомы», опубликованной в 1920 г. в Париже

Обработав полученные результаты, Ж. Перрен доказал, что средний квадрат перемещения броуновской частицы пропорционален времени ее движения .

$$\overline{S^2} \propto t$$

Наблюдая в микроскоп расположение частиц гуммигута в слоях раствора, находившихся на разной высоте, Ж. Перрен заметил, что число частиц в жидкости убывало с высотой, причем очень быстро: через каждые 30 микрон их количество в слое сокращалось почти вдвое. На рисунке 4 представлены изображения «населенности» различных слоев раствора броуновскими частицами. Видно, что в нижнем слое частиц много, а в верхнем мало.

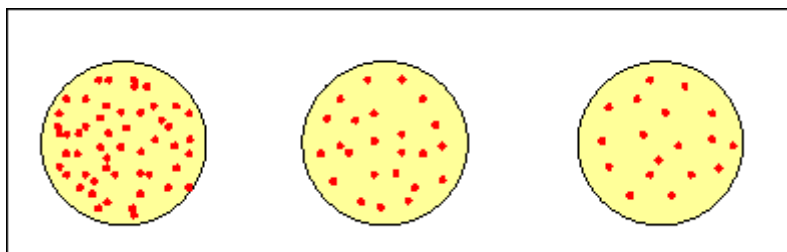


Рис. 4. Распределение броуновских частиц в слоях на разной высоте.

Это свидетельствовало как о справедливости полученного Л. Больцманом закона распределения молекул атмосферного воздуха в поле тяготения, так и о применимости этого закона к распределению числа броуновских частиц по высоте.

Ж. Перрен применил формулу закона распределения числа частиц с высотой для определения числа Авогадро - N_A . Используя эту теоретическую формулу и данные своего эксперимента, он получил достаточно точное для того времени значение фундаментальной константы: $N_A = 6,8 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Опыт Ж.Перрена был первым фундаментальным экспериментом, который подтвердил справедливость этой теории. Своим опытом ЖПеррен окончательно доказал реальность молекул и верность молекулярного учения о строении вещества.

Было получено значение числа Авогадро - одной из фундаментальных постоянных, определяющих строение нашего мира. Ее значение, полученное современными методами равно:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Результаты, полученные Ж. Перреном, подтвердили теоретические выводы А. Эйнштейна. Это произвело весьма сильное впечатление на научную общественность. После публикации результатов Ж. Перрена бывший противник атомизма В. Оствальд признался, что *«совпадение броуновского движения с требованиями кинетической гипотезы... дает теперь право самому осторожному ученому говорить об экспериментальном доказательстве атомистической теории материи. Таким образом, атомистическая теория возведена в ранг научной, прочно обоснованной теории»*. С ним соглашается французский математик и физик Анри Пуанкаре: *«Блестящее определение числа атомов Перреном завершило триумф атомизма... Атом химиков стал теперь реальностью»*

Эксперимент: Наблюдение броуновского движения частиц в воде

Задание 1. Для наблюдения броуновского движения в воде вам понадобятся микроскоп (с увеличением 50 X), предметное стекло, покровное стекло (толщиной 0,18 мм), акварельные краски, кисточка, стеклянная палочка, фильтровальная бумага, порошкообразное вещество.

На предметное стекло при помощи стеклянной палочки нанесите каплю воды. Небольшое количество краски кисточкой добавьте в воду (вода должна лишь слегка окраситься). Поверх капли положите покровное стекло. При необходимости наклоном предметного стекла удалите из взвеси возникшие пузырьки воздуха. Под покровным стеклом должно находиться такое количество воды, чтобы при любом наклоне предметного стекла покровное стекло не смещалось. Излишнюю воду нужно удалить при помощи полоски фильтрованной бумаги, подносимой к краю покровного стекла. Эксперимент будет тем удачнее, чем тоньше слой воды между стеклами.

Готовый препарат помещается на столик микроскопа. При приближении объектива к препарату сначала видны лишь крупные частицы туши. Эти частицы не проявляют броуновского движения. Вблизи крупных частиц видны более мелкие, вот они и находятся в непрерывном движении (или «дрожании»), получая различные импульсы от молекул воды .

Повторите опыт с раствором молока. Обратите внимание на интенсивность движения частичек жира в растворе. Имея меньшую массу в сравнении с частицами краски, эти броуновские частицы двигаются более активно.

Задание 2. Подготовьте установку и наблюдайте броуновское движение в воздухе (задание по выбору – индивидуальный проект).

Для этого понадобятся микроскоп (с увеличением $30\times$), самодельная наблюдательная камера из стекла и дерева, источник света, 2 резиновые трубки, 2 зажима.

Наблюдательная камера изготавливается из фанеры и имеет квадратную форму с ребром около 20 мм. В боковых стенках проделываются круглые отверстия, по одному с каждой стороны, в которых укрепляются и вклеиваются короткие стеклянные трубки ($D=5$ мм). Две другие стенки делаются из двойной фанеры, и в каждой из них выпиливается круглое окно ($D=18$ мм), так же изготавливается и крышка камеры. Затем на стенки с большими окнами и на крышку наклеиваются покровные стекла (со стороной 22 мм) (рис.4).

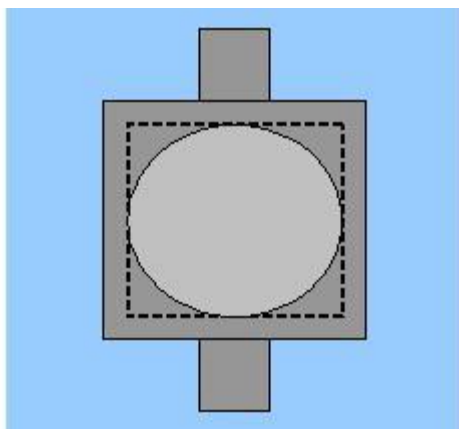


Рис. 4. Камера для наблюдения броуновского движения в табачном дыму

Наблюдательная камера (рис.4) помещается на столик микроскопа, тубус которого должен быть поднят по возможности как можно выше. Пространство между тубусом микроскопа и стеклом камеры должно быть таким, чтобы удобно было использовать объектив с небольшим увеличением. Рядом с микроскопом ставится источник света – проектор, дающий сходящийся пучок света. Пучок света направляется так, чтобы он проходил через оба окна камеры и сходил в средней точке полости камеры.

Через боковые стеклянные трубки, на которые предварительно надеваются резиновые трубки, в камеру вдувается папиросный дым или аммиачный туман, после чего резиновые трубки перекрываются зажимами. Перед наблюдением необходимо некоторое время выждать, пока не успокоится турбулентное движение частиц, возникшее в процессе вдувания. Наблюдение необходимо вести в участке схождения светового луча. Под действием удара частиц воздуха частицы дыма приходят в беспорядочное броуновское движение, которое и рассматривается в микроскоп.

Задание 3. Используя фотоснимки Ж. Перрена, докажете пропорциональность среднего квадрата смещения броуновской частицы от времени наблюдения. Копия фотоснимка результатов опыта Ж. Б. Перрена представлена на рис. 5.

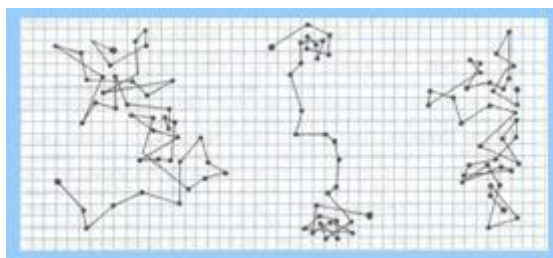


Рис. 5. Траектории движения броуновских частиц в опыте Ж. Б. Перрена

Перрена

Рассмотрите копию фотоснимка Ж. Б. Перрена (рис. 2), на котором представлена «запись» движения трех броуновских частиц. В опыте предстоит исследовать зависимость среднего квадрата перемещения броуновских частиц от времени их движения.

Измерьте перемещение первой броуновской частицы за последовательные равные промежутки времени: $\vec{S}_1, \vec{S}_2, \vec{S}_3 \dots \vec{S}_n$. Результаты измерений занесите в таблицу 1. рассчитайте квадрат перемещения частицы за каждый интервал времени и средний квадрат ее перемещения в течение данного временного интервала:

$$\bar{S}^2 = \frac{\vec{S}_1 + \vec{S}_2 + \vec{S}_3 + \dots + \vec{S}_n}{n}$$

Таблица 1

Средний квадрат перемещения частицы за интервал времени 30 с

№	
S _i	
S _i ²	

$$\bar{S}_{30}^2 =$$

Сверху на фотокопию наложите лист кальки. На кальке соедините точки последовательно через одну. В этом случае получится рисунок, изображающий положение первой броуновской частицы теперь уже через каждые 60 секунд. Вновь измерьте перемещения частицы за последовательные интервалы времени. Рассчитайте средний квадрат перемещения частицы в течение данного интервала времени. Данные измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Средний квадрат перемещения частицы за интервал времени 60 с

№	
S _i	
S _i ²	

$$\bar{S}_{60}^2 =$$

На исходную фотокопию наложите второй лист кальки и соедините на нем точки, начиная с первой, через две. Теперь получится рисунок, отображающий последовательные положения первой броуновской частицы через каждые 90 секунд. Вновь измерьте перемещения частицы рассчитайте средний квадрат ее перемещений в течение данного интервала времени. Данные измерений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

Средний квадрат перемещения частицы за интервал времени 90 с

N	
S _i	
S _i ²	

$$\bar{S}_{90}^2 =$$

Учитывая линейный масштаб в опытах Ж. Перрена (1150:1), определите истинные значения средних квадратов перемещений первой броуновской частицы. Данные расчетов занесите в таблицу 4.

Таблица 4

Зависимость среднего квадрата перемещения первой $\bar{S}^2 \propto t$ броуновской частицы от времени

№ пп	t, с	\bar{S}^2 , мм ²
------	------	-------------------------------

1	30	
2	60	
3	90	

По данным таблицы 4 постройте график зависимости среднего квадрата смещения первой броуновской частицы от времени движения.

Сформулируйте выводы по результатам эксперимента.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальная проверка теоретических выводов о зависимости полезной мощности и КПД источника постоянного тока от сопротивления внешней нагрузки и силы тока в цепи.

Теоретические сведения

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из источника тока и внешнего сопротивления (рисунок 9.2). Если замкнуть цепь, то падение потенциала распределится между внутренним и внешним участками цепи пропорционально их сопротивлениям:

$$\mathcal{E} = Ir_i + IR = I(r_i + R), \quad (9.1)$$

где r_i - внутреннее сопротивление источника тока;

R - сопротивление внешней цепи;

\mathcal{E} – ЭДС источника.

Из выражения (9.1) следует, что чем больше сопротивление внешней цепи, тем больше падение потенциала на нем. Показание вольтметра, присоединенного к полюсам источника, при разомкнутой цепи равно U_v , так как при отсутствии внешней цепи сам вольтметр является нагрузкой. Если сопротивление вольтметра R_v велико по сравнению с сопротивлением источника r_i , то его показание будет приблизительно равно ЭДС источника:

$$U_v = \mathcal{E} - Ir_i.$$

При переносе электрического заряда q по проводнику между точками с потенциалами φ_A и φ_B совершается работа, равная:

$$A = q(\varphi_A - \varphi_B) = I \cdot U \cdot t. \quad (9.2)$$

Мощность тока, измеряемая работой в единицу времени, будет равна:

$$P = \frac{A}{t} = I \cdot U. \quad (9.3)$$

Из закона Ома для однородного участка цепи падение напряжения на участке цепи равно $U = I \cdot R$, где R – сопротивление участка цепи. Подставляя выражение для U в формулу мощности, получим:

$$P = I^2 \cdot R. \quad (9.4)$$

Полная мощность P , выделяющаяся в замкнутой электрической цепи, равна сумме мощностей во внешней P_e и внутренней P_i части цепи, т.е.

$$P = P_e + P_i = I^2 R + I^2 r_i \quad (9.5)$$

или

$$P = I^2 (R + r_i) = I \mathcal{E}. \quad (9.6)$$

Полезной мощностью P_e называется мощность, развиваемая на внешнем участке цепи. Она может быть найдена из уравнения:

(9.7)

Из уравнения (9.7) следует, что полезная мощность P_e , которую можно выразить произведением $I(\varepsilon - Ir_i)$, является произведением двух сомножителей: I и $(\varepsilon - Ir_i)$.

Полезная мощность может равняться нулю тогда, когда один из сомножителей равен нулю:

1) $I = 0$, т.е. при очень большом значении внешнего сопротивления ($R \rightarrow \infty$),

2) $I = \frac{\varepsilon}{r_i}$, когда внешнее сопротивление равно нулю $R = 0$ (короткое замыкание).

При некоторой силе тока, принимающей промежуточное значение между $I = 0$ и максимальным значением силы тока I_{\max} , мощность во внешней цепи максимальна. Чтобы найти силу тока, при которой полезная мощность достигает наибольшего значения, нужно взять производную по I от полезной мощности, выраженной формулой (9.7), и приравнять её к нулю:

$$\frac{dP_e}{dI} = \frac{d}{dI}(\varepsilon I - I^2 r_i) = 0.$$

Получаем уравнение $\varepsilon - 2Ir_i = 0$, откуда следует: $I = \frac{\varepsilon}{2r_i}$. Это отношение имеет место в том

случае, когда (см. уравнение (9.1)) внешнее сопротивление цепи будет равно внутреннему сопротивлению $R = r_i$. График зависимости $P_e = f_2(I)$ имеет вид параболы (рисунок 9.1), что следует из формулы (9.7).

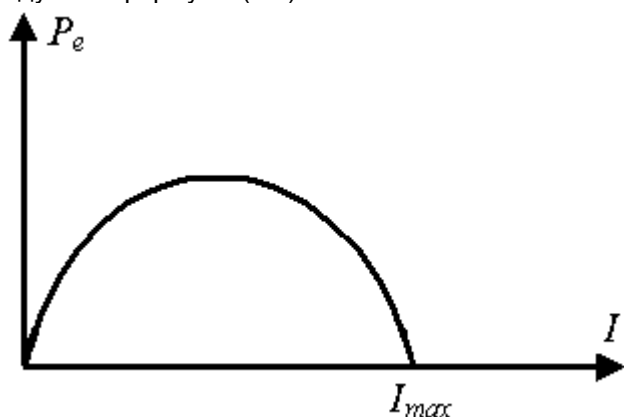


Рисунок 9.1. – График зависимости полезной мощности от тока

Так как ε – ЭДС источника постоянна, то график зависимости полной мощности от тока представляет собой прямую, проходящую через начало координат:

$$P = \varepsilon \cdot I.$$

Коэффициентом полезного действия источника тока называется отношение мощности P_e , развиваемой на внешнем участке цепи, к полной мощности P , развиваемой источником тока во всей цепи:

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{\varepsilon \cdot I - I^2 r_i}{\varepsilon \cdot I} = 1 - \frac{Ir_i}{\varepsilon} \quad (9.8)$$

или

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{I^2 R}{I^2 R + I^2 r_i} = \frac{IR}{IR + Ir_i} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R + r_i}. \quad (9.9)$$

Формула (9.8) показывает, что КПД источника тока при постоянной ЭДС и постоянном внутреннем сопротивлении r_i зависит только от силы тока I , причём эта зависимость линейная, так как I входит в формулу (9.8) в первой степени, и график зависимости $\eta = f_3(I)$ выражается

прямой линией. При силе тока, близкой к нулю, т.е. при очень большом сопротивлении внешней цепи, КПД источника тока имеет наибольшее значение $\eta \approx 1$, а минимальное значение, стремящееся к нулю, – при внешнем сопротивлении, равном нулю (короткое замыкание).

При сопротивлении внешней цепи, равном внутреннему, $R = r_i$, коэффициент полезного действия будет равен 0,5 (50 %), что соответствует максимальной полезной мощности.

Порядок выполнения работы

В данной работе необходимо исследовать зависимости полной мощности, полезной мощности и коэффициента полезного действия источника тока от силы тока и построить графики:

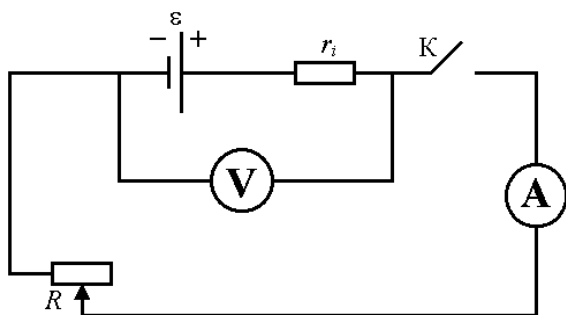
$$P = f_1(I), P_e = f_2(I), \eta = f_3(I).$$

1. Для исследования указанных зависимостей необходимо собрать электрическую цепь по приведенной на рисунке 9.2 схеме.

Для искусственного увеличения внутреннего сопротивления источника тока (а значит ограничения тока при малом внешнем сопротивлении) внутри источника вмонтировано дополнительное сопротивление r_i .

Максимум полезной мощности получается при равенстве сопротивления внешнего участка цепи R и внутреннего r_i , поэтому необходимо, чтобы R и r_i были сравнимы по порядку величины.

Значение r_i указывает преподаватель.



\mathcal{E} – источник постоянного тока, К – ключ, V – вольтметр, А – амперметр, R – магазин сопротивлений, r_i – вмонтированное внутри источника сопротивление (или магазин сопротивлений).

Рисунок 9.2. – Электрическая схема установки

2. При разомкнутом ключе К записать показание вольтметра. Это показание принять за ЭДС \mathcal{E}' источника.

3. Замкнуть ключ К и установить на магазине такое сопротивление, чтобы ток был наибольшим. Показания амперметра и вольтметра записать.

4. С помощью магазина сопротивлений R равномерно изменять ток от наибольшего до наименьшего значения таким образом, чтобы было по 5-6 значений тока и напряжения при сопротивлении внешней цепи $R > r_i$ и $R < r_i$ (всего 10–12 значений).

5. Разомкнуть ключ К и записать показание вольтметра \mathcal{E}'' .

6. Вычислить среднее значение ЭДС $\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}' + \mathcal{E}''}{2}$.

7. Вычислить для каждого значения силы тока полную и полезную мощность по формулам: $P = \mathcal{E} \cdot I$, $P_e = IU$.

8. Вычислить коэффициент полезного действия по формуле: $\eta = \frac{U}{\mathcal{E}}$ (выразить в процентах).

9. Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

№ изм.	R , Ом	I , мА	U , В	\mathcal{E} , В	P , Вт	P_e , Вт	η , %
1							

...							
-----	--	--	--	--	--	--	--

10. Построить графики зависимостей $P = f_1(I)$, $P_e = f_2(I)$, $\eta = f_3(I)$ на одном рисунке.

По оси абсцисс откладывать значения силы тока, по оси ординат – значения P , P_e , η .

Указания. Для каждой величины P , P_e , η выбрать соответствующий размерам рисунка масштаб, оставляя масштаб для I неизменным.

Контрольные вопросы

1. Полезная и полная мощность цепи постоянного тока, её зависимость от силы тока, внешнего и внутреннего сопротивления. Закон Джоуля-Ленца.
2. Закон Ома для однородного и неоднородного участков цепи, закон Ома для полной цепи.
3. КПД источника тока, его зависимость от силы тока, внешнего и внутреннего сопротивления.
4. Что такое ток короткого замыкания?
5. При каких условиях выделяется максимум полезной мощности? Каково значение КПД при этих условиях?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА

Цель работы: Изучить на опыте особенности температурной зависимости сопротивления полупроводников, научиться обращаться с современными физическими приборами, приобрести навыки графического метода обработки результатов измерений. Определение сопротивления полупроводников при различных температурах. Расчет энергии активации полупроводника.

Приборы и принадлежности: печь, термометр, полупроводник, магазин сопротивлений (или миллиамперметр и вольтметр).

Теоретические сведения

Полупроводники, как особый класс веществ, были известны еще с конца 19 века, но только развитие квантовой теории твердого тела позволило понять их особенности (30-е годы 20 века). В настоящее время в радиоэлектронике и приборостроении используются полупроводниковые диоды и транзисторы, интегральные микросхемы. Созданы полупроводниковые лазеры, обладающие малыми размерами, малой инерционностью и возможностью спектральной перестройки.

Полупроводники характеризуются значениями удельного сопротивления, промежуточной между значениями удельного сопротивления проводников ($\sim 10^{-7}$ Ом м) и диэлектриков ($\sim 10^8$ Ом м). В научном и практическом отношении наибольший интерес представляют твердые полупроводники: Si, Ge, Te и др. – элементы IV, V и VI групп периодической системы Менделеева и их химические соединения. В отличие от металлов полупроводники имеют следующие основные особенности:

- 1) сопротивление полупроводников уменьшается с повышением температуры;
- 2) электрический ток в полупроводниках обусловлен перемещением не только свободных, но и связанных (с атомами) электронов;
- 3) небольшое количество примеси может очень сильно изменять сопротивление полупроводника (сотни доли процента изменяют сопротивление в десятки тысяч раз).

Классическая теория электропроводности, хорошо объясняющая проводимость металлов в широком диапазоне температур, не в состоянии объяснить особенности электропроводности полупроводников. На эти и многие другие вопросы отвечает квантовая теория. Большой раздел квантовой физики занимает зонная теория твердых тел. При объединении атомов в кристаллическое тело структура энергетических уровней электронов претерпевает важные изменения. У одиночных атомов одного и того же элемента энергия соответствующих уровней в точности одинакова.

При сближении N атомов эти уровни расщепляются так, как это изображено на рис. 13а, и образуют совокупности N уровней, называемых зонами (обозначены на рис.13 цифрами 1 и 3).

Ширина зон определяется величиной связи между атомами и не зависит от числа атомов в кристалле. В то же время количество уровней в зоне равно числу атомов. Таким образом, расстояние между уровнями оказывается столь незначительным, что говорить о положении отдельных уровней в зоне не имеет смысла.

В то же время количество уровней сохраняет вполне ясный смысл, так как при сближении атомов число возможных состояний (а, следовательно, и число электронов, которые могут занять эти состояния) не изменяется. Электропроводность кристаллов определяется распределением электронов по уровням.

В металлах электроны частично заполняют последнюю из занимаемых зон - зону проводимости, незаполненные уровни в ней являются свободными состояниями (рис.13в). В присутствии поля электроны зоны могут занимать эти состояния, что равносильно получению электронами импульса, т.е. кристалл проводит ток.

В изоляторах электроны доверху заполняют последнюю из занятых зон 3 (валентную зону) (рис.13б). Следующая разрешенная зона 1 не содержит электронов. Ширина запрещенной зоны 2 (обозначаемая как E_g), разделяющая валентную зону и зону проводимости велика ($E_g \approx 10$ эВ), так что электроны в обычных условиях не могут через нее "перепрыгнуть". Электрический ток отсутствует. В присутствии слабого электрического поля ни один из электронов зоны 3 не может изменить своего движения, так как нет близких свободных энергетических состояний в зоне.

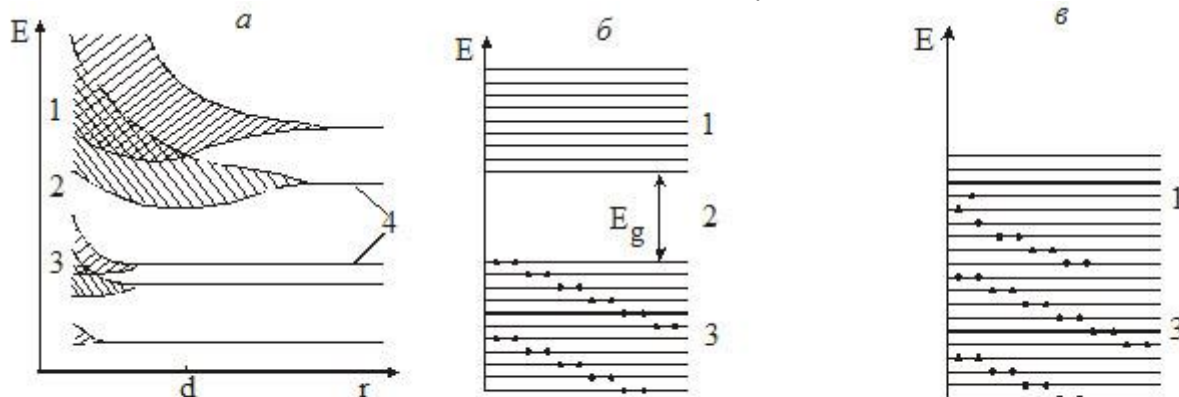


Рис. 13.

а) вследствие взаимодействия атомов при их сближении в кристалле (d - расстояние между соседними атомами в кристалле) и образование энергетических зон; 1 - зона проводимости, 2 - запрещенная зона, 3 - валентная зона, 4 - уровни изолированных атомов; диаграммы уровней и их заполнение электронами в диэлектрике (б) и в металле (в).

К полупроводникам относятся вещества, которые при низких температурах являются изоляторами.

Они отличаются от обычных изоляторов небольшой шириной запрещенной зоны ($E_g \approx 1$ эВ). Уже при комнатных температурах тепловое движение "перебрасывает" часть электронов из валентной зоны в зону проводимости. При этом электропроводность возникает как в зоне проводимости, так и в валентной зоне. В зоне проводимости она определяется присутствующими там электронами (электронная проводимость). В валентной зоне проводимость становится возможной из-за появления свободных состояний (дырок), часть из которых может быть занята электронами зоны (дырочная проводимость).

Найдем зависимость электропроводности полупроводника от его различных характеристик.

Плотность тока j зависит от величины переносимых зарядов электронами и "дырками" q_n^- и q_p^+ , их концентрации n_n , n_p и средней скорости их направленного движения \bar{v}_n и \bar{v}_p .

$$j = n_n q_n^- \bar{v}_n + n_p q_p^+ \bar{v}_p. \quad (4Б - 1)$$

Заряды электрона и "дырки" равны по величине, но противоположны по знаку. Концентрация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне в химически чистых полупроводниках равны друг другу $n_n = n_p$.

Концентрация электронов, находящихся в зоне проводимости, равна произведению числа имеющихся энергетических уровней в единице объема полупроводника на вероятность их заполнения.

Вероятность заполнения уровней определяется функцией Ферми, которая для полупроводников имеет вид:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}} + 1} \approx e^{-\left(\frac{E-\mu}{kT}\right)}, \quad (4Б-2)$$

где E - энергия электрона в зоне проводимости; μ - некоторая константа для данного типа вещества, носящая название энергии Ферми; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура, так как $E - \mu \ll kT$, то единицей можно пренебречь.

Энергия Ферми представляет собой максимальную энергию, которую могут иметь электроны при $T = 0$ К. В чистых полупроводниках энергия Ферми μ лежит вблизи середины запрещенной зоны (рис. 14). Концентрация электронов в зоне проводимости будет равна

$$n = Ne^{-\left(\frac{E-\mu}{kT}\right)}. \quad (4Б-3)$$

Из уравнения (4Б-3) видно, что концентрация электронов в зоне проводимости будет расти с повышением температуры. Разность $E - \mu$ можно считать равной половине ширины запрещенной зоны, т.е. $2(E-\mu) = E_g$. Тогда формула (4Б-3) примет вид:

$$n = Ne^{-\frac{E_g}{2kT}}. \quad (4Б-4)$$

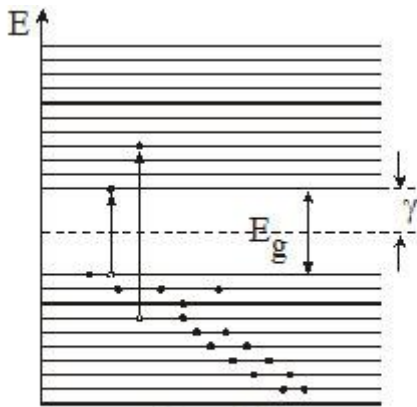


Рис. 14.

E_g называют также **энергией активации**, т.е. это энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы перевести его из валентной зоны в зону проводимости. Энергия активации является важнейшей характеристикой электрических свойств полупроводника. Подстановка (4Б-4) в (4Б-1) дает выражение:

$$j = q(\bar{v}_n + \bar{v}_p)Ne^{-\frac{E_g}{2kT}}. \quad (4Б-5)$$

Удельная электрическая проводимость полупроводника γ связана с плотностью тока законом Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (4Б - 6)$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Здесь ρ - удельное сопротивление, \vec{E} - напряженность электрического поля. Из выражения (4Б-5) и (4Б-6) найдем γ и, обозначая произведение всех постоянных для данного

$$\gamma_0 = \frac{q(\bar{v}_n + \bar{v}_p)N}{|\vec{E}|}$$

полупроводника величин , получим

$$\gamma = \gamma_0 e^{-\frac{E_g}{2kT}}. \quad (4Б - 7)$$

Увеличение проводимости полупроводников с повышением температуры является их характерной особенностью. С точки зрения данной теории это обстоятельство объясняется так: с повышением температуры растет число электронов, которые вследствие теплового возбуждения переходят в зону проводимости и участвуют в проводимости.

В данной работе экспериментально определяется сопротивление R полупроводника, которое связано с γ формулой:

$$R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S}. \quad (4Б - 8)$$

Подставляя (4Б-7) в (4Б-8), получим

$$R = R_0 e^{\frac{E_g}{2kT}}, \quad (4Б - 9)$$

$$R_0 = \frac{l}{\gamma_0 S}$$

где R_0 - постоянная величина для данного полупроводника. Графиком зависимости сопротивления от температуры будет убывающая экспонента, как на рис.16а.

Для нахождения энергии активации E_g прологарифмируем выражение (4Б-9):

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT}. \quad (4Б - 10)$$

График зависимости (4Б-10) будет линейным с положительным угловым коэффициентом

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_g}{2k}$$

как на рис.16б. По наклону графика можно определить ширину запрещенной зоны:

$$E_g = 2k \operatorname{tg} \alpha, \quad (4Б - 11)$$

где k - постоянная Больцмана ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К). Тангенс угла наклона можно определить по двум точкам на графике:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \text{ где } y = \ln R, \quad x = \frac{1}{T}. \quad (4Б - 12)$$

2. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему установки.

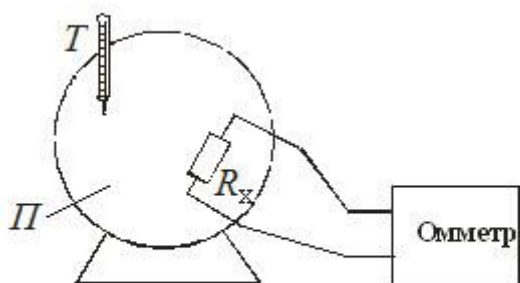


Рис. 15.

R_x - исследуемый полупроводник; T - термометр; Π - печь.

2. При комнатной температуре определить значение сопротивления полупроводника.

3. Включить печь и по мере повышения температуры через каждые 10°C измерять сопротивление полупроводника. Измерения R провести в интервале $20-100^\circ\text{C}$.

Внимание: При отсутствии магазина сопротивлений, экспериментальная установка может быть изменена. В схему включения приборов последовательно с полупроводником, подсоединяется миллиамперметр и - параллельно - вольтметр. Напряжение на полупроводнике поддерживается при 6.0 В. Тогда, сопротивление полупроводника рассчитывается по формуле $R=U/I=6.0/I$, I - ток (в Амперах), измеряемый миллиамперметром.

4. Заполнить таблицу экспериментальными (t , R) и расчетными величинами ($\frac{1}{T}$, $\ln R$, $\operatorname{tg} \alpha$, E_g).

Таблица 7

№ опыта	$t^\circ\text{C}$	T , К	$1/T$	I , А	R , Ом	$\ln R$	$\operatorname{tg} \alpha$	E_g , Дж	E_g , эВ	Погрешность $\delta(\Delta E)$
1										
2										
3										
...										
15										

$$\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{tg}\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \text{ (где)}$$

5. Построить график

$$y = \ln R, x = \frac{1}{T}$$

6. По формуле (4Б-11) найти энергию активации E_g (в Дж и эВ) ($1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

7. Сделать оценку погрешности вычисленной энергии активации по величине разброса точек около

линии на графике (как на рис. 16). Записать окончательный результат в виде: $E_g \pm \delta(E_g)$



Рис. 16.

3. Контрольные вопросы

1. Что понимать под термином "дырка" в зонной теории?
2. Что такое собственная и примесная проводимости полупроводников?
3. Начертите примерный график зависимости удельной проводимости химически чистого полупроводника от температуры.
4. Что такое энергия Ферми, уровень Ферми, функция Ферми?
5. Почему с ростом температуры сопротивление проводников растет, а сопротивление полупроводников падает?
6. Что такое энергия активации и как она рассчитывается?

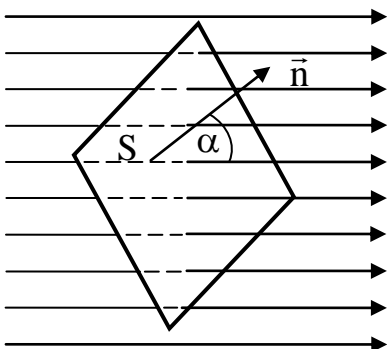
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 (1ч)

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Цель работы - экспериментальное изучение явления электромагнитной индукции.

Приборы: миллиамперметр, катушка-моток, магнит дугообразный, магнит полосовой.

Теоретические сведения



Движущиеся заряды (электрические токи) создают вокруг себя магнитное поле. Одним из свойств магнитного поля заключается в том, что оно вызывает появление механической силы, действующей на движущиеся электрические заряды, и следовательно, на проводники с током.

Силовой характеристикой магнитного поля служит вектор магнитной индукции \vec{B} . Магнитное поле наглядно можно изображать графически с помощью линий магнитной индукции,

Рис. 1

проводимых таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке пространства совпадала с направлением вектора \vec{B} .

Магнитные силовые линии можно провести через каждую точку магнитного поля. Линии не пересекаются. Густота линий, проходящих под прямым углом через единицу поверхности, пропорциональна модулю вектора индукции \vec{B} . Если в однородном магнитном поле ($\vec{B} = \text{const}$) помещена плоская площадка S (рис. 1), то она пронизывается магнитными линиями, образуя магнитный поток Φ , определяемый как:

$$\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{S}) = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B_n \cdot S, \quad (1)$$

где α - угол, образуемый нормалью \vec{n} площадки с вектором \vec{B} ; B_n - проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} . Магнитный поток есть скалярная величина.

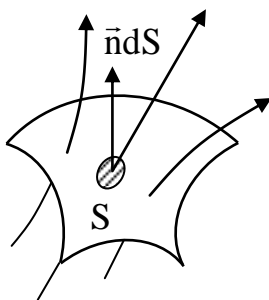


Рис. 2

Если магнитное поле неоднородное $\vec{B} = \vec{B}(x, y, z)$ и рассматриваемая поверхность S не плоская (рис. 2), то эту поверхность можно разбить на бесконечно малые участки dS , которые можно рассматривать как плоские площадки, а магнитное поле в пределах каждой площадки как однородное и, тогда магнитный поток через такую элементарную поверхность равен:

$$d\Phi = B_n dS = \vec{B} \cdot \vec{n} dS = \vec{B} \cdot d\vec{S}, \quad (2)$$

где B_n - проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} ; $d\vec{S} = \vec{n} \cdot dS$.

Полный магнитный поток через всю поверхность равен

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}. \quad (3)$$

Размерности в системе СИ: $[B] = \text{Тл}$ (Тесла), $[\Phi] = \text{Вб}$ (Вебер), $[1\text{Вб}] = [1\text{Тл}] \cdot [1\text{м}^2]$.

Магнитное поле создается электрическими токами. Существует и обратное явление: *магнитное поле вызывает появление электрических токов*. Это явление носит название электромагнитной индукции, и было открыто М. Фарадеем в 1831 г. В замкнутом проводящем контуре при всяком изменении потока магнитной индукции, через поверхность ограниченную этим контуром, возникает электрический ток, получивший название *индукционного*. Результаты опытов Фарадея в последствии проанализировал Дж. Максвелл и установил, что *возникающая электродвижущая сила (ЭДС) электромагнитной индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную контуром*. Российский физик Э. Ленц установил закон, позволяющий определить направление индукционного тока – правило Ленца, которое гласит: *индукционный ток всегда направлен таким образом, что его действие противоположно действию причины, вызвавшей этот ток*.

Закон электромагнитной индукции выражается следующей формулой:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (4)$$

Знак «-» соответствует правилу Ленца.

Так как поток магнитной индукции определяется по формуле (1), то изменение его можно произвести тремя способами:

- 1) изменяя индукцию $\vec{B} = \vec{B}(t)$;
- 2) изменяя площадь контура $S = S(t)$;
- 3) изменяя угол $\alpha = \alpha(t)$.

Порядок выполнения работы

I. Выяснение условий возникновения индукционного тока.

1. Подключите катушку-моток к зажимам миллиамперметра.
2. Наблюдая за показаниями миллиамперметра, отметьте, возникал ли индукционный ток, если:
 1. в неподвижную катушку вводить магнит,
 2. из неподвижной катушки выводить магнит,
 3. магнит разместить внутри катушки, оставляя неподвижным.

4. выясните, как изменялся магнитный поток Φ , пронизывающий катушку в каждом случае, сделайте вывод о том, при каком условии в катушке возникал индукционный ток.

II. Изучение направления индукционного тока.

О направлении тока в катушке можно судить по тому, в какую сторону от нулевого деления отклоняется стрелка миллиамперметра.

Проверьте, одинаковым ли будет направление индукционного тока, если:

1. вводить в катушку и удалять магнит северным полюсом;
2. вводить магнит в катушку магнит северным полюсом и южным полюсом.

3. выясните, что изменялось в каждом случае, сделайте вывод о том, от чего зависит направление индукционного тока.

III. Изучение величины индукционного тока.

1. Приближайте магнит к неподвижной катушке медленно и с большей скоростью, отмечая, на сколько делений (N_1 , N_2) отклоняется стрелка миллиамперметра.

2. Приближайте магнит к катушке северным полюсом. Отметьте, на сколько делений N_1 отклоняется стрелка миллиамперметра.

К северному полюсу дугообразного магнита приставьте северный полюс полосового магнита. Выясните, на сколько делений N_2 отклоняется стрелка миллиамперметра при приближении одновременно двух магнитов.

3. Выясните, как изменялся магнитный поток в каждом случае. Сделайте вывод, от чего зависит величина индукционного тока.

Контрольные вопросы

1. В катушку из медного провода сначала быстро, затем медленно вдвигают магнит. Одинаковый ли электрический заряд при этом переносится через сечение провода катушки?
2. Возникнет ли индукционный ток в резиновом кольце при введении в него магнита?
3. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
4. Сформулируйте и запишите закон электромагнитной индукции (уравнение Фарадея).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 (2ч)

ИЗУЧЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ И ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

Цель работы: Экспериментальное изучение явления **самоиндукции и взаимной индукции**. Определение индуктивности катушки и взаимной индуктивности контуров.

Теоретические сведения

Закон электромагнитной индукции выражается формулой:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (4)$$

Так как поток магнитной индукции определяется по формуле (1), то изменение его можно произвести тремя способами:

- 4) изменяя индукцию $\vec{B} = \vec{B}(t)$;
- 5) изменяя площадь контура $S = S(t)$;
- 6) изменяя угол $\alpha = \alpha(t)$.

Таким образом, в замкнутом контуре (не обязательно проводящем) возникает ЭДС электромагнитной индукции ε_i в любом из указанных случаев. Кроме того, если этот поток Φ создается током I , текущем в самом рассматриваемом проводящем контуре, то изменение силы тока в нем вызывает дополнительный ток в контуре. Это явление называется *самоиндукцией*, а дополнительные токи, вызываемые ЭДС самоиндукции – *экстратоками самоиндукции*.

Магнитная индукция \vec{B} в любой точке поля пропорциональна силе тока I в контуре. Поэтому и полный магнитный поток (потокосцепление), пронизывающий контур, пропорционален току:

$$\psi = LI, \quad (5)$$

где коэффициент пропорциональности L называется *индуктивностью контура*. Индуктивность какого – либо контура зависит от его формы и размеров, а также от свойств окружающей среды. В СИ индуктивность выражается в *генри* (Гн).

Применяя к явлению самоиндукции основной закон электромагнитной индукции, получаем для ЭДС самоиндукции выражение:

$$\varepsilon_s = -\frac{d(LI)}{dt} = -\left(L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}\right). \quad (6)$$

Если индуктивность L не изменяется, при изменении тока, а это возможно, если:

- а) контур жесткий, т. е. не деформируется,
- б) вблизи контура нет ферромагнетиков,

тогда:
$$dL = 0 \text{ и } \varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}. \quad (7)$$

Как видно, ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения тока. Экстратоки самоиндукции, в соответствии с законом Ленца всегда препятствуют изменениям тока, их вызвавшим. При включении в цепь источника тока экстратоки направлены противоположно току, создаваемому источником, т. е. они препятствуют нарастанию тока. При выключении источника тока экстратоки поддерживают ослабевающий ток источника.

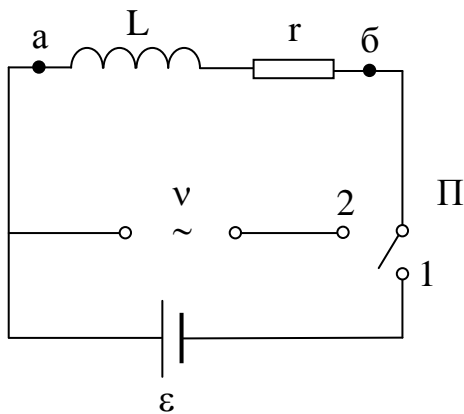


Рис. 3

Рассмотрим цепь (рис. 3), содержащую источник постоянного тока с ЭДС ε , сопротивление r , индуктивность L , и переключатель П.

Замкнем переключатель П в положении 1, тем самым включив в цепь постоянную ЭДС. В цепи начнет нарастать ток I и на индуктивности возникнет ЭДС самоиндукции ε_s , тогда по закону Ома для замкнутой цепи можно записать:

$$Ir = \varepsilon + \varepsilon_s = \varepsilon - L \frac{dI}{dt}. \quad (8)$$

Для решения этого дифференциального уравнения разделим переменные и затем проинтегрируем, учитывая, что в момент включения ($t=0$) сила тока $I(0)=0$, в результате решения получим закон возрастания тока:

$$I = \frac{\varepsilon}{r} \left(1 - e^{-\frac{rt}{L}}\right) = I_m \left(1 - e^{-\frac{rt}{L}}\right).$$

- (9) Сила тока возрастает от 0 и асимптотически стремится к установившемуся значению $I_m = \frac{\varepsilon}{r}$ (рис. 4).

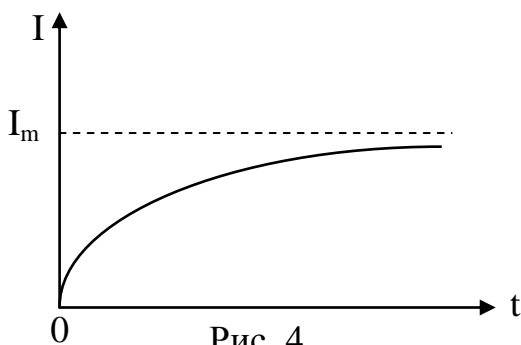


Рис. 4

Любая катушка индуктивности имеет собственное активное сопротивление r . Если измерить установившееся значение силы тока в цепи катушки и напряжения U_- на ее концах (между точками а и б, рис. 3), тогда можно определить сопротивление r по формуле:

$$r = \frac{U_-}{I_m}, \quad (10)$$

где U_- - напряжение постоянного тока на концах катушки индуктивности;
 I_m - сила установившегося постоянного тока.

Если замкнуть переключатель П в положении 2

(см. рис. 3) и тем самым подать переменное напряжение с циклической частотой $\omega = 2\pi\nu$:

$$U = U_m \cos \omega t$$

на концы катушки индуктивности L , то в цепи возникнут вынужденные колебания той же частоты ω . В этом случае формула (8) примет вид:

$$I r = -L \frac{dI}{dt} + U_m \cos \omega t .$$

Решение этого уравнения дает для силы тока в контуре:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (11)$$

где I_m – амплитуда тока равная:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} . \quad (12)$$

Согласно этому уравнению можно определить индуктивность контура L . Для этого учтем, что амплитудные значение силы тока I_m и напряжения U_m связаны с действующими значениями I_{\sim} и U_{\sim} , измеряемые приборами соотношениями:

$$I_m = I_{\sim} \sqrt{2} \quad \text{и} \quad U_m = U_{\sim} \sqrt{2}, \quad (13)$$

тогда:

$$L = \frac{\sqrt{U_{\sim}^2 - (I_{\sim} r)^2}}{2\pi\nu I_{\sim}} . \quad (14)$$

Подставим (11) в (7) и определим ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_S = L I_m \omega \cos(\omega t - \varphi) = \varepsilon_m \cos(\omega t - \varphi).$$

Переходя от амплитудных значений к действующим значениям, имеем:

$$\varepsilon_{S,\text{эф}} = L I_{\sim} \omega = 2\pi\nu I_{\sim} L = \sqrt{U_{\sim}^2 - (I_{\sim} r)^2} . \quad (15)$$

Рассматривая два контура с током, например, два круговых витка 1 и 2 (рис.5) можно видеть, что часть линий (сплошные линии) индукции магнитного поля, создаваемого контуром 1, будет проходить через контур 2, т.е. будет сцеплена с этим контуром. И, наоборот, определенное число линий магнитной индукции (прерывистые линии) создаваемых контуром 2, будет сцеплено с контуром 1.

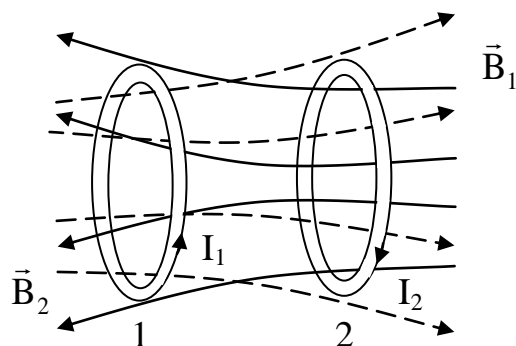


Рис. 5

В этом случае говорят, что между обоими контурами существует магнитная связь.

Индукция поля контура 1 пропорциональна силе тока I_1 в этом контуре. Следовательно, полный магнитный поток ψ_{12} через контур 2, создаваемый контуром 1, также пропорционален току I_1 :

$$\psi_{12} = L_{12} I_1 . \quad (16)$$

Совершенно также, если в контуре 2 имеется ток I_2 , то он создает магнитный поток ψ_{21} через контур 1, причем:

$$\psi_{21} = L_{21} I_2 . \quad (17)$$

Коэффициенты L_{12} , L_{21} называются *взаимной индуктивностью* контуров.

Взаимная индуктивность зависит от формы и размеров контуров и от их взаимного расположения, а также от окружающей среды. В отсутствии ферромагнетиков $L_{12}=L_{21}$.

Наличие магнитной связи между контурами проявляется в том, что при всяком изменении силы тока в одном из контуров, в другом контуре появляется ЭДС индукции:

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt}; \quad \varepsilon_1 = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_2}{dt}, \quad (18)$$

где ε_2 – ЭДС индукции, возникающая в контуре 2, при изменении тока I_1 в 1-ом контуре; ε_1 – ЭДС индукции, возникающая в контуре 1, при изменении тока I_2 во 2-ом контуре.

Пусть сила тока в 1-ом контуре меняется по гармоническому закону

$$I_1 = I_{m1} \sin \omega t . \quad (19)$$

Подставляя (19) в (18) получаем

$$\varepsilon_2 = -L_{12} \omega I_{m1} \cos \omega t = -\varepsilon_{2m} \cos \omega t . \quad (20)$$

Если контур 2 разомкнуть, то напряжение U_2 на его концах будет равно ЭДС ε_2 . Переходя от амплитудных значений U_{m2} и U_{m1} к действующим (эффективным) значениям $U_{2\sim}$ и $U_{1\sim}$ напряжения и силы тока получаем:

$$L_{12} = \frac{U_{2\sim}}{\omega I_{1\sim}} = \frac{U_{2\sim}}{2\pi\nu I_{1\sim}}, \quad (21)$$

$$L_{21} = \frac{U_{1\sim}}{\omega I_{2\sim}} = \frac{U_{1\sim}}{2\pi\nu I_{2\sim}}. \quad (22)$$

3. Описание установки

Установка состоит из:

- 1) звукового генератора (ЗГ) для получения переменного напряжения, подаваемого в цепь с индуктивностью;
- 2) вольтметра (V);
- 3) миллиамперметра (mA).

4. Методика проведения эксперимента

Для изучения явления самоиндукции составляется цепь (рис 6), содержащая катушку индуктивности L с сопротивлением r , реостат R_{14} , источник постоянного тока G_4 (8 В), источник переменного напряжения (ЗГ), переключатель S_3 , миллиамперметра mA и вольтметр V. Переключателем S_3 можно подключать либо источник постоянного тока G_4 , либо источник переменного напряжения ЗГ. Переключателем S_3 подключается источник постоянного тока G_4 к катушке индуктивности L . Измеряя, с помощью миллиамперметра mA установившееся значение силы постоянного тока I_m в цепи катушки L и напряжения U_- (с помощью вольтметра V) на ее концах, определяется ее сопротивление r по формуле (10).

Затем переключателем S_3 подключается источник переменного тока (ЗГ) к катушке L . Измеряя, эффективные значения силы тока I_{\sim} в цепи катушки L и напряжения U_{\sim} на ее концах, определяются индуктивность катушки L по формуле (4) и ЭДС самоиндукции ε_s по формуле (15).

Для изучения явления взаимной индукции вместо катушки индуктивности L используется тороидальный трансформатор (Тр), первичная обмотка которого имеет индуктивность L_{T1} , а вторичная обмотка имеет индуктивность L_{T2} (рис. 7), при этом используется только источник переменного тока (ЗГ). Для определения взаимной индуктивности L_{21} схема подключения соответствует рис. 7. Для определения взаимной индуктивности L_{12} обмотки трансформатора меняются местами в схеме подключения.

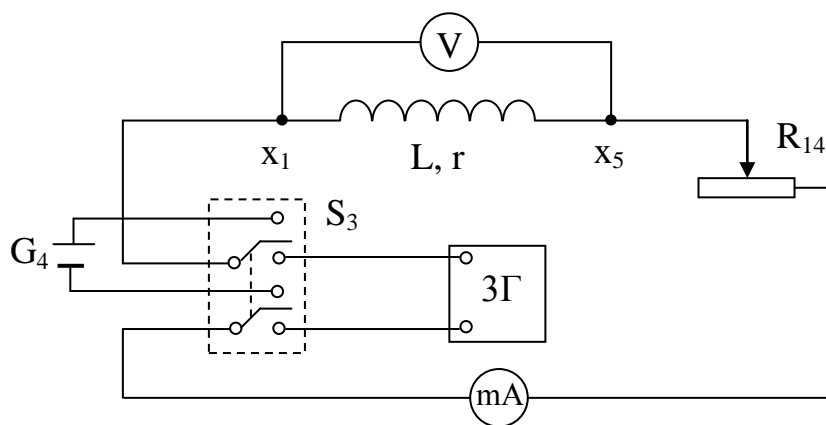


Рис. 6.

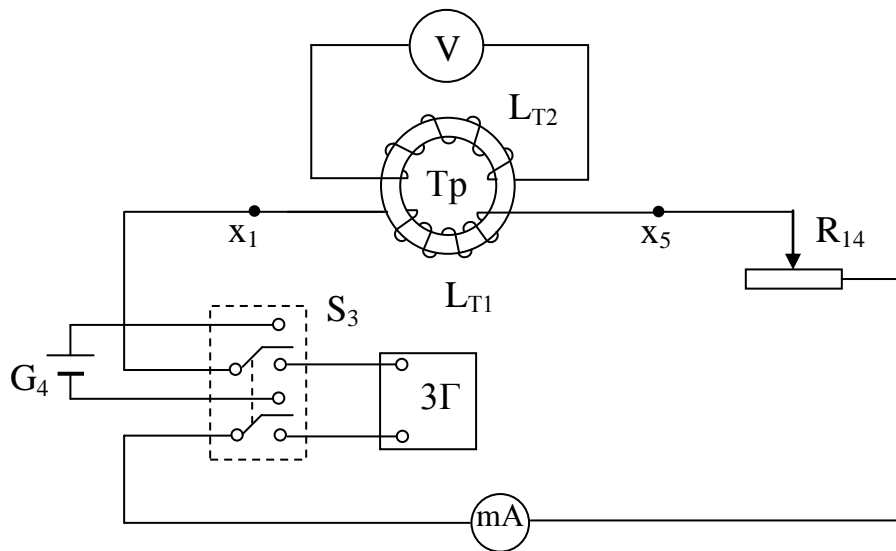


Рис. 7

5. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

- 1) Для изучения явления самоиндукции необходимо собрать принципиальную схему (рис. 6).
- 2) Включить в сеть звуковой генератор (ЗГ) и прогреть его 2 – 3 мин. Установить частоту $\nu=50$ Гц.
- 3) Установить на вольтметре предел измерения 20 В с учетом рода тока: переменный «~»: постоянный «-».
- Установить на миллиамперметре предел измерения 150 мА с учетом рода тока (~ или -).
- 4) Подключить переключателем S_3 исследуемую цепь к источнику постоянного тока G_4 .
- 5) Установить реостатом R_{14} в цепи катушки L ток I , равный 50 мА или уменьшенное значение согласно п.12, и записать в таблицу 1.
- 6) Измерить вольтметром напряжение U_- , занести в таблицу 1.
- 7) Переключателем S_3 подключить источник переменного тока (ЗГ).
- 8) Установит реостатом значение тока 50 мА, или уменьшенное значение согласно п.12, и записать в таблицу 1.
- 9) Снять показания вольтметра U_- , и записать в таблицу 1.
- 10) По формуле (10) рассчитать активное сопротивление r катушки и занести в таблицу 1.
- 11) По формулам (14) и (15) рассчитать величину L и ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке, результаты занести в таблицу 1.
- 12) Повторить п.п. 3,...,12, уменьшая ток I каждый раз на 5 мА, вплоть до 30 мА.
- 13) Для изучения явления взаимной индукции собрать принципиальную схему согласно рис. 7, заменив катушку индуктивности L на индуктивность L_{T1} первичной обмотки тороида, при этом соединив вольтметр V с вторичной обмоткой L_{T2} тороида.
- 14) Установить на вольтметре предел измерения 20 В для переменного тока.
- 15) Установить на миллиамперметре предел измерения 150 мА для переменного тока.
- 16) Подключить переключателем S_3 первичную обмотку тороида к источнику переменного тока.
- 17) Установить реостатом в цепи первичной обмотки ток I_{1-} - 50 мА, или уменьшенное значение согласно п.20 и занести в таблицу 2.
- 18) Измерить напряжение вольтметром на вторичной обмотки U_{2-} и значение занести в таблицу 2.
- 19) Рассчитать значения коэффициента L_{21} по формуле $L_{21} = \frac{U_{2-}}{2\pi I_1 \nu}$ и занести в таблицу 2.
- 20) Повторить п.п. 17,...,19 уменьшая ток I на 5 мА каждый раз вплоть до 30 мА.
- 21) Поменять местами обмотки тороида и повторить п.п. 17,...,20, при этом вместо I_{1-} будет I_{2-} , вместо U_{2-}

будет U_{1-} , вместо L_{21} будет $L_{12} = \frac{U_{1-}}{2\pi I_2 \nu}$.

Таблица 1

№	I_{1-} , мА	U_- , В	U_{-} , В	ε , В	r , Ом	L , Гн	$\langle L \rangle$, Гн
1	50						
...	...						

5	30						

Таблица 2

№	$I_{1-}, \text{мА}$	$U_{2-}, \text{В}$	$I_{2-}, \text{мА}$	$U_{1-}, \text{В}$	$L_{2,1}, \text{Гн}$	$L_{1,2}, \text{Гн}$	$\langle L_{2,1} \rangle, \text{Гн}$	$\langle L_{1,2} \rangle, \text{Гн}$
1	50		50					
...					
5	30		30					

5. Контрольные вопросы

1. В чем заключается основное свойство магнитного поля?
2. Что такое магнитный поток?
3. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
4. Что такое индукционный ток?
5. Сформулируйте и запишите закон электромагнитной индукции (уравнение Фарадея).
6. Сформулируйте правило Ленца.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 (3ч)

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ С ТОКОМ

Цель работы: измерение индукции магнитного поля на оси катушки конечной длины

Приборы и оборудование: секционный соленоид (4 секции), измерительная катушка, линейка, блок питания, реостат, амперметр, цифровой милливольтметр, панель переключения.

Теоретические сведения

Подобно тому, как электрическое поле создается электрическими зарядами, магнитное поле создается электрическими токами. Пусть по тонкому неподвижному проводу течет электрический ток силой I . Рассмотрим малую часть провода, которую будем характеризовать вектором $d\vec{l}$. Этот вектор начинается в произвольной точке провода, его модуль равен длине dl рассматриваемой части провода, а направление совпадает с направлением тока (рис.12.1).

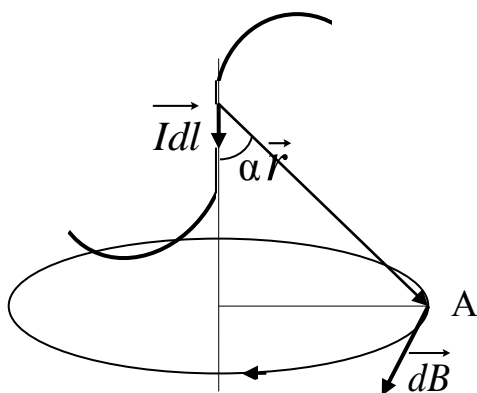


Рис.12.1

Элемент тока $I d\vec{l}$ создает в пространстве магнитное поле, индукция $d\vec{B}$ которого в произвольной точке А пространства в вакууме определяется законом **Био-Савара-Лапласа**:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{[I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}, \quad (12.1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от элемента тока до рассматриваемой точки (рис.12.1).

Модуль вектора $d\vec{B}$ можно найти по формуле:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{r^2} \cdot \sin\alpha \quad (12.2)$$

где α – угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} . Формула (12.1) была установлена Лапласом при изучении результатов экспериментальных исследований магнитных полей токов в проводах различной формы, которые были проведены Био и Саваром.

Магнитная индукция, создаваемая всем проводом с током, равна сумме векторов магнитной индукции от каждого малого участка тока. Это утверждение носит название **принципа суперпозиции**. Согласно этому принципу вектор магнитной индукции поля, созданного всем проводником с током, выражается интегралом:

$$\vec{B} = \int_L d\vec{B}, \quad (12.3)$$

где интегрирование производится по всему контуру с током.

Эта формула даёт следующие значения магнитной индукции на торцах соленоида и в его середине:

$$B(0) = B(l) = \frac{\mu_0 IN}{2l}$$

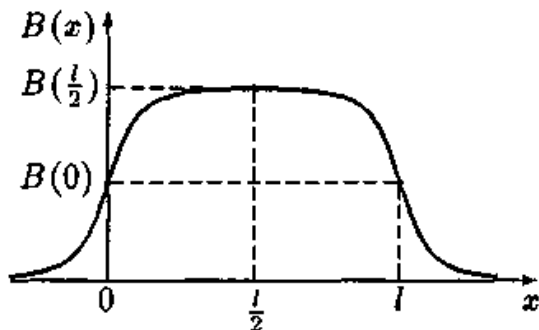


Рис.12.6

где $D=2R$ – диаметр соленоида.

Нетрудно убедиться в том, что формула (12.14) справедлива для всех точек на оси соленоида, в том числе при $x<0$ и $x>l$. Согласно этой формуле магнитная индукция монотонно убывает до нуля при $|x| \rightarrow \infty$.

График зависимости $B=f(x)$ изображен на рис. 12.6. При $l \rightarrow \infty$ формула (12.16)

для магнитной индукции в центре соленоида переходит в полученное ранее выражение (12.12) для бесконечного соленоида.

Методика измерений

Для измерения магнитной индукции поля, созданного соленоидом, в данной работе используется явление электромагнитной индукции. По обмотке соленоида течёт переменный ток частотой ν и амплитудой I_0 :

$$I = I_0 \cos(2\pi\nu \cdot t), \quad (12.17)$$

создающий, в свою очередь, переменное магнитное поле, индукцию которого можно найти из (12.14):

$$B(x,t) = \frac{\mu_0 N}{2 \cdot l} \left(\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + R^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) I_0 \cos(2\pi\nu \cdot t) = B_0(x) \cos(2\pi\nu \cdot t), \quad (12.18)$$

где амплитудное значение магнитной индукции равно:

$$B_0(x) = \frac{\mu_0 I_0 N}{2 \cdot l} \left(\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + R^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right). \quad (12.19)$$

Измерительная катушка площадью S , имеющая $N_{\text{кат}}$ витков, помещается внутрь соленоида соосно с ним. Магнитный поток, пронизывающий измерительную катушку, также будет переменным:

$$\Phi(x,t) = N_{\text{кат}} \cdot S B(x,t). \quad (12.20)$$

Для вычисления ЭДС индукции, возникающей в измерительной катушке, применим закон Фарадея для электромагнитной индукции: **ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по величине и противоположна по знаку быстроте изменения магнитного потока через поверхность, натянутую на данный контур:**

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (12.21)$$

Таким образом, из (12.18-12.21) получим:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} = N_{\text{кат}} \cdot S B_0 2\pi\nu \sin(2\pi\nu \cdot t) = \mathcal{E}_0 \sin(2\pi\nu \cdot t), \quad (12.22)$$

причем амплитудное значение ЭДС индукции равно:

$$\mathcal{E}_0 = N_{\text{кат}} \cdot S B_0 2\pi\nu = N_{\text{кат}} \cdot S 2\pi\nu \frac{\mu_0 \mu I_0 N}{2 \cdot l} \left(\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + R^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right). \quad (12.23)$$

Приборы измеряют эффективные значения напряжения и тока:

$$U = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{2}} \quad I = \frac{I_0}{\sqrt{2}},$$

поэтому из (12.23) получим:

$$U = N_{\text{кат}} \cdot S B_0 \sqrt{2} \pi \nu, \quad (12.24)$$

$$U = N_{\text{кат}} \cdot S \pi \nu \frac{\mu_0 I N}{\sqrt{2} \cdot l} \left(\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} \right), \quad (12.25)$$

или, поскольку $S = \frac{\pi d_{\text{кат}}}{4}$, а $R = \frac{D}{2}$:

$$U = N_{\text{кат}} \cdot \frac{\mu_0 \pi^2 d_{\text{кат}}^2 \nu I N}{4 \sqrt{2} \cdot l} \left(\frac{l-x}{\sqrt{(l-x)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} \right), \quad (12.26)$$

причём $\nu = 50$ Гц.

Из формулы (12.23) имеем:

$$B_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{N_{\text{кат.}} S 2\pi\nu} = \frac{U}{\sqrt{2}\pi\nu N_{\text{кат.}} S} = \frac{U}{\sqrt{2}\pi\nu N_{\text{кат.}} \frac{\pi d_{\text{кат.}}^2}{4}},$$

или:

$$B_0 = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi^2\nu N_{\text{кат.}} d_{\text{кат.}}^2}. \quad (12.27)$$

Экспериментальная установка

Главной частью установки является соленоид, состоящий из 4 секций, каждую из которых можно подключать отдельно или в любом сочетании с помощью контактов 1÷5 на панели переключения к источнику переменного напряжения (трансформатору) через ограничительное сопротивление (реостат) R (рис.12.7). Число витков секций равно соответственно: $N_1=93$, $N_2=39$, $N_3=87$, $N_4=30$. Внешний диаметр соленоида $D=82$ мм. Измерительная катушка имеет диаметр $d_{\text{кат.}}=66$ мм и имеет две обмотки из $N_{\text{кат.}}=20$ и $N_{\text{кат.}}=60$ витков соответственно. Переключением контактов А, Б, В, Г на панели переключений обмотки можно включать последовательно, так, что магнитные потоки, создаваемые в них, либо складываются ($N_{\text{кат.}}=80$), либо вычитаются ($N_{\text{кат.}}=40$). Амперметр служит для измерения силы тока в обмотке соленоида. ЭДС индукции, возникающую в измерительной катушке, показывает цифровой милливольтметр.

Порядок выполнения работы

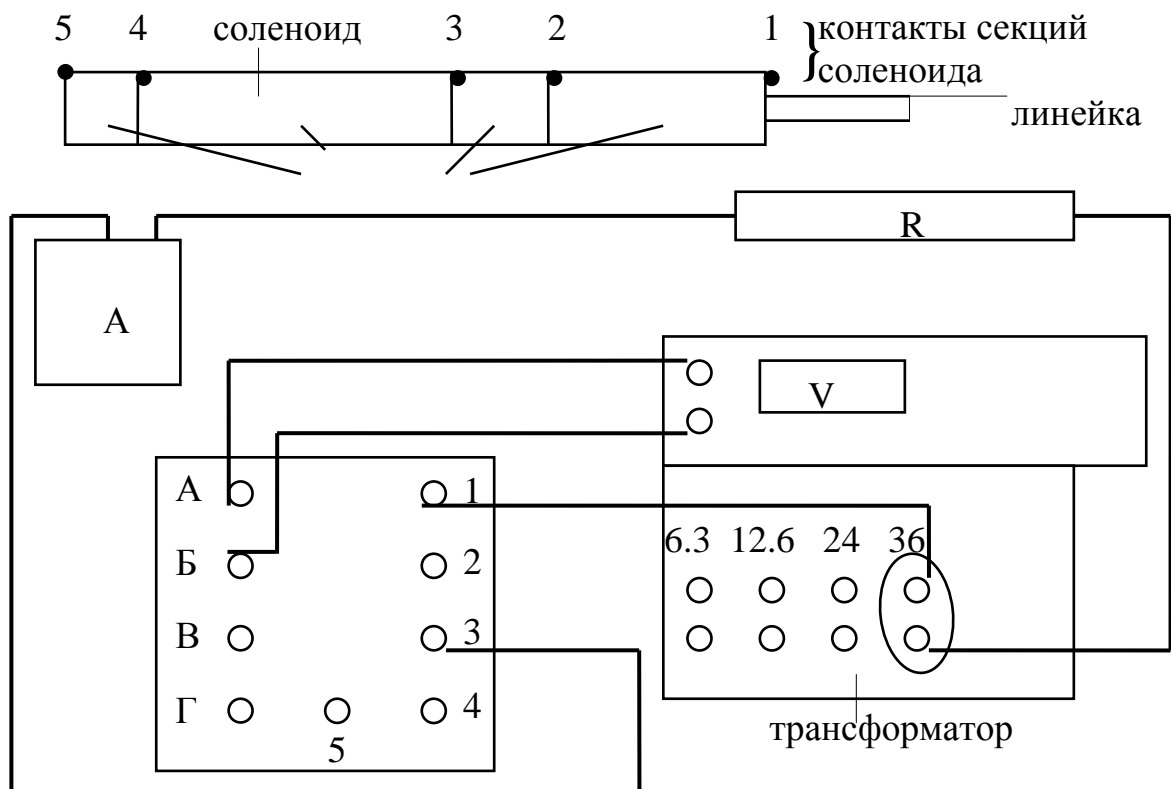


Рис.12.7

Задание:

Измерение и расчёт индукции магнитного поля короткой катушки.

1. Установить измерительную катушку на левом торце выбранной секции, для этого

рассчитать положение x линейки по формуле: $x_{\text{лев.}} = x_c + \frac{l}{2}$.

2. Записать показания вольтметра в табл. 1.

3. Записать силу тока и число подключенных витков измерительной катушки в табл. 12.4.

2. Повторить измерения по пунктам 1 и 2 для правого торца той же секции: $x_{пр.} = x_c - \frac{l}{2}$.

Значения $U_{лев.}$ и $U_{пр.}$ должны быть близки. Рассчитайте их среднее арифметическое $U_{ср.}$ и, используя это значение, по формуле (12.27) рассчитайте экспериментальное значение амплитуды индукции $B_0(0;l)_{эксп.}$ магнитного поля на торце короткой катушки, запишите полученное значение в таблицу 1.

Таблица 1

I, A	$N_{кат.}$	N_i	$x, м$	$U, мВ$	$U_{ср.}, мВ$	$B_0(0;l)_{эксп.}, мТл$	$B_0(0;l)_{теор.}, мТл$
			$x_{лев.} =$	$U_{лев.} =$			
			$x_{пр.} =$	$U_{пр.} =$			

4. В формулу (12.15) вместо l следует подставить амплитудное значение тока $I_0 = I\sqrt{2}$, тогда получим амплитудное значение магнитной индукции:

$$B_0(0;l)_{теор.} = \frac{\mu_0 I N_i \sqrt{2}}{2\sqrt{l^2 + R^2}} = \frac{\mu_0 I N_i}{\sqrt{2 \cdot \left(l^2 + \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right)}}. \quad (12.15a)$$

Рассчитать теоретическое значение индукции на торце короткой катушки по формуле (12.15a), записать в таблицу 12.4, сравнить с экспериментальным.

3. Передвинуть линейку в крайнее левое положение, отключить установку от сети.

4. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
2. Сформулируйте принцип суперпозиции.
3. Пользуясь законом Био-Савара-Лапласа, дайте вывод формулы для индукции магнитного поля на оси кругового витка с током.
4. Пользуясь законом Био-Савара-Лапласа, получите формулу для индукции магнитного поля на оси соленоида конечной длины. Выведите из нее формулу для магнитного поля бесконечного соленоида.
5. Дайте определение потока магнитной индукции.
6. Сформулируйте закон электромагнитной индукции Фарадея и правило Ленца.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

СВЯЗАННЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Цель работы: – изучение системы двух связанных пружинных маятников

Приборы и принадлежности: набор пружин и грузов, измерительная установка для отсчета отклонений грузов, секундомер

Теоретические сведения

Пружинный маятник – это грузик, подвешенный на пружине. После отклонения от положения равновесия он будет совершать вертикальные гармонические колебания, если упругая пружина такова, что сила деформации пропорциональна величине удлинения пружины ($F = k \cdot \Delta l$, где k – коэффициент упругости).

Под действием силы тяжести грузика она растянется на длину Δl_0 (рис. 1.2) – это будет соответствовать условию, что сумма сил, действующих на массу m , равна нулю ($\sum \vec{F}_i = 0$), или условию минимума потенциальной энергии системы:

$$\vec{F} = -\text{grad}U \text{ или } \vec{F} = -\frac{dU}{dx}$$

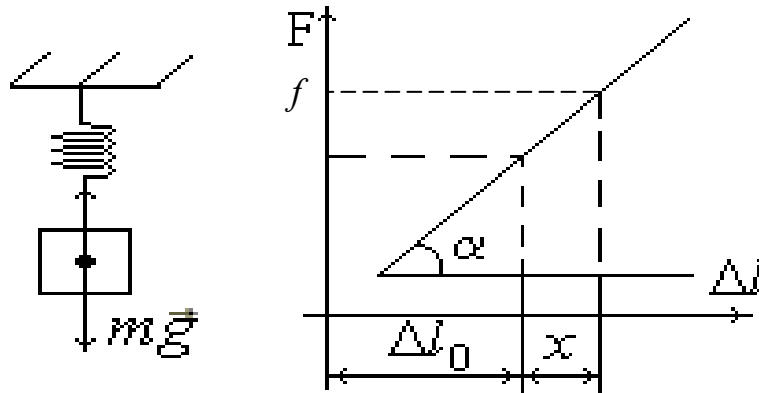


Рис. 1.2

При отклонении от положения равновесия на величину x появляется возвращающая сила $f = -kx$ (рис. 1.2); тело начинает колебаться.

Уравнение движения тела:

$$m\ddot{x} = f;$$

$$m\ddot{x} = -kx, \text{ т.е. } \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

– уравнение собственных незатухающих колебаний с частотой

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Решением уравнения будет (при условии начального максимального отклонения)

$$X = A \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t.$$

Период колебаний равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \text{ т.е. } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1.1)$$

Из (1.1) видно, что с увеличением коэффициентов упругости (k) пружины растет частота колебаний и уменьшается период колебаний.

Характер собственных колебаний пружинного маятника не зависит от силы тяжести, а зависит только от переменной возвращающей силы.

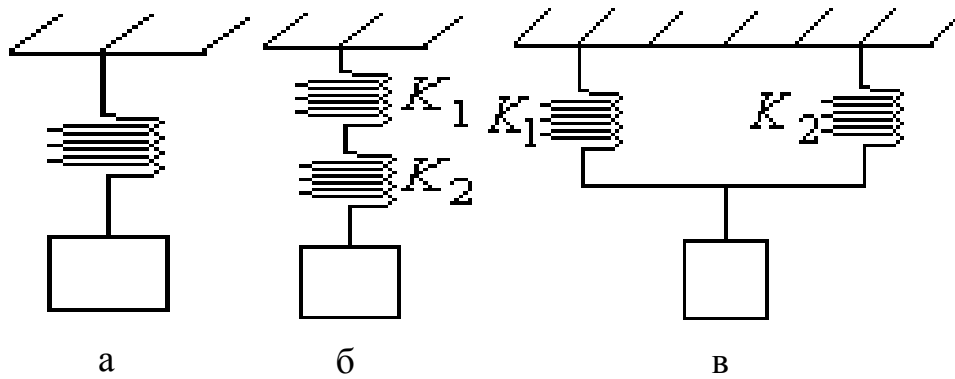


Рис. 1.1

Система двух пружин с разными коэффициентами упругости, связанных друг с другом по схеме рис.1.1,б или 1.1,в представляет собой связанную систему с двумя степенями свободы. При колебаниях системы (рис.1.1,б) смещения у разных пружин в один и тот же момент времени не будут одинаковыми: $X_1 \neq X_2$. Во время колебаний будут изменяться одновременно две величины X_1 и X_2 , т.е. если мы резким толчком выведем из положения равновесия только нижнюю пружину, то возникшие колебания обязательно передадутся к верхней пружине. Поэтому при анализе колебаний мы обязаны учитывать одновременное движение обеих пружин. Подобная система имеет две степени свободы.

Наблюдая колебания за некоторое сравнительно небольшое время, когда еще не сказались действие сил трения, мы увидим, что колебания каждого из маятников негармоничны. Это объясняется перекачкой энергии от одной пружины к другой. Колебания будут носить характер *биений*. Время \mathcal{T} , за которое пружины обменялись энергией, называется *периодом биений*. Механическая энергия будет полностью переходить из одной пружины в другую, пока она не превратится в тепловую и колебания не прекратятся.

Характер биений в случае двух пружин во многом зависит от масс пружин и их упругости (упругих свойств). Чем меньше массы пружин, тем более гармоничными становятся колебания. Если пренебречь массами пружин, то систему пружинных маятников, изображенных на рис.1.1,б,в можно представить как пружинный маятник с одной степенью свободы, обладающий некоторым эффективным коэффициентом упругости.

Формула эффективного коэффициента упругости для схемы последовательного соединения пружин выводится из предположения, что в точке соединения пружин силы упругости обеих пружин одинаковы. Тогда, если мы обозначим через X_1 удлинение пружины с коэффициентом упругости K_1 , а через X_2 удлинение пружины с коэффициентом упругости K_2 , то можно записать

$$K_1 X_1 = K_2 X_2. \quad (1.2)$$

Общее удлинение обеих пружин

$$X = X_1 + X_2. \quad (1.3)$$

Тогда

$$K_{\text{эф}}^p \cdot (X_1 + X_2) = K_1 X_1 = K_2 X_2. \quad (1.4)$$

Подставляя вместо $X_2 = \frac{K_1 X_1}{K_2}$, получим выражение для эффективного

коэффициента упругости:

$$K_{\text{эф}}^p \left(X_1 + \frac{K_1 \cdot X_1}{K_2} \right) = K_1 X_1,$$

откуда

$$K_{\text{эф}}^p = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}. \quad (1.5)$$

Период колебаний такого маятника равен $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{\text{эф}}^p}}$, или

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m \cdot (K_1 + K_2)}{K_1 \cdot K_2}}. \quad (1.6)$$

Формула эффективного коэффициента упругости маятника, составленного из двух параллельно соединенных пружин, получается из предположения, что если груз подвешен к точке, относительно которой моменты сил упругости и весов частей планки, разделенной точкой подвеса равны, то вращения нет. Следовательно,

$$X \cdot K_{\text{эф}}^p = K_1 X_1 + K_2 X_2, \quad K_{\text{эф}}^p = K_1 + K_2. \quad (1.7)$$

Порядок выполнения работы

1. Определение эффективного коэффициента упругости системы двух пружин, соединенных последовательно

1. Собрать схему (рис. 1.1.б) из пружин №1,2.
2. Измерить t_1 – время $n = 50$ колебаний.
3. Опыт повторить 5 раз. Данные занести в таблицу 4. Выполнить статистическую обработку результатов измерений. Результат представить в виде $T = \langle T \rangle \pm \Delta T$.
4. Определить период T системы по формуле

$$T = \frac{t}{n}.$$

5. Вычислить, используя формулу

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{\text{эфф}}^1}}$$

где эффективный коэффициент упругости:

$$K_{\text{эфф}}^1 = \frac{4\pi^2 m}{\langle T \rangle^2}.$$

6. Рассчитать относительную ошибку

$$E_{K_{\text{эфф}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta T}{\langle T \rangle}\right)^2}$$

(как в упражнении 3) и найти

$$\Delta K_{эфф}^1 = K_{эфф}^1 \cdot E_{K_{эфф}}$$

7. Рассчитать

$$K_{эфф}^{расч} = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2},$$

взяв значения жесткости пружин K_1 и K_2 из упражнения 1.

8. Сравнить значения K (в пределах ошибок), полученные в п.5 и п.7.

Таблица 4.

	№ п/п	t_i, c	T_i, c	$\langle T \rangle$	ΔT	E_K	$\langle K_{эфф} \rangle$	ΔK	$K_{эфф}^{расч}$
последоват. соединение	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
параллельное соединение	1								
	2								
	3								
	4								
	5								

$$m = \dots \pm \dots$$

$$n = 50$$

Определение жесткости пружин, соединенных параллельно

1. Собрать схему по рис.1.1, в для тех же пружин K_1, K_2 .
2. Измерить t_2 – время $n = 50$ колебаний.
3. Опыт повторить 5 раз. Данные занести в таблицу 4. Вы-полнить статистическую обработку результатов измерений
4. Определить период колебаний по формуле

$$T = \frac{t}{n}$$

5. Вычислить эффективный коэффициент упругости:

$$K_{эфф}^2 = \frac{4\pi^2 m}{\langle T \rangle^2}$$

6. Рассчитать относительную ошибку

$$E_{K_{эфф}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta T}{\langle T \rangle}\right)^2}$$

(как в упражнении 3) и найти

$$\Delta K_{эфф}^2 = K_{эфф}^2 \cdot E_{K_{эфф}}$$

7. Рассчитать

$$K_{эфф}^{расч} = K_1 + K_2,$$

взяв значения жесткости пружин K_1 и K_2 из упражнения 1.

8. Сравнить значения K (в пределах ошибок), полученные в пп5,7.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Гука.
2. Выведите формулу для жесткости пружин, соединенных параллельно.
3. Как определяется частота, период, амплитуда, фаза и начальная фаза незатухающих колебаний?
4. Что такое относительное удлинение?
5. Почему при расчете частоты колебаний мы пренебрегаем массой пружины?
6. Какими являются колебания в данной работе – затухающими или незатухающими?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Цель работы: экспериментальное исследование особенностей явления резонанса напряжений, условий его возникновения и определение основных характеристик электрического контура методом резонанса.

Теоретические сведения

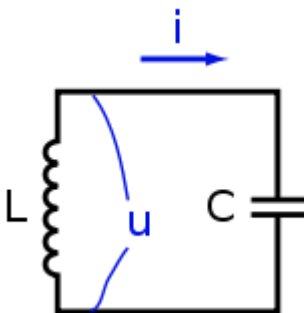
Колебательный контур — осциллятор, представляющий собой электрическую цепь, содержащую соединённые катушку индуктивности и конденсатор. В такой цепи могут возбуждаться колебания тока (и напряжения). Колебательный контур — простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания

Резонансная частота контура определяется так называемой формулой Томсона:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Пусть конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 . Энергия, запасённая в конденсаторе составляет

$$E_C = \frac{CU_0^2}{2}$$



Параллельный колебательный контур

При соединении конденсатора с катушкой индуктивности, в цепи потечёт ток I , что вызовет в катушке электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции, направленную на уменьшение тока в цепи. Ток, вызванный этой ЭДС (при отсутствии потерь в индуктивности) в начальный момент будет равен току

разряда конденсатора, то есть результирующий ток будет равен нулю. Магнитная энергия катушки в этот (начальный) момент равна нулю.

Затем результирующий ток в цепи будет возрастать, а энергия из конденсатора будет переходить в катушку до полного разряда конденсатора. В этот момент электрическая энергия конденсатора $E_C = 0$. Магнитная же энергия, сосредоточенная в катушке, напротив, максимальна и равна

$$E_L = \frac{LI_0^2}{2}, \text{ где } L \text{ — индуктивность катушки, } I_0 \text{ — максимальное значение тока.}$$

После этого начнётся перезарядка конденсатора, то есть заряд конденсатора напряжением другой полярности. Перезарядка будет проходить до тех пор, пока магнитная энергия катушки не перейдёт в электрическую энергию конденсатора. Конденсатор, в этом случае, снова будет заряжен до напряжения $-U_0$.

В результате в цепи возникают колебания, длительность которых будет обратно пропорциональна потерям энергии в контуре.

В общем, описанные выше процессы в параллельном колебательном контуре называются резонанс токов, что означает, что через индуктивность и ёмкость протекают токи, больше тока проходящего через весь контур, причем эти токи больше в определённое число раз, которое называется добротностью. Эти большие токи не покидают пределов контура, так как они противофазны и сами себя компенсируют. Стоит также заметить, что сопротивление параллельного колебательного контура на резонансной частоте стремится к бесконечности (в отличие от последовательного колебательного контура, сопротивление которого на резонансной частоте стремится к нулю), а это делает его незаменимым фильтром.

Описание установки.

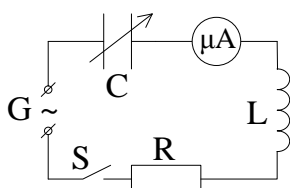


Рис. 1

Лабораторная установка (рис.1) представляет собой последовательно соединённые источник переменного напряжения G , конденсатор переменной ёмкости C и катушки индуктивности L с активным сопротивлением R . Кроме того, в схеме имеется микроамперметр для измерения силы тока в электрическом колебательном контуре.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться со схемой установки.
2. Снять резонансную кривую, т.е. изменяя значения ёмкости конденсатора C , измерять показания микроамперметра и данные занести в таблицу 1.
3. По данным таблицы 1 построить резонансную кривую $I_0 = f(C)$.

Таблица 1. $R_1 = \dots\dots\dots$ Ом; $R_2 = \dots\dots\dots$ Ом.

Деления на конденсаторе													
C , пФ													
I_0 , мкА (R_1)													
I_0 , мкА (R_2)													

4. Определить по резонансной кривой значение ёмкости $C_{рез}$, соответствующее максимальному значению тока I_0 .

5. Определить индуктивность контура L по формуле $L = \frac{1}{\omega_{рез}^2 C_{рез}}$. Резонансная частота

$\omega_{рез} = 2\pi V_0$ совпадает с частотой Э.Д.С. источника G . Значение V_0 указано на установке.

6. Рассчитать волновое сопротивление контура по формуле $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

7. Рассчитать добротность контура Q по формуле $Q = \frac{\rho}{R}$. Сопротивление R указано на установке.

8. Заполнить таблицу 2.

$C_{рез}$, МКФ	$\omega_{рез}$, c^{-1}	L, Гн	R, Ом	ρ , Ом	Q

Контрольные вопросы.

1. Нарисовать принципиальную электрическую схему для наблюдения резонанса тока.
2. Записать дифференциальное уравнение вынужденных электрических колебаний.
3. Какое явление называется резонансом?
4. Найти резонансную частоту для *колебаний заряда* на конденсаторе.
5. Найти резонансную частоту для *колебаний силы тока* в контуре.
6. Найти резонансную частоту для *колебаний напряжения на катушке Индуктивности*.
7. Резонанс какой величины наблюдается в схеме на рис.1?
8. Как изменится резонансная кривая для амплитуды тока в цепи при увеличении активного сопротивления в контуре?
9. Почему в радиоприемниках необходимо использовать приемный контур с большой добротностью?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Цель работы: изучение электромагнитных волн.

Теоретические сведения

Электромагнитная волна—это процесс распространения электромагнитных колебаний в пространстве с конечной скоростью. Существование электромагнитных волн предсказал еще в 1832 г. М. Фарадей, а в 1865 г, Дж. Кл. Максвелл теоретически показал, что электромагнитные колебания должны распространяться в вакууме со скоростью света. В электромагнитной волне вектор напряженности электрического поля и вектор магнитной индукции перпендикулярны друг другу, кроме того, они лежат в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны, т. е. вектору скорости волны. Это дает основание утверждать, что электромагнитные волны— поперечны. Направление распространения волны определяют вектор напряженности электрического поля E и вектор магнитной индукции B, которые колеблются в одной фазе, т. е. одновременно превращаются в нуль и одновременно достигают максимума.

Из решения волнового уравнения в теории Максвелла вытекало, что фазовая скорость электромагнитных волн в вакууме равна скорости света. Переменное электрическое поле напряженностью E порождает переменное магнитное поле с индукцией, электромагнитная волна переносит энергию.

Импульс электромагнитной волны мал. Прямые измерения светового давления впервые были произведены замечательным русским ученым П. Н. Лебедевым в 1900 г. Доказательством наличия импульса у электромагнитного излучения служит поведение хвостов комет: из-за радиационного давления хвосты комет направлены от Солнца.

Свободное электромагнитное поле обладает не только энергией и импульсом, но и массой. Поскольку энергия равна $E=mc^2$, а скорость света велика, то даже весьма значительной энергии поля соответствует очень малая масса. Например, масса, соответствующая энергии, излучаемой очень мощной радиостанцией (500 кВт) в течение часа, равна 0,02 мг.

Электромагнитную природу имеет чрезвычайно широкий круг излучений. Можно говорить о непрерывном ряде излучений, простирающихся от радиоволн до гамма-лучей, т. е. о спектре или шкале электромагнитных излучений. Названия для излучений, лежащих в различных участках спектра, сложились исторически. Они фактически дают классификацию источников излучения.

Для электромагнитных волн характерны явления **отражения, преломления, интерференции, дифракции, поляризации.**

Порядок выполнения работы

Опыт 1. Отражение. Включите телевизор (ВМ или ВП), возьмите пульт управления в одну руку, а металлическую пластину произвольной площади в другую. Повернитесь спиной к телевизору (ВМ, ВП). Вытяните руку с пластиной вперед перед собой и направьте пульт в сторону пластины. Нажмите на какую-либо кнопку на пульте. Добейтесь переключения режимов работы телевизора (ВМ, ВП). Вывод: электромагнитная волна обладает свойством отражения.

Опыт 2. Поглощение. Повернитесь лицом к телевизору (ВМ, ВП). Перекройте пульт управления тетрадкой (газетой и т. п.). При нажатии на кнопки пульта управления переключения режимов работы приборов не происходит. Подойдите на малое расстояние к телевизору (ВМ, ВП). Повторите опыт. Добейтесь изменения режимов работы аппаратуры.

Выводы: 1) электромагнитная волна поглощается веществом; 2) энергия волны зависит от расстояния до источника.

Контрольные вопросы

1. Какая волна называется плоской волной? При каком условии электромагнитную волну можно считать плоской волной?
2. Чем обусловлены потери энергии электромагнитной волны в диэлектрике, проводнике и вакууме?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЗ

Цель работы: сформулировать гипотезу изучения на разных уровнях сложности, изучить некоторые методы определения фокусного расстояния тонких линз.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с набором рейтеров, осветитель с источником питания, экран, собирающая и рассеивающая линзы.

Теоретические сведения

Линза – это один из основных элементов оптических систем, предназначенных для получения оптических изображений. Она представляет собой оптически прозрачное тело (например, из стекла), ограниченное с двух сторон преломляющими (чаще всего сферическими) поверхностями. Если расстояние O_1O_2 (рис. 1) между этими поверхностями значительно меньше радиусов кривизны, то линза называется тонкой. Ее вершины O_1 и O_2 в этом случае можно считать совпадающими в точке O , называемой оптическим центром линзы. Причем ось, проходящая через оптический центр линзы и центры кривизны ее преломляющих поверхностей, называется главной оптической осью линзы (прямая PP' , рис. 1).

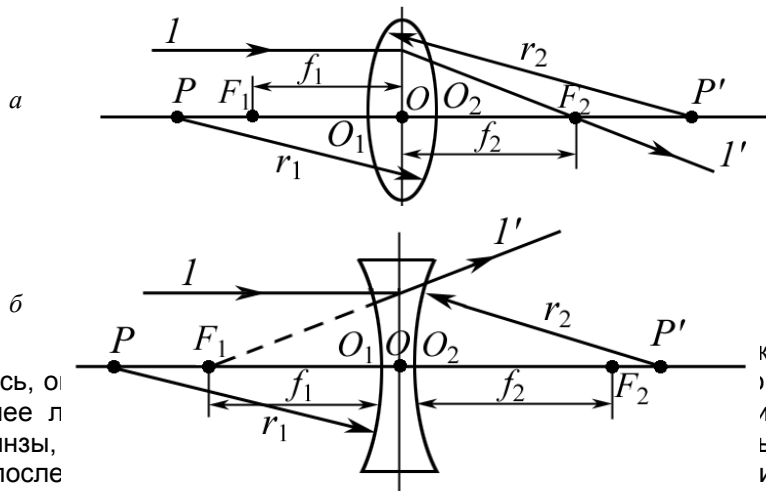


Рис. 1
преломившись, она падает на нее л фокусами линзы, а). Если же после провести лишь

кой оси (вблизи нее), то), слева или справа от линзы 1 точки называют главными ывается собирающей (рис. 1, и F_2 (главные фокусы) можно обратном направлении его распространения, то такая линза называется рассеивающей (рис. 1, б).

Расстояние между оптическим центром линзы и ее главными фокусами (расстояния f_1 или f_2) называют главными фокусными расстояниями линзы. Они равны между собой, т.е. $f_1 = f_2 = f$, если слева и справа от линзы находится одна и та же среда (например воздух).

Экспериментальная установка и методы измерения фокусных расстояний

Главное фокусное расстояние тонких линз можно измерить различными способами. Для этой цели используется установка, представленная на рис. 2. Установка состоит из оптической скамьи 1, на которой с помощью рейтеров 2 располагаются осветитель 3, исследуемая линза или система линз 4 и экран 5. Оптическая скамья снабжена шкалой для измерения положения осветителя, линз и экрана. В качестве предмета, изображение которого проектируется линзой на экран, используется сетка 6, расположенная в передней части осветителя.

Располагая на оптической скамье собирающую линзу, получим на экране действительное изображение предмета (сетки). При этом ход лучей в линзе имеет вид, представленный на рис. 3.

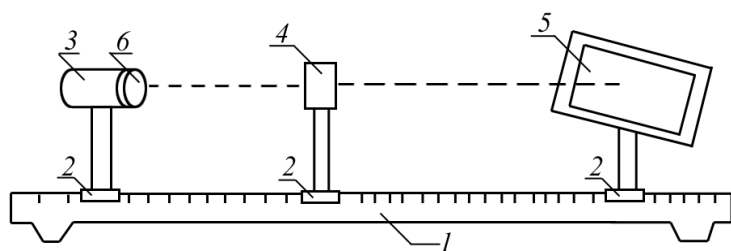


Рис. 2

Запишем формулы тонкой линзы (1)–(3)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} \pm \frac{1}{b}, \quad (1)$$

где f – главное фокусное расстояние линзы; a – расстояние от предмета до оптического центра линзы; b – расстояние от изображения до оптического центра линзы.

Из (1) следует, что

$$f = \frac{ab}{a + b}. \quad (2)$$

Очевидно, что формула (2) может быть использована как рабочая для определения главного фокусного расстояния собирающей тонкой линзы, для чего достаточно измерить лишь расстояния a и b . Следует, однако иметь в виду, что измеряя расстояния от предмета и изображения до оптического центра линзы, мы допускаем ошибку порядка толщины линзы. Поэтому измерение главного фокусного расстояния тонкой линзы имеет смысл только с точностью до ее толщины.

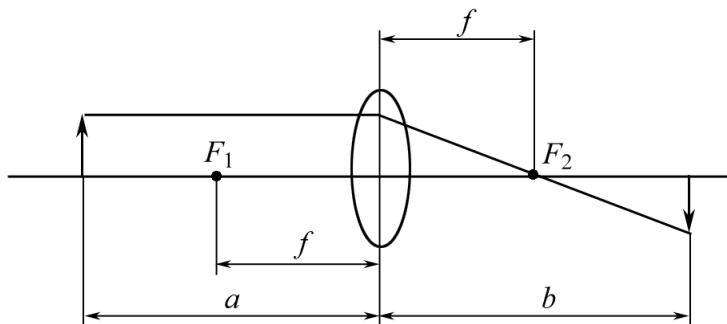


Рис. 3

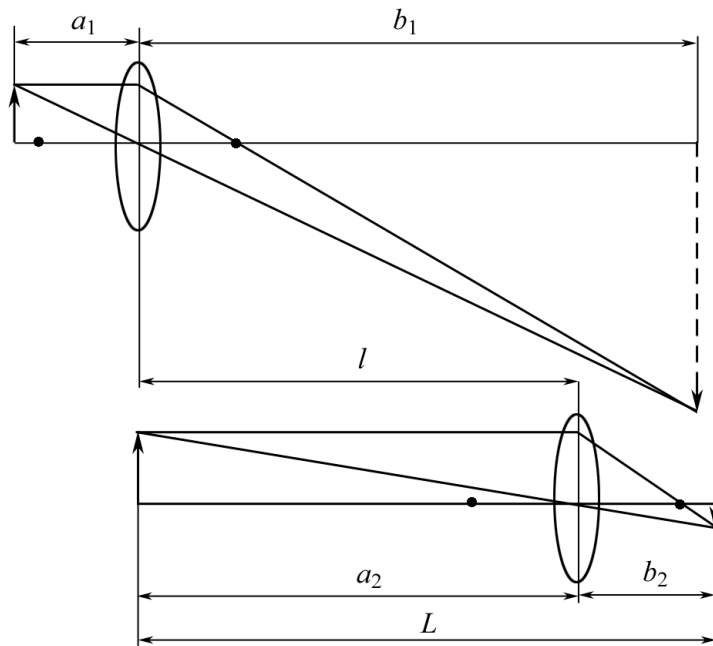


Рис. 4

В практике научного эксперимента часто используется иной метод определения главного фокусного расстояния собирающих тонких линз, разработанный Бесселем и получивший название **метода Бесселя**. Рассмотрим этот метод.

Пусть расстояние между предметом и экраном превышает $4f$. Нетрудно убедиться, что в этом случае всегда найдутся два таких положения линзы (рис. 4), при которых на экране получают отчетливые изображения предмета (в одном случае увеличенное, в другом – уменьшенное). Поскольку в обоих случаях изображения предмета на экране получаются с помощью одной и той же линзы, то на основе формулы (1) можно записать

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

или

$$\frac{a_1 b_1}{a_1 + b_1} = \frac{a_2 b_2}{a_2 + b_2} = f. \quad (4)$$

Но, как следует из рис. 4

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 = L; \quad (5)$$

$$a_1 - b_1 = a_2 - b_2 = l. \quad (6)$$

Тогда с учетом (5) выражение (4) примет вид

$$a_1 b_1 = a_2 b_2, \quad (7)$$

или, выразив a_2 и b_2 через l из (6), получим

$$a_1 b_1 = (l + a_1)(b_1 - l), \quad (8)$$

откуда следует, что

$$b_1 - a_1 = l. \quad (9)$$

Таким образом, учитывая (5) и (9), составляем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} b_1 - a_1 &= l; \\ b_1 + a_1 &= L, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

решив которую, будем иметь:

$$a_1 = \frac{L-l}{2}, \quad b_1 = \frac{L+l}{2}. \quad (11)$$

Подставляя эти значения a_1 и b_1 в формулу (3), находим

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (12)$$

Формула (12) является рабочей для определения главного фокусного расстояния собирающей линзы методом Бесселя.

Рассеивающие линзы не дают действительного изображения предмета на экране. Поэтому для определения их главного фокусного расстояния прибегают к помощи собирающей линзы. Методов определения главного фокусного расстояния рассеивающих тонких линз также несколько. В данной работе мы рассмотрим только **метод двойной фокусировки**.

Суть этого метода состоит в том, что с помощью собирающей линзы, с оптической силой большей, чем у рассеивающей, получают на экране четкое изображение предмета (рис. 5). Затем между экраном и собирающей линзой располагают рассеивающую линзу на расстоянии b от экрана. При этом резкое изображение на экране исчезает. Помещая экран на расстоянии a от рассеивающей линзы, опять получают резкое изображение предмета. В силу взаимной обратимости световых лучей можно считать, что S_1 есть изображение точки S_2 в рассеивающей линзе, формула которой в данном случае запишется в виде

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}, \quad (13)$$

из которой следует, что

$$f = \frac{ab}{b-a}. \quad (14)$$

Формула (14) является рабочей для определения фокусного расстояния рассеивающей тонкой линзы. Для этого следует измерить следующие расстояния: b – расстояние между рассеивающей линзой (точнее, ее оптическим центром) и экраном, когда четкое изображение предмета (сетки) на нем было получено с помощью собирающей линзы; a – расстояние между рассеивающей линзой и экраном, когда изображение предмета (сетки) на нем было получено с помощью обеих линз (собирающей и рассеивающей).

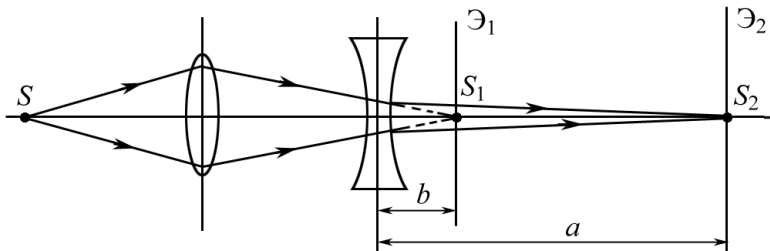


Рис. 5

Для нахождения этих расстояний необходимо зафиксировать координаты x_1 , x_2 и x_p , где x_1 – координата точки S_1 (первое положение экрана); x_2 – координата точки S_2 (второе положение экрана); x_p – координата положения на оптической скамье рассеивающей линзы. Тогда расстояния a и b могут быть представлены в виде

$$a = x_2 - x_p; \quad b = x_1 - x_p. \quad (15)$$

Методика измерений

1. Определение фокусного расстояния собирающей линзы на основе формулы тонкой линзы.

1. Установите экран на достаточно удаленном расстоянии от осветителя. Расположите между экраном и осветителем собирающую линзу и плавно перемещайте ее вдоль оптической скамьи до получения на экране резкого изображения предмета (сетки).
2. Измерьте расстояние от предмета a и его изображения на экране b до оптического центра линзы.
3. Измерьте положение экрана и повторите опыт. Опыт повторите не менее трех раз при различных расстояниях экрана от осветителя. Результат измерений занесите в табл. 1.
4. Определите, пользуясь формулой (2), главное фокусное расстояние собирающей линзы в каждом опыте и найдите среднее значение \tilde{f} .

Таблица 1

№	a , см	b , см	f , см	\tilde{f} , см
1				
2				
3				

2. Определение главного фокусного расстояния собирающей линзы методом Бесселя

1. Установите экран на оптической скамье так, чтобы расстояние между ним и предметом (сеткой) было больше чем $4f$ (ориентировочно).

2. Расположите собирающую линзу между предметом и экраном так, чтобы на экране появилось резкое увеличенное изображение предмета (сетки). Запишите деление шкалы a_1 , соответствующее положению линзы на оптической скамье.

3. Переместите, не изменяя расстояния между осветителем и экраном, линзу вдоль оптической скамьи так, чтобы на экране появилось уменьшенное изображение предмета (сетки). Запишите деление шкалы a_2 , соответствующее новому положению линзы на оптической скамье.

4. Определите расстояние l как разность между двумя положениями линзы, т.е. $l = a_2 - a_1$.

5. Измерьте расстояние между предметом и экраном (однако оно должно оставаться больше чем $4f$) и повторите опыт. Опыт повторить не менее трех раз. Результаты измерений занесите в табл. 2.

6. Рассчитайте фокусное расстояние собирающей линзы по методу Бесселя для всех трех опытов и найдите среднее значение. Результаты занесите в табл. 2.

Таблица 2

№	L , см	a_1 , см	a_2 , см	l , см	f , см	\tilde{f} , см
1						
2						
3						

3. Определение главного фокусного расстояния рассеивающей линзы

1. Установите на оптической скамье между экраном и осветителем собирающую линзу. С ее помощью получите на экране уменьшенное изображение предмета (сетки).

2. Запишите деление шкалы x_1 , соответствующее данному положению экрана.

3. Установите между собирающей линзой и экраном (ближе к собирающей линзе) рассеивающую линзу. Перемещая экран вдоль оптической скамьи, вновь получите резкое изображение предмета (сетки).

4. Запишите деление шкалы x_2 , соответствующее новому положению экрана.

5. Запишите деление шкалы x_2 , соответствующее положению на оптической скамье рассеивающей линзы (точнее, ее оптического центра).

6. Определите значения расстояний a и b по формулам (15). Опыт повторите не менее трех раз. Результаты измерений занесите в табл. 3.

7. Определите, пользуясь формулой (14), главное фокусное расстояние рассеивающей линзы в каждом опыте, а затем найдите его среднее значение $\tilde{f}_{\text{ср}}$.

Таблица 3

№	x_1 , см	x_2 , см	x_p , см	a , см	b , см	f , см	$\tilde{f}_{\text{ср}}$, см
1							
2							
3							

Сделайте выводы о точности определения фокусного расстояния используемым методом.

Контрольные вопросы

1. Какой из двух рассмотренных в работе методов определения главного фокусного расстояния собирающих линз является более точным? Почему?

2. Какие методы определения главного фокусного расстояния рассеивающих линз Вы знаете еще, кроме того, что рассмотрен в данной работе?

3. Зависит ли главное фокусное расстояние линзы от длины волны падающего на него света? Если зависит, то, каким образом?

4. Что называют оптической силой линзы? Как изменится оптическая сила при погружении линзы в оптически прозрачную жидкость?

5. Что называют увеличением линзы? Изменится ли увеличение линзы при погружении ее в оптически прозрачную жидкость? Если изменится, то, каким образом?

6. Как соотносится оптическая линза со звуковой линзой?

7. В чем состоит различие тонких и «толстых» линз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА

Цель работы: определение показателя преломления жидкостей методом полного внутреннего отражения с помощью рефрактометра ИРФ-454Б; исследование зависимости показателя преломления раствора от его концентрации.

Описание установки

При преломлении некогерентного света происходит его разложение на составные цвета в спектр. Это явление обусловлено зависимостью показателя преломления вещества от частоты (длины волны) света и называется дисперсией света.

Принято характеризовать преломляющую способность среды показателем преломления на длине волны $\lambda = 589,3$ нм (среднее значение длин волн двух близких желтых линий в спектре паров натрия). Этот показатель преломления обозначается n_D .

Мерой дисперсии служит средняя дисперсия, определяемая как разность $(n_F - n_C)$, где n_F - показатель преломления вещества на длине волны $\lambda = 486,1$ нм (голубая линия в спектре водорода), n_C - показатель преломления вещества на $\lambda = 656,3$ нм (красная линия в спектре водорода).

$$\frac{1}{V} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

Преломление вещества характеризуют величиной относительной дисперсии:

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

справочниках обычно приводится величина, обратная относительной дисперсии, т. е.

, где V - коэффициент дисперсии, или число Аббе.

Установка для определения показателя преломления жидкостей состоит из рефрактометра ИРФ-454Б с пределами измерения показателя преломления n_D в диапазоне от 1,2 до 1,7; исследуемой жидкости, салфетки для протирания поверхностей призм.

Рефрактометр ИРФ-454Б является контрольно-измерительным прибором, предназначенным для непосредственного измерения показателя преломления жидкостей, а также для определения средней дисперсии жидкостей в лабораторных условиях.

Принцип действия прибора ИРФ-454Б основан на явлении полного внутреннего отражения света. Принципиальная схема прибора показана на рис. 1.

Исследуемая жидкость помещается между двумя гранями призмы 1 и 2. Призма 2 с хорошо отполированной гранью АВ является измерительной, а призма 1 с матовой гранью A_1B_1 - осветительной. Лучи от источника света падают на грань A_1C_1 , преломляются, падают на матовую поверхность A_1B_1 и рассеиваются этой поверхностью. Затем они проходят слой исследуемой жидкости и попадают на поверхность АВ призмы 2.

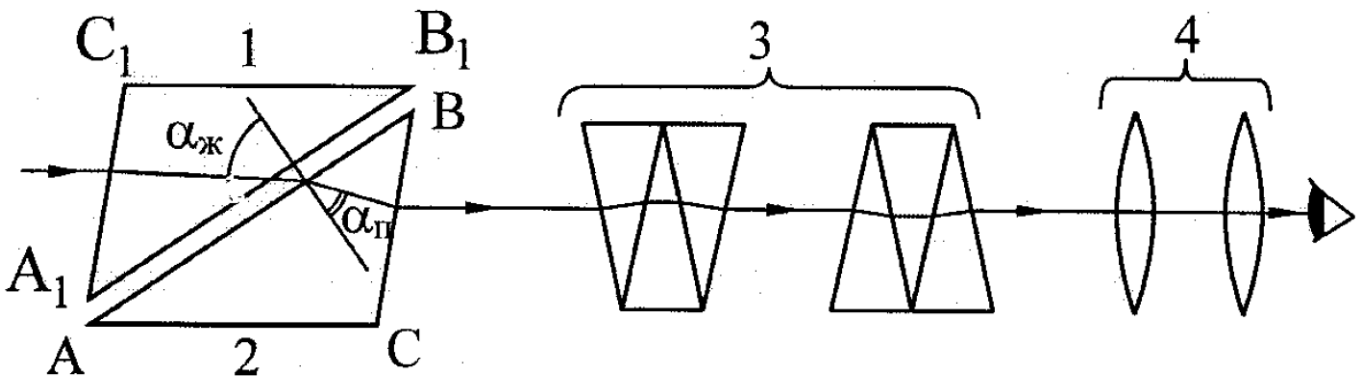


Рис. 1.

$$\frac{\sin \alpha_{жс}}{\sin \alpha_n} = \frac{n_n}{n_{жс}}$$

По закону преломления $\frac{\sin \alpha_{жс}}{\sin \alpha_n} = \frac{n_n}{n_{жс}}$, где $\alpha_{жс}$ и α_n - углы преломления лучей в жидкости и призме соответственно. При увеличении угла падения $\alpha_{жс}$ угол преломления α_n также увеличивается и достигает максимального значения $\alpha_{пред}$, когда $\alpha_{жс} = 90^\circ$, т. е. когда луч в

$$\sin \alpha_{пред} = \frac{n_n}{n_{жс}}$$

жидкости скользит по поверхности AB . Следовательно, $\sin \alpha_{пред} = \frac{n_n}{n_{жс}}$. Таким образом, выходящие из призмы 2 лучи ограничены определенным углом $\alpha_n = \alpha_{пред}$. Лучи, идущие из жидкости в призму 2 под большими углами претерпевают полное внутреннее отражение на границе раздела AB и не проходят через призму.

На рассматриваемом приборе исследуются жидкости, показатель преломления $n_{жс}$ которых меньше показателя преломления n_n призмы 2, следовательно, лучи всех направлений, преломившиеся на границе жидкости и стекла, войдут в призму. Очевидно, часть призмы, соответствующая не прошедшим лучам будет затемненной. В зрительную трубу 4, расположенную на пути выходящих из призмы лучей, можно наблюдать разделение поля зрения на светлую и темную части. Поворачивая систему призм 1-2, совмещают границу раздела светлого и темного поля с крестом нитей окуляра зрительной трубы. Система призм 1-2 связана со шкалой, которая отградуирована в значениях показателя преломления. Шкала расположена в нижней части поля зрения трубы и при совмещении раздела поля зрения с крестом нитей даёт соответствующее значение показателя преломления жидкости $n_{жс}$.

Из-за дисперсии граница раздела поля зрения в белом свете будет окрашена. Для устранения окрашенности, а также для определения средней дисперсии исследуемого вещества служит компенсатор 3, состоящий из двух систем склеенных призм прямого зрения (призм Амичи). Призмы можно вращать одновременно в разные стороны с помощью точного поворотного механического устройства, меняя тем самым собственную дисперсию компенсатора и устраняя окрашенность границы поля зрения, наблюдаемую через оптическую систему 4. С компенсатором связан барабан со шкалой, по которой определяют параметр дисперсии, позволяющий рассчитать среднюю дисперсию вещества.

Порядок выполнения работы

1. Произвести настройку прибора так, чтобы свет от источника (лампы накаливания) поступал в осветительную призму и освещал равномерно поле зрения.
2. Открыть измерительную призму. Стеклопалочкой нанести на её поверхность несколько капель воды и осторожно закрыть призму. Зазор между призмами должен быть равномерно заполнен тонким слоем воды (обратить на это особое внимание).
3. Пользуясь винтом прибора со шкалой, устранить окрашенность поля зрения и получить резкую границу света и тени. Совместить ее, с помощью другого винта, с отсчётным крестом окуляра прибора. Определить показатель преломления воды по шкале окуляра с точностью до тысячных долей.
4. Сравнить полученные результаты со справочными данными для воды. Если отличие измеренного от табличного показателя преломления не превышает $\pm 0,001$, то измерение выполнено правильно.

Задание 1

1. Приготовить раствор поваренной соли ($NaCl$) с концентрацией, близкой к пределу растворимости (например, $C = 200$ г/литр).
2. Измерить показатель преломления полученного раствора.

3. Разбавляя раствор в целое число раз получить зависимость показателя; преломления от концентрации раствора и заполнить табл. 1.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7
i							
$x=C$, г/л							
$y=n$							

4. Построить график зависимости $n=n(C)$. Дальнейшую обработку экспериментальных данных провести по указанию преподавателя.

Обработка экспериментальных данных

а) Графический метод

1. Из графика определить угловой коэффициент B , который при условиях эксперимента будет характеризовать растворенное вещество и растворитель.

2. Определить с помощью графика концентрацию раствора $NaCl$, данного лаборантом.

б) Аналитический метод

Методом наименьших квадратов вычислить A , B и S_B .

По найденным значениям A и B определить среднее значение $\langle C \rangle$ концентрации раствора $NaCl$, данного лаборантом

$$\langle C \rangle = \frac{\langle n \rangle = A}{B}$$

Контрольные вопросы

1. Дисперсия света. Чем отличается нормальная дисперсия от аномальной?
2. Что такое явление полного внутреннего отражения?
3. Почему на данной установке нельзя измерить показатель преломления жидкости больший, чем показатель преломления призмы?
4. Зачем грань призмы A_1B_1 делают матовой?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: измерение длины световой волны из расчета интерференционной картины, полученной с помощью бипризмы Френеля.

Теоретические сведения

Интерференция - явление наложения световых волн, в результате которого происходит перераспределение энергии в пространстве. Интерferируют только когерентные волны - волны одинаковой частоты, разность фаз которых остается постоянной по времени. Независимые естественные источники света (солнце, лампы накаливания) являются не когерентными, так как состоят из множества атомов, излучающих в течении короткого времени (10^{-8} с) цуги волн, не согласованные по фазе. Для наблюдения интерференции когерентные волны получают делением одного пучка света на два и последующим разложением их в определенной области пространства. В данной работе такое деление осуществляется бипризмой Френеля, которая представляет собой две стеклянные призмы с малыми преломляющими углами, сложенные основаниями (рис.1).

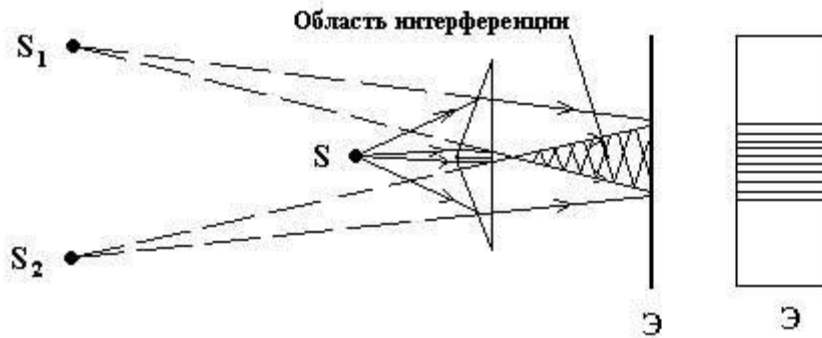


Рис.1

Источником света служит узкая щель **S**, расположенная параллельно ребру бипризмы. Каждая световая волна, проходя верхнюю и нижнюю половины бипризмы, отклоняется к основанию призмы и расщепляется на две когерентные волны, как бы исходящие из точек **S1** и **S2** - мнимых изображений источника **S**. Расщепленные пучки, частично перекрываясь, интерferируют. Если на пути интерferирующих пучков поставить экран (Э), то на нем система чередующихся светлых и темных полос, параллельных щели (максимумов и минимумов освещенности). Результат интерференции зависит от разности фаз ($\Delta\varphi$) волн, приходящих в точку наблюдения. Разность фаз и оптическая разность хода (Δr) волн связаны соотношением:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$$

где λ - длина волны, $\Delta r = r_1 - r_2$ (рис. 2). r_2 и r_1 - оптические пути интерferирующих лучей.

Если Δr равно целому числу длин волн, или четному числу длин полуволен ($\Delta r = 2m \frac{\lambda}{2}$), то волны от обоих источников приходят в одинаковой фазе ($\Delta\varphi = m \cdot 2\pi$, $m=0,1,2,3,\dots$) и

освещенность в точке наблюдения максимальна. Условию $\Delta r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$, или $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$ соответствует минимум освещенности.

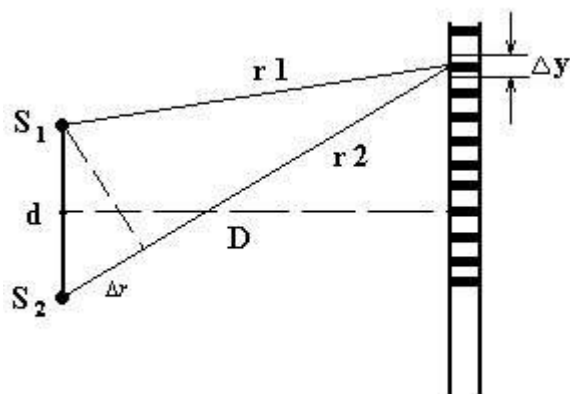


Рис. 2

Из рис. 2 следует:

$$r_2^2 = D^2 + \left(y + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$r_1^2 = D^2 - \left(y + \frac{d}{2}\right)^2$$

где r_1 и r_2 - оптические пути интерферирующих лучей, D - расстояние от источников до экрана, d - расстояние между источниками, y - расстояние от центра экрана до точки наблюдения. Из этих уравнений, полагая $r_1 + r_2 \approx 2D$, получим

$$\Delta r = \frac{yd}{D}$$

Разность хода волн, образующих соседние светлые (m) и ($m+1$) полосы интерференции равна:

$$\Delta r_{m+1} = \frac{y_{m+1} \cdot d}{D} = (m+1)\lambda$$

$$\Delta r_m = \frac{y_m \cdot d}{D} = m\lambda$$

откуда $\Delta y = y_{m+1} - y_m$, расстояние между светлыми полосами интерференции на экране равно:

$$\Delta y = \frac{\lambda \cdot D}{d} \quad (1)$$

Аналогичное выражение получится и для расстояния между темными полосами.

Зная параметры установки (D и d) и измерив ширину интерференционной полосы, можно вычислить длину световой волны λ :

$$\lambda = \Delta y \frac{d}{D} \quad (2)$$

Описание установки

Оптическая скамья с линейкой, источник света (лампа накаливания), светофильтры, экран со щелью, бипризма Френеля, измерительный микроскоп, собирающая линза.

Последовательность расположения оптических принадлежностей на скамье показана на рис.3

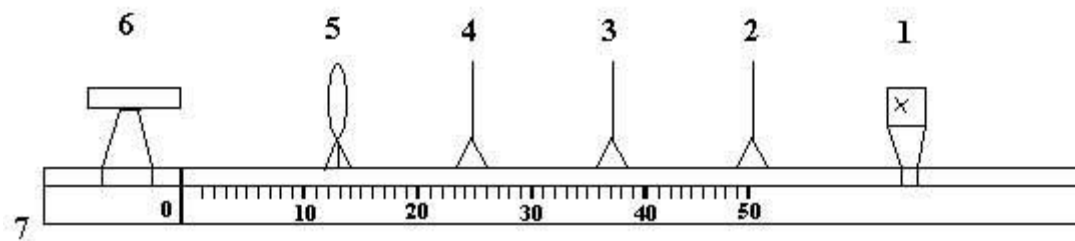


Рис. 3

1. - источник света; 2. - экран с вертикальной щелью; 3. - светофильтры; 4. - бипризма; 5. - линза; 6. - измерительный микроскоп; 7. - оптическая скамья с измерительной линейкой.

Интерференционная картина наблюдается в фокальной плоскости объектива микроскопа. Все задания выполняются с двумя светофильтрами из предлагаемого набора фильтров.

Паспорт установки

Цена деления шкалы микроскопа $C=5 \cdot 10^{-2}$ мм. Фокусное расстояние собирающей линзы $F=94$ мм.

Светофильтр		Δy	d	б	г	λ	$\Delta \lambda$
красный	1						
	2						
	3						
зеленый	1						
	2						
	3						

Результат записать в виде: $\lambda = (\lambda_{cp} \pm \Delta \lambda)$ нм.

Контрольные вопросы

1. Какие источники света называются когерентными?
2. Объяснить суть общего способа наблюдения интерференции света с помощью расщепления одного луча на два.
3. Объяснить, как получается картина интерференции света, которую Вы наблюдали в опыте.
4. Почему интерференционные полосы получаются радужными, если удалить светофильтр линз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7,8

ДИФРАКЦИЯ ФРЕНЕЛЯ НА ПРОСТЕЙШИХ ПРЕГРАДАХ. ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА.

Цель работы: Исследовать явление дифракции электромагнитных волн. С помощью дифракционной решетки проходящего света измерить длины электромагнитных волн видимого диапазона.

Основные теоретические сведения

Дифракцией называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями (например, вблизи границ непрозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.п.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. В частности, дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени. Явление дифракции заключается в перераспределении светового потока в результате суперпозиции волн, возбуждаемых когерентными источниками, расположенными непрерывно.

В данной лабораторной работе для исследования дифракции Фраунгофера используется дифракционная решетка проходящего света, которая представляет собой совокупность узких параллельных щелей, расположенных в одной плоскости (рис.1).

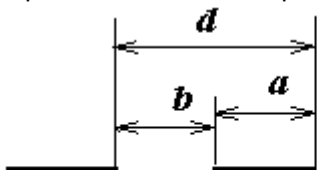


Рис.1

Найдем аналитическое выражение для определения длины волны света с помощью дифракционной решетки. Пусть когерентные волны 1 и 2 падают на решетку нормально к ее поверхности и дифрагируют под углом φ (рис.2). При наблюдении в параллельных лучах под углом φ между лучами соседних щелей возникает одна и та же разность хода $d \cdot \sin \varphi$. Пройдя дифракционную решетку, волны интерферируют в плоскости экрана. Если в точке

наблюдения М наблюдается интерференционный максимум, то разность оптических длин путей 1 и 2 должна быть равна целому числу длин волн:

$$\Delta x = m\lambda \quad m=0,1,2,\dots \quad (1)$$

$$\text{Таким образом получаем: } d \sin \varphi = m\lambda, \quad m = 0,1,2,\dots \quad (2)$$

Световой пучок

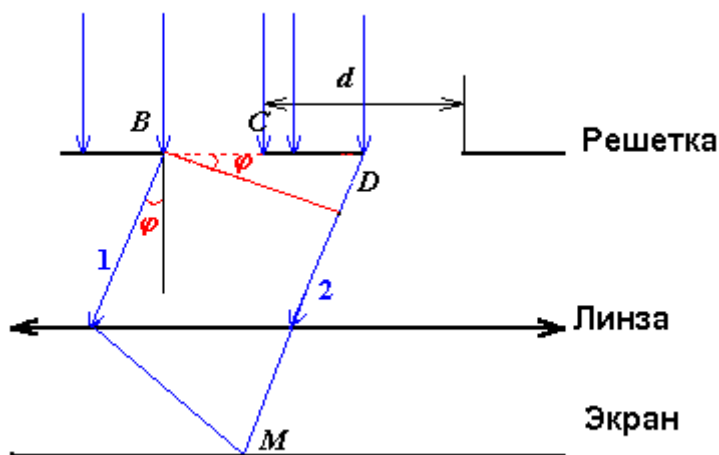


Рис. 2

Очевидно, что две любые другие волны, аналогичные волнам 1 и 2 и проходящие на расстоянии d друг от друга, дадут вклад в формирование максимума в точке М, который называется главным максимумом. Условие $m=0$ в формуле (2) соответствует значению $\varphi = 0$ и определяет интерференционное условие для центрального максимума, формируемого не дифрагированными волнами, приходящими в центр экрана в одной фазе. При дифракции лучи могут отклоняться от первоначального направления распространения как влево, так и вправо. Отсюда следует, что дифракционный спектр должен быть симметричен относительно центрального максимума. Обозначим углы дифракции φ для максимумов, расположенных слева от центрального, положительными, а справа- отрицательными. Тогда окончательное выражение для главных максимумов в дифракционном спектре:

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda \quad m=0,1,2,3,\dots \quad (3)$$

Значения m называют порядком дифракционного максимума. Главные максимумы различных порядков разделены в дифракционном спектре интерференционными (главными) минимумами, в которых волны складываются в противофазе и гасят друг друга попарно.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из источника света "И", щели "Щ", линзы "Л1", дифракционной решетки "Р", линзы "Л2", экрана "Э" и светофильтра "Ф" (рис.3). Щель служит для формирования спектральных линий, разрешенных между собой и придания им формы, подобной форме щели. Линза "Л1" предназначена для устранения расходимости светового пучка и получения резкого изображения спектра на экране. Линза "Л2" фокусирует параллельные лучи, идущие от решетки. Экран расположен в фокальной плоскости линзы "Л2".

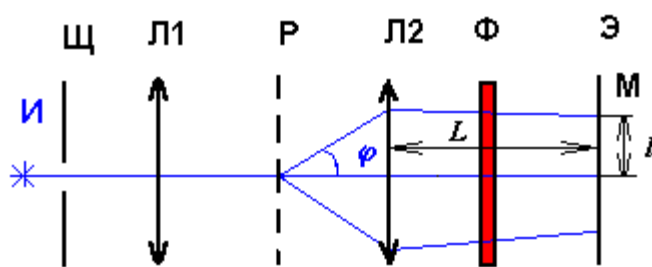


Рис. 3

Для определения длины волны используется формула (3).

При этом поступают следующим образом. На экране измеряют расстояние l от центра дифракционной картины до центра максимума порядка m . Это расстояние делят на фокусное расстояние линзы "Л2". Полученное отношение равно тангенсу угла дифракции φ . Отсюда

$$\sin \varphi = \sin \left(\arctg \frac{l}{L} \right) \quad (4)$$

Для выделения монохроматического излучения используют светофильтр.

Экспериментальные результаты.

1. Выбрать линзу "Л2", задав фокусное расстояние $L = 30$ см.
2. Получить интерференционную картину на экране.
3. Установить красный светофильтр. Измерить расстояние l_1 от середины максимума первого порядка до середины центрального максимума по шкале экрана. Запишем полученное значение в табл.1.
4. Повторить измерения для максимума второго порядка.
5. Установить фиолетовый светофильтр. Повторить п.2 и п.3 для фиолетового света
6. По формуле (4) рассчитать углы дифракции первого и второго порядков для красного и фиолетового цвета. Запишем полученные значения в табл.1.
7. По формуле (3) рассчитать длины волн фиолетового и красного цвета. Период решетки $d = 5$ мкм. Окончательные значения длин волн вычислить как средние арифметические по максимумам первого и второго порядка одного и того же цвета. Внесем полученные значения длин волн в табл.1.

Расчеты:

По формуле (4) рассчитаем углы дифракции первого и второго порядков для красного и фиолетового цвета при $L = 0,3$ м. По формуле (3) рассчитаем длины волн фиолетового и красного цвета. Период решетки $d = 5$ мкм. Окончательные значения длин волн вычислим как средние арифметические по максимумам первого и второго порядка одного и того же цвета.

Таблица 1.

Значение	красный	фильтр	фиолетовый	фильтр
L , м				
l , м				
m				
λ , мкм				
φ , °				
$\lambda_{\text{ср}}$, мкм				

Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Максимум какого наибольшего порядка может наблюдаться на данной дифракционной решетке?
2. Дайте понятие дифракции. В чем сущность принципа Гюйгенса-Френеля?
3. Расскажите об устройстве и назначении дифракционной решетки проходящего света.
4. Объясните порядок чередования цветов в спектре, полученном в п.2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 ИЗУЧЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: исследование серии Бальмера в видимой части спектра водорода и спектра натрия, определение постоянной Ридберга и массы электрода.

Приборы и принадлежности: спектроскоп, трубка с водородом, трубка с неоном, трубка с парами натрия.

Теоретические сведения

Опытами Резерфорда по рассеянию α – частиц тонкими металлическими фольгами было установлено, что весь положительный заряд атома и практически вся его масса сосредоточены в очень малом объёме, радиус которого имеет величину порядка 10^{-15} м. Вокруг атомного ядра по орбитам, на расстояниях порядка 10^{-10} м, движутся отрицательные электроны. В нейтральном атоме число элементарных положительных зарядов атомного ядра Z равно числу отрицательных электронов в электронной оболочке. Число равно порядковому номеру химического элемента в периодической системе Менделеева.

Ядерную модель атомов по Резерфорду, внешне похожую на Солнечную систему, часто называют планетарной. Но эта модель не могла объяснить устойчивость атомов и их линейчатые спектры.

Согласно классической электромагнитной теории движущийся по орбите электрон, имеющий центростремительное ускорение, должен излучать электромагнитные волны и вследствие излучения терять свою энергию. В конце концов электрон должен упасть на ядро.

Неклассическая теория строения атома была предложена датским физиком Н. Бором. В этой теории Бор пытался связать в единое целое эмпирические закономерности линейчатых спектров, ядерную модель Резерфорда и квантовый характер излучения и поглощения света.

Бор предложил накладывать на возможные состояния электронов в атоме некоторый ограничения. Эти ограничения были сформулированы в виде двух постулатов.

1. Атом обладает совершенно определёнными устойчивыми состояниями, находясь в которых он излучает и не поглощает электромагнитные волны.

2. При переходе из одного устойчивого состояния с большей энергией W_2 в другое устойчивое состояние с меньшей энергией W_1 атом излучает квант энергии:

Переходы атома из одного состояния в другое соответствуют переходам электронов между стационарными орбитами.

Отрицательное значение полной энергии электрона означает при удалении электрона из атома совершается работа внешних сил, равная W .

Все предыдущие рассуждения справедливы для водорода и водородоподобных ионов. Водородоподобные ионы состоят из ядра с зарядом Ze и одного электрона. Например: He^+ , Li^{++} и др. Для многоэлектронных атомов вместо теории Бора необходимо применение квантовой механики.

Изучение серии Бальмера в спектре водорода

По второму постулату Бора кванты энергии, излучаемые атомами, имеют постоянные значения (т. е. $\nu = const$) и поэтому оптические спектры изолированных атомов имеют линейную структуру (рис. 1).

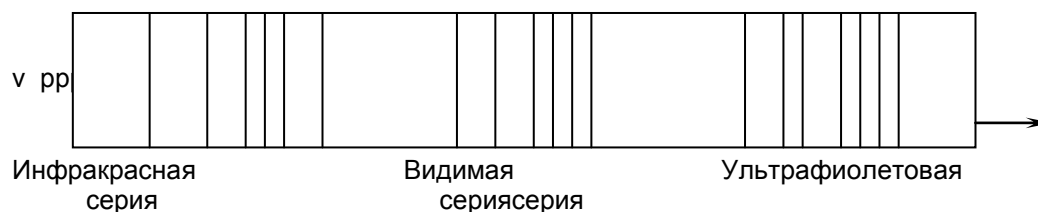
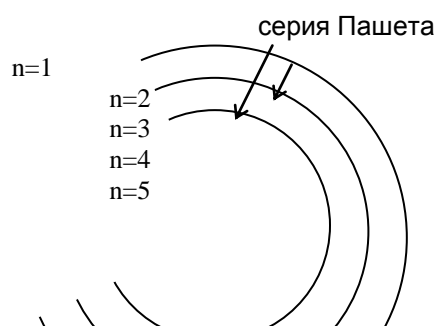


рис. 1

Совокупность спектральных линий, возникающих при переходах электронов со всех более удалённых орбит (квантовые числа n_2) на одну из нижних орбит (квантовое число n_1), называют спектральной серией.

Для водорода основными сериями являются следующие совокупности спектральных линий (см. рис. 2):



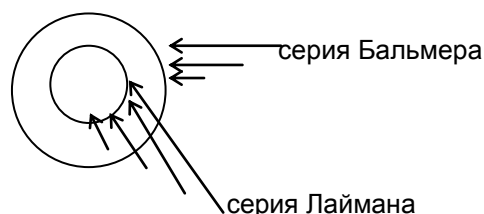


рис. 2

- 1) $n_1 = 1, n_2 = 2, 3, \dots$ - серия Лаймана в ультрафиолетовой части спектра;
- 2) $n_1 = 2, n_2 = 3, 4, \dots$ - серия Бальмера в видимой части спектра;
- 3) $n_1 = 3, n_2 = 4, 5, \dots$ - серия Пашена в инфракрасной области.

Порядок выполнения работы

1. Изучить спектроскоп.
2. Установить перед щелью коллиматора спектроскопа неоновую лампу, возбудить разряд и наблюдать цветной спектр.
3. Шкалу барабана спектроскопа градуировать в длинах волн, наводя последовательно указатель в поле зрения трубы на различные линии спектра и записывая соответствующие деления на шкале барабана в таблицу.

Таблица 1

№ пп	положение и окраска линии	Длина волны, мкм	Деление на барабане	
1	ярко-красная	0,640		
2	красно-оранжевая, правая из двух одинаковых линий	0,614		
3	оранжевая, первая заметная вправо от четвёртой	0,594		
4	ярко-жёлтая	0,585		
5	светло-зелёная, первая заметная вправо от четвёртой	0,576		
6	зелёная, правая из двух одинаковых линий	0,540		
7	зеленая, левая из двух одинаковых линий	0,533		
8	зеленая, левая из пяти равноудалённых линий	0,503		
9	сине-зелёная	0,485		

4. По данным таблицы построить график: по оси абсцисс отложить число делений шкалы барабана, а по оси ординат – длины волн соответствующих линий (рис. 3).
5. Установить против щели коллиматора спектроскопа трубку с водородом, возбудить разряд, наблюдая при этом цветной спектр. Для наиболее ярких линий – красной ($n_2=3$), голубой ($n_2=4$) и фиолетовой ($n_2=5$) – записать деления на шкале барабана и по градуированному графику найти соответствующие им длины волн: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.
6. Для трёх значений λ вычислить по формуле (16) постоянную Ридберга и найти её среднее значение.
7. По формуле (17) вычислить массу электрона и по формуле (4) радиус первой орбиты электрона в атоме водорода.

Изучение оптического спектра паров натрия

Строение атомов щелочных металлов напоминает строение водородоподобных ионов. У водородоподобных ионов единственный электрон движется в центральном поле ядра, а в атомах щелочных элементов последний, слабо связанный с атомом электрон движется в поле «атомного остатка», состоящего из ядра и ($Z=1$) электронов. Атомный остаток имеет структуру благородного газа и представляет собой очень устойчивое образование. Поэтому свойства атомов щелочных металлов и водородоподобными ионами имеется существенное различие. В атоме водорода электрон движется в поле точечного заряда, в то время как «атомный остаток» щелочных металлов никак не является точечным. Волновые функции валентного электрона, находящегося на внешней оболочке, в разных состояниях имеют различное пространственное распределение, поэтому энергия щелочных металлов зависит от орбитального квантового числа валентного электрона.

Для расчёта полной энергии уровней в щелочных металлах можно применять формулу

где R - постоянная Ридберга, h - постоянная Планка, c - скорость света, n - главное квантовое число валентного электрона, Δ - поправка к главному квантовому числу. Поправка Δ учитывает зависимость энергии уровней от орбитального квантового числа.

Порядок выполнения работы

1. Установить перед щелью коллиматора спектроскопа неоновую трубку, возбудить разряд и наблюдать цветной спектр.
2. Шкалу барабана проградуировать в длинах волн, наводя последовательно указатель в поле зрения трубы спектроскопа на различные линии спектра и записывая соответствующие деления на шкале барабана в таблицу 1.
3. По данным таблицы построить график: по оси абсцисс отложить число делений шкалы барабана, а по оси ординат – длины волн соответствующих линий (рис. 4).
4. Установить против щели коллиматора спектроскопа трубку с парами натрия, возбудить разряд, наблюдая при этом цветной спектр. Для наиболее ярких линий записать деления на шкале барабана и по градуированному графику найти соответствующие им длины волн.
5. Выбрать из полученных данных длину волны, соответствующую яркой жёлтой линии в спектре натрия и найти значение постоянной Ридберга из формулы
где $\sigma_1 = 1,628$; $\sigma_2 = 1,37$.
6. Вычислить абсолютную и относительную погрешности для найденного значения R .
7. Записать окончательное выражение для R в стандартной форме.
8. Вычислить массу электрона (17) и радиус первой орбиты электрона (4).

4. Общие методические рекомендации по оформлению и выполнению отдельных видов ВАРС

4.1. Рекомендации по написанию конспектов

Конспект составляется студентом по вопросам, вынесенные на самостоятельное изучение. Предлагаем Вам рекомендации к составлению конспекта:

- цель и задачи выбранной темы вопроса;
- основная часть;
- выводы (заключение).

Также возможно тезисное изложение конспекта.

Рекомендации по конспектированию и составлению планов

Прежде чем начать конспектирование, следует уяснить особенности таких видов конспектов, как план-конспект, текстуальный (цитатный), свободный, тематический, схематический.

Основные требования к написанию конспекта:

- системность и логичность изложения материала.
- краткость.
- убедительность и доказательность.

Приступая к конспектированию, необходимо прочитать текст, отметить в нем новые слова, непонятные места, имена, даты, выбрать вид конспекта:

План-конспект – сжатый в форме плана пересказ прочитанного или услышанного. Такой конспект краток, прост. Быстро составляется и запоминается; учит выбирать главное, четко и логично излагать мысли, дает возможность усвоить материал еще в процессе его изучения. Все это делает его незаменимым при быстрой подготовке доклада, выступления. Однако работать с ним через некоторое время трудно. Так как плохо восстанавливается в памяти содержание материала.

Этапы работы: 1. Составить план текста. 2. Разъяснить кратко и доказательно каждый пункт плана, выбрать разумную и эффективную форму записи. 3. Сформулировать и записать вывод.

Текстуальный (цитатный) конспект – конспект, созданный из отрывков подлинника, цитат. Он строится из высказываний автора, из изложенных им фактов; используется для работы с первоисточником; к нему можно обращаться неоднократно. Однако он не способствует активной мыслительной работе, как правило, служит только иллюстрацией к изучаемой теме.

Этапы работы: 1. Прочитать текст, отметить в нем основное содержание, главные мысли. Выделить те цитаты, которые войдут в конспект. 2. Пользуясь правилами сокращения цитат, выписать их в тетрадь. 3. Прочитать написанный текст, сверить его с оригиналом. 4. Сделать общий вывод.

Свободный конспект – это сочетание выписок, цитат, тезисов. Он требует серьезных усилий при усвоении материала, требует умения активного использования всех типов записей: планов, тезисов, выписок.

Этапы работы: 1. Изучить и глубоко осмыслить источник. 2. Выписать основные мысли, цитаты, составить тезисы. 3. Используя подготовленный материал, сформулировать основные положения по теме.

Тематический конспект – конспект ответа на поставленный вопрос или конспект учебного материала темы. Он может быть обзорным и хронологическим; учит анализировать различные точки зрения на один и тот же вопрос, привлекать имеющиеся знания и личный опыт; используется в процессе работы над докладом, сообщением, рефератом.

Этапы работы: 1. Изучить несколько источников и сделать из них выборку материала по определенной теме или хронологии. 2. Мысленно оформить прочитанный материал в виде плана. 3. Пользуясь этим планом, кратко, своими словами изложить материал. 4. Составить перечень основных мыслей, содержащихся в тексте, в виде простого плана. 5. Выяснить в словаре значение новых, непонятных слов, выписать их в свой педагогический словарь. 6. Перед тем как сдать работу преподавателю, прочитать конспект еще раз, при необходимости доработать

4.1.1. Критерии оценки

Конспект должен соответствовать содержанию и объему текста по вопросам, выносимым на самостоятельное изучение студентам. Студент получает до 4 баллов.

4.2. Рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Практические занятия

Практические занятия также имеют значение в учебном процессе. На таких занятиях студенты учатся самостоятельно решать практические задачи, развивают навыки работы с нормативными материалами, углубляют свои теоретические знания.

Практическое занятие проводится по специальному плану-заданию, которое содержится в учебных книгах, учебно-методических материалах.

Там же указываются материалы, на основе которых решается учебная задача, даются краткие методические рекомендации по выполнению домашнего задания.

Рекомендуется составить план подготовки к занятию. Это не значит, что нужно обязательно составлять письменный документ. Достаточно, чтобы этот план, как говорится, «твердо сидел в голове». Иными словами, необходимо хорошо знать теорию вопроса, который является предметом рассмотрения на практическом занятии. Подготовка к практическому занятию должна найти отражение в записях, желателен в той же тетради, посвященной данному предмету. На практическом занятии студенты сообщают варианты решения задач/казусов/кейсов с соответствующей аргументацией и обоснованием, которые затем коллективно обсуждаются в порядке свободной дискуссии. Важно, чтобы каждый студент стремился к активному участию в обсуждении решаемых проблем, чтобы в ходе практического занятия не оставалось непонятных вопросов.

На занятии преподаватель может дать новые дополнительные задания, которые нужно решить здесь же и тем самым проверить, насколько глубоко освоены теоретические вопросы по теме и нормативный материал.

В случае пропуска практического занятия студент обязан выполнить план-задание и отчитаться перед руководителем занятия в согласованное с ним время.

4.3. Выполнение самостоятельной практической работы

Практическая работа – это письменная работа, выполняемая студентом в течение длительного срока (от одной недели до месяца), состоящая из 15-20 задач по основным разделам физики данного семестра. Студентам необходимо самостоятельно выполнить две практические работы. Обязательные требования к оформлению такие же, как и к контрольной работе.

4.3.1. Критерии оценки

Оценка выполнения 2 практических работ производится по:

- содержанию выполнения заданий и его пониманию;
- качеству оформлению учебного;
- своевременности сдачи практических работ.

4.4 Самостоятельное изучение тем

В соответствии с рабочей программой, на самостоятельное изучение выносятся темы, по результатам изучения которых, предлагается ответить на вопросы для самоконтроля, подготовиться к аудиторному и внеаудиторному контролю знаний. На основании изученного материала, необходимо

подготовиться и пройти текущую и рубежную проверку знаний, согласно графику учебного процесса, а также оформить отчет в виде презентации/ конспекта/эссе/доклада.

Общий алгоритм самостоятельного изучения тем	
1) Ознакомиться с рекомендованной учебной литературой и электронными ресурсами по теме (ориентируясь на вопросы для самоконтроля).	
2) На этой основе составить развёрнутый план изложения темы	
3) Выбрать форму отчетности конспектов(план – конспект, текстуальный конспект, свободный конспект, конспект – схема)/презентация/эссе/доклад	
2) Оформить отчётный материал в установленной форме в соответствии методическими рекомендациями	
3) Провести самоконтроль освоения темы по вопросам, выданным преподавателем	
4) Предоставить отчётный материал преподавателю по согласованию с ведущим преподавателем	
5) Подготовиться к предусмотренному контрольно-оценочному мероприятию по результатам самостоятельного изучения темы	
6) Принять участие в указанном мероприятии, пройти рубежное тестирование по разделу на аудиторном занятии и заключительное тестирование в установленное для внеаудиторной работы время	
Вопросы для самоконтроля освоения темы -	представлены в фондах оценочных средств по дисциплине

5. Текущий (внутрисеместровый) контроль хода и результатов учебной работы студента

5.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий внутрисеместровый контроль осуществляется по следующему направлению:

- выполнение практических заданий и сдача преподавателю.

Результаты внутрисеместрового контроля являются основой для определения рейтинга внутрисеместровой активности студента по дисциплине и влияют на результат итогового контроля по дисциплине.

5.1.1. Критерии оценки

Оценка выполнения практических работ производится по:

- содержанию выполнения задания;
- качеству оформлению учебного портфолио;
- своевременности сдачи практических работ.

Оценка выполнения задания по ведению словаря терминов и определений:

- содержание словаря (правильность написания терминов и определений, в том числе с учетом нормативно-правовых документов);
- полные и верные ответы по терминам и определениям.

Оценка выполнения задания по самостоятельному изучению тем студентами (написание конспектов и устный опрос студентов):

- содержание и объем текста по вопросам, выносимым на самостоятельное изучение студентам.

5.2. Рубежный контроль хода и результатов учебной работы студента

Рубежный внутрисеместровый контроль осуществляется по следующим направлениям:

- самостоятельное изучение тем студентами (написание конспектов и устный опрос студентов);
- рубежные контрольные работы.

Результаты внутрисеместрового контроля являются основой для определения рейтинга внутрисеместровой активности студента по дисциплине и влияют на результат итогового контроля по дисциплине.

5.2.1. Критерии оценки

Оценка выполнения задания по самостоятельному изучению тем студентами (написание конспектов и устный опрос студентов):

- содержание и объем текста по вопросам, выносимым на самостоятельное изучение студентам;
- **правильное решение 2 контрольных работ .**

5.3. Подготовка к итоговому контролю по дисциплине

Итоговый контроль проводится в форме двух экзаменов и одного зачета. Преподаватель выставляет «зачтено»или оценку в экзаменационную ведомость и в зачётную книжку студента.

Итоговый внутрисеместровый контроль осуществляется по следующим направлениям:

- электронное тестирование студентов (индивидуально) в программе TestOfficePro (проводится в конце 4 семестра);
- подведение итогов по выполнению студентом общего плана работы по перечисленным выше мероприятиям:

5.3.1. Критерии оценки

Тестирование осуществляется по всем темам и разделам дисциплины, включая темы, выносимые на самостоятельное изучение.

Процедура тестирования ограничена во времени и предполагает максимальное сосредоточение студента на выполнении теста, содержащего несколько тестовых заданий.

Студенту рекомендуется:

1. при неуверенности в ответе на конкретное тестовое задание пропустить его и переходить к следующему, не затрачивая много времени на обдумывание тестовых заданий при первом проходе по списку теста;

2. при распределении общего времени тестирования учитывать (в случае компьютерного тестирования), что в автоматизированной системе могут возникать небольшие задержки при переключении тестовых заданий.

Необходимо помнить, что:

1. тест является индивидуальным. Общее время тестирования и количество тестовых заданий ограничены и определяются преподавателем в начале тестирования;

2. по истечении времени, отведённого на прохождение теста, сеанс тестирования завершается;

3. допускается во время тестирования только однократное тестирование;

4. вопросы студентов к преподавателю по содержанию тестовых заданий и не относящиеся к процедуре тестирования не допускаются;

Тестируемому во время тестирования запрещается:

1. нарушать дисциплину;

2. пользоваться учебно-методической и другой вспомогательной литературой, электронными средствами (мобильными телефонами, электронными записными книжками и пр.);

3. использование вспомогательных средств и средств связи на тестировании допускается при разрешении преподавателя-предметника.

4. копировать тестовые задания на съёмный носитель информации или передавать их по электронной почте;

5. фотографировать задания с экрана с помощью цифровой фотокамеры;

6. выносить из класса записи, сделанные во время тестирования.

На рабочее место тестируемому разрешается взять ручку, черновик, калькулятор.

За несоблюдение вышеперечисленных требований преподаватель имеет право удалить тестируемого, при этом результат тестирования удаленного лица аннулируется.

Тестируемый имеет право:

Вносить замечания о процедуре проведения тестирования и качестве тестовых заданий.

Перенести сроки тестирования (по уважительной причине) по согласованию с преподавателем.

При оценке результатов тестирования определяют удельный вес (%) правильных ответов. При более 50% не правильных ответов задания по освоению терминологии считаются не выполненными, а студент обязан повторить процедуру тестирования. При получении более 50% правильных ответов студент считается прошедшим процедуру тестирования и эта форма контроля ему зачитывается. Студент имеет право повторить процедуру тестирования для получения более высокого рейтинга.

6. Промежуточная (семестровая) аттестация по курсу

6.1 Нормативная база проведения промежуточной аттестации студентов по результатам изучения дисциплины:	
1) действующее «Положение о текущем контроле успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратура) и среднего профессионального образования в ФГБОУ ВО Омский ГАУ»	
2 семестр	
Цель промежуточной аттестации:	установление уровня достижения каждым студентом целей и задач обучения по данной дисциплине.
Форма промежуточной аттестации -	зачёт
Место процедуры получения зачёта в графике учебного процесса	1) участие студента в процедуре получения зачёта осуществляется за счёт учебного времени (трудоемкости), отведённого на изучение дисциплины 2) процедура проводится в рамках ВАРС, на последней неделе семестра
Основные условия получения студентом зачёта:	1) студент выполнил все виды учебной работы (включая самостоятельную) и отчитался об их выполнении в сроки, установленные графиком учебного процесса по дисциплине; 2) прошёл заключительное электронное тестирование; 3) подготовил полнокомплектное учебное портфолио.
Процедура получения зачёта -	Представлены в Фонде оценочных средств по данной учебной дисциплине
Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков	
3 семестр	
Цель промежуточной аттестации:	установление уровня достижения каждым студентом целей и задач обучения по данной дисциплине.
Форма промежуточной аттестации -	зачёт
Место процедуры получения зачёта в графике учебного процесса	1) участие студента в процедуре получения зачёта осуществляется за счёт учебного времени (трудоемкости), отведённого на изучение дисциплины 2) процедура проводится в рамках ВАРС, на последней неделе семестра
Основные условия получения студентом зачёта:	1) студент выполнил все виды учебной работы (включая самостоятельную) и отчитался об их выполнении в сроки, установленные графиком учебного процесса по дисциплине; 2) прошёл заключительное электронное тестирование; 3) подготовил полнокомплектное учебное портфолио.
Процедура получения зачёта -	Представлены в Фонде оценочных средств по данной учебной дисциплине
Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков	

Зачет выставляется студенту по факту выполнения графика учебных работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины. По итогам изучения дисциплины, студенты проходят заключительное тестирование. Тестирование является формой контроля, направленной на проверку владения терминологическим аппаратом, современными информационными технологиями и конкретными знаниями в области фундаментальных дисциплин. По результатам тестирования знаний студенты получают допуск к итоговому экзамену.

7. Информационное и методическое обеспечение учебного процесса по дисциплине

В соответствии с действующими государственными требованиями для реализации учебного процесса по дисциплине обеспечивающей кафедрой разрабатывается и постоянно совершенствуется учебно-методический комплекс (УМКД), соответствующий данной рабочей программе и прилагаемый к ней. При разработке УМКД кафедра руководствуется установленными университетом требованиями к его структуре, содержанию и оформлению. В состав УМКД входят перечисленные ниже и другие источники учебной и учебно-методической информации, средства наглядности.

Предусмотренная рабочей учебной программой учебная и учебно-методическая литература размещена в фондах библиотеки филиала и/или библиотеке обеспечивающей преподавание кафедры.

ПЕРЕЧЕНЬ литературы, рекомендуемой для изучения дисциплины Б1.Б.06 Физика (на 2016/17 уч. год)	
Автор, наименование, выходные данные	Доступ
1	2
1. Основная учебная литература	
Курс физики: учеб. пособие/ Р. И. Грабовский. - 12-е изд. - СПб.: Издательство "Лань", 2012	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Савельев И.В. Курс общей физики: в 4-х т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие / И. В. Савельев; под ред. В. И. Савельева. - 2-е изд. - М.: КНОРУС, 2012.	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Савельев И.В. Курс общей физики: в 4-х т. Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие / И. В. Савельев; под общ. ред. В. И. Савельева. - 2-е изд. - М.: КНОРУС, 2012. - 576 с	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Савельев И.В. Курс общей физики: в 4-х т. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие / И. В. Савельев; под общ. ред. В. И. Савельева. - 2-е изд. - М.: КНОРУС, 2012. - 368 с	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Хавруняк В.Г. Курс физики [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Г. Хавруняк, Н. В. Артемьев, О. Б. Тихонова; под ред. Е. Н. Барикаева. - М.: НИЦ Инфра-М, 2014. - 400 с.	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Курс физики: учеб. пособие/ Р. И. Грабовский. - 12-е изд. - СПб.: Издательство "Лань", 2012	http://znanium.com/
2. Дополнительная учебная литература	
Физика: Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика. Термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.И. Кузнецов. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 248 с.	http://znanium.com/
Физика. Основы электродинамики. Электромагнитные колебания и волны [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.И. Кузнецов. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 231 с.	http://znanium.com/
Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.И. Кузнецов, А.М.Лидер - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Вузов. учеб.: НИЦ ИНФРА-М, 2015 - 212 с.	http://znanium.com/
Общая физика: руководство по лабораторному практикуму [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. И.Б. Крынецкого, Б.А. Струкова. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 596 с.	http://znanium.com/
Хавруняк В.Г. Физика: Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ В. Г. Хавруняк. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 142 с.	http://znanium.com/
Задачи по общей физике [Электронный ресурс] / Иродов И.Е. - М.: БИНОМ, 2014.	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Физика. Модульный курс (для технических вузов): учеб. пособие для бакалавров / Ю.С. Оселедчик, П.И. Самойленко, Т.Н. Точилина. – М.: ИЦ Юрайт, 2013. – 526 с.	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Савельев И.В. Курс общей физики: в 4-х т. Т. 4: Сборник вопросов и задач по общей физике : учебное пособие / И. В. Савельев; под общ.ред. В.И. Савельева. - 2-е изд. - М.: КНОРУС, 2012. - 384 с	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ

Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов/ Т. И. Трофимова. -8-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2004. - 544 с.	Библиотека Тарского филиала ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: учеб. пособие / Т. И. Трофимова, З. Г. Павлова. - 4-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2003. - 591 с.	http://www.studentlibrary.ru/
Естественные науки: журнал фундаментальных и прикладных исследований. – М., 2012	http://znanium.com/