

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 23.08.2023 17:19:38
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕ-
НИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ФИЗИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

№ п/п	Содержание	Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа № 1. Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела брошенного под углом к горизонту	
4.2	Лабораторная работа № 2. Изучение законов динамики поступательного и вращательного движений с помощью машины Атвуда	
4.3.	Лабораторная работа №3. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника	
4.4	Лабораторная я работа №4. Определение периода колебаний физического маятника	
4.5	Лабораторная работа №5. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса).	
4.6	Лабораторная работа №6. Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения	
4.7	Лабораторная работа №7. Изучение электростатического поля .	
4.8	Лабораторная работа №8. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона	
4.9	Лабораторная работа №9. Исследование электрической цепи постоянного тока	
4.10	Лабораторная работа №10. Изучение явления электромагнитной индукции.	
4.11	Лабораторная работа №11. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли	
4.12	Лабораторная работа №12. Исследование колебаний в простом колебательном контуре	
4.13	Лабораторная работа №13. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки.	
4.14	Лабораторная работа №14. Изучение внешнего фотоэффекта.	
4.15	Лабораторная работа №15. Изучение энергетического спектра электронов.	
4.16	Лабораторная работа №16. Изучение космического излучения.	
4.17	Лабораторная работа №17. Проверка закона Малюса.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обу-	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,
необходимых для освоения дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Введение

Лабораторные занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Лабораторные занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Лабораторные занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении экспериментальных задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью лабораторных занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Лабораторный стенд «Скамья Жуковского». Лабораторный стенд «Машина Атвуда». Лабораторный стенд «Маятник Максвелла». Набор демонстрационный «Механические явления». Набор лабораторный «Механика» (расширенный).

Весы технические настольные с разновесами демонстрационный. Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Трубка Ньютона. Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления». Набор демонстрационный «Звуковые колебания и волны». Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления».

Комплект учебной мебели.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
2 семестр			
9	Лабораторная работа № 1. Исследование электрической цепи постоянного тока. Изучение зависимости силы тока, напряжения, полной полезной мощности и к.п.д. источника от сопротивления нагрузки.	1,5	
10	Лабораторная работа № 2. Изучение явления электромагнитной индукции. Изучение электрических токов возникающих в замкнутой цепи при изменении магнитного поля.	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

11	Лабораторная работа № 3. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.	1,5	
12	Лабораторная работа № 4. Исследование колебаний в колебательном контуре. Изучение затухающих электрических колебаний колебательном контуре.	1,5	
13	Лабораторная работа № 5. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона. Изучение движений зарядов в электрических и магнитных полях, измерение удельного заряда электрона.	1,5	
14	Лабораторная работа № 6 Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки. Познакомится с явлением дифракции света в параллельных лучах дифракционной решетки.	1,5	
15	Лабораторная работа № 7. Проверка закона Малюса. Проверить выполнение закона Малюса.	1,5	
16	Лабораторная работа № 8. Изучение внешнего фотоэффекта. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника.	1,5	
17	Лабораторная работа № 9. Изучение энергетического спектра электронов. Определение длины пробега элементарных частиц в воздухе при атмосферном давлении и определение максимальной энергии бета-частиц при помощи метода поглощения.	1,5	
Итого за 3 семестр		13,5	
Итого		13,5	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Тема работы. Исследование электрической цепи постоянного тока.

Цель работы. Изучение зависимости силы тока, напряжения, полной полезной мощности и к.п.д. источника от сопротивления нагрузки.

Теоретическая часть.

Любая электрическая цепь состоит из источника и потребителя энергии, а также различных регулировочных устройств и измерительных приборов.

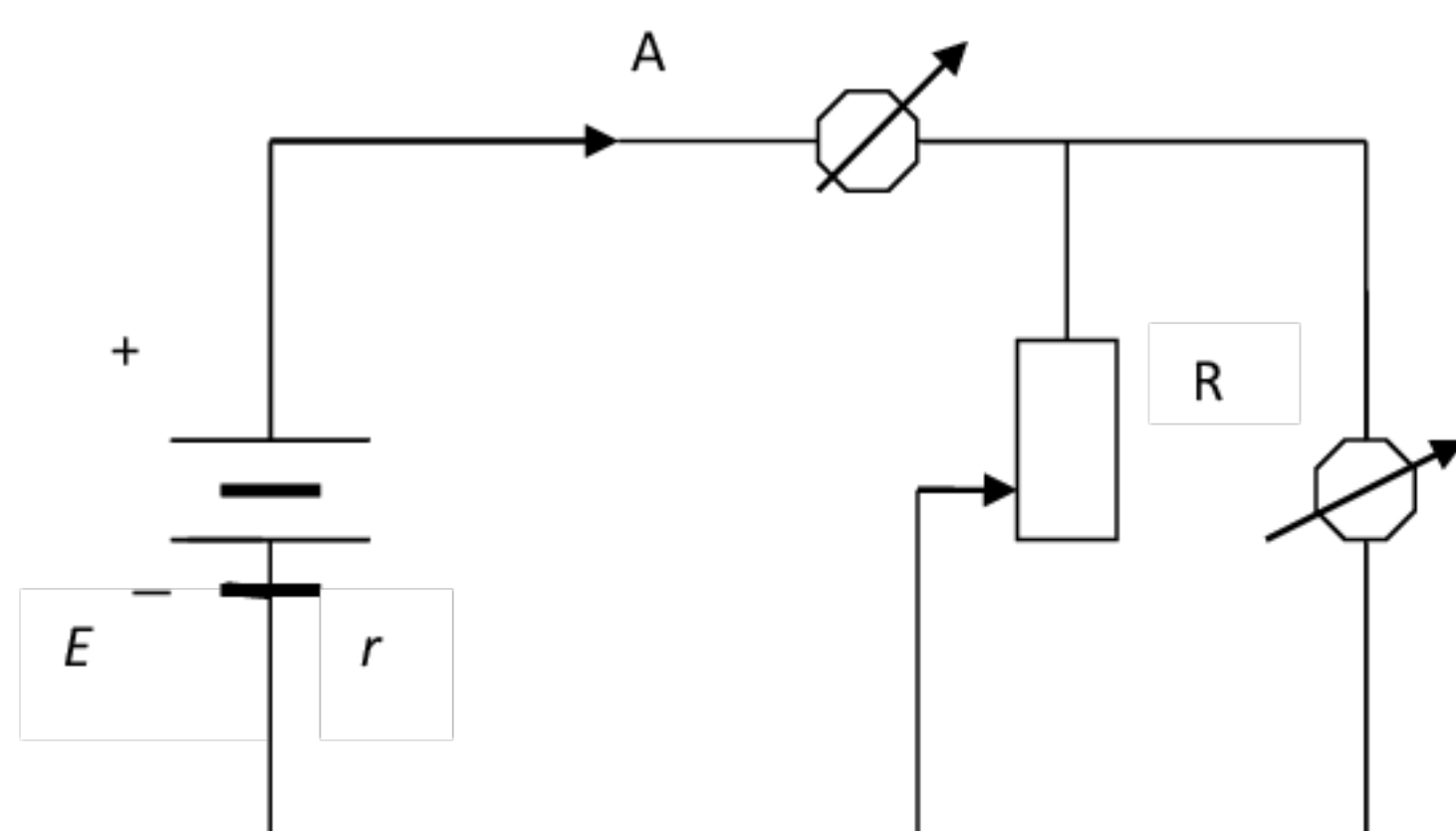


Рис.1.

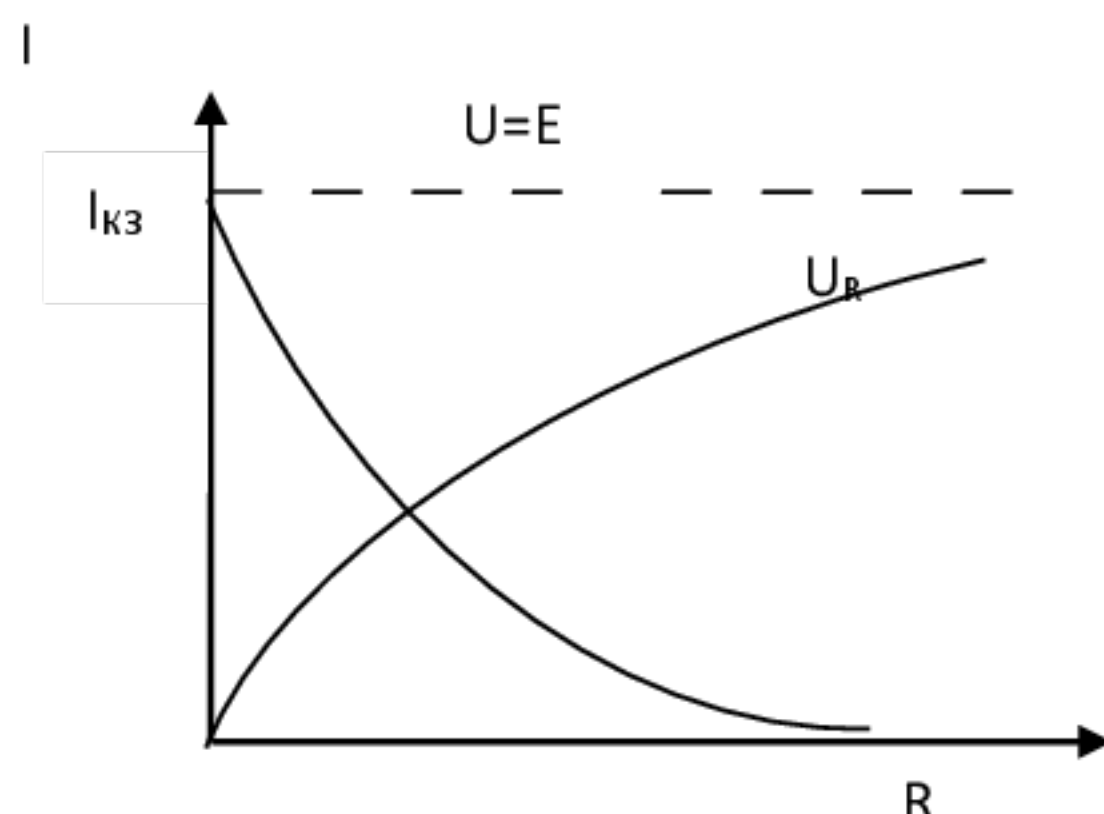


Рис.2.

На рис. 1 представлена простейшая цепь, состоящая из источника постоянного тока с ЭДС E и внутренним сопротивлением r и нагрузочного реостата R . Для измерения силы тока и напряжения на нагрузке в цепь включены амперметр A и вольтметр V . В такой цепи сила тока, напряжение на нагрузке, полная и полезная мощности оказываются зависимыми от величины нагрузки. Сила тока, например, убывает с ростом сопротивления нагрузки в

$$I = \frac{E}{R + r}$$

(1)

Очевидно, наибольший ток будет в случае короткого замыкания, т.е. при $R=0$. Его величина $I_{кз} = \frac{E}{r}$ (рис. 2).

Из (1) легко получаем

$$E = IR + Ir = U_R + U_r, \quad (2)$$

где $U_R = IR$ и $U_r = Ir$ - падения напряжения (или просто напряжения) на внешнем и внутреннем участках цепи соответственно.

Принимая во внимание закон Ома (1), получаем из (2) зависимость напряжения U_r от сопротивления нагрузки R :

$$U_R = \frac{E}{R+r} R = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}}. \quad (3)$$

Отсюда видно, что с ростом сопротивления нагрузки напряжение на ней возрастает, асимптотически приближаясь к величине ЭДС при $R \rightarrow \infty$ (рис. 2).

При прохождении электрического тока в цепи происходит выделение полной мощности

$$P = IE, \quad (4)$$

при этом мощность, выделяемая на нагрузке

$$P_R = IU_R, \quad (5)$$

является полезной мощностью.

Из (4) видно, что полная мощность, развиваемая источником, зависит от сопротивления нагрузки R так же как и сила тока $I = I(R)$. Она максимальная при коротком замыкании ($R=0$)

$$P_{к.з.} = I_{к.з.} E = \frac{E^2}{r}, \quad (6)$$

но в этом случае выделяется в самом источнике и оказывается бесполезной, а зачастую вредной, вызывая выход источника из строя. С ростом R полная мощность убывает, стремясь к нулю при $R \rightarrow \infty$ (рис. 3).

Зависимость полезной мощности, выделяемой на нагрузке, от R определяется выражением

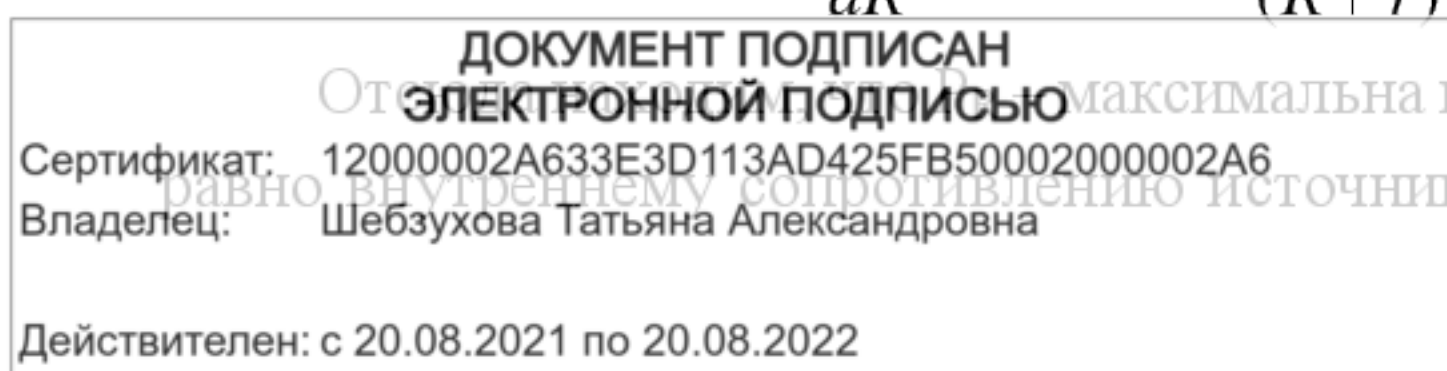
$$P_R = IU_R = I^2 R = \frac{E^2}{(R+r)^2} R \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что зависимость $P_R = P_R(R)$ должна иметь максимум, так как $P_R = 0$ в предельных случаях: при коротком замыкании ($R=0$) и при $R \rightarrow \infty$.

Найдем значение R_0 , при котором полезная мощность, отбираемая от источника, будет наибольшая. Для этого продифференцируем формулу (7) и приравняем производную нулю

$$\frac{dP_R}{dR} = E^2 \frac{(R+r)[(R+r)-2R]}{(R+r)^4} = 0 \quad (8)$$

Отсюда видно, что полезная мощность будет максимальной при $R_0 = r$, т.е. когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника (рис.3). При этом напряжение на нагрузке



равно половине ЭДС, т.е. $U_{R_0} = \frac{E}{2}$, а сила тока – половине силы тока короткого замыкания

$$I_{R_0} = \frac{I_{кз}}{2}.$$

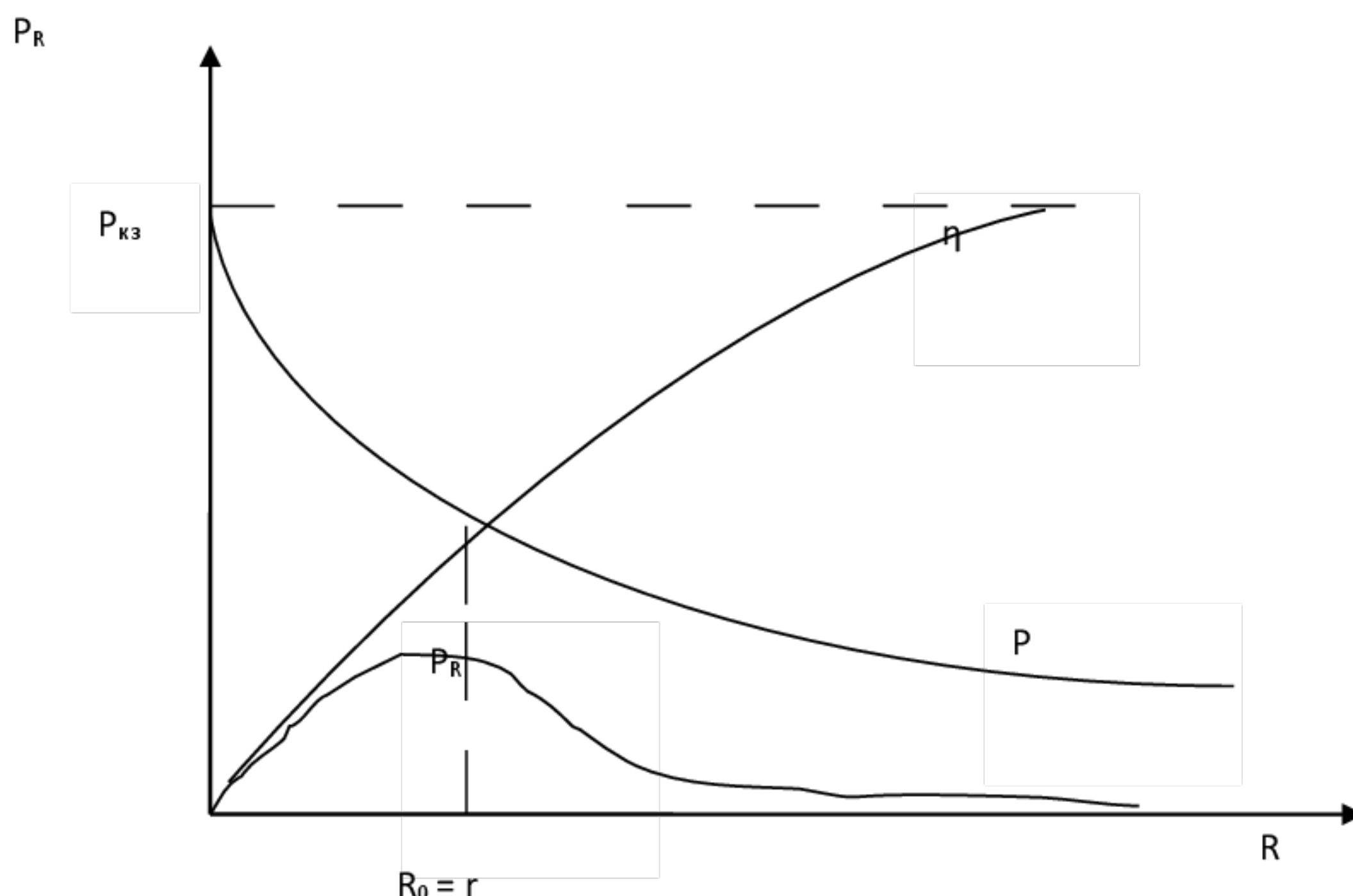


Рис.3.

Полезная мощность, в этом случае, составляет четверть мощности короткого замыкания.

Отношение полезной мощности ко всей мощности, развиваемой источником в цепи, определяет коэффициент полезного действия (к.п.д.) η источника.

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{IU_R}{IE} = \frac{U_R}{E} = \frac{R}{R+r} \quad (9)$$

Из этой формулы следует, что η будет тем больше, чем больше сопротивление нагрузки R . При $R=0$ $\eta=0$ и асимптотически стремится к $\eta=1$ при $R \rightarrow \infty$. При $R=r$, т.е. при максимальной полезной мощности к.п.д. источника $\eta = \frac{1}{2}$, т.е. составляет 50%.

Именно исследование этих закономерностей является целью работы. Необходимо получить экспериментальные зависимости силы тока I , напряжения U_R , полной P и полезной P_R , а так же к.п.д. η от величины сопротивления нагрузки.

Оборудование и материалы.

Источник постоянного тока, реостат для искусственного увеличения внутреннего сопротивления источника, нагрузочный реостат миллиамперметр, вольтметр.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила тех-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

2. При выполнении лабораторных работ проводится только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

- включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
 5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
 6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
 7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
 8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Рабочая схема изображена на рис. 4. В качестве источника могут использоваться аккумуляторы или выпрямитель, дающие напряжение величиной несколько вольт. Внутреннее сопротивление таких источников, как правило, мало - порядка десятых долей Ома. Поэтому, как следует из вышеизложенного, для построения графиков искомых зависимостей нагрузочный реостат R тоже должен иметь сопротивление порядка десятых долей Ома. Подобные реостаты являются уникальными. Поэтому внутреннее сопротивление источника в данной работе искусственно увеличивается путем последовательного включения дополнительного реостата r' , имеющего величину нескольких десятков Ом. При этом собственным внутренним сопротивлением r источника можно пренебречь.

Из схемы (рис.4) следует, что внутреннее сопротивление миллиамперметра и вольтметра составляют с сопротивлением нагрузочного реостата единое целое. Таким образом, левую часть схемы следует рассматривать как источник, а правую как нагрузку.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

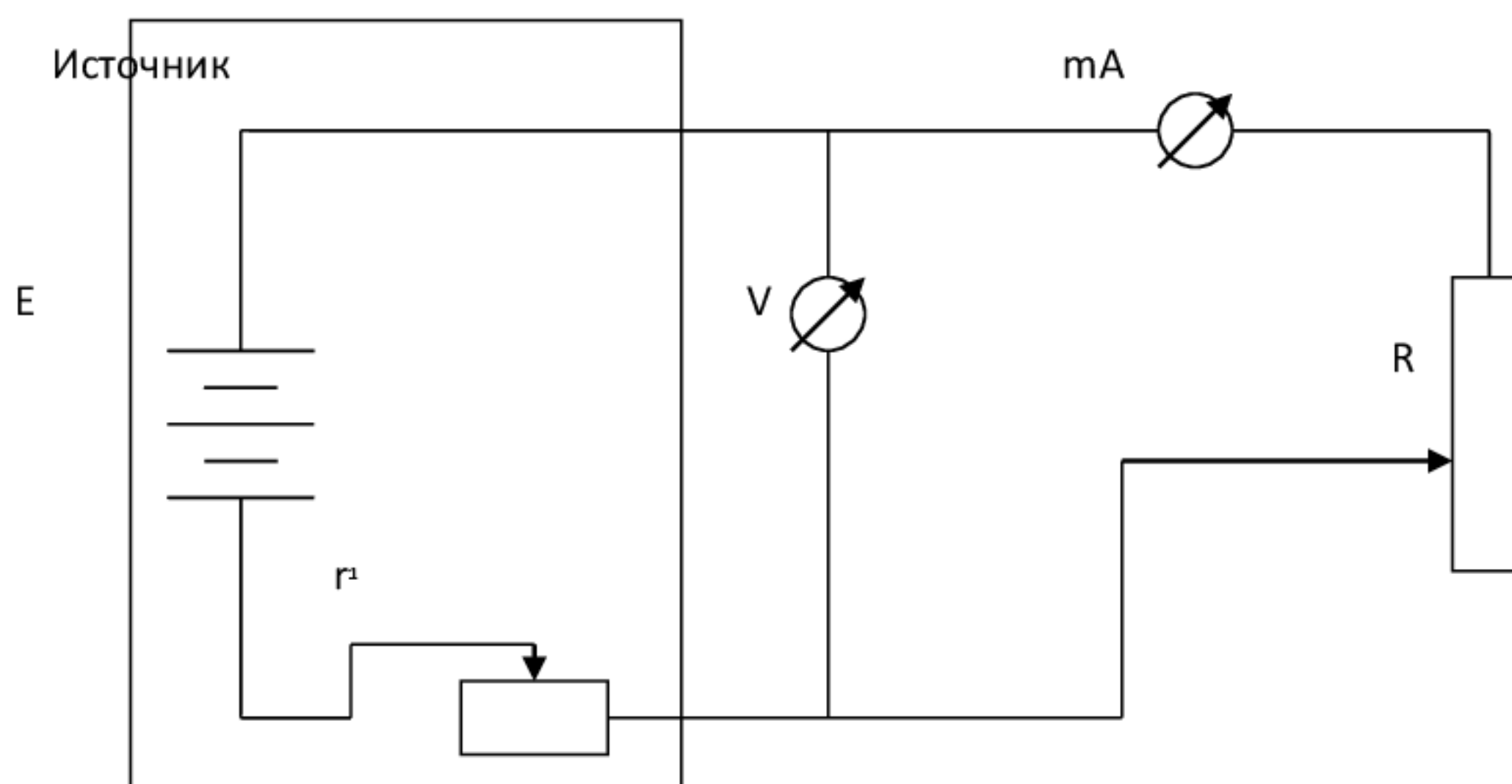


Рис. 4.

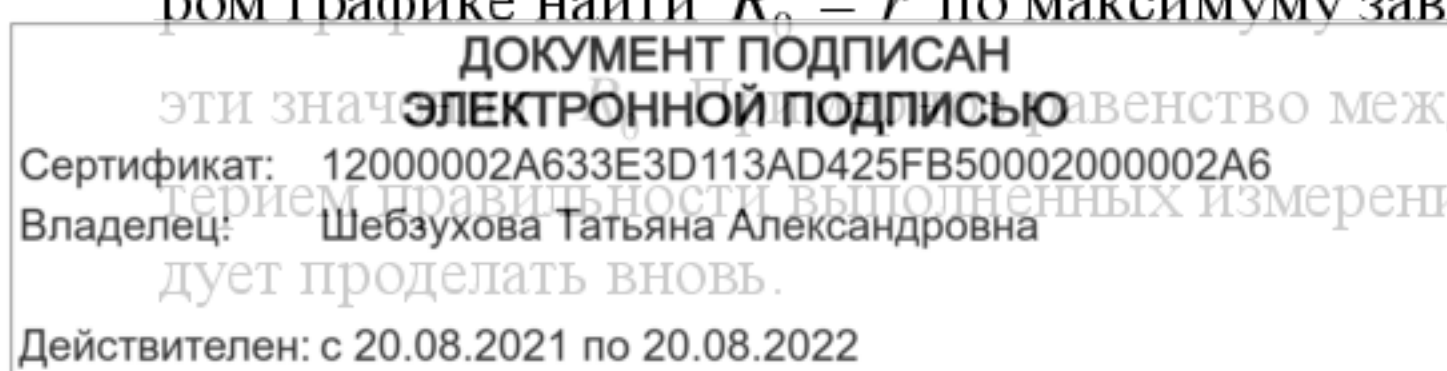
1. Собрать рабочую схему (рис.4). Выяснить параметры приборов. Движки реостатов установить в положение наибольшего значения сопротивления.
2. После проверки схемы преподавателем или лаборантом включить источник питания. Отсчитать показания приборов и занести в таблицу.
3. Далее, уменьшая сопротивление нагрузки R , снять 8-10 значений тока в цепи I и напряжения U_R . Последняя точка должна соответствовать короткому замыканию. При этом ток должен равняться $I_{кз}$, а напряжение должно обратиться в нуль. Выключить схему.
4. Определив цены делений на использованных пределах измерений амперметра и вольтметра вычислить и занести в таблицу значения тока в амперах и напряжения в вольтах.
5. Разделив полученные значения напряжения на соответствующие значения тока рассчитать и занести в таблицу сопротивление нагрузки R

Таблица 1.

N	I	U_R	$R = \frac{U_R}{I}$	$P = IE$	$P_R = IU_R$	$\eta = \frac{P_R}{P}$
	A	B	Ом	Вт	Вт	

6. Величину ЭДС E следует считать известной, либо измерить значение E при отключенной нагрузке.
7. По формулам (4,5,9) рассчитать значения полезной P_R , полной P мощности и к.п.д. η , соответствующие найденным величинам R .
8. По полученным значениям построить кривые $I = I(R)$, $U_R = U_R(R)$ на одном графике и $P = P(R)$, $P_R = P_R(R)$ и $\eta = \eta(R)$ на другом.
9. Отметить на первом графике сопротивление $R_0 = r$, при котором ток и напряжение составляют, соответственно, половину тока короткого замыкания $I_{кз}$ и половину E . На втором графике найти $R_0 = r$ по максимуму зависимости $P_R = P_R(R)$. Сравнить между собой

эти значения. Если такое равенство между этими двумя значениями R_0 является критерием правильности выполненных измерений. Если такого равенства нет, измерения следует проделать вновь.



Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое ЭДС?
2. Запишите закон Ома в обобщенной форме и для замкнутой цепи.
3. Проведите математическое исследование функций $U_R(R)$ и $I(R)$.
4. Дайте определение мощности электрического тока.
5. Проведите исследование зависимости $P_R = P_R(R)$.
6. Что такое к.п.д. источника?

Лабораторная работа № 2

Тема работы. Изучение явления электромагнитной индукции.

Цель работы. Изучение электрических токов возникающих при явлении электромагнитной индукции.

Теоретическая часть.

Магнитный поток через плоскую поверхность — это скалярная физическая величина, численно равная произведению модуля магнитной индукции на площадь поверхности, ограниченной контуром, и на косинус угла между нормалью к поверхности и магнитной индукцией 17 октября 1831 года английский ученый Майкл Фарадей открыл явление **электромагнитной индукции**.

Явлением электромагнитной индукции называется явление возникновения тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. А полученный таким способом ток, называется **индукционным**.

Закон электромагнитной индукции: среднее значение электродвижущей силы индукции в проводящем контуре пропорционально скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

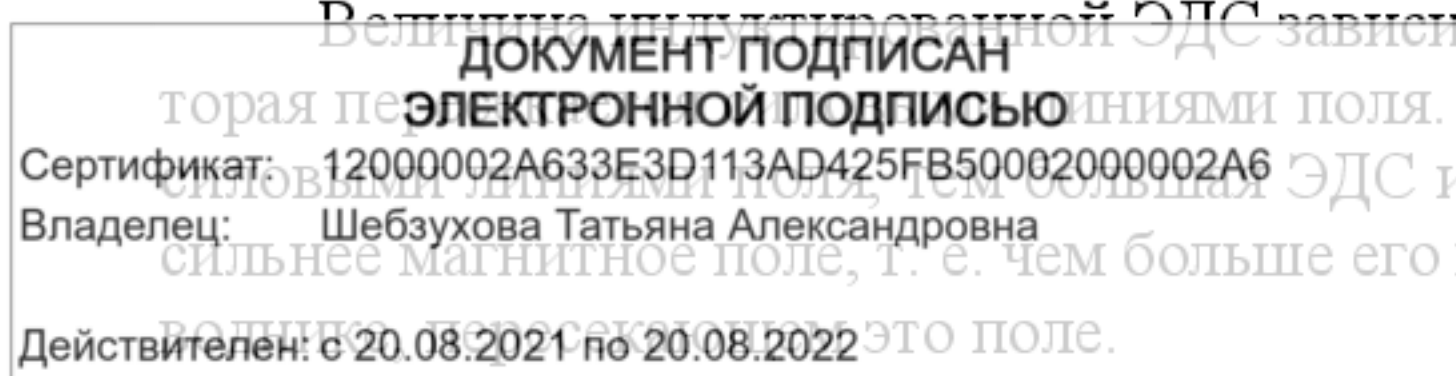
Величина и направление ЭДС индукции

Рассмотрим теперь, каковы будут величина и направление индуктированной в проводнике ЭДС.

Величина ЭДС индукции зависит от количества силовых линий поля, пересекающих проводник в единицу времени, т. е. от скорости движения проводника в поле.

Величина индуктированной ЭДС находится в прямой зависимости от скорости движения проводника в магнитном поле.

Величина индуктированной ЭДС зависит также и от длины той части проводника, которая пересечена силовыми линиями поля. Чем большая часть проводника пересекается силовыми линиями поля, тем большая ЭДС индуктируется в проводнике. И, наконец, чем сильнее магнитное поле, т. е. чем больше его индукция, тем большая ЭДС возникает в проводнике, пересекаемом этим полем.



Итак, величина ЭДС индукции, возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, прямо пропорциональна индукции магнитного поля, длине проводника и скорости его перемещения.

Зависимость эта выражается формулой $E = Blv$,

где E — ЭДС индукции; B — магнитная индукция; l — длина проводника; v — скорость движения проводника.

Следует твердо помнить, что в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, ЭДС индукции возникает только в том случае, если этот проводник пересекается магнитными силовыми линиями поля. Если же проводник перемещается вдоль силовых линий поля, т. е. не пересекает, а как бы скользит по ним, то никакой ЭДС в нем не индуцируется. Поэтому приведенная выше формула справедлива только в том случае, когда проводник перемещается перпендикулярно магнитным силовым линиям поля.

Направление индуцированной ЭДС (а также и тока в проводнике) зависит от того, в какую сторону движется проводник. Для определения направления индуцированной ЭДС существует правило правой руки.

Если держать ладонь правой руки так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, а отогнутый большой палец указывал бы направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца укажут направление действия индуцированной ЭДС и направление тока в проводнике.

При движении внутри катушки постоянного магнита в ней индуцируется ЭДС за счет того, что магнитный поток магнита пересекает витки катушки, т. е. точно так же, как это было при движении прямолинейного проводника в поле магнита.

Если магнит опускать в катушку медленно, то возникающая в ней ЭДС будет настолько мала, что стрелка прибора может даже не отклониться. Если же, наоборот, магнит быстро ввести в катушку, то отклонение стрелки будет большим. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от скорости движения магнита, т. е. от того, насколько быстро силовые линии поля пересекают витки катушки. Если теперь поочередно вводить в катушку с одинаковой скоростью сначала сильный магнит, а затем слабый, то можно заметить, что при сильном магните стрелка прибора будет отклоняться на больший угол. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от величины магнитного потока магнита.

И, наконец, если вводить с одинаковой скоростью один и тот же магнит сначала в катушку с большим числом витков, а затем со значительно меньшим, то в первом случае стрелка прибора отклонится на больший угол, чем во втором. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от числа ее витков. Те же результаты можно получить, если вместо постоянного магнита применять электромагнит.

Направление ЭДС индукции в катушке зависит от направления перемещения магнита. О том, как определять направление ЭДС индукции, говорит закон, установленный Э. Х. Ленцем.

Закон Ленца для электромагнитной индукции: Всякое изменение магнитного потока внутри катушки сопровождается возникновением в ней ЭДС индукции, причем чем быстрее изменяется магнитный поток, пронизывающий катушку, тем большая ЭДС в ней индуцируется.

Если катушка, в которой создана ЭДС индукции, замкнута на внешнюю цепь, то по виткам ее идет индукционный ток, создающий вокруг проводника магнитное поле, в силу чего катушка превращается в соленоид. Получается таким образом, что изменяющееся внешнее магнитное поле вызывает в катушке индукционный ток, который, в свою очередь, создает вокруг катушки свое магнитное поле — поле тока.

Изучив закон Ленца, Ленц установил закон, определяющий направление индукционного тока, возникающего в катушке при изменении магнитного потока, пронизывающего катушку, и направление ЭДС индукции. ЭДС индукции, возникающей в катушке при изменении магнитного потока, создает в катушке ток

такого направления, при котором магнитный поток катушки, созданный этим током, препятствует изменению постороннего магнитного потока.

Закон Ленца справедлив для всех случаев индуктирования тока в проводниках, независимо от формы проводников и от того, каким способом достигается изменение внешнего магнитного поля.

Величина э.д.с. индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ определяется законом электромагнитной индукции Фарадея: э.д.с. электромагнитной индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$, в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, ограниченную этим контуром

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Знак минус в формуле соответствует *правилу Ленца*: при всяком изменении магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную замкнутым контуром, в последнем возникает индукционный ток такого направления, что его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызвавшего индукционный ток.

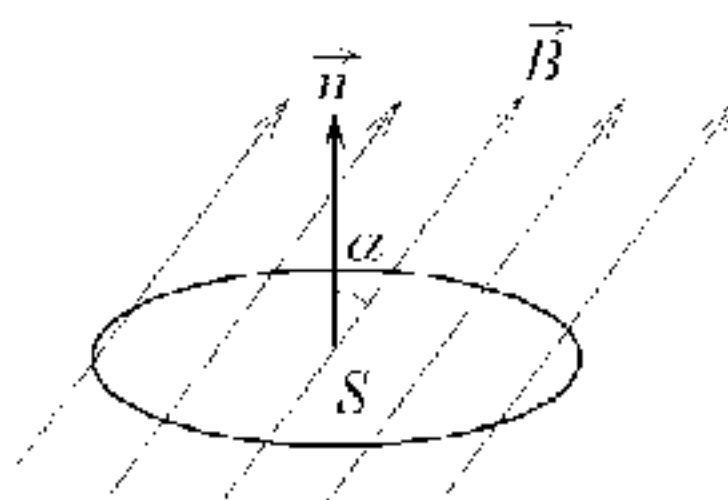


Рис. 1.

Причина возникновения индукционного тока в неподвижном контуре согласно теории электромагнетизма Максвелла состоит в том, что при изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, т.е. электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Под действием этого поля свободные заряды контура перемещаются, т.е. в контуре возникает электрический ток, называемый индукционным током.

Пусть плоский замкнутый проводящий контур L находится в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 1). Тогда магнитный поток Φ (поток вектора магнитной индукции) через поверхность, ограниченную контуром L , определяется выражением

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности, ограниченной контуром L , α – угол между направлением силовых линий (направлением вектора и нормалью $\vec{n}$ к поверхности, ограниченной контуром).

Пусть магнитное поле создается цилиндрической катушкой (соленоидом), по которой протекает переменный электрический ток

$$I = I_0 \cos \omega t \quad (3)$$

где I_0 – амплитудное значение тока; ω – циклическая частота тока $\omega = 2\pi\nu$; ν – частота тока.

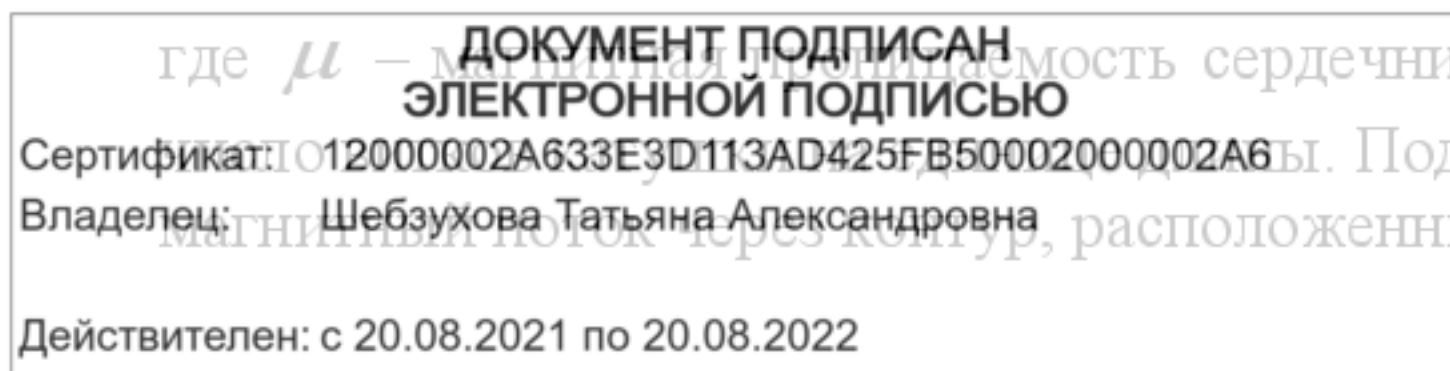
Тогда магнитная индукция B поля внутри катушки и вблизи ее торцов равна

$$B = \mu\mu_0 nI$$

или с учетом (3)

$$B = \mu\mu_0 nI_0 \cos \omega t \quad (4)$$

где μ – магнитная проницаемость сердечника катушки; μ_0 – магнитная постоянная; n – число витков катушки на единицу длины. Подставив выражение (4) в формулу (2), находим магнитный поток Φ через контур, расположенный вблизи торца катушки



$$\Phi = \mu\mu_0 n I_0 S \cos \alpha \cos \omega t$$

Отсюда скорость изменения магнитного потока равна,

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\mu\mu_0 n I_0 S \omega \cos \alpha \sin \omega t \quad (5)$$

Таким образом, скорость изменения магнитного потока пропорциональна амплитудному значению тока в катушке I_0 и косинусу угла α . Подставив выражение (5) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_{\text{инд}} = C I_0 \cos \alpha \quad (6)$$

где $C = -\mu\mu_0 n S \omega \sin \omega t$.

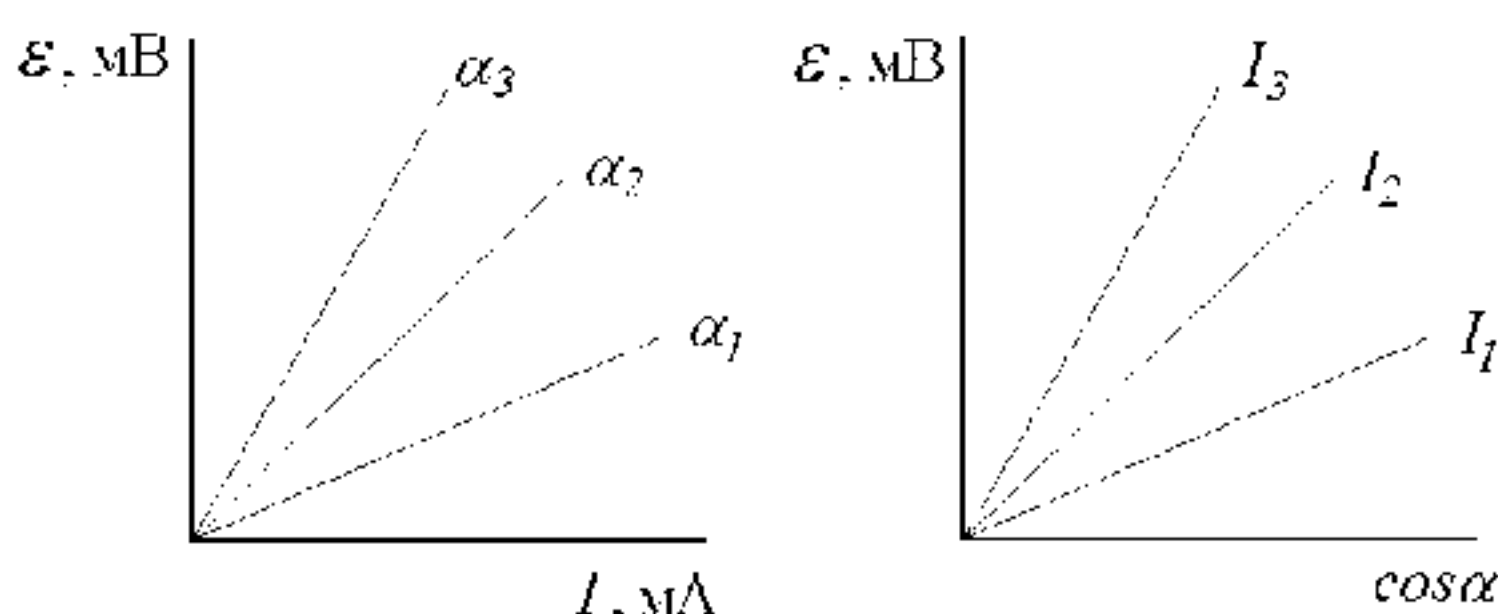


Рис.2.

Зависимость э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_{\text{инд}}$ от I и $\cos \alpha$ (примерный вид изображен на рис.2).

Оборудование и материалы.

1. Миллиамперметр.
2. Магнит.
3. Катушка-моток.
4. Источник тока.
5. Реостат.
6. Ключ.
7. Катушка от электромагнита.
8. Соединительные провода.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии пре-

подаватель. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

не прикасаться одновременно стен, радиаторов
систем отопления и других металлических предметов;

- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;
- курение и зажигание огня.

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».

5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.

6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.

7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.

8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Эксперимент 1

Начнем лабораторную работу со сбора установки. Чтобы собрать схему, которую мы будем использовать в лабораторной работе, присоединим моток-катушку к миллиамперметру и используем магнит, который будем приближать или удалять от катушки. Одновременно с этим мы должны вспомнить, что будет происходить, когда будет появляться индукционный ток.

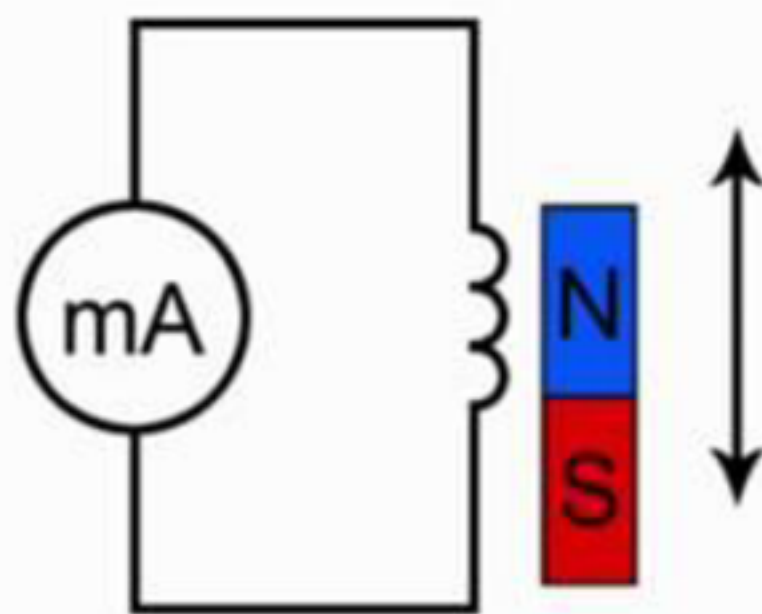


Рис. 1. Эксперимент 1

Подумайте над тем, как объяснить наблюдаемое нами явление. Каким образом влияет магнитный поток на то, что мы видим, в частности происхождение электрического тока. Для этого посмотрите на вспомогательный рисунок.

Обратите внимание, что линии магнитной индукции выходят из северного полюса, входят в южный полюс. При этом количество этих линий, их густота различна на разных участках магнита. Обратите внимание, что направление индукции магнитного поля тоже изменяется от точки к точке. Поэтому можно сказать, что **изменение магнитного потока приводит к возникновению электрического тока, но только при движении магнита, следовательно, изменяется магнитный поток, пронизывающий площадь, ограниченную витками этой катушки.**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Эксперимент 2

Следующий этап нашего исследования электромагнитной индукции связан с определением **направления индукционного тока**. О направлении индукционного тока мы можем судить по тому, в какую сторону отклоняется стрелка миллиамперметра. Воспользуемся дугообразным магнитом и увидим, что при приближении магнита стрелка отклонится в одну сторону. Если теперь магнит двигать в другую сторону, стрелка отклонится в другую сторону. В результате проведенного эксперимента мы можем сказать, что от направления движения магнита зависит и направление индукционного тока. Отметим и то, что от полюса магнита тоже зависит направление индукционного тока.

Обратите внимание, что величина индукционного тока зависит от скорости перемещения магнита, а вместе с тем и от скорости изменения магнитного потока.

Вторая часть нашей лабораторной работы связана будет с другим экспериментом. Посмотрим на схему этого эксперимента и обсудим, что мы будем теперь делать.

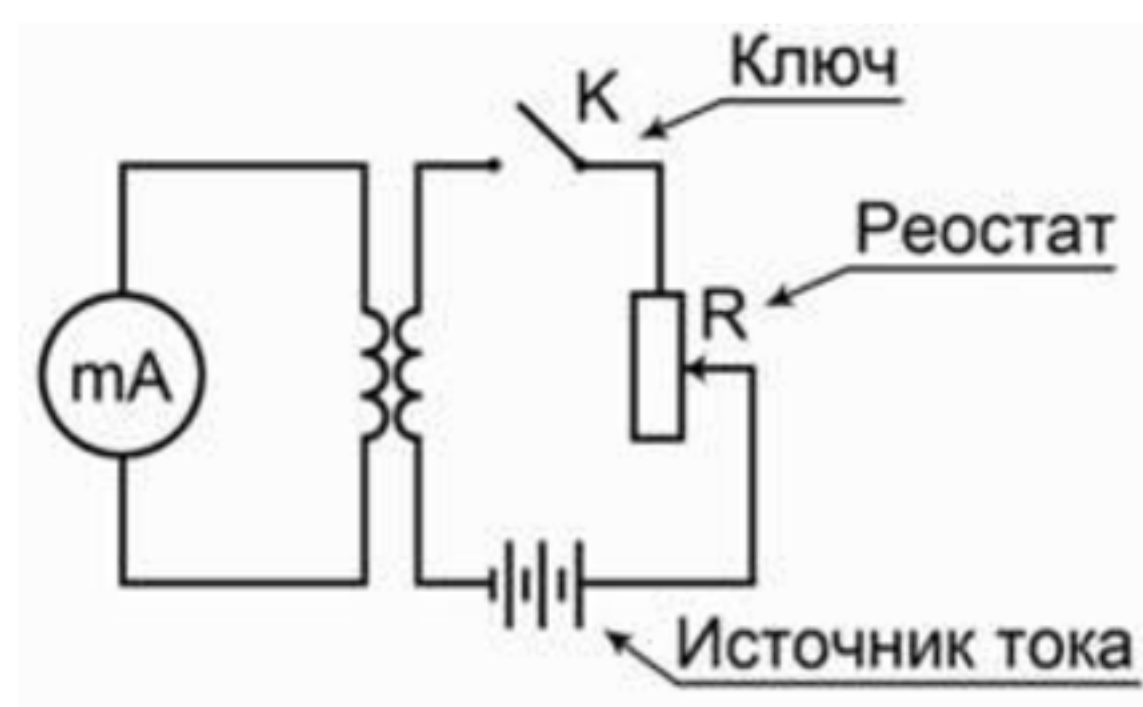


Рис. 2. Эксперимент 2

Во второй схеме в принципе ничего не изменилось относительно измерения индукционного тока. Тот же самый миллиамперметр, присоединенный к мотку катушки. Остается все, как было в первом случае. Но теперь изменение магнитного потока мы будем получать не за счет движения постоянного магнита, а за счет изменения силы тока во второй катушке.

В первой части будем исследовать наличие индукционного тока при замыкании и размыкании цепи. Итак, первая часть эксперимента: мы замыкаем ключ. Обратите внимание, ток нарастает в цепи, стрелка отклонилась в одну сторону, но обратите внимание, сейчас ключ замкнут, а электрического тока миллиамперметр не показывает. Дело в том, что нет изменения магнитного потока, мы уже об этом говорили. Если теперь ключ размыкать, то миллиамперметр покажет, что направление тока изменилось.

Во втором эксперименте мы проследим, как возникает индукционный ток, когда меняется электрический ток во второй цепи.

Следующая часть опыта будет заключаться в том, чтобы проследить, как будет изменяться индукционный ток, если менять величину тока в цепи за счет реостата. Вы знаете, что если мы изменяем электрическое сопротивление в цепи, то, следуя закону Ома, у нас будет меняться и электрический ток. Раз изменяется электрический ток, будет изменяться магнитное поле. В момент перемещения скользящего контакта реостата изменяется магнит-

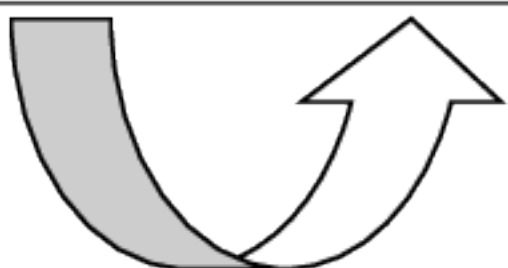
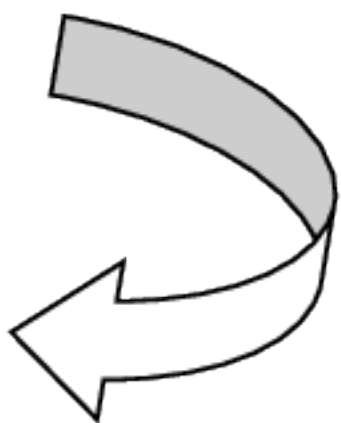
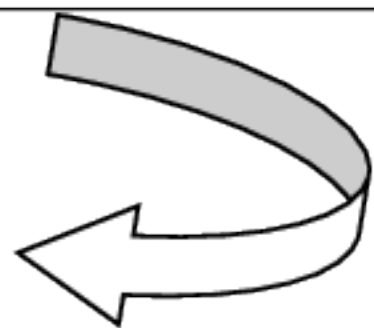
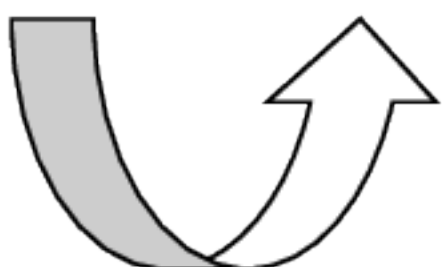
ное поле, что приводит к изменению индукционного тока.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

№ опыта	Способ получения индукционного тока	I	B	Bм	$\Delta\Phi_m$
1	Внесение в катушку северного полюса магнита		→	←	+
2	Удаление из катушки северного полюса магнита		←	←	-
3	Внесение в катушку южного полюса магнита		←	→	+
4	Удаление из катушки южного полюса магнита		→	→	-

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

Лабораторная работа № 3

Тема работы: **Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Цель работы: **Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.**

Теоретическая часть.

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Поэтому в любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рисунке 1. При этом северный магнитный полюс N находится вблизи южного географического Ю и наоборот. На экваторе магнитные силовые линии направлены горизонтально, а на полюсах - вертикально.

В остальных точках земной поверхности индукция магнитного поля направлена под некоторым углом к плоскости Земли, т.е. имеет и горизонтальную B_z и вертикальную B_v составляющие.

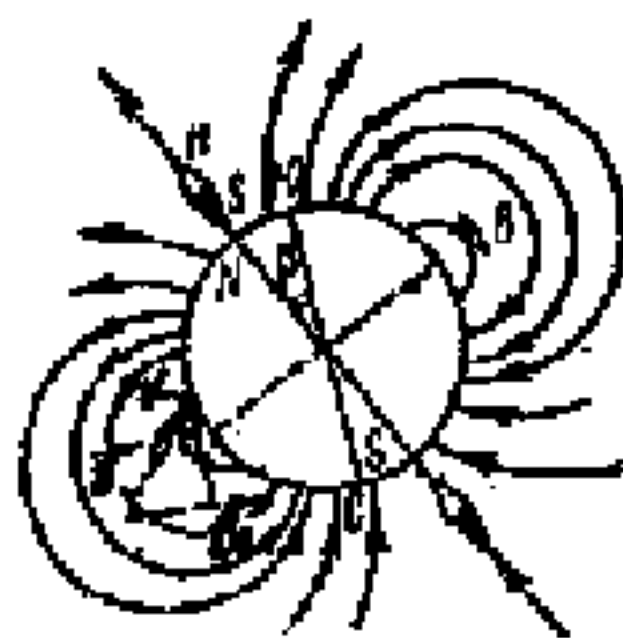


Рис. 1.

Направление горизонтальной составляющей принимается за направление магнитного меридиана, т.к. в этом направлении устанавливается стрелка компаса, вращающаяся в горизонтальной плоскости. Целью настоящей работы является измерение величины горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра. Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально расположенные n круговых витков радиуса R , по которым пропускается постоянный ток силой I . В центре этой совокупности витков (короткой катушки) помещается компас. При отсутствии тока в витках магнитная стрелка компаса установится по

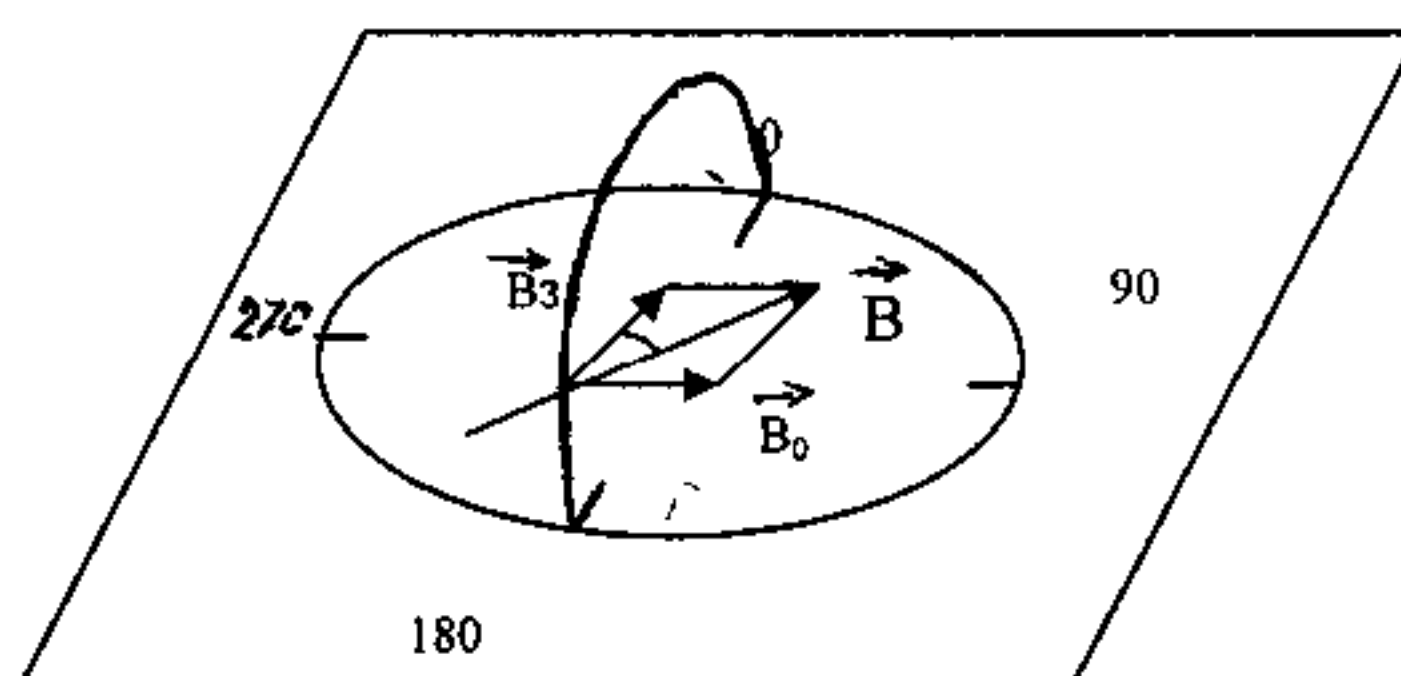


Рис. 2.

магнитному меридиану. При пропускании тока по виткам стрелка повернется на некоторый угол α , т.к. теперь на нее помимо горизонтальной составляющей магнитного поля Земли будет действовать еще магнитное поле, создаваемое током I в n витках. Если витки сориентировать так чтобы их плоскости совпадали с плоскостью магнитного меридиана, то на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных поля: поле Земли B_z и поле

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: H2000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Стрелка компаса установится в направлении равнодействующей этих полей, вдоль $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_3$, т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут B_0 и B_3 . См. рис. 2, на котором изображено сечение витков с током, ориентированных вдоль магнитного меридиана, горизонтальной плоскостью. Из рис. 2 следует, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_0}{B_3}$, откуда

$$B_3 = \frac{B_0}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (1)$$

Так как индукция магнитного поля в центре кругового тока $B_0 = \frac{\mu_0 I n}{2R}$, то в центре n витков очевидно

$$B_0 = \frac{\mu_0 I n}{2R} \quad (2)$$

Подставив (2) в (1) получим

$$B_3 = \frac{\mu_0 I n}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (3)$$

Эта формула используется в настоящей работе для опытного определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Формула (3) записана в системе СИ, поэтому B_3 получится в теслах.

Электрическая схема установки для измерения B_3 состоит из тангенс-гальванометра G , источника тока $\mathcal{E}$, реостата R и амперметра A для регулировки и измерения тока (рис. 3).

В схеме используется переключатель Π для изменения направления тока, проходящего через тангенс-гальванометр.

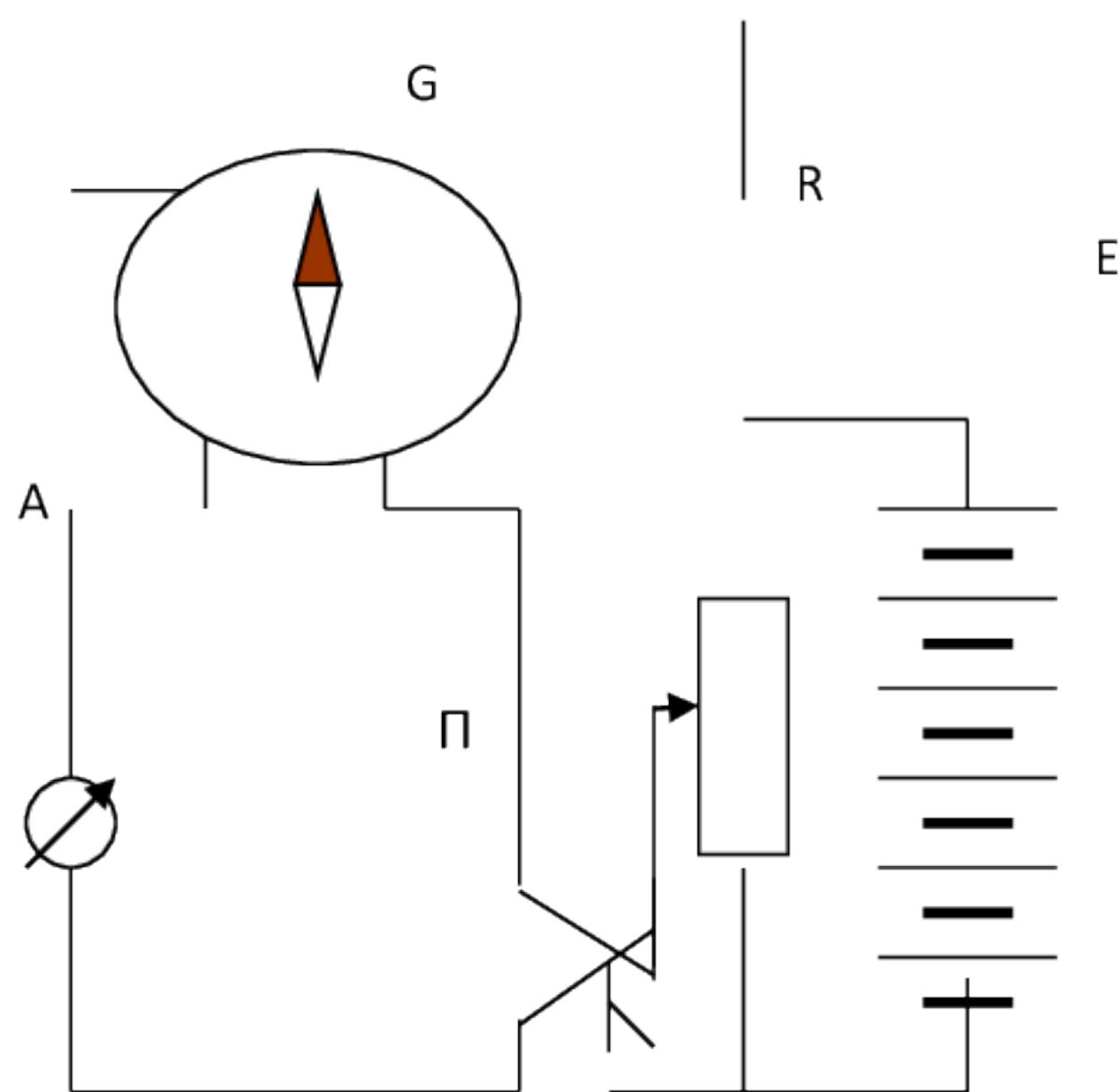


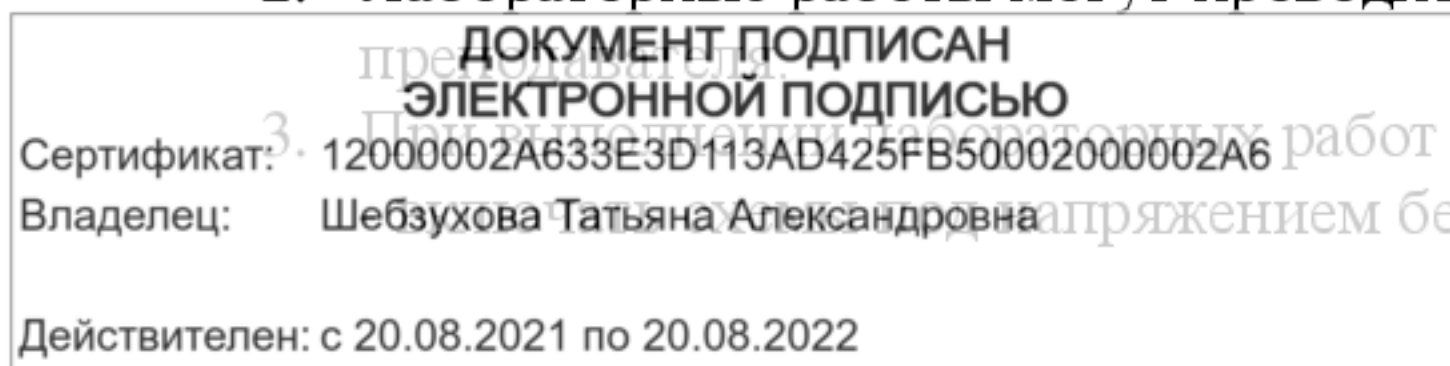
Рис. 3

Оборудование и материалы.

Тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением



студентам запрещается:
Правильно выполнять лабораторные работы напряжением без проверки преподавателя;

- прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
 - курение и зажигание огня.
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
 5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
 6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
 7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
 8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собирают электрическую цепь по схеме рис.3
2. Поворачивая тангенс- гальванометр, устанавливают его плоскость в плоскости магнитного меридиана, так чтобы магнитная стрелка установилась в направлении $0^\circ - 180^\circ$.
3. Устанавливая движком реостата заданную величину тока (задается преподавателем) измерить угол отклонения магнитной стрелки α_1 .
4. Не изменяя величину тока поменять переключателем П направление тока на противоположное. Отсчитать новый угол отклонения стрелки α_2 . Вычислить $\alpha_{cp} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$.
5. Повторить измерения α_1 и α_2 при нескольких других заданных значениях тока.
6. Подставляя последовательно измеренные соответствующие значения тока I_i и усредненные значения угла α_i в формулу (3) найти значения B_3 . (Величины n и R указаны на тангенс-гальванометре).
7. Все результаты измерений и вычислений занести в табл. 1

Табл. 1

I(A)	α_1	α_2	α_{cp}	$tg\alpha_{cp}$	B_3	ΔB	δB

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

8. Оценить погрешность проведенного измерения B_z и результаты занести в табл. 1

9. Записать результат в виде

$$B_z = B_{zcp} \pm \Delta B_{zcp}$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Какой вид имеет магнитное поле Земли?
2. В чем заключается идея измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?
3. Как устроен тангенс-гальванометр?
4. Выведите формулу индукции B_0 , в центре кругового витка с током.
5. Почему плоскость тангенс-гальванометра следует ориентировать в направлении магнитного меридиана?

Лабораторная работа № 4

Тема работы. Исследование колебаний в колебательном контуре

Цель работы. Изучение затухающих электрических колебаний колебательном контуре.

Теоретическая часть.

Простой колебательный контур состоит из последовательно соединенных элементов: емкости C , индуктивности L и активного сопротивления R

Среди различных электрических явлений большой интерес представляют электрические колебания, при которых некоторые электрические величины, такие как потенциал, сила тока, или заряд изменяются во времени. Одним из простейших источников получения электрических колебаний является электрический колебательный контур.

Рассмотрим простой колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных конденсатора C , индуктивности L , резистора R и ключа K (рис.1, а). Если конденсатор зарядить, а затем замкнуть ключ (рис.1,б), то конденсатор начинает разряжаться. В цепи появляется возрастающий ток i , в катушке индуктивности – соответствующее магнитное поле.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

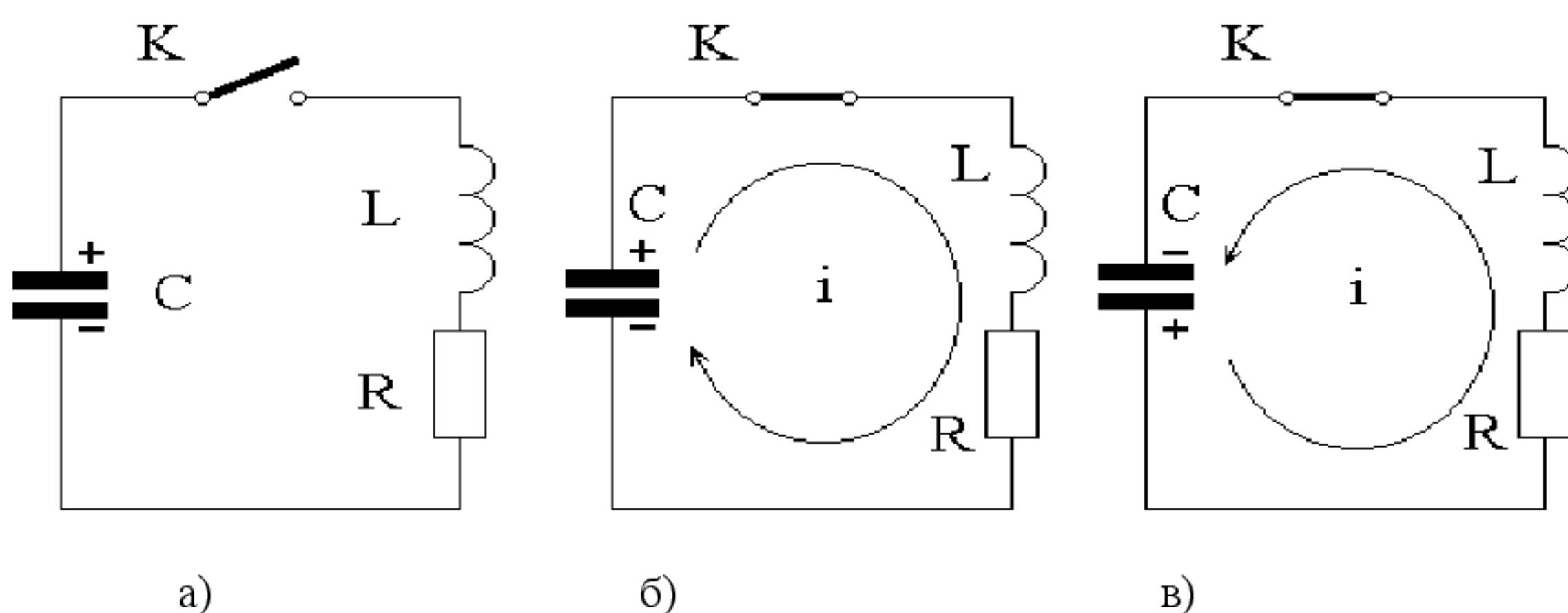


Рис.1.

Ток разряда конденсатора i , протекая через катушку, порождает в ней ЭДС самоиндукции. Возникающая ЭДС самоиндукции замедляет разряд конденсатора, а после того, как конденсатор полностью разрядится ЭДС самоиндукции, наоборот, начинает поддерживать ток в прежнем направлении.

В результате этого конденсатор перезарядится, после чего процесс повторится, но движение зарядов будет происходить в противоположном направлении (рис. 2,в).

Первоначальная энергия электрического поля заряженного конденсатора во время его разряда переходит в энергию магнитного поля катушки. При перезаряде конденсатора происходит обратный переход энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора. В идеальном колебательном контуре сопротивление R равно нулю и возникшие электрические колебания будут **незатухающими** (рис. 2,а).

В реальном колебательном контуре R отлично от нуля, поэтому при протекании тока через него происходит выделение тепла. Вследствие этого общий запас энергии в контуре уменьшается, и колебания **затухают** (рис. 2,б).

С увеличением сопротивления R скорость затухания колебаний увеличивается (рис. 2,в), а при достаточно большом значении R колебания вообще не возникают - наблюдается **апериодический** разряд конденсатора (рис. 2,г).

Сопротивление контура, при котором колебательный процесс переходит в апериодический, называется критическим ($R_{кр}$).

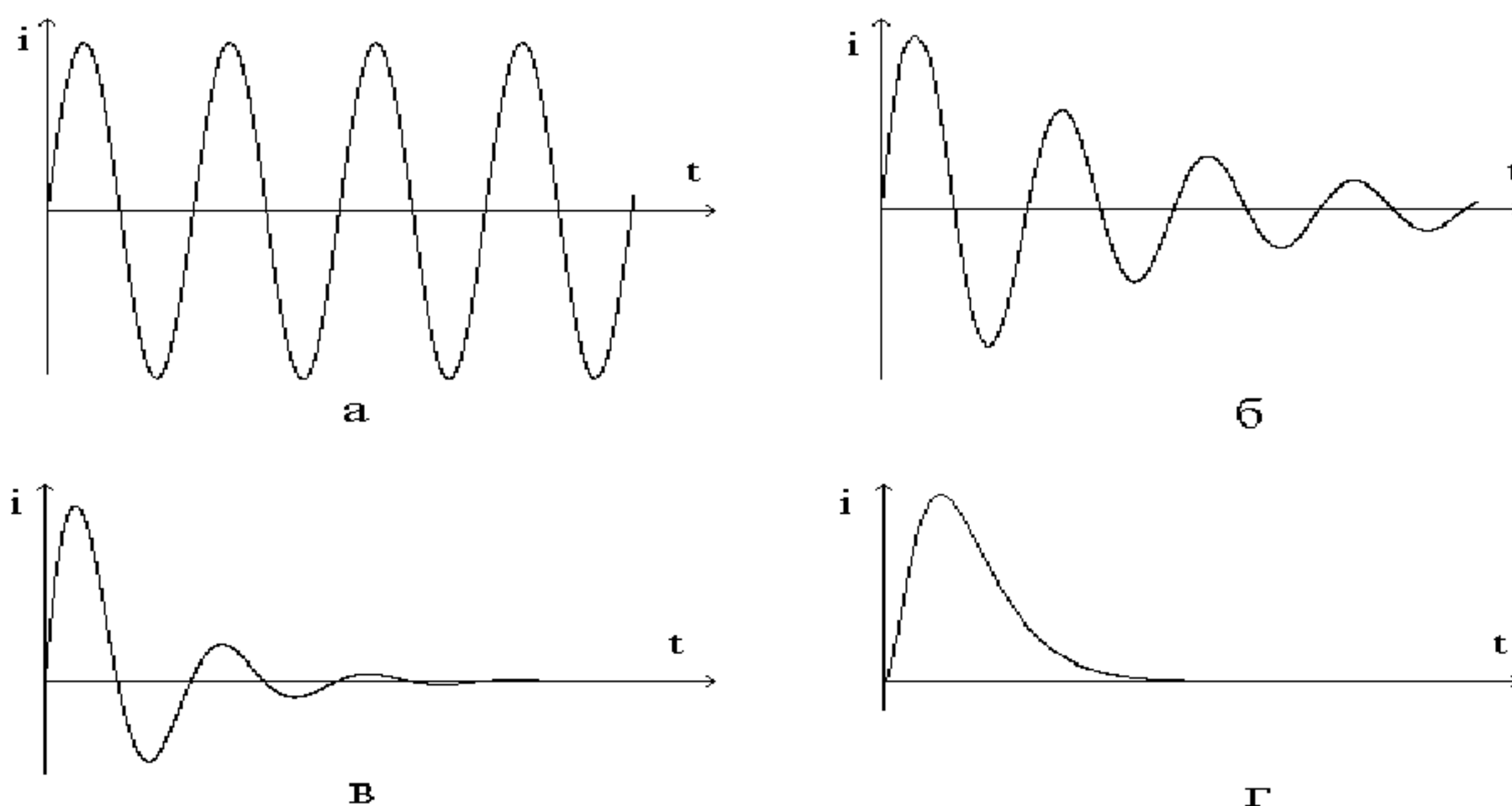


Рис. 2.

Найдем уравнение, описывающее затухающие электрические колебания в контуре. В соответствии с законом сохранения энергии убыль энергии конденсатора при его разряде $-dW_C$ расходуется на увеличение энергии магнитного поля катушки dW_L и выделение тепла dQ в сопротивлении R :

$$-dW_C = dW_L + dQ, \quad (1)$$

где W_C – энергия конденсатора, $W_C = q^2 / 2C$,

W_L – энергия магнитного поля катушки, $W_L = Li^2 / 2$.

Здесь q – заряд конденсатора в данный момент времени, i – сила тока в контуре в этот же момент.

Количество тепла, выделяющееся в проводнике за время dt :

$$dQ = i^2 R dt.$$

Используя эти соотношения, преобразуем уравнение (1):

$$-d\left(\frac{q^2}{2C}\right) = d\left(L \frac{i^2}{2}\right) + i^2 \cdot R \cdot dt = 0,$$

$$\frac{1}{2C} 2q \cdot dq + \frac{L}{2} \cdot 2i \cdot di + i^2 R \cdot dt = 0,$$

$$\frac{q}{C} dq + L \cdot i \cdot di + i^2 R \cdot dt = 0. \quad (2)$$

Так как $i = dq/dt$ и $dq = i dt$,

то выражение (2) можно преобразовать к виду

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\frac{q}{C} dq + L \frac{di}{dt} dq + iR \cdot dq = 0.$$

Сократив на dq и используя соотношение

$$\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2},$$

получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0. \quad (3)$$

В этом уравнении сделаем следующие замены:

$$\frac{R}{L} = 2\beta, \quad (4)$$

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2, \quad (5)$$

где β – коэффициент затухания, ω_0 – собственная частота контура.

Тогда

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение (6) имеет (при $\beta < \omega_0$) следующее решение:

$$q = q_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \alpha), \quad (7)$$

где

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad (8)$$

q_0 и α – некоторые постоянные, соответствующие начальной амплитуде и начальной фазе колебания.

Выражение (11.7) есть уравнение затухающих электрических колебаний, циклическая частота которых равна ω , а амплитуда экспоненциально убывает с течением времени (рис. 3).

Период этих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (9)$$

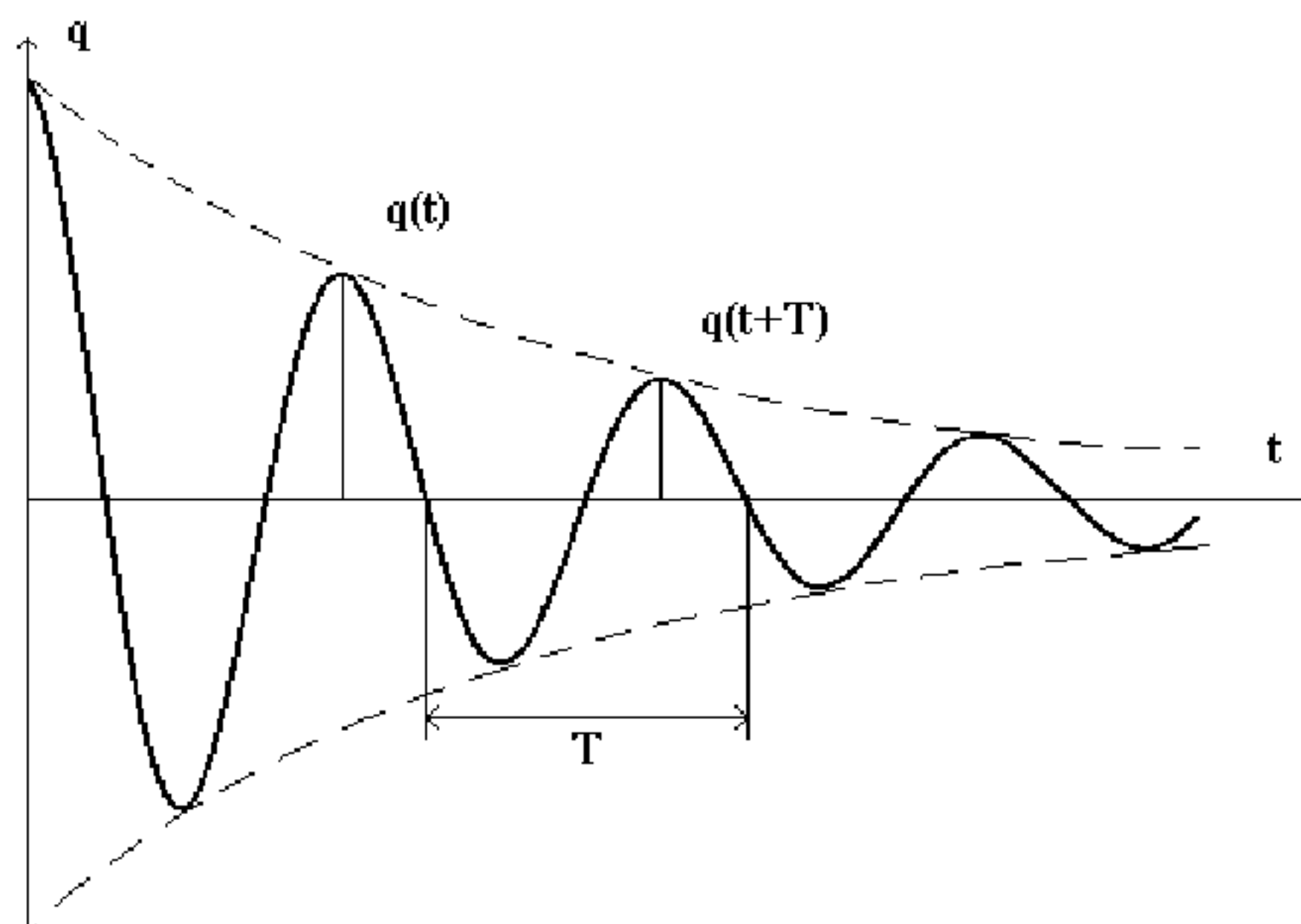


Рис. 3.

Для малых значений R получим

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (10)$$

В соответствии с уравнением (9) при увеличении сопротивления контура R , период колебаний будет, стремясь к бесконечности при

$$\beta = \omega_0. \quad (11)$$

Это означает, что колебательный процесс переходит в апериодический. Используя уравнения (4) и (5) из выражения (11) можно получить значение критического сопротивления:

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (12)$$

Для характеристики затухания колебаний часто пользуются **логарифмическим декрементом затухания δ** и **добротностью Q** .

Логарифмический декремент затухания равен натуральному логарифму отношения амплитуд колебаний, соответствующих двум моментам времени, отличающимся на период:

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}. \quad (13)$$

$$\delta = \ln \frac{q_0 e^{-\beta t}}{q_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta T.$$

Для небольших значений R , с учетом уравнений (4) и (10), логарифмический декремент затухания можно определить через параметры контура:

$$\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}. \quad (14)$$

Пусть τ – время релаксации, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в $e \cong 2.7$ раз, N_e – число колебаний совершенных за время релаксации. Тогда можно легко доказать, что

$$\delta = \frac{1}{N_e} \quad (15)$$

Добротность Q представляет собой умноженное на 2π отношение энергии $W(t)$ в данный момент времени t , к энергии, теряемой за период колебания T :

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{W(t) - W(t+T)}, \quad (16)$$

Если в начальный момент времени ($t = 0$) энергия контура состоит из энергии заряженного конденсатора, то

$$W(t) = \frac{q_0^2}{2C}. \quad (17)$$

Энергия контура через время, равное периоду, уменьшится в соответствии с уменьшившимся зарядом:

$$W(t+T) = \frac{(q_0 e^{-\beta T})^2}{2C}. \quad (18)$$

Подставив выражения (17) и (18) в уравнение (16), получим

$$Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\beta T}} = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\delta}}. \quad (19)$$

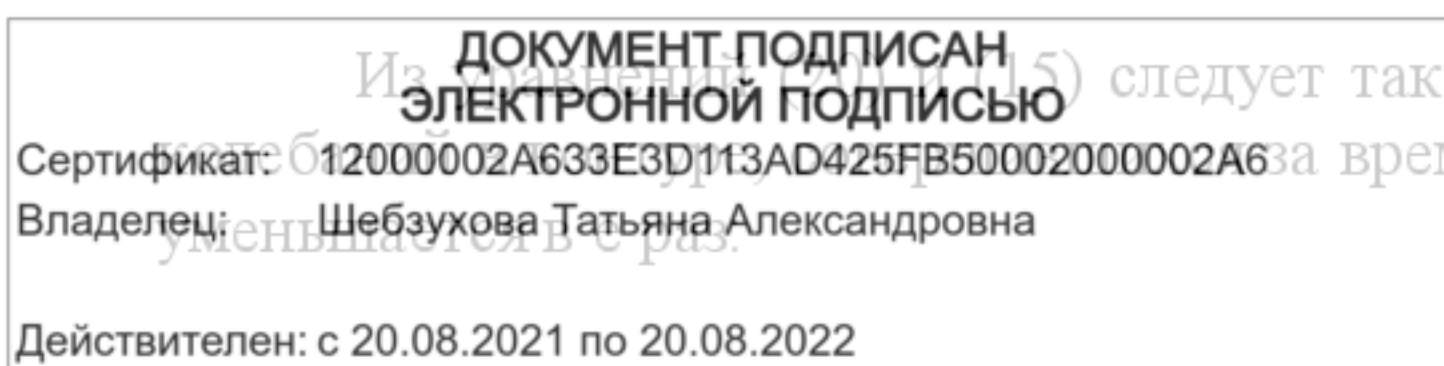
Известно соотношение $e^x \approx 1 + x$, выполняющееся для малых значений x : ($x \ll 1$).

С учетом этого выражение (19) упростится:

$$Q = \frac{\pi}{\delta}. \quad (20)$$

Добротность можно выразить и через параметры контура, применив формулу (14):

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (21)$$



Из уравнения (21) следует также, что добротность пропорциональна числу колебаний, совершенных за время релаксации, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в e раз.

$$Q = \pi N_e.$$

В ряде случаев колебательный процесс можно исследовать, изучая взаимозависимость между напряжением u и током i в контуре.

График, изображающий эту зависимость, называется фазовой кривой. Состояние колебательной системы для любого момента времени изобразится точкой на этой кривой (рис. 4).

Уравнение фазовой кривой можно получить, используя зависимости тока и напряжения от времени.

Из выражения (7) и соотношения $u=q/C$ следует, что

$$u = \frac{q_0}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha).$$

Сделаем замену $U_0 = q_0 / C$, и получим зависимость напряжения на конденсаторе от времени:

$$u = U_0 \cdot e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha), \quad (22)$$

где U_0 – начальная разность потенциалов.

Из уравнения (7) можно определить и зависимость тока в контуре от времени

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} [q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha)] = \\ &= q_0 e^{-\beta t} [-\omega \cdot \sin(\omega t + \alpha) - \beta \cdot \cos(\omega t + \alpha)] \end{aligned}$$

Для малых затуханий $\beta \ll \omega$, тогда

$$i = -q_0 \cdot \omega \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega t + \alpha).$$

Обозначим $I_0 = q_0 \cdot \omega$, тогда $i = -I_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha)$, то есть

$$i = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}). \quad (23)$$

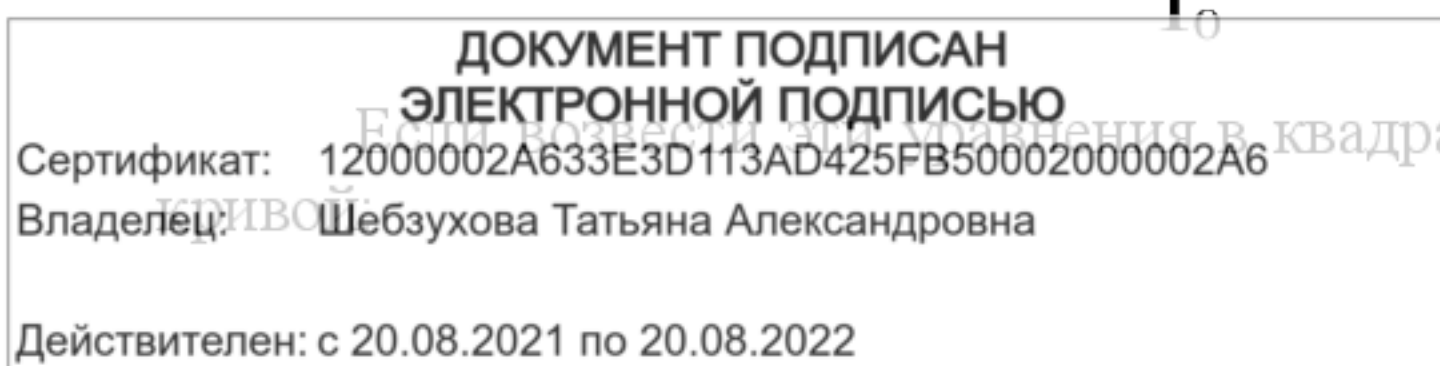
Сравнив выражения (22) и (23), можно увидеть, что колебания силы тока опережают по фазе на $\frac{\pi}{2}$ колебания напряжения на конденсаторе.

Преобразуем выражения (22) и (23) следующим образом:

$$\frac{u}{U_0} = e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

$$\frac{i}{I_0} = -e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha).$$

Если возвести оба уравнения в квадрат и сложить, то получим уравнение фазовой



$$\left(\frac{i}{I_0}\right)^2 + \left(\frac{u}{U_0}\right)^2 = e^{-2\beta t}. \quad (24)$$

В случае незатухающих колебаний ($R = 0$, $\beta = 0$) фазовая кривая имеет форму эллипса (рис. 4,а). Для реального контура ($R \neq 0$, $R < R_{кр}$) фазовая кривая представляет собой скручивающуюся спираль, причем большему сопротивлению контура соответствует большее затухание (рис. 4,б и рис.4,в).

При апериодическом колебании, когда сопротивление контура больше критического ($R > R_{кр}$), фазовая кривая вырождается в линию, изображенную на рис. 4,г.

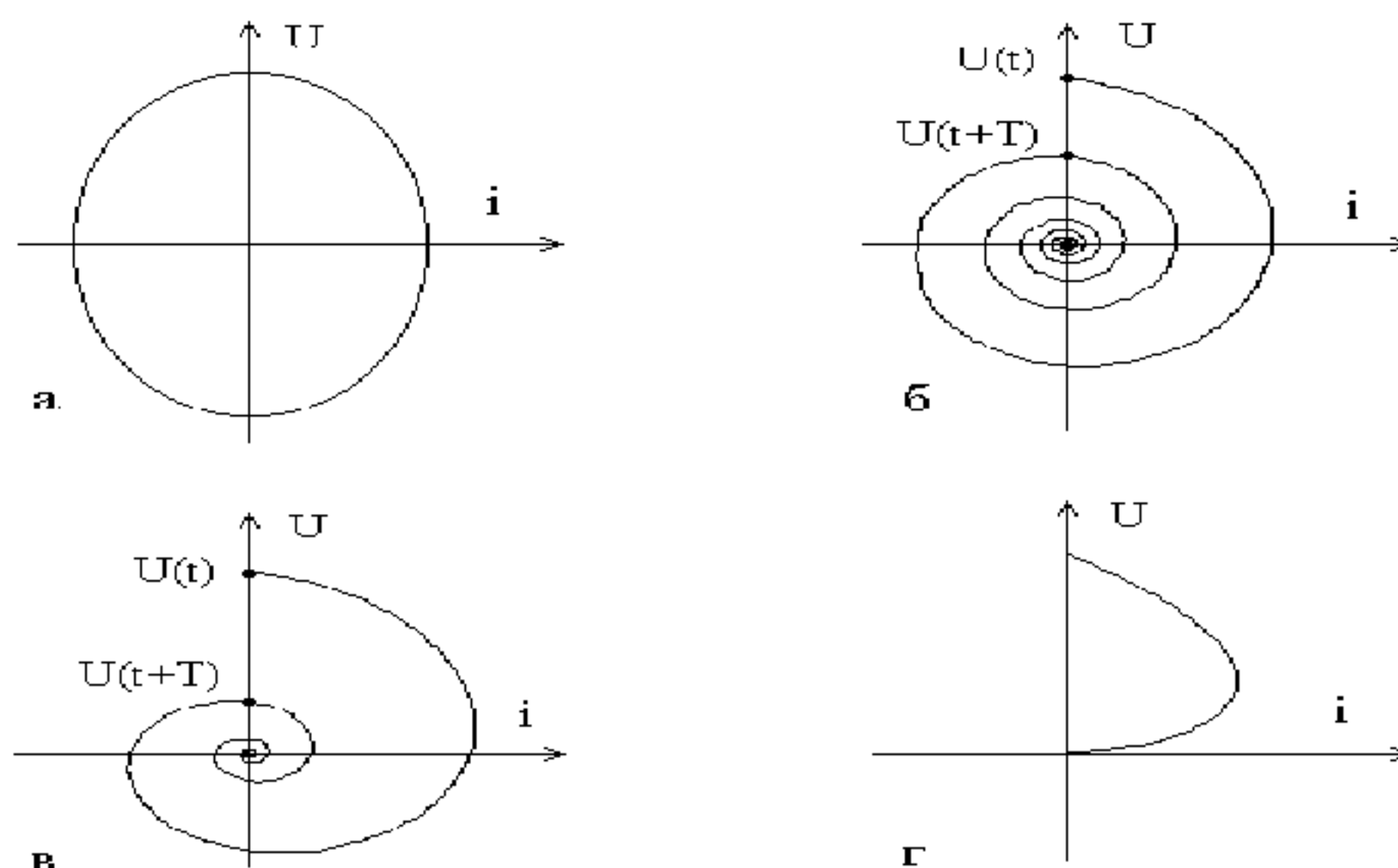


Рис.4.

Оборудование и материалы.

Лабораторная установка состоит из осциллографа и стенда, содержащего две катушки индуктивности, два конденсатора, магазин сопротивлений и генератор импульсов.

Генератор вырабатывает короткие положительные импульсы, в результате этого конденсатор колебательного контура периодически получает некоторый электрический заряд. В промежутках времени между импульсами в контуре будут совершаться затухающие колебания. Графики этих колебаний можно будет наблюдать на экране осциллографа и, далее, по ним определять период, логарифмический декремент затухания, добротность, критическое сопротивление.

Необходимые для расчетов параметры элементов контура указаны на стенде.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящимся под напряжением.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

элементов цепи при помощи пальцев; проверка с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя.

- при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;
- курить и зажигать огонь.

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».

5. При работе на установках, в которых может наблюдаться резонанс, соблюдать особую осторожность.

6. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.

7. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.

8. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.

9. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собрать схему согласно рис. 5. Сопротивление магазина R_M сделать равным нулю. Индуктивность и емкость контура выбрать произвольно, внести их параметры в табл. 11.1.

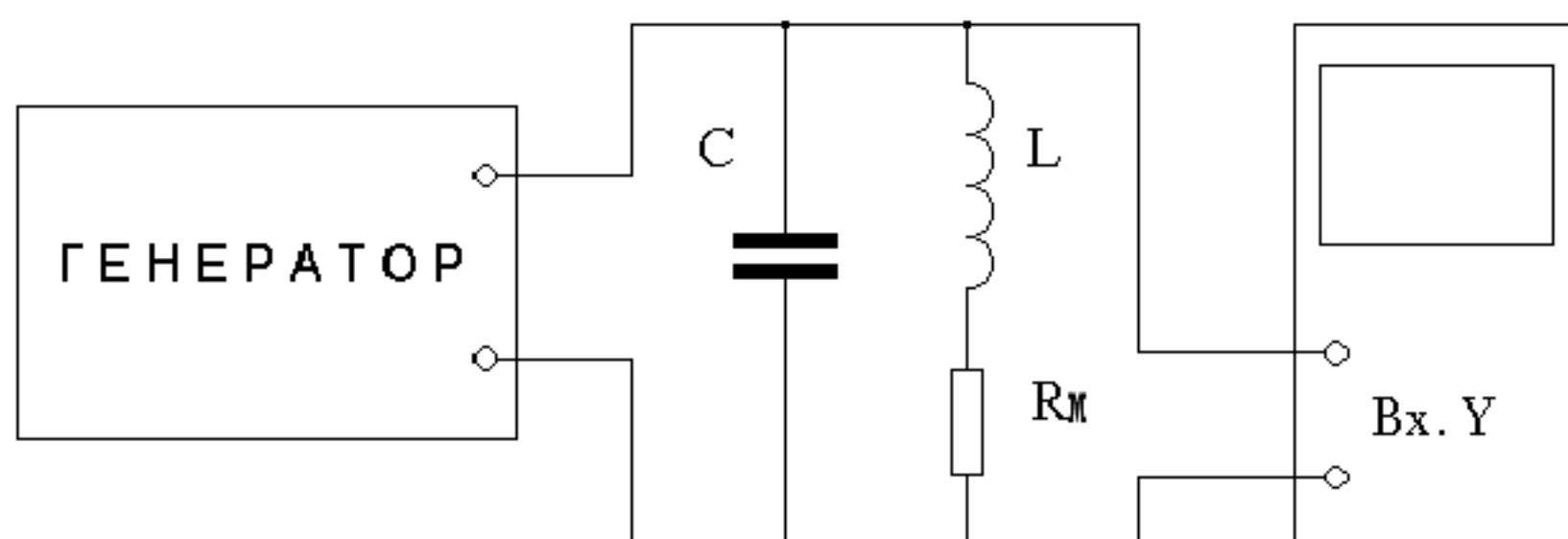


Рис. 5.

2. Включить осциллограф, прогреть его в течение 1-2 минут. Ручкой “Фокус” хорошо сфокусировать луч, чтобы уменьшить ошибку измерений.

3. Включить генератор. С помощью ручек управления разверткой осциллографа добиться неподвижной картины колебаний так, чтобы обеспечить достаточно точное измерение временных интервалов и амплитуд колебаний.

4. С помощью полученной осциллограммы, аналогичной рис. 3, измерить период колебаний T при минимальном сопротивлении контура, т.е. при $R_M = 0$, результат внести в табл. 1 в

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Для повышения точности измерения промежутка времени, соответствующий нескольким периодам колебаний, разделить его на число периодов и, таким образом, определить период.

5. Увеличивая сопротивление магазина R_M , проследить за возрастанием скорости затухания колебаний и определить критическое сопротивление контура, соответствующее переходу от периодических колебаний к апериодическим (т.е. переходу осциллограммы от рис. 2,в к рис. 2,г):

$$R_{кр} = R_L + R_M,$$

где R_L – собственное сопротивление катушки индуктивности. Полученное значение $R_{кр}$ внести в табл. 1.

6. Уменьшить сопротивление R_M , например, вдвое от $R_{кр}$. В контуре вновь возникнут затухающие периодические колебания. Определить период этих колебаний T и вместе с полученным значением сопротивления контура ($R = R_L + R_M$) занести в табл. 1. Убедиться в различии периодов колебаний T_0 и T , соответствующих различным значениям сопротивления контура.

Таблица 1.

№	C, мкФ	L, мГн	R_L , Ом	T_0 , мс	$R_{кр}$, Ом	R_M , Ом	R , Ом	T , мс
1								
2								
3								
...								
...								

7. Повторить измерения по пунктам 4 – 6 три раза для различных комбинаций L и C .

8. Для выбранных значений емкости C , индуктивности L , сопротивления R_L и полного сопротивления контура R , внесенных в табл. 1, вычислить и занести в табл. 2 теоретические значения:

T_0 – по формуле (10); T – по формуле (.9);

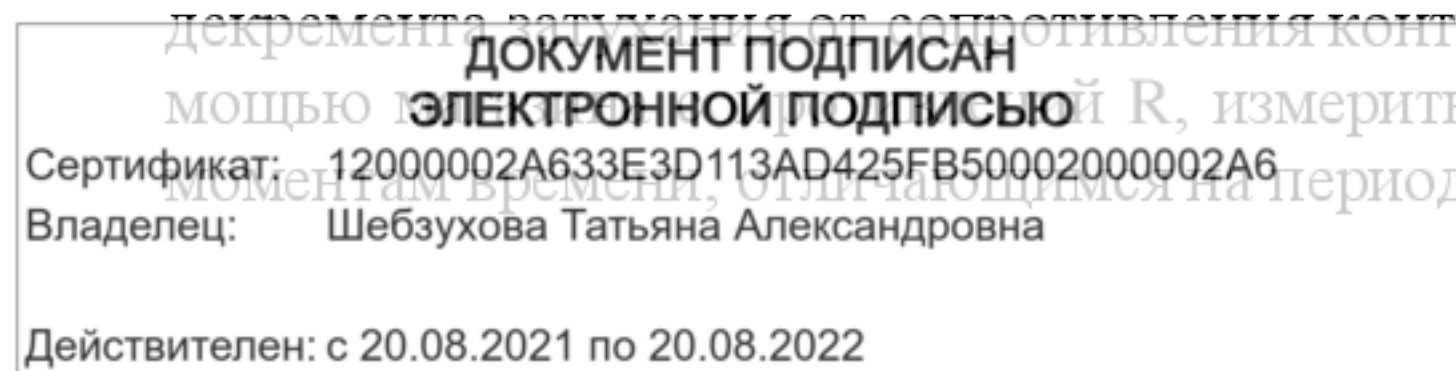
$R_{кр}$ – по формуле (12); δ – по формуле (14),

Q – по формуле (20).

Таблица 2.

№	T_0 , мс	T , мс	$R_{кр}$, Ом	δ	Q
1					
2					
3					
...					
...					

9. Для произвольных значений L и C исследовать зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления контура. Увеличивая сопротивление контура с мощностью P , измерить амплитуды A_1 и A_2 , которые соответствуют (рис. 3).



Результаты измерений внести в табл. 3. Подсчитать экспериментальные значения логарифмического декремента затухания δ_3 по формуле (13), по формуле (14) – его теоретические значения δ_T .

Таблица 3

№	R, Ом	A ₁ , мм	A ₂ , мм	δ_3	δ_T
1					
2					
3					
4					
5					

10. Для наблюдения фазовых кривых собрать схему по рис. 6.

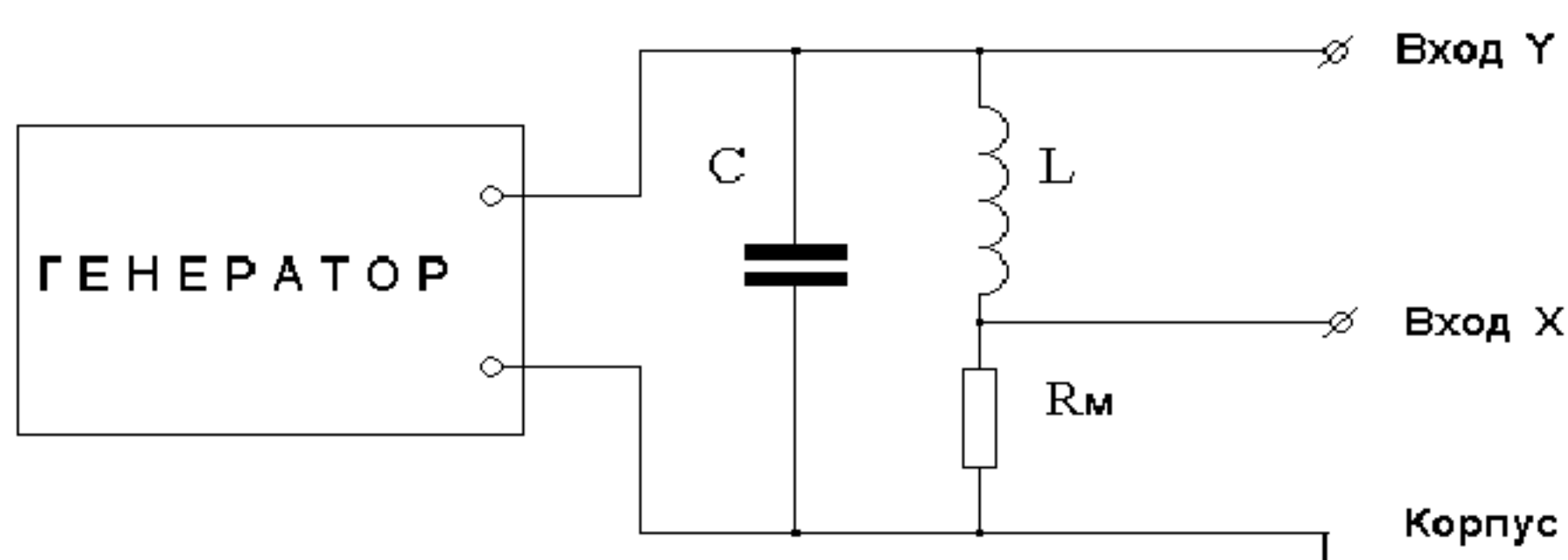


Рис. 6.

При этом на вход X подается сигнал с сопротивления R_m , который находится в фазе с током в контуре. На вход Y подается сигнал, находящийся в фазе с напряжением. Наблюдая фазовые кривые для различных сопротивлений контура, можно исследовать влияние затухания на форму фазовой кривой и уточнить значение критического сопротивления для данных значений емкости и индуктивности (рис. 4,г).

С помощью фазовых кривых можно провести также измерения по п.9 (рис. 4,б).

11. Для одновременного наблюдения осциллограмм колебаний тока и напряжения и определения сдвига фаз между ними собрать схему в соответствии с рис. 7.

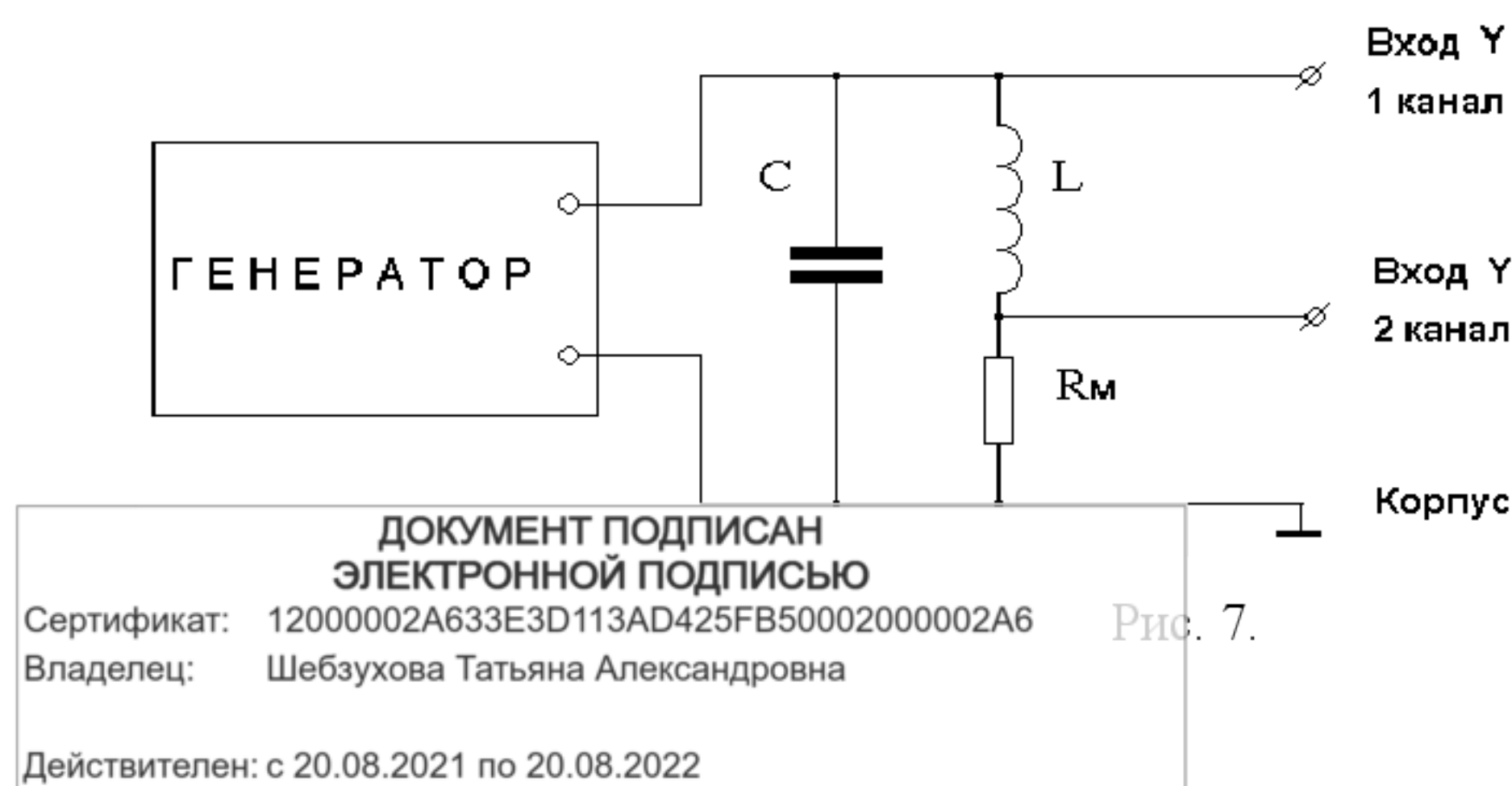


Рис. 7.

На входы Y первого и второго каналов осциллографа подаются сигналы, пропорциональные напряжению и току в контуре. Убедиться в наличии сдвига фаз этих колебаний, оценить величину этого сдвига.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Рассказать об электрических колебаниях в контуре.
2. Дать определение амплитуды, частоты, фазы, периода колебаний.
3. Какой процесс называется аperiодическим? Что такое критическое сопротивление? Вывести уравнение (12).
4. Какие превращения энергии имеют место при периодическом и аperiодическом процессах?
5. Какие формулы описывают энергию электрического поля конденсатора и энергию магнитного поля катушки.
6. Вывести уравнение затухающих электрических колебаний.
7. Что такое логарифмический декремент затухания? Объяснить его физический смысл, вывести уравнение (15).
8. Пояснить физический смысл добротности контура. Вывести уравнение (20).
9. Что называется фазовой кривой? Получить уравнение этой кривой.
10. Вывести уравнение (7), применив закон Ома для неоднородной замкнутой цепи.
11. Какова величина сдвига фаз между колебаниями тока и напряжения в идеальном колебательном контуре? Как можно измерить ее в реальных условиях?
12. Рассказать о практическом применении колебательного контура в технике.

Лабораторная работа № 5

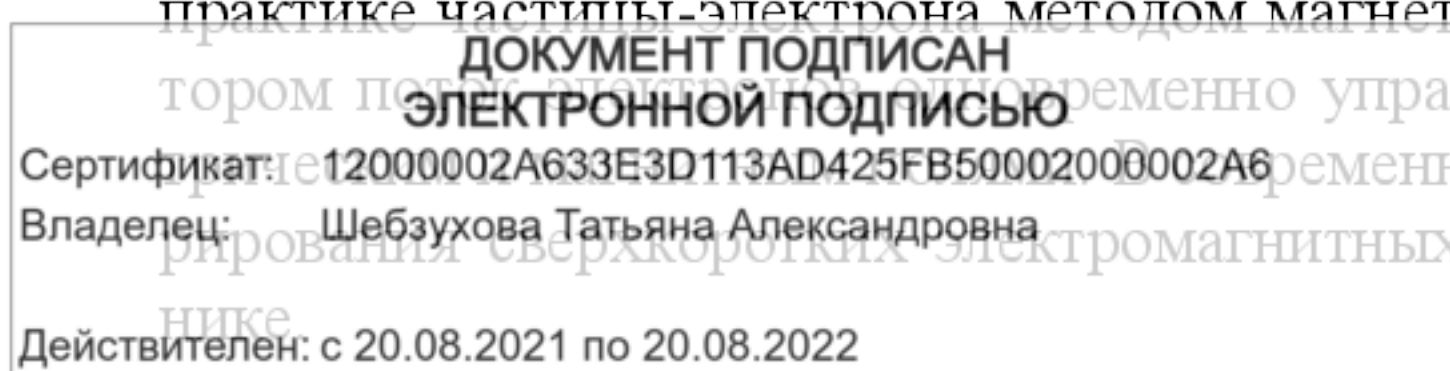
Тема работы. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона

Цель работы. изучение движений зарядов в электрических и магнитных полях, измерение удельного заряда электрона.

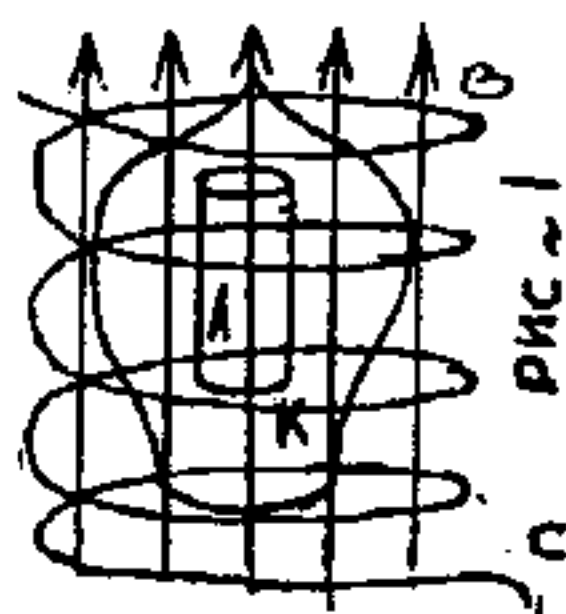
Теоретическая часть.

Удельным зарядом частицы называют отношение ее заряда Q к массе m . Именно удельным зарядом Q/m описывается главным образом поведение частицы в электрических и магнитных полях.

В настоящей работе определяется удельный заряд наиболее часто встречающейся в практике частицы-электрона методом магнетрона. Магнетрон- электронный прибор, в котором перпендикулярно управлению электронами одновременно управляется взаимно - перпендикулярными электрическими и магнитными полями. В современной технике магнетрон используется для генерирования сверхкоротких электромагнитных волн например в радиолокации, СВЧ-тех-



В лабораторной работе в качестве магнетрона используется двухэлектродная лампа с цилиндрическим анодом А и прямолинейным катодом К, расположенным на оси анода, помещенная в аксиальное (направленное вдоль оси анода) магнитное поле с индукцией В, созданное достаточно длинным соленоидом С рис.1



Электронные лампы с таким устройством используются в качестве магнетронов. Электроны, испускаемые раскаленным катодом под действием электрического поля разности потенциалов между катодом и анодом при отсутствии магнитного поля движутся по радиальным траекториям (рис.2а).

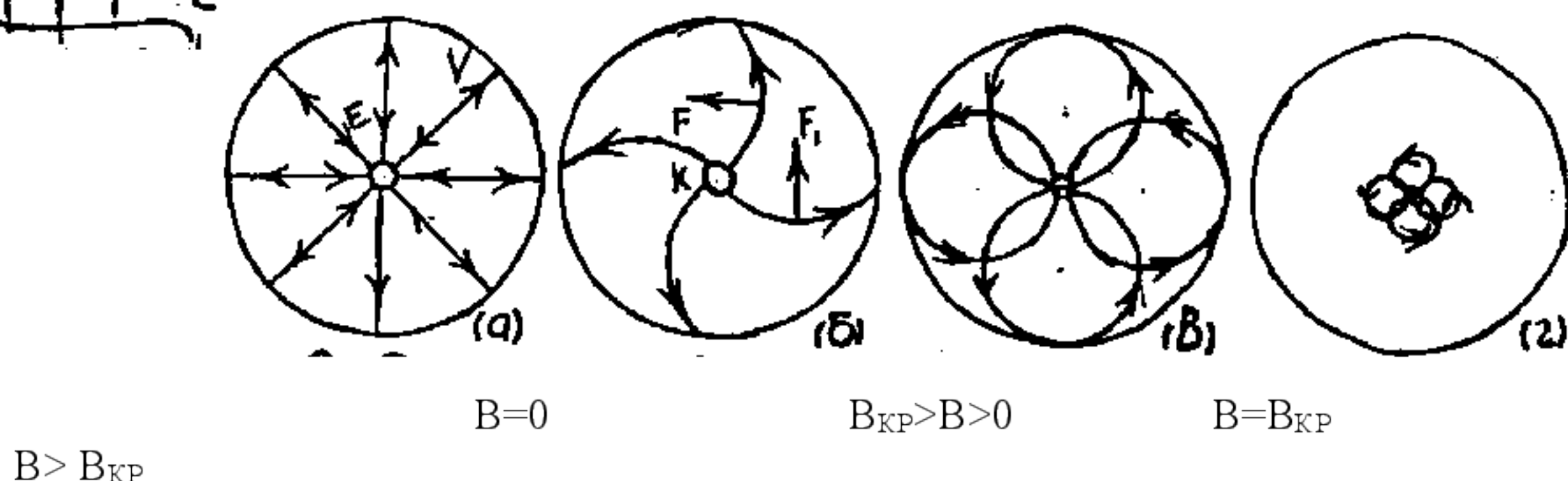


Рис.2

Как известно разность потенциалов численно равна работе по переносу единичного заряда из одной точки поля в другую. В данном случае разность потенциалов, равная анодному напряжению U_A , совершает перенос от катода к аноду электрона зарядом $Q=e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. И выполняемая электрическим полем работа $A=eU_A$ идет на сообщение электрону кинетической энергии, равной $mv^2/2$.

Следовательно

$$eU_A = \frac{mV^2}{2}$$

Отсюда скорость V электрона достигшего анода будет равной

$$V = \sqrt{2 \frac{e}{m} U_A} \quad (1)$$

Следует заметить, что электрическое поле между анодом и катодом резко неоднородно. Густота силовых линий, а следовательно, и напряженность поля E , вблизи катода много больше чем в средней и прианодной области (рис.2а). Поскольку напряженность есть градиент потенциала, то есть равна изменению потенциала на единице расстояния вдоль силовой линии, анодное напряжение U_A распределено в пространстве между анодом и катодом неравномерно. Основная часть его падает на прикатодном участке силовых линий. Идеализируя, можно считать, что все анодное напряжение падает на очень малом участке вблизи катода. Поэтому разгон электронов, а дальше, т.е. практически на всем остальном пути от катода к аноду, электроны движутся с практически постоянной по величине скоростью. Эта скорость и определяется по формуле (1).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Если по длинному соленоиду пропустить ток силой I_c , то внутри его создается однородное магнитное поле с индукцией

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I_c \quad (2)$$

где μ - магнитная проницаемость среды (в данном случае $\mu = 1$); $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; N - число витков соленоида ($N=2000$); l - длина соленоида.

Как известно, на электрон, движущийся в магнитном поле действует сила Лоренца

$$F = e[\vec{V} \cdot \vec{B}] \quad (3)$$

Так как в силу конструкции магнетрона векторы $\vec{V}$ и $\vec{B}$ ортогональные, то величина силы Лоренца будет равна

$$F = eVB, \quad (4)$$

а ее направление F определяется из векторного произведения (3) или по правилу левой руки с учетом отрицательного знака заряда электрона (рис.2б). Из формулы Лоренца (3) следует, что магнитное поле в отличие от электрического действует только на движущуюся частицу: при $V=0$, $F=0$. Кроме того это действие не приводит к изменению величины скорости частицы. Действительно элементарная работа силы Лоренца dA_L равна $dA_L = Fdr \cos\alpha$, где α - угол между перемещением частицы dr и силы F . Из векторного произведения (3) следует, что $F \perp V$, следовательно $F \perp dr$ (т.к. $\vec{V} = \left(\frac{d\vec{r}}{dt}\right)$) и $\cos\alpha=0$. Значит, работа силы

Лоренца dA_L равна нулю, т.е. в магнитном поле кинетическая энергия частицы $\frac{mV^2}{2}$ остается неизменной и ее скорость по величине постоянной ($V=\text{const}$) таким образом магнитное поле не ускоряет частицы (не изменяет величины их скорости), а только искривляет их траекторию. Сила Лоренца является силой центростремительной, и по второму закону Ньютона имеем

$$F = eVB = m\vec{V}^2 / r \quad (5)$$

где r - радиус кривизны траектории частицы (электрона).

Из (5) для r получим

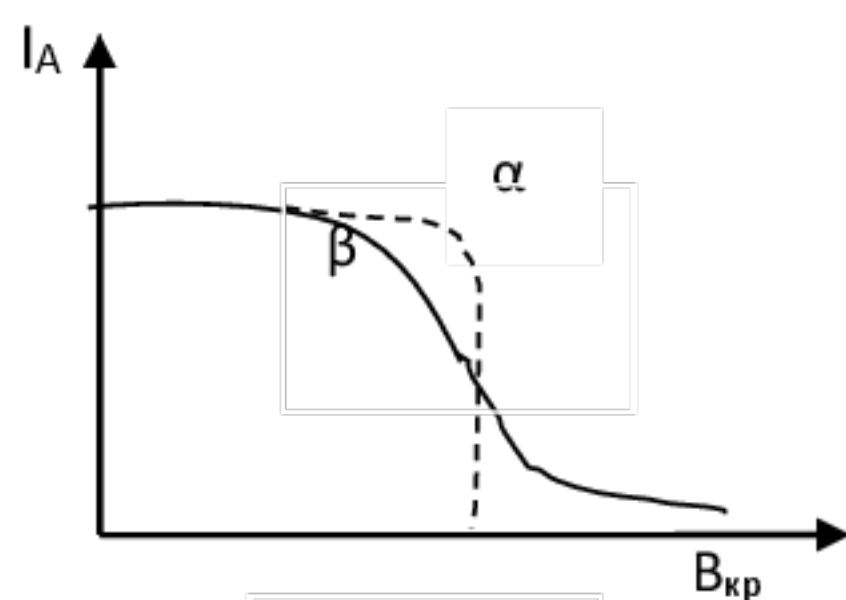
$$r = \frac{V}{\frac{e}{m} \cdot B} \quad (6)$$

Как видно из формулы (6) в однородном ортогональном магнитном поле ($B=\text{const}$) траектория частицы - окружность ($r=\text{const}$). При этом учтено, что $V=\text{const}$, т.к. магнитное поле электроны не ускоряет, а геометрия электрического поля в данном магнетроне позволяет считать их скорости практически неизменными на большей части пути от анода к катоду, о чем писалось выше.

С ростом индукции магнитного поля B радиусы траектории электронов уменьшаются и при некотором значении $B=B_{кр}$ (критическое) они станут равными половинным расстояния между анодом и катодом (рис. 2 в)

$$r = (R_A - R_k) / 2 \quad (7)$$

В этом случае электроны перестанут достигать анода и будут по окружности возвращаться к катоду. При этом анодный ток I_A лампы, пропорциональный количеству электронов,



достигающих анод в единицу времени, резко уменьшается теоретически до нуля (кривая (а) на рис.3). При дальнейшем увеличении индукции магнитного поля ($B > B_{кр}$) электроны будут круче заворачивать к катоду, а анодный ток останется равным нулю (рис.2). Наблюдение скачкообразного уменьшения анодного тока магнетрона в зависимости от величины магнитного поля лежит в основе используемого метода определения удельного заряда электрона. Расчетная формула для e/m легко получается из выражения для радиуса кривизны (6), если учесть его критическое значение (7) и выразить скорость электронов из формулы (1)

$$\frac{R_A - R_K}{2} = \frac{V}{\frac{e}{m} B_{кр}} = \frac{\sqrt{2 \frac{e}{m} U_A}}{\frac{e}{m} B_{кр}} \quad \text{Откуда получим:} \quad \frac{e}{m} = \frac{8U_A}{B_{кр}^2 (R_A - R_K)^2}$$

Выражая $B_{кр}$ из формулы (2) окончательно найдем, что

$$\frac{e}{m} = K \frac{U_A}{I_{кр}^2}, \quad \text{где} \quad K = 2 \left(\frac{2l}{\mu \mu_0 N (R_A - R_K)} \right)^2 \quad (8)$$

Через $I_{кр}$ обозначено значение тока соленоида I_c соответствующее индукции $B = B_{кр}$. Коэффициент K зависит только от конструктивных данных магнетрона.

Таким образом, для определения удельного заряда электрона методом магнетрона, достаточно снять зависимость анодного тока лампы I_A от тока в соленоиде I_c , так называемую сбросовую характеристику. Очевидно, форма графика этой зависимости должна быть аналогичной кривой $I_A = f(B)$, представленной на рис.3. Используя полученную кривую, на ней можно найти значение $I_{кр}$, а затем по формуле (8) вычислить e/m .

На рис.3 представлена идеализированная (а) и практическая (б) сбросовые характеристики. На последней, спадающий участок более размытый. Это объясняется как различного рода несовершенствами конструкции магнетрона. Сюда относятся не точная коаксиальность анода и катода, не строгая однородность магнитного поля внутри соленоида и др. Особо нужно отметить тепловой разброс начальных скоростей электронов, вылетающих с поверхности катода, приводящий к размытию кривой. В связи с этим затрудняется отсчет сбросового, т.е. критического значения намагничивающего тока $I_{кр}$. По-видимому, наиболее удовлетворяющему теории, следует считать то значение I_c , при котором наблюдается наибольшее изменение I_A .

Схема экспериментальной установки

Рабочая схема показана на рис.4. Основу ее составляет электронная лампа Л, помещенная в соленоид С.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

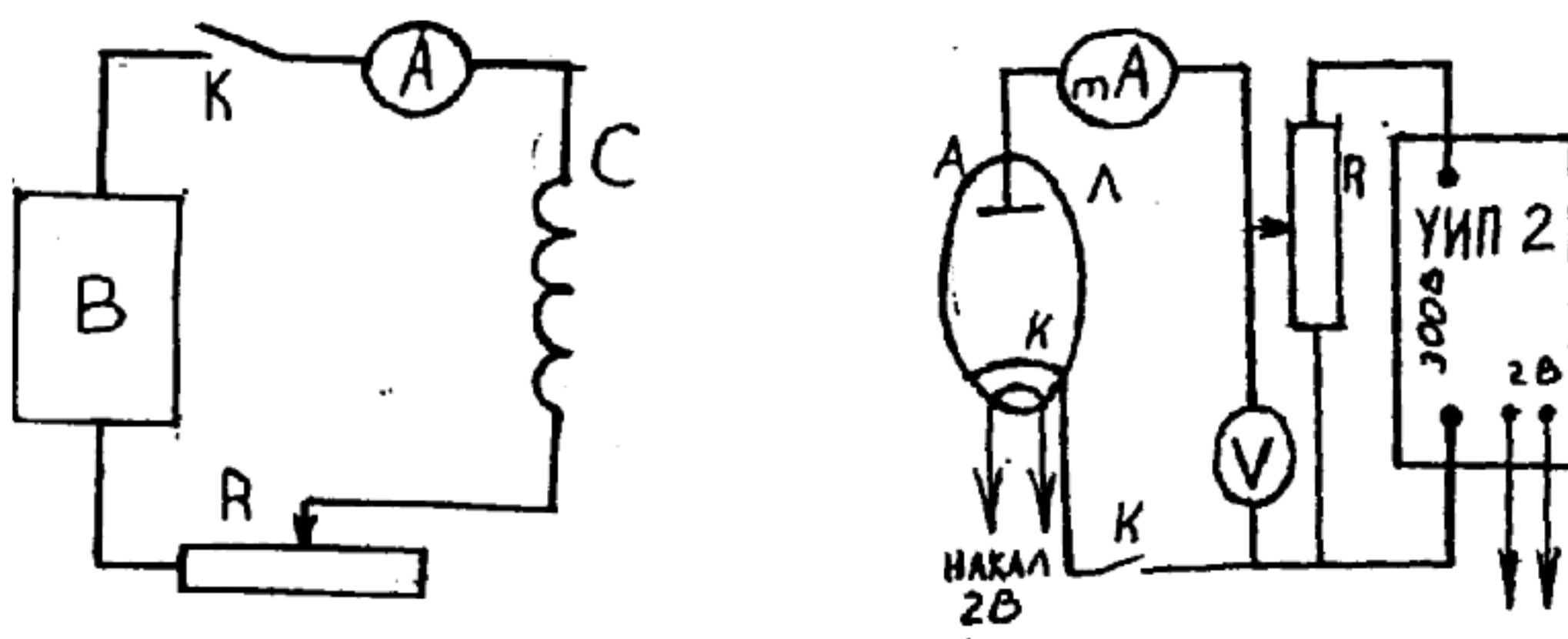


рис.4

Постоянное анодное напряжение U_A снимается с универсального источника питания (УИП-2), регулируется потенциометром R , рукоятка которого располагается на панели УИП-2 и измеряется вольтметром V . Анодный ток измеряется миллиамперметром mA . На панели УИП имеются также клеммы, с которых снимается напряжение 2 В , предназначенная для питания накала нити катода.

Намагничивающийся соленоид C питается от выпрямителя B Б5-7. Ток соленоида регулируется ручками на панели выпрямителя и более плавно реостатом R .

Измеряется I_C амперметром A .

Оборудование и материалы.

Магнетрон - электрическая лампа 2Ц2С (диод), расположенная внутри соленоида. Универсальный источник питания (УИП-2), выпрямитель Б5-7 с регулируемым напряжением, вольтметр, амперметр, миллиамперметр, реостат.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Собрать схему (рис.4). При этом регуляторы выходного анодного напряжения УИП-2 и выпрямителя Б5-7 установить на нулевое значение. Схему не включать до проверки ее преподавателем или лаборантом.

2. После включения схемы подождать 2-3 минуты, пока прогреется катод магнетрона.

3. По заданию преподавателя установить величину анодного напряжения U_A и записать ее в отчет по работе.

4. Поддерживая все время U_A строго постоянным (особенно в критический момент) последовательно увеличивая намагничивающий ток соленоида I_C снять сбросовую характеристику $I_A = I_A(I_C)$. Результаты измерения записать в таблицу.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ			
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6		
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна		
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022			

Интервалы изменения I_c и число измерений подобрать самостоятельно, более тщательно измеряя критический участок.

5. Построить график сбросовой характеристики магнетрона.

6. Определить по нему критическое значение $I_{кр}$ и записать его в отчет.

7. Записать в отчет конструктивные данные магнетрона:

число витков соленоида $N=2000$, радиус катода $R_K = 0,1$ см и анода $R_A=0,95$ см. Измерить и записать длину соленоида l .

8. Рассчитать по формуле (8) величину коэффициента K и определить значение e/m для электрона.

9. Сравнить полученное значение e/m с табличным и выразить разницу в процентах.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что называется удельным зарядом частиц?
2. Как действует электрическое поле на заряженную частицу?
3. Как действует магнитное поле на находящуюся в нем частицу?
4. Каково устройство используемого в работе магнетрона?
5. Как движутся электроны в магнетроне?
6. Расскажите о критическом режиме работы магнетрона?
7. Какие идеализации вводятся при рассмотрении движения электронов в магнетроне?
8. Вывести рабочую формулу (8).

Лабораторная работа № 6

Тема работы. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки

Цель работы. 1. Познакомится с явлением дифракции света в параллельных лучах дифракционной решетки.

2. Определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Приборы и принадлежности: установка с источником света, щелью и дифракционной решеткой.

Теоретическая часть.

1. Дифракция света.

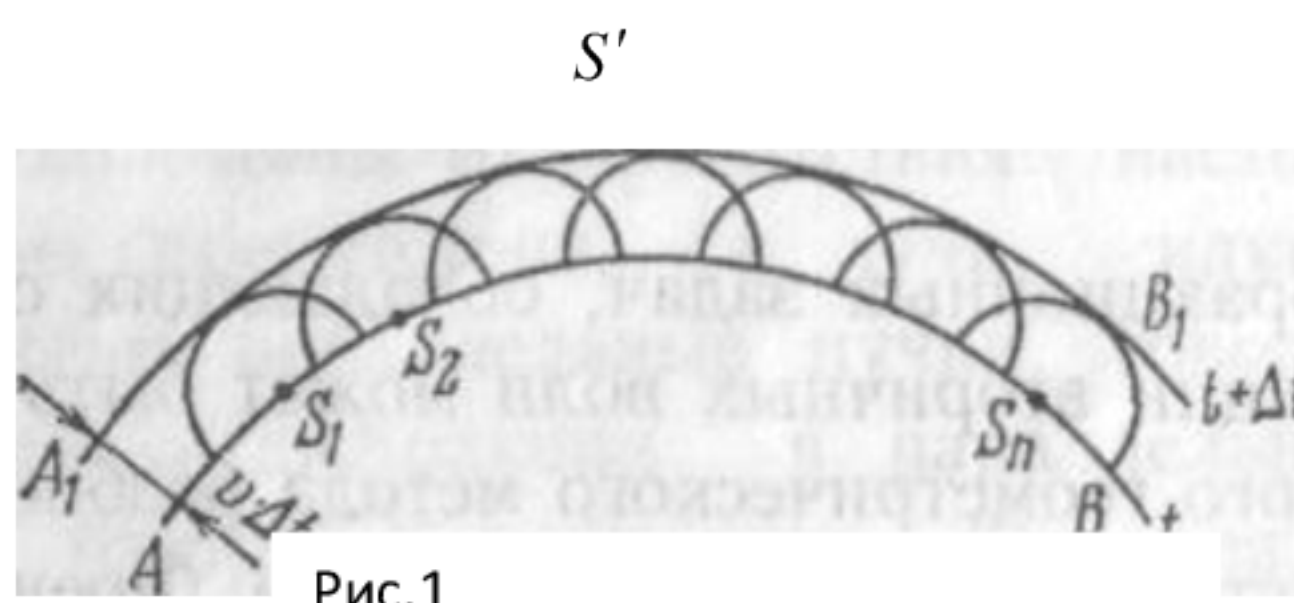
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Дифракция света называется огибание световыми волнами встречных препятствий. Света называется совокупность явлений, наблюдаемых при его распространении в среде

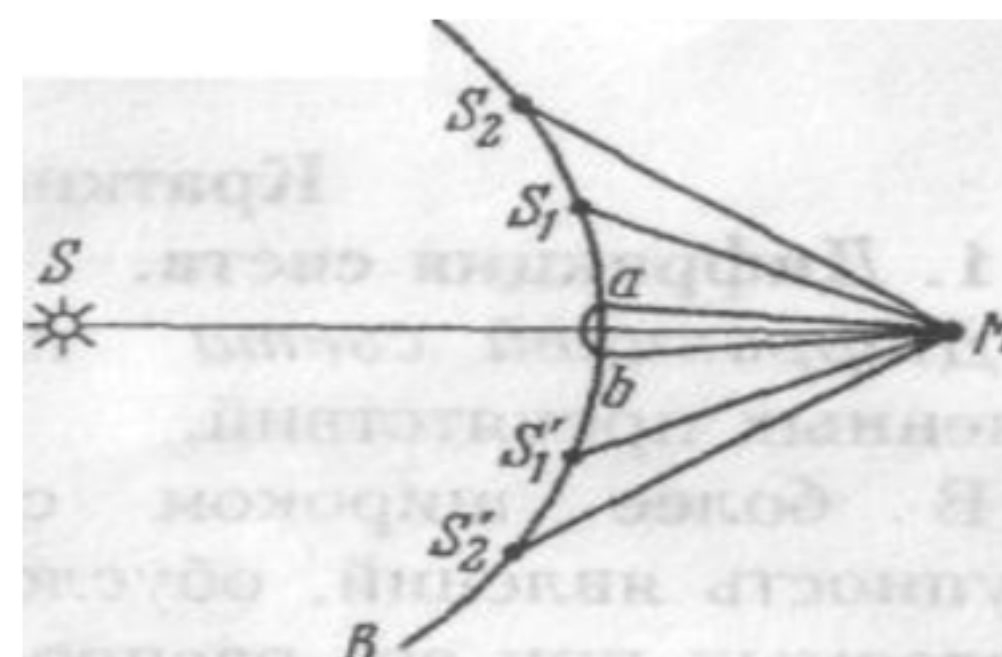
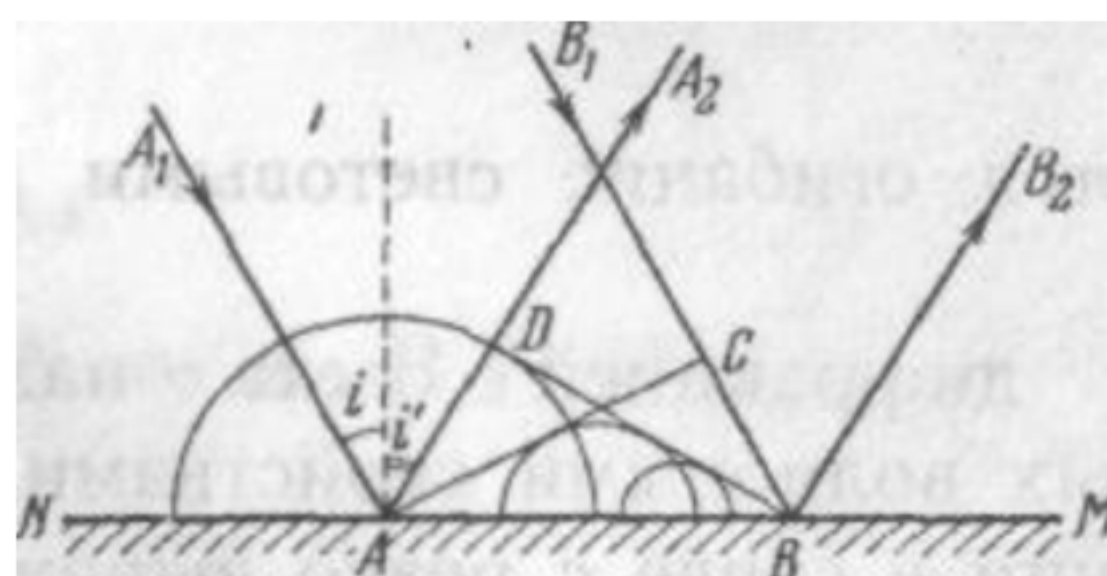
с резко выраженными неоднородностями (отверстия в непрозрачных экранах, границы непрозрачных тел и т.д.). Явление дифракции указывает на нарушение законов геометрической оптики. Явление дифракции наблюдается на расстоянии ℓ от препятствия $\ell \approx D^2 / 4\lambda$, где D - линейные размеры препятствия, λ - длина волны (условие наблюдения дифракции).

Для решения дифракционных задач - отыскание распределения на экране интенсивности световой волны, распространяющейся в среде с препятствиями, - применяются приближенные методы, основанные на принципах Гюйгенса и Гюйгенса - Френеля.

Принцип Гюйгенса', каждая точка $S_1, S_2, \dots, S_n$ фронта волны AB является источником новых, вторичных волн. Новое положение фронта волны $A_1 B_1$ через время Δt представляет собой огибающую поверхность вторичных волн (рис.1).



Принцип Гюйгенса является чисто геометрическим. Он позволяет, например, объяснить равенство углов падения i и отражения i' на поверхности MN среды при отражении света (рис.2). Разность хода CB лучей AA_2 и BB_2 создает такой фронт DB отраженной волны, что из прямоугольных треугольников ADB и ACB ($AD=CB$) следует равенство: $i=i'$ (рис.2). Также можно объяснить закон преломления.



Принцип Гюйгенса-Френеля: все вторичные источники $S_1, S_2 \dots S_n$, расположенные на поверхности фронта волн, когерентны между собой. Амплитуда и фаза волны в любой точке M пространства - это результат интерференции волн, излучаемых вторичными источниками (рис. 3).

Прямолинейное распространение луча SM , испущенного источником S в однородной среде, объясняется принципом Гюйгенса-Френеля. Все вторичные волны, излучаемые вторичными источниками, находящимися на поверхности фронта волны AB , гасятся в результате интерференции, кроме волн от источника S на малом участке сферического сегмента ab , перпендикулярного к SM . Волны, распространяющиеся вдоль узкого конуса с очень малым основанием, не гасятся и образуют луч SM .

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В ряде дифракционных задач, обладающих осевой симметрией, расчет интерференции вторичных волн может быть сильно упрощен с помощью наглядного геометрического метода разбиения фронта волны на кольцевые участки, называемые зонами Френеля. Разбиение на зоны производится так, чтобы оптическая разность хода от сходственных границ (внутренних или внешних) каждой пары соседних зон до рассматриваемой точки М равнялась $\frac{\lambda}{2}$. Вторичные волны от сходственных точек двух соседних зон приходят в точку М в противоположных фазах и взаимно ослабляют друг друга при наложении.

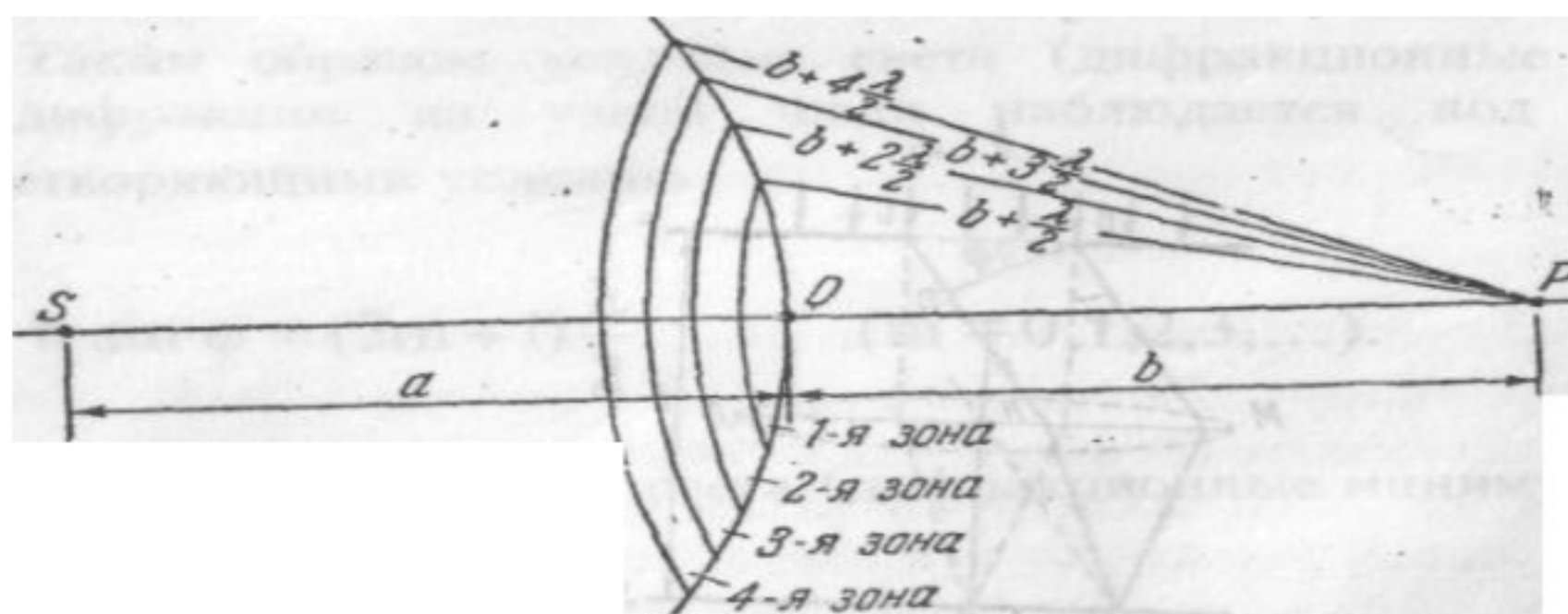


Рис. 4

На рис. 4 показано построение зон Френеля в случае сферической волны возбуждаемой источником S.

Так как a и $b \gg \lambda$, то при не слишком большом k площади первых k зон Френеля одинаковы:

$$S_1 = S_2 = \dots S_k = \frac{\pi \cdot ab \lambda}{a + b}$$

В случае плоского волнового фронта

$$S_1 = S_2 = \dots S_k = \pi \cdot b \lambda$$

Различают два случая дифракции. Если источник света и точка наблюдения Р расположены от препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие, и лучи, идущие в точку Р образуют практически параллельные пучки, говорят о дифракции Фраунгофера или о дифракции в параллельных лучах. В противном случае говорят о дифракции Френеля, т.е. дифракцией Френеля называют такие дифракционные задачи, в которых нельзя пренебрегать кривизной волновых поверхностей падающей и дифрагировавшей волн.

2. Дифракция света на щели. Дифракционная решетка.

Пусть на непрозрачный экран Е, в котором прорезана узкая щель ВС, имеющая постоянную ширину $b=BC$ и длину $L \gg b$, падает перпендикулярно к экрану пучок параллельных лучей монохроматического света (рис 5).

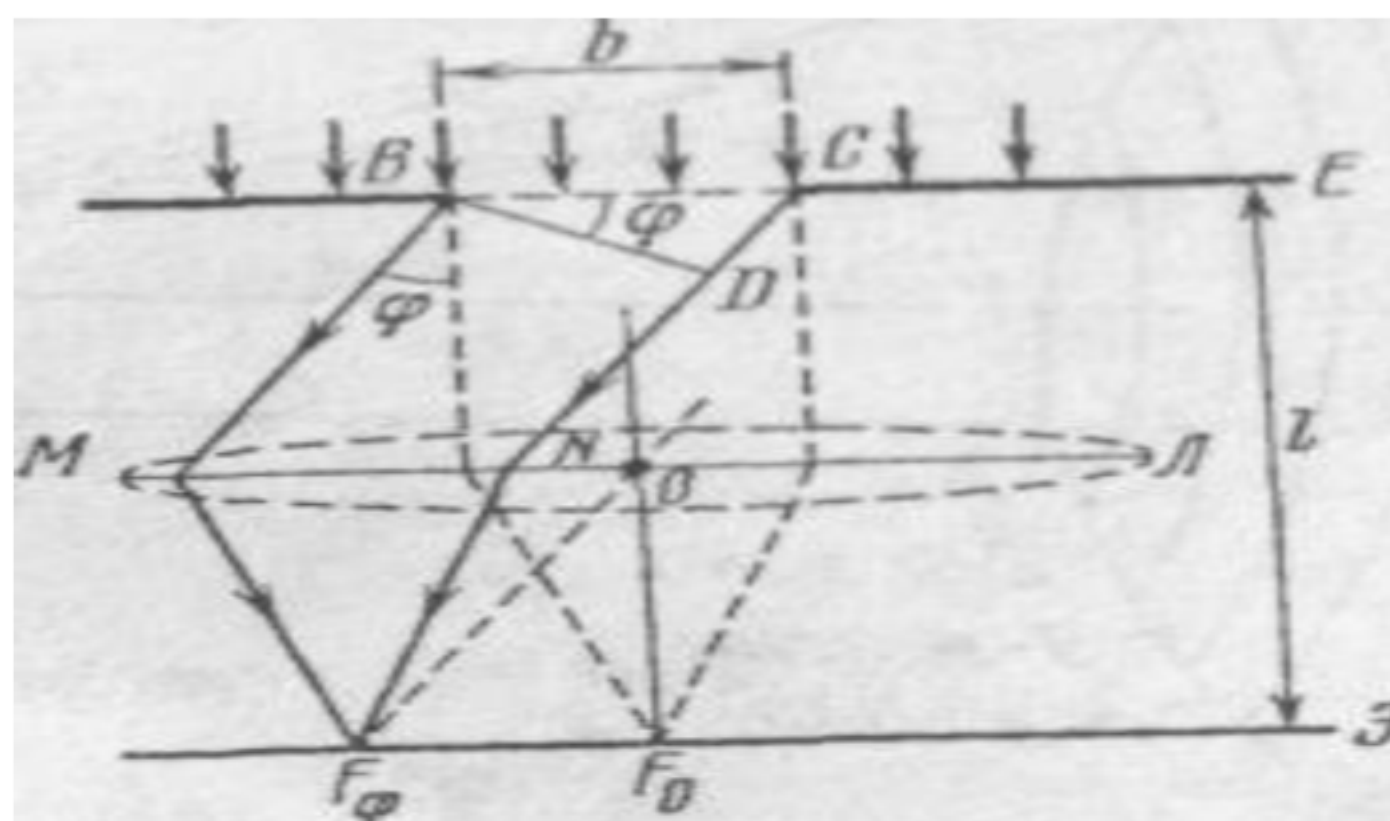


Рис. 5

На экране Э, удаленном от щели на расстоянии l , будет наблюдаться явление дифракции. Если бы этого явления не было, то на экране Э, установленном в фокальной плоскости собирающей линзы МЛ, в точке F_0 главного фокуса линзы получилось бы изображение источника света. При дифракции на узкой щели на экране наблюдается интерференционная картина: последовательность размытых изображений источника света, разделенных темными промежутками. В точке F_φ на экране собираются все параллельные лучи, падающие на линзу под углом φ (угол дифракции) к оптической оси OF_0 линзы, перпендикулярной к фронту волны.

Так как вторичные фиктивные источники фронта волн ВС точечные, то фронты волн, излучаемых ими сферические, а следовательно, дифрагированные лучи идут во всех направлениях. Выберем те, которые идут под углом φ к направлению падающих лучей. Падая на линзу эти лучи собираются в одной точке F_φ фокальной плоскости.

Мысленно разобьем щель на участки, крайние точки которых посылают лучи с разностью хода $\frac{\lambda}{2}$. В этом случае все лучи, посланные первым участком будут погашены лучами второго участка, лучи третьего - лучами четвертого и т.д. Следовательно, если число участков разбиения четное, т.е. если $\delta = 2m \frac{\lambda}{2}$, то в точке F_φ будет темно (минимум освещенности). Если же число участков разбиения нечетное, то точка F_φ будет освещена (максимум освещенности).

Таким образом, усиление света (дифракционные максимумы) при дифракции на узкой щели наблюдается под углами φ , удовлетворяющими условию

$$b \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Условие ослабления света (дифракционные минимумы).

$$b \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 2, \dots).$$

Число m называется порядком дифракционного максимума или минимума. Величина

$\delta = CD = b \sin \varphi$ представляет собой оптическую разность хода между крайними лучами CN и BM, идущими от щели под углом φ (рис. 5). В направлении $\varphi = 0$ наблюдается самый интенсивный излучения нулевого порядка.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

При наблюдении дифракции на щели в белом свете наблюдается окрашенная картина на экране.

дифракционном максимуме каждого порядка ($m=\text{const}$) ближе к центральному, неокрашенному максимуму оказываются дифракционные максимумы с меньшими длинами волн.

Дифракционной решеткой в оптике называется совокупность большого числа препятствий и отверстий, сосредоточенных в ограниченном пространстве, на которых происходит дифракция света.

Простейшей дифракционной решеткой является система из N одинаковых параллельных щелей в плоском непрозрачном экране ширины b каждая, расположенных на равных непрозрачных промежутках a друг от друга (рис. 6).

Величина $d=b+a$ называется постоянной дифракционной решетки.

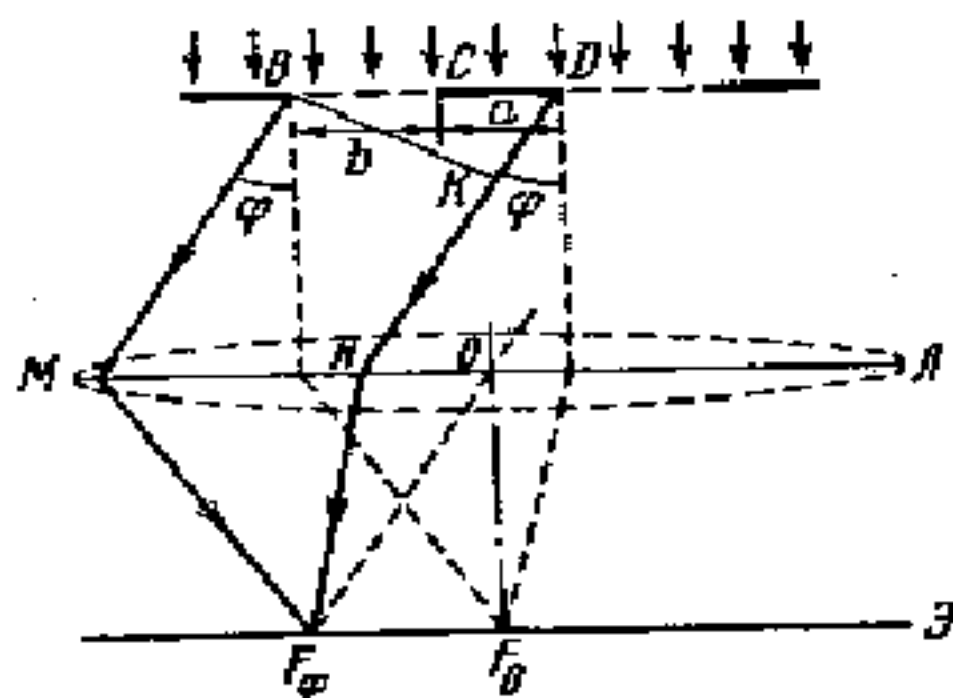


Рис.6

По принципу Гюйгенса-Френеля каждая щель является источником когерентных волн, способных интерферировать друг с другом. Если на дифракционную решетку перпендикулярно к ней падает пучок параллельных лучей света, то под углом дифракции φ на экране Э, расположенном в фокальной плоскости линзы, будет наблюдаться система дифракционных максимумов минимумов, полученная в результате интерференции света от различных щелей.

Пусть при падении плоской монохроматической волны на дифракционную решетку лучи, дифрагированные на одной щели дают в точке F_φ максимум освещенности. Это еще не значит, что в точке F_φ будет максимум освещенности, так как лучи посланные этой щелью могут быть погашены лучом от соседней, или наоборот усилены. Если усилены, то в точке F_φ будет большая освещенность, чем от одной щели. Тогда, учитывая условие усиления волн при интерференции, главные максимумы при дифракции на решетке наблюдаются под углами φ удовлетворяющими условию

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

где $k=0,1,2,3$ называется порядком главного максимума. Величина $\delta = DK = d \sin \varphi$ является оптической разностью хода между сходственными лучами BM и DN , идущими от соседних щелей (рис.6).

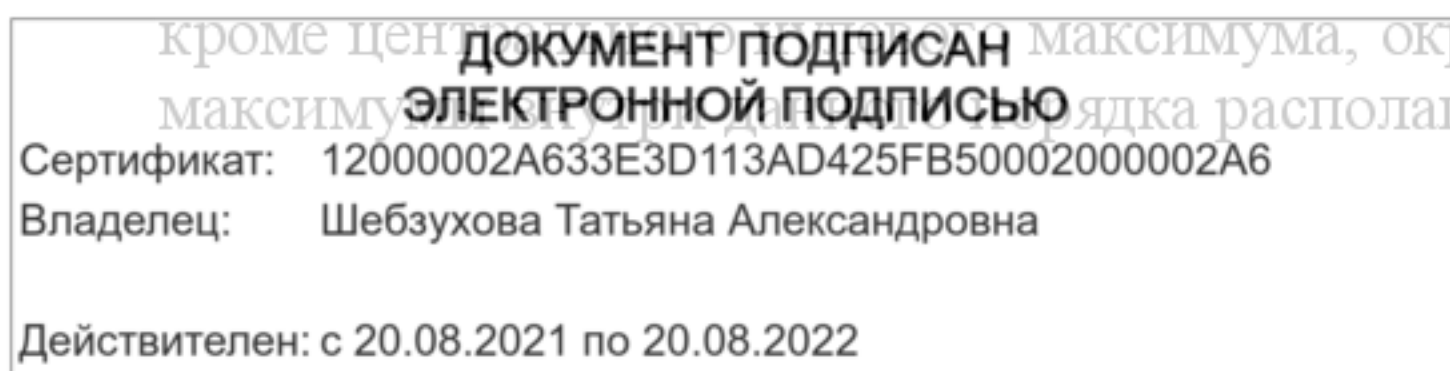
Главные минимумы на дифракционной решетке наблюдаются под такими углами φ дифракции, для которых свет от разных частей каждой щели полностью гасится в на одной щели

$$b \sin \varphi = m\lambda, \quad (m=0, 1, 2, 3, \dots).$$

Так как если ни одна из щелей не посылает лучей в этом направлении то в соответствующей точке на экране будет темнота.

При наблюдении дифракции в немонохроматическом свете все главные максимумы,

кроме центрального, окрашены. С увеличением длины волны главные максимумы располагаются под большими углами от центрального.



Радужная полоска, содержащая семь цветов от фиолетового до красного (считается от центрального максимума), называется дифракционным спектром. Дифракционная решетка является одним из простейших достаточно точных устройств для измерения длин волн.

Теория метода и описание установки.

Рассмотрим один из методов определения длины светлой волны при помощи дифракционной решетки. На оптической скамье (или специальной рейке) укрепляется дифракционная решетка Р и перпендикулярно оси подвижная миллиметровая линейка АВ с щелью Щ. Деления линейки, щель и штрихи решетки располагают параллельно друг друга. Щель освещается источником S и рассматривается через решетку глазом (рис. 7). На линейке проецируются изображения главных максимумов и измеряется расстояние l_k между максимумом 1-го порядка и максимумом нулевого порядка (т.е. от щели)

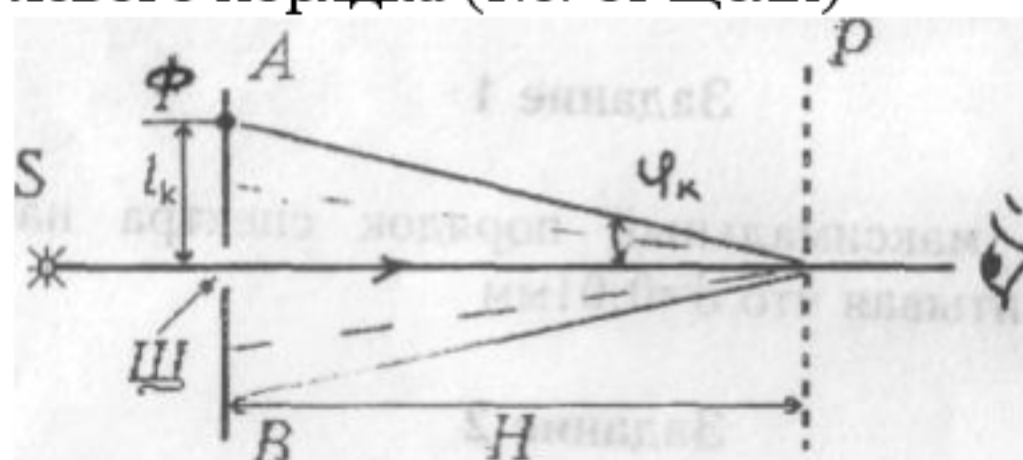


Рис. 7

Ход лучей после дифракционной решетки соответствует ходу лучей на рис. 6. От источника света S через широкую щель в линейке АВ проходит пучок белого света и попадает сначала на дифракционную решетку, а затем в глаз наблюдателя. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси хрусталика дают в фокусе центральный (нулевой) максимум F_0 освещенности белым светом.

Лучи, создающие в некоторой точке сетчатки F_ϕ максимум освещенности каким-либо цветом (например, фиолетовым) падают на хрусталик под углом ϕ . Следовательно, они видны как бы выходящими из точки Ф, положение которой определяется по шкале линейки АВ.

Таким образом роль линзы Л (см. рис. 6) выполняет хрусталик глаза, который фокусирует параллельные лучи, полученные в результате дифракции (например, лучи М и N) на сетчатой оболочке глаза (играющей роль экрана).

Условие максимума освещенности имеет вид.

$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (1)$$

Из рисунка видно, что

$$\sin \varphi = \frac{l}{\sqrt{H^2 + l^2}} \quad (2)$$

Следовательно

$$\lambda = \frac{d l}{k \sqrt{H^2 + l^2}} \quad (3)$$

Так, как $H \gg l$, то

$$\lambda = \frac{d l}{k H} \quad (4)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Указания по технике безопасности.
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Условие максимума освещенности света, щель и дифракционной решеткой.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

Определить максимальные порядок спектра наблюдаемого в данной работе, учитывая что $d=0.01$ мм.

1. Установить линейку АВ на заданном расстоянии Н от дифракционной решетки ($H > 300$ мм). Включить источник света S и, глядя через дифракционную решетку не щель, провести наблюдение дифракционного спектра.

2. Определение положение lk для синей, зеленой и красной линии слева и справа для 1-го и 2-го порядков спектров.

Результаты занести в таблицу.

3. По формуле (4) вычислить длины волн указанных линий.

4. Указать и оценить основные погрешности данного метода измерения, а также погрешность, допускаемую при использовании формулы (4), а не (3)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ.

$d=0,01$ мм

H= (мм)

Порядок спектра k	lk(мм)					
	Фиолетовый		Зеленый		Красный	
	левый	правый	левый	правый	левый	правый
I						
II						

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;

- ответы на контрольные вопросы;

- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Контрольные вопросы.

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Что называется дифракционным светом? Каковы условия наблюдения этого явления.
2. Сформулировать принцип Гюйгенса.
3. Сформулировать принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Объяснить с использованием принципа Гюйгенса-Френеля закон прямолинейного распространения света.
5. Что такое «зоны Френеля». Как определяются площади первых зон?
6. Что такое дифракционная решетка? Определить условия дифракции на решетке.
7. Вывести формулу (4).

Лабораторная работа № 7

Тема работы. Проверка закона Малюса

Цель работы. Проверить выполнение закона Малюса.

Теоретическая часть.

Как известно, плоская электромагнитная световая волна является поперечной и представляет распространение взаимно перпендикулярных колебаний: вектора напряженности электрического поля E и вектора напряженности магнитного поля H (рис. 1а). Как показывает опыт, физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света вызываются в основном колебаниями электрического вектора. Вектор E называется световым вектором, и все рассуждения мы ограничим рассмотрением этого вектора. Наличие вектора H подразумевается.

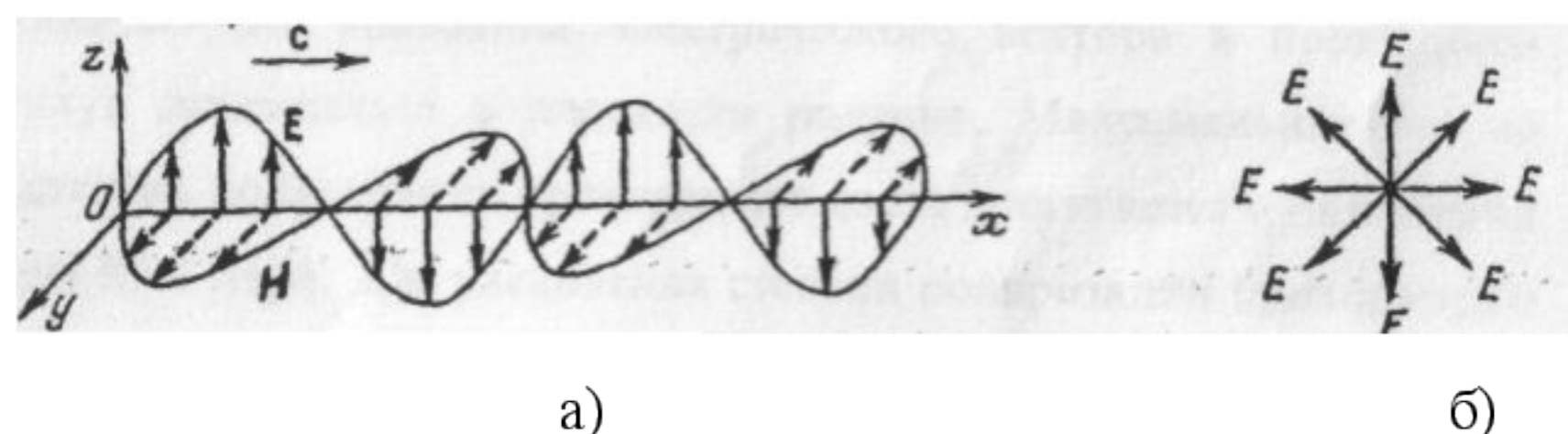
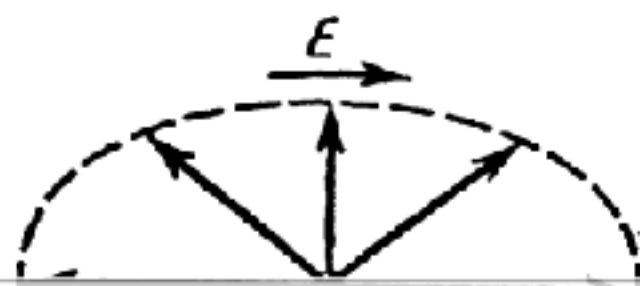


рис. 1.

Световой пучок, в котором различные направления вектора E в поперечной к направлению распространения волны плоскости равновероятны, называется естественным (рис. 1 б)

Свет, в котором направления колебаний вектора упорядочены каким-либо образом и подчиняются некоторой закономерности, называется поляризованным. Если колебания вектора могут совершаться лишь в одном определенном направлении, то свет называется линейно или плоскополяризованным (рис. 2а).

Если же колебания вектора E совершаются так, что его конец описывает круг или эллипс, то свет называется соответственно поляризованным по кругу (рис. 2б) или эллиптически поляризованным (рис. 2в). При линейной поляризации плоскость, содержащая луч и вектор E , называется плоскостью колебаний, или плоскостью поляризации волны.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

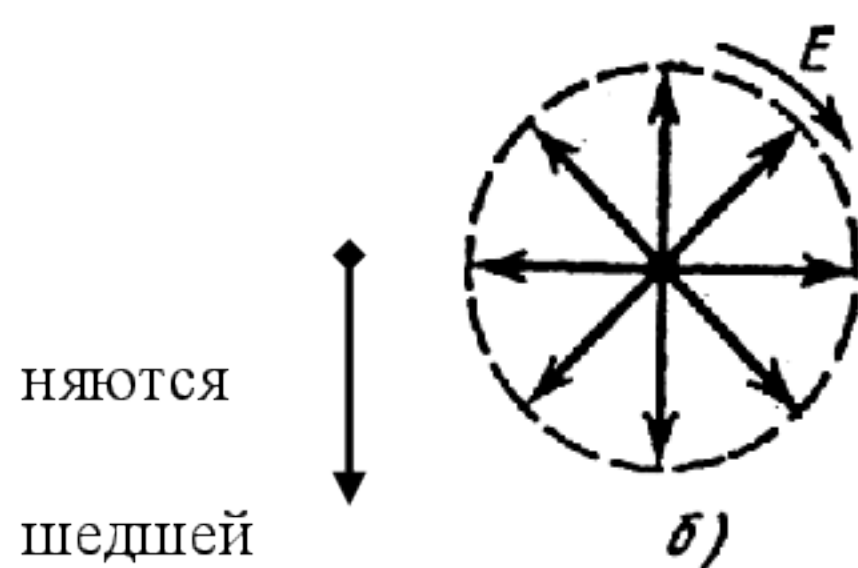


Рис 2.

Для получения линейно поляризованного света применяются специальные оптические приспособления- поляризаторы. Плоскость колебаний электрического вектора в волне, прошедшей через поляризатор, называется плоскостью поляризатора. Для получения плоскополяризованного света используют несколько способов.

а)

Отражение света от поверхности диэлектриков.

Отраженный от диэлектрика свет всегда частично поляризован. На рисунке черные точки соответствуют колебаниям вектора E перпендикулярным плоскости падения, а стрелочки - колебаниям в плоскости падения (Рис.3). Степень поляризации отраженного луча зависит от относительного показателя преломления n_{12} и от угла падения α . При падении луча E на плоскость MN под углом Брюстера α_B отраженный луч $E_{\perp}$ полностью поляризован. Преломленный луч $E_{\parallel}$ поляризован частично. Соотношение $\tan \alpha_B = n_{21}$ называется законом Брюстера. Плоскость колебаний электрического вектора в отраженном свете перпендикулярна плоскости падения.

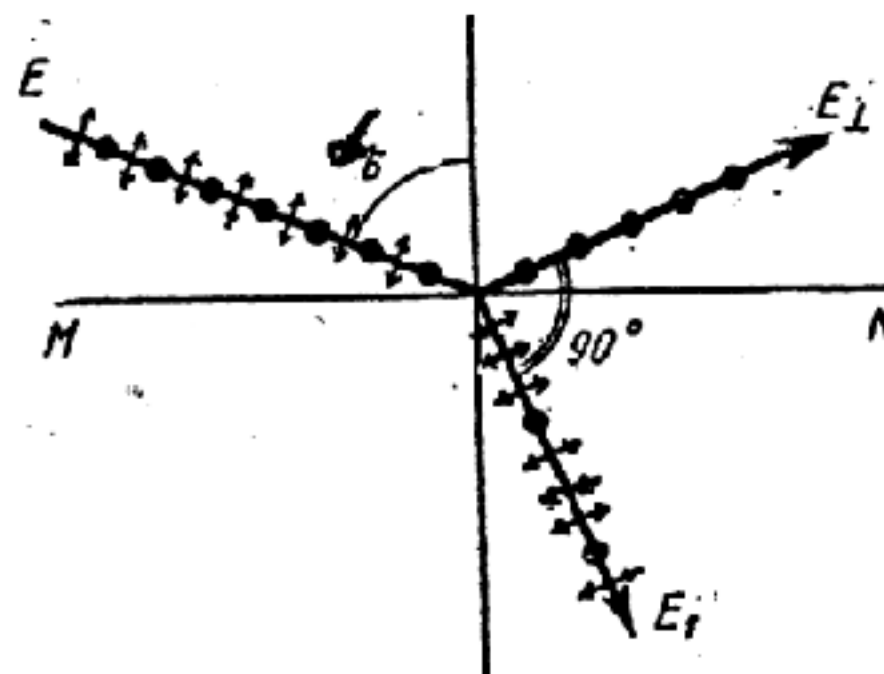


Рис.3

б) Преломление света в стопе стеклянных пластин (стопа Столетова).

Поскольку отраженный от диэлектрической пластинки свет частично (или даже полностью) поляризован, проходящий свет также частично поляризуется и становится смешанным светом. Преимущественные колебания электрического вектора в прошедшем свете будут совершаться в плоскости падения. Максимальная, но не полная степень поляризации проходящего света достигается при падении под углом Брюстера. Для увеличения степени поляризации проходящего света используют стопу стеклянных пластинок (стопу Столетова), расположенных под углом Брюстера к падающему свету. В этом случае можно получить практически полностью поляризованный проходящий свет, так как каждое отражение ослабляет пропущенные колебания, перпендикулярные плоскости падения в определенном отношении.

в) Преломление света в двоякопреломляющих кристаллах.

Некоторые кристаллы (исландский шпат, кварц, слюда и др.), а также некоторые изотропные вещества (под действием механических нагрузок или электрических полей) обладают свойством двойного лучепреломления. Преломляясь в таком кристалле, световой луч разделяется на два линейно поляризованных луча со взаимно перпендикулярными направлениями колебаний. Один из лучей называется обыкновенным и обозначается буквой o , а второй - необыкновенным и обозначается буквой e . Обыкновенный луч удовлетворяет обычному закону преломления и лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью. Для необыкновенного луча отношение синусов угла падения и угла преломления не остается постоянным, оно зависит от угла падения.

Кроме того, необыкновенный луч, как правило, не лежит в плоскости падения и отклоняется от луча O даже при нормальном падении света. Отклоняя один из лучей в сторону, можно получить плоскополяризованный луч. Так устроена, например призма Николя (рис.4). Две естественные грани кристалла исландского шпата срезаются так, чтобы уменьшить угол между поверхностями до 68° .

Затем кристалл распиливается на две части по плоскости BD под углом 90° к новым граням. После полировки поверхности распила склеиваются канадским бальзамом, имеющим показатель преломления n , удовлетворяющий условию $n_e < n < n_o$, где n_o и n_e - показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного луча.

Падая под углом, больше предельного, на плоскость BD , обыкновенный луч претерпевает полное внутреннее отражение на границе шпат - бальзам. Необыкновенный луч, для которого, выходит из призмы линейно поляризованным.

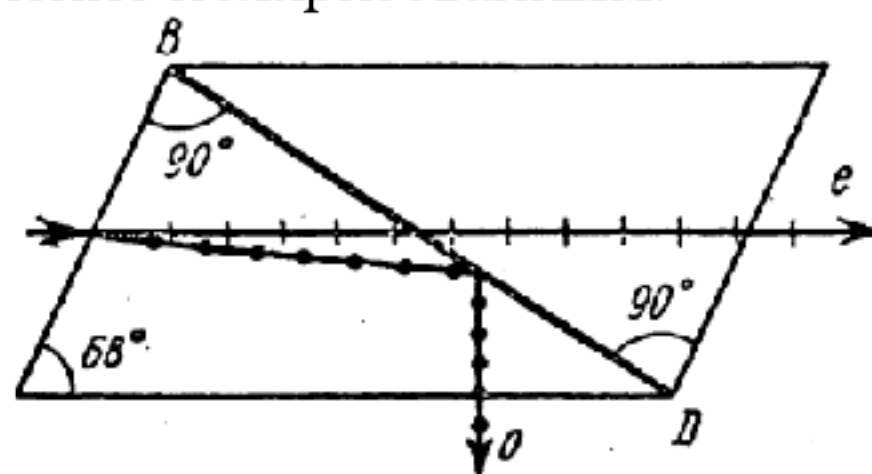


Рис.4

г) Поглощение света в дихроических пластинках.

У некоторых двоякопреломляющих кристаллов (например, турмалина) коэффициенты поглощения света для двух взаимно перпендикулярных поляризованных лучей отличаются настолько сильно, что уже при небольшой толщине кристалла один из лучей гасится практически полностью и из кристалла выходит линейно поляризованный пучок света. Это явление называется дихроизмом. В настоящее время дихроические пластинки изготавливают в виде тонких пленок - поляроидов, имеющих широкое применение. В большинстве случаев они состоят из множества маленьких (толщиной до $0,3$ мм) параллельно ориентированных кристаллов сернокислого йодистого хинина-герапатита, находящихся внутри связующей среды - прозрачной пленки.

Для исследования характера и степени поляризации света применяют устройства, называемые анализаторами. В качестве анализаторов используют тоже устройства, которые служат для получения линейно-поляризованного света (поляризаторы).

Пусть на поляризатор падает плоскополяризованный свет амплитуды A_0 и интенсивностью I_0 (Рис. 5). Сквозь поляризатор пройдет составляющая колебания с амплитудой $A = A_0 \cos \alpha$, где α - угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора. А так как интенсивность света пропорциональна квадрату его амплитуды, то интенсивность прошедшего света определяется выражением $I = I_0 \cos^2 \alpha$.

Это соотношение носит название закона Малюса.

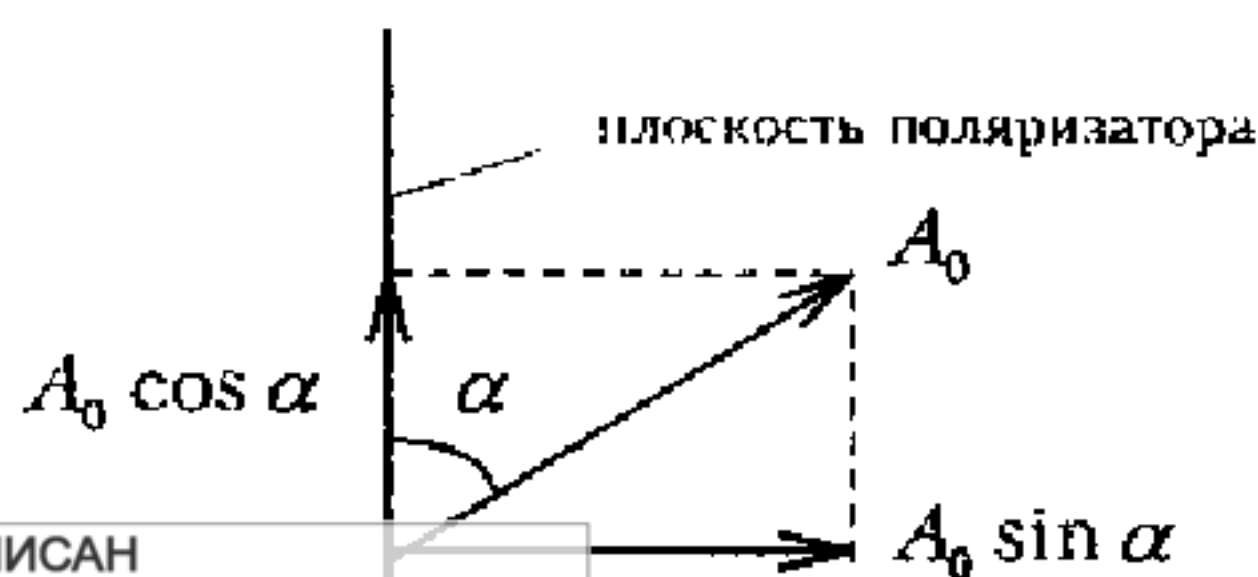
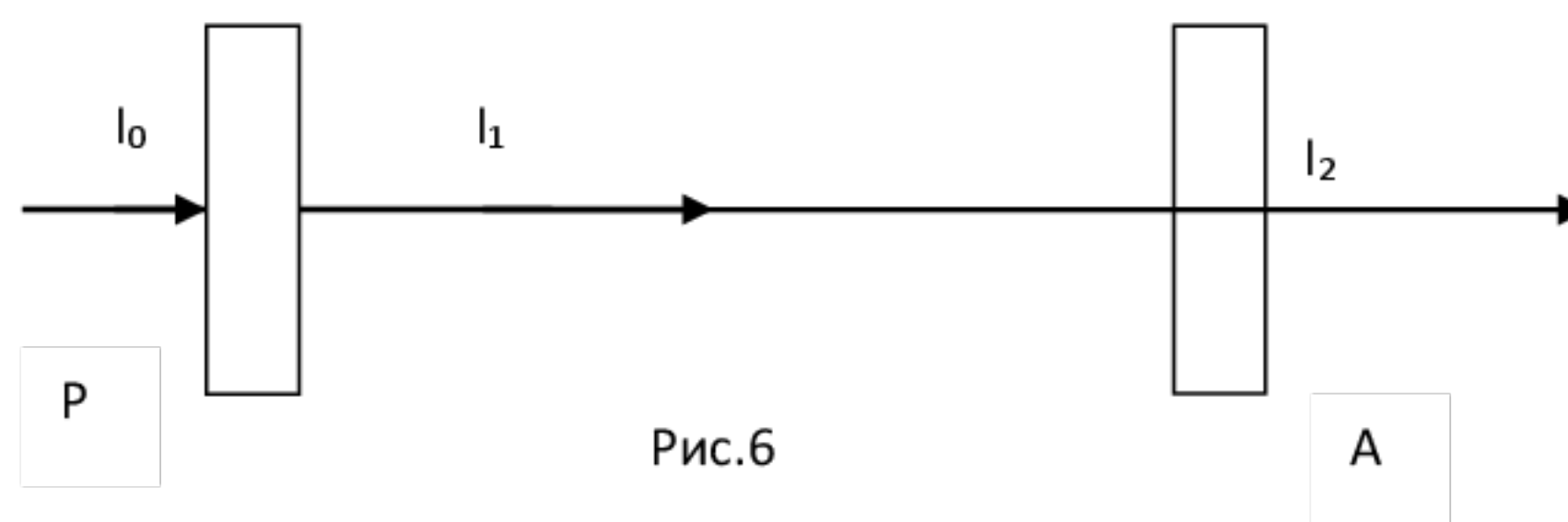


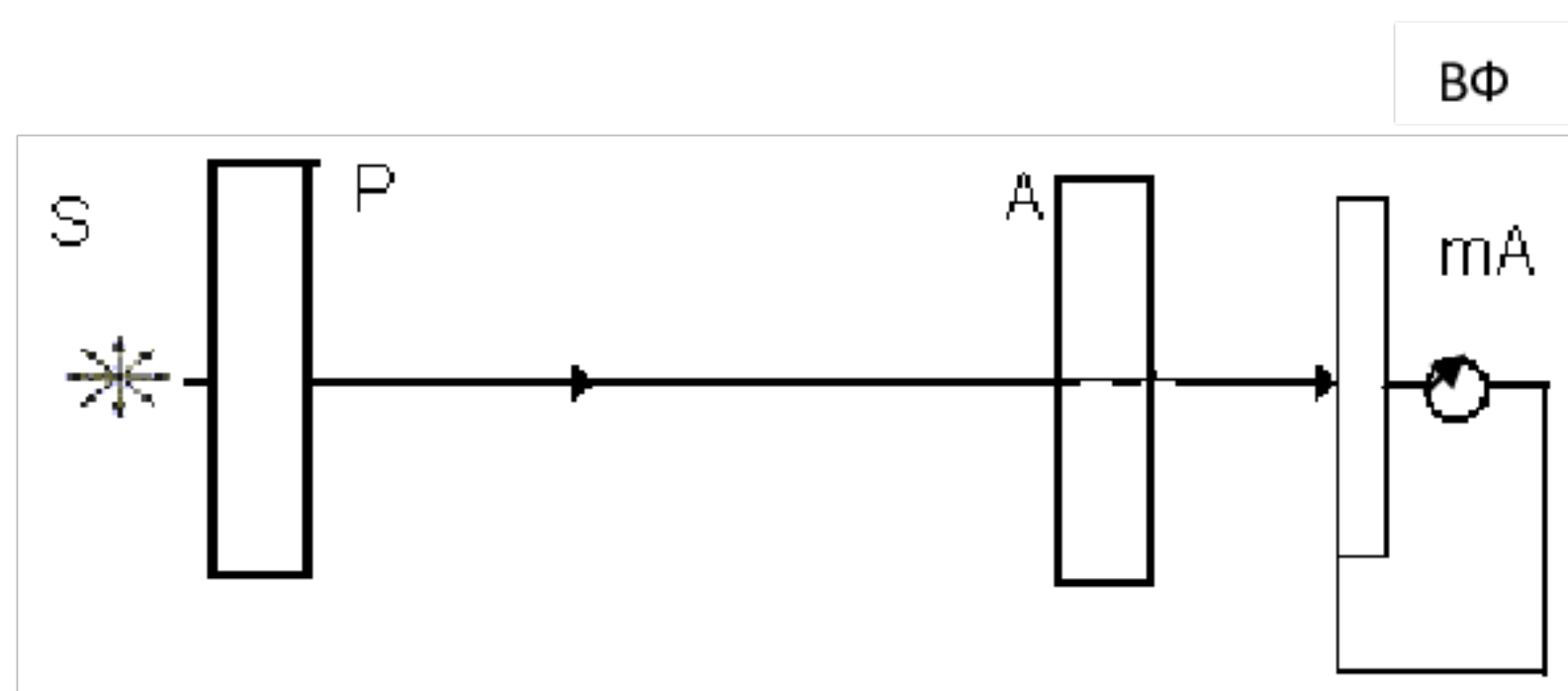
Рис. 5

Поставим на пути естественного луча поляризатор Р и анализатор А (рис.6). Из поляризатора выйдет плоскополяризованный свет, интенсивность которого составит половину интенсивности естественного света, т.е. $I_1 = I_0 / 2$. Согласно закону Малюса из анализатора выйдет свет интенсивностью: $I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$ (где α угол между плоскостями поляризатора и анализатора). Таким образом, интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор равна $I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$.



Описание установки.

В настоящей работе для получения и исследования линейного поляризованного света применяют поляроиды. Они изготавливаются из очень мелких кристаллов турмалина или герпатита, нанесенных на целлулоидную пленку. Оптические оси кристаллов специальным образом ориентируют в одном направлении. Кристаллы турмалина пропускают свет только с определенной ориентацией светового вектора и почти полностью поглощают все перпендикулярные составляющие светового вектора к направлению оси кристалла. Схема установки приведена на Рис 7.



Свет от источника света S проходит через неподвижный поляризатор Р. Анализатор А закреплен во вращающемся диске. Угол поворота анализатора измеряется по шкале диска, разделенной на 360 делений. Пройдя поляризатор и анализатор, свет падает на вентильный фотоэлемент ВФ (солнечный элемент). При не очень больших освещенностях сила фототока пропорциональна световому потоку. Величина фототока измеряется микроамперметром. Между поляризатором и анализатором имеется камера, в которую можно помещать образцы для наблюдения явления фотоупругости и интерференции поляризованных лучей.

Оборудование по заказу.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Угол поворота анализатора. 2. Источник света. 3. Микроамперметр.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Включить источник света.
2. Вращая анализатор, добиться максимального отброса стрелки микроамперметра (А может быть следует добиваться минимального? Почему? Чему равен угол в этом случае?).
3. Записывают показания микроамперметра и в дальнейшем, поворачивая анализатор, через 10 градусов записывают соответствующие значение тока.
4. Каким образом по полученным данным можно убедиться в правильности закона Малюса? Какие графики из ниже перечисленных следует построить для проверки закона? (выбор аргументировать)

$$I = f(\varphi), I_2 = f(\varphi), \frac{I}{I_0} = f(\varphi), \frac{I}{I_0} = f(\cos \varphi), \frac{I}{I_0} = f(\cos^2 \varphi)$$

5. Построить график зависимости.
6. Сделать вывод.

Результаты измерений.

α	I	$\cos \alpha$	$\cos 2\alpha$

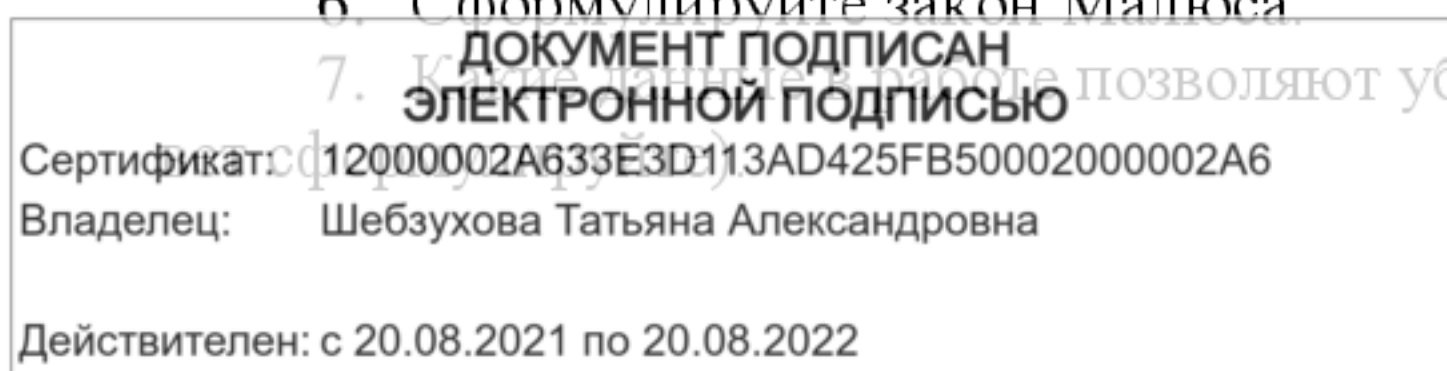
Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что представляет из себя световая волна?
2. Какие действия оказывает свет? Благодаря чему это возможно?
3. Что такое поляризация? Какой свет называют естественным? Поляризованным?
4. Опишите виды поляризации.
5. Перечислите способы получения поляризованного света.
6. Сформулируйте закон Малюса.
7. Какие опыты позволяют убедиться в справедливости закон Малюса ? (от-



Лабораторная работа № 8

Тема работы. Изучение внешнего фотоэффекта

Цель работы. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника.

Теоретическая часть.

Различают три вида фотоэффекта:

- **Внешним фотоэффектом** называется вырывание электронов из вещества под действием электромагнитного излучения. Внешний фотоэффект наблюдается преимущественно в проводниках.
- При **внутреннем фотоэффекте** электроны под действием света теряют связь со своими атомами и молекулами, но остаются внутри вещества. Такой вид фотоэффекта возможен только в полупроводниках.
- **Вентильный фотоэффект** заключается в возникновении фото-э.д.с. при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла без наличия внешнего электрического поля.

В данной работе для изучения закономерностей *внешнего фотоэффекта* используют вакуумный фотоэлемент. Он представляет собой стеклянный откачанный сферический баллон, в центре которого расположен анод **A** в виде кольца или пластинки (рис.1). Часть внутренней поверхности баллона покрыта тонким слоем металла, который служит *фотокатодом*. На рис.1. изображена принципиальная схема, с помощью которой исследуется внешний фотоэффект. Между **анодом** и **катодом** источник тока создает электрическое поле. Так как электрическая цепь разомкнута, то при отсутствии света электрический ток через фотоэлемент не идет. При освещении катода свет вырывает из него электроны, которые под действием сил электрического поля движутся к аноду. В цепи появляется электрический ток, называемый *фототоком*. Сила фототока измеряется гальванометром **G**, напряжение между анодом **A** и фотокатодом **K** — вольтметром **V**. Изменяя напряжение с помощью потенциометра **P**, находят зависимость силы фототока от напряжения — вольтамперную характеристику.

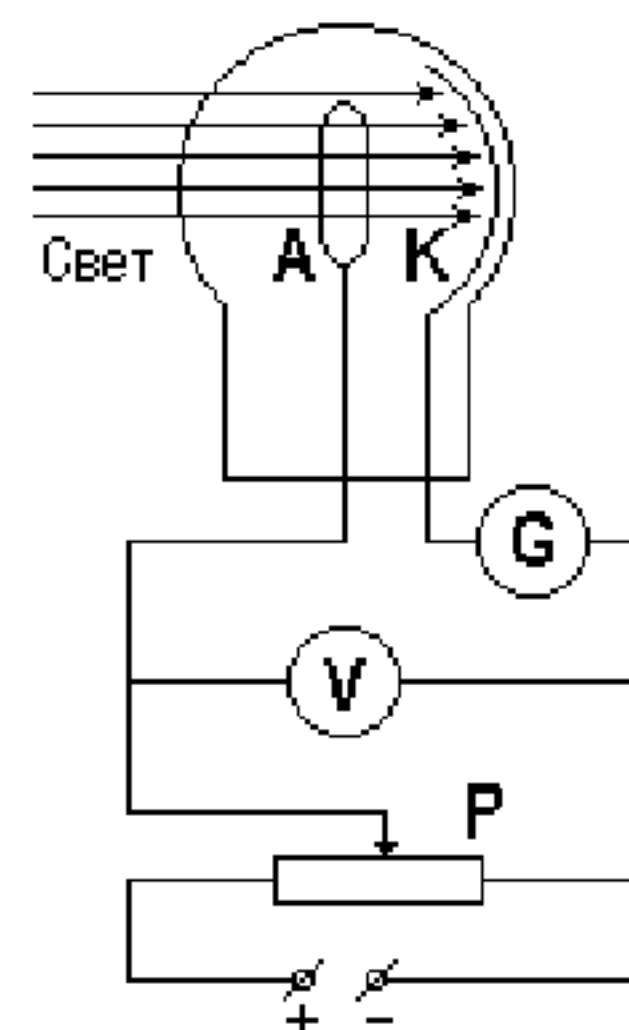


Рис. 1

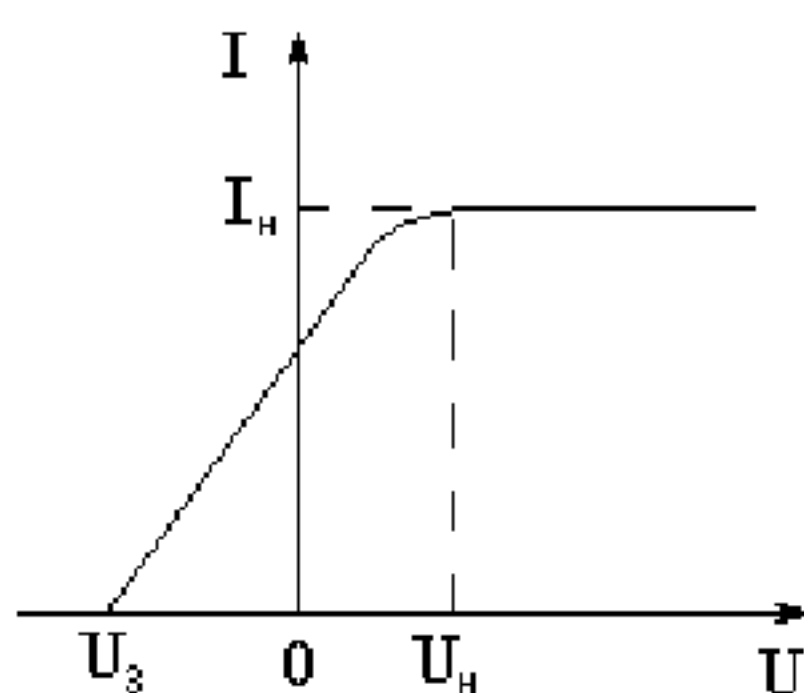


Рис. 2

На рис. 2 изображена вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента. При $U = 0$ (между катодом и анодом электрического поля нет) сила фототока все равно не равна нулю. Это обусловлено тем, что электроны, вырванные светом из катода, имеют некоторую начальную скорость V (а значит, и кинетическую энергию) и часть из них может достигать анода и при отсутствии электрического поля.

Если увеличивать напряжение между катодом и анодом (подавая отрицательный потенциал на катод, а на анод — положительный), будет увеличиваться сила тока. Это объясняется тем, что теперь электроны, которые при $U = 0$ не достигали анода, под действием сил электрического

поля притягиваются к аноду.

Из графика видно, что при некотором значении $U = U_n$ сила фототока достигает

наибольшее значение I_n . Дальнейшее увеличение напряжения уже не вызывает роста силы тока. Это значит, что все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Если за единицу времени свет вырывает из фотокатода n электронов, то ток насыщения будет равен

в объекте исследования, устанавливая и измеряя питающие напряжения на фотоэлементе, а также осуществлять функции управления установкой (установка режимов прямого или обратного измерения и т.п.). В состав устройства измерительного входят также источники его питания.

На передней панели устройства измерительного размещены следующие органы управления и индикации: кнопка ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ с соответствующими индикаторами - предназначена для включения прямого или обратного режимов измерения; кнопки "+", "-" и СБРОС - предназначены для регулировки напряжения на фотоэлементе и его сброса в ноль; индикаторы В и мкА - предназначены для индикации значений величин напряжения на фотоэлементе и фототока в процессе работы. На задней панели устройства измерительного расположены выключатель СЕТЬ, клемма заземления, держатели предохранителей (закрыты предохранительной скобой), сетевой шнур с вилкой и разъем для подключения объекта исследования.

Устройство измерительное с помощью сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

5. Принцип действия установки основан на измерении тока через фотоэлемент при изменении полярности и величины приложенного к нему напряжения и изменения спектрального состава и величины освещенности катода фотоэлемента.

6. В процессе выполнения лабораторных работ снимаются зависимости тока через фотоэлемент от приложенного к нему напряжения. При этом меняется полярность напряжения (т.е. отдельно снимаются прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики фотоэлемента). Характеристики снимаются при различных значениях освещенности и при изменении длины волны освещения фотоэлемента. По результатам измерений строятся семейства вольтамперных характеристик и, используя соответствующие методы расчета, численно оценивается значение постоянной Планка.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

Построение вольтамперной характеристики фотоэлемента.

1. Установите на объект исследования фотоприемник с исследуемым фотоэлементом и задвиньте бленду осветителя в окно фотоэлемента.
2. Подключите сетевые шнуры устройства измерительного и объекта исследования к сети и включите устройство измерительное выключателем СЕТЬ на его задней панели. При этом должен загореться индикаторы ОБРАТНАЯ, В и мкА устройства измерительного. На индикаторе В должны установиться нули (допускается индикация до значения 2 младшего разряда). После 5 минутного прогрева ручками УСТАНОВКА НУЛЯ на объекте исследования установить нулевое значение на индикаторе мкА устройства измерительного.
3. Включите объект исследования выключателем СЕТЬ на его передней панели. При этом должен загореться индикатор СЕТЬ объекта исследования.

4. Дать лампе прогреться в течение 15 мин.

5. С помощью переключателя ОБРАТНАЯ выбрать необходимый режим измерения.

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна поворотом диска блока СФ.

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

7. Изменяя значения напряжения через 0,5 В с помощью кнопок "+" и "-" и считывая показания фототока с индикатора "мкА" получите данные для построения вольтамперной характеристики.

8. Устанавливая диск со светофильтрами в положение "5" и проверяя установку нуля тока при нулевом значении напряжения, повторите действия по пп. 5...7 настоящего раздела для других светофильтров (СФ2-СФ4).

Примечание 1: При необходимости с помощью поворота кольца, расположенного на выходном окне объекта исследования можно изменять освещенность фотоэлемента.

Примечание 2: При определении запирающего напряжения фотоэлемента необходимо нулевое значение тока считывать при уменьшении напряжения от нулевого значения до значения запирающего напряжения, а не наоборот. Не рекомендуется также устанавливать значение напряжения ниже запирающего.

9. По окончании работы необходимо отключить питание установки выключателями СЕТЬ (на задней панели устройства измерительного и передней панели объекта исследования) и отключить сетевые вилки устройства измерительного и объекта исследования от питающей сети.

10. Режим работы установки прерывистый - через каждые 45 минут работы перерыв на 15-20 мин.

По данным таблицы 1 построить вольтамперную характеристику, то есть график зависимости силы фототока I (абсцисса) от напряжения на фотоэлементе U (ордината).

Таблица 1

Определение работы выхода электрона, красной границы фотоэффекта и постоянной Планка

СФ №1	$U, В$																		
	$I, мкА$																		
СФ №2	$U, В$																		
	$I, мкА$																		
СФ №3	$U, В$																		
	$I, мкА$																		
СФ №4	$U, В$																		
	$I, мкА$																		

1. С помощью кнопки ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ выбрать режим измерения ОБРАТНАЯ (не делаем установку нуля как в первой части работы!).
2. Изменяя значения напряжения с помощью кнопок "+" и "-" установить показания индикатора фототока "мкА" равным 0. Занести полученное значение задерживающего напряжения U_3 в таблицу 2.
3. Повторить пункты 1 и 2 для других светофильтров.
4. По полученным экспериментальным значениям U_3 рассчитать:

а) кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$W_K = e \cdot U_3$$

б) работу выхода электрона:

$$A_{ВЫХ} = \frac{h \cdot c}{\lambda} - e \cdot U_3$$

в) красную границу фотоэффекта:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{h \cdot c}{A_{ВЫХ}}$$

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Таблица 2

№ п/п	$\bar{\lambda}$, мкм	U_3 , В	W_K 10^{-19} Дж	$A_{\text{вых}}$, 10^{-19} Дж	$\bar{\lambda}_{\text{max}}$, мкм

5. По полученным данным построить график зависимости U_3 от ν , где $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
6. Используя полученный график, вычислить по формуле $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U_3}{\Delta \nu} = \frac{h}{e}$ и оценить погрешность измерений.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что называется фотоэффектом? Какие бывают виды фотоэффекта?
2. В чем заключаются законы фотоэффекта?
3. Как связаны длина волны и частота фотона?
4. Какая именно особенность фотоэффекта не может быть объяснена с точки зрения волновой теории света?
5. Запишите и объясните уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Что называется красной границей фотоэффекта и от чего она зависит?
7. От чего зависит максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
8. Нарисуйте и объясните вольтамперную характеристику фотоэффекта.
9. На чем основан способ определения красной границы фотоэффекта в данной работе?

Лабораторная работа № 9

Тема работы. Изучение энергетического спектра электронов

Цель работы. Определение длины пробега элементарных частиц в воздухе при атмосферном давлении и определение максимальной энергии бета-частиц при помощи метода поглощения.

Теоретическая часть.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Явление радиоактивности было обнаружено Беккерелем (1890 г.). Он заметил, что некоторые вещества, содержащие уран, обладают замечательной особенностью самопроизвольно, без всякого внешнего воздействия, излучать лучи, способные проходить сквозь непрозрачные для видимого света вещества.

Радиоактивное излучение бывает трех видов: α -лучи, β -лучи и γ -лучи.

α -лучи представляют поток ядер гелиевых атомов, или, иными словами, поток гелиевых ионов с зарядом $+2e$.

Тождественность α -лучей с потоком гелиевых ядер была установлена с помощью следующего опыта, произведенного Содди.

Сосуд А (рис. 1) с помощью тонкой стеклянной перегородки G разделяется на две части В и С. В части В помещалось радиоактивное вещество F, излучающее α -лучи. Перегородка G подбиралась такой толщины, чтобы α -лучи могли проходить сквозь нее. Другая часть этого сосуда С соединялась через кран К с вакуумным насосом, и в этой части создавалось достаточно сильное разрежение.

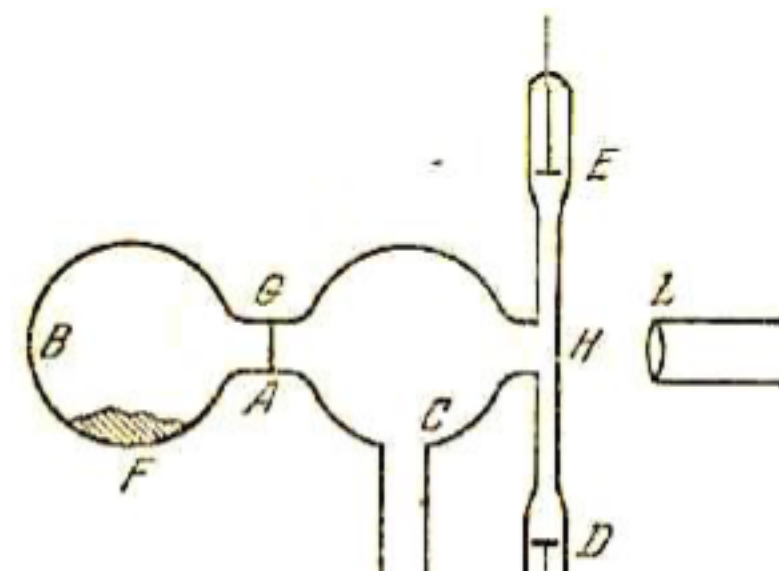


Рис.1 Опыт Содди

В трубке Н, соединенной с сосудом С, помещались два электрода D, E, с помощью которых можно было вызвать разряд в трубке Н. Вакуум в сосуде С создавался столь высокий, что при приложении к D и E разности потенциалов в несколько сотен вольт электрический разряд не возникал. После откачки сосуд А отсоединялся от насоса. Спустя несколько дней, однако, после приложения разности потенциалов между D и E возникал электрический разряд, интенсивность которого с течением времени возрастала.

Свет, исходящий при разряде из трубки Н, был проанализирован с помощью спектрографа. Оказалось, что спектр этого излучения в точности совпадает со спектром излучения, возникающим при электрическом разряде в газообразном гелии.

В трубке Н гелия не было, но сюда из В проникали α -частицы, излучаемые радиоактивным препаратом. Поскольку в результате такого проникновения в трубке С появились атомы гелия, то, следовательно, α -частицы и являются гелием, правда, не атомами, а ядрами гелия. Ядра гелия (α -частицы) захватывают из окружающей среды 2 электрона и превращаются в «нормальные» атомы гелия. Итак, α -частицы являются ядрами атомов гелия.

Характерной величиной их является энергия. Энергия α -частиц велика — порядка нескольких миллионов электронвольт. Различные радиоактивные вещества излучают α -частицы различной энергии, но все α -частицы, излученные данным радиоактивным веществом, имеют вполне определенную энергию.

β -лучи являются потоком отрицательно заряженных частиц. Знак - (минус) при букве

β подчеркивает, что эти частицы несут отрицательный заряд. Отношение $\frac{e}{m}$ для них ока-

залось в точности таким же, как и для электронов. β -лучи являются в действительности потоком электронов. Отличие β -лучей от обычных катодных лучей не качественное, а количественное. Энергия электронов

β -лучей значительно превосходит энергию катодных лучей и имеет величину порядка миллиона электронвольт.

γ -лучи, не отклоняемые ни магнитным, ни электрическим полем, не несут электри-

ческого заряда. γ -лучи аналогичны рентгеновым лучам, но отличаются

Как уже указывалось, радиоактивное излучение производит сильное ионизирующее и фотохимическое действие и по этому действию может быть регистрируемо. Так как отдельные частицы, входящие в состав радиоактивного излучения (α -частицы, β -частицы, γ -кванты), обладают большой энергией, порядка миллиона электронвольт, то представляется возможность наблюдать и регистрировать не только радиоактивное излучение в целом, но и отдельные частицы, входящие в состав этого излучения.

Наиболее часто для регистрации и наблюдения отдельных быстрых частиц применяют три метода:

а) Камера Вильсона. В главе VI был указан принцип действия камеры Вильсона и показаны фотографии путей α -частиц. Камера Вильсона пригодна и для наблюдения путей β -частиц. Значительное усовершенствование в метод камеры Вильсона было внесено Д. В. Скобелцыным.

Скобелцын поместил камеру Вильсона в магнитное поле. Магнитное поле искривляет траекторию β -частиц. В случае, когда β -частица движется перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, ее траекторией является окружность радиуса

$$R = \frac{mcu}{eH}$$

где u - скорость частицы, H - напряженность магнитного поля, e - заряд электрона, c - скорость света. В камере Вильсона, помещенной в магнитном поле, треки электронов представляют части окружностей. По величине радиуса этой окружности можно определить скорость электрона.

б) Счетчик Гейгера-Мюллера. Существуют два варианта счетчиков: счетчик с острием (счетчик Гейгера) и счетчик с нитью (счетчик Гейгера-Мюллера).

Счетчик с нитью (рис.2) представляет цилиндр С, по оси которого натянута нить АВ - тонкая металлическая проволока. Нить в электрическом отношении изолируется от корпуса счетчика С. Счетчик наполняют газом при небольшом давлении.

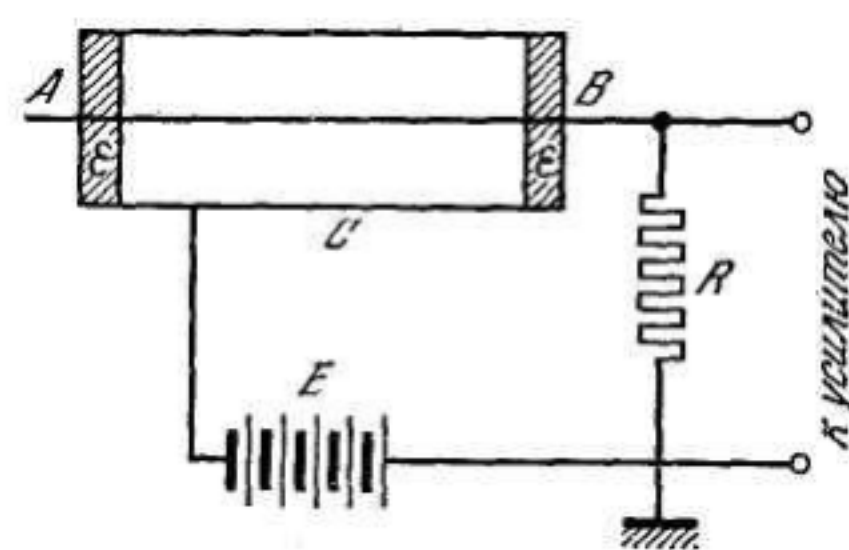


Рис.2 Схема устройства счетчика Гейгера-Мюллера

Между нитью и цилиндрическим корпусом счетчика с помощью батареи Е или специального выпрямительного устройства создают электрическое поле

Такого напряжения, при котором в счетчике может развиваться коронный разряд. Коронный разряд начнет развиваться, если в пространстве между нитью и корпусом окажутся заряженные частицы. Поэтому коронный разряд возникает в счетчике всякий раз, когда в него проникнет ионизирующая частица-электрон или α -частица. Такая частица, двигаясь внутри счетчика, производит ионизацию газа, вследствие чего и возникает коронный разряд. После того как частица покинет счетчик, подключается сопротивление R, величину которого подбирают так, чтобы при развитии коронного разряда на этом сопротивлении возникало падение потенциала. Если это падение потенциала окажется достаточным (около сотни вольт), то возникший в счетчике коронный разряд прервется.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

По возникшему в счетчике Гейгера импульсу тока и судят о том, что через счетчик прошла ионизирующая частица. Наша промышленность выпускает так называемые установки типа «Б», содержащие аппаратуру, необходимую для питания счетчиков, усилитель, с помощью которого импульс тока в счетчике усиливается до такой величины, что приводит в действие реле нумератора, предназначенного для отсчета числа возникших в счетчике Гейгера импульсов. Для того чтобы счетчик Гейгера «сработал», ионизирующая частица должна проникнуть внутрь его - пройти через стенки. Если излучение поглощается стенками счетчика, то применяют для регистрации таких частиц либо очень тонкие стенки, либо специальные тонкие окошки.

В торцевых счетчиках нить заменяется иглой А. В передней стенке счетчика делается отверстие В, закрываемое фольгой нужной толщины (рис. 3).

Счетчики Гейгера применяются и для счета γ -квантов, γ -кванты вызывают в стенках счетчика фотоэлектрический эффект или комптон-эффект. Вырванные из стенок счетчика фото- и комптон-электроны и возбуждают разряд в счетчике.

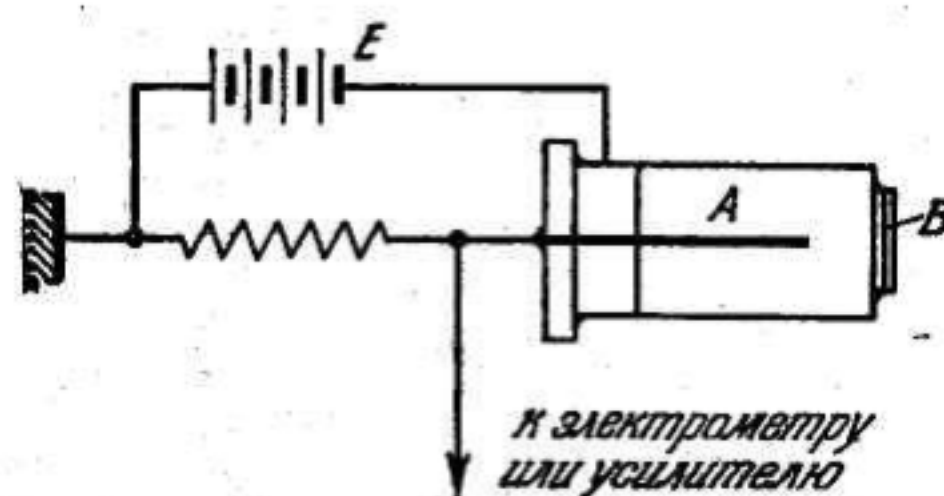


Рис.3 Схема торцевого счетчика.

в) Метод толстослойной фотопластинки. Метод толстослойных фотопластинок был разработан Мысовским и Ждановым. Ими изготовлялись специальные фотопластинки с утолщенным слоем фотоэмульсии (50—300 мк). α -частицы при движении в таком слое вызывают разложение бромистого серебра только в тех зернах, через которые они прошли. После проявления такой пластинки в ней возникают «дорожки» из осадившегося серебра, хорошо видимые в микроскопе. Каждая такая дорожка представляет собой след двигавшейся частицы. По величине пробега α -частицы можно определить ее энергию.

Толстослойные фотопластинки пригодны для регистрации не только α -лучей, но и других сильно ионизирующих частиц - протонов, дейтронов. В настоящее время изготовляются и такие фотопластинки, в которых можно обнаруживать следы частиц не столь сильно ионизирующих, в частности, электронов большой энергии.

Оборудование и материалы.

В работе используется торцевой счетчик Гейгера-Мюллера. Исследуемый радиоактивный источник в герметической капсуле размещен на держателе, свободно перемещающемся по скамье относительно счетчика. Для измерения расстояния между счетчиком и образцом на скамье установлена измерительная линейка, а на держателе образца нанесена риска. Поглотителем бета-частиц является набор тонких алюминиевых пластин, помещенных на специальном держателе. Толщина каждой пластины указана на кольце держателя.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.

3. Работать с радиоактивными материалами, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном в инструкции.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

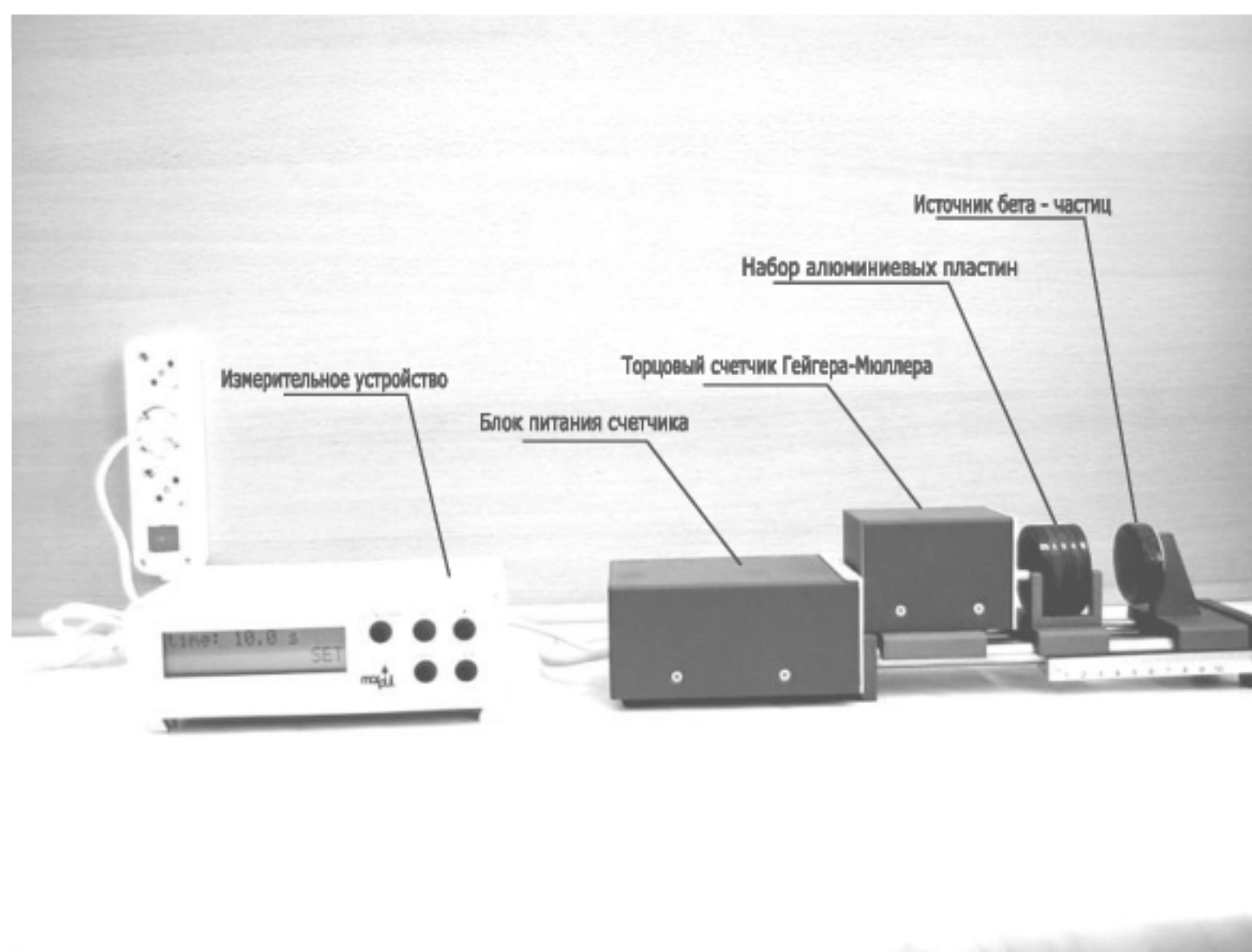
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.

5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Включить приборы установки и дать им прогреться в течение 10 мин.
2. Установить на счетчике рабочее напряжение и определить «фон» счетчика.
3. Поместить в «домик» исследуемый источник бета-излучения и определить начальную интенсивность бета-излучения при отсутствии поглотителя.



4. Используя набор алюминиевых пластин, снять зависимость интенсивности бета-излучения от толщины d поглотителя. Построить по полученным данным кривую поглощения.

5. В целях более точного определения максимального пробега $R_{\text{макс}}$ экстраполяцию необходимо произвести по графику кривой поглощения (по оси ординат откладывают значения $\ln I$, а по оси абсцисс – d).

6. Используя формулу (8) и найденное путем экстраполяции значение $R_{\text{макс}}$, определить величину максимальной энергии бета-частиц.

7. Оценить погрешность результатов.

Снятие зависимости интенсивности элементарных частиц от расстояния до источника излучения

1. Включить установку в сеть установить время регистрации 10 секунд.
3. Установить начальное расстояние R между сцинтилляционным экраном и препаратом, соответствующее нулевой точке шкалы.
4. Используя установку, определить интенсивность I элементарных частиц для начального расстояния R .
5. Увеличить расстояние между экраном и препаратом на 0,5 см и повторить измерения интенсивности.
6. Продолжая увеличивать расстояния R через 0,5 см, повторять измерения интенсивности элементарных частиц по всей длине линейки прибора.

7. Построив график зависимости интенсивности I от расстояния R и параметр разброса s .

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

8. Продифференцировав графически полученную кривую $I = f(R)$ определить средний пробег R_0 как абсциссу максимума кривой: $\frac{dI}{dR} = \psi(R)$

9. Оценить погрешность результатов.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

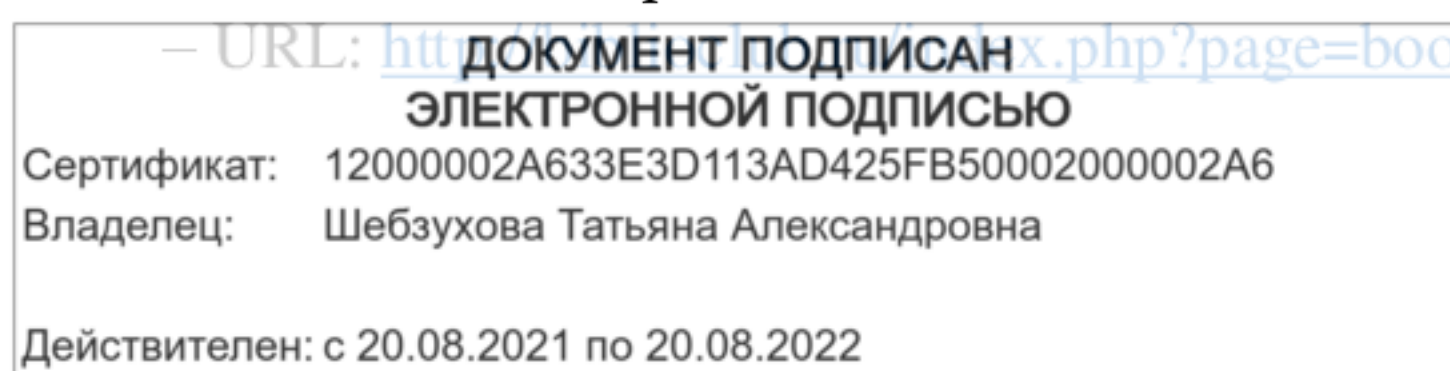
1. Что такое радиоактивность? Виды радиоактивного излучения.
2. Физическая природа α -, β - и γ - излучений.
3. Методы регистрации радиоактивных излучений.
4. Описать работу счетчика Гейгера-Мюллера.
5. Сформулировать правила радиоактивного излучения.
6. Записать формулу радиоактивного распада. Почему классический метод не объясняет природу α -распада?
7. Описать α -распад с позиций квантовой механики.
8. Описать β -распад с позиций квантовой механики.
9. В чем заключается метод определения длины свободного пробега элементарной частицы в данной работе?
10. Записать формулу Гейгера.
11. В чем заключается метод определения энергии элементарных частиц (метод поглощения)?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Физика для вузов: механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебник / В.А. Никеров. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3;-URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772>
2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика : в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. – 304 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=235732>



3. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Физика : в 2 ч. / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. – 232 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=460883>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Лекции по учебной дисциплине «Основы теоретической физики». Электродинамика. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.И. Кухарь. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград: Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2017. — 57 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/70731.html>

2. Никеров, В.А. Физика: современный курс / В.А. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 452 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>.

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Физика».

2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Физика».

3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа №1 Кинематика материальной точки.	
4.2	Практическая работа №2 Динамика материальной точки.	
4.3.	Практическая работа №3 Работа и энергия. Механика твердого тела.	
4.4	Практическая работа №4 Механические колебания и волны.	
4.5	Практическая работа №5 Основы молекулярно-кинетической теории.	
4.6	Практическая работа №6 Основы термодинамики.	
4.7	Практическая работа №7 Электростатика.	
4.8	Практическая работа №8 Проводники в электрическом поле. Электрическое поле в диэлектриках.	
4.9	Практическая работа №9 Законы постоянного тока.	
	Практическая работа №10. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара-Лапласа.	
	Практическая работа №11. Электромагнитное поле.	
	Практическая работа №12. Переменный электрический ток.	
	Практическая работа №13. Геометрическая оптика.	
	Практическая работа №14. Волновая оптика. Интерференция и дифракция света.	
	Практическая работа №15. Квантовая природа излучения.	
	Практическая работа №16. Модели атома Томсона и Резерфорда. Теория атома водорода по Бору.	
	Практическая работа №17. Основы физики атомного ядра. Элементарные частицы.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимой для освоения дисциплины	

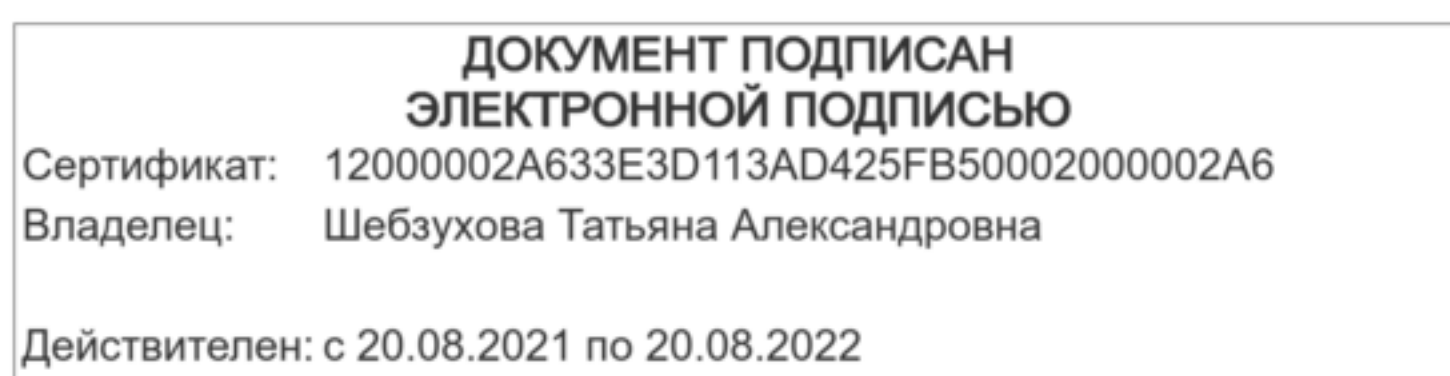
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.



1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
2 семестр			
1	Практическая работа № 1. Кинематика материальной точки. Кинематика поступательного движения. Кинематика вращательного движения материальной точки. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения	1,5	
2	Практическая работа № 2. Динамика материальной точки. Первый закон Ньютона. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Закон движения центра масс	1,5	
	Практическая работа № 3. Работа и энергия. Работа, мощность, энергия. Понятия и взаимосвязь. Закон сохранения энергии. Момент	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	инерции. Законы механики вращательного движения твёрдого тела. Кинетическая энергия при вращательном движении.		
4	Практическая работа №4. Механические колебания и волны. Колебательные процессы в механике. Гармонические колебания. Свободные затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Волновые процессы в механике	1,5	
5	Практическая работа №5. Основы молекулярно-кинетической теории. Основные понятия и законы молекулярно-кинетической теории. Статистические распределения и следствия из них. Элементы физической кинетики	1,5	
6	Практическая работа №6. Основы термодинамики. Внутренняя энергия идеального газа. Внутренняя энергия многоатомного газа Работа в термодинамике. Работа газа при изотермическом процессе. Начала термодинамики и следствия из них.	1,5	
7	Практическая работа №7. Электростатика. Электрические заряды и закон сохранения заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность поля. Теорема Гаусса для напряженности электрического поля. Разность потенциалов. Связь напряженности и разности потенциалов. Основные уравнения электростатики в вакууме	1,5	
8	Практическая работа №8. Проводники в электрическом поле. Электрическое поле в диэлектриках. Проводник во внешнем электрическом поле. Емкость. Конденсаторы. Энергия заряженного проводника. Энергия электрического поля. Поляризация диэлектриков. Диэлектрики в электрическом поле.	1,5	
Итого за 1 семестр:		12	
2 семестр			
9	Практическая работа №9. Законы постоянного тока. Постоянный электрический ток. Закон Ома. Правила Кирхгофа и их применение к расчету электрических цепей. Закон Джоуля – Ленца. Работа и мощность тока. Классическая электронная теория проводимости металлов	1,5	
	Практическая работа №10. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара-Лапласа.	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	Характеристики магнитного поля. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов		
11	Практическая работа №11. Электромагнитное поле. Закон полного тока. Ток смещения. Единая теория электрических и магнитных явлений Максвелла. Система уравнений Максвелла. Скорость распространения электромагнитного поля Релятивистская трактовка магнитных явлений	1,5	
12	Практическая работа №12. Переменный электрический ток. Переменный электрический ток: основные понятия и законы. Вихревое электрическое поле. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока	1,5	
13	Практическая работа №13. Геометрическая оптика. Фотометрия. Основы геометрической оптики. Законы отражения и преломления света. Явление полного внутреннего отражения. Принцип Ферма. Линзы, формула тонкой линзы. Оптическая сила линзы. Изображение предметов с помощью линз. Зеркала. Система линз как основа оптических приборов	1,5	
14	Практическая работа №14. Волновая оптика. Интерференция и дифракция света. Явление интерференции световых волн. Дифракция световых волн. Дифракционная решетка. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Дисперсия света. Поглощение света. Рассеяние света. Эффект Доплера. Поляризация света	1,5	
15	Практическая работа №15. Квантовая природа излучения. Законы теплового излучения. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Масса, энергия и импульс фотона. Давление света. Эффект Комптона и его элементарная природа	1,5	
16	Практическая работа №16. Модели атома Томсона и Резерфорда. Теория атома водорода по Бору. Модель атома Томсона. Модель атома Резерфорда. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору. Корпускулярно-волновой дуализм свойств	1,5	

16 ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	вещества. Некоторые свойства волн де Бройля. Общее уравнение Шредингера. Элементы современной физики атомов и молекул		
17	Практическая работа №17. Основы физики атомного ядра. Элементарные частицы. Состав, заряд атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Дефект массы и энергия связи ядра. Спин ядра и его магнитный момент. Ядерные силы, их свойства, модели ядра. Закон радиоактивного распада. Элементарные частицы. Космическое излучение. Классификация элементарных частиц. Физическая картина мира.	1,5	
Итого за 2 семестр		13,5	
Итого		25,5	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание лабораторных работ

Раздел 1. Механика

Практическое занятие 1.

Тема занятия. Кинематика материальной точки

Цель занятия. Изучить закономерности движения материальной точки.

Теоретическая часть.

Поступательное движение

Средняя (путевая) скорость:

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где Δs – путь, пройденный точкой за интервал времени Δt . Путь Δs не может убывать и принимать отрицательные значения, т.е. $\Delta s \geq 0$.

Мгновенная скорость (проекция на ось x):

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

Среднее ускорение:

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

Мгновенное (линейное) ускорение (проекция на ось x):

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Основные уравнения кинематики поступательного движения: скорость и путь равнопеременного поступательного движения:

$$v = v_0 + at,$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}, s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

где v_0 – начальная скорость (в момент времени $t = 0$); для равнозамедленного движения $a < 0$, для равноускоренного $a > 0$).

При движении тела по вертикальному направлению в поле силы тяжести Земли $a = g$.

Движение материальной точки по окружности

Угловая скорость	
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Связь между линейными и угловыми величинами при движении точки по окружности:

$$v = \omega R, \quad a_t = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R,$$

где v – модуль линейной скорости; a_t и a_n – модули тангенциального и нормального ускорений; ω – модуль угловой скорости; ε – модуль углового ускорения; R – радиус окружности.

Модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}.$$

Основные уравнения кинематики вращательного движения: угловая скорость и угловой путь

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t,$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}.$$

Для равнопеременного вращательного движения ($\varepsilon = \text{const}$), $\varepsilon > 0$ – ускоренное вращение, $\varepsilon < 0$ – замедленное вращение.

Связь частоты вращения n и угловой скорости:

$$\omega = 2\pi n.$$

Связь углового перемещения и числа оборотов N :

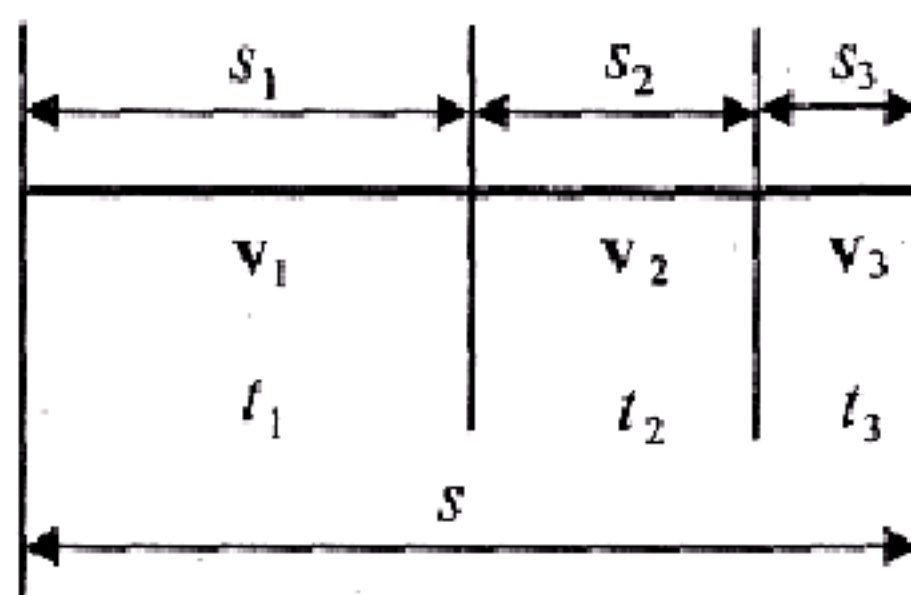
$$\varphi = 2\pi N.$$

Примеры решения задач

Задача 1. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью $v_1 = 16$ км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью $v_2 = 12$ км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью $v_3 = 5$ км/ч. Определите среднюю скорость движения студента на всем пути.

Решение:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	



Длина первой части пути $s_1 = v_1 t_1$, второй части пути $s_2 = v_2 t_2$, третьей части, $s_3 = v_3 t_3$.

По условию, $s_1 = s_2 + s_3$, а время $t_2 = t_3$. Средняя скорость

$$\langle v \rangle = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3},$$

так как s_1 - половина пути, то весь путь равен $2s_1$, время $t_1 = s_1/v_1$, оставшееся время $t_2 + t_3 =$, тогда

$$\langle v \rangle = \frac{2s_1}{\frac{s_1}{v_1} + \frac{2s_1}{v_2 + v_3}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3}.$$

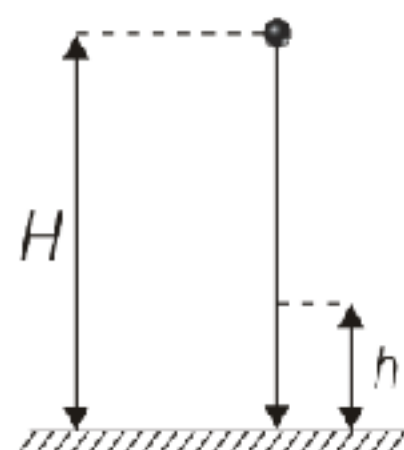
Задача 2. Последние 2 метра пути вертикально падающее тело прошло за 0,3 с. С какой высоты падало тело?

Дано:

$$h = 2\text{ м}$$

$$t_2 = 0,3\text{ с}$$

$$H = ?$$



Высоту H падения тела (без начальной скорости) можно определить по формуле

$$H = \frac{gt^2}{2}. \text{ Здесь } t - \text{ полное время падения. Очевидно } t = t_1 + t_2, \text{ где } t_1 - \text{ время прохождения}$$

первого участка пути, а t_2 - время прохождения последних 2-х метров пути.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Запишем уравнение движения для двух последних метров пути, считая движение рав-

ноускоренным:

$$h = v_1 t_2 + \frac{gt_2^2}{2},$$

где v_1 – скорость, с которой тело «входит» в этот участок пути.

Следовательно,

$$v_1 = \frac{h - \frac{gt_2^2}{2}}{t_2} = \frac{h}{t_2} - \frac{gt_2}{2}. \quad (1)$$

Первый участок пути тело проходит без начальной скорости, т.е. $v_0 = 0$, а так как $g = \frac{v_1 - v_0}{t_1}$, то $t_1 = \frac{v_1}{g}$. Учитывая (1), получим $t_1 = \frac{h}{gt_2} - \frac{t_2}{2}$.

Таким образом, общее время движения тела $t = t_1 + t_2$ равно

$$t = \frac{h}{gt_2} - \frac{t_2}{2} + t_2 = \frac{h}{gt_2} + \frac{t_2}{2} \quad (2)$$

Подставляя (2) в формулу для H , окончательно, получим

$$H = \frac{g}{2} \left(\frac{h}{gt_2} + \frac{t_2}{2} \right)^2 = \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{2}{10 \cdot 0,3} + \frac{0,3}{2} \right)^2 \approx 3,33 \text{ м.}$$

Задача 3. Тело брошено с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Определить максимальную высоту подъема, дальность полета, а так же тангенциальное и нормальное ускорения, радиус кривизны траектории в начальный момент времени.

Дано:

$$v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

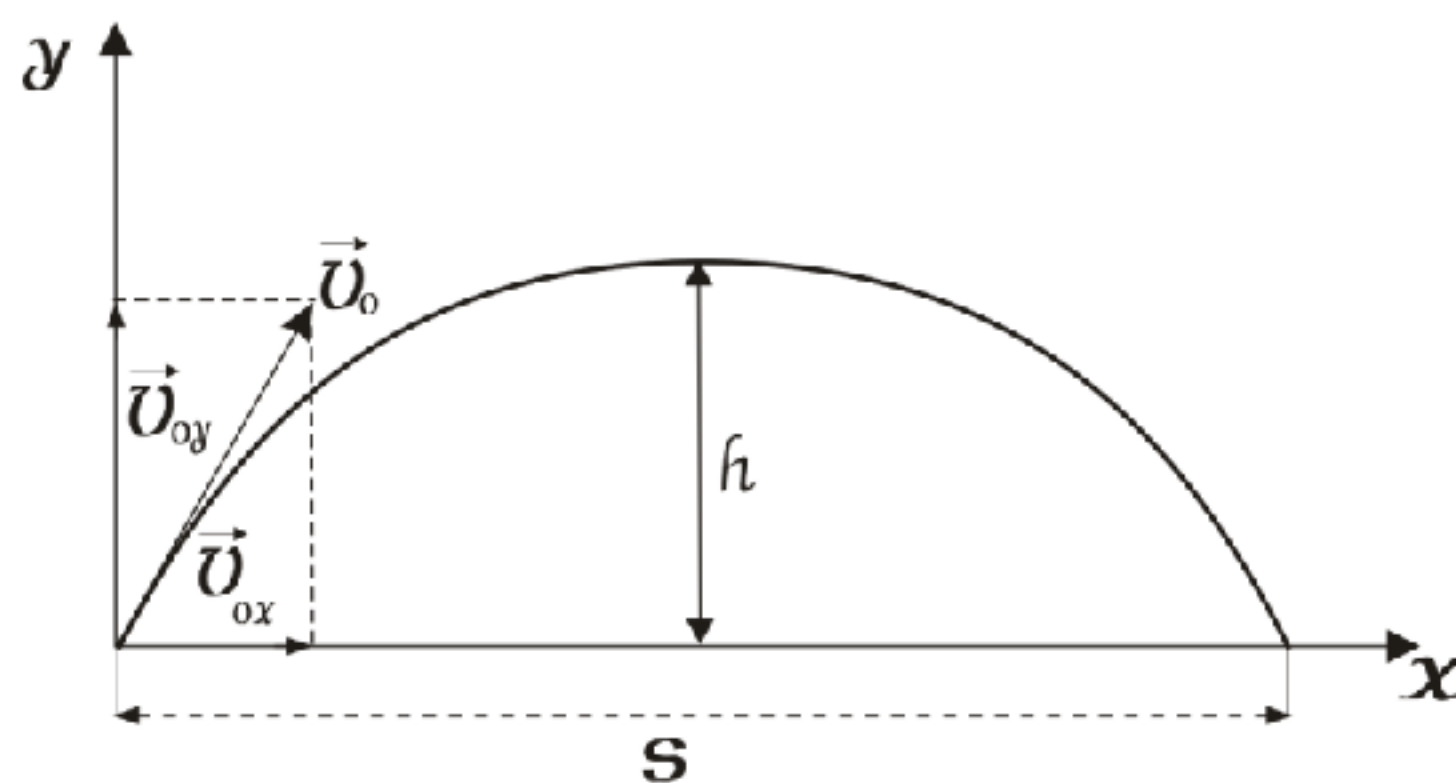
$$h = ?$$

$$S = ?$$

$$a_\tau = ?$$

$$a_n = ?$$

$$R = ?$$



Воспользуемся принципом суперпозиции движений: движение тела представим как два независимых движения вдоль осей координат X и Y .

Из треугольника скоростей найдем начальные скорости

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha. \quad (1)$$

Вдоль оси X движение равномерное (при отсутствии сопротивления движению, других сил, действующих вдоль оси X , нет). Поэтому v_x не изменяется, то есть $v_x = v_{0x}$.

Вдоль оси Y движение – равноускоренное за счет силы тяготения. При подъеме на высоту h скорость v_y изменяется со временем по закону: $v_y = v_{oy} - gt$. Считая, что в максимальной точке подъема $v_y = 0$, найдем время подъема t_1 : $v_{oy} = gt_1$. Учитывая (1), получим

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (2)$$

Из уравнения движения вдоль оси y найдем высоту подъема

$$h = v_{oy} \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = v_0 \cdot \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = 5 \text{ м.}$$

Из уравнения равномерного движения вдоль оси X , найдем дальность полета S :

$$S = v_{ox} \cdot t = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t,$$

где t – общее время движения, из соображений симметрии, равное удвоенному времени подъема, т.е. $t = 2 t_1$. Тогда

$$S = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot 2t_1 = 2v_0 \cos \alpha \cdot v_0 \frac{\sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = 34,6 \text{ м.}$$

Тангенциальное ускорение, по определению, $a_\tau = \frac{dv}{dt}$, а так как скорость

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \text{ и } v_x = v_{ox}, \text{ а } v_y = v_{oy} - gt, \text{ значит } v = \sqrt{v_{ox}^2 + (v_{oy} - gt)^2}.$$

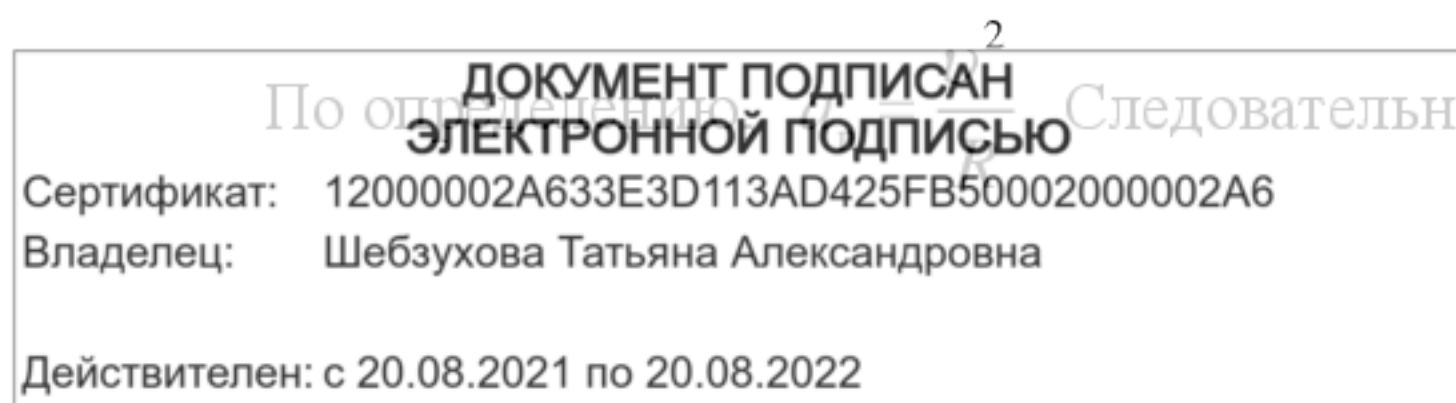
Следовательно
$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d\sqrt{v_{ox}^2 + (v_{oy} - gt)^2}}{dt} = \frac{(v_{oy} - gt) \cdot g}{\sqrt{(v_{oy} - gt)^2 + v_{ox}^2}}$$

В начальный момент времени $t=0$,

$$a_\tau = \frac{v_{oy} \cdot g}{\sqrt{v_{ox}^2 + v_{oy}^2}} = \frac{v_{oy} \cdot g}{v_0} = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha \cdot g}{v_0} = g \cdot \sin \alpha = 5 \text{ м/с}^2.$$

Полное ускорение движения тела, очевидно, равно ускорению свободного падения g . Поэтому $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = g$.

Откуда $a_n = \sqrt{g^2 - a_\tau^2} = 8,66 \text{ м/с}^2$.



$$R = \frac{v^2}{a_n} = 46,2 \text{ м.}$$

Задача 4. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$, $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $A_1 = 4$ м/с, $B_1 = 8$ м/с², $C_1 = -16$ м/с³, $A_2 = 2$ м/с, $B_2 = -4$ м/с², $C_2 = 1$ м/с³. В какой момент времени t ускорение этих точек будут одинаковы? Найти скорости U_1 и U_2 точек в этот момент времени.

Дано:

Для одномерного движения ускорение есть вторая

производная от координаты, то есть $a = d^2 x / dt^2$

$$x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$$

или первая производная от скорости то есть $a = dv / dt$.

$$x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$$

Поэтому надо, вначале определить скорости точек:

$$A_1 = 4 \text{ м/с.}$$

$$v_1 = \frac{dx_1}{dt} = (A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3)' = A_1 + 2B_1 t + 3C_1 t^2 \quad (1)$$

$$A_2 = 2 \text{ м/с.}$$

$$v_2 = \frac{dx_2}{dt} = (A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3)' = A_2 + 2B_2 t + 3C_2 t^2 \quad (2)$$

$$B_1 = 8 \text{ м/с}^2.$$

Теперь найдем ускорения.

$$B_2 = -4$$

$$\text{м/с}^2.$$

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt} = (A_1 + 2B_1 t + 3C_1 t^2)' = 2B_1 + 6C_1 t \quad (3)$$

$$C_1 = -16 \text{ м/с}^3$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} = (A_2 + 2B_2 t + 3C_2 t^2)' = 2B_2 + 6C_2 t \quad (4)$$

$$C_2 = 1 \text{ м/с}^3$$

$$a_1 = a_2$$

Приравняв (3) и (4), найдем t :

$$t = ? \quad U_1 = ? \quad U_2 = ?$$

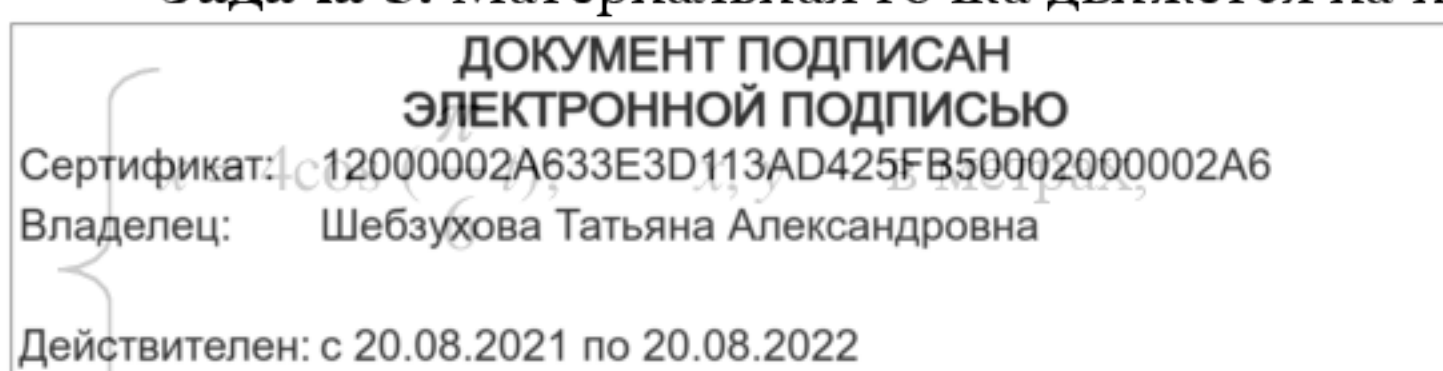
$$t = \frac{B_1 - B_2}{3(C_2 - C_1)} = \frac{8 - (-4)}{3(1 - (-16))} = 0,235 \text{ с.}$$

Теперь подставим это значение t в (1) и (2):

$$v_1 = 4 + 2 \cdot 8 \cdot 0,235 + 3 \cdot (-16) \cdot (0,235)^2 = 5,1 \text{ м/с,}$$

$$v_2 = 2 + 2 \cdot (-4) \cdot 0,235 + 3 \cdot 1 \cdot (0,235)^2 = 0,286 \text{ м/с.}$$

Задача 5. Материальная точка движется на плоскости согласно уравнениям:



$$y = 3 \sin\left(\frac{\pi}{6} t\right); \quad t - \text{в секундах.}$$

Найти: 1) уравнение траектории;

2) координаты точки;

3) полную скорость;

4) полное ускорение;

5) тангенциальное и нормальное ускорение;

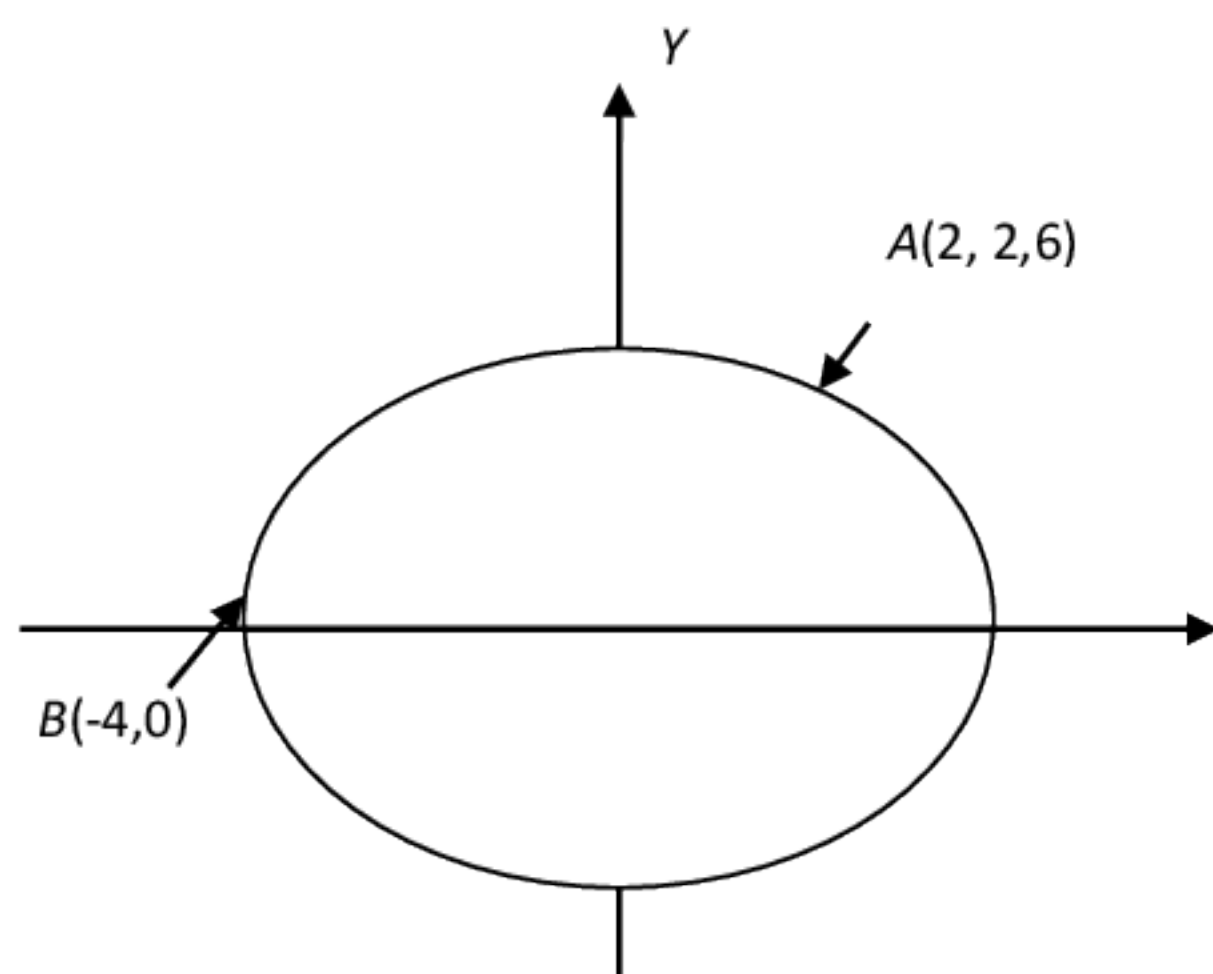
6) радиус кривизны траектории в моменты времени $t_1=2$ с и $t_2=6$ с.

Решение:

1. Для нахождения уравнения траектории (зависимости одной координаты от другой) исключим из уравнений переменную величину t :

$$\begin{cases} \frac{x}{4} = \cos\left(\frac{\pi}{6} t\right) \\ \frac{y}{3} = \sin\left(\frac{\pi}{6} t\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{4^2} = \cos^2\left(\frac{\pi}{6} t\right) \\ \frac{y^2}{3^2} = \sin^2\left(\frac{\pi}{6} t\right) \end{cases} \Rightarrow \frac{x^2}{4^2} + \frac{y^2}{3^2} = 1$$

Это уравнение эллипса с полуосями $a = 4$ м, $b = 3$ м.



В момент $t_1 = 2$ с

$$x_1 = 4 \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot 2\right) \Rightarrow x_1 = 4 \cos \frac{\pi}{3} = 2 \text{ м}$$

$$y_1 = 3 \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot 2\right) \Rightarrow y_1 = 3 \sin \frac{\pi}{3} = 2,6 \text{ м}$$

В момент $t_2 = 6$ с: $x_2 = 4 \cos(\pi) = -4$ м, $y_2 = 3 \sin(\pi) = 0$ м.

Таких образом, в момент времени $t_1 = 0$ координаты точки: $A(x, y) = (2, 2, 6)$;
в момент времени $t_2 = 6$ с координаты точки: $B(x, y) = (-4, 0)$.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

2. Для нахождения полной скорости найдем v_x и v_y в моменты $t_1 = 2$ с и $t_2 = 6$ с:

$$v_x = x' = \frac{dx}{dt} = \left(4 \cos \frac{\pi}{6} \cdot t \right)' = -\frac{4\pi}{6} \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right) = \frac{2}{3} \pi \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right)$$

$$v_y = y' = \left(3 \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right) \right)' = \frac{3\pi}{6} \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right) = \frac{1}{2} \pi \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right)$$

$$v_{x1} = -\frac{4\pi}{6} \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot 2 \right) = -\frac{4\pi}{6} \sin \left(\frac{\pi}{3} \right) = -1,81 \text{ м/с.}$$

$$v_{y1} = \frac{1}{2} \pi \cos(60^\circ) = 0,785 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{полн. 1}} = \sqrt{(-1,8)^2 + (0,785)^2} = 1,98 \text{ м/с.}$$

Аналогично находим, что

$$v_{x2} = -\frac{4\pi}{6} \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot 6 \right) = 0 \text{ м/с,} \quad v_{y2} = \frac{1}{2} \pi \cos(\pi) = -1,57 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{полн. 2}} = 1,57 \text{ м/с.}$$

3. Для нахождения полного ускорения $a_{\text{полн}}$ найдем a_x и a_y в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 6$ с:

$$a_x = v_x' = -\frac{4}{6^2} \pi^2 \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right), a_y = v_y' = -\frac{3}{6^2} \pi^2 \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot t \right)$$

$$a_{x1} = -\frac{1}{9} \pi^2 \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot 2 \right) = -\frac{1}{9} \pi^2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{3} \right) = -0,55 \text{ м/с}^2.$$

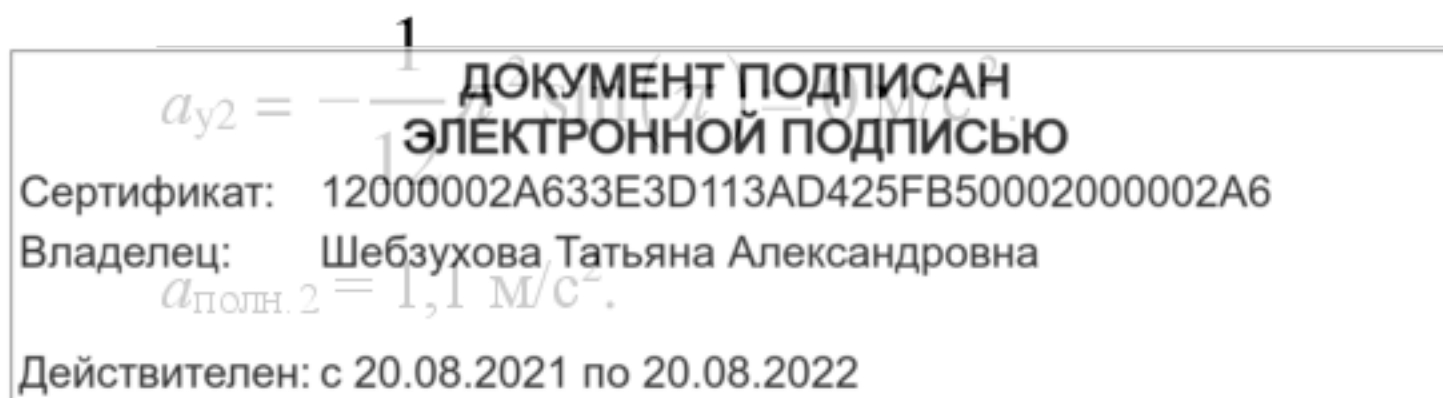
$$a_{y1} = -\frac{1}{12} \pi^2 \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot 2 \right) = -\frac{1}{12} \pi^2 \sin \left(\frac{\pi}{3} \right) = -0,71 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{\text{полн. 1}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 0,9 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{x2} = -\frac{1}{9} \pi^2 \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot 6 \right) = -\frac{1}{9} \pi^2 \cos(\pi) = 1,1 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{y2} = -\frac{1}{12} \pi^2 \sin(\pi) = 0 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{\text{полн. 2}} = 1,1 \text{ м/с}^2.$$



4. Найдем нормальное (центростремительное) ускорение: $a_n = \frac{v^2}{R}$, тангенциальное ускорение $a_x = \frac{dv}{dt}$.

Найдем $v_{\text{полн}}$.

$$v_{\text{полн}} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\pi \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\pi \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{\pi^2 \left(\frac{8}{9} \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \right)}{12\pi \sqrt{\frac{4}{9} \sin^2\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) + \frac{1}{4} \cos^2\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)}};$$

$$a_{\tau 1} = 0,22 \text{ м/с}^2.$$

Следовательно $a_{n1} = \sqrt{a_{\text{полн}}^2 - a_{\tau 1}^2} = \sqrt{0,9^2 - 0,22^2} = 0,87 \text{ м/с}^2$.

Так как $v_{\text{полн}1} = 1,98 \text{ м/с}$, то радиус кривизны в точке А равен

$$R_A = \frac{v_1^2}{a_{n1}} = \frac{1,98^2}{0,81} = 4,84 \text{ м}.$$

Аналогично: $a_{\tau 2} = \frac{25\pi \cos(\pi) \sin \pi}{12 \cdot 18 \sqrt{\frac{4}{9} \sin^2(\pi) + \frac{1}{4} \cos^2(\pi)}} = 0.$

Следовательно $a_{n2} = a_2 = 1,1 \text{ м/с}^2 \Rightarrow R_B = \frac{1,57^2}{1,1} = 2,24 \text{ м}.$

Вопросы и задания

1. Механическое движение. Система отсчета.
2. Материальная точка. Траектория. Перемещение и путь.
3. Скорость и ускорение, как производные от радиус-вектора по времени.
4. Тангенциальное и нормальное ускорения.
5. Кинематика вращательного движения материальной точки.
6. Угловая скорость и угловое ускорение, как производные от угла поворота по времени.
7. Связь между линейными и угловыми характеристиками движения.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

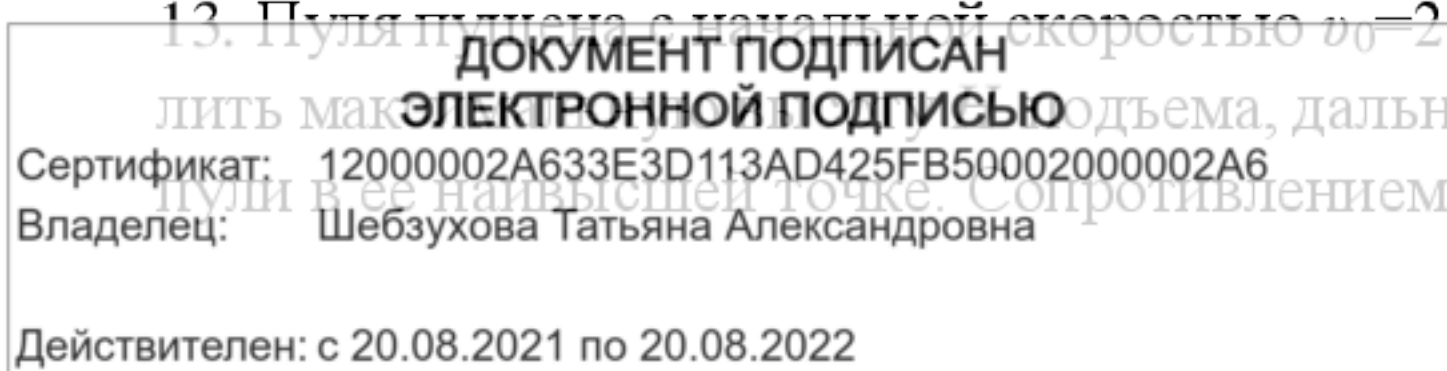
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Задание для самостоятельного решения

1. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$,
 $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $A_1 = 4 \text{ м/с}$; $B_1 = 8 \text{ м/с}^2$; $C_1 = -16 \text{ м/с}^3$; $A_2 = 2 \text{ м/с}$; $B_2 = -4 \text{ м/с}^2$; $C_2 = 1 \text{ м/с}^3$. Найти момент времени t , когда ускорения этих точек будут одинаковы. Найти скорости v_1 и v_2 точек в этот момент времени.
2. Точка движется по прямой согласно уравнению $x = At + Bt^3$, где $A = 6 \text{ м/с}$; $B = 1/8 \text{ м/с}^3$. Найти среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ точки в интервале времени от $t_1 = 2 \text{ с}$ до $t_2 = 6 \text{ с}$.
3. Движение точки по прямой задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 2 \text{ м/с}$; $B = -0,5 \text{ м/с}^2$. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ движения точки в интервале времени от $t_1 = 0 \text{ с}$ до $t_2 = 3 \text{ с}$.
4. Тело брошено с балкона вертикально вверх со скоростью $v_0 = 10 \text{ м/с}$. Высота балкона над поверхностью земли $h = 12 \text{ м}$. Написать уравнение движения и определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ с момента бросания до момента падения на землю.
5. С балкона бросили мячик вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 5 \text{ м/с}$. Через $t = 2 \text{ с}$ мячик упал на землю. Определить высоту балкона над землей и скорость мячика в момент удара о землю.
6. Тело, брошенное вертикально вверх, находилось на одной и той же высоте $h = 8,6 \text{ м}$ два раза с интервалом $\Delta t = 3 \text{ с}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, вычислить начальную скорость брошенного тела.
7. Вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 20 \text{ м/с}$ брошен камень. Через $\tau = 1 \text{ с}$ после этого брошен вертикально вверх другой камень с такой же скоростью. На какой высоте h встретятся камни?
8. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 20 \text{ м/с}$. Через какое время камень будет находиться на высоте $h = 15 \text{ м}$? Найти скорость v камня на этой высоте. Сопротивлением воздуха пренебречь. Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.
9. Камень падает с высоты $h = 1200 \text{ м}$. Какой путь s пройдет камень за последнюю секунду своего падения?
10. С какой высоты H упало тело, если последний метр своего пути оно прошло за время $t = 0,1 \text{ с}$?
11. Тело брошено под некоторым углом α к горизонту. Найти величину этого угла, если горизонтальная дальность s полета тела в четыре раза больше максимальной высоты H траектории.
12. Снаряд, выпущенный из орудия под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, дважды был на одной и той же высоте h : спустя время $t = 10 \text{ с}$ и $t = 50 \text{ с}$ после выстрела. Определить начальную скорость v_0 и высоту h .
13. Пуля пущена с начальной скоростью $v_0 = 200 \text{ м/с}$ под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определить максимальную высоту подъема, дальность s полета и радиус R кривизны траектории в ее высшей точке. Сопротивлением воздуха пренебречь.



14. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении с начальной скоростью $v_0=30$ м/с. Определить скорость v , тангенциальное a_τ и нормальное a_n ускорения в конце второй секунды после начала движения.
15. Тело брошено под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту. Найти тангенциальное a_τ и нормальное a_n ускорения в начальный момент движения.
16. Диск радиусом $r = 10$ см, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0,5$ рад/с². Найти тангенциальное a_τ , нормальное a_n и полное a ускорения точек на окружности диска в конце второй секунды после начала вращения.
17. Диск радиусом $r = 20$ см вращается согласно уравнению $\varphi = A+Bt+Ct^3$, где $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Определить тангенциальное a_τ , нормальное a_n и полное a ускорения точек на окружности диска для момента времени $t = 10$ с.
18. Маховик начал вращаться равноускоренно и за промежуток времени $\Delta t = 10$ с достиг частоты вращения $n = 300$ мин⁻¹. Определить угловое ускорение ε маховика и число N оборотов, которое он сделал за это время.
19. Велосипедное колесо вращается с частотой $n = 5$ с⁻¹. Под действием сил трения оно остановилось через интервал времени $\Delta t = 1$ мин. Определить угловое ускорение ε и число N оборотов, которое сделает колесо за это время.
20. Колесо автомашины вращается равноускоренно. Сделав $N = 50$ полных оборотов, оно изменило частоту вращения от $n_1 = 4$ с⁻¹ до $n_2 = 6$ с⁻¹. Определить угловое ускорение ε колеса.

Практическое занятие 2.

Тема занятия. Динамика материальной точки.

Цель занятия. Изучить законы динамики материальной точки.

Теоретическая часть.

Динамика поступательного движения

Импульс абсолютно твердого тела массой m , движущегося со скоростью v :

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Второй закон динамики (Ньютона):

$$d\vec{p} = \vec{F} dt,$$

где $\vec{F}$ – результирующая сила, действующая на материальную точку.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Силы, рассматриваемые в механике:
а) сила упругости $F = -kx$;

где k – коэффициент упругости (в случае пружины – жесткость); X – абсолютная деформация;

б) сила тяжести: $F = m g$;

в) сила трения (скольжения): $F = \mu N$,

где μ – коэффициент трения; N – сила нормального давления.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы остается постоянным

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = const$$

Для двух тел при абсолютно упругом ударе:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 ,$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ - скорости тел перед соударением, $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ – скорости тел в момент после соударения.

Для абсолютно неупругого удара двух тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$$

Примеры решения задач

Задача 1. На гладком столе лежит брусок массой 3 кг. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные блоки, прикрепленные к противоположным краям стола. К концам шнуров подвешены гири массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг. Найти ускорение a , с которым движется брусок и силу T натяжения каждого из шнуров. Массой блоков и трением пренебречь. Шнуры считать нерастяжимыми.

Дано:

$m = 3 \text{ кг}$

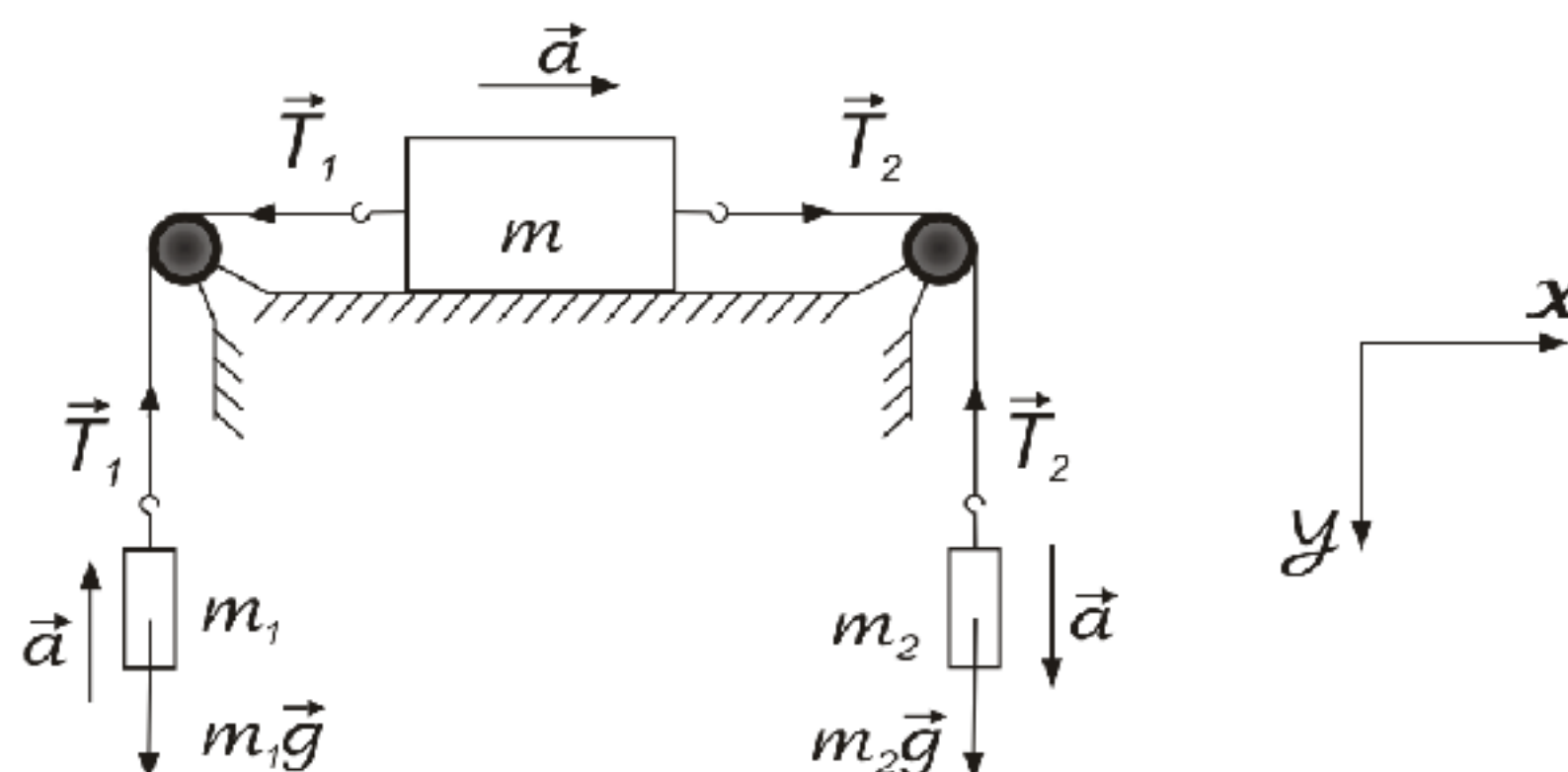
$m_1 = 2 \text{ кг}$

$m_2 = 3 \text{ кг}$.

$a - ?$

$T_1 - ?$

$T_2 - ?$



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Распишем силы, действующие на тела. Выберем систему координат, как указано на рисунке (на груз m , лежащий на столе вообще-то действуют еще две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$. Но так как трением в задаче пренебрегается, то действие этих сил из рассмотрения мы исключаем).

Запишем второй закон Ньютона для каждого участвующего в движении тела:

$$\begin{cases} m_1 \vec{a} = m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 \\ m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{T}_2 \\ m \vec{a} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2 \end{cases}$$

(Поскольку шнуры считаются нерастяжимыми, то все тела движутся с одинаковым ускорением a).

Выбираем направление ускорения, как указано на рисунке (по направлению часовой стрелки). Спроецируем систему уравнений на выбранные оси координат:

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T_1 \\ m_2 a = m_2 g - T_2 \\ m a = T_2 - T_1 \end{cases} \quad (1)$$

Из второго уравнения (1) вычитаем первое:

$$(m_2 + m_1)a = (m_2 - m_1)g - (T_2 - T_1)$$

$$(m_2 + m_1)a = (m_2 - m_1)g - ma$$

$$(m_2 + m_1 + m)a = (m_2 - m_1)g, \text{ тогда}$$

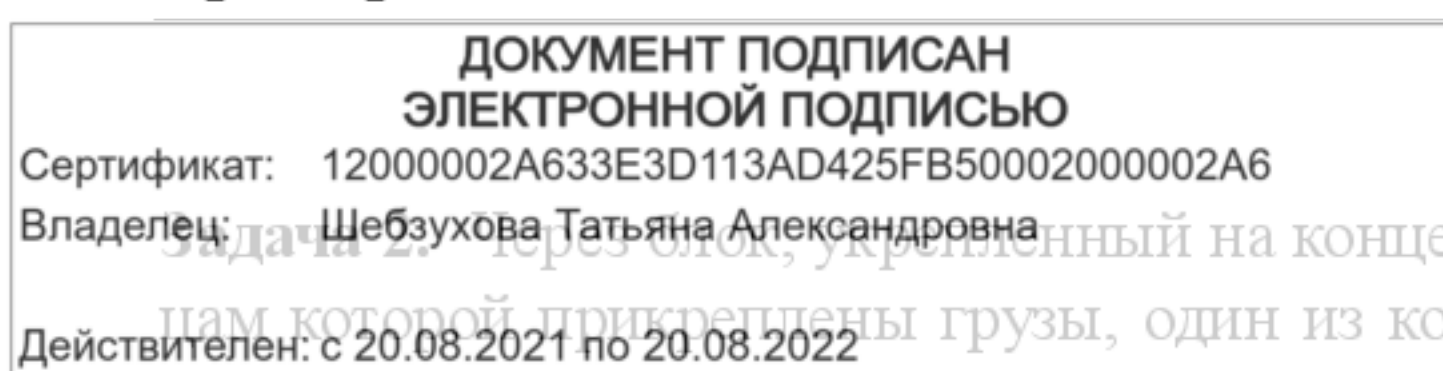
$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1 + m} g \quad (2)$$

Подставляем численные значения:

$$a = \frac{3-2}{3+2+3} 10 = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ м/с}^2.$$

$$T_1 = m_1 g + m_1 a = m_1 (g + a) = 2(10 + 1,25) = 22,5 \text{ Н},$$

$$T_2 = m_2 (g - a) = 3(10 - 1,25) = 26,2 \text{ Н}.$$



Задача 2. Через блок, укрепленный на конце стола, перекинута нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы, один из которых ($m_1 = 400$ г) движется по поверхности

стола, а другой ($m_2 = 600$ г) — вдоль вертикали вниз. Коэффициент f трения груза о стол равен 0,1. Считая нить и блок невесомыми, определить: 1) ускорение a , с которым движутся грузы; 2) силу натяжения T нити.

Решение.

Выбрав оси координат (рис), запишем для каждого груза уравнение движения (второй закон Ньютона) в проекциях на эти оси:

$$m_2 a = m_2 g - T$$

Учитывая, что

, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 a = T - f m_1 g, \\ m_2 a = m_2 g - T, \end{cases}$$

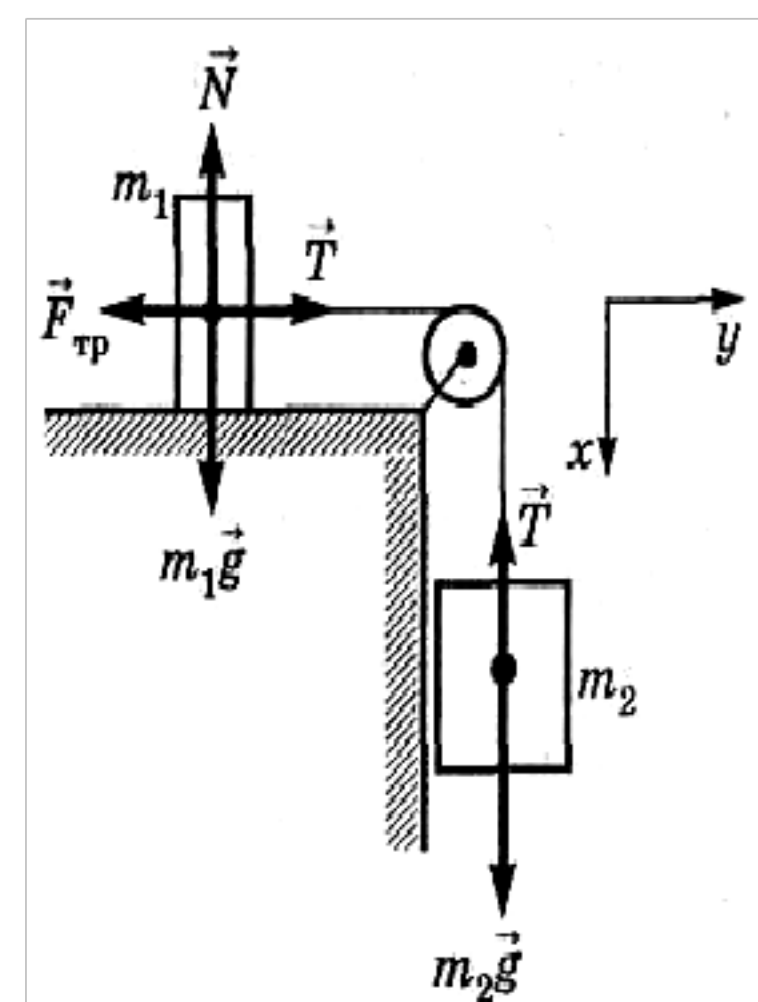
откуда искомое ускорение:

$$a = \frac{(m_2 - f m_1) g}{m_1 + m_2}$$

Силу натяжения нити найдем из второго уравнения системы:

$$T = m_2 (g - a)$$

Вычисляя, получаем: 1) $a = 5,49$ м/с²; 2) $T = 2,59$ Н.



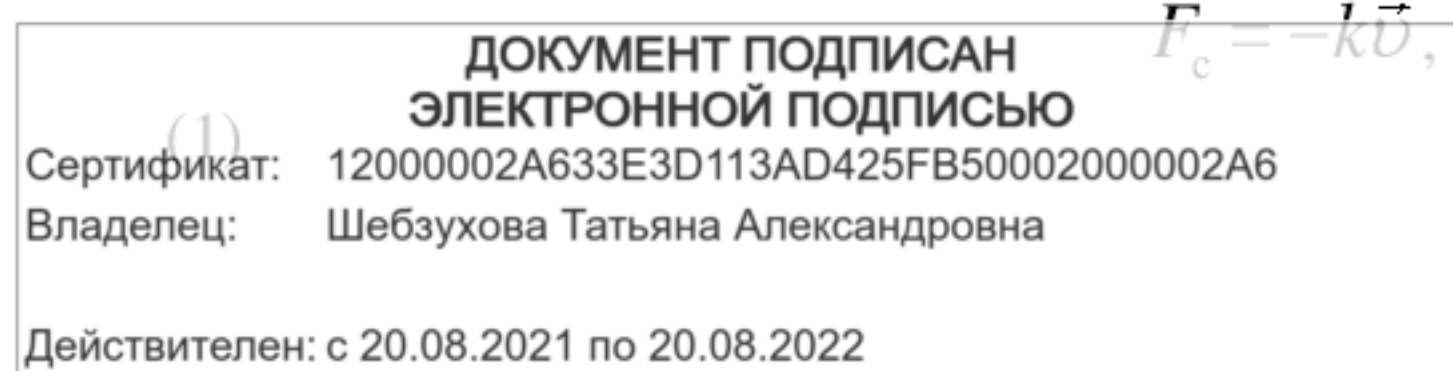
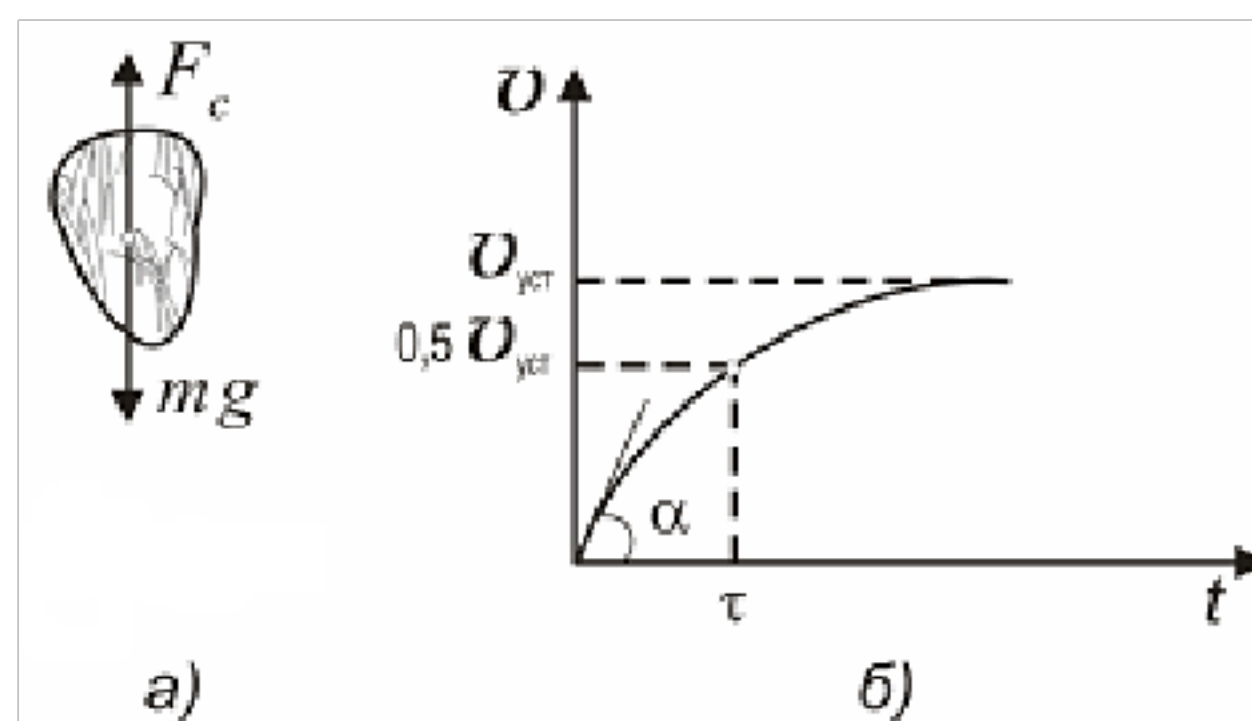
Задача 3. При падении тела с большой высоты его скорость $v_{уст}$ при установившемся движении достигает 80 м/с. Определить время τ , в течение которого, начиная от момента начала падения, скорость становится равной $v_{уст}/2$. Силу сопротивления воздуха принять пропорциональной скорости тела.

Решение.

На падающее тело действуют две силы (рис. а): сила тяжести mg и сила сопротивления воздуха F_c .

Сила сопротивления воздуха по условиям задачи пропорциональна скорости тела и противоположна ей по направлению:

$$\vec{F}_c = -k\vec{v},$$



где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров, формы тела и от свойств окружающей среды.

Напишем уравнение движения тела в соответствии со вторым законом Ньютона в векторной форме: $m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_c$. Заменяя $\vec{F}_c$ согласно (1), получим:

$$(2) \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} - k\vec{v}.$$

Спроецируем все векторные величины на вертикально вниз направленную ось и напишем уравнение (2) для проекций:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv.$$

После разделения переменных получим

$$\frac{dv}{mg - kv} = \frac{dt}{m}.$$

Выполним интегрирование, учитывая, что при изменении времени от нуля до τ (искмое время) скорость возрастает от нуля до $\frac{1}{2}v_{уст}$ (рис. 1, б):

$$\int_0^{\frac{1}{2}v_{уст}} \frac{dv}{mg - kv} = \int_0^{\tau} \frac{dt}{m}; \quad -\frac{1}{k} \ln(mg - kv) \Big|_0^{\frac{1}{2}v_{уст}} = \frac{\tau}{m}.$$

Из полученного выражения найдем искомое время:

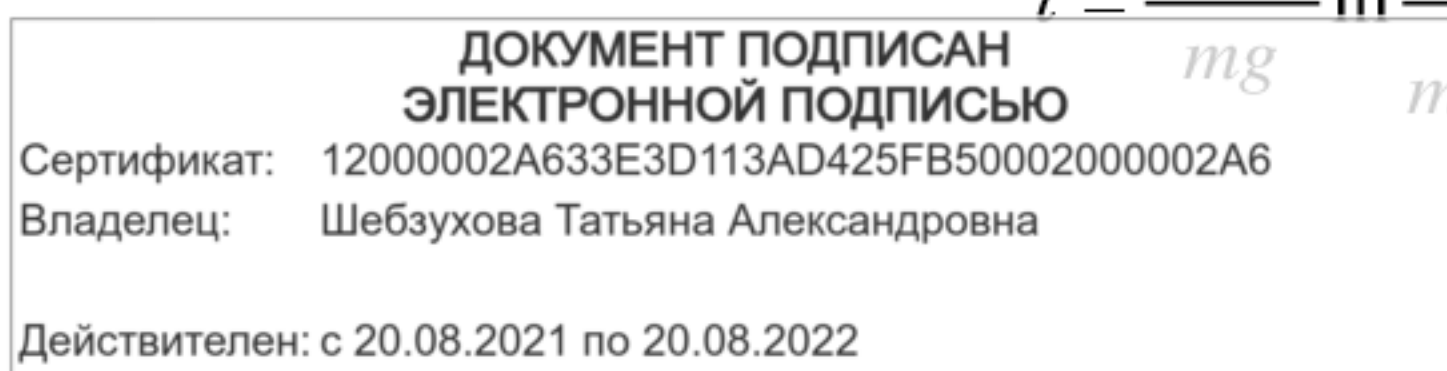
$$\tau = \frac{m}{k} \ln \frac{mg}{mg - \frac{1}{2}kv_{уст}} \quad (3)$$

Входящий сюда коэффициент пропорциональности k определим из следующих соображений. При установившемся движении (скорость постоянна) алгебраическая сумма проекций на вертикальную ось действующих на тело сил равна нулю, т. е. $mg - kv_{уст} = 0$,

откуда $k = \frac{mg}{v_{уст}}$.

Подставим найденное значение k в формулу (3):

$$\tau = \frac{mv_{уст}}{mg} \ln \frac{mg}{mg - \frac{1}{2} \frac{mg}{v_{уст}} v_{уст}}$$



После сокращений и упрощений получим: $\tau = \frac{v_{уст}}{g} \ln 2$

Подставив численные значения, получим $\tau = 5,66$ с. Проверка размерности результата в данном случае не обязательна, так как она очевидна.

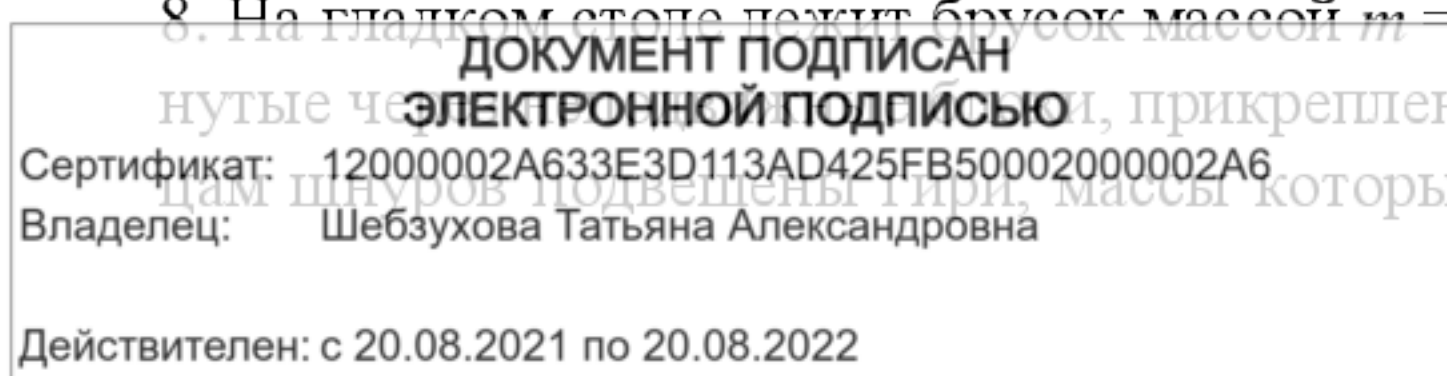
Вопросы и задания

1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
2. Взаимодействие тел. Сила, масса.
3. Импульс (количество движения).
4. Закон сохранения импульса.
5. Второй закон Ньютона.
6. Третий закон Ньютона.
7. Изолированная система материальных тел.

Задачи для самостоятельного решения

1. Самолет летит в горизонтальном направлении с ускорением $a = 20 \text{ м/с}^2$. Какова перегрузка пассажира самолета? (Перегрузкой называется отношение силы F , действующей на пассажира, к силе тяжести P).
2. Автоцистерна с керосином движется с ускорением $a = 0,7 \text{ м/с}^2$. Под каким углом φ к плоскости горизонта расположен уровень керосина в цистерне?
3. Бак в тендере паровоза имеет длину $l = 4 \text{ м}$. Какова разность Δl уровней воды у переднего и заднего концов бака при движении поезда с ускорением $a = 0,5 \text{ м/с}^2$?
4. Катер массой $m = 2 \text{ т}$ трогается с места и в течение времени $\tau = 10 \text{ с}$ развивает при движении по спокойной воде скорость $v = 4 \text{ м/с}$. Определить силу тяги F мотора, считая ее постоянной. Принять силу сопротивления F_c движению пропорциональной скорости; коэффициент сопротивления $k = 100 \text{ кг/с}$.
5. Начальная скорость v_0 пули равна 800 м/с . При движении в воздухе за время $t = 0,8 \text{ с}$ ее скорость уменьшилась до $v = 200$. Масса m пули равна 10 г . Считая силу сопротивления воздуха пропорциональной квадрату скорости, определить коэффициент сопротивления k . Действием силы тяжести пренебречь.
6. Материальная точка массой $m = 2 \text{ кг}$ движется под действием некоторой силы F согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1 \text{ м/с}^2$, $D = -0,2 \text{ м/с}^3$. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1 = 2 \text{ с}$ и $t_2 = 5 \text{ с}$. В какой момент времени сила равна нулю?
7. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha = 25^\circ$ с плоскостью горизонта, имеет длину $l = 2 \text{ м}$. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за время $t = 2 \text{ с}$. Определить коэффициент трения μ тела о плоскость.

8. На гладком столе лежит брусок массой $m = 4 \text{ кг}$. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные ролики, прикрепленные к противоположным краям стола. К концам шнуров подвешены гири, массы которых $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 2 \text{ кг}$. Найти ускорение a , с



которым движется брусок, и силу T натяжения каждого из шнуров. Массой блоков и трением пренебречь.

9. Два бруска массами $m_1=1$ кг и $m_2=4$ кг, соединенные шнуром, лежат на столе. С каким ускорением a будут двигаться бруски, если к одному из них приложить силу $F=10$ Н, направленную горизонтально? Какова будет сила T натяжения шнура, соединяющего бруски, если силу 10 Н приложить к первому бруску? Ко второму бруску? Трением пренебречь.

10. К пружинным весам подвешен блок. Через блок перевешен шнур, к концам которого привязали грузы массами $m_1=1,5$ кг и $m_2=3$ кг. Каково будет показание весов во время движения грузов? Массой блока и шнура пренебречь.

Практическое занятие 3.

Тема занятия. Работа и энергия. Кинематика и динамика вращательного движения.

Цель занятия. Изучить законы сохранения энергии. Кинематику и динамику вращательного движения.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Работа. Работа переменной силы. Мощность. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Связь между силой и потенциальной энергией. Энергия упруго деформированного тела. Кинетическая энергия и её связь с работой приложенных сил. Полная механическая энергия системы тел. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Актуальность темы. Закон сохранения энергии, а также законы динамики вращательного движения широко применяется при решении многих инженерных задач.

Теоретическая часть.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы остается постоянным

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}.$$

Для двух тел при абсолютно упругом ударе:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2,$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ - скорости тел перед соударением, $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ – скорости тел в момент после соударения.

Для абсолютно неупругого удара двух тел:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}.$$

Кинетическая энергия T тела, движущегося поступательно:

$$T = \frac{mv^2}{2}, \quad \text{или} \quad T = \frac{p^2}{(2m)}.$$

Потенциальная энергия Π :

а) упругодеформированной пружины:

$$\Pi = \frac{kx^2}{2},$$

где k – жесткость пружины; x – абсолютная деформация;

б) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести:

$$\Pi = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения; h – высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h \ll R$, где R – радиус Земли).

Закон сохранения механической энергии: если в системе действуют только консервативные силы, то полная механическая энергия системы не меняется

$$E = T + \Pi = \text{const}.$$

Закон сохранения энергии при абсолютно упругом столкновении двух тел, движущихся в горизонтальной плоскости:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}.$$

Закон сохранения энергии при абсолютно неупругом столкновении двух тел, движущихся в горизонтальной плоскости:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} + Q,$$

где Q – энергия нагревания тел и их остаточной деформации.

Скорости двух тел после абсолютно упругого столкновения:

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{(m_1 + m_2)},$$

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{(m_1 + m_2)}.$$

Работа, совершаемая результирующей силой, определяется как мера изменения кинетической энергии:

$$A = \Delta T = T_2 - T_1.$$

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Основное уравнение динамики вращательного движения:
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Динамика вращательного движения

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon},$$

где $\vec{M}$ – результирующий вектор моментов внешних сил, действующих на тело, относительно оси вращения; $\vec{\varepsilon}$ – вектор углового ускорения; J – момент инерции системы относительно оси.

Моменты инерции некоторых тел массой m относительно оси вращения, проходящей через центр масс:

а) материальной точки:

$$J = mr^2,$$

где r – расстояние от материальной точки до оси;

б) стержня длиной ℓ относительно оси перпендикулярной стержню:

$$J = \frac{1}{12}m\ell^2;$$

в) обруча или тонкостенного цилиндра радиуса R относительно оси, совпадающей с осью цилиндра:

$$J = mR^2.$$

г) однородного (сплошного) диска (цилиндра) радиуса R относительно оси, совпадающей с осью диска:

$$J = \frac{1}{2}mR^2;$$

д) пустотелого цилиндра радиусами R_1 и R_2 с осью вращения, совпадающей с осью цилиндра:

$$J = \frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2);$$

е) шара с осью вращения, проходящей через его центр:

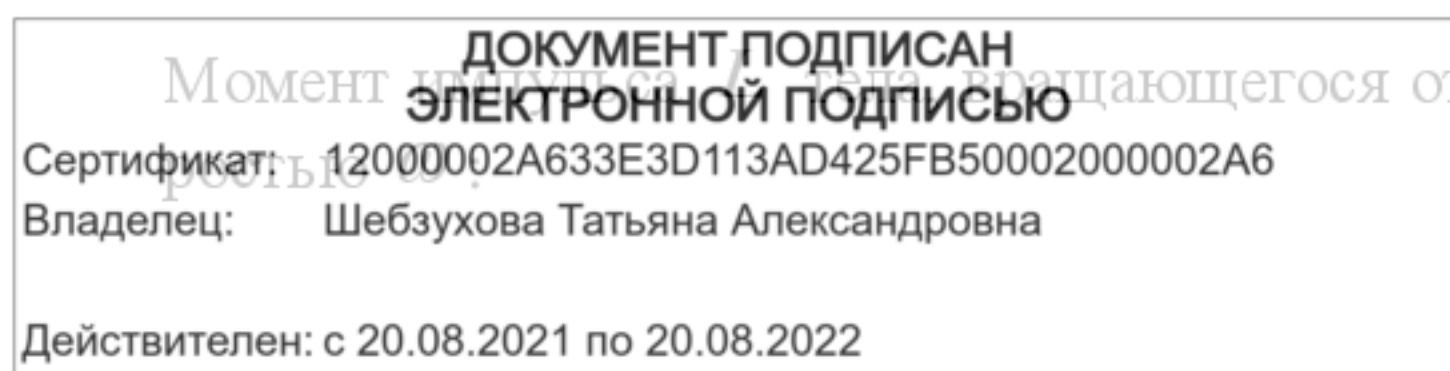
$$J = \frac{2}{5}mR^2.$$

Теорема Штейнера: момент инерции J_0 тела относительно произвольной оси равен сумме момента инерции J_c этого тела относительно параллельной оси, проходящей через центр масс, и произведения массы m на квадрат расстояния a между этими осями

$$J_0 = J_c + ma^2,$$

Момент импульса материальной точки массой m , имеющей скорость v и находящуюся на расстоянии r от оси вращения:

$$L = mvr.$$



относительно неподвижной оси с угловой ско-

$$L = J \omega .$$

Закон сохранения момента импульса систем тел, вращающихся вокруг неподвижной оси:

$$\sum_{i=1}^n J_i \vec{\omega}_i = const .$$

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси:

$$T = \frac{J\omega^2}{2}, \quad \text{или} \quad T = \frac{L^2}{(2J)}.$$

Кинетическая энергия катящегося тела:

$$T = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$

Примеры решения задач

Задача 1. Снаряд массой $m = 5 \text{ кг}$ обладал скоростью $v = 300 \text{ м/с}$ в верхней точке траектории. В этой точке он разорвался на две части. Меньшая часть массой $m = 2 \text{ кг}$, получила скорость $U_1 = 500 \text{ м/с}$ и полетела вперед под углом 60° к горизонту. Найти скорость U_2 после разрыва второй, большей части, и под каким углом к горизонту она полетела.

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$v = 300 \text{ м/с}$$

$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$\varphi_1 = 60^\circ$$

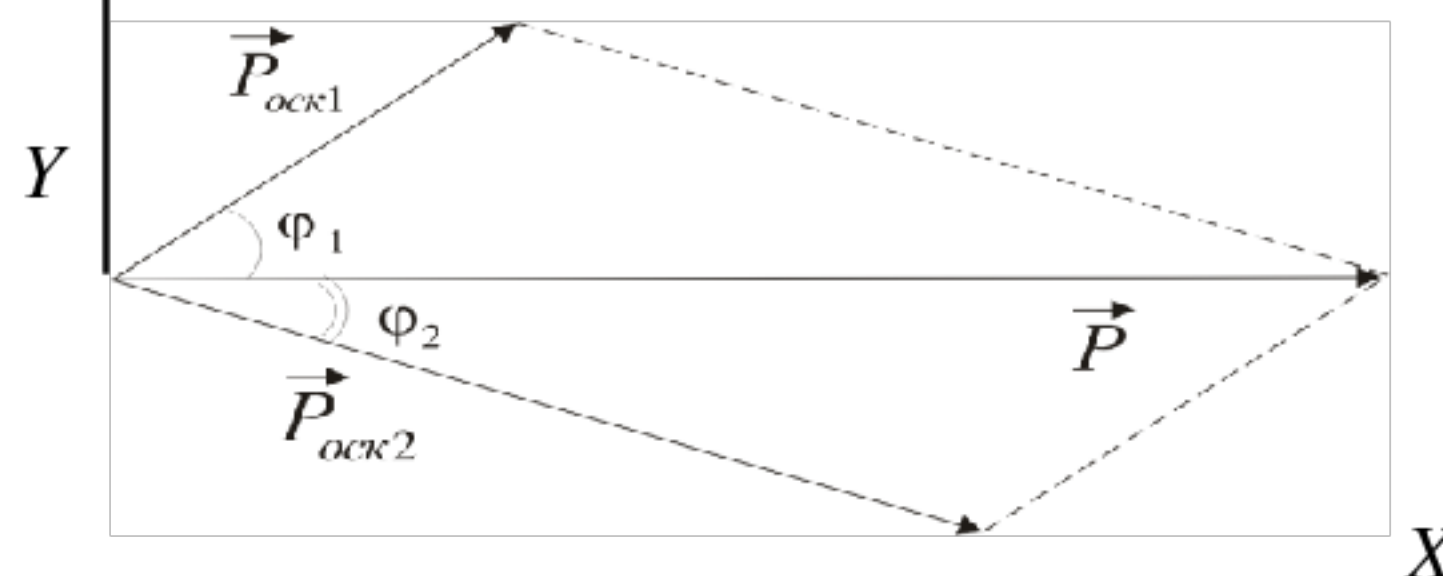
$$U_2 = ?$$

$$\varphi_2 = ?$$

В верхней части траектории, снаряд двигался горизонтально.

Геометрически закон сохранения импульса имеет вид

$$U_1 = 500$$



$$\vec{P} = \vec{P}_{оск1} + \vec{P}_{оск2} \quad \text{или} \quad m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2. \quad (1)$$

Используя теорему косинусов, найдем $|\vec{P}_{оск2}|$

$$(P_{оск2})^2 = P^2 + (P_{оск1})^2 - 2P \cdot P_{оск1} \cdot \cos \varphi_1. \quad (2)$$

Так как $P_{оск1} = m_1 U_1$, то получим, что

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$v_2 = \frac{P_{\text{оск2}}}{m - m_1} = \frac{\sqrt{1500^2 + 1000^2 - 2 \cdot 1500 \cdot 1000 \cdot \cos 60^\circ}}{(5 - 2)} = 441 \text{ м/с}.$$

Спроецируем вектора $\vec{P}_{\text{оск1}}$ и $\vec{P}_{\text{оск2}}$ на направление $\vec{P}$. По теореме о проекции суммы векторов, получим

$$P = P_{\text{оск.1}\vec{P}} + P_{\text{оск.2}\vec{P}}, \text{ но } P_{\text{оск.1}\vec{P}} = |\vec{P}_{\text{оск.1}}| \cdot \cos \varphi_1, \text{ а}$$

$$P_{\text{оск.2}\vec{P}} = |\vec{P}_{\text{оск.2}}| \cdot \cos(-\varphi_2), \text{ т.к. угол } \varphi_2 \text{ лежит ниже оси } \vec{P},$$

откуда

$$\cos(-\varphi_2) = \frac{P - (|\vec{P}_{\text{оск.1}}| \cdot \cos \varphi_1)}{|\vec{P}_{\text{оск.2}}|} = \frac{1500 - 1000 \cdot \cos 60^\circ}{1322,9} = 0,756,$$

$$\text{значит } -\varphi_2 = \arccos(0,756) = 40,8^\circ, \text{ а } \varphi_2 = -40,8^\circ$$

Эту задачу можно решить и другим способом.

Выберем оси координат, как на рисунке. Записав уравнение (1) в проекциях на оси координат и, учитывая, что $U_x = U$ и $U_y = 0$,

получим

$$mU = m_1 v_1 \cos \varphi_1 + m_2 v_2 \cos \varphi_2, \quad (3)$$

$$0 = m_1 v_1 \sin \varphi_1 - m_2 v_2 \sin \varphi_2.$$

Или

$$m_2 v_2 \cos \varphi_2 = mU - m_1 v_1 \cos \varphi_1, \quad (4)$$

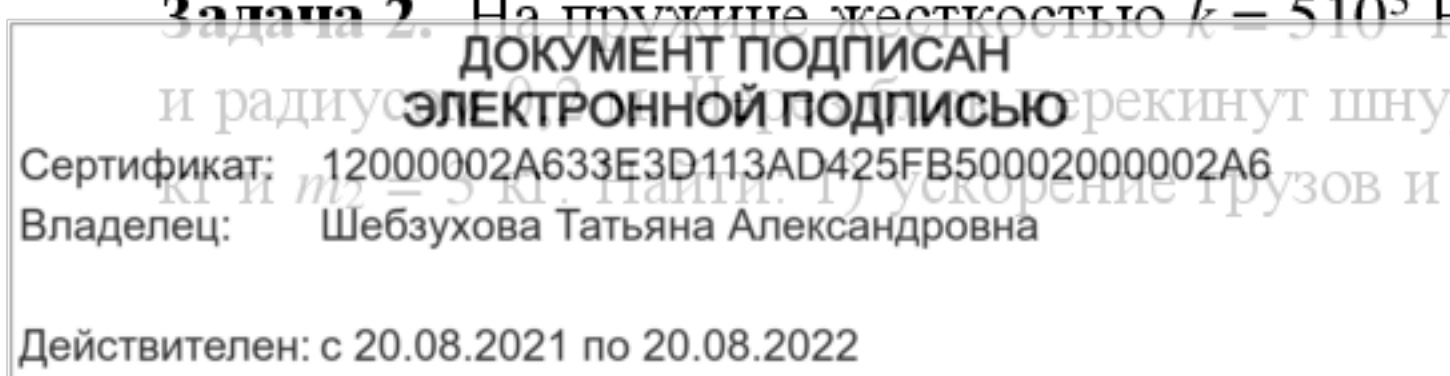
$$m_2 v_2 \sin \varphi_2 = m_1 v_1 \sin \varphi_1.$$

Возводя в квадрат оба равенства, и сложив их, после тривиальных преобразований получим формулу (2) для вычисления импульса и скорости второго осколка. Из второго уравнения системы (4) получаем выражение

$$\sin \varphi_2 = -\frac{m_1 v_1 \sin \varphi_1}{m_2 v_2},$$

из которого вычисляем угол φ_2 .

Задача 2. На пружине жесткостью $k = 5 \cdot 10^3$ Н/м подвешен блок в форме диска массой 5 кг и радиусом 20 см. К блоку прикреплен шнур, к концам которого привязаны грузы $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг. Найти: 1) ускорение грузов и угловое ускорение блока; 2) силы натяжения



шнура; 3) силу упругости пружины и удлинение пружины; 4) кинетическую энергию системы через 2 с; 5) изменение потенциальной энергии блока и грузов за 2 с; 6) найти ускорение центра масс грузов.

Дано:

$$m_0 = 5 \text{ кг}$$

$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 3 \text{ кг}$$

$$k = 5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$$

$$r = 0,2 \text{ м}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$a = ? \quad \varepsilon = ?$$

Укажем все силы, действующие на каждое тело (см. рис.).

Напишем уравнение второго закона Ньютона в векторной форме для каждого тела, при этом блок совершает вращательное

движение. Учтем, также что $I = m_0 r^2 / 2$ и

$a = \varepsilon \cdot r$ (проскальзывания нет) и линейное

ускорение крайних точек блока равно

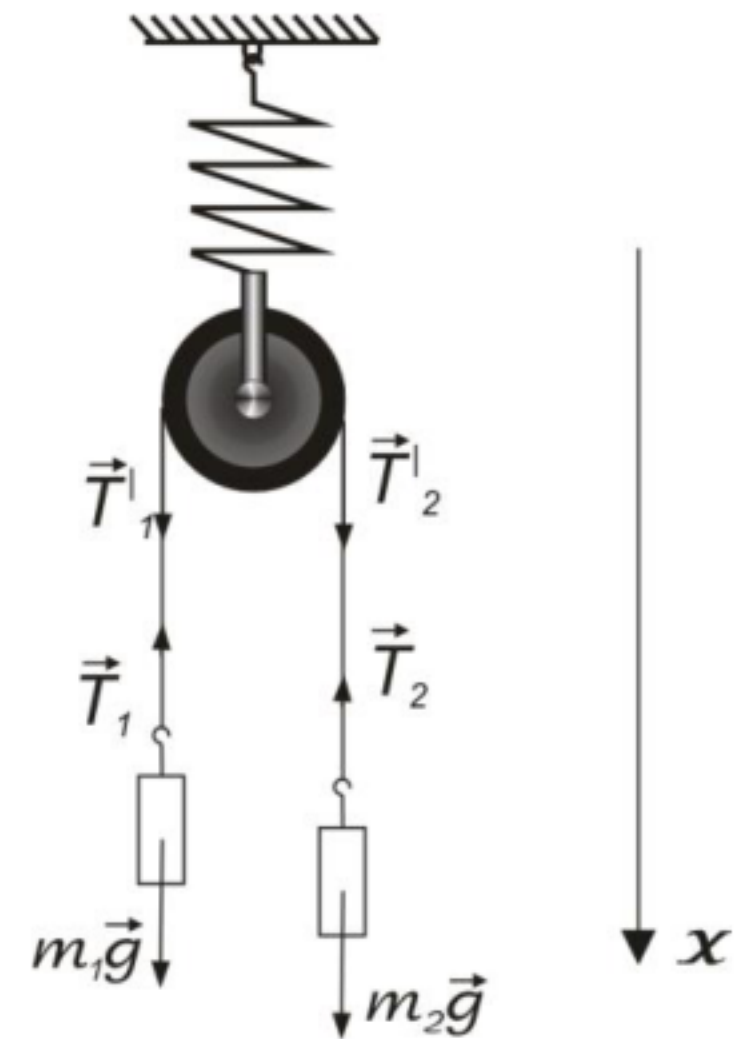
ускорению точек шнура. Заметим, что

по третьему закону Ньютона $T_1' = T_1$ и $T_2' = T_2$.

Для проекций сил на ось X получим

систему уравнений:

$$\begin{cases} m_2 g - T_2 = m_2 a \\ T_1 - m_1 g = m_1 a \\ T_2 \cdot r - T_1 \cdot r = \frac{1}{2} m_0 r^2 \cdot \frac{a}{r} \\ T_1 + T_2 + m_0 g - F = 0. \end{cases} \quad (1)$$



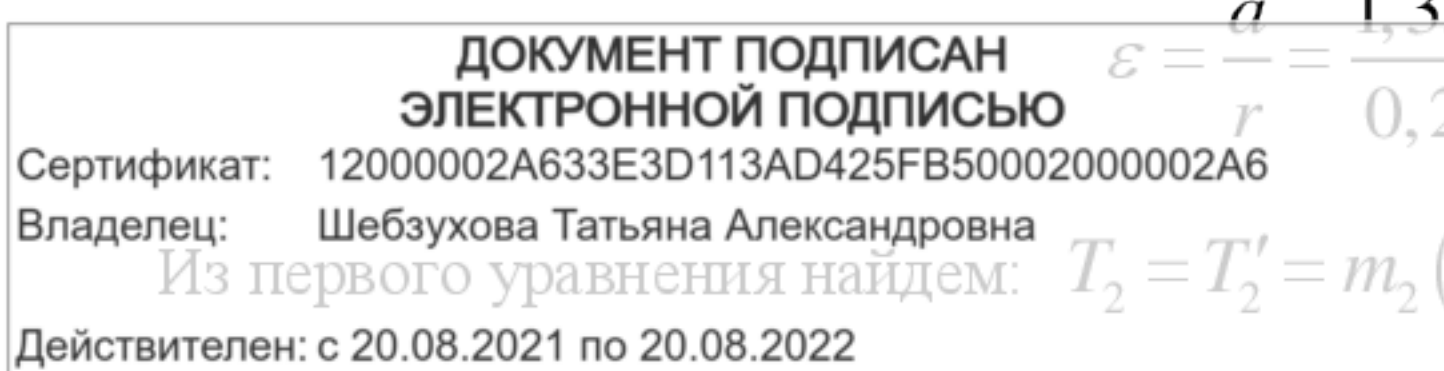
Складывая первые три уравнения, получим

$$m_2 g - m_1 g = a \left(\frac{1}{2} m_0 + m_2 + m_1 \right) \Rightarrow$$

$$a = \frac{m_2 - m_1}{\frac{1}{2} m_0 + m_2 + m_1} g \Rightarrow a = \frac{10 \cdot (3 - 2)}{7,5} = \frac{4}{3} \text{ м/с}^2 = 1,33 \text{ м/с}^2.$$

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{1,33}{0,2} = 6,66 \frac{1}{\text{с}^2}.$$

Из первого уравнения найдем: $T_2 = T_2' = m_2 (g - a) = 26,0 \text{ Н}.$



Из второго уравнения найдем: $T_1 = T_1' = m_1(g + a) = 22,7 \text{ Н}$.

Из четвертого уравнения найдем F :

$$F = T_1 + T_2 + m_0 g = 98,7 \text{ Н}.$$

Удлинение пружины найдем из формулы закона Гука:

$$F = -k\Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{F}{k} = \frac{98,7}{510^3} = 0,0197 \text{ м} = 1,97 \text{ см}.$$

Это удлинение пружины при движущихся грузах. Если застопорить блок, то $F_1 = (m_1 + m_2 + m_0) \cdot g = 100 \text{ Н}$, что вызовет удлинение пружины точно 2 см. С началом движения пружина сократится на $\approx 0,3 \text{ мм}$. Из системы уравнений (1) можно получить формулу для разности силы натяжения $\Delta F = F_1 - F$:

$$\Delta F = \frac{(m_2 - m_1)^2}{\frac{1}{2}m_0 + m_2 + m_1} g,$$

используя которую можно оценить изменение растяжения пружины

$$\Delta x' = \Delta F / k = 0,27 \text{ мм}.$$

Чтобы найти кинетическую энергию всей системы, найдем кинетическую энергию поступательного движения грузов $K_{\text{гр}}$ и кинетическую энергию вращательного движения блока $K_{\text{бл}}$:

$$K_{\text{гр}} = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2};$$

Так как $v = at \Rightarrow K_{\text{гр}} = \frac{(m_1 + m_2)a^2 t^2}{2} = \frac{5 \cdot 1,33^2 \cdot 4}{2} \approx 17,7 \text{ Дж}.$

$$K_{\text{бл}} = \frac{I\omega^2}{2} \text{ так как } \omega = v/r, \text{ и } I = m_0 r^2 / 2, \text{ то } K_{\text{бл}} = \frac{m_0 r^2 v^2}{4 \cdot r^2} = 9 \text{ Дж}.$$

Таким образом полная кинетическая энергия $K = K_{\text{гр}} + K_{\text{бл}} = 26,7 \text{ Дж}$.

Задача 3. Два свинцовых шара массами $m_1 = 2 \text{ кг}$ и $m_2 = 3 \text{ кг}$ подвешены на нитях длиной $l = 70 \text{ см}$. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол $\alpha = 60^\circ$ и отпустили. Считая удар центральным и неупругим, определить: 1) высоту h , на которую поднимутся шары после удара; 2) энергию ΔT , израсходованную на деформацию шаров при ударе.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Решение.