

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

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине
Введение в курс общей физики
для студентов направления подготовки
02.03.01 Математика и компьютерные науки
направленность (профиль)
«Анализ данных и искусственный интеллект»

Введение

Целью практических занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению 02.03.01 Математика и компьютерные науки, связанных способностью использовать фундаментальные знания в области физики в будущей профессиональной деятельности в избранной области.

Основные задачи дисциплины:

- понимание физических принципов, лежащих в основе описания световых явлений, оптических эффектов и взаимодействия света с веществом;
- приобретение знаний о методах научного познания, о современной физической картине мира, об основах фундаментальных физических теорий;
- развитие способностей к более глубокому пониманию сущности физических процессов, происходящих в природе и технике;
- развитие творческих способностей в процессе решения физических задач, выполнении экспериментальных заданий, использования приобретенных знаний и умений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: теоретические основы, основные понятия, законы и модели оптики, теоретические основы методов теоретических и экспериментальных исследований в оптике.

Уметь: использовать фундаментальные знания в области оптики в проектировании основных и дополнительных образовательных программ по физике для общеобразовательных организаций.

Владеть: навыками использования фундаментальных знаний в области оптики в профессиональной деятельности.

Цель данного практикума – описание последовательности, основного содержания, методики выполнения практических занятий по учебному курсу и (или) самостоятельной подготовки к ним. Занятия проводятся в форме практического занятия решения задач.

При решении задач практического занятия

4. Рекомендуется сделать чертеж, эскизный рисунок или построить график, поясняющий содержание задачи или ход решения.

5. Решения задач должны сопровождаться исчерпывающими, но краткими словесными объяснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул.

6. Необходимо решить задачу в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи или введенных самостоятельно.

7. Ответ задачи в общем виде и числовое значение искомой величины с обязательным указанием размерности, предваряемые словом «**ОТВЕТ:**», записываются отдельно после решения. Решения отдельных задач разделяются.

8. В случае, если проверка незначительна

ТЕМА 1. ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

Учебные вопросы:

1. Элементы кинематики .
2. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела
3. Работа и энергия.
4. Механика твердого тела

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи

- [2] № 1.11, 1.15, 1.24, 1.28,
[2] № 1.63, 1.65, 1.76,
[3] № 2.2, 2.5, 2.6, 2.8
[2] № 1.126, 1.130, 1.132, 1.137, 1.140;
[3] № 2.35, 2.38, 2.39, 2.59, 2.68.
[2] 1.277, 1.280, 1.284, 1.287.

ТЕМА 2. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Учебные вопросы:

1. Опытные законы идеального газа.
2. Уравнение Клапейрона — Менделеева.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.
4. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи

[4] № 8.11-8.15, 8.41, 8.44, 8.45, 8.17, 8.19, 8.22, 8.24, 8.27, 8.30, 8.33, 8.39, 8.40, 9.6, 9.8, 9.11.

ТЕМА 3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.

Учебные вопросы:

1. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.
2. Первое начало термодинамики.
3. Работа газа при изменении его объема.
4. Теплоемкость.
5. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи

[4] № 11.6, 11.8, 11.14, 11.23, 11.30, 11.36, 11.40, 11.46, 11.50.

[4] № 12.3, 12.5, 12.10, 12.17, 12.19, 12.23, 12.27

ТЕМА 5. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.

Учебные вопросы:

1. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.
2. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля.
3. Принцип суперпозиции электростатических полей, Поле диполя.
4. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме.
5. Электрический ток, сила и плотность тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила и напряжение. Закон Ома. Сопротивление проводников. Работа и мощность тока. Закон Джоуля — Ленца.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи:

[4] № 10.15, 10.17, 10.20, 10.23, 10.25, 10.27, 10.32, 10.36, 10.40, 10.44, 10.2, 10.4, 10.6, 10.10, 10.12.

ТЕМА 6. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ ОПТИКИ. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА.

Учебные вопросы:

1. Основные законы оптики. Полное отражение. Тонкие линз. Изображение предметов с помощью линз. Аберрации (погрешности) оптических систем. Основные фотометрические величины и их единицы.
2. Принцип Гюйгенса — Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света.
3. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи для решения в аудитории.

1. Лазер излучает импульсы с длительностью $\tau=0,16$ мкс с энергией $W=10$ Дж. Излучение фокусируется на круглую мишень диаметром $d=0,1$ мм, расположенную перпендикулярно пучку и имеющую коэффициент отражения $\rho=0,5$. Определить среднюю величину светового давления на мишень и максимальное значение напряженности электрического поля в падающем на мишень пучке.
2. Рубиновый лазер (длина волны $\lambda=693,5$ нм) излучает световой импульс с длительностью $\tau=10^{-7}$ с и энергией $W=0,3$ Дж. Резонатор лазера состоит из двух зеркал. Первое имеет коэффициент

отражения $\rho_1=100\%$, второе – $\rho_2=90\%$. Радиус пучка света $r=2,5$ мм. Найти среднюю силу, с которой свет действует на первое зеркало во время излучения импульса.

3. В идеальном колебательном контуре с емкостью

$$\alpha \approx (n-1)\theta$$

21. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0.3 мм, расстояние от них до экрана 3 м. Длина волны света $\lambda=0.6$ мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.
22. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы 4 м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3.6 мм.
23. Плоско-выпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны 40 см соприкасается выпуклой поверхностью со стеклянной пластинкой. При этом в отраженном свете радиус некоторого кольца 2.5 мм. Наблюдая за данным кольцом, линзу осторожно отодвинули от пластинки на 5 мкм. Каким стал радиус этого кольца?
24. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны, испускаемую источником монохроматического света, если ширина полос интерференции на экране равна 1.5 мм.
25. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволоку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии 75 мм от неё. В отраженном свете ($\lambda=0.5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр проволоки, если на протяжении 30 мм насчитывается 16 светлых полос.
26. Определить радиус кривизны плосковыпуклой линзы, которая вместе с пластинкой позволяет наблюдать кольца Ньютона при освещении желтой линией натрия 589 нм, причем в отраженном свете расстояние между первым и вторым светлыми кольцами равно 0.5 мм.
27. Расстояния от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана равны соответственно 25 см и 100 см. Бипризма стеклянная с преломляющим углом $20'$. Найти длину волны света, если ширина интерференционной полосы 0.55 мм.

Задачи для самостоятельного решения.

1. В излучающей радиоантенне ток изменяется по закону

10. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0.5 мм, расстояние от них до экрана 5 м. Длина волны света $\lambda=0.6$ мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.
11. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0.8 мм, длина волны $\lambda=640$ нм. На каком расстоянии от щелей следует разместить экран, чтобы ширина интерференционной полосы составила 2 мм.
12. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину слоя воздуха там, где в отраженном свете ($\lambda=0.6$ мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.
13. На тонкий стеклянный клин ($n=1.55$) падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол между поверхностями клина равен $2'$. Определить длину световой волны, если расстояние между смежными интерференционными максимумами в отраженном свете равно 0.3 мм.
14. Плоская световая волна падает на бисеркала Френеля, угол между которыми $2'$. Определить длину волны света, если ширина интерференционной полосы на экране 0.55 мм.

ТЕМА 7. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА СВЕТА. ФОТОЭФФЕКТ. ЭФФЕКТ КОМПТОНА.

Учебные вопросы:

1. Тепловое излучение и его характеристики. Закон Кирхгофа. Законы Стефана — Больцмана и смещения Вина.
2. Виды фотоэлектрического эффекта. Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Экспериментальное подтверждение квантовых свойств света. Эффект Комптона и его элементарная теория.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи для решения на занятии:

1. Поток энергии, излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт. Принимая, что печь излучает как абсолютно черное тело, определить температуру печи, если площадь отверстия 6 см^2 .
2. Энергетическая светимость абсолютно черного тела 3 Вт/см^2 . Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности этого тела.
3. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности сместился с длины волны $2,4 \text{ мкм}$ на длину волны $0,8 \text{ мкм}$. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость?

4. Имеется два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них 2500 К. найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности, на 0,5 мкм больше длины волны, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.
5. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта, для некоторого металла 275 нм. Найти минимальную энергию фотона, вызывающего фотоэффект.
6. Определить красную границу фотоэффекта для цинка и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм.
7. При поочередном освещении поверхности некоторого металла с $\lambda_1 = 0,35$ мкм и $\lambda_2 = 0,54$ мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в 2 раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
8. Определить угол рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны при рассеянии равно 3,62 пм.
9. Фотон с энергией 0,4 МэВ рассеялся под углом 90° на свободном электроне. Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру абсолютно черного тела, чтобы его энергетическая светимость возросла в два раза?
2. При увеличении термодинамической температуры абсолютно черного тела в два раза длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, уменьшилась на 400 нм. Определить начальную и конечную температуры.
3. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 307$ нм и максимальная кинетическая энергия $T_{\max}$ фотоэлектрона равна 1 эВ?
4. Определить импульс электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол 180° .

ТЕМА 8. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.

Учебные вопросы:

1. Размер, состав и заряд атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Дефект массы и энергия связи ядра. Спин ядра и его магнитный момент. Ядерные силы. Модели ядра.
2. Радиоактивное излучение и его виды. Закон радиоактивного распада. Правила смещения. Закономерности альфа-распада. Бетта-Распад. Нейтрино. Гамма-излучение и его свойства.
3. Космическое излучение. Мюоны и их свойства. Мезоны и их свойства. Типы взаимодействий элементарных частиц. Частицы и античастицы.

Организационная форма занятия: комбинированная, сочетающая практическое занятие с элементами семинара. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых задач. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов - эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами <<мозгового штурма>>, так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения. Предполагается также использование мультимедийного оборудования -- компьютерного проектора.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

3. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
4. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Задачи для решения на занятии:

1. Найти кинетическую, потенциальную и полную энергию электрона на первой боровской орбите.
2. Определить частоту обращения электрона на второй орбите атома водорода.
3. Найти наибольшую и наименьшую длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода.
4. Найти энергию ионизации ионов He^+ .

5. Найти первый потенциал возбуждения атома водорода.
6. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была равна 0,1 нм?
7. Электрон движется по окружности радиусом 0,5 см в однородном магнитном поле с индукцией 8 мТл. Определить длину волны де Бройля электрона.
8. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов 200 В, имеет длину волны де Бройля 2,02 пм. Найти массу частицы, если ее заряд численно равен заряду электрона.
9. Электрон с кинетической энергией 15 эВ находится в металлической пылинке диаметром 1 мкм, оценить относительную неопределенность, с которой может быть определена скорость электрона.
10. Используя соотношения неопределенностей энергии и времени, определить естественную ширину спектральной линии излучения атома при переходе его из возбужденного состояния в основное. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии принять равным 10^{-8} с, а длину волны излучения – равной 600 нм.
11. Написать уравнение Шредингера для электрона, находящегося в водородоподобном атоме.
12. Частица находится в потенциальном ящике. Найти отношение разности соседних энергетических уровней $\Delta E_{n+1,n}$ к энергии E_n частицы в трех случаях: 1) $n = 3$; 2) $n = 10$; 3) $n \rightarrow \infty$.
13. Собственная функция, описывающая состояние частицы в потенциальном ящике, имеет вид $\psi_n(x) = C \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right)$. Используя условия нормировки, определить постоянную C .
14. Частица находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины l с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти вероятность пребывания частицы в области $l/3 < x < 2l/3$.
15. Электрон с энергией 25 эВ встречает на своем пути низкую потенциальную ступень высотой 9 эВ. Определить коэффициент преломления волн де Бройля на границе ступени.
16. При каком отношении высоты потенциальной ступени U_0 и энергии E электрона, падающего на ступень, коэффициент отражения равен 0,5?
17. Электрон проходит через прямоугольный потенциальный барьер шириной 0,5 нм. Высота барьера U_0 больше энергии E электрона на 1%. Вычислить коэффициент прозрачности, если энергия электрона: 1) $E = 10$ эВ; 2) $E = 100$ эВ.
18. При какой ширине потенциального барьера коэффициент прозрачности для электронов равен 0,01? Разность энергий $U_0 - E = 10$ эВ.
19. Хлор представляет собой смесь двух изотопов с относительными атомными массами 34,969 и 36,966. Вычислить относительную атомную массу хлора, если массовые доли первого и второго изотопов соответственно равны 0,754 и 0,246.
20. Укажите, сколько нуклонов, протонов, нейтронов содержат следующие ядра: 1) ${}^3_2\text{He}$; 2) ${}^{10}_5\text{B}$; 3) ${}^{23}_{11}\text{Na}$; 4) ${}^{54}_{26}\text{Fe}$; 5) ${}^{104}_{47}\text{Ag}$; 6) ${}^{238}_{92}\text{U}$.

21. Укажите, сколько существует изобар с массовым числом 3. Напишите символические обозначения ядер.
22. Определить диаметры следующих ядер: 1) ${}^8_3\text{Li}$; 2) ${}^{27}_{13}\text{Al}$; 3) ${}^{64}_{29}\text{Cu}$; 4) ${}^{125}_{50}\text{Sn}$; 5) ${}^{216}_{84}\text{Po}$.
23. Определить удельную энергию связи ядра ${}^{12}_6\text{C}$.
24. Постоянная распада рубидия ${}^{89}\text{Rb}$ равна $0,00077 \text{ с}^{-1}$. Определить его период полураспада.
25. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
26. За какое время распадется $\frac{1}{4}$ начального количества ядер радиоактивного изотопа, если период его полураспада 24 часа?
27. На сколько процентов снизится активность изотопа иридия ${}^{192}\text{Ir}$ за время $t = 30$ сут?
28. Найти постоянную распада и среднее время жизни радиоактивного ${}^{55}\text{Co}$, если его активность уменьшается на 4% за 60 мин.
29. Определить порядковый номер и массовое число частицы, обозначенной буквой x , в символической записи ядерной реакции: ${}^{14}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + x$.
30. Написать недостающие обозначения в реакциях: 1) ${}^{27}_{13}\text{Al}(n, \alpha)x$; 2) ${}^{19}_9\text{F}(p, x){}^{16}_8\text{O}$; 3) ${}^{55}_{25}\text{Mn}(x, n){}^{55}_{26}\text{Fe}$.
31. Найти энергию ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N}(n, p){}^{14}_6\text{C}$, если энергия связи ядра ${}^{14}_7\text{N}$ равна 104,66 МэВ, а ядра ${}^{14}_6\text{C}$ – 105,59 МэВ.
32. Определить энергию, которая освободится при делении всех ядер, содержащихся в ${}^{235}_{92}\text{U}$ массой 1 г.
33. Определить энергию α - распада ядра полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$.
34. Нейтрон, обладающий энергией 4,6 МэВ, в результате столкновений с протонами замедляется. Сколько столкновений он должен испытать, чтобы его энергия уменьшилась до 0,23 эВ? Нейтрон отклоняется при каждом столкновении в среднем на угол 45°.
35. Мезон космических лучей имеет энергию 3 ГэВ. Энергия покоя мезона 100 МэВ. Какое расстояние в атмосфере сможет пройти мезон за время его жизни по лабораторным часам? Собственное время жизни мезона 2 мкс.
36. Найти средний путь, проходимый π - мезонами с кинетической энергией, которая в 1,2 раза превышает их энергию покоя. Среднее время жизни очень медленных π - мезонов 25,5 нс.
37. Электрон и позитрон, образуются фотоном с энергией 2,62 МэВ. Какова была в момент возникновения полная кинетическая энергия позитрона и электрона?
38. Покоившаяся нейтральная частица распалась на протон с кинетической энергией 5,3 МэВ и π^- - мезон. Найти массу этой частицы. Как она называется?

Задачи для самостоятельного решения:

1. Вычислить радиусы второй и третьей орбит в атоме водорода.
2. Определить наименьшую и наибольшую энергии фотона в ультрафиолетовой серии спектра водорода (серии Лаймана).
3. Вычислить частоты ω_1 и ω_2 вращения электрона в атоме водорода на второй и третьей орбитах. Сравнить эти частоты с частотой ν излучения при переходе электрона с третьей на вторую орбиту.
4. Электрон движется со скоростью $v = 2 \cdot 10^8$ м/с. Определить длину волны де Бройля λ , учитывая изменение массы электрона в зависимости от скорости.
5. Найти длину волны де Бройля протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов: 1) 1кВ; 2) 1МВ.
6. Используя соотношения неопределенностей $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, оценить ширину энергетического уровня в атоме водорода, находящегося: 1) в основном состоянии; 2) в возбужденном состоянии (время жизни атома в возбужденном состоянии равно 10^{-8} с).
7. Электрон находится в потенциальном ящике шириной $l = 0,5$ нм. Определить наименьшую разность ΔE энергетических уровней электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.
8. Определить показатель преломления n волн де Бройля при прохождении частицей потенциальной ступени с коэффициентом отражения $\rho = 0,5$.
9. Найти вероятность W прохождения электрона через прямоугольный потенциальный барьер при разности энергий $U_0 - E = 1$ эВ, если ширина барьера: 1) $d = 0,1$ нм; 2) $d = 0,5$ нм.
10. Ширина d прямоугольного потенциального барьера равна 0,2 нм. Разность энергий $U_0 - E = 1$ эВ. Во сколько раз изменится вероятность W прохождения электрона через барьер, если разность энергий возрастет в $n = 10$ раз?
11. Бор представляет собой смесь двух изотопов с относительными атомными массами $A_{r1} = 10,013$ и $A_{r2} = 11,009$. Определить массовые доли w_1 и w_2 первого и второго изотопов в естественном боре. Относительная атомная масса A_r бора равна 10,811.
12. Напишите символические обозначения ядер изотопов водорода и назовите их.
13. Определить атомные номера, массовые числа и химические символы зеркальных ядер, которые получатся, если в ядрах ${}^3_2\text{He}$, ${}^7_4\text{Be}$, ${}^{15}_8\text{O}$ протоны заменить нейтронами, а нейтроны – протонами. Привести символическую запись получившихся ядер.
14. Энергия связи ядра, состоящего из двух протонов и одного нейтрона, равна 7,72 МэВ. Определить массу нейтрального атома, имеющего это ядро.
15. За время $t = 8$ сут распалось $k = \frac{3}{4}$ начального количества ядер радиоактивного изотопа. Определить период полураспада $T_{1/2}$.
16. Определить число N атомов, распадающихся в радиоактивном изотопе за время $t = 10$ с, если его активность $A = 10^5$ Бк. Считать активность постоянной в течение указанного времени.
17. За время $t = 1$ сут активность изотопа уменьшилась от $A_1 = 1,18 \cdot 10^{11}$ Бк до $A_2 = 7,4 \cdot 10^9$ Бк. Определить период полураспада $T_{1/2}$.

18. Зная массу нейтрального атома изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$, определить массы m_1 , m_2 , m_3 ионов лития: однозарядного $({}^7_3\text{Li})^+$, двухзарядного $({}^7_3\text{Li})^{++}$ и трехзарядного $({}^7_3\text{Li})^{+++}$.
19. Найти энергию Q ядерных реакций: 1) ${}^3\text{H}(p,\gamma){}^4\text{He}$; 2) ${}^2\text{H}(d,\gamma){}^4\text{He}$; 3) ${}^2\text{H}(n,\gamma){}^3\text{H}$; 4) ${}^{19}\text{F}(p,\alpha){}^{16}\text{O}$.
20. Ядро урана ${}^{235}_{92}\text{U}$, захватив один нейтрон, разделилось на два осколка, причем освободилось два нейтрона. Одним из осколков оказалось ядро ксенона ${}^{140}_{54}\text{Xe}$. Определить порядковый номер Z и массовое число A второго осколка.
21. При делении одного ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$ выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$ составляет выделившаяся энергия?
22. Свободный нейтрон радиоактивен. Выбрасывая электрон и антинейтрино, он превращается в протон. Определить суммарную кинетическую энергию T всех частиц, возникающих в процессе превращения нейтрона. Принять, что кинетическая энергия нейтрона равна нулю и что масса покоя антинейтрино пренебрежимо мала.
23. Фотон с энергией $\varepsilon = 3$ МэВ в поле тяжелого ядра превратился в пару электрон-позитрон. Принимая, что кинетическая энергия частиц одинакова, определить кинетическую энергию T каждой частицы.
24. Электрон и позитрон, имевшие одинаковые кинетические энергии, равные 0,24 МэВ, при соударении превратились в два одинаковых фотона. Определить энергию ε фотона и соответствующую ему длину волны λ .
25. Нейтральный π -мезон (π^0), распадаясь, превращается в два одинаковых γ -фотона. Определить энергию ε фотона. Кинетической энергией и импульсом мезона пренебречь.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Никеров В. А. Физика: современный курс: учебник / В.А. Никеров. - 2-е изд. - Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. - 452 с.: ил. - <http://biblioclub.ru/>. - ISBN 978-5-394-02349-1
2. Миловидова Т. А. Физика: курс лекций / Т. А. Миловидова, А. М. Стыран. - Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. - 266 с. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/140566.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Макросистемы: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 257 с. - ISBN 978-5-4497-3887-5. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145183.html>
2. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Механика: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 223 с. - ISBN 978-5-4497-3888-2. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145184.html>
3. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Оптика: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 215 с. - ISBN 978-5-4497-3889-9. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145185.html>
4. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Электромагнетизм: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 270 с. - ISBN 978-5-4497-3890-5. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145186.html>
5. Михайлов, В. К. Физика Электронный ресурс: Учебное пособие / В. К. Михайлов. - Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. - 120 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7264-0679-4
6. Ташлыкова-Бушкевич И. И. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм Электронный ресурс: Учебник / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. - Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 304 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-985-06-2505-2
7. Ташлыкова-Бушкевич И. И. Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества Электронный ресурс: Учебник / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. - Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 232 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-985-06-2506-9

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

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
ВВЕДЕНИЕ В КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
для студентов направления подготовки
02.03.01 Математика и компьютерные науки
направленность (профиль)
«Анализ данных и искусственный интеллект»

Лабораторная работа 1.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы.

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

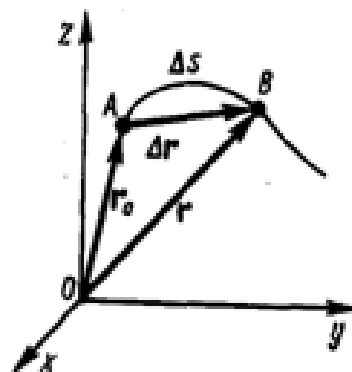
Одна из основных частей механики, которая называется **кинематикой**, рассматривает движение тел без выяснения причин этого движения. Кинематика отвечает на вопрос: как движется тело?

При поступательном движении тела все точки тела движутся одинаково, и, вместо того чтобы рассматривать движение каждой точки тела, можно рассматривать движение только одной его точки.

Основные характеристики движения материальной точки: траектория движения, перемещение точки, пройденный ею путь, координаты, скорость и ускорение.

Линию, по которой движется материальная точка в пространстве, называют траекторией.

Перемещением материальной точки за некоторый промежуток времени называется вектор перемещения



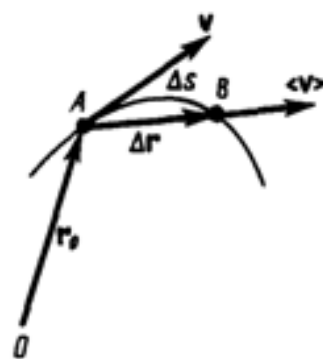
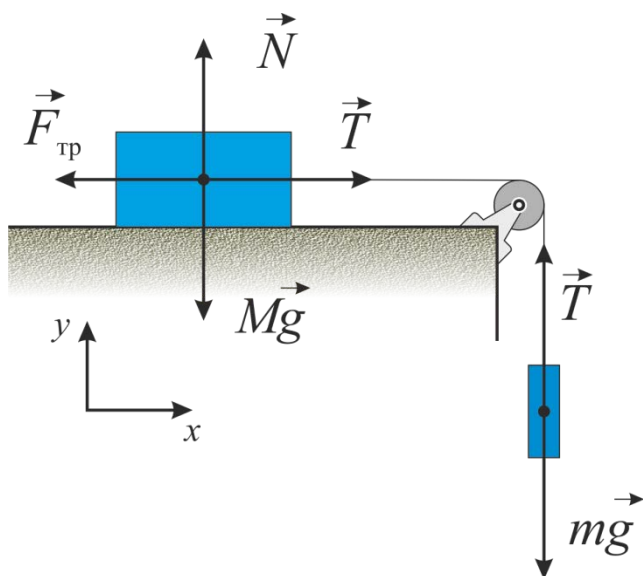


Рис. 2



При движении системы тел (груза и ползуна) связанных нитью, на груз действует сила тяжести

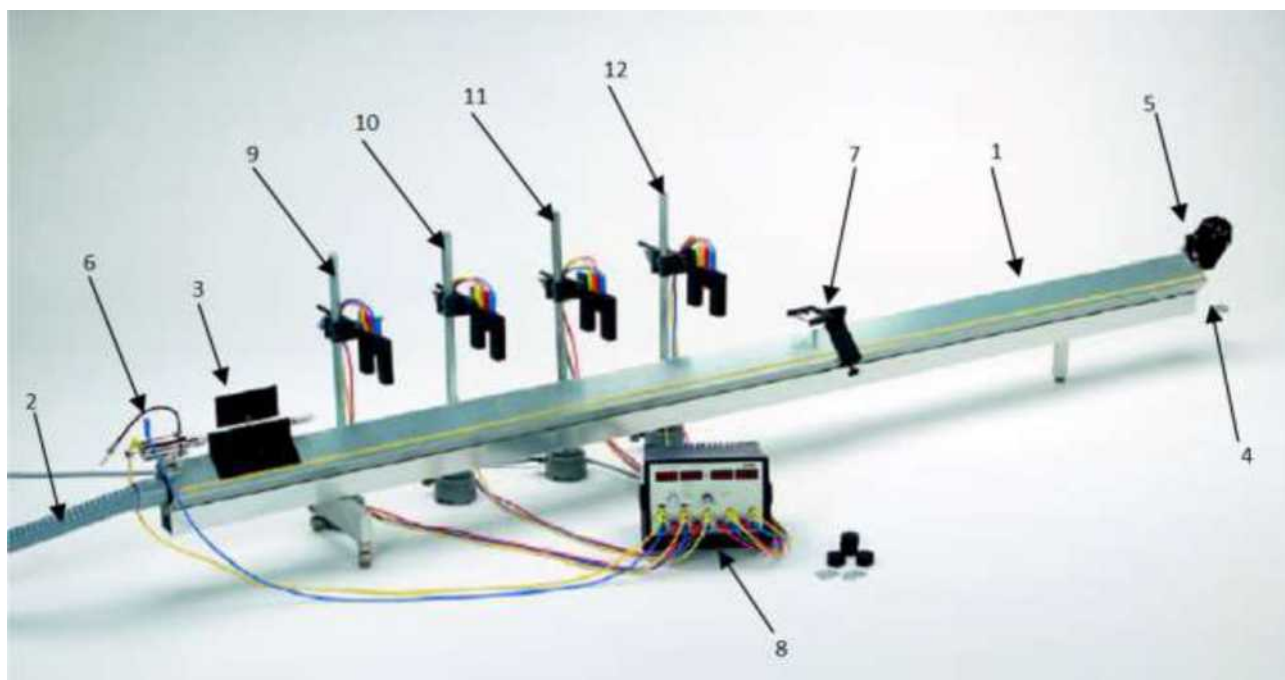


Рис.4. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель.

Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание. Исследование зависимости пройденного пути и скорости ползуна от времени.

1. Расположить веса горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.

В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .

2. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1 \dots x_n$.

3. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.

4. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».

5. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достает до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.

6. Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4. **Не устанавливать на воздуходувке значения больше 4!**
7. С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и массу ползуна $M = 210$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тросике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу отчета.
8. Постройте график зависимости пройденного пути от времени

Лабораторная работа 2.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Часть механики, в которой изучаются причины, вызвавшие движение, называется динамикой. Динамика отвечает на вопрос: почему тело движется именно так, а не иначе? В основу динамики взяты три закона Ньютона.

Первый закон Ньютона.

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела, или действия других тел компенсируются; эти системы отсчета называются инерциальными. Не все системы отсчета являются инерциальными.

Если система отсчета является инерциальной, то любая другая система отсчета, движущаяся относительно нее равномерно и прямолинейно, также инерциальна. Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, являются неинерциальными.

Принцип относительности Галилея: во всех инерциальных системах отсчета при одинаковых начальных условиях все механические явления протекают одинаково.

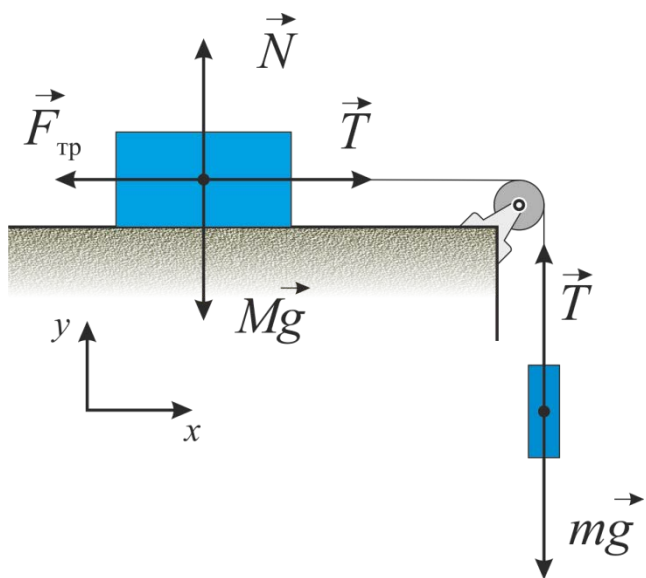
Инерция – это явление сохранения скорости тела. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции.

Инертность – это свойство тела, заключающееся в его способности сохранять скорость. Более инертными являются тела, которые медленнее изменяют свою скорость. Мерой инертности является масса.

Масса тела – физическая величина, количественно характеризующая инертность тела.

Сила – это количественная мера взаимодействия тел. Сила является причиной изменения скорости тела. В механике Ньютона силы могут иметь различную физическую природу: сила трения, сила тяжести, упругая сила и т.д. Сила является векторной величиной. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется равнодействующей силой.

Согласно второму закону Ньютона, описывающего движение материальной точки массой m под действием силы



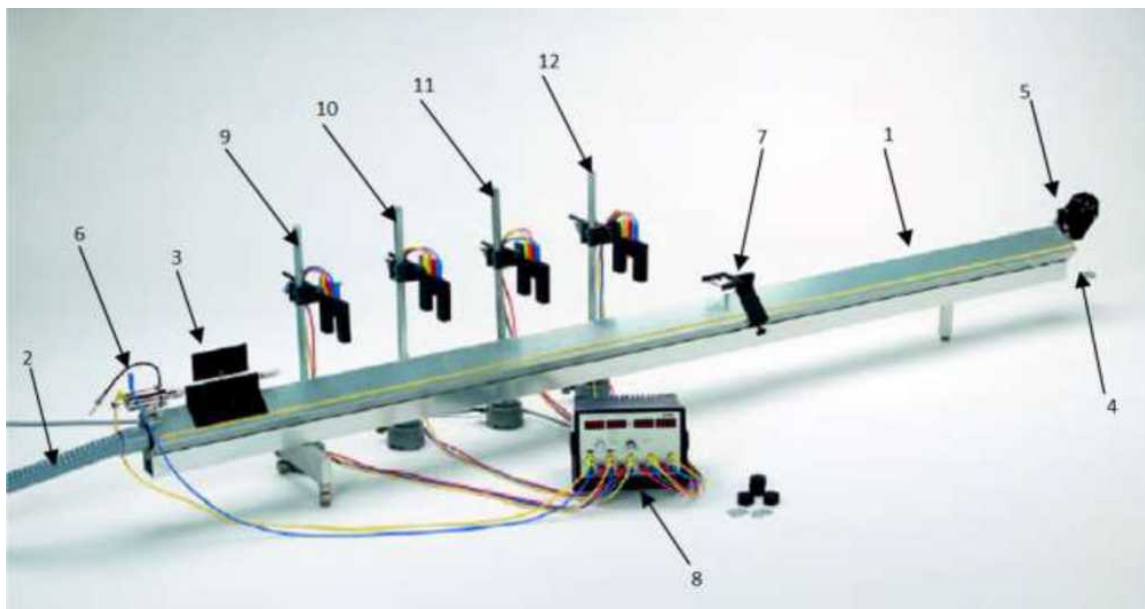


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель.

Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание 1. Исследование зависимости ускорения ползуна от массы груза m при постоянной суммарной массе $M + m$.

11. Расположить веса горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.

В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .

12. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1 \dots x_n$.

13. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.

14. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».

15. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.

16. Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4. **Не устанавливать на воздуходувке значения больше 4!**

17. С помощью гирь установить массу груза $m = 8$ г и массу ползуна с дополнительными гирями $M = 320$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тросике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу 1.
18. Повторить измерения для масс груза в диапазоне от 8 г до 16 г с шагом в 2 г. При этом нужно переносить гири ползуна на подставку груза, так чтобы суммарная масса $M+m=328$ г оставалась неизменной. Результаты занести в таблицу 1.
19. Рассчитать ускорение на каждом отрезке пути по формуле (см.(7)):

Лабораторная работа 3.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА (компьютерная модель)

Откройте программу «Открытая физика». Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с компьютерной моделью, описывающей поведение молекул идеального газа
- * Экспериментальное подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям.
- * Экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ВЕРОЯТНОСТЬЮ P_i получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, (N_i) к полному числу измерений N , когда $N \rightarrow \infty$.

ЭЛЕМЕНТАРНОЙ вероятностью dP_v при измерении величины скорости v называется вероятность наличия скорости величиной от v до $v + dv$. Эта вероятность пропорциональна приращению скорости dv : $dP_v = F(v) dv$, где коэффициент пропорциональности $F(v)$ называется ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ молекул по величине скорости. Она может быть выражена через другие функции распределения

$F(v) = \varphi(v_x) \cdot \varphi(v_y) \cdot \varphi(v_z) \cdot 4\pi v^2 = f(v) \cdot 4\pi v^2$, где $\varphi(v_x)$, $\varphi(v_y)$ и $\varphi(v_z)$ - функции распределения для соответствующих проекций скоростей молекул, а $f(v)$ - их произведение.

В §98 вы можете найти вывод формул, в частности

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)} 4\pi v^2.$$

$$\text{СРЕДНЯЯ скорость } \langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}},$$

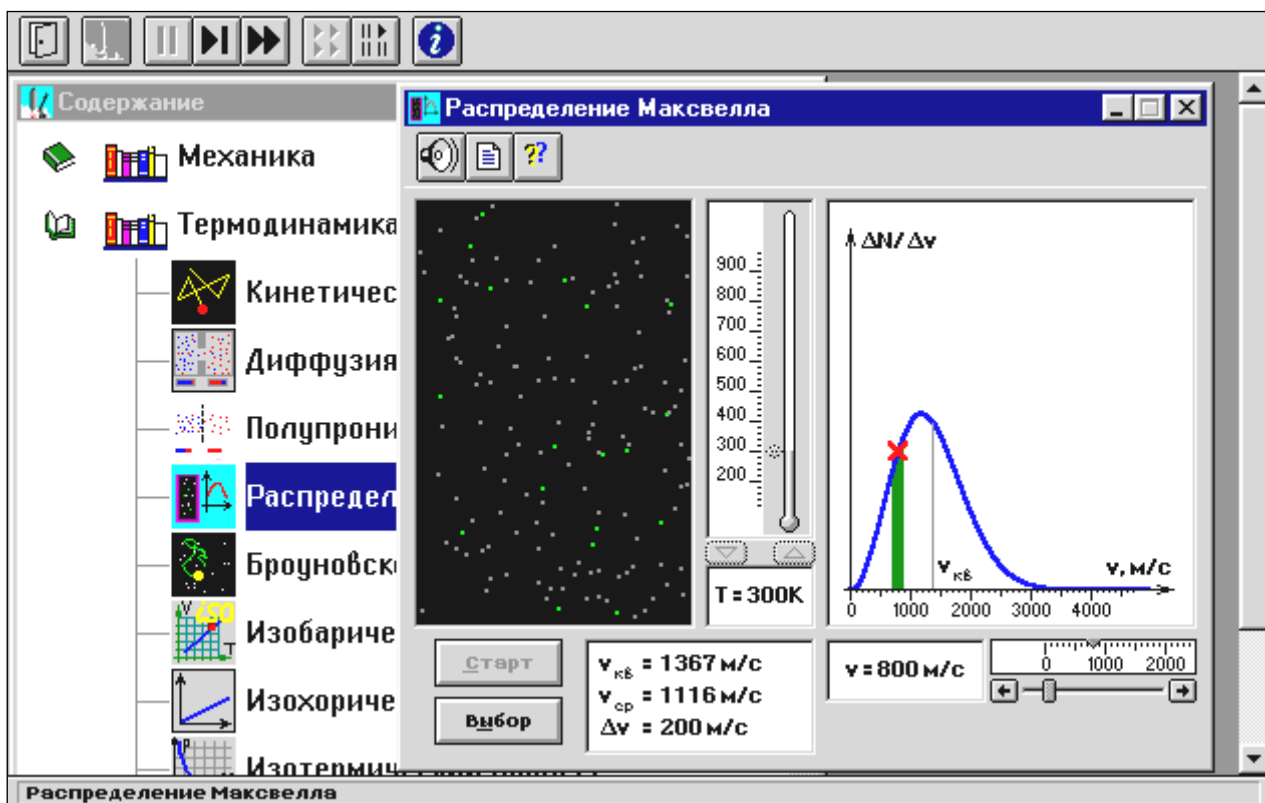
$$\text{СРЕДНЯЯ квадратичная скорость } v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$$

НАИВЕРОЯТНЕЙШЕЙ называется скорость $v_{\text{ВЕР}}$, при которой $F(v)$ имеет максимум:

$$v_{\text{ВЕР}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.



Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» вверху) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости v (т.е., имеющие скорости от v до $v+\Delta v$). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «▶▶». Запишите в тетрадь значение Δv , указанное на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите кнопки «▶▶», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в таблице 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.
2. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в таблице 2 значения.
3. Нажмите клавишу «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в таблицу 2.
4. Нажмите кнопку «▶▶» и через 10-20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «||»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в табл.2.
5. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты запишите в табл.2.
6. Измените скорость до значения, указанного в табл.2, и сделайте по 5 измерений (как в пункте 4) для каждой скорости.
7. Установите (как в пункте 1) вторую температуру T_2 из табл.1. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.
8. Повторите измерения (по пунктам 2,3,4,5), записывая результат в табл.3, аналогичную табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T ₁	160	200	260	300	360	400	460	500
T ₂	700	740	760	800	840	860	900	960

ТАБЛИЦЫ 2,3 Результаты измерений при T = ____ К

v[км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ΔN ₁							
ΔN ₂							
ΔN ₃							
ΔN ₄							
ΔN ₅							
ΔN _{ср}							

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц ΔN_{ср}, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до v+Δv.

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных и теоретических зависимостей ΔN_{ср}(v). Теоретические зависимости можно срисовать с экрана монитора компьютера, подобрав соответствующий масштаб по вертикальной оси ординат.

Для каждой температуры определите экспериментальное значение наиболее вероятной скорости молекул v_{вер}.

Постройте график зависимости квадрата наиболее вероятной скорости от температуры v_{вер}²(T).

По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{\text{вер}}^2)}.$$

Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Табличные значения

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы 10 ⁻²⁷ кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение вероятности получения некоторого результата измерения.
2. Дайте определение элементарной вероятности при измерении величины скорости.
3. Что такое функция распределения?
4. Как связаны функции распределения величины и проекции скорости?
5. Каковы особенности графика функции распределения величины скорости молекул идеального газа?
6. Как вычисляется среднее значение некоторой физической величины A, если известна ее функция распределения f(A)?
7. Напишите формулу для вычисления среднего значения скорости молекул.
8. Напишите формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул.
9. Напишите условие для вычисления наиболее вероятной скорости молекул.
10. Напишите выражение для средней скорости молекул идеального газа.
11. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул идеального газа.
12. Напишите выражение для наиболее вероятной скорости молекул идеального газа.
13. Вычислите на сколько процентов отличаются средняя и средняя квадратичная скорости молекул идеального газа.

14. Вычислите на сколько процентов отличаются средняя и наиболее вероятная скорости молекул идеального газа.

Лабораторная работа 4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ.

Цель работы: углубить представления о тепловых свойствах газов и их зависимости от характера тепловых процессов. Освоить один из методов определения отношения теплоемкостей.

Теория

Теплоемкостью тела называется то *количество теплоты, которое необходимо сообщить этому телу, чтобы изменить его температуру на 1 градус:*

согласно (3), все подводимое к газу тепло

описывающее адиабатические процессы в газах. Это уравнение называется *уравнением адиабаты* или *уравнением Пуассона*:

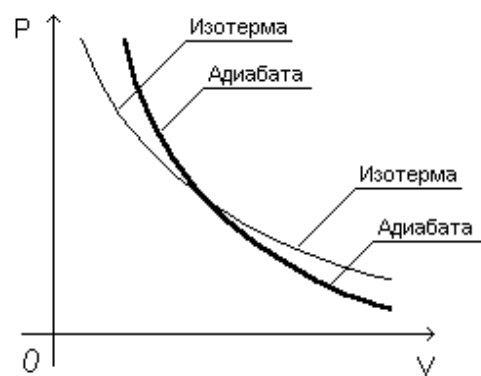


Рис. 1.



Рис. 2.

сжатом состоянии и будет теперь занимать меньший объем

4. Открыть кран КЗ и убедиться, что давление в баллоне равно атмосферному (стрелка манометра должна стоять на отметке «0»).
5. Накачать в баллон воздух до избыточного давления

Лабораторная работа 5.

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: Изучение основных закономерностей колебательного движения математического маятника.

Идея эксперимента

Колебательным движением механической системы называется периодическое движение системы в окрестности положения равновесия.

Время

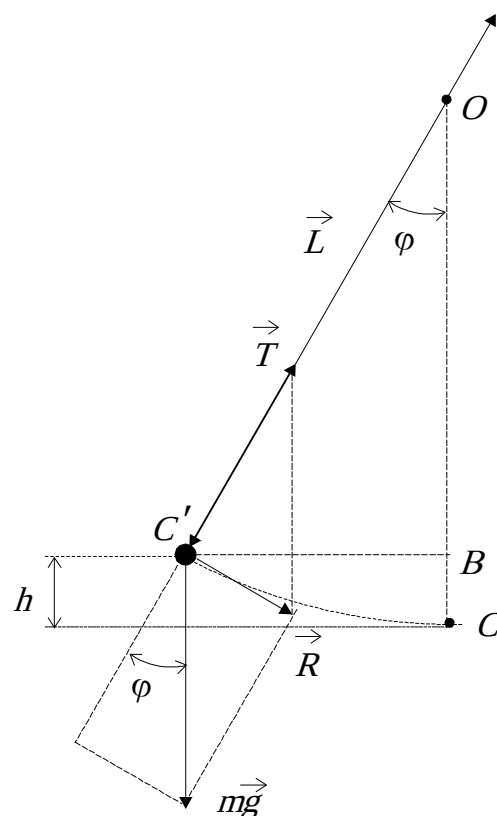


Рис. 1. Математический маятник



тела не обязательно должны иметь шарообразную форму. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .

Задание 2. Изучение зависимости периода колебаний математического маятника от его длины и определение ускорения свободного падения.

1. Подвешивают на нити стальной груз. Длину подвеса изменяют в пределах от $0,8$ до $1,8$ м с шагом приблизительно 10 см. Число колебаний в каждом опыте $10-20$. Полученные данные заносят в таблицу 2 отчета. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .
2. Зависимость $T=f(l)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеализировать. Для этого можно, например, построить график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника $T^2=f(l)$. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о выполнении формулы (9).
3. Для определения с помощью полученного графика ускорения свободного падения необходимо найти угловой коэффициент прямой, т.е. значение тангенса угла наклона графика к оси l . Вычисляют ускорение свободного падения.

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным? Что называется, периодом и частотой колебаний?
2. Какая система называется математическим маятником?
3. Какие колебания называются гармоническими? Что такое амплитуда и фаза колебаний.
4. Какие колебания называются изохронными? Являются ли колебания математического маятника изохронными? При каком условии колебания математического маятника можно считать изохронными?

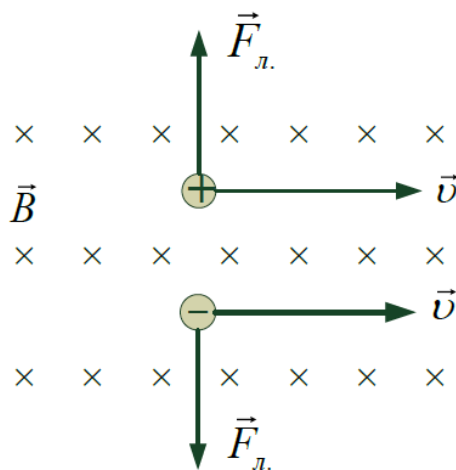
Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

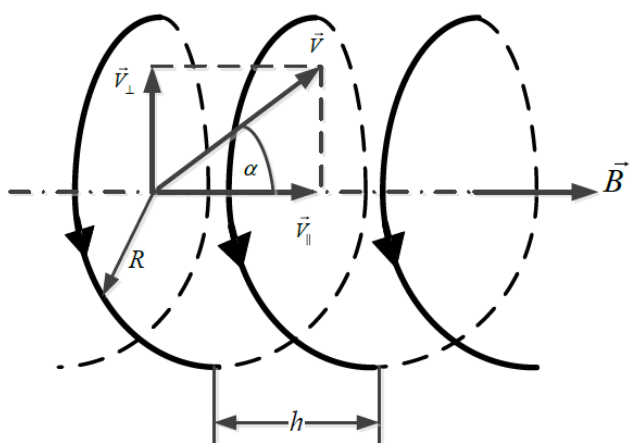
Цель работы: изучить влияние магнитного поля на движение заряженных частиц, определить величину удельного заряда электрона e/m_e .

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Удельный заряд электрона e/m относится к числу фундаментальных констант, таких, как скорость света c , постоянная Планка h , постоянная Больцмана k и другие. При движении электрона в электрических и магнитных полях траектория электрона определяется конфигурацией этих полей и отношением заряда электрона к его массе. Если движущаяся заряженная частица находится под действием однородного электрического и магнитного полей, то сила, действующая на частицу, равна:



Отсюда:



Экспериментальная установка приведена на рисунке 3.



Рис. 3. Схема установки.

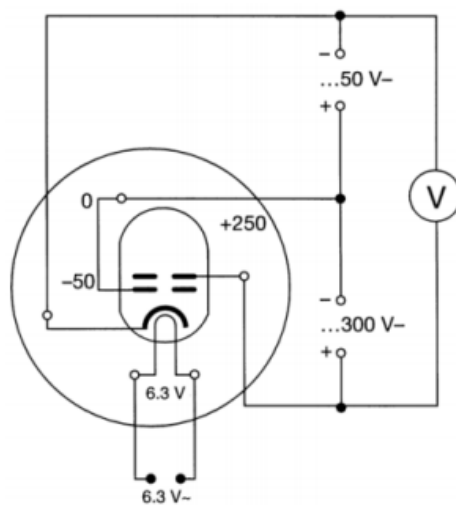
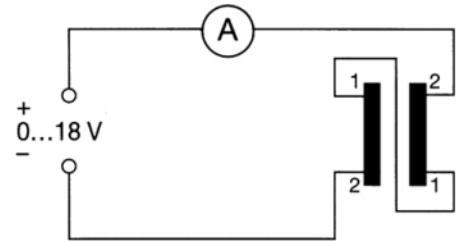


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема установки

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 4. В качестве источника магнитного поля используются катушки Гельмгольца, подключенные последовательно друг другу (рис. 5). **Максимально допустимая сила тока в не должна превышать 5 А.** Если полярность подключенных катушек правильная, то в затемненном помещении будет хорошо видна светящаяся кривая траектории электронов. Изменяя величину магнитного поля (силу тока в катушках) и скорость электронов (ускоряющее и фокусирующее напряжение), можно устанавливать радиус орбиты так, чтобы светящийся след совпадал с перемычками мерной сетки в электронно-лучевой трубке. В этом случае наблюдается половина окружности, радиус которой может быть равен 2, 3, 4 или 5 см. Если траектория имеет форму спирали, то это может быть устранено путем поворота электронно-лучевой трубки вокруг продольной оси.

В лабораторной работе электроны ускоряются электрическим полем и влетают в магнитное поле, направленное под прямым углом к направлению движения. Удельный заряд электрона определяется по значениям ускоряющего напряжения, индукции магнитного поля и радиуса орбиты электрона.

Индукция магнитного поля, создаваемого круговым током, текущим через 2 катушки, вдоль направления z , совпадающего с осью катушек, определяется выражением



- 4 и 5 см). В этом случае траектория пересекает перемычки мерной сетки в электронно-лучевой трубке и в месте пересечения виден яркий след.
5. Соответствующие значения силы тока запишите в таблицу 1 отчета.
 6. Изменяя ускоряющее напряжение с шагом 20 В до достижения величины $U = 340$ В, повторите действия пп. 3-5.
 7. Постройте графики зависимости

Лабораторная работа 7.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ.

Цель работы: изучение явлений интерференции и дифракции света с помощью дифракционной решетки; измерение длины волны лазера с помощью дифракционной решетки.

Оборудование и материалы: дифракционная решетка, оптическая скамья, лазер, экран.

Краткая теория

Интерференция монохроматического света.

Интерференция света – это частный случай явления интерференции волн, заключающийся в пространственном перераспределении энергии светового излучения при суперпозиции (наложении) электромагнитных волн. Необходимым условием интерференции любых волн является их когерентность – согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов. Строго когерентными могут быть лишь монохроматические волны – неограниченные в пространстве волны с постоянными во времени частотой, амплитудой и начальной фазой. Эти характеристики для монохроматических волн остаются постоянными неограниченно долго. Свет, излучаемый любым реальным источником, не обладает данными свойствами. Однако монохроматическая идеализация оказывается необходимой для решения многих задач, в частности для определения положения максимумов и минимумов интерференционной картины.

Предположим, что в некоторую точку пространства приходят две монохроматические световые волны, напряженности электрического поля которых равны E_1 и E_2 (векторы напряженностей магнитного поля волн равны H_1 и H_2 ; E и H колеблются во взаимно перпендикулярных плоскостях). Предполагая, что E_1 и E_2 в точке наблюдения совершают колебания вдоль одной прямой, можно отвлечься от векторного характера колебаний. Тогда

$$E_1 = E_{01} \cos(\omega t + \varphi_1), \quad E_2 = E_{02} \cos(\omega t + \varphi_2),$$

где E_{01} и E_{02} , φ_1 и φ_2 – амплитуды и начальные фазы колебаний.

Амплитуда результирующего колебания в рассматриваемой точке

$$E^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где последнее слагаемое, учитывающее взаимодействие пучков, называется интерференционным членом. Поскольку волны когерентны, то $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ имеет постоянное во времени (но свое для каждой точки пространства) значение, поэтому

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1)$$

(при распространении света в однородной среде интенсивности волн пропорциональны квадратам их амплитуд: $I \sim E^2$)

Если колебания синфазны (фазы φ_1 и φ_2 одинаковы или отличаются на четное число π), то интенсивность максимальна:

$$I_{\max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2;$$

если колебания противофазны (фазы φ_1 и φ_2 отличаются на нечетное число π), то интенсивность минимальна:

$$I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2.$$

Таким образом, при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн наблюдается *интерференция света* – происходит пространственное перераспределение светового потока, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Следует, однако, отметить, что две монохроматические световые

волны, распространяясь в одном направлении, не интерферируют между собой, если они линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Для некогерентных волн разность фаз колебаний хаотически изменяется, поэтому среднее во времени значение $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ равно нулю и интенсивность (1) результирующей волны всюду одинакова: при $I_1 = I_2$ интенсивность $I = 2I_1$ (для когерентных волн при указанном условии в максимумах $I = 4I_1$, в минимумах $I = 0$). Действительно, при наложении света от двух ламп интерференция не наблюдается. Следовательно, независимые источники света некогерентны, а их излучение немонохроматично. Причины этого заключены в самом механизме излучения света атомами (молекулами, ионами) источника света. Возбужденный атом излучает в течение очень короткого промежутка времени высвечивания $\tau = 10^{-8}$ с, после чего он, растратив избыточную энергию на излучение, возвращается в нормальное (невозбужденное) состояние. Через некоторый промежуток времени атом может вновь возбудиться, получив энергию извне и начать излучать. Такое прерывистое излучение света атомами в виде отдельных кратковременных импульсов – цугов волн – характерно для любого источника света независимо от вида конкретных процессов, происходящих в нем и вызывающих возбуждение атомов. При спонтанном излучении атомы излучают независимо друг от друга со случайными начальными фазами, беспорядочно изменяющимися от одного акта излучения к другому. Поэтому спонтанно излучающие атомы представляют собой некогерентные источники света.

Невозможность осуществления независимых когерентных источников света заставляет прибегнуть к искусственному приему. Этот прием состоит в том, что заставляют интерферировать части одной и той же волны, идущие от единственного источника и достигающие точки наблюдения по разным путям, благодаря чему между ними возникает некоторая разность хода. Когерентность обеспечивается тем, что обе интерферирующие волны одновременно испускаются одним источником.

Пусть в какой-то точке (в ней фаза колебаний равна ωt) произошло разделение волны на две когерентные волны, а до точки M , в которой наблюдается интерференционная картина, одна волна проходит в среде с показателем преломления n_1 путь s_1 , а вторая – в среде с показателем преломления n_2 путь s_2 . Тогда в точке M первая волна возбудит колебание $E_{01} \cos \omega(t - s_1/v_1)$, вторая – $E_{02} \cos \omega(t - s_2/v_2)$, где $v_1 = c/n_1$, $v_2 = c/n_2$ – соответственно фазовая скорость первой и второй волн. Разность фаз колебаний, возбуждаемых в точке наблюдения,

$$\Psi = \omega \left(\frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (s_2 n_2 - s_1 n_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta.$$

Произведение геометрической длины пути s световой волны в данной среде на показатель преломления n этой среды называют оптической длиной пути, а $\Delta = L_2 - L_1$ – оптической разностью хода.

Если оптическая разность хода равна целому числу длин волн в вакууме

$$\Delta = \pm m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (2)$$

то $\Delta = \pm 2m\pi$ и колебания, возбуждаемые в точке M обеими волнами, находятся в одинаковой фазе. Следовательно, условие (2) является условием интерференционного максимума.

Если

$$\Delta = \pm (2m + 1)\lambda/2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (3)$$

то $\Delta = \pm (2m + 1)\pi$ и колебания, возбуждаемые в точке M обеими волнами находятся в противофазе. Следовательно, (3) является условием интерференционного минимума.

Расчет интерференционной картины от двух источников.

Этот расчет для рассмотренных выше методов наблюдения интерференции света можно провести, используя две узкие параллельные щели S_1 и S_2 , расположенные очень близко друг к другу на расстоянии d (рис. 1). Они являются когерентными источниками – реальными или мнимыми изображениями источника в какой-то оптической системе. Рассмотрим результат интерференции в некоторой точке A экрана, параллельного обеим щелям

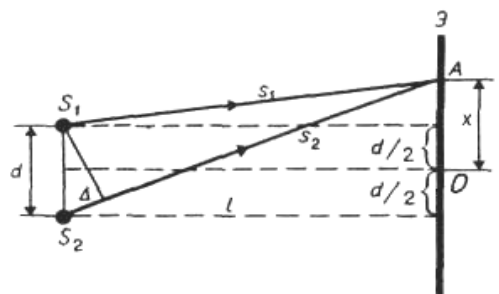


Рис. 1

и расположенного от них на расстоянии l ($l > d$). Начало отсчета выбрано в точке O , симметричной относительно щелей.

Интенсивность в любой точке экрана, лежащей на расстоянии x от O , определяется оптической разностью хода $\Delta = s_2 - s_1$. Из рис. 15.1. следует, что

$$s_2^2 = l^2 + (x + d/2)^2; \quad s_1^2 = l^2 + (x - d/2)^2,$$

откуда

$$s_2^2 - s_1^2 = 2xd,$$

или

$$\Delta = s_2 - s_1 = 2xd / (s_2 + s_1).$$

Из условия $l \gg d$ следует, что $s_1 + s_2 \approx 2l$, поэтому

$$\Delta = xd / l. \quad (4)$$

Подставив (4) в (2) и (3), получим, что максимумы интенсивности будут наблюдаться при

$$x_{\max} = \pm m \frac{l}{d} \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (5)$$

а минимумы – при

$$x_{\max} = \pm (m + 1/2) \frac{l}{d} \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (6)$$

Расстояние между двумя соседними максимумами (или минимумами), называемое шириной интерференционной полосы, равно

$$\Delta x = l \lambda_0 / d, \quad (7)$$

где Δx не зависит от порядка интерференции (величины m) и является постоянной для данных l , d и λ_0 . Согласно формуле (7), Δx обратно пропорционально d ; следовательно, при большом расстоянии между источниками, например при $d \approx l$, отдельные полосы становятся неразличимыми. Для видимого света $\lambda_0 \approx 10^{-7}$ м, поэтому четкая интерференционная картина, доступная для наблюдения, имеет место при $l \gg d$ (это условие и принимается в расчете).

Из выражений (5) и (6) следует, что интерференционная картина, создаваемая на экране двумя когерентными источниками света, представляет собой чередование светлых и темных полос, параллельных друг другу. Главный максимум, соответствующий $m = 0$, проходит через точку O . Вверх и вниз от него на равных расстояниях друг от друга располагаются максимумы (минимумы) первого ($m = 1$), второго ($m = 2$) порядков и т. д.

Описанная картина, однако, справедлива лишь при освещении монохроматическим светом. Если использовать белый свет, то интерференционные максимумы для каждой длины волны, согласно формуле (7), смещены друг относительно друга и имеют вид радужных полос. Только для $m = 0$ максимумы всех длин волн совпадают и в середине экрана будет наблюдаться белая полоса, по обе стороны которой симметрично расположатся спектрально окрашенные полосы максимумов первого, второго и т.д. порядков (ближе к полосе находятся зоны фиолетового цвета, дальше – зоны красного цвета).

Дифракция света. Метод зон Френеля

Дифракция света – это совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света сквозь малые отверстия, вблизи границ непрозрачных тел и т.д. и обусловленных волновой природой света, и заключающихся в огибании светом препятствий. Под дифракцией света обычно понимают отклонения от законов распространения света, описываемых геометрической оптикой.

Объяснение дифракции возможно с помощью принципа Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит источников вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени. Волновой фронт – это геометрическое место точек, до которых доходят колебания к некоторому моменту времени. Геометрическое место точек, для которых колебания имеют одинаковые фазы, называют волновой поверхностью. Волновой фронт также является волновой поверхностью.

Пусть для примера параллельный фронт волны (рассматриваем плоские волны) падает на отверстие в непрозрачном экране (рис. 2). Согласно Гюйгенсу, каждая точка выделяемого отверстием участка волнового фронта служит источником вторичных волн (в однородной изотропной среде они сферические). Построив огибающую вторичных волн для некоторого момента времени, видим, что фронт волны заходит в область геометрической тени, т.е. волны огибают края отверстия, иными словами, наблюдается явление дифракции.

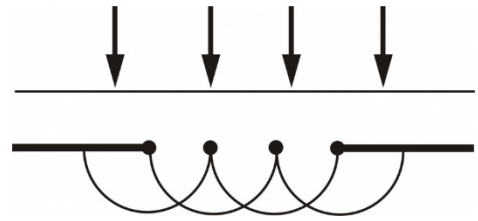


Рис. 2.

Принцип Гюйгенса позволяет решать задачу лишь о направлении распространения волнового фронта, т.е. является принципом геометрическим. С его помощью можно, например, вывести законы отражения и преломления света на границе раздела двух сред. Однако принцип Гюйгенса не затрагивал по существу вопрос об амплитуде, а, следовательно, и об интенсивности распространяющихся за преградой световых волн. Кроме того, оставалось неясным, почему при распространении волны не возникает обратная волна.

Френель дополнил принцип Гюйгенса идеей интерференции вторичных волн. Согласно принципу Гюйгенса – Френеля, световая волна, возбуждаемая источником S , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, «излучаемых» фиктивными источниками. Такими источниками могут служить бесконечно малые элементы любой замкнутой поверхности, охватывающей источник S . Обычно в качестве такой поверхности выбирают одну из волновых поверхностей, а поэтому все фиктивные источники действуют синфазно. Таким образом, для определения в некоторой точке пространства результирующей

интенсивности надо учесть интерференцию всех этих вторичных волн.

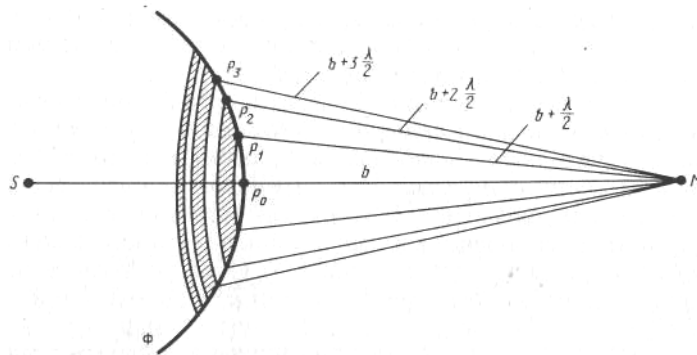


Рис. 3.

Пусть S – точечный источник монохроматического света (рис. 3), распространяющегося в однородной среде, а M – произвольная точка наблюдения, в которой определяется результирующая амплитуда световой волны, приходящей в эту точку. Согласно принципу Гюйгенса – Френеля, действие источника S заменяют действием воображаемых источников, расположенных на вспомогательной поверхности, в

качестве которой выбрана волновая поверхность Φ .

Для определения результирующей амплитуды Френель предложил разбить волновую поверхность на кольцевые зоны, названные впоследствии зонами Френеля. Размеры кольцевых зон таковы, что разность хода лучей, идущих от соответственных точек каждой соседней зоны до точки наблюдения M , равна $\lambda/2$, т.е. $P_1M - P_0M = P_2M - P_1M = P_3M - P_2M = \dots = \lambda/2$. Для этого необходимо из точки M построить сферы радиусами $b + \lambda/2$, $b + 2\lambda/2$, $b + 3\lambda/2$, ...

Колебания, возбуждаемые в точке M двумя соседними зонами, противоположны по фазе, так как разность хода соответствующих лучей от этих зон до точки наблюдения M равна $\lambda/2$, а поэтому при наложении эти колебания будут ослаблять друг друга. Следовательно, амплитуда результирующего колебания, возбужденного в точке M всей совокупностью зон,

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots, \quad (8)$$

где $A_1, A_2, \dots$ - амплитуды колебаний, возбуждаемых 1-й, 2-й, ... зонами.

Действие отдельных зон на точку M тем меньше, чем больше угол φ_m между нормалью $\mathbf{n}$ к поверхности зоны и направлением на M . Таким образом, действие зон постепенно убывает от центральной зоны к периферическим. Кроме того, с ростом m уменьшается интенсивность

излучения в направлении точки M (увеличивается расстояние от зоны до точки наблюдения). Следовательно, $A_1 > A_2 > A_3 > \dots$.

Так как общее число зон Френеля, уместяющихся на полусфере огромно, а их площади очень малы, то в качестве допустимого возможно приближение: $A_m = (A_{m-1} + A_{m+1})/2$. С учетом этого приближения из выражения (8) следует, что амплитуда результирующих колебаний в точке M $A \approx A_1/2$. Таким образом, амплитуда результирующих колебаний в произвольной точке определяется как бы действием только половины центральной зоны Френеля. Поэтому, если на пути монохроматического света от точечного источника S поместить экран, закрывающий все зоны, кроме первой, то амплитуда в точке M увеличится по сравнению с полностью открытым волновым фронтом в два раза, а интенсивность – в четыре.

Дифракцию разделяют на два типа – в зависимости от расстояний от источника и точки наблюдения (экрана) до препятствия, расположенного на пути распространения света. Первый тип дифракции относится к случаю, когда на препятствие падает сферическая или плоская волна, а дифракционная картина наблюдается на экране, находящемся за препятствием на конечном от него расстоянии. Дифракционные явления этого типа впервые изучены Френелем и называются дифракцией Френеля (или дифракцией в сходящихся лучах). Этот тип дифракции будет подробно рассмотрен нами на практическом занятии.

Второй тип дифракции относится к случаю, когда на препятствие падает плоская волна, а дифракционная картина наблюдается на экране, находящемся в фокальной плоскости собирающей линзы, установленной за препятствием. Дифракционные явления этого типа изучены Фраунгофером и называются дифракцией Фраунгофера (или дифракцией в параллельных лучах).

Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка

Пусть плоская монохроматическая световая волна падает нормально на непрозрачный экран (рис. 4) с узкой щелью шириной a и длиной $l \gg a$ (т.е. щель бесконечно длинная). Дифракционная картина наблюдается на экране Э, находящемся в фокальной плоскости собирающей линзы, установленной на пути прошедшего через щель света. Плоскость щели и экран параллельны друг другу.

Согласно принципу Гюйгенса – Френеля, каждая точка щели является источником вторичных волн, колеблющихся в одинаковой фазе, поскольку плоскость щели совпадает с фронтом падающей плоской волны.

Параллельные пучки лучей, выходящие из щели в произвольном направлении φ (φ – угол дифракции), собираются линзой в точке B . Открытую часть волновой поверхности MN в плоскости щели разбивают на зоны Френеля, имеющие вид полос, параллельных ребру M и проведенных так, чтобы разность хода от их соответственных точек была равна $\lambda/2$. При этом на ширине щели уместается $a \sin \varphi / (\lambda/2)$ зон.

Если число зон Френеля четное, т.е.

$$a \sin \varphi = \pm 2m(\lambda/2) \quad (m=1, 2, 3, \dots),$$

то в точке B наблюдается дифракционный минимум, если же число зон Френеля нечетное, т.е.

$$a \sin \varphi = \pm (2m+1)\lambda/2 \quad (m=1, 2, 3, \dots),$$

то наблюдается дифракционный максимум, соответствующий действию одной некомпенсированной зоны Френеля. В направлении $\varphi = 0$ наблюдается центральный дифракционный максимум, поскольку колебания, вызываемые в точке B_0 всеми участками щели, происходят в одной фазе.

На рис. 5 приведен дифракционный спектр – зависимость распределения интенсивности на экране от угла дифракции. Основная часть световой энергии сосредоточена в центральном максимуме. С увеличением угла дифракции интенсивность побочных максимумов резко уменьшается.

При освещении немонахроматическим светом боковые полосы радужно окрашены. С уменьшением ширины щели центральный максимум расширяется, при этом его яркость уменьшается. С увеличением ширины щели ($a > \lambda$) дифракционные полосы становятся уже и ярче, а число полос

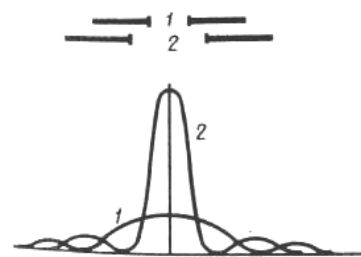


Рис. 5.

больше. При $a \gg \lambda$ в центре получается резкое изображение источника света.

В случае дифракции Фраунгофера на одной щели распределение интенсивности на экране определяется направлением дифрагированных лучей. Поэтому перемещение щели параллельно себе не изменит дифракционной картины. Следовательно, дифракционные картины, создаваемые каждой из двух щелей в отдельности, будут одинаковыми. Результирующая картина определится как результат взаимной интерференции волн, идущих от обеих щелей.

Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально на непрозрачный экран (рис. 6) с двумя одинаковыми щелями шириной a , отстоящими друг от друга на расстоянии b ($a + b = d$). очевидно, что минимумы будут на тех же местах, как и в случае одной щели, так как те направления, в которых ни одна из щелей не посылает света, не получают его и при двух щелях. Следовательно, прежние (главные) минимумы интенсивности наблюдаются в направлениях, определяемых условием

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

Вследствие взаимной интерференции световых лучей, посылаемых двумя щелями, в некоторых направлениях они могут гасить друг друга, т.е. могут возникнуть дополнительные минимумы. Это будут, очевидно, направления, которым соответствует разность хода лучей $\lambda/2$, $3\lambda/2$, ..., посылаемых от соответственных точек обеих щелей (например, точек M и C). Такие направления (рис. 6) определяются условием

$$CF = MC \sin \varphi = (a + b) \sin \varphi = d \sin \varphi = \lambda / 2, 3\lambda / 2, \dots \quad (9)$$

Таким образом, с учетом (9) условие дополнительных минимумов

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

В направлениях

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (10)$$

действие одной щели усиливает действие другой, поэтому эти направления задают главные максимумы.

Таким образом, для двух щелей дифракционная картина определяется условиями

главные минимумы $a \sin \varphi = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$

дополнительные минимумы $d \sin \varphi = \lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$

главные максимумы $d \sin \varphi = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$

т.е. между двумя главными максимумами располагается дополнительный минимум, а максимумы становятся более узкими, чем в случае одной щели.

Аналогично можно показать, что между каждыми двумя главными максимумами при трех щелях располагаются два дополнительных минимума, при четырех щелях – три и т.п. В случае N щелей число дополнительных минимумов, наблюдаемых между соседними главными максимумами, составит $N - 1$.

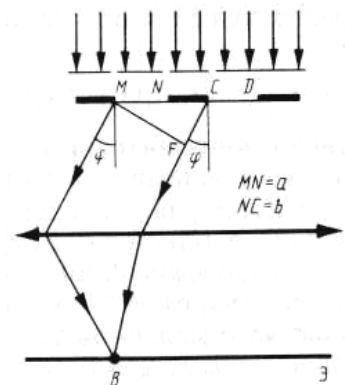


Рис. 6.

Экспериментальная установка



Рис. 7

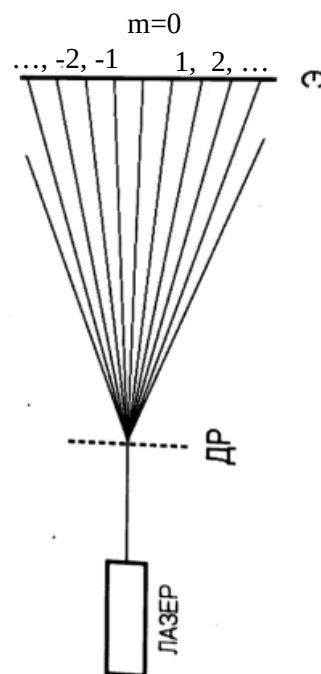


Рис. 8

Методика проведения эксперимента

Задание 1. Определение длины волны света с помощью дифракционной решетки.

1. Для проведения эксперимента собирают установку, внешний вид и оптическая схема которой представлены на рис. 7 и 8 соответственно.
2. Поместите дифракционную решетку в фиксатор.
3. Включите источник в сеть. **Осторожно лазерное излучение!**
4. На экране получите дифракционную картину в виде ряда точек – дифракционных максимумов различных порядков.
5. Измерьте расстояния между m и $-m$ максимумами ($2a$), определите величину a (расстояния от нулевого до m максимума).
6. Вычислить длину волны

4. Метод зон Френеля.
5. Дифракционные решетки, устройство, характеристики и виды.
6. Условие максимума дифракционной решетки.

Лабораторная работа 8.

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Цель работы: расширить представления о внешнем фотоэффекте, экспериментально определить постоянную Планка.

Оборудование и материалы: лабораторная установка «Изучение фотоэффекта и определение постоянной Планка», светофильтры.

Краткая теория

Явление вырывания электронов из вещества под действием электромагнитного излучения получило название фотоэлектрического эффекта или **фотоэффекта**.

Различают внешний и внутренний фотоэффект.

При **внешнем фотоэффекте** электроны освобождаются светом из поверхностного слоя вещества и переходят в другую среду.

При **внутреннем фотоэффекте** оптически возбуждаемые электроны остаются внутри освещаемого тела, не нарушая электрическую нейтральность последнего. При этом изменяется электропроводность (фотопроводимость), возникает электродвижущая сила, изменяется диэлектрическая проницаемость (фотодиэлектрический эффект).

Явление фотоэффекта было открыто в 1887 году Генрихом Герцем. Он обнаружил, что проскакивание искры между шариками разрядника значительно облегчается, если отрицательно заряженный шарик осветить ультрафиолетовыми лучами. При освещении такими же лучами положительно заряженного тела потери заряда не наблюдается. Более того, если тело не было заряжено, то при освещении оно заряжается положительно до потенциала в несколько вольт. Однако, занятый исследованием электромагнитных волн, Герц не обратил внимание на это явление серьезного внимания.

Первые систематические исследования явления фотоэффекта принадлежат Столетову, проведенные в 1888-1890 гг. Схема установки, с помощью которой Столетов проводил исследования представлена на рисунке 1.

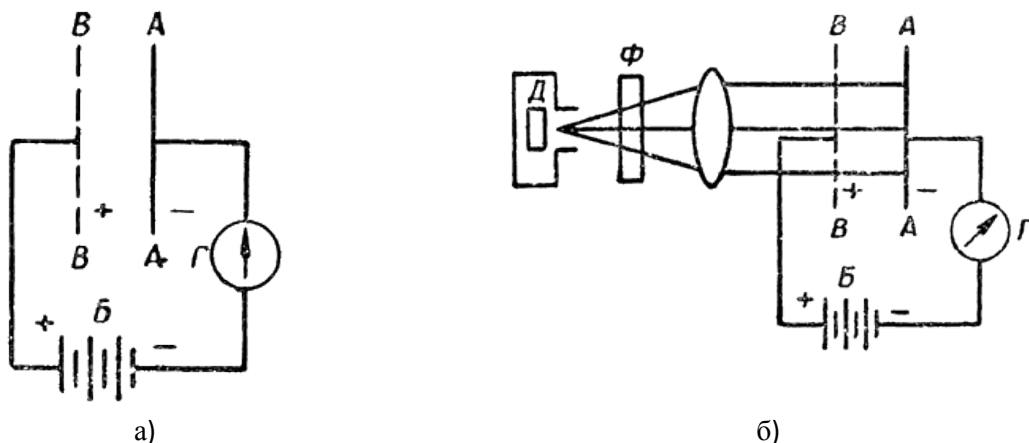


Рис. 1. *Опыты Столетова.* а) цепь между пластинкой АА и сеткой ВВ разорвана, ток не идет; б) пластинка АА освещается светом от вольтовой дуги Д. С пластины срываются отрицательные заряды, ток в цепи идет

Конденсатор, образованный проволоочной сеткой и сплошной пластиной, был включен последовательно с гальванометром G в цепь батареи. Свет, проходя через сетку, падал на сплошную пластинку. В результате в цепи возникал ток, регистрировавшийся гальванометром. В результате экспериментальных исследований Столетов установил следующие **закономерности фотоэффекта**:

- 1) наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи;
- 2) сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины;
- 3) испускаемые под действием света заряды имеют отрицательный знак.

В 1898 году Ленард и Томсон, измерив удельный заряд, испускаемых под действием света частиц, установили, что эти частицы являются электронами. В 1905 г. теоретически фотоэффект объяснил А. Эйнштейн.

Впоследствии установка для исследования фотоэффекта, предложенная Столетовым, была усовершенствована и ее принципиальная схема представлена на рис.2.

Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Построим вольтамперную характеристику фотоэлемента. Фотоэлемент представляет собой небольшой баллон, в котором создан вакуум и в центре которого находится положительный электрод (анод) (рис.2). На часть внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой металла, представляющий отрицательный электрод (катод).

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рис. 2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно построить вольтамперную характеристику фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 3). Под действием света из катода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи катода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на катод (катод при $U = 0$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на анод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение U_z , которое называют задерживающим напряжением.

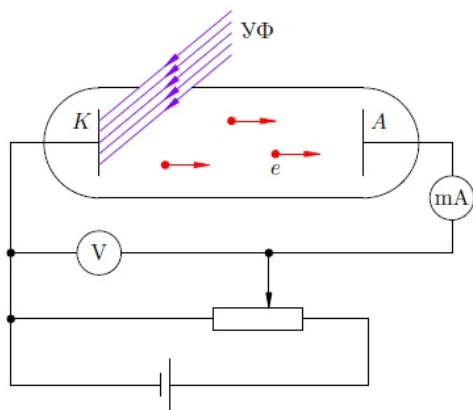


Рис. 2

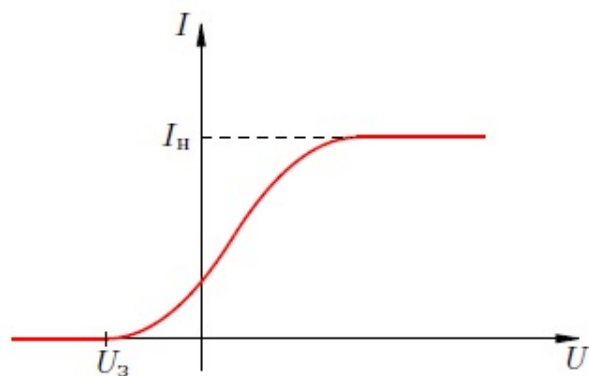


Рис. 3

Если увеличивать напряжение, то по мере роста все большее число электронов за секунду попадает на анод. Облако из электронов вблизи катода редет, а ток через фотоэлемент растет. При достаточно сильном поле облако из электронов вблизи катода полностью исчезнет. Все электроны, вышедшие из катода, будут попадать на анод – наступит насыщение: дальнейшее усиление поля в баллоне фотоэлемента не приведет к увеличению тока. Ток насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла.

Фототок насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока Φ . Он будет тем больше, чем больше число фотонов в секунду падает на катод. Очевидно, что зависимость $I_{\text{нас}}(\Phi)$ должна быть линейной. По этой причине вакуумные фотоэлементы могут служить

точными фотометрами, позволяющими измерять световые потоки. Следует отметить, что при достаточно больших световых потоках ток насыщения перестаёт увеличиваться пропорционально световому потоку – наступает насыщение фотозлемента по световому потоку.

Если световой поток, падающий на фотозлемент, создаётся точечным источником, то его величина обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника до фотозлемента:

$$\Phi \sim \frac{1}{R^2}$$

При изучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов при различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

Законы внешнего фотоэффекта.

I. Закон Столетова: при фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна энергетической освещенности катода).

II. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой ν , а именно линейно возрастает с увеличением частоты.

III. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т. е. минимальная частота света (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Качественное объяснение фотоэффекта с волновой точки зрения на первый взгляд не должно было бы представлять трудностей. Действительно, под действием поля световой волны в металле возникают вынужденные колебания электронов, амплитуда которых (например, при резонансе) может быть достаточной для того, чтобы электроны покинули металл; тогда и наблюдается фотоэффект. Кинетическая энергия, с которой электрон вырывается из металла, должна была бы зависеть от интенсивности падающего света, так как с увеличением последней электрону передавалась бы большая энергия. Однако этот вывод противоречит II закону фотоэффекта. Так как, по волновой теории, энергия, передаваемая электронам, пропорциональна интенсивности света, то свет любой частоты, но достаточно большой интенсивности должен был бы вырывать электроны из металла; иными словами, «красной границы» фотоэффекта не должно быть, что противоречит III закону фотоэффекта.

А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что явление фотоэффекта и его закономерности могут быть объяснены на основе предложенной им ***квантовой теории фотоэффекта***. Согласно Эйнштейну, свет частотой ν не только испускается и поглощается, но и распространяется в пространстве отдельными порциями или квантами, энергия которых $\varepsilon = h\nu$, h – постоянная Планка ($h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж с).

Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волновой процесс, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью c распространения света в вакууме. Эти кванты электромагнитного излучения получили название ***фотонов***.

В соответствии с гипотезой предложенной Эйнштейном, энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается им целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода $A_{\text{вых}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии переходит в кинетическую энергию вылетевшего из металла фотоэлектрона.

Фотоны, падая на поверхность металла, проникают на очень малую глубину в металл и поглощаются отдельными его электронами проводимости. При этом их энергия практически

моментально возрастает до значения, достаточного, чтобы преодолеть потенциальный барьер вблизи поверхности металла, и они вылетают наружу.

Закон сохранения энергии позволяет написать простое соотношение, связывающее скорость фотоэлектронов с частотой поглощаемого света.

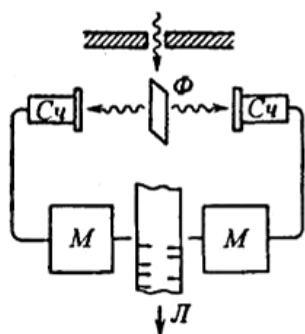
Энергия фотона после поглощения его, с одной стороны, расходуется на преодоление потенциального барьера (эта часть энергии называется работой выхода электрона из металла), а с другой стороны, частично сохраняется у электрона вне металла в виде кинетической энергии. Таким образом, баланс энергий выглядит следующим образом:

$$h\nu = \frac{mv_{\max}^2}{2} + A_{\text{вых}} \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона, m и $v_{\max}$ – его масса и скорость соответственно,

соотношений специальной теории относительности. В частности, из этой теории следует, что фотон является уникальной элементарной частицей, имеющей нулевую массу покоя. Это означает, что фотон всегда движется со скоростью c и не может находиться в состоянии покоя. Если при неупругом столкновении с другой элементарной частицей фотон «останавливается», то он исчезает, передавая всю свою энергию этой частице.

Энергия фотона



$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{\text{вблх}}}{e}. \quad (6)$$

Из последнего уравнения видно, что если строить по точкам график экспериментальной зависимости $U_3(\nu)$, то должна получиться прямая. Тангенс угла наклона этой прямой численно равен $\frac{h}{e}$.

Экспериментальная установка

Лабораторная установка (рис. 4) состоит из металлического корпуса 1, на котором установлен объектив 2 фотоэлемента и осветитель 3. Лампа осветителя установлена на подвижной каретке, которая может перемещаться вдоль установки. За счёт этого можно изменять расстояние от источника света до линзы фотоприёмника. Это расстояние измеряется по линейке 4. Для фиксации осветителя в определённой позиции служит зажимный винт 6. Имеется комплект из 5 светофильтров, которые устанавливаются на фотоприёмник. Перед фотоприёмником установлена стойка 5 для крепления вращающихся поляроидов, которые служат для ослабления светового потока, падающего на фотоэлемент.

Внутри металлического корпуса 1 расположен вакуумный фотоэлемент, блоки питания установки, а также встроенный датчик тока и напряжения, который служит для измерения фототока и катод-анодного напряжения фотоэлемента.

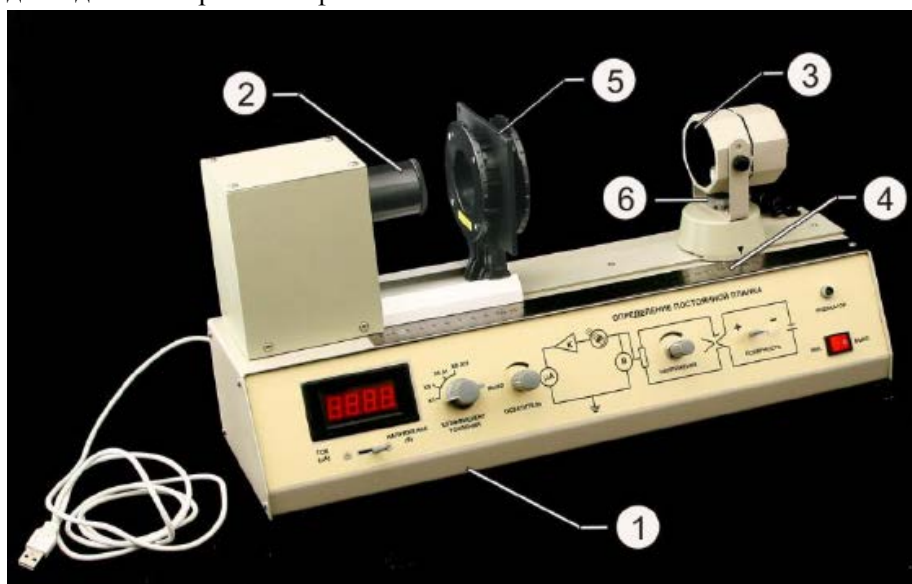


Рис. 4

Методика проведения эксперимента

1. Включите питание установки, дайте ей прогреться в течение 5 минут, передвиньте источник света на отметку 25 см.
2. Установите максимальную интенсивность света (не меняйте в течение эксперимента). Полярность напряжения переключите на «-». Режим отображения цифрового дисплея переключите в положение «Ток». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «x0.001».
3. Установите красный светофильтр, значение длины волны (указана на оправе) занесите в таблицу. Изменяя напряжение, добейтесь падения фототока до нуля. **ВНИМАНИЕ!** Запирающее напряжение – минимальное значение напряжения, при котором фотоэффект еще возможен. Если добились нулевого значения тока, то дальнейшее увеличение напряжения приведет к искажению результатов!
4. Зафиксируйте значение запирающего напряжения U_3 , данные занесите в отчет.

5. Повторите измерения для остальных светофильтров.
6. Рассчитайте частоту падающего света $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
7. Постройте зависимость $U_3(\nu)$.
8. По углу наклона прямой, описываемой уравнением (6), определите значение постоянной Планка.

Контрольные вопросы

1. Корпускулярно-волновой дуализм. Квантовая природа света.
2. Запишите формулу энергии фотона.
3. Модель атома Резерфорда-Бора.
4. Дайте формулировку явления фотоэффекта. Назовите виды фотоэффекта
5. Приведите установку Столетова. Сформулируйте законы фотоэффекта.
6. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
8. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
9. Проанализируйте вольт-амперную характеристику фотоэлемента.
10. Применение фотоэффекта.

Лабораторная работа 9.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ ПО ДЛИНЕ ИХ ПРОБЕГА В ВОЗДУХЕ

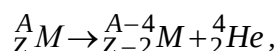
Цель работы: изучение основных механизмов взаимодействия альфа-частиц с веществом; определение энергии альфа-частиц по длине их пробега в воздухе.

Приборы и принадлежности: набор радиоактивных источников, блок детектирования, прибор для пересчета импульсов (лабораторный комплекс).

Введение

Альфа-частицы представляют собой ядра гелия ${}^4_2\text{He}$, имеют заряд $+2e$, состоят из 4 нуклонов – 2 протонов и 2 нейтронов. Ее спин и магнитный момент равны нулю.

Альфа-частицы возникают при радиоактивном распаде атомных ядер, а также в различных ядерных реакциях. При альфа-распаде исходное материнское ядро испускает альфа-частицу и превращается в дочернее ядро по схеме



где A – массовое число ядра, а Z – атомный номер (заряд).

Альфа-частицы, испускаемые естественно-радиоактивными элементами, имеют энергию от 4 до 11 МэВ. Частицы с относительно небольшой энергией можно получить путем ионизации атомов гелия.

Альфа-частицы часто используют в качестве бомбардирующих частиц при изучении строения вещества. Именно при изучении рассеяния α -частиц на тонких металлических фольгах Резерфорд в 1911 г. сделал вывод, что масса атома практически целиком сосредоточена в положительно заряженном ядре, имеющем размеры $\sim 10^{-13}$ см. Первая ядерная реакция

Проходя через вещество, α - частицы почти не рассеиваются на электронах среды из-за своей большой массы ($M_\alpha = 7350 m_e$, в результате столкновения с электроном они отклоняются от первоначального направления не более чем на 30°). Столкновения с ядрами, напротив, приводят к их значительному рассеянию.

Упругое рассеяние заряженной частицы на тяжелом ядре описывается формулой Резерфорда

$$N(\theta) = \frac{1}{4} N n d \left(\frac{z Z e^2}{m v^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}, \quad (1)$$

где $N(\theta)$ — число частиц, рассеянных в единице телесного угла под углом θ ; N — число частиц, падающих на 1 см^2 мишени в 1 с ; n — число ядер в 1 см^3 ; d — толщина мишени; Z заряд ядра-рассеивателя; z , m и v — заряд, масса и скорость частицы.

Формула Резерфорда была проверена экспериментально и оказалось, что она хорошо согласуется с опытом для широкого диапазона рассеивающих ядер, углов рассеяния и скоростей α - частиц.

Вывод формулы (1) был основан на следующих предположениях:

1. Между частицей и ядром действуют только кулоновские силы. В действительности помимо кулоновских сил между частицей и ядром при малых прицельных параметрах (большие углы рассеяния) могут действовать ядерные силы. Опыты по изучению рассеяния α - частиц больших энергий на ядрах показали, что существуют отступления от формулы Резерфорда, и характер этих отступлений позволил сделать определенные заключения о некоторых особенностях ядерных сил.
2. Отсутствует экранирование ядра атомными электронами. Между тем экранирование является существенным для малых углов рассеяния, когда частица пролетает на больших расстояниях от ядра. Поэтому для очень малых углов рассеяния формула (1) должна быть уточнена.
3. Масса налетающей частицы значительно меньше массы ядра. В этом случае частица при столкновении с ядром практически не теряет энергии, а лишь меняет направление движения (ядро остается неподвижным).
4. Скорость налетающей частицы значительно меньше скорости света (частица нерелятивистская).
5. Спины налетающей частицы и ядра — мишени равны нулю.

Формулы, учитывающие указанные эффекты, выведены Моттом. Они хорошо подтверждаются экспериментально.

Ионизационное торможение. В процессе ионизационного торможения энергия заряженной частицы расходуется на ионизацию и возбуждение атомов среды, через которую она проходит.

Квантовомеханическое рассмотрение процесса торможения приводит к следующему выражению для потери энергии нерелятивистской частицей на единице длины пути:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_0 v^2} \ln \frac{2m_0 v^2}{\bar{J}}, \quad (2)$$

Здесь z и v — заряд и скорость частицы; n — число электронов в 1см^3 ; $\bar{J} = (13,5 Z) \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$ — средний ионизационный потенциал атомов поглощающего вещества, где Z — заряд ядер среды; m_0 — масса покоя электрона.

Таким образом, удельная потеря энергии заряженной частицей на ионизацию пропорциональна квадрату заряда частицы, концентрации электронов в среде, некоторой функции от скорости частицы и не зависит от массы частицы M .

Для частиц со скоростями, близкими к скорости света ($\beta = v/c \sim 1$), учет релятивистских эффектов приводит к добавочным слагаемым в формуле для удельных потерь:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_0 v^2} \left[\ln \frac{2m_0 v^2}{\bar{J}} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]. \quad (3)$$

Это выражение известно как формула Бете. Графическая зависимость dE/dx от энергии α — частицы представлена на рис. 1.

Пробег частицы R можно определить как расстояние, которое она проходит до момента полной потери энергии. Характерной особенностью α — частиц является существование у них определенного пробега: треки α — частиц одной энергии в камере Вильсона представляют собой прямые линии одной и той же длины с небольшим разбросом в ту или иную сторону (см. Приложение).

В энергетических α — спектрах радиоактивных нуклидов часто наблюдается тонкая структура, т. е. α — спектры зачастую состоят из дискретных линий, соответствующих α — распаду на различные состояния дочерних ядер. Например, при распаде чётно-чётных ядер, т. е. ядер, имеющих чётное число протонов и чётное число нейтронов, имеется интенсивная α — линия, соответствующая α — переходу между основными состояниями материнского и дочернего ядер, и одна или несколько линий с меньшей энергией и с меньшей интенсивностью, соответствующих α — переходам на возбужденные состояния дочернего ядра. Эти линии соответствуют так называемым *короткопробежным α — частицам*. Гораздо реже имеет место α — распад возбужденных состояний атомных ядер (например, распад состояний ^{214}Po). В этих случаях энергия α — частиц больше энергии α — группы из основного состояния, и такие α — частицы называют *длиннопробежными*.

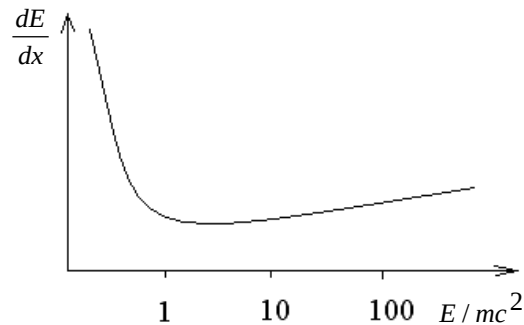


Рис. 1. Зависимость dE/dx от энергии α — частицы.

Величина пробега частицы определяется потерями энергии, которые происходят при ее движении. Потери эти различны для разных скоростей частиц.

1. При скоростях более $2,5 \cdot 10^9$ см/с ($E_\alpha > 15$ МэВ) величина $\ln\left(\frac{2m_0v^2}{\bar{J}}\right)$ в формуле (2)

изменяется так медленно, что ее можно приближенно считать постоянной величиной порядка единицы. Раскроем выражение для $-dE/dx$:

$$-\frac{dE}{dx} = -d\left(\frac{Mv^2}{2}\right)/dx = -Mv \frac{dv}{dx}.$$

Воспользовавшись формулой (2), получим $-\frac{dv}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m_0 M} \frac{1}{v^3}$. Тогда

$$-v^3 dv = a dx, \quad a = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m_0 M}.$$

Проинтегрируем это выражение: $\int_0^{v_0} v^3 dv = a \int_0^R dx$. Здесь v_0 – начальная скорость частицы, R – величина ее пробега. Проинтегрируем последнее выражение и получим

$$R = \frac{v_0^4}{4a}. \quad (4)$$

2. При скоростях α -частиц $(1 \div 2,5) \cdot 10^9$ см/с (4 - 15 МэВ) можно приближенно считать, что $\ln(2m_0v^2/\bar{J}) \sim BV$. Тогда

$$-\frac{dv}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m_0 M} B \frac{1}{v^3} = \frac{b}{v^2} \Rightarrow -v^2 dv = b dx.$$

Интегрируя, получим

$$R = \frac{v_0^3}{3b}. \quad (5)$$

Для α -частиц с энергиями 4-11 МэВ можно пользоваться соотношением

$$R = 0,32 E^{3/2}. \quad (6)$$

В этой формуле пробег α -частиц в воздухе R (при 15 °С и нормальном атмосферном давлении) выражается в сантиметрах, а энергия E в мегаэлектронвольтах.

Если рассмотреть выражения для пробегов в данной среде разных частиц, имеющих одинаковые скорости, то можно убедиться, что они относятся как соответствующие частицам значения M/z^2 . Например, пробеги α -частиц и протонов, имеющих, равные скорости, относятся как

$$\frac{R_\alpha}{R_p} = \frac{M_\alpha}{z_\alpha^2} : \frac{M_p}{z_p^2} = 1.$$

При этом энергии α -частиц и протонов отличаются в 4 раза.

На рис. 2 связь между пробегом и энергией частицы представлена в виде номограммы, при помощи которой по пробегу α -частицы можно найти ее энергию, и наоборот.

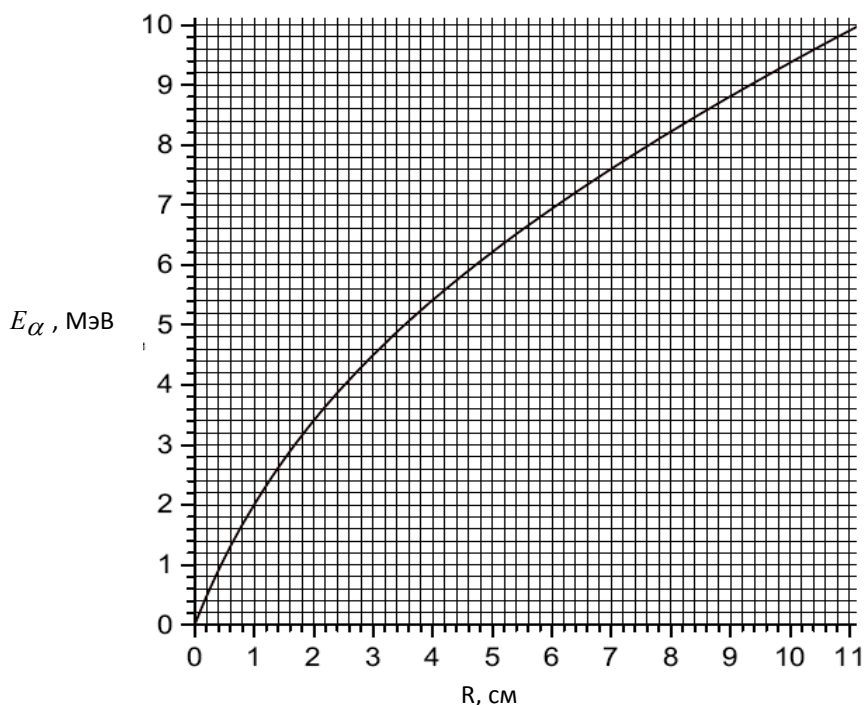


Рис. 2. Связь между энергией E_α и пробегом для α -частиц в воздухе при атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. и температуре 15 °С.

Потеря энергии или торможение α -частицы в веществе сопровождается ионизацией. *Полной ионизацией* называется число пар ионов, образованных α -частицей на всем ее пути. *Удельной ионизацией* называют число пар ионов, образованных частицей на единице пути.

Удельная ионизация не является постоянной величиной, но функцией пройденного альфа-частицей расстояния. Если измерить зависимость удельной ионизации n от расстояния x , пройденного частицей, получится кривая, показанная на рис. 3. Эта зависимость называется *кривой Брэгга*.

Как видно из рисунка, с уменьшением скорости удельная ионизация возрастает, достигая острого максимума (пик Брэгга), и затем быстро падает до нуля.

Зная энергию α -частицы и число пар ионов, образованных ею на протяжении всего пути, можно определить среднюю энергию, затрачиваемую α -частицей на создание одной пары ионов. Оказалось, что эта величина почти не зависит от скорости частицы, но является важной характеристикой вещества. Табл. 1 дает ее значения для некоторых газов.

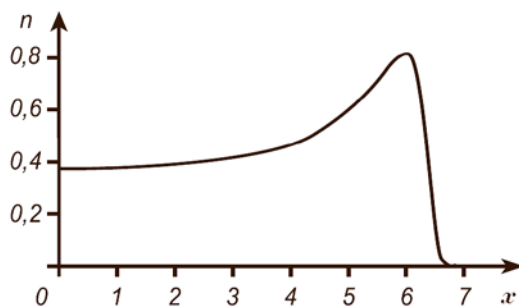


Рис.3. Кривая Брэгга.

Таблица 1.

Газ	$E, \text{эВ}$	Газ	$E, \text{эВ}$
H_2	33,0	O_2	33,3
He	27,8	Ne	27,4
N_2	35,0	Ar	25,4

Разброс пробегов. Если мы возьмём достаточно тонкий источник α - частиц, то все частицы выходят из него с одинаковой скоростью (α - частицы, испускаемые естественно-радиоактивными источниками, монохроматичны). Между тем, как можно убедиться на опыте, их пробег оказывается не одинаковым.

Если исследовать параллельный пучок α - частиц, например, при помощи флуоресцирующего экрана, и подсчитать число сцинтилляций, увеличивая постепенно расстояние между источником и экраном, т.е. заставляя α - частицы проходить все больший слой воздуха, то оказывается, что число частиц N в пучке остаётся приблизительно постоянным вплоть до определённого расстояния, а затем падает, но падает не сразу до нуля, а с некоторым наклоном (рис.4, кривая 1). Если эту кривую продифференцировать и построить величину $-dN/dx$ в зависимости от толщины слоя, то получится кривая 2. Эта кривая имеет резкий максимум при $x = R_{cp}$, показывающий, что подавляющее большинство α - частиц имеет определённый пробег с некоторым разбросом в ту или иную сторону. Величина R_{cp} называется *средним пробегом*. Разброс пробега называется *страгглингом*.

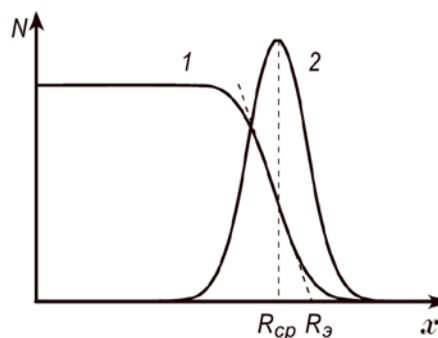


Рис. 4. Зависимость числа альфа-частиц, прошедших слой вещества, от толщины этого слоя.

Каковы же причины страгглинга?

Во-первых, дело во флуктуациях числа атомов на пути частицы. Число ионов, созданных частицей, т.е. потеря ею энергии, будет зависеть от этого числа. Если среднее число ионов, образуемых α - частицей на длине её пробега N , то возможное отклонение от этого числа, согласно статистическому закону, равно $\sqrt{N}$. Среднее число пар ионов, образуемых частицей, движущейся со скоростью $2 \cdot 10^9 \text{ см/с}$, равно $2,8 \cdot 10^5$. Флуктуация этого числа $\sqrt{N} = 5,3 \cdot 10^2$, т.е. составляет

0,2 %. Однако, как показывает опыт, флуктуации в пробеге частиц составляют не 0,2 %, а значительно больше (около 2 %).

Второй причиной, вызывающей страгглинг, является перезарядка частиц при их движении через среду. Если направить пучок α -частиц через камеру Вильсона с малой скоростью (пропустив их предварительно через фильтры перед камерой), то в треках α -частиц можно видеть разрывы – это участки пути, на которых они являются нейтральными. При прохождении α -частиц через вещество к ним может примкнуть один или два электрона. Таким образом, на всём пути частица имеет разный заряд. Опытами было установлено, что быстрая α -частица движется, в основном, как двухзарядный ион или даже как нейтральная частица. Естественно, что перезарядка вызовет дополнительные флуктуации в ионизации, и значит, флуктуации в пробеге. Эта причина даёт 1,5 - 1,7 % разброса пробегов.

Помимо среднего пробега α -частиц, существует понятие *экстраполированного пробега*. Кривые, подобные кривой 1 на рис.5, почти прямолинейны на значительном расстоянии вблизи конца пробега, где имеется быстрый спад. Экстраполированный пробег получается путём продолжения этой почти прямой линии до пересечения её с осью абсцисс, и величина, соответствующая точке пересечения, принимается за величину пробега. Этот пробег всегда больше, чем средний. В таблицах приводят значения, как среднего, так и экстраполированного пробегов. В номограмме (рис.2) даются значения среднего пробега.

Практическая часть

Описание методов определения энергии α - частиц

Определение энергии α - частиц по величине их пробега. Величина пробега α -частиц связана с их энергией (см. предыдущий параграф), поэтому, измеряя так или иначе пробег α -частиц в веществе, можно определить их энергию. Так как частицы сильно поглощаются веществом, то для удобства проведения опытов в качестве поглотителя применяется воздух. В таких опытах в камеру помещают радиоактивный α -источник и на определённом расстоянии от него устанавливают детектор α -частиц. Наполняя воздухом откачанную камеру, снимают зависимость скорости счета альфа-частиц от давления в камере. При этом получается зависимость, аналогичная зависимости на кривой 1 (см. рис. 4).

По результатам измерений вычислить пробег альфа-частиц. Пробег равен

$$R = l \frac{P_0}{760},$$

где l — расстояние от источника, до детектора; P_0 - давление, соответствующее максимуму кривой 2 (см. рис. 4) при температуре 15° С. При этом вводится поправка на изменение давления в зависимости от температуры (измеряется температура до начала и в конце опыта, а за окончательное значение температуры берется их среднее). В номограмме (рис. 2) приводится зависимость пробега α -частиц в воздухе от энергии при 15° С. Можно считать, что температура газа в приборе равна температуре окружающего воздуха. По закону Гей-Люссака $P/T = const$ при $V = const$. Исходя из этого, вводится соответствующую поправку на температуру. Определив таким образом R , по номограмме находят энергию α -частиц.

Метод отличается простотой, однако точность определения энергии α -частиц при этом невелика - 50-100 кэВ.

Определение энергии α -частиц по создаваемой ими полной ионизации. Этот метод основан на том, что число ионов, создаваемое α -частицами в ионизационной камере, пропорционально энергии α -частиц. Камера обычно наполняется смесью аргона (90%) и метана (10%). Размеры камеры порядка $10 \times 10 \times 10$ см³, α -источники помещаются внутри камеры, что

обеспечивает почти 4 π -геометрию. С помощью ионизационной камеры можно определить энергию α -частиц с точностью 20-30 кэВ. Благодаря высокой чувствительности ионизационных камер их можно использовать для измерения энергии и интенсивности α -частиц от весьма слабых источников.

Сцинтилляционные α -спектрометры. Эти приборы имеют более высокие спектроскопические характеристики по сравнению с ионизационными камерами. В качестве детекторов α -частиц в таких спектрометрах чаще всего используются кристаллы ZnS. Амплитуда импульса тока на выходе ФЭУ пропорциональна интенсивности световой вспышки в кристалле, которая в свою очередь пропорциональна энергии α -частиц. С помощью сцинтилляционных спектрометров можно определять энергию α -частиц с точностью 10-20 кэВ. Применение кристаллов большой площади позволяет обеспечить высокую эффективность регистрации α -частиц и использовать сцинтилляционные спектрометры в прикладных областях, например, в дозиметрии, медицине, экологии и др.

α -спектрометры с полупроводниковыми детекторами имеют большие преимущества, перед ионизационными камерами, пропорциональными счетчиками и сцинтилляционными спектрометрами. Эти преимущества обусловлены гораздо более высокой разрешающей способностью полупроводниковых детекторов (~20 кэВ) и сравнительно простой конструкцией этих приборов. С помощью спектрометров с полупроводниковыми детекторами можно определять энергию α -частиц с точностью до 3-5 кэВ. Благодаря этим факторам спектрометры с полупроводниковыми детекторами стали основным инструментом для изучения α -спектров и получили широкое применение как в научных исследованиях, так и в прикладных областях. Некоторым недостатком спектрометров с полупроводниковыми детекторами является небольшой размер детекторов, что снижает эффективность регистрации α -частиц.

Метод магнитного анализа. Наиболее точное определение энергии заряженных частиц, в том числе α -частиц, производится с помощью магнитного анализа с использованием магнитных спектрометров различного типа. Эти приборы основаны на отклоняющем действии магнитного поля на движущуюся заряженную частицу. Разрешающая способность магнитных α -спектрометров составляет 2-5 кэВ, что позволяет определять энергии α -частиц с точностью 0,2-1,0 кэВ, которая недостижима другими методами. Однако магнитные α -спектрометры представляют собой весьма сложные и громоздкие устройства и используются только в специальных лабораториях.

Указания по выполнению работы

В настоящей работе определяется энергия α -частиц исследуемого нуклида по их пробегу в воздухе. Для этого снимается зависимость скорости счета α -частиц от расстояния между радиоактивным источником, закрепляемом в лабораторной станине специальным креплением, и счетчиком. Импульсы, возникающие в счетчике, усиливаются и регистрируются пересчетной схемой. Пересчетное устройство снабжено таймером, позволяющим устанавливать необходимое время индикации.

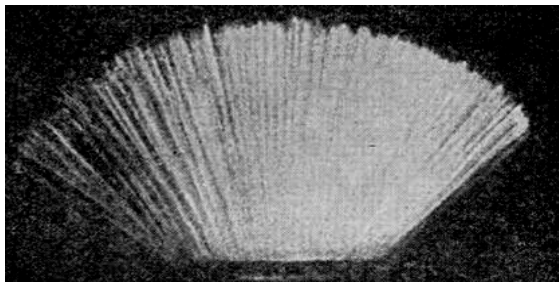
1. Включите установку и дайте ей прогреться в течение 1 мин.
2. Установите время индикации. Для этого необходимо нажать кнопку «Сброс», при этом во всех разрядах цифровых индикаторов должны появиться нули. С помощью кнопок «+» и «-» установите необходимое время индикации (отсчет времени индикации осуществляется нажатием кнопки «Пуск»).
3. Определите, какой из предлагаемых радиоактивных источников имеет максимальную активность А. Дальнейшие исследования проводите с этим образцом.

4. Проведите предварительные измерения зависимости счета N от расстояния x между источником и счетчиком, перемещая счетчик шагами по 1 мм. Постройте ориентировочный график $N=N(x)$.
 5. Используя график, определите участки, требующие уточнения. Проведите соответствующие измерения (измерения проводить 3-5 раз со статистической точностью не хуже 3-5 %).
 6. Результаты эксперимента представьте на графике в координатах N, x . Определите средний и экстраполированный пробег α -частиц в см.
 7. Определите энергию α частиц по формуле (6) и по рисунку 2. Сравните полученные результаты.
 8. Оцените точность полученного вами результата.
- В отчете представить блок-схему установки, результаты в виде таблиц и графиков, значения среднего и экстраполированного пробега, значение энергии альфа-частиц.

Контрольные вопросы

1. Что такое альфа-частицы, каков их состав, в каких процессах они возникают и где они используются?
2. Какова энергия альфа-частиц, испускаемых естественно-радиоактивными элементами?
3. Каковы основные процессы взаимодействия альфа-частиц с веществом?
4. Рассеяние альфа-частиц. Формула Резерфорда.
5. Ионизационное торможение альфа-частиц. Зависимость потерь энергии альфа-частиц от их начальной энергии.
6. Пробег альфа-частиц. Зависимость пробега от начальной энергии альфа-частиц.
7. Ионизация. Кривая Брэгга.
8. Страгглинг и его причины.
9. Метод определения энергии альфа-частиц по их пробегу. Схема установки, методика, проведения опыта и обработки данных.

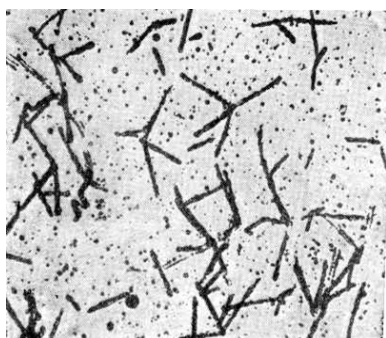
Приложение



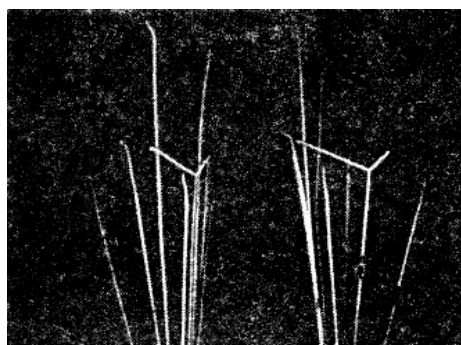
Фотография следов альфа-частицы в камере Вильсона. На снимке видно, что все альфа-частицы, вылетевшие из радиоактивного вещества, проходят в камере Вильсона практически одинаковый путь.



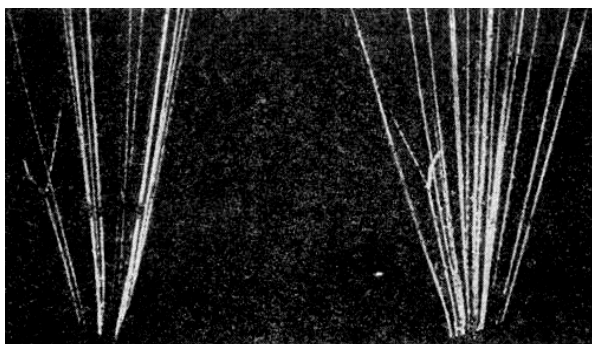
След альфа-частицы, испытавшей два столкновения.



Следы альфа-частиц в эмульсии. «Звезды», отчетливо видные на этой фотографии, представляют собой ядра, которые претерпевают ряд последовательных превращений с выбрасыванием альфа-частицы.



Пути альфа-частиц в камере Вильсона, наполненной кислородом.



Следы альфа-частиц в азоте. Видна вилка, образованная альфа-частицей. Более тонкий след принадлежит протону. Более жирный - ядру, захватившему альфа-частицу.



Расщепление азота альфа-частицами. Виден след выбитого протона, летящего в направлении, противоположном направлению альфа-частицы.

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

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине
Введение в курс общей физики
для студентов направления подготовки
02.03.01 Математика и компьютерные науки
направленность (профиль)
«Анализ данных и искусственный интеллект»

1. Общие положения

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов (СРС) в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения.

К основным видам самостоятельной работы студентов относятся:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- написание докладов;
- подготовка к семинарам, практическим и лабораторным работам, их оформление;
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний (педагогических, психологических, методических и др.);
- выполнение учебно-исследовательских работ, проектная деятельность;
- подготовка практических разработок и рекомендаций по решению проблемной ситуации;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин;
- выполнение выпускной квалификационной работы и др.

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей изучаемой дисциплины, объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы студентов, индивидуальных качеств студентов и условий учебной деятельности.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

Самостоятельная работа по дисциплине «Введение в курс общей физики» направлена на формирование следующих компетенций:

Код	Формулировка:
ПК-1	Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий

2. Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего бакалавра по соответствующему направлению подготовки

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

3. Технологическая карта самостоятельной работы студента

3. Технологическая карта самостоятельной работы студента					
Коды реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе (акад.)		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
4 семестр					
ПК-1	Самостоятельное изучение литературы и источников	Собеседование	16	2	18
ПК-1	Подготовка к лабораторным и практическим занятиям	Защита ЛР Собеседование по практическому занятию	16	2	18
ПК-1	Написание реферата/доклада	Защита доклада	16	2	18
Итого за 3 семестр			48	6	54
Итого			48	6	54

4. Порядок выполнения самостоятельной работы студентом

4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанно читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют **четыре основные установки в чтении научного текста:**

- информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям

Для того чтобы практические и лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в

строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, провести самопроверку усвоенных знаний, ответив на контрольные вопросы по изученной теме.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, докладов, эссе, научных статей и т.д.)

Перед тем, как приступить к написанию научного текста, важно разобраться, какова истинная цель вашего научного текста - это поможет вам разумно распределить свои силы и время.

Во-первых, сначала нужно определиться с идеей научного текста, а для этого необходимо научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время – важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой текст. Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важным мест и т. п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

Объем текста и различные оформительские требования во многом зависят от принятых в конкретном учебном заведении порядков.

Доклад - это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов.

Доклад не должна составляться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в доклад е должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим **основные этапы подготовки доклада студентом.**

Выполнение доклада начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания доклада. Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать работу.

Рабочий вариант текста доклада предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки доклад сдается на кафедру для его оценивания руководителем.

Требования к написанию доклада

Написание 1 доклада является обязательным условием выполнения плана СРС по любой дисциплине профессионального цикла.

Тема доклада может быть выбрана студентом из предложенных в рабочей программе или фонде оценочных средств дисциплины, либо определена самостоятельно, исходя из интересов студента (в рамках изучаемой дисциплины). Выбранную тему необходимо согласовать с преподавателем.

Доклад должен быть написан научным языком.

Объем доклада должен составлять 20-25 стр.

Структура доклада:

- Введение (не более 3-4 страниц). Во введении необходимо обосновать выбор темы, ее актуальность, очертить область исследования, объект исследования, основные цели и задачи исследования.

- Основная часть состоит из 2-3 разделов. В них раскрывается суть исследуемой проблемы, проводится обзор мировой литературы и источников Интернет по предмету исследования, в котором дается характеристика степени разработанности проблемы и ав-

торская аналитическая оценка основных теоретических подходов к ее решению. Изложение материала не должно ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы. Оно также должно содержать собственное видение рассматриваемой проблемы и изложение собственной точки зрения на возможные пути ее решения.

- Заключение (1-2 страницы). В заключении кратко излагаются достигнутые при изучении проблемы цели, перспективы развития исследуемого вопроса

- Список использованной литературы (не меньше 10 источников), в алфавитном порядке, оформленный в соответствии с принятыми правилами. В список использованной литературы рекомендуется включать работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе статьи, опубликованные в научных журналах в течение последних 3-х лет и ссылки на ресурсы сети Интернет.

- Приложение (при необходимости).

Требования к оформлению:

- текст с одной стороны листа;
- шрифт Times New Roman;
- кегль шрифта 14;
- межстрочное расстояние 1,5;
- поля: сверху 2,5 см, снизу – 2,5 см, слева - 3 см, справа 1,5 см;
- доклад должен быть представлен в сброшюрованном виде.

Порядок защиты доклада:

Защита доклада проводится на практических занятиях, после окончания работы студента над ним и исправления всех недочетов, выявленных преподавателем в ходе консультаций. На защиту доклада отводится 5-7 минут времени, в ходе которого студент должен показать свободное владение материалом по заявленной теме. При защите доклада приветствуется использование мультимедиа-презентации.

Оценка доклада

Доклад оценивается по следующим критериям:

- соблюдение требований к его оформлению;
- необходимость и достаточность для раскрытия темы приведенной в тексте доклада информации;
- умение студента свободно излагать основные идеи, отраженные в докладе;
- способность студента понять суть задаваемых преподавателем и сокурсниками вопросов и сформулировать точные ответы на них.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если в докладе студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует для написания доклада современные научные материалы; анализирует полученную информацию; проявляет самостоятельность при написании доклада.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если качество выполнения доклада достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы по теме доклада.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если материал доклада излагается частично, но пробелы не носят существенного характера, студент допускает

неточности и ошибки при защите доклада, дает недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не подготовил доклад или допустил существенные ошибки. Студент неуверенно излагает материал доклада, не отвечает на вопросы преподавателя.

Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

ВОПРОСЫ К СОБЕСЕДОВАНИЮ

Механика

Базовый уровень

1. Какая система отсчета называется инерциальной? неинерциальной?
2. Сформулируйте первый закон Ньютона.
3. Что называется силой? массой? Как они вводятся в физику?
4. Сформулируйте второй закон Ньютона.
5. Сформулируйте третий закон Ньютона.
6. Как ставится основная задача динамики материальной точки?
7. Дайте определение математического маятника.
8. Что называют моментом инерции материальной точки, твердого тела?
9. Дайте определение момента силы.
10. Как направлены векторы момента силы, углового ускорения.
11. Дайте определение физического маятника.
12. Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера.
13. Сформулируйте закон сохранения момента импульса системы тел.
14. Сформулируйте закон сохранения энергии системы тел.
15. Запишите основное уравнение динамики вращательного движения.
16. Как рассчитать кинетическую энергию вращающегося тела?
17. Как связаны угловые и линейные кинематические величины?
18. Какие существуют виды сил трения? В чем отличие между ними?

Повышенный уровень

1. С помощью основного уравнения динамики вращательного движения получите уравнение колебаний математического маятника.
2. С помощью основного уравнения динамики вращательного движения получите уравнение колебаний физического маятника.
3. Получите формулу для расчета периода колебаний физического маятника – однородного стержня.
4. Можно ли применить закон сохранения энергии к диссипативной системе?
5. Физический смысл коэффициента трения качения и трения скольжения.

Молекулярная физика и термодинамика

Базовый уровень

1. Что называется удельной и молярной теплоёмкостью тела?
2. Процесс нагревания газа при постоянном объёме.
3. Процесс нагревания газа при постоянном давлении.
4. Уравнение Пуассона.
5. C_p и C_v , связь между ними.
6. Показатель адиабаты.
7. Устройство калориметра.
8. Явление переноса в газах, жидкостях и твердых телах.
9. Первое начало термодинамики.
10. Какие тела называются кристаллическими, а какие – аморфными. Их отличительные черты.

Повышенный уровень

1. Средняя длина свободного пробега молекул и ее связь с коэффициентом теплопроводности.
2. Механизмы плавления и кристаллизации.

Электричество и магнетизм

Базовый уровень

1. Напряженность электрического поля.
2. Энергетическая характеристика электрического поля, понятие потенциала электрического поля.
3. Проводники во внешнем электрическом поле.
4. Электростатическая индукция.
5. Электростатическая защита. Ее физический смысл.
6. Диполь. Поле диполя.
7. Поляризация диэлектриков.
8. Емкость. Конденсатор.
9. Соединения конденсаторов.
10. Энергия заряженного конденсатора.
11. Эффект Холла и его объяснение.
12. Температурная зависимость сопротивления проводников, термический коэффициент сопротивления, его физический смысл, единицы измерения.
13. Что такое магнитное поле, его характеристики (напряженность, магнитная индукция).
14. Линии напряженности магнитного поля и его вихревой характер.
15. Закон Био-Савара-Лапласа, магнитная постоянная.
16. Взаимодействие электрических токов.
17. Магнетизм Земли.

18. Движение заряженных частиц в электромагнитном поле.
19. Сила Лоренца, правило определения направления силы Лоренца.
20. Удельный заряд электрона и методы его определения.
21. Что называется переменным током?
22. В чем заключается явление самоиндукции?
23. Что называется индуктивностью, от чего она зависит, единицы ее измерения.
24. Магнитные свойства вещества.
25. Магнетики и их классификация.
26. Кривая намагничивания.

Повышенный уровень

1. Эквипотенциальные поверхности, линии. Связь между вектором напряженности и потенциалом электрического поля. Выведите соответствующие формулы.
2. Сверхпроводимость.
3. Напряженность магнитного поля в центре кругового тока, прямого тока и бесконечного соленоида.
4. Постоянные магниты.
5. Явления магнитного гистерезиса. Петля гистерезиса, физический смысл площади петли.
6. Применение магнитных материалов.

Оптика

Базовый уровень

1. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
2. Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
3. От чего зависит абсолютный показатель преломления?
4. Зависит ли показатель преломления от угла падения? Угла преломления? Угла отражения? Скорости распространения света в среде?
5. Что такое полное внутреннее отражение? Условие полного внутреннего отражения.
6. Что такое интерференция?
7. Какие волны называются когерентными? С чем связана малая длина когерентности большинства источников?
8. Чем отличается геометрическая длина пути от оптической?
9. Какое соотношение между интенсивностями в максимумах и минимумах интерференционной картины? Чем это объясняется?
10. Как объяснить возникновение интерференционных колец?
11. Почему в центре интерференционной картины наблюдается темное пятно?
12. Почему для наблюдения колец Ньютона необходима линза с большим радиусом кривизны?
13. В чем заключается явление дифракции?
14. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
15. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера?
16. Дифракция на дифракционной решётке.
17. Как определить максимальное число дифракционных спектров для данной дифракционной решётки?
18. Что называется дисперсией света?
19. Какой свет называется поляризованным? Виды поляризации.
20. Как можно практически отличить естественный свет от плоско-поляризованного, от частично поляризованного?
21. Сформулируйте закон Брюстера. Как повысить степень поляризации преломлённого луча?
22. Сформулируйте закон Малюса и опишите способ его проверки.

Повышенный уровень

1. Чем объясняется дисперсия света в какой-либо среде?
2. Объясните причину двойного лучепреломления. Приведите примеры двулучепреломляющих материалов.
3. Как объясняется поглощение света веществом?

Атомная физика

Базовый уровень

1. Сформулируйте закон излучения Кирхгофа.
2. Запишите формулу Планка для теплового излучения (без вывода) и изобразите график этой функции для различных температур.
3. Сформулируйте закон смещения Вина.
4. Какое излучение называется тепловым (температурным) и чем оно обусловлено?
5. Что понимают под интенсивностью (яркостью) излучения и как она изменяется с повышением температуры?
6. Что называется абсолютно черным телом? Как практически осуществляется абсолютно черное тело?
7. Что такое коэффициент излучения не абсолютно черного тела?
8. В чем отличие линейчатых и полосатых спектров?
9. Сформулируйте постулаты Бора.
10. В чем заключается явление внешнего фотоэффекта?
11. Сформулируйте законы фотоэффекта.
12. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и объясните на его основе три закона фотоэффекта.

Повышенный уровень

1. Выведите формулу для расчета радиуса первой боровской орбиты в водородоподобном атоме.
2. Почему в атоме водорода электрон не может упасть на ядро, даже если его орбитальный момент равен 0?
3. Почему явление фотоэффекта не может быть объяснено с волновой точки зрения?
4. Применение полупроводниковых оптоэлектронных приборов.

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Базовый уровень

1. Что такое α -частицы, каков их состав, в каких процессах они возникают и где они используются?
2. Рассеяние α -частиц.
3. Бета-распад. Типы бета-распада. Вид бета-спектра.
4. Закон радиоактивного распада. Вид закона в дифференциальной и интегральной формах.
5. Какой изотоп получится из ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ после двух α - и двух β -распадов?
6. Прохождение космических лучей через атмосферу Земли. Мягкая и жесткая компоненты космических лучей.
7. Методы регистрации ионизирующих излучений. Их основные характеристики.

Повышенный уровень

1. Запишите релятивистский аналог второго закона Ньютона. В каких случаях ускорение и сила совпадают по направлению?

2. Запишите динамическое уравнение движения релятивистской частицы, движущейся под действием магнитной силы Лоренца?

Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Никеров В. А. Физика: современный курс: учебник / В.А. Никеров. - 2-е изд. - Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. - 452 с.: ил. - <http://biblioclub.ru/>. - ISBN 978-5-394-02349-1
2. Миловидова Т. А. Физика: курс лекций / Т. А. Миловидова, А. М. Стыран. - Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. - 266 с. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/140566.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Макросистемы: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 257 с. - ISBN 978-5-4497-3887-5. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145183.html>
2. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Механика: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 223 с. - ISBN 978-5-4497-3888-2. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145184.html>
3. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Оптика: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 215 с. - ISBN 978-5-4497-3889-9. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145185.html>
4. Паршаков А. Н. Физика в задачах. Электромагнетизм: учебное пособие / А. Н. Паршаков. - 2-е изд. - Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2025. - 270 с. - ISBN 978-5-4497-3890-5. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/145186.html>
5. Михайлов, В. К. Физика Электронный ресурс: Учебное пособие / В. К. Михайлов. - Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. - 120 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-7264-0679-4
6. Ташлыкова-Бушкевич И. И. Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм Электронный ресурс: Учебник / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. - Физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 304 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-985-06-2505-2
7. Ташлыкова-Бушкевич И. И. Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества Электронный ресурс: Учебник / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. - Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. - Минск: Вышэйшая школа, 2014. - 232 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-985-06-2506-9

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

- Образовательная сеть по физике (<http://www.phys.spbu.ru/~monakhov/>).
- Картина мира современной физики (<http://nrc.edu.ru/est/r2/index.html>).
- Справочник-тренажер: решение задач по физике (<http://shat.ee.saog.ac.ru/T-phisd>)

- Кабинет физики Санкт-Петербургского университета педагогического мастерства (<http://www.edu.delfa.net:8101/>)
- Интернет-место физика (<http://www.ivanovo.ac.ru/phys/>)
- Демонстрационный кабинет физики НГУ (<http://www.phys.nsu.ru/dkf/>).
- Клуб физики «Ньютон» (<http://www.edu.ione.ru/apple/>)
- Путеводитель «В мире науки» для школьников (<http://www.uic.ssu.samara.ru/~nauka/index.htm>)
- «Желтые страницы. Физика» (<http://www.yellow-pages.narod.ru/f01.htm>)
- Сайт кафедры методики преподавания физики МПУ (<http://www.mpf.da.ru/>)