МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

Кафедра «Физика для технических специальностей»

Пономаренко Е.В.

Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям), 5В073200 - Стандартизация, сертификация и метрология (по отраслям)

Шымкент – 2016 г.

УДК 53:005.216

Составитель: Пономаренко Е.В. Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям), 5В073200 - Стандартизация, сертификация и метрология (по отраслям). – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2016. – 64 с.

Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине составлены в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Физика 2» и включают все необходимые сведения для организации и выполнения самостоятельной работы студента.

Методические указания соответствуют типовой программе, рабочей учебной программе, силлабусу, и содержат тематику и учебные материалы СРС по модулям, требования к выполнению СРС, вопросы самоконтроля, рубежных контролей, текущего контроля, рекомендуемую литературу и т.д.

Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика 2» предназначены для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям), 5В073200 - Стандартизация, сертификация и метрология (по отраслям).

Рецензент:
Абдрахманова Х.К. – к.х.н., доцент каф. «Физика для ТС» ЮКГУ им. М.Ауэзова

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры «Физика для ТС» (протокол № ____ от «_____»_____2016 г.)
и методической комиссией факультета «Строительство и транспорт»
(протокол № ____ от «_____»_____2016 г.)

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ЮКГУ им. М.Ауэзова, протокол № ____ от «____»_____2016 г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2016 г.

Ответственный за выпуск: Пономаренко Е.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ТЕМАТИКА СРС ПО МОДУЛЯМ 5
УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СРС ПО МОДУЛЯМ 8
ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ 37
ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 41
ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ РУБЕЖНОГО КОНТРОЛЯ 42
ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ВОУД ПО ДИСЦИПЛИНЕ 47
ЛИТЕРАТУРА 61

ВВЕДЕНИЕ

Под самостоятельной работой студентов понимают разнообразные виды их индивидуальной или групповой познавательной деятельности. Самостоятельная работа студентов подразделяется на СРСП (самостоятельную работу студентов под руководством преподавателя во время аудиторных учебных занятий) и СРС (самостоятельную работу студентов во внеаудиторное время).

СРСП проводится с целью закрепления знаний и может проводиться на семинарских, практических или лабораторных занятиях. Задания для СРСП могут быть самые различные: устные ответы, контрольные работы, компьютерные презентации, решение задач, проведение деловых игр, составление глоссария и др. При кредитной системе обучения обязательным считается систематический мониторинг прогресса обучения.

Внеаудиторная СРС – это основной вид учебной деятельности, которая планируется и организуется самим студентом с помощью методических указаний. Она включает текущую подготовку к лекционным, лабораторным занятиям, выполнение курсовых проектов и работ, подготовку к экзаменам и т.д. А вообще СРС организуется на лекциях, семинарах, практических занятиях, во время проведения рубежного контроля, при непосредственном и активном участии преподавателя.

Данное методическое указание составлено с целью оказать помощь студенту в подготовке СРС. В пособии представлен материал, который необходимо изучить самостоятельно, приводится справочный материал, вопросы для самоконтроля знаний по каждой теме, которые разбираются на СРСП. Все задания должны быть сданы согласно датам, указанным в силлабусе. Задания, выполненные с опозданием, оцениваются на 20% ниже.

Сложность заданий различна, что позволяет обеспечить дифференцированный подход к уровню и качеству подготовки специалиста в зависимости от уровня его начальных базовых знаний, успеваемости, глубины изучаемого материала, дополнительных тем.

Задания по СРС направлены на развитие способностей студентов к творческой работе, анализу, поиску закономерностей. Задания СРС соответствуют учебным возможностям студентов.

Все виды СРС могут проводиться разными методическими приемами в различных сочетаниях.

ТЕМАТИКА СРС ПО МОДУЛЯМ

МОДУЛЬ 1. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА

СРС 1 Составить глоссарий по теме «Фотометрия».

Форма сдачи СРС: Устный опрос

Дата сдачи: 3 неделя.

Требования и рекомендуемый объем работы: не более 3 стр. формата А-4, рукописных либо набранных на компьютере.

Примечание: Составление глоссария означает определение терминов и понятий. Необходимо также указывать источник, откуда взято то или иное определение.

СРС 2 Подготовить презентацию (тема на выбор студента):

Тема 1. Применение явления полного внутреннего отражения.
Тема 2. Интерферометры.
Тема 3. Спектральное разложение. Голография.
Тема 4. Способы получения поляризованного света.
Тема 5. Явление двойного лучепреломления.
Тема 6. Поляризационные приборы и использование поляризованных лучей.
Тема 7. Нелинейный маятник. Динамический хаос.

Форма сдачи СРС: защита, выступление

Срок сдачи СРС: 5 неделя

Примечание: Презентация (представление информации в форме компьютерной презентации) - это выбор студентом определенной темы и выражение своего видения, творческого понимания какого-либо аспекта темы. Чтобы защитить презентацию, необходимо выступить на аудиторном или внеаудиторном занятии.

Требования и рекомендуемый объем работы: не менее 20 слайдов, обязательно содержание, основная часть, заключение, список литературы. Также желательно применить знания, полученные на занятиях по информатике: использовать анимации и иные возможности компьютерной техники.

СРС 3 Составить конспект по теме «Электромагнитные волны в веществе».

Форма сдачи СРС: Письменный/устный опрос

Дата сдачи: 7 неделя.

Требования и рекомендуемый объем работы: не более 5 стр. формата А-4, рукописных либо набранных на компьютере. Желательно представить информацию в структурированном виде, в виде таблиц и схем.

Примечание: Устное изложение материала – студент излагает материал на заданную тему в соответствии с вопросами по самоподготовке. Оценивается: насколько раскрыта тема, интерес слушателей, использование литературы. Письменный опрос – это наборы специальных заданий, проверяющих знания студента по выбранной теме.

МОДУЛЬ 2. КВАНТОВАЯ, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

СРС 4 Составьте конспект на тему «Атом и молекула водорода в квантовой теории» по плану: Временное и стационарное уравнение Шредингера. Частица в одномерной прямоугольной яме. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Статистический смысл волновой функции. Уравнения Шредингера.

Форма сдачи СРС: Письменный/устный опрос

Дата сдачи: 10 неделя.

Требования и рекомендуемый объем работы: не более 5 стр. формата А-4, рукописных либо набранных на компьютере. Желательно представить информацию в структурированном виде, в виде таблиц и схем.

Примечание: Устное изложение материала – студент излагает материал на заданную тему в соответствии с вопросами по самоподготовке. Оценивается: насколько раскрыта тема, интерес слушателей, использование литературы. Письменный опрос – это наборы специальных заданий, проверяющих знания студента по выбранной теме.

СРС 5 Подготовить презентацию (тема на выбор студента):

Тема 1. Оптическая пирометрия.
Тема 2. Рентгеновское излучение. Рентгенография.
Тема 3. Лазеры. Спонтанное и вынужденное излучение.
Тема 4. Дифракция электронов.
Тема 5. Элементы квантовой статистики. Фазовое пространство. Элементарная ячейка.
Тема 6. Квазичастицы. Их определения и виды.
Тема 7. Явление сверхпроводимости.
Тема 8. Ядерный реактор. Реакция синтеза.
Тема 9. Естественный фон. Солнечное излучение.
Тема 10. Дозиметрия ионизирующего излучения. Дозиметры.

Форма сдачи СРС: защита, выступление

Срок сдачи СРС: 5 неделя

Примечание: Презентация (представление информации в форме компьютерной презентации) - это выбор студентом определенной темы и выражение своего видения, творческого понимания какого-либо аспекта темы. Чтобы защитить презентацию, необходимо выступить на аудиторном или внеаудиторном занятии.

Требования и рекомендуемый объем работы: не менее 20 слайдов, обязательно содержание, основная часть, заключение, список литературы. Также желательно применить знания, полученные на занятиях по информатике: использовать анимации и иные возможности компьютерной техники.

СРС 6. Участие в групповом проекте (тема на выбор группы студентов).

Тема 1. Конденсированное состояние. Элементы структурной кристаллографии. Методы исследования кристаллических структур. Теплоемкость кристаллической решетки. Фононный газ. Размерный эффект в теплопроводности кристаллов.

Тема 2. Электропроводность металлов. Уровень Ферми. Поверхность Ферми. Носители тока как квазичастицы. Энергетические зоны в кристаллах. Низкоразмерные системы.

Тема 3. Металлы, диэлектрики и полупроводники в зонной теории. Понятие электронной и дырочной проводимости. Собственная и примесная проводимости. Намагничивание ферромагнетиков.

Срок сдачи СРС: 15 неделя

Форма сдачи СРС: выступление, сообщение, презентация и т.д., т.е. любая на выбор студента форма защиты проекта.

Примечание: групповой проект подразумевает участие группы студентов в разработке и защите темы, раздела физики. Группа не более 4 человек работает по выбранной теме не менее 1 месяца, представляя преподавателю промежуточные устные отчеты либо сообщения. Проблемные ситуации можно решить на консультации, во время занятий и т.д. При выставлении оценки учитывается вклад каждого члена группы в разработку и защиту проекта.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СРС ПО МОДУЛЯМ

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

1.Правило Ленца: индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.

Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока называется самоиндукцией. Если контур не деформируется и магнитная проницаемость среды не изменяется, то L=const и $\boxed{\xi_S = -L\frac{dI}{dt}}$, где знак минус, обусловленный правилом Ленца, показывает, что наличие индуктивности в контуре приводит к *замедлению изменения* тока в нем. Таким образом, контур, обладая определенной индуктивностью, приобретает электрическую инертность, заключающуюся в том, что любое изменение тока тормозится тем сильнее, чем больше индуктивность контура.

Экстратоки самоиндукции – это дополнительные токи за счет возникновения ЭДС самоиндукции при любом изменении силы тока в цепи. Согласно правилу Ленца, они всегда направлены так, чтобы препятствовать изменениям тока в цепи, т. е. направлены противоположно току, создаваемому источником. При выключении источника тока экстратоки имеют такое же направление, что и ослабевающий ток. Следовательно, наличие индуктивности в цепи приводит к замедлению исчезновения или установления тока в цепи.

Размыкание цепи Сила тока при размыкании цепи убывает по экспоненциальному закону $\boxed{I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}}$, где $\boxed{\tau = \frac{L}{R}}$ — постоянная, называемая временем релаксации - время, в течение которого сила тока уменьшается в е раз. Таким образом, в процессе отключения источника э.д.с. сила тока определяется кривой *1* на рис. 183. Чем больше индуктивность цепи и меньше ее сопротивление, тем больше т и, следовательно, тем медленнее уменьшается ток в цепи при ее размыкании.

Оценка ЭДС самоиндукции при размыкании цепи $\boxed{\xi_S = \frac{R}{R_0}\xi e^{-\frac{R}{L}t}}$ Таким образом, в процессе включения источника э.д.с. нарастание силы тока в цепи определяется кривой *2*. Установление тока происходит тем быстрее, чем меньше индуктивность цепи и больше ее сопротивление.

Замыкание цепи Сила тока при замыкании цепи $\boxed{I = I_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$

Взаимная индукция – это явление возникновения ЭДС в одном из контуров при изменении силы тока в другом.

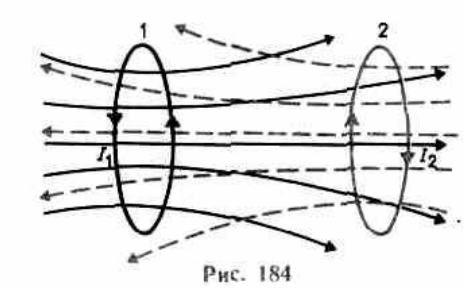

Рис. 184

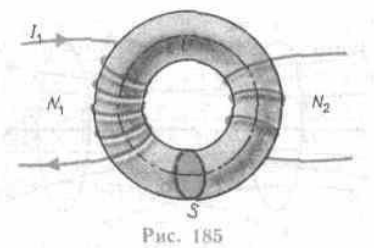

Рис. 185

Если ток I_1 изменяется, то в контуре *2* индуцируется э.д.с., которая по закону Фарадея, равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ_{21}, созданного током в первом контуре и пронизывающего второй: $\boxed{\xi_{i1} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L\frac{dI_2}{dt}}$ (рис. 184) Аналогично для второго контура.

Взаимная индуктивность двух катушек, намотанных на общий тороидальный сердечник $\boxed{L = \mu\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S}$ (рис. 185). Трансформатор – это устройство, применяемое для повышения или понижения напряжения переменного тока (рис. 186)

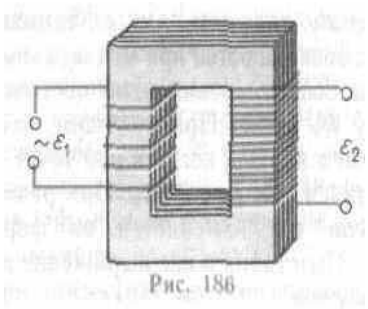

Рис. 186

Принцип действия трансформаторов, применяемых для повышения или понижения напряжения переменного тока, основан на явлении взаимной индукции. Отношение числа витков, показывающее, во сколько раз ЭДС во вторичной обмотке трансформатора больше (или меньше), чем в первичной, называется коэффициентом трансформации $\boxed{k = \frac{N_2}{N_1}}$. Если k>1, то трансформатор повышающий, увеличивающий переменную ЭДС и понижающим ток; если k<1, то трансформатор понижающий, уменьшающий ЭДС и повышающим ток.

Теория Максвелла, являясь обобщением основных законов электрических и магнитных явлений, смогла объяснить не только уже известные экспериментальные факты, что также является важным ее следствием, но и предсказала новые явления. Одним из важных выводов этой теории явилось существование магнитного поля токов смещения, что позволило Максвеллу предсказать существование электромагнитных волн

— переменного электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью. В дальнейшем было доказано, что скорость распространения свободного электромагнитного поля (не связанного с зарядами и токами) в вакууме равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Этот вывод и теоретическое исследование свойств электромагнитных волн привели Максвелла к созданию электромагнитной теории света, согласно которой свет представляет собой также электромагнитные волны. Электромагнитные волны на опыте были получены Герцем, доказавшим, что законы их возбуждения и распространения полностью описываются уравнениями Максвелла. Таким образом, теория Максвелла была экспериментально подтверждена.

К электромагнитному полю применим только принцип относительности Эйнштейна, так как факт распространения электромагнитных волн в вакууме во всех системах отсчета с одинаковой скоростью *c* не совместим с принципом относительности Галилея.

Согласно принципу относительности Эйнштейна, механические, оптические и электромагнитные явления во всех инерциальных системах отсчета протекают одинаково, т. е. описываются одинаковыми уравнениями. Уравнения Максвелла инвариантны относительно преобразований Лоренца: их вид не меняется при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, хотя величины E, B, D, H в них преобразуются по определенным правилам.

Из принципа относительности вытекает, что отдельное рассмотрение электрического и магнитного полей имеет относительный смысл. Так, если электрическое поле создается системой неподвижных зарядов, то эти заряды, являясь неподвижными относительно одной инерциальной системы отсчета, движутся относительно другой и, следовательно, будут порождать не только электрическое, но и магнитное поле. Аналогично, неподвижный относительно одной инерциальной системы отсчета проводник с постоянным током, возбуждая в каждой точке пространства постоянное магнитное поле, движется относительно других инерциальных систем, и создаваемое им переменное магнитное поле возбуждает вихревое электрическое поле.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Колебательный контур — цепь, состоящая из включенных последовательно катушки индуктивностью *L,* конденсатора емкостью *C* и резистора сопротивлением *R.* Второе правило Кирхгофа для контура $U_c = \varepsilon_S$, где $U_c = \frac{Q}{C}$ - напряжение на конденсаторе, $\varepsilon_S = -L\frac{dI}{dt}$ - ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке. Т.к. сила тока есть первая производная от заряда, получим дифференциальное уравнение колебаний

заряда в контуре $Q+\frac{R}{L}Q+\frac{1}{LC}Q=0$ *Если R=0, то свободные электромагнитные колебания в контуре являются гармоническими.*

Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний заряда в контуре $Q+\frac{1}{LC}Q=0$. Заряд совершает гармонические колебания по закону $Q=Q_m\cos(\omega_0 t+\varphi)$, где Q_m — амплитуда колебаний заряда конденсатора с циклической частотой ω_0, называемой собственной частотой контура $\omega_0=\sqrt{\frac{1}{LC}}$ и периодом $T=\frac{2\pi}{\omega_0}=2\pi\sqrt{LC}$ (формула Томсона). Сила тока в колебательном контуре $I=Q=-\omega_0 Q_m\sin(\omega_0 t+\varphi)=I_m\cos(\omega_0 t+\varphi+\frac{\pi}{2})$. Напряжение на конденсаторе $U_c=\frac{Q}{C}=\frac{Q_m}{C}\cos(\omega_0 t+\varphi)=U_m\cos(\omega_0 t+\varphi)$, где $I_m=\omega_0 Q_m$ — амплитуда силы тока, $U_m=\frac{Q_m}{C}$ - амплитуда напряжения. Колебания тока *I* опережают по фазе колебания заряда Q на $\pi/2$, т. е., когда ток достигает максимального значения, заряд (а также и напряжение) обращается в нуль, и наоборот.

Резонансная частота – частота, при которой амплитуда достигает максимального значения. Резонансная частота для заряда $\omega=\sqrt{\omega_0^{\,2}-2\delta^2}=\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{2L^2}}$, а для силы тока $\omega_{рез}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$. Сила тока при установившихся вынужденных колебаниях $I=I_m\cos(\omega t-\varphi)$, где $I_m=\omega Q_m=\frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2+(\omega L-\frac{1}{\omega C})^2}}$ - амплитуда тока, $\varphi=\alpha-\frac{\pi}{2}$ - сдвиг по фазе между током и ЭДС.

Резонансные кривые для амплитуды заряда – это зависимость амплитуды заряда на конденсаторе от частоты внешней ЭДС при различных коэффициентах затухания. Резонансные кривые для амплитуды силы тока – это зависимость амплитуды силы тока в контуре от частоты внешней ЭДС при различных коэффициентах затухания. Чем больше δ, тем ниже и левее максимумы резонансных кривых.

Резонанс напряжений (последовательный резонанс)

Явление резкого возрастания амплитуды силы тока в контуре при совпадении циклической частоты внешнего переменного напряжения с собственной частотой колебательного контура. Отчетливо проявляется резонанс при малом активном сопротивлении. Цепь для наблюдения резонанса напряжений - последовательное соединение *RLC*. Условие наблюдения резонанса $\omega L=\frac{1}{\omega C}$, откуда $tg\varphi=0$, $Z=R$ - сопротивление минимально. Следствия данного условия: сдвиг фаз между током и напряжением обращается в нуль; изменения силы тока и напряжения

происходят синфазно. Полное сопротивление равно активному сопротивлению, ток определяется только активным сопротивлением, принимая максимальное значение. Резонансная частота $\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Векторная диаграмма для резонанса напряжений - рис. 217, 218

Резонанс токов (параллельный резонанс)

Явление резкого уменьшения амплитуды силы тока во внешней цепи, питающей параллельно включенные конденсатор и катушку индуктивности, при приближении частоты ω приложенного напряжения к резонансной частоте $\omega_{рез}$. Цепь для наблюдения резонанса токов содержит параллельно включенные конденсатор и катушку. Активным сопротивлением пренебрегаем (рис. 219).

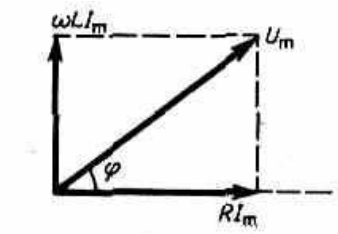

Рис. 217

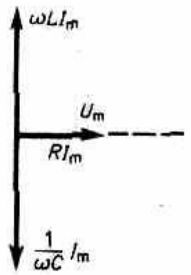

Рис. 218

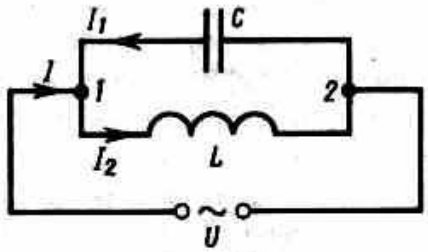

Рис. 219

Амплитуда силы тока оказалась равна нулю, т.к. активным сопротивлением контура пренебрегли. Если учесть сопротивление *R*, то разность фаз не будет равна π, поэтому при резонансе токов амплитуда силы тока будет отлична от нуля, но примет наименьшее возможное значение.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ СВЕТА

Основные законы оптики известны еще с древних веков. Так, Платон (430 г. до н. э.) установил законы прямолинейного распространения и отражения света. Аристотель (350 г. до н. э.) и Птолемей изучали преломление света. Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян, которые в дальнейшем, по мере изобретения и усовершенствования различных оптических инструментов, например параболических зеркал (XIII в.), фотоаппарата и микроскопа (XVI в.), зрительной трубы (XVII в.), развивались и трансформировались. В конце XVII в. на основе многовекового опыта и развития представлений о свете возникли две теории света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами и летящих по прямолинейным траекториям. Движение световых корпускул Ньютон подчинил сформулированным им законам механики. Так, отражение света

понималось аналогично отражению упругого шарика при ударе о плоскость, где также соблюдается закон равенства углов падения и отражения. Преломление света Ньютон объяснял притяжением корпускул преломляющей средой, в результате чего скорость корпускул меняется при переходе из одной среды в другую. Согласно волновой теории, развитой на основе аналогии оптических и акустических явлений, свет представляет собой упругую волну, распространяющуюся в особой среде — эфире. Эфир заполняет все мировое пространство, пронизывает все тела и обладает механическими свойствами — упругостью и плотностью. Согласно Гюйгенсу, большая скорость распространения света обусловлена особыми свойствами эфира. Волновая теория основывается на принципе Гюйгенса: каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени. Напомним, что волновым фронтом называется геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени *t*. Принцип Гюйгенса позволяет анализировать распространение света и вывести законы отражения и преломления.

Таким образом, к началу XVIII в. существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная теория Ньютона и волновая теория Гюйгенса. Обе эти теории объясняли прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления. Экспериментальное доказательство справедливости волновой теории было получено в 1851 г., когда Фуко измерил скорость распространения света в воде. К началу XIX столетия корпускулярная теория была полностью отвергнута и восторжествовала волновая теория. Большая заслуга в этом отношении принадлежит английскому физику Юнгу, исследовавшему явления дифракции и интерференции, и французскому физику Френелю, дополнившему принцип Гюйгенса и объяснившему эти явления.

Несмотря на признание волновой теории, она обладала целым рядом недостатков. Например, явления интерференции, дифракции и поляризации могли быть объяснены только в том случае, если световые волны считать поперечными. С другой стороны, если световые волны - поперечные, то их носитель - эфир - должен обладать свойствами твердых тел. Попытка же наделить эфир свойствами твердого тела успеха не имела, так как эфир не оказывает заметного воздействия на движущиеся в нем тела. Далее эксперименты показали, что скорость распространения света в разных средах различна, поэтому эфир должен обладать в разных средах различными свойствами. Теория Гюйгенса не могла объяснить также физической природы наличия разных цветов.

Наука о свете накапливала экспериментальные данные, свидетельствующие о взаимосвязи световых, электрических и магнитных явлений, что позволило Максвеллу в 70-х годах прошлого столетия создать электромагнитную теорию света. Согласно электромагнитной теории Максвелла, $c/v = \sqrt{\varepsilon\mu} = n$, где с и v - соответственно скорости распространения света в вакууме и в среде с диэлектрической

проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ. Это соотношение связывает оптические, электрические и магнитные постоянные вещества. По Максвеллу, ε и μ - величины, не зависящие от длины волны света, поэтому электромагнитная теория не могла объяснить явление дисперсии (зависимость показателя преломления от длины волны). Эта трудность была преодолена в конце XIX в. Лоренцем, предложившим электронную теорию, согласно которой диэлектрическая проницаемость ε зависит от длины волны падающего света. Теория Лоренца ввела представление об электронах, колеблющихся внутри атома, и позволила объяснить явления испускания и поглощения света веществом.

Несмотря на огромные успехи электромагнитной теории Максвелла и электронной теории Лоренца, они были несколько противоречивы и при их применении встречался ряд затруднений. Обе теории основывались на гипотезе об эфире, только «упругий эфир» был заменен «эфиром электромагнитным» (теория Максвелла), или «неподвижным эфиром» (теория Лоренца). Теория Максвелла не смогла объяснить процессов испускания и поглощения света, фотоэлектрического эффекта, комптоновского рассеяния и т. д. Теория Лоренца, в свою очередь, не смогла объяснить многие явления, связанные с взаимодействием света с веществом, в частности вопрос о распределении энергии по длинам волн при тепловом излучении черного тела.

Перечисленные затруднения и противоречия были преодолены благодаря смелой гипотезе (1900) немецкого физика Планка, согласно которой излучение и поглощение света происходит не непрерывно, а дискретно, т. е. определенными порциями (квантами).

Теория Планка не нуждалась в понятии об эфире. Она объяснила тепловое излучение черного тела. Эйнштейн в 1905 г. создал квантовую теорию света, согласно которой не только *излучение* света, но и его *распространение* происходит в виде потока световых квантов - фотонов.

Квантовые представления о свете хорошо согласуются с законами излучения и поглощения света, законами взаимодействия света с веществом. Однако как с помощью этих представлений объяснить такие хорошо изученные явления, как интерференция, дифракция и поляризация света? Эти явления легко объясняются на основе волновых представлений. Все многообразие изученных свойств и законов распространения света, его взаимодействия с веществом показывает, что свет имеет сложную природу. Он представляет собой *единство противоположных видов движения* — корпускулярного (квантового) и волнового (электромагнитного). Длительный путь развития привел к современным представлениям о двойственной корпускулярно-волновой природе света. Таким образом, свет представляет собой *единство дискретности и непрерывности,* что находится в полном соответствии с выводами материалистической диалектики.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Призмы применяются в оптических приборах (например, в биноклях, перископах), а также в рефрактометрах, позволяющих определять показатели преломления тел (по закону преломления, измеряя $i_{пр}$, определяем относительный показатель преломления двух сред, а также абсолютный показатель преломления одной из сред, если показатель преломления второй среды известен).

Явление полного отражения используется также в световодах (светопроводах), представляющих собой тонкие, произвольным образом изогнутые нити (волокна) из оптически прозрачного материала. В волоконных деталях применяют стеклянное волокно, световедущая жила (сердцевина) которого окружается стеклом — оболочкой из другого стекла с меньшим показателем преломления. Свет, падающий на торец световода под углами, большими предельного, претерпевает на поверхности раздела сердцевины и оболочки полное отражение и распространяется только по световедущей жиле.

Таким образом, с помощью световодов можно как угодно искривлять путь светового пучка. Диаметр световедущих жил лежит в пределах от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Для передачи изображений, как правило, применяются многожильные световоды. Вопросы передачи световых волн и изображений изучаются в специальном разделе оптики - волоконной оптике, возникшей в 50-е годы XX столетия. Световоды используются в электронно-лучевых трубках, в электронно-счетных машинах, для кодирования информации, в медицине (например, диагностика желудка), для целей интегральной оптики и т.д.

ФОТОМЕТРИЯ

Фотометрия - раздел оптики, занимающийся вопросами измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются следующие величины: 1) энергетические - характеризуют энергетические параметры оптического излучения безотносительно к его действию на приемники излучения; 2) световые - характеризуют физиологические действия света и оцениваются по воздействию на глаз (исходят из так называемой средней чувствительности глаза) или другие приемники излучения.

1. Энергетические величины. Поток излучения Φ_e — величина, равная отношению энергии W излучения ко времени t, за которое излучение произошло $\Phi_e = \frac{W}{t}$ Единица потока излучения — ватт (Вт).

Энергетическая светимость (излучательность) R_e — величина, равная отношению потока излучения Φ_e, испускаемого поверхностью, к площади S сечения, сквозь которое этот поток проходит $R_e = \frac{\Phi_e}{S}$, т. е. представляет

собой поверхностную плотность потока излучения. Единица энергетической светимости — ватт на метр в квадрате (Вт/м^2).

Энергетическая сила света (сила излучения) I_e определяется с помощью понятия о точечном источнике света. Энергетическая сила света 1_e — величина, равная отношению потока излучения Φ_e источника к телесному углу ω, в пределах которого это излучение распространяется $I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$ Единица энергетической силы света — ватт на стерадиан (Вт/ср).

Энергетическая яркость (лучистость)B_e — величина, равная отношению энергетической силы света ΔI_e элемента излучающей поверхности к площади ΔS проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения $B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}$

Единица энергетической яркости — ватт на стерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср•м^2)).

Энергетическая освещенность (облученность) *Ee* характеризует величину потока излучения, падающего на единицу освещаемой поверхности. Единица энергетической освещенности совпадает с единицей энергетической светимости (Вт/м^2).

2. Световые величины. При оптических измерениях используются различные приемники излучения (например, глаз, фотоэлементы, фотоумножители), которые не обладают одинаковой чувствительностью к энергии различных длин волн, являясь, таким образом, селективными (избирательными). Каждый приемник излучения характеризуется своей кривой чувствительности к свету различных длин волн. Поэтому световые измерения, являясь субъективными, отличаются от объективных, энергетических и для них вводятся световые единицы, используемые только для видимого света. *Основной световой единицей в СИ* является единица силы света — кандела (кд). Определение световых единиц аналогично энергетическим.

Световой поток Ф определяется как мощность оптического излучения по вызываемому им световому ощущению (по его действию на селективный приемник света с заданной спектральной чувствительностью) .Единица светового потока — люмен (лм): 1 лм — световой поток, испускаемый точечным источником силой света в 1 кд внутри телесного угла в 1 ср (при равномерности поля излучения внутри телесного угла) (1 лм = 1 кд•ср).

Светимость $R = \frac{\Phi}{S}$ Единица светимости — люмен на метр в квадрате (лм/м^2).

*Я*ркость B_φ светящейся поверхности в некотором направлении φ есть величина, равная отношению силы света *I* в этом направлении к площади *S* проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную

данному направлению $B_\varphi = \frac{I}{S\cos\varphi}$ Единица яркости — кандела на метр в квадрате (кд/м^2).

Освещенность E — величина, равная отношению светового потока Ф, падающего на поверхность, к площади S этой поверхности $E = \frac{\Phi}{S}$ Единица освещенности — люкс (лк): 1 лк — освещенность поверхности, на 1 м^2 которой падает световой поток в 1 лм (1 лк = 1 лм/м^2).

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

Для осуществления интерференции света необходимо получить когерентные световые пучки, для чего применяются различные приемы. До появления лазеров во всех приборах для наблюдения интерференции света когерентные пучки получали разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих из одного и того же источника. Практически это можно осуществить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих тел. Рассмотрим некоторые из этих методов.

1. Метод Юнга. Источником света служит ярко освещенная щель S (рис.245), от которой световая волна падает на две узкие равноудаленные щели S_1 и S_2, параллельные щели S. Таким образом, щели S_1 и S_2 играют роль когерентных источников. Интерференционная картина (область ВС) наблюдается на экране (Э), расположенном на некотором расстоянии параллельно S_1 и S_2. Как уже указывалось, Т. Юнгу принадлежит первое наблюдение явления интерференции.

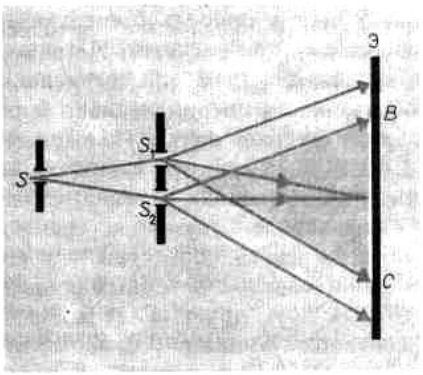

Рис. 245

3. Зеркала Френеля. Свет от источника S (рис. 246) падает расходящимся пучком на два плоских зеркала A_1O и A_2O, расположенных относительно друг друга под углом, лишь немного отличающимся от 180° (угол φ мал). Учитывая правила построения изображения в плоских зеркалах, можно показать, что и источник, и его изображения S_1 и S_2 (угловое расстояние между которыми равно 2φ) лежат на одной и той же окружности радиуса r с центром в O (точка соприкосновения зеркал).

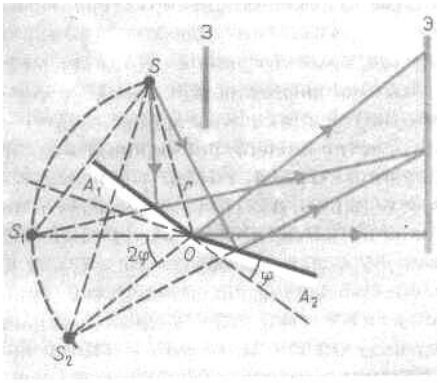

Рис. 246

Световые пучки, отразившиеся от обоих зеркал, можно считать выходящими из мнимых источников S_1 и S_2, являющихся мнимыми изображениями S в зеркалах. Мнимые источники S_1 и S_2 взаимно когерентны, и исходящие из них световые пучки, встречаясь друг с другом, интерферируют в области взаимного перекрывания. Можно показать, что максимальный угол расхождения перекрывающихся пучков не может быть больше 2φ. Интерференционная картина наблюдается на экране (Э), защищенном от прямого попадания света заслонкой (З).

3. Бипризма Френеля. Она состоит из двух одинаковых, сложенных основаниями призм с малыми преломляющими углами. Свет от источника S (рис. 247) преломляется в обеих призмах, в результате чего за бипризмой распространяются световые лучи, как бы исходящие из мнимых источников S_1 и S_2, являющихся когерентными.

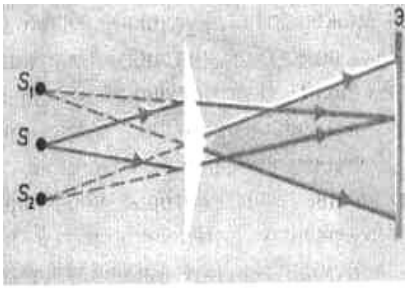

Рис. 247

Таким образом, на поверхности экрана (в области, выполненной в цвете) происходит наложение когерентных пучков и наблюдается интерференция.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

Явление интерференции обусловлено волновой природой света; его количественные закономерности зависят от длины волны λ_0. Поэтому это явление применяется для подтверждения волновой природы света и для измерения длин волн (интерференционная спектроскопия).

Явление интерференции применяется также для улучшения качества оптических приборов (просветление оптики) и получения высокоотражающих покрытий. Прохождение света через каждую преломляющую поверхность линзы, например через границу стекло — воздух, сопровождается отражением ≈ 4 % падающего потока (при показателе преломления стекла ≈1,5). Так как современные объективы содержат большое количество линз, то число отражений в них велико, а поэтому велики и потери светового потока. Таким образом, интенсивность прошедшего света ослабляется и светосила оптического прибора уменьшается. Кроме того, отражения от поверхностей линз приводят к возникновению бликов, что часто (например, в военной технике) демаскирует положение прибора.

Для устранения указанных недостатков осуществляют так называемое *просветление оптики.* Для этого на свободные поверхности линз наносят тонкие пленки с показателем преломления меньшим, чем у материала линзы. При отражении света от границ раздела воздух — пленка и пленка — стекло возникает интерференция когерентных лучей *1'* и *2*. Толщину пленки *d* и показатели преломления стекла n_c и пленки *n* можно подобрать так, чтобы интерферирующие лучи гасили друг друга. Для этого их амплитуды должны быть равны, а оптическая разность хода — равна $(2m+1)\lambda_0/2$.

Расчет показывает, что амплитуды отраженных лучей равны, если $n=\sqrt{n_c}$. Так как n_c, *n* и показатель преломления воздуха по удовлетворяют условиям $n_c>n>n_0$, то потеря полуволны происходит на обеих поверхностях; следовательно, условие минимума (предполагаем, что свет падает нормально, т. е. i=0 $2nd=(2m+l)\lambda_0/2$, где *nd* — оптическая толщина пленки.

Обычно принимают m=0, тогда $nd=\lambda_0/4$. Таким образом, если оптическая толщина пленки равна $\lambda_0/4$, то в результате интерференции наблюдается гашение отраженных лучей. Так как добиться одновременного гашения для всех длин волн невозможно, то это обычно делается для наиболее восприимчивой глазом длины волны λ_0≈0,55 мкм. Поэтому объективы с просветленной оптикой кажутся голубыми.

Создание высокоотражающих покрытий стало возможным лишь на основе многолучевой интерференции. В отличие от двухлучевой интерференции, многолучевая интерференция возникает при наложении большого числа когерентных световых пучков.

Распределение интенсивности в интерференционной картине существенно различается; интерференционные максимумы значительно уже и ярче, чем при наложении двух когерентных световых пучков. Так, результирующая амплитуда световых колебаний одинаковой амплитуды в максимумах интенсивности, где сложение происходит в одинаковой фазе, в N раз больше, а интенсивность в N^2 раз больше, чем от одного пучка *(N* — число интерферирующих пучков). Отметим, что для нахождения результирующей амплитуды удобно пользоваться графическим методом, используя метод вращающегося вектора амплитуды. Многолучевая интерференция осуществляется в дифракционной решетке.

Многолучевую интерференцию можно осуществить в многослойной системе чередующихся пленок с разными показателями преломления (но одинаковой оптической толщиной, равной $\lambda_0/4$), нанесенных на отражающую поверхность. Можно показать, что на границе раздела пленок (между двумя слоями ZnS с большим показателем преломления n_1 находится пленка криолита с меньшим показателем преломления n_2) возникает большое число отраженных интерферирующих лучей, которые при оптической толщине пленок $\lambda_0/4$ будут взаимно усиливаться, т. е. коэффициент отражения возрастает. Характерной особенностью такой высокоотражательной системы является то, что она действует в очень узкой спектральной области, причем чем больше коэффициент отражения, тем уже эта область. Например, система из семи пленок для области 0,5 мкм дает коэффициент отражения ρ≈96% (при коэффициенте пропускания ≈3,5% и коэффициенте поглощения <0,5%). Подобные отражатели применяются в лазерной технике, а также используются для создания интерференционных светофильтров высокой (узкополосных оптических фильтров).

Явление интерференции также применяется в очень точных измерительных приборах, называемых интерферометрами. Все интерферометры основаны на одном и том же принципе и различаются лишь конструкционно. На рис. 255 представлена упрощенная схема интерферометра Майкельсона. Монохроматический свет от источника S падает под углом 45° на плоскопараллельную пластинку P_1.

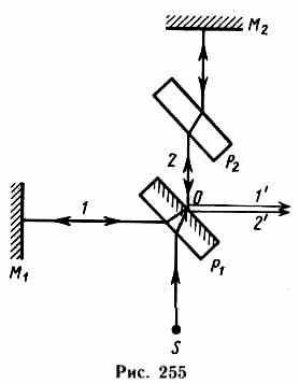

Рис. 255

Сторона пластинки, удаленная от S, посеребренная и полупрозрачная, разделяет луч на две части: луч *1* (отражается от посеребренного слоя) и луч *2* (проходит через него). Луч *1* отражается от зеркала M_1 и, возвращаясь обратно, вновь проходит через пластинку P_1 (луч *1').* Луч *2* идет к зеркалу M_2, отражается от него, возвращается обратно и отражается от пластинки P_1 (луч *2')* Так как первый из лучей проходит пластинку P_1 дважды, то для компенсации возникающей разности хода на пути второго луча ставится пластинка P_2 (точно такая же, как и P_1, только не покрытая слоем серебра). Лучи *1'* и *2'* когерентны; следовательно, будет наблюдаться интерференция, результат которой зависит от оптической разности хода луча *1*. от точки О до зеркала M_1 и луча *2* от точки *О* до зеркала M_2. При перемещении одного из зеркал на расстояние $\lambda_0/4$ разность хода обоих лучей увеличится на $\lambda_0/2$ и произойдет смена освещенности зрительного поля. Следовательно, по незначительному смещению интерференционной картины можно судить о малом перемещении одного из зеркал и использовать интерферометр Майкельсона для точного (порядка 10^{-7} м) измерения длин (измерения длины тел, длины световой волны, изменения длины тела при изменении температуры.

Интерферометры — очень чувствительные оптические приборы, позволяющие определять незначительные изменения показателя преломления прозрачных тел (газов, жидких и твердых тел) в зависимости от давления, температуры, примесей и т. д. Такие интерферометры получили название интерференционных рефрактометров.

РАССЕЯНИЕ СВЕТА

Дифракция света может происходить также в так называемых мутных средах — средах с явно выраженными оптическими неоднородностями. К мутным средам относятся аэрозоли (облака, дым, туман), эмульсия, коллоидные растворы и т. д., т. е. такие среды, в которых взвешено множество очень мелких частиц инородных веществ. Свет, проходя через мутную среду, дифрагирует от беспорядочно расположенных микронеоднородностей, давая равномерное распределение интенсивностей по всем направлениям, не создавая какой-либо определенной дифракционной картины. Происходит так называемое рассеяние света *в мутной среде.* Это явление можно наблюдать, например, когда узкий пучок солнечных лучей, проходя через запыленный воздух, рассеивается на пылинках и становится тем самым видимым.

Рассеяние света (как правило, слабое) наблюдается также и *в чистых средах,* не содержащих посторонних частиц. Мандельштам объяснил рассеяние света в средах нарушением их оптической однородности, при котором показатель преломления среды не постоянен, а меняется от точки к точке. В дальнейшем польский физик Смолуховский указал, что причиной рассеяния света могут быть также флуктуации плотности,

возникающие в процессе хаотического теплового движения молекул среды. Рассеяние света в чистых средах, обусловленное флуктуациями плотности, анизотропии или концентрации, называется молекулярным рассеянием.

Молекулярным рассеянием объясняется, например, голубой цвет неба. Согласно закону Рэлея, интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны ($I \sim \lambda^{-4}$), поэтому голубые и синие лучи рассеиваются сильнее, чем желтые и красные, обусловливая тем самым голубой цвет неба. По этой же причине свет, прошедший через значительную толщу атмосферы, оказывается обогащенным более длинными волнами (сине-фиолетовая часть спектра полностью рассеивается) и поэтому при закате и восходе Солнце кажется красным. Флуктуации плотности и интенсивность рассеяния света возрастают с увеличением температуры. Поэтому в ясный летний день цвет неба является более насыщенным по сравнению с таким же зимним днем.

ПОНЯТИЕ О ГОЛОГРАФИИ

Голография (от греч. «полная запись») — особый способ записи и последующего восстановления волнового поля, основанный на регистрации интерференционной картины. Она обязана своим возникновением законам волновой оптики — законам интерференции и дифракции.

Этот принципиально новый способ фиксирования и воспроизведения пространственного изображения предметов изобретен английским физиком Габором в 1947 г. (Нобелевская премия 1971 г.). Экспериментальное воплощение и дальнейшая разработка этого способа (советским ученым Денисюком в 1962 г. и американским физиком Лейтом в 1963 г.) стали возможными после появления в 1960 г. источников света высокой степени когерентности — лазеров.

Рассмотрим элементарные основы принципа голографии, т. е. регистрации и восстановления информации о предмете. Для регистрации и восстановления волны необходимо уметь регистрировать и восстанавливать амплитуду и фазу идущей от предмета волны. Это в принципе возможно, так как распределение интенсивности в интерференционной картине, $A^2=A^2_1+A^2_2+2A_1A_2\cos(\alpha_2-\alpha_1)$ (учитывая, что $I \sim A^2$), определяется как амплитудой интерферирующих волн, так и разностью их фаз. Поэтому для регистрации как фазовой, так и амплитудной информации кроме *волны, идущей от предмета* (так называемой предметной волны), используют еще когерентную с ней *волну,* идущую *от источника* света (так называемую опорную волну). Идея голографирования состоит в том, что фотографируется распределение интенсивности в интерференционной картине, возникающей при суперпозиции волнового поля объекта и когерентной ему опорной волны известной фазы. Последующая дифракция света на зарегистрированном

распределении почернений в фотослое восстанавливает волновое поле объекта и допускает, изучение этого поля при отсутствии объекта.

Лазерный пучок делится на две части, причем одна его часть отражается зеркалом на фотопластинку (опорная волна), а вторая попадает на фотопластинку, отразившись от предмета (предметная волна). Опорная и предметная волны, являясь когерентными и накладываясь друг на друга, образуют на фотопластинке интерференционную картину. После проявления фотопластинки и получается голограмма — зарегистрированная на фотопластинке интерференционная картина, образованная при сложении опорной и предметной волн.

Для восстановления изображения голограмма помещается в то же самое положение, где она находилась до регистрации. Ее освещают опорным пучком того же лазера (вторая часть лазерного пучка перекрывается диафрагмой). В результате дифракции света на интерференционной структуре голограммы восстанавливается копия предметной волны, образующая объемное (со всеми присущими предмету свойствами) мнимое изображение предмета, расположенное в том месте, где предмет находился при голографировании. Оно кажется настолько реальным, что его хочется потрогать. Кроме того, восстанавливается еще действительное изображение предмета, имеющее рельеф, обратный рельефу предмета, т.е. выпуклые места заменены вогнутыми, и наоборот (если наблюдение ведется справа от голограммы).

Обычно пользуются мнимым голографическим изображением, которое по зрительному восприятию создает полную иллюзию существования реального предмета. Рассматривая из разных положений объемное изображение предмета, даваемое голограммой, можно увидеть более удаленные предметы, закрытые более близкими из них (заглянуть за ближние предметы). Это объясняется тем, что, перемещая голову в сторону, мы воспринимаем изображение, восстановленное от периферической части голограммы, на которую при экспонировании падали также и лучи, отраженные от скрытых предметов. Голограмму можно расколоть на несколько кусков. Но даже малая часть голограммы восстанавливает полное изображение. Однако уменьшение размеров голограммы приводит к ухудшению четкости получаемого изображения. Это объясняется тем, что голограмма для опорного пучка служит дифракционной решеткой, а при уменьшении числа штрихов дифракционной решетки (при уменьшении размеров голограммы) ее разрешающая способность уменьшается.

Методы голографии (запись голограммы в трехмерных средах, цветное и панорамное голографирование и т. д.) находят все большее развитие. Применения голографии разнообразны, но наиболее важные, приобретающие все большее значение, являются запись и хранение информации.

Методы голографии позволяют записывать в сотни раз больше страниц печатного текста, чем методы обычной микрофотографии. По

подсчетам, на фотопластинку размером 32х32 мм можно записать 1024 голограммы (площадь каждой из них 1 мм^2), т. е. на одной фотопластинке можно «разместить» книгу объемом свыше тысячи страниц. В качестве будущих разработок могут служить ЭВМ с голографической памятью, голографический электронный микроскоп, голографические кино и телевидение, голографическая интерферометрия и т. д.

АНАЛИЗ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

Вырезанная параллельно оптической оси пластинка, для которой оптическая разность хода $\Delta = \pm(m + \frac{1}{4})\lambda_0$, называется пластинкой в четверть волны (пластинкой *λ/4).* Знак плюс соответствует отрицательным кристаллам, минус — положительным. Плоскополяризованный свет, пройдя пластинку *λ/4,* на выходе превращается в эллиптически поляризованный (в частном случае циркулярно поляризованный). Конечный результат, как уже рассматривали, определяется разностью фаз φ и углом α. Пластинка, для которой $\Delta = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda_0$, называется пластинкой в полволны.

В циркулярно поляризованном свете разность фаз φ между любыми двумя взаимно перпендикулярными колебаниями равна ±π/2. Если на пути такого света поставить пластинку *λ/4,* то она внесет дополнительную разность фаз ±π/2. Результирующая разность фаз станет равной 0 или π. Следовательно, циркулярно поляризованный свет, пройдя пластинку *λ/4,* становится плоскополяризованным. Если теперь на пути луча поставить поляризатор, то можно добиться полного его гашения. Если же падающий свет естественный, то он при прохождении пластинки *λ/4* таковым и останется (ни при каком положении пластинки и поляризатора погашения луча не достичь).

Таким образом, если при вращении поляризатора при любом положении пластинки интенсивность не меняется, то падающий свет естественный. Если интенсивность меняется и можно достичь полного гашения луча, то падающий свет циркулярно поляризованный, если полного гашения не достичь, то падающий свет представляет смесь естественного и циркулярно поляризованного.

Если на пути эллиптически поляризованного света поместить пластинку *λ/4,* оптическая ось которой ориентирована параллельно одной из осей эллипса, то она внесет дополнительную разность фаз ±π/2. Результирующая разность фаз станет равной нулю или π. Следовательно, эллиптически поляризованный свет, пройдя пластинку *λ/4,* повернутую определенным образом, превращается в плоскополяризованный и может быть погашен поворотом поляризатора. Этим методом можно отличить

эллиптически поляризованный свет от частично поляризованного или циркулярно поляризованный свет от естественного.

Оптическая пирометрия

Законы теплового излучения используются для измерения температуры раскаленных и самосветящихся тел (например, звезд). Методы измерения высоких температур, использующие зависимость спектральной плотности энергетической светимости или интегральной энергетической светимости тел от температуры, называются оптической пирометрией. Приборы для измерения температуры нагретых тел по интенсивности их теплового излучения в оптическом диапазоне спектра называются пирометрами. В зависимости от того, какой закон теплового излучения используется при измерении температуры тел, различают радиационную, цветовую и яркостную температуры.

Радиационная температура — это такая температура черного тела, при которой его энергетическая светимость R_e равна энергетической светимости R_T исследуемого тела. В этом случае регистрируется энергетическая светимость исследуемого тела и по закону Стефана - Больцмана вычисляется его радиационная температура:

$$T_р = \sqrt[4]{R_T/\sigma}.$$

Радиационная температура тела всегда меньше его истинной температуры.

Цветовая температура. Для серых тел (или тел, близких к ним по свойствам) спектральная плотность энергетической светимости $R_{\lambda,T} = A_T R_{\lambda,T}$, где $A_T = const$ и при этом < 1. Следовательно, распределение энергии в спектре излучения серого тела такое же, как и в спектре черного тела, имеющего ту же температуру. Поэтому к серым телам применим закон Вина. Зная длину волны, соответствующую максимальной спектральной плотности энергетической светимости исследуемого тела, можно определить его температуру по формуле $T_ц = b/\lambda_{max}$, которая называется цветовой температурой. Для серых тел цветовая температура совпадает с истинной температурой тела. Для тел, которые сильно отличаются от серых, понятие цветовой температуры не имеет смысла. Так определяется температура на поверхности Солнца (примерно 6500 К) и звезд.

Яркостная температура $T_я$ - это температура черного тела, при которой для определенной длины волны его спектральная плотность энергетической светимости равна спектральной плотности энергетической светимости исследуемого тела. Она находится по формуле $r_{\lambda,Tя} = R_{\lambda,T}$, где T - истинная температура тела. Истинная температура тела всегда выше яркостной.

В качестве яркостного пирометра обычно используется пирометр с исчезающей нитью. Накал нити пирометра подбирается таким, чтобы изображение нити пирометра сливалось с фоном поверхности раскаленного тела. При этом нить как бы «исчезает». Используя

проградуированный по черному телу миллиамперметр, можно определить яркостную температуру. Зная поглощательную способность $A_{\lambda,T}$ тела при той же длине волны, по яркостной температуре можно определить истинную температуру исследуемого тела.

ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Свечение раскаленных тел используется для создания источников света, первые из которых - лампы накаливания и дуговые лампы - были изобретены учеными Лодыгиным в 1873 г. и Яблочковым в 1876 г.

На первый взгляд, кажется, что черные тела должны быть наилучшими тепловыми источниками света, так как их спектральная плотность энергетической светимости для любой длины волны больше спектральной плотности энергетической светимости нечерных тел, взятых при одинаковой температуре. Однако для некоторых тел (например, вольфрама), обладающих селективностью теплового излучения, доля энергии, приходящаяся на излучение в видимой области спектра, значительно больше, чем для черного тела, нагретого до той же температуры. Поэтому вольфрам, обладая еще и высокой температурой плавления, является наилучшим материалом для изготовления нитей ламп.

Температура вольфрамовой нити в вакуумных лампах не должна превышать 2450 К, поскольку при более высоких температурах происходит ее сильное распыление. Максимум излучения при этой температуре соответствует длине волны ≈ 1,1 мкм, что очень далеко от максимума чувствительности человеческого глаза (≈ 0,55 мкм).

Наполнение баллонов ламп инертными газами (например, смесью криптона и ксенона с добавлением азота) при давлении ≈ 50кПа позволяет увеличить температуру нити до 3000 К, что приводит к улучшению спектрального состава излучения. Однако светоотдача при этом не увеличивается, так как возникают дополнительные потери энергии из-за теплообмена между нитью и газом вследствие теплопроводности и конвекции.

Для уменьшения потерь энергии за счет теплообмена и повышения светоотдачи нити ламп изготовляют в виде спирали, отдельные витки которой обогревают друг друга. При высокой температуре вокруг этой спирали образуется неподвижный слой газа и вследствие конвекции теплообмен полностью исключается. КПД ламп накаливания в настоящее время не превосходит 5%, поэтому замена ламп накаливания на современные энергосберегающие лампы чрезвычайно актуальна.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА

На явлении фотоэффекта основано действие фотоэлектронных приборов, получивших разнообразное применение в различных областях науки и техники. В настоящее время практически невозможно указать отрасли производства, где бы не использовались фотоэлементы — приемники излучения, работающие на основе фотоэффекта и преобразующие энергию излучения в электрическую.

Простейшим фотоэлементом с внешним фотоэффектом является вакуумный фотоэлемент. Он представляет собой откачанный стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого (за исключением окошка для доступа излучения) покрыта фоточувствительным слоем, служащим фотокатодом. В качестве анода обычно используется кольцо или сетка, помещаемая в центре баллона. Фотоэлемент включается в цепь батареи, э.д.с. которой выбирается такой, чтобы обеспечить фототок насыщения. Выбор материала фотокатода определяется рабочей областью спектра: для регистрации видимого света и инфракрасного излучения используется кислородно-цезиевый катод, для регистрации ультрафиолетового излучения и коротковолновой части видимого света — сурьмяно-цезиевый. Вакуумные фотоэлементы безынерционны, и для них наблюдается строгая пропорциональность фототока интенсивности излучения. Эти свойства позволяют использовать вакуумные фотоэлементы в качестве фотометрических приборов, например фотоэлектрический экспонометр, люксметр (измеритель освещенности) и т. д.

Для увеличения интегральной чувствительности вакуумных фотоэлементов (фототок насыщения, приходящийся на 1 лм светового потока) баллон заполняется разреженным инертным газом (Ar или Ne при давлении ≈1,34 — 13 Па). Фототок в таком элементе, называемом газонаполненным, усиливается вследствие ударной ионизации молекул газа фотоэлектронами. Интегральная чувствительность газонаполненных фотоэлементов (≈1 мА/лм) гораздо выше, чем для вакуумных (20— 150 мкА/лм), но они обладают по сравнению с последними большей инерционностью (менее строгой пропорциональностью фототока интенсивности излучения), что приводит к ограничению области их применения.

Для усиления фототока применяются фотоэлектронные умножители, в которых наряду с фотоэффектом используется явление вторичной электронной эмиссии. Размеры фотоэлектронных умножителей немного превышают размеры обычной радиолампы, общий коэффициент усиления составляет $\approx 10^7$ (при напряжении питания 1 — 1,5 кВ), а их интегральная чувствительность может достигать 10 А/лм. Поэтому фотоэлектронные умножители начинают вытеснять фотоэлементы, правда, их применение

связано с использованием высоковольтных стабилизированных источников питания, что несколько неудобно.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, называемые полупроводниковыми фотоэлементами или фотосопротивлениями (фоторезисторами), обладают гораздо большей интегральной чувствительностью, чем вакуумные. Для их изготовления используются PbS, CdS, PbSe и некоторые другие полупроводники. Если фотокатоды вакуумных фотоэлементов и фотоэлектронных умножителей имеют «красную границу» фотоэффекта не выше 1,1 мкм, то применение фотосопротивлений позволяет производить измерения в далекой инфракрасной области спектра (3 — 4 мкм), а также в областях рентгеновского и гамма-излучений. Кроме того, они малогабаритны и имеют низкое напряжение питания. Недостаток фотосопротивлений — их заметная инерционность, поэтому они непригодны для регистрации быстропеременных световых потоков.

Фотоэлементы с вентильным фотоэффектом, называемые вентильными фотоэлементами (фотоэлементами с запирающим слоем), обладая, подобно элементам с внешним фотоэффектом, строгой пропорциональностью фототока интенсивности излучения, имеют большую по сравнению с ними интегральную чувствительность (примерно 2 — 30 мА/лм) и не нуждаются во внешнем источнике э.д.с. К числу вентильных фотоэлементов относятся германиевые, кремниевые, селеновые, купроксные, сернисто-серебряные и др.

Кремниевые и другие вентильные фотоэлементы применяются для создания солнечных батарей, непосредственно преобразующих световую энергию в электрическую. Эти батареи уже в течение многих лет работают на советских космических спутниках и кораблях. К. п. д. этих батарей составляет ~=10 % и, как показывают теоретические расчеты, может быть доведен до 22 %, что открывает широкие перспективы их использования в качестве источников электроэнергии.

Рассмотренные виды фотоэффекта используются также в производстве для контроля, управления и автоматизации различных процессов, в военной технике для сигнализации и локации невидимым излучением, в технике звукового кино, в различных системах связи и т. д.

ОПЫТЫ ФРАНКА И ГЕРЦА

Немецкие физики Франк и Герц, изучая методом задерживающего потенциала столкновения электронов с атомами газов (1913 г.), экспериментально доказали дискретность значений энергии атомов. Вакуумная трубка, заполненная парами ртути (давление приблизительно равно 13 Па), содержала катод (К), две сетки (C_1 и C_2) и анод (А). Электроны, эмиттируемые катодом, ускорялись разностью потенциалов, приложенной между катодом и сеткой C_1 Между сеткой С2 и анодом приложен небольшой (примерно 0,5 В) задерживающий потенциал.

Электроны, ускоренные в области /, попадают в область *2* между сетками, где испытывают соударения с атомами паров ртути. Электроны, которые после соударений имеют достаточную энергию для преодоления задерживающего потенциала в области *3,* достигают анода. При неупругих соударениях электронов с атомами ртути последние могут возбуждаться. Согласно боровской теории, каждый из атомов ртути может получить лишь вполне определенную энергию, переходя при этом в одно из возбужденных состояний. Поэтому если в атомах действительно существуют стационарные состояния, то электроны, сталкиваясь с атомами ртути, должны терять энергию дискретно, определенными порциями, равными разности энергий соответствующих стационарных состояний атома.

Из опыта следует, что при увеличении ускоряющего потенциала вплоть до 4,86 В анодный ток возрастает монотонно, его значение проходит через максимум (4,86 В), затем резко уменьшается и возрастает вновь. Дальнейшие максимумы наблюдаются при 2•4,86 и 3•4,86 В.

Ближайшим к основному, невозбужденному, состоянию атома ртути является возбужденное состояние, отстоящее от основного по шкале энергий на 4,86 эВ. Пока разность потенциалов между катодом и сеткой меньше 4,86 В, электроны, встречая на своем пути атомы ртути, испытывают с ними только упругие соударения. При $e\varphi$=4,86 эВ энергия электрона становится достаточной, чтобы вызвать неупругий удар, при котором электрон отдает атому ртути всю кинетическую энергию, возбуждая переход одного из электронов атома из нормального энергетического состояния на возбужденный энергетический уровень. Электроны, потерявшие свою кинетическую энергию, уже не смогут преодолеть тормозящего поля и достигнуть анода. Этим и объясняется первое резкое падение анодного тока при $e\varphi$=4,86 эВ. При значениях энергии, кратных 4,86 эВ, электроны могут испытать с атомами ртути 2, 3, ... неупругих соударения, потеряв при этом полностью свою энергию, и не достигнуть анода, т. е. должно наблюдаться резкое падение анодного тока. Это действительно наблюдается на опыте.

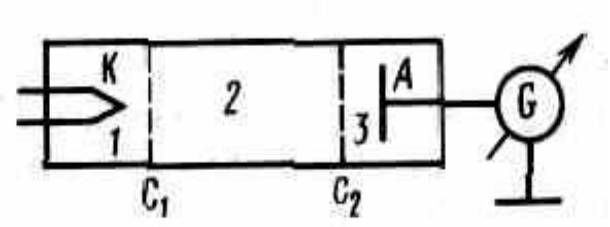

Рис. 292

Таким образом, опыты Франка и Герца показали, что электроны при столкновении с атомами ртути передают атомам только определенные порции энергии, причем 4,86 эВ — наименьшая возможная порция энергии (наименьший квант энергии), которая может быть поглощена атомом рту-

ти в основном энергетическом состоянии. Следовательно, идея Бора о существовании в атомах стационарных состояний блестяще выдержала экспериментальную проверку.

Атомы ртути, получившие при соударении с электронами энергию ΔE, переходят в возбужденное состояние и должны возвратиться в основное, излучая при этом, согласно второму постулату Бора, световой квант с частотой $\nu=\Delta E/h$. По известному значению $\Delta E=4{,}86$ эВ можно вычислить длину волны излучения: $\lambda=hc/\Delta E\approx 255$ нм. Таким образом, если теория верна, то атомы ртути, бомбардируемые электронами с энергией 4,86 эВ, должны являться источником ультрафиолетового излучения с $\lambda\approx 255$ нм. Опыт действительно обнаруживает одну ультрафиолетовую линию с $\lambda\approx 254$ нм. Таким образом, опыты Франка и Герца экспериментально подтвердили не только первый, но и второй постулат Бора. Эти опыты сыграли огромное значение в развитии атомной физики.

МОДЕЛИ ЯДРА

1. Капельная модель ядра (1936; Бор и Френкель). Капельная модель ядра основана на аналогии между поведением нуклонов в ядре и поведением молекул в капле жидкости. Так, в обоих случаях силы, действующие между составными частицами — молекулами в жидкости и нуклонами в ядре,— являются короткодействующими и им свойственно насыщение. Для капли жидкости при данных внешних условиях характерна постоянная плотность ее вещества. Ядра же характеризуются практически постоянной удельной энергией связи и постоянной плотностью, не зависящей от числа нуклонов в ядре. Наконец, объем капли, так же как и объем ядра, пропорционален числу частиц. Существенное отличие ядра от капли жидкости в этой модели заключается в том, что она трактует ядро как каплю электрически заряженной несжимаемой жидкости (с плотностью, равной ядерной), подчиняющуюся законам квантовой механики.

Капельная модель ядра позволила получить формулу для энергии связи нуклонов в ядре, объяснила механизм ядерных реакций и особенно реакции деления ядер. Однако эта модель не смогла, например, объяснить повышенную устойчивость ядер.

2. Оболочечная модель ядра (1950; Гепперт-Майер и Иенсен). Оболочечная модель предполагает распределение нуклонов в ядре по дискретным энергетическим уровням (оболочкам), заполняемым нуклонами согласно принципу Паули, и связывает устойчивость ядер с заполнением этих уровней. Считается, что ядра с полностью заполненными оболочками являются наиболее устойчивыми. Оболочечная модель ядра позволила объяснить спины и магнитные моменты ядер, различную устойчивость атомных ядер, а также периодичность их свойств. Эта модель особенно хорошо применима для описания легких и средних

ядер, а также для ядер, находящихся в основном состоянии. Но эта модель не смогла количественно описать свойства ядер.

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ЧАСТИЦ

Практически все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений (α, β, γ) и частиц основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды. Заряженные частицы вызывают эти процессы непосредственно, а γ-кванты и нейтроны обнаруживаются по ионизации, вызываемой возникающими в результате их взаимодействия с электронами и ядрами атомов среды быстрыми заряженными частицами. Вторичные эффекты, сопровождающие рассмотренные процессы, такие, как вспышка света, электрический ток, потемнение фотопластинки, позволяют регистрировать пролетающие частицы, считать их, отличать друг от друга и измерять их энергию.

Приборы, применяемые для регистрации радиоактивных излучений и частиц, делятся на две группы:

1) приборы, позволяющие регистрировать прохождение частицы через определенный участок пространства и в некоторых случаях определять ее характеристики, например энергию (сцинтилляционный счетчик, черенковский счетчик, импульсная ионизационная камера, газоразрядный счетчик, полупроводниковый счетчик);

2) приборы, позволяющие наблюдать, например фотографировать, следы (треки) частиц в веществе (камера Вильсона, диффузионная камера, пузырьковая камера, ядерные фотоэмульсии).

1. Сцинтилляционный счетчик. Наблюдение сцинтилляций — вспышек света при попадании быстрых частиц на флуоресцирующий экран — первый метод, позволивший Резерфорду на заре ядерной физики (1903) визуально регистрировать α-частицы. Сцинтилляционный счетчик — детектор ядерных частиц, основными элементами которого являются сцинтиллятор (кристаллофосфор) и фотоэлектронный умножитель, позволяющий преобразовывать слабые световые вспышки в электрические импульсы, регистрируемые электронной аппаратурой. Обычно в качестве сцинтилляторов используют кристаллы некоторых неорганических (ZnS для α-частиц; NaI-Tl, CsI-Tl — для β-частиц и γ-квантов) или органических (антрацен, пластмассы — для γ-квантов) веществ.

Сцянтилляционные счетчики обладают высоким разрешением по времени (10^{-10}—10^{-5} с), определяемым родом регистрируемых частиц, сцинтиллятором и разрешающим временем используемой электронной аппаратуры (оно доведено сейчас до 10^{-9}—10^{-10}с). Для этого типа счетчиков эффективность регистрации — отношение числа зарегистрированных частиц к полному числу частиц, пролетевших в счетчике, примерно 100 % для заряженных частиц и 30 % для γ-квантов.

Так как для многих сцинтилляторов (NaI-Tl, CsI-Tl, антрацен, стильбен) интенсивность световой вспышки в широком интервале энергий пропорциональна энергии первичной частицы, то счетчики на данных сцинтилляторах применяются для измерения энергии регистрируемых частиц.

2. Черенковский счетчик. Назначение черенковских счетчиков — это измерение энергии частиц, движущихся в веществе со скоростью, превышающей фазовую скорость света в данной среде, и разделение этих частиц по массам. Зная угол испускания излучения, можно определить скорость частицы, что при известной массе частицы равносильно определению ее энергии. С другой стороны, если масса частицы не известна, то она может быть определена по независимому измерению энергии частицы. Кроме того, при наличии двух пучков частиц с разными скоростями будут различными и углы испускания излучений, по которым можно искомые частицы определить. Для черенковских счетчиков разрешение по скоростям (иными словами, по энергиям) составляет 10^{-3}—10^{-5}. Это позволяет отделять элементарные частицы друг от друга при энергиях порядка 10 ГэВ, когда углы испускания излучения различаются очень мало. Время разрешения счетчиков достигает 10^{-9} с. Счетчики Черенкова устанавливаются на космических кораблях для исследования космического излучения.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ. ПОНЯТИЕ ОБ ЭФФЕКТЕ ДЖОЗЕФСОНА

Различные опыты, поставленные с целью изучения свойств сверхпроводников, приводят к выводу, что при переходе металла в сверхпроводящее состояние не изменяется структура его кристаллической решетки, не изменяются его механические и оптические (в видимой и инфракрасной областях) свойства. Однако при таком переходе наряду со скачкообразным изменением электрических свойств качественно меняются его магнитные и тепловые свойства. Так, в отсутствие магнитного поля переход в сверхпроводящее состояние сопровождается скачкообразным изменением теплоемкости, а при переходе в сверхпроводящее состояние во внешнем магнитном поле скачком изменяются и теплопроводность, и теплоемкость (такие явления характерны для фазовых переходов II рода). Достаточно сильное магнитное поле (следовательно, и сильный электрический ток, протекающий по сверхпроводнику) разрушает сверхпроводящее состояние.

Как показал немецкий физик Мейсснер, в сверхпроводящем состоянии магнитное поле в толще сверхпроводника отсутствует. Это означает, что при охлаждении сверхпроводника ниже критической температуры магнитное поле из него вытесняется (эффект Мейсснера).

Общность эффектов, наблюдаемых в сверхпроводящем состоянии различных металлов, их соединений и сплавов, указывает на то, что

явление сверхпроводимости обусловлено физическими причинами, общими для различных веществ, т. е. должен существовать единый для всех сверхпроводников механизм этого явления.

Физическая природа сверхпроводимости была понята лишь в 1957 г. на основе теории (создана Ландау в 1941 г.) сверхтекучести гелия. Теория сверх-проводимости создана американскими физиками Бардином, Купером и Шрифферо и усовершенствована Боголюбовым.

Оказалось, что помимо внешнего сходства между сверхтекучестью (сверхтекучая жидкость протекает по узким капиллярам без трения, т. е. без сопротивления течению) и сверхпроводимостью (ток в сверхпроводнике течет без сопротивления по проводу) существует глубокая физическая аналогия: и сверхтекучесть, и сверхпроводимость — это макроскопический квантовый эффект.

Качественно явление сверхпроводимости можно объяснить так. Между электронами металла помимо кулоновского отталкивания, в достаточной степени ослабляемого экранирующим действием положительных ионов решетки, в результате электрон-фононного взаимодействия (взаимодействия электронов с колебаниями решетки) возникает слабое взаимное притяжение. Это взаимное притяжение при определенных условиях может преобладать над отталкиванием. В результате электроны проводимости, притягиваясь, образуют своеобразное связанное состояние, называемое куперовской парой. «Размеры» пары много больше (примерно на четыре порядка) среднего межатомного расстояния, т. е. между электронами, «связанными» в пару, находится много «обычных» электронов.

Чтобы куперовскую пару разрушить (оторвать один из ее электронов), надо затратить некоторую энергию, которая пойдет на преодоление сил притяжения электронов пары. Такая энергия может быть в принципе получена в результате взаимодействия с фононами. Однако пары сопротивляются своему разрушению. Это объясняется тем, что существует не одна пара, а целый ансамбль взаимодействующих друг с другом куперовских пар.

Электроны, входящие в куперовскую пару, имеют противоположно направленные спины. Поэтому спин такой пары равен нулю и она представляет собой бозон. К бозонам принцип Паули неприменим, и число бозе-частиц, находящихся в одном состоянии, не ограничено. Поэтому при сверхнизких температурах бозоны скапливаются в основном состоянии, из которого их довольно трудно перевести в возбужденное. Система бозе-частиц — куперовских пар, обладая устойчивостью относительно возможности отрыва электрона, может под действием внешнего электрического поля двигаться без сопротивления со стороны проводника, что и приводит к сверхпроводимости.

На основе теории сверхпроводимости английский физик Джозефсон в 1962 г. предсказал эффект, названный его именем (Нобелевская премия 1973 г.). Эффект Джозефсона (1963 г.) — протекание сверхпроводящего

тока сквозь тонкий слой диэлектрика (пленка оксида металла толщиной ~=1 нм), разделяющий два сверхпроводника (так называемый контакт Джозефсона). Электроны проводимости проходят сквозь диэлектрик благодаря туннельному эффекту. Если ток через контакт Джозефсона не превышает некоторое критическое значение, то падения напряжения на нем нет (стационарный эффект), если превышает — возникает падение напряжения U и контакт излучает электромагнитные волны (нестационарный эффект). Частота ν излучения связана с U на контакте соотношением $\nu = 2eU/h$ (e — заряд электрона). Возникновение излучения объясняется тем, что куперовские пары (они создают сверхпроводящий ток), проходя сквозь контакт, приобретают относительно основного состояния сверхпроводника избыточную энергию. Возвращаясь в основное состояние, они излучают квант электромагнитной энергии $h\nu=2eU$.

Эффект Джозефсона используется для точного измерения очень слабых магнитных полей (до 10^{-18}Тл), токов (до 10^{-10} А) и напряжений (до 10^{-15}В), а также для создания быстродействующих элементов логических устройств ЭВМ, усилителей и т. д.

ПОНЯТИЕ О ЗОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Используя уравнение Шредингера — основное уравнение динамики в нерелятивистской квантовой механике,— в принципе можно рассмотреть задачу о кристалле, например найти возможные значения его энергии, а также соответствующие энергетические состояния. Однако как в классической, так и в квантовой механике отсутствуют методы точного решения динамической задачи для системы многих частиц. Поэтому эта задача решается приближенно сведением задачи многих частиц к одноэлектронной задаче — задаче об одном электроне, движущемся в заданном внешнем поле. Подобный путь приводит к зонной теории твердого тела.

В основе зонной теории лежит так называемое адиабатическое приближение. Квантово-механическая система разделяется на тяжелые и легкие частицы — ядра и электроны. Поскольку массы и скорости этих частиц значительно различаются, можно считать, что движение электронов происходит в поле неподвижных ядер, а медленно движущиеся ядра находятся в усредненном поле всех электронов. Считая, что ядра в узлах кристаллической решетки неподвижны, движение электрона рассматривается в *постоянном периодическом поле ядер.*

Далее используется приближение самосогласованного поля. Взаимодействие данного электрона со всеми другими электронами заменяется действием на него стационарного электрического поля, обладающего периодичностью кристаллической решетки. Это поле создается усредненным в пространстве зарядом всех других электронов и всех ядер. Таким образом, в рамках зонной теории многоэлектронная задача сводится

к задаче о движении одного электрона во внешнем периодическом поле — усредненном и согласованном поле всех ядер и электронов.

Рассмотрим мысленно процесс образования твердого тела из изолированных атомов. Пока атомы изолированы, т. е. находятся друг от друга на макроскопических расстояниях, они имеют совпадающие схемы энергетических уровней. По мере «сжатия» нашей модели до кристаллической решетки, т. е. когда расстояния между атомами станут равными межатомным расстояниям в твердых телах, взаимодействие между атомами приводит к тому, что энергетические уровни атомов *смещаются, расщепляются и расширяются в зоны,* образуется так называемый зонный энергетический спектр.

Заметно расщепляются и расширяются лишь уровни внешних, валентных электронов, наиболее слабо связанных с ядром и имеющих наибольшую энергию, а также более высокие уровни, которые в основном состоянии атома вообще электронами не заняты. Уровни же внутренних электронов либо совсем не расщепляются, либо расщепляются слабо. Таким образом, в твердых телах внутренние электроны ведут себя так же, как в изолированных атомах, валентные же электроны «коллективизированы» — принадлежат всему твердому телу.

Образование зонного энергетического спектра в кристалле является квантово-механическим эффектом и вытекает из соотношения неопределенностей. В кристалле валентные электроны атомов, связанные слабее с ядрами, чем внутренние электроны, могут переходить от атома к атому сквозь потенциальные барьеры, разделяющие атомы, т. е. перемещаться без изменений полной энергии (туннельный эффект). Это приводит к тому, что среднее время жизни т валентного электрона в данном атоме по сравнению с изолированным атомом существенно уменьшается и составляет примерно 10^{-15}с (для изолированного атома оно примерно 10^{-8}с). Время же жизни электрона в каком-либо состоянии связано с неопределенностью его энергии (шириной уровня) соотношением неопределенностей $\Delta E \sim h/\tau$. Следовательно, если естественная ширина спектральных линий составляет примерно 10^{-7}эВ, то в кристаллах $\Delta E \approx 1$ — 10 эВ, т. е. энергетические уровни валентных электронов расширяются в зону дозволенных значений энергии.

Энергия внешних электронов может принимать значения в пределах областей, называемых разрешенными энергетическими зонами. Каждая разрешенная зона «вмещает» в себя столько близлежащих дискретных уровней, сколько атомов содержит кристалл: чем больше в кристалле атомов, тем теснее расположены уровни в зоне. Расстояние между соседними энергетическими уровнями в зоне составляет приблизительно 10^{-22}эВ. Так как оно столь ничтожно, то зоны можно считать практически непрерывными, однако факт конечного числа уровней в зоне играет важную роль для распределения электронов по состояниям.

Разрешенные энергетические зоны разделены зонами запрещенных значений энергии, называемыми запрещенными энергетическими зонами.

В запрещенных зонах электроны находиться не могут. Ширина зон (разрешенных и запрещенных) не зависит от размера кристалла. Разрешенные зоны тем шире, чем слабее связь валентных электронов с ядрами.

Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории

Зонная теория твердых тел позволила с единой точки зрения истолковать существование металлов, диэлектриков и полупроводников, объясняя различие в их электрических свойствах, во-первых, неодинаковым заполнением электронами разрешенных зон и, во-вторых, шириной запрещенных зон.

Степень заполнения электронами энергетических уровней в зоне определяется заполнением соответствующего атомного уровня. Если, например, какой-то уровень атома полностью заполнен электронами в соответствии с принципом Паули, то образующаяся из него зона также полностью заполнена. В общем случае можно говорить о валентной зоне, которая полностью заполнена электронами и образована из энергетических уровней внутренних электронов свободных атомов, и о зоне проводимости (свободной зоне), которая либо частично заполнена электронами, либо свободна и образована из энергетических уровней внешних «коллективизированных» электронов изолированных атомов.

ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

1. Что является причиной возникновения э.д.с. индукции в замкнутом проводящем контуре? От чего и как зависит э.д.с. индукции, возникающая в контуре?
2. Сформулируйте правило Ленца, проиллюстрировав его примерами.
3. Всегда ли при изменении потока магнитной индукции в проводящем контуре в нем возникает э.д.с. индукции? индукционный ток?
4. Возникает ли индукционный ток в проводящей рамке, поступательно движущейся в однородном магнитном поле?
5. Закон Фарадея. Какова природа э.д.с. электромагнитной индукции?
6. Напишите формулу для э.д.с. индукции в плоской рамке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле. За счет чего можно увеличить ЭДС?
7. Почему сердечники трансформаторов не делают сплошными?
8. В чем заключаются явления самоиндукции и взаимной индукции?
9. В чем заключается физический смысл индуктивности контура? взаимной индуктивности двух контуров? От чего они зависят?
10. Чему равна циркуляция вихревого электрического поля?

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

1. Опишите процессы при свободных гармонических колебаниях в колебательном контуре.
2. Период и частота свободных гармонических колебаний в контуре.
3. Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний в контуре.
4. По какому закону изменяется амплитуда затухающих колебаний?
5. Коэффициент и декремент затухания.
6. Что такое вынужденные электромагнитные колебания? Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний, его решение.
7. Что называется резонансом?
8. Какова его роль?
9. Реактивное индуктивное и емкостное сопротивление: формула, единица измерения.
10. Как вычислить мгновенную и среднюю мощность в цепи переменного тока?

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

1. Какую величину называют временем когерентности? длиной когерентности? Какова связь между ними? Для чего вводятся понятия временной и пространственной когерентностей?
2. Разность фаз двух когерентных волн: формула, обозначения в формуле, единица измерения.
3. Что такое интерференция света? Условие интерференционных максимумов и минимумов. Ширина интерференционной полосы: формула, обозначения в формуле.
4. Как можно создать условия, необходимые для возникновения интерференции световых волн? Почему интерференцию можно наблюдать от двух лазеров и нельзя от двух электроламп?
5. Будут ли отличаться интерференционные картины от двух узких близколежащих параллельных щелей при освещении их монохроматическим и белым светом? Почему?
6. Что такое полосы равной толщины? равного наклона? В чем заключается просветление оптики? Для чего предназначен интерференционный рефрактометр?
7. Какие дополнения выполнил Френель к принципу Гюйгенса?
8. В чем заключается метод зон Френеля? В чем заключается принцип действия зонных пластинок? Когда наблюдается дифракция Френеля? Когда наблюдается дифракция Фраунгофера?
9. Почему штрихи на дифракционной решетке должны быть тесно расположены друг к другу? Почему их должно быть большое число?
10. Почему на кристаллах не наблюдается дифракция видимого света, но наблюдается дифракция рентгеновского излучения?

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВЕЩЕСТВЕ

1. Что такое «дисперсия света»? Чем отличается нормальная дисперсия от аномальной? Каковы различия спектров, полученных с помощью призмы и дифракционной решетки? В чем заключаются выводы электронной теории дисперсии света?
2. Закон Бугера. Почему металлы сильно поглощают свет? Чем объясняется окрашенность поглощающих свет тел? Как располагаются цвета спектра в призме? в дифракционной решетке?
3. Что представляет собой дисперсия света с точки зрения классических представлений? В чем заключается основная задача дисперсии?
4. Что называется естественным светом? плоскополяризованным светом? эллиптически поляризованным светом?Как на опыте можно отличить плоскополяризованный свет от естественного?
5. Что характеризует закон Малюса. Что такое угол Брюстера?

6. Чем обусловлено двойное лучепреломление в оптически анизотропном одноосном кристалле?
7. Какие поляризационные приборы вы знаете? В чем заключается принцип их действия?
8. Можно ли с помощью только поляризатора отличить эллиптически поляризованный свет от частично поляризованного? Почему?
9. Что такое эффект Керра? Какова физическая причина его возникновения?
10. Какие вещества называются оптически активными?

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

1. Что такое тепловое излучение? За счет чего оно возникает?
2. Является ли тепловое излучение равновесным?
3. Запишите и объясните формулу для расчета энергетической светимости тела.
4. Опишите модель абсолютно черного тела.
5. На фарфоровой тарелке на светлом фоне имеется темный рисунок. Почему, если ее быстро вынуть из печи, где она нагревалась до высокой температуры, и рассматривать в темноте, наблюдается светлый рисунок на темном фоне?
6. Как читается закон Стефана-Больцмана? Запишите и поясните формулу закона. Чему равна постоянная Стефана-Больцмана?
7. Как читается закон смещения Вина? Запишите и поясните формулу закона. Чему равна постоянная Вина?
8. От чего зависит энергетическая светимость черного тела?
9. Квантовая гипотеза Планка. Чему равна постоянная Планка?
10. Что такое фотон? По каким формулам можно найти энергию и импульс фотона?

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ИДЕЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

1. Что такое внешний фотоэффект?
2. В каких веществах наблюдается фотоэффект?
3. Кем и когда обнаружено явление фотоэффекта?
4. Кем выполнены фундаментальные исследования фотоэффекта?
5. Начертите принципиальную схему для наблюдения фотоэффекта.
6. Чем определяется фототок насыщения? Какое напряжение нужно приложить, чтобы фототок стал равен нулю? Как при заданной частоте света изменится фототок насыщения с уменьшением освещенности катода?
7. Законы фотоэффекта.
8. Объяснение законов фотоэффекта на основе квантовой теории.

9. Запишите формулу Эйнштейна для фотоэффекта. Как с помощью уравнения Эйнштейна объяснить законы фотоэффекта?
10. От чего зависит красная граница фотоэффекта? Напишите формулу.

АТОМНОЕ ЯДРО. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

1. Чем отличаются изобары и изотопы?
2. Почему прочность ядер уменьшается при переходе к тяжелым элементам?
3. Как изменяется со временем активность нуклида?
4. Как изменится положение химического элемента в таблице Менделеева после двух α-распадов ядер его атомов? после последовательных одного α-распада и двух β^--распадов?
5. По каким признакам можно классифицировать ядерные реакции?
6. Под действием каких частиц (α-частиц, нейтронов) ядерные реакции более эффективны? Почему?
7. Что представляет собой реакция деления ядер? Приведите примеры.
8. Охарактеризуйте нейтроны деления. Какие они бывают?
9. Почему деление тяжелых ядер и синтез атомных ядер сопровождаются выделением большого количества энергии?
10. Какие фундаментальные типы взаимодействий осуществляются в природе и как их можно охарактеризовать? Какой из них является универсальным?

ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

ПИСЬМЕННЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

ТЕМА: КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Вариант 1

1. За счет чего возникает тепловое излучение?
2. Внешний фотоэффект (определение, в каких веществах наблюдается)
3. Какая формула выражает эффект Комптона?
4. Опишите модель абсолютно черного тела.
5. Какие три закономерности выявлены с помощью опыта Столетова?
6. Опишите модель атома Томсона.

Вариант 2

1. Является ли тепловое излучение равновесным?
2. Внутренний фотоэффект (определение, в каких веществах наблюдается)
3. По какой формуле находят комптоновскую длину волны?
4. От каких величин зависит энергетическая светимость черного тела?
5. Что такое вольт-амперная характеристика фотоэффекта?
6. Опишите модель атома Резерфорда.

Вариант 3

1. Объясните формулу для расчета энергетической светимости тела.
2. Вентильный фотоэффект (определение, в каких веществах наблюдается)
3. Чему равна комптоновская длина волны для электрона?
4. Как изменится энергетическая светимость черного тела, если его термодинамическая температура уменьшится вдвое?
5. Нарисуйте и объясните вольт-амперные характеристики, соответствующие двум различным освещенностям катода.
6. Каковы недостатки модели атома Томсона?

Вариант 4

1. Что характеризует спектральная поглощательная способность?
2. Кем и когда обнаружено явление фотоэффекта?
3. Чем определяется разность длин волн $\Delta\lambda$ (комптоновский сдвиг)?
4. Дайте определение абсолютно черного тела
5. Чем определяется фототок насыщения?
6. Каковы недостатки модели атома Резерфорда?

ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ РУБЕЖНОГО КОНТРОЛЯ

1.Единица напряженности магнитного поля:
$A/м$
$B \cdot c / A$
H / A
Тл
Вб
2.Емкость и индуктивность контура заменили другими, вдвое большими. Как изменится период колебаний контура?
Увеличится в 2 раза
Увеличится в 4 раза
Уменьшится в 4 раза
Не изменится
Уменьшится в 2 раза
3.При каких условиях ферромагнетик превращается в парамагнетик?
При нагревании до точки Кюри
При изменении направления вектора напряженности внешнего магнитного поля
При уменьшении напряженности внешнего магнитного поля
Ни при каких условиях
При увеличении напряженности внешнего магнитного поля
4.Магнитный поток внутри контура площадью 30 $см^2$, расположенного перпендикулярно полю, равен 0,6 мВб. Индукция поля внутри контура равна:
0,2 Тл
5 Тл
0,5 Тл
0,02 Тл
2 Тл
5.Плоский контур площадью 50 $см^2$ пронизывает магнитный поток 2 мВб при индукции поля 0,4 Тл. Угол между плоскостью контура и направлением поля равен:
90^0
0°
30°
60°
45°
6.Чтобы при неизменном значении силы тока в контуре энергия магнитного поля в нем уменьшилась в 2 раза, нужно:
уменьшить индуктивность в 2 раза
увеличить индуктивность в 16 раз
уменьшить индуктивность в 4 раза
уменьшить индуктивность в 16 раза

увеличить индуктивность в 2 раза

7.В однородной изотропной среде с ε = 2 и μ = 1 распространяется плоская электромагнитная волна. Определите её фазовую скорость.

$2{,}1\times10^8$ м/с

$1{,}0\times10^8$ м/с

3×10^8 м/с

$1{,}73\times10^8$ м/с

$3{,}46\times10^8$ м/с

8.По круговому витку радиусом 40 см циркулирует ток 4 А. Магнитная индукция в центре витка равна:

$62{,}8\cdot10^{-7}$ Тл

$40\cdot10^{-7}$ Тл

$3{,}14\cdot10^{-7}$ Тл

$20\cdot10^{-7}$ Тл

$133{,}6\cdot10^{-7}$ Тл

9.Сила Лоренца

$\vec{F} = q\left[\vec{v}\vec{B}\right]$

$\vec{F} = q\left[\vec{B}\vec{v}\right]$

$d\vec{F} = I\left[d\vec{l}, \vec{B}\right]$

$d\vec{F} = I\left[\vec{B}, d\vec{l}\right]$

$d\vec{F} = \left[\vec{j}, \vec{B}\right]$

10. В формуле закона Малюса $\mathrm{I} = \mathrm{I}_0 \cos^2\varphi$, I_0 – это:

интенсивность падающего света

интенсивность света после анализатора

угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора

угол поворота плоскости поляризации

интенсивность естественного света

11. Разность фаз

$\frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta$

nS

$n_2S_2 - n_1S_1$

$n_1S_1 - n_2S_2$

$\frac{l}{d}\lambda$

12. Как изменится период незатухающих электрических колебаний в колебательном контуре, если емкость его конденсатора уменьшится в 4 раза?

Увеличится в 4 раза

Уменьшится в 2 раза

Увеличится в 2 раза

Увеличится в 16 раз

Уменьшится в 4 раза
13. На щель шириной 0,1 мм нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника с длиной волны 0,6 мкм. Определите синус угла, соответствующего второму максимуму:
0,062
0,082
0,112
0,015
0,032
14. Единица измерения электрической постоянной: 1. Ф/м; 2.$Н \cdot м^2/Кл^2$; 3.$Кл^2/Н \cdot м^2$; 4. $Н/м^2$; 5. безразмерная.
3
1,3
2,5
1
3,4
15. Свет поляризован, если:
Направление распространения светового вектора упорядочено
Направление распространения света линейное
Направление колебания светового вектора упорядочено
Направление распространения света эллиптическое
Колебание светового вектора не упорядочено
16. Дисперсия света обусловлена
упорядочением колебанием светового вектора
упорядочением направления распространения света
взаимодействием световой волны с электроном вещества
взаимодействием группы световых волн между собой
среди ответов нет правильного
17. В формуле $\Delta = \pm m\lambda$, λ - это
длина волны падающего света
разность фаз
геометрическая разность хода
ширина щели дифракционной решетки
период дифракционной решетки
18. Условия интерференционного максимума

$\Delta = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda_0$ (m=0, 1, 2, …)

$\Delta = \pm m\lambda_0$ (m=0, 1, 2, …)

$2b = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda_0$ (m=0, 1, 2, …)

$2bnCos\theta_2 = \pm m\lambda_0$ (m=1, 2, 3,…)

$2bnCos\theta_2 = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda_0$ (m=1, 2, 3,…)

19. Условие монохроматичности световых волн
Амплитуда строго постоянная
Разность фаз строго постоянна во времени
Все условия, вместе взятые
Начальная фаза постоянна
Длина волны строго постоянная

20. В формуле закона Малюса $I = I_0 \cos^2 \varphi$, I_0 – это
интенсивность падающего света
интенсивность света после анализатора
угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора
угол поворота плоскости поляризации
интенсивность естественного света

21. При падении света с длиной волны 0,5 мкм на дифракционную решетку третий дифракционный максимум наблюдается под углом 30^0. Постоянная решетки равна:
6 мкм
4 мкм
3 мкм
5 мкм
2 мкм

22.Определить работу выхода (в эВ) электронов из вещества, если красная граница фотоэффекта равна 310 нм.
4
2
5
8
3

23.В формуле $h\nu = A + \frac{mV^2_{\max}}{2}$ величина $\frac{mV^2_{\max}}{2}$ показывает:
кинетическую энергию электронов
работу выхода электронов из металла
работу выхода фотонов
энергию падающего фотона на вещество
кинетическую энергию фотонов

24.Как изменится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если температуру повысить в 2 раза?
увеличится в 8 раз
уменьшится в 8 раз
увеличится в 4 раз
уменьшится в 4 раз
не изменится

25.Какие опыты, явления доказывают корпускулярную природу света?
Фотоэффект, эффект Комптона
Интерференция и дифракция света

Опыты Джермера и Дэвисона
Опыт Боте, Франка – Герца
Опыты Штерна - Герлаха
26.Постоянная Стефана-Больцмана
$5{,}7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м$^2 \cdot$ К^4)
$2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м $\cdot$ К
$6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с
$5{,}7 \cdot 10^{-8}$ Дж $\cdot$ с
$2{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж $\cdot$ с
27.Гипотеза Планка
Излучение света происходит порциями
Поглощение света происходит порциями
Излучение света происходит непрерывно
Поглощение света происходит непрерывно
Распространение света происходит непрерывно
28.Чему равна удельная энергия связи для ядра атома гелия ^4_2He, если его энергия связи равна 28 МэВ:
7 МэВ/нукл.
14 МэВ/нукл.
56 МэВ/нукл.
112 МэВ/нукл.
168 МэВ/нукл.
29.Какова модель атома по Резерфорду?
Нейтральная система из положительно заряженного ядра и электронов.
Положительно заряженный объем с электронами внутри него, суммарный заряд электронов по величине равен положительному заряду.
Нейтральная система, содержащая только электроны.
Положительно заряженная частица, содержащая протоны и нейтроны.
Система из электронов, число которых равно порядковому номеру элемента.
30.Что такое бета-излучение?
Поток электронов
Поток квантов электромагнитного излучения
Поток протонов
Поток ядер атомов гелия
Поток нейтронов

ПРИМЕРЫ ВОПРОСОВ ВОУД ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1 уровень (1 правильный ответ)

1 Недостающий элемент в ядерной реакции $^{93}_{41}\mathrm{Nb} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} = ? + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

A) $^{90}_{39}\mathrm{Y}$
B) $^{98}_{32}\mathrm{Mo}$
C) $^{98}_{43}\mathrm{Tc}$
D) $^{86}_{37}\mathrm{Rb}$
E) $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$

2 Уравнение волны имеет вид $\xi = 5 \cdot 10^{-3}\cos(628t - 2x)$. Согласно уравнению, длина волны

A) 3,14 м
B) 3,5 м
C) 0,5 пм
D) 700 см
E) 62,8 м
F) 62,8 см

3 Сила тока в контуре изменяется по закону $\mathrm{I} = 0{,}1\cos 6 \cdot 10^{5}\pi\mathrm{t}$. Амплитуда колебаний

A) 0,1 А
B) 6 А
C) 600 мА
D) $6 \cdot 10^{2}$ мА
E) 10 А
F) 10 кА
G) 12 кА

4 Элемент, который получается в результате бета-распада элемента с порядковым номером Z, имеет по таблице Менделеева порядковый номер

A) Z+1
B) Z+2
C) Z
D) Z-1
E) Z-2
F) Z+3
G) Z-3
H) Z+4

5 В результате захвата альфа-частицы ядром изотопа азота $^{14}_{7}N$ образуются протон и неизвестный изотоп

A) ${}_{8}^{17}X$
B) ${}_{7}^{16}X$
C) ${}_{2}^{4}X$
D) ${}_{8}^{18}X$
E) ${}_{8}^{16}X$

6 Чтобы энергетическая светимость черного тела возросла в 9 раз, абсолютную температуру нужно увеличить

A) в $\sqrt{3}$ раз
B) в 4 раза
C) в 9 раз
D) в $3\sqrt{3}$ раз
E) в 14 раз
F) в 18 раз

7 Известно, что некоторый радиоактивный изотоп имеет постоянную распада $\Delta\lambda = 4 \cdot 10^{-7} с^{-1}$. Величина, равная 75% первоначальной массы атомов, распадется за промежуток времени

A) $3{,}5 \cdot 10^{6}$ с
B) $347 \cdot 10^{6}$ с
C) 1,4 суток
D) 9664 час
E) $3{,}9 \cdot 10^{6}$ с
F) 188 с
G) 188000 с

8 По соленоиду индуктивностью L течет ток силой I. При увеличении числа витков соленоида в 3 раза

A) $B_2 = 3B_1$
B) $B_2 = 6B_1$
C) $B_2 = 9B_1$
D) $\Phi_2 = 9\Phi_1$
E) $\Phi_2 = 4\Phi_1$
F) $B_2 = B_1$
G) $\Phi_2 = \Phi_1$
H) $\Phi_2 = 5\Phi_1$

9 Абсолютный показатель преломления среды

A) $\sqrt{\varepsilon\mu}$
B) $n_2 S_2 - n_1 S_1$
C) $2n_1 S_1 - n_2 S_2$
D) $\frac{l}{d}\lambda$

E) $\frac{4\pi}{\lambda}(n_1S_1 - n_2S_2)$

10 Плотность энергии магнитной части электромагнитной волны

A) $\frac{1}{2}\mu_0\mu H^2$

B) $\varepsilon_0\varepsilon E^2$

C) $\mu_0\mu H^2$

D) $\frac{1}{2}(\varepsilon_0\varepsilon E^2 + \mu_0\mu H^2)$

E) $\frac{1}{4}\varepsilon_0\varepsilon E^2$

F) $\frac{1}{8}\varepsilon_0\varepsilon E^2$

11 Уравнение Шредингера для стационарных состояний

A) $\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}(E - U)\psi = 0$

B) $\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}E\psi = 0$

C) $\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}U\psi = 0$

D) $\Delta\psi + \frac{2m}{h^2}\psi = 0$

E) $-\frac{h^2}{2m}\Delta\psi + U\psi = ih\frac{\partial\psi}{\partial t}$

F) $\frac{2m}{h^2}\psi = 0$

G) $\Delta\Phi + \frac{2m}{h^2}\psi = 0$

12 Закон Малюса утверждает, что интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор, между плоскостями которых угол φ, пропорциональна

A) $\cos^2\varphi$

B) $\cos\varphi$

C) $\sin^2\varphi$

D) $\cos^3\varphi$

E) $(\cos\varphi)^2$

F) $tg^2\varphi$

13 Закон Брюстера

A) $tg\varphi = n_{21}$

B) $n_2S_2 - n_1S_1$

C) $2n_1S_1 - n_2S_2$

D) $\frac{l}{d}\lambda$

E) $\frac{4\pi}{\lambda}(n_1S_1 - n_2S_2)$

14 В формуле колец Ньютона $r = \sqrt{4R\lambda}$, величина R - это

A) радиус кривизны линзы

B) радиус четвертого кольца Ньютона
C) радиус второго кольца Ньютона
D) высота воздушной прослойки четвертого кольца Ньютона
E) период дифракционной решетки

15 Излучение и поглощение света происходит квантами. Так формулируется
A) квантовая гипотеза Планка
B) закон Кирхгофа
C) закон Стефана-Больцмана
D) закон смещения Вина
E) первый закон фотоэффекта
F) второй закон фотоэффекта
G) третий закон фотоэффекта
H) закон Эйнштейна

16 Теория, объясняющая интерференцию света
A) волновая теория
B) теория относительности
C) теория упругости
D) зонная теория
E) квантовая теория

17 Расстояние, проходимое светом за время, при котором фаза его колебания изменяется на π, называется
A) длина когерентности
B) ширина щели
C) расстояние до экрана
D) ширина интерференционной полосы
E) радиус кольца Ньютона
F) период решетки
G) длина волны
H) амплитуда колебаний

18 Массовое число – это
A) число нуклонов
B) число протонов
C) масса атома
D) число нейтронов
E) число электронов

19 Поляризация света обусловлена
A) упорядочением колебания вектора напряженности
B) взаимодействием световой волны с электронами
C) взаимодействием световой волны с протонами

D) упорядочением направления распространения света
E) сложением когерентных световых волн
F) электризацией тел при их соприкосновении
G) значением электрического заряда

20 Интерференция света обусловлена
A) сложением когерентных световых волн
B) взаимодействием световой волны с электронами
C) взаимодействием световой волны с протонами
D) упорядочением колебания вектора напряженности
E) упорядочением направления распространения света
F) электризацией тел при их соприкосновении
G) значением элементарного заряда
H) значением постоянной Планка

2 уровень (2 правильных ответа)

1 Ширина интерференционной полосы при увеличении длины волны в 2 раза:
A) увеличится в 2 раза
B) возрастет вдвое
C) увеличится в 14 раз
D) уменьшится в 14 раз
E) не изменится

2 Зонные пластинки применяют для того, чтобы:
A) увеличить освещенность
B) повысить качество изображения
C) уменьшить изображение предметов
D) получить тень
E) контролировать скорость света
F) изучить полосы равного наклона
G) измерить период решетки

3 В ходе реакции ${}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + X$ образуется альфа-частица и вторая частица:
A) n
B) нейтрон
C) альфа-частица
D) гамма-квант
E) электрон
F) позитрон
G) мюон
H) изотон

4 Колебательный контур содержит конденсатор электроёмкостью 50 нФ и катушку индуктивностью $5/(4\pi^2)$ мкГн. Длина волны излучения равна:

A) 150 м
B) 0,15 км
C) 30 м
D) 3000 см
E) 1,6 м

5 Под альфа-распадом понимается:

A) выброс ядер атомов гелия
B) поток альфа-частиц
C) выброс электронов
D) выброс позитронов
E) поток протонов
F) поток фотонов

6 Экспериментальные факты, доказывающие квантовую природу света:

A) фотоэффект, эффект Комптона
B) тепловое излучение
C) интерференция и дифракция света
D) опыты Джермера и Дэвисона
E) опыт Боте, Франка – Герца
F) опыты Штерна – Герлаха
G) поляризация света при отражении

7 В формулу условия главных максимумов дифракционной решетки входит величина m:

A) порядок спектра
B) безразмерная величина
C) волновое число
D) длина волны
E) постоянная Вина
F) жесткость системы
G) плотность
H) период решетки

8 В формулу условия главных минимумов дифракционной решетки входит величина d:

A) период решетки
B) величина, измеряемая в метрах
C) волновое число
D) длина волны
E) постоянная Вина

9 В формуле $2d\sin\theta = \pm m\lambda$, d – это:

A) расстояние между атомными слоями
B) величина, измеряемая в метрах
C) угол скольжения
D) угол дифракции
E) безразмерная величина
F) разность фаз

10 В колебательном контуре емкость и индуктивность заменили другими, в 3 раза больше. Период колебаний:
A) увеличится в 3 раза
B) возрастет в 3 раза
C) не изменится
D) уменьшится в 4 раза
E) увеличится в 4 раза
F) уменьшится в 9 раз
G) возрастет в 20 раз

11 Удельная энергия связи максимальна для ядер с массовым числом, равным:
A) 56
B) 51+5
C) 8
D) 4
E) 4+4
F) 238
G) 116
H) 117

12 Единица напряженности магнитного поля:
A) $А/м$
B) $А \cdot м^{-1}$
C) Тл
D) Вб
E) Ф
F) Кл
G) Н/м
H) Ом

13 Длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2 \cdot 10^5$ м/с, равна:
A) 6 нм
B) $6 \cdot 10^{-9}$ м

C) 4 нм
D) 9 см
E) 3 нм

14 Принцип Гюйгенса-Френеля:
A) объединяет геометрический принцип Гюйгенса с идей об интерференции вторичных волн Френеля
B) объясняет явление дифракции
C) объясняет любые оптические явления
D) применяется по отношению к тепловому излучению
E) применяется по отношению к фотоэффекту
F) не применяется в оптике

15 На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной 1 мм. Показатель преломления стекла равен 1,5. Волна падает на пластинку нормально. Оптическая длина пути изменится на величину, равную:
A) 0,5 мм
B) $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м
C) 1,2 мм
D) 0,6 мм
E) 0,8 мм
F) 1,7 мм
G) 0,2 см

16 Вещество поглощает красный цвет. При освещении белым светом оно будет:
A) красным
B) красного цвета
C) бесцветным
D) черного цвета
E) желтым
F) желтого цвета
G) белым
H) синим

17 В дифракционной картине света с длиной волны 0,6 мкм максимум пятого порядка наблюдается под углом 18^0 $(\sin 18^0 = 0{,}309)$. Дифракционная решетка на каждый миллиметр своей длины содержит число штрихов, равное:
A) 103
B) 100+3
C) 108
D) 198
E) 196+2

18 Луч падает на плоское зеркало под некоторым углом. Зеркало повернули на 10 градусов. Отраженный луч повернется на величину, равную:

A) 20^0
B) $\pi/9$
C) 40^0
D) 60^0
E) 10^0
F) 170^0

19 Дифракционная решетка содержит 125 штрихов на 1 мм. При освещении решетки светом с длиной волны 420 нм на экране, расположенном на расстоянии 2,5 м от решетки, видны синие линии. Расстояние от центральной линии до первой линии на экране равно:

A) 13 см
B) 0,13 м
C) 26 мм
D) 2,6 мм
E) 1,67 см
F) 1,38 мм
G) 266 мм

20 При падении пол углом Брюстера отраженный и преломленный лучи составляют угол, равный:

A) 90^0
B) $\pi/2$
C) 40^0
D) 60^0
E) 10^0
F) 170^0
G) 180^0
H) 190^0

3 уровень (3 правильных ответа)

1 Определить работу выхода (в эВ) электронов из вещества, если красная граница фотоэффекта 310 нм.

A) 4 эВ
B) $\sqrt{16}$ эВ
C) 2^2 эВ
D) 2 эВ
E) $\sqrt{4}$ эВ

2 Красная граница фотоэффекта для металла 500 нм. Найти минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект.

A) 2,48 эВ
B) (2+0,48) эВ
C) $2 \cdot 1{,}24$ эВ
D) 148 эВ
E) (2-0,48) эВ
F) 145 эВ

3 Сила тока в контуре изменяется по закону $I = 0{,}3\cos 2 \cdot 10^5 \pi t$, тогда амплитуда колебаний:

A) 0,3 А
B) 300 мА
C) $3 \cdot 10^{-1}$ А
D) 0,2 А
E) 200 мА
F) $2 \cdot 10^2$ мА
G) 4 А
H) 5 А

4 В магнитном поле с индукцией 0,05 Тл вращается стержень длиной 1 м с угловой скоростью 20 рад/с. Если ось вращения проходит через конец стержня и параллельна магнитному полю, то ЭДС индукции, возникающая на концах стержня:

A) $5 \cdot 10^{-1}$ В
B) $0{,}5$ В
C) $5 \cdot 10^2$ мВ
D) 4 В
E) $\sqrt{16}$ В

5 Уравнение волны имеет вид $\xi = 5 \cdot 10^{-3} \cos(628t - 2x)$, тогда длина волны:

A) 3,14 м
B) π м
C) 314 см
D) 2 м
E) $0{,}2\pi$ м
F) 500 см

6 Необходимо изготовить плосковыпуклую линзу с оптической силой 6 дптр. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы, если показатель преломления материала линзы 1,6:

A) 10 см
B) 0,1 м

C) 100 мм
D) 16 см
E) 0,16 м
F) 1600 мм
G) 600 см

7 На грань стеклянной призмы с показателем преломления 1,5 нормально падает луч света. Угол отклонения луча призмой (в градусах), если ее преломляющий угол составляет 30 градусов:
A) 18
B) $\sqrt{324}$
C) $36/2$
D) 10
E) $\sqrt{100}$
F) $1000/10$
G) 150
H) 1500

8 Минимальная длина волны рентгеновских лучей, полученных от трубки при напряжении 60 кВ, составляет 20,7 пм. Тогда постоянная Планка:
A) $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
B) $66{,}3 \cdot 10^{-35}$ Дж · с
C) $663 \cdot 10^{-36}$ Дж · с
D) $7{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
E) $76{,}3 \cdot 10^{-35}$ Дж · с
F) $763 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

9 В опыте Юнга расстояние между щелями 0,8 мм. Длина волны 0,64 мкм. Если ширина интерференционной полосы 2 мм, то экран расположен от щелей на расстоянии:
A) 2,5 м
B) 250 см
C) 2500 мм
D) 3,5 м
E) 350 см
F) 3500 мм
G) 4,5 м

10 Найти фокусное расстояние линзы, если известно, что действительное изображение предмета, находящегося на расстоянии 30 см от линзы, получается на таком же расстоянии от нее:
A) 0,15 м
B) 15 см
C) 150 мм

D) 0,020 м
E) 2,0 см
F) 20 мм
G) 0,6 м
H) 0,4 м

11 В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света 0,5 мм. Расстояние до экрана 5 м. Если в зеленом свете образовались интерференционные полосы на расстоянии 5 мм друг от друга, то длина волны:

A) $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м
B) $5 \cdot 10^{-7}$ м
C) 0,5 мкм
D) $0{,}65 \cdot 10^{-6}$ м
E) $6{,}5 \cdot 10^{-7}$ м
F) 0,65 мкм

12 Если свет падает под углом Брюстера, отраженный и преломленный лучи составляют угол:

A) 90^0
B) $\pi/2$
C) $2\pi/4$
D) 40^0
E) 60^0
F) 10^0
G) 170^0

13 Плоское зеркало может вращаться вокруг оси О перпендикулярно плоскости, в которой расположены лучи. Луч падает на зеркало под некоторым углом. На какой угол повернется отраженный луч, если зеркало повернули на 10 градусов:

A) 20^0
B) $\pi/9$
C) $2\pi/18$
D) 40^0
E) 30^0

14 Определить длину волны де Бройля, характеризующую волновые свойства электрона, если его скорость равна $2 \cdot 10^5$ м/с :

A) 6 нм
B) $6 \cdot 10^{-9}$ м
C) $60 \cdot 10^{-10}$ м
D) 0,4 нм
E) $0{,}4 \cdot 10^{-9}$ м

F) $4 \cdot 10^{-10}$ м
G) 1,4 км
H) 90 см

15 Свойства волн де Бройля:
A) фазовые скорости релятивистки не ограничены
B) перемещаются вместе с частицей
C) испытывают дисперсию
D) не отличается от свойств обычной волны
E) зависимость от массы или импульса фотона

16 Недостатки теории Бора:
A) не объясняет интенсивность линий
B) обладает внутренними противоречиями
C) не верна в отношении сложных атомов
D) объяснила линейчатый спектр атома
E) определила размер атома водорода
F) получила значение постоянной Ридберга

17 Колебательный контур содержит конденсатор катушку индуктивностью $5/(4\pi)^2$ мкГн. Если электроёмкость конденсатора равна 50 нФ, длина волны излучения:
A) 150 м
B) 0,15 км
C) 1500 дм
D) 130 м
E) 0,13 км
F) 1300 дм
G) 30 км
H) 16 км

18 Экспериментальные подтверждения волновых свойств микрочастиц:
A) опыты Девиссона и Джермера
B) опыты Тартаковского и Томсона
C) опыты Тартаковского
D) опыт Кавендиша и Кулона
E) броуновское движение

19 В состав ядра элемента $^{23}_{11}Na$ входят:
A) 11 протонов и 12 нейтронов
B) 12 нейтронов и 11 протонов
C) Z=11, N=12
D) 23 протона и 11 нейтронов
E) Z=23, N=11

F) 11 протонов и 23 нейтронов
G) 11 нейтронов и 12 протонов
H) 13 нейтронов и 10 протонов

20 Особенности главного квантового числа:
A) совпадают с номером энергетического уровня
B) определяют энергию электрона в атоме
C) принимают целочисленные значения
D) может принимать любые значения
E) определяет массу атома и электрона в целом
F) измеряется в электрон-вольтах

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 5 кн.; Астрель: АСТ, 2005. – М., 1 кн, 2 кн, 3 кн.
2. Детлаф А.А. Курс физики. – М.: ACADEMIA, 2008. – 720 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: ACADEMIA, 2007. – 558 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. Теория, задачи, решения. – М.: ACADEMIA, 2004. – 250 с.
5. Трофимова Т.И. Физика в таблицах и формулах. – М.: Дрофа, 2004. – 430 с.
6. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007 – 416 с.
7. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. – М.: Оникс 21 век, 2005. – 384 с.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по курсу физики. – СПб.: Книжный мир, 2007. – 328 с.
9. Пономаренко Е.В. Физика: Уч. пособие. – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2012. – 176 с.
10. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. – М. :Высшая школа, 2004. – 352 с.
11. Савельев И.В. Курс физики: в 3 т.; Наука. – М., АСТ, 2004. – 472 с.
12. Грабовский Р.И. Курс физики. – СПб. ; М ; Краснодар : Лань, 2004. – 607 с.
13. Федосеев В.Б. Физика: учебник для студентов технических вузов. – Ростов на Дону : ФЕНИКС, 2009. – 669 с.
14. Демидченко В.И. Физика: учебник для вузов. – Ростов на Дону: ФЕНИКС, 2008. – 508 с.
15. Пономаренко Е.В. Физика: факты, гипотезы, закономерности. – Программа для ЭВМ – электронная книга. – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2013.
16. Пономаренко Е.В. Методические указания для СРС по дисциплине «Физика» для студентов технических специальностей. – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2015. – 58 с.
17. Пул Ч. Справочное руководство по физике: Фундаментальные концепции, основные уравнения. – М.: Мир, 2001. – 461 с.
18. Картина мира современной физики (http://nrc.edu.ru/est/r2/index.html).
19. Справочник-тренажер: решение задач по физике (http://shat.ee.saog.ac.ru/T-phisD).
20. Компьютерные модели в изучении физик (http://nwcit.aanet.ru/chirtsov/txtl.html).
21. Журнал «Квант» (http://kvant.mccme.ru/).
22. Интерактивный калькулятор измерений http://www.convert-me.com/ru

23. Каталог ссылок на ресурсы по физике http://www.ivanovo.ac.ru/phys
24. Бесплатные обучающие программы по физике http://www.history.ru/freeph.htm
25. Анимации физических процессов http://physics.nad.ru/
26. Физика: коллекция опытов http://experiment.edu.ru
27. Задачи по физике: задачник "Кванта" http://kvant.mccme.ru/rub/7B.htm
28. Современная физика в задачах http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/metodics/ivanov.html
29. Компьютерные лаборатории http://www.krev.com
30. Оптика: образовательный сервер http://optics.ifmo.ru/
31. Дифракция света http://www.kg.ru/diffraction//
32. Изотопы http://library.istu.edu/hoe/books/isotope.pdf
33. Безопасная радиация http://www.csu.ru/r_safety/
34. Ядерная физика http://nuclphys.sinp.msu.ru/
35. Все о современных лазерах http://www.eurolase.ru/

Елена Валерьевна Пономаренко

Методические указания по организации и выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В071200 – Машиностроение, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям), 5В073200 - Стандартизация, сертификация и метрология (по отраслям)

Подписано в печать _____

Формат бумаги $X^{x}Y$ 1/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Объем 4 п.л.
Тираж 50 экз. Заказ №_____

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауэзова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5