

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ФИЗИКА

Учебно-методический комплекс

В трех частях

Часть 3

Минск
БГАТУ
2011

УДК 53(07)
ББК 22.3я7
Ф 50

*Рекомендовано научно-методическим советом
агроэнергетического факультета БГАТУ.
Протокол № 3 от 14 декабря 2010 г.*

Составители:

кандидат физико-математических наук *В. А. Чернявский*,
доктор физико-математических наук, доцент *В. Р. Соболев*,
кандидат физико-математических наук, доцент *В. П. Дымонт*,
кандидат технических наук, доцент *П. Н. Логвинович*,
кандидат физико-математических наук, доцент *И. Т. Неманова*,
кандидат физико-математических наук, доцент *Е. П. Чеченина*,
кандидат физико-математических наук, доцент *Г. М. Чобот*

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук,
доцент Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь
А. В. Ильюшонков;
кандидат физико-математических наук, доцент Государственного
научно-производственного объединения «Научно-практический центр
НАН Беларуси по материаловедению» *Б. В. Корзун*

Физика : учебно-методический комплекс. В 3 ч. Ч. 3 /
Ф50 В. А. Чернявский [и др.]. — Минск : БГАТУ, 2011. — 456 с.
ISBN 978-985-519-437-9.

Издание представляет собой третью часть учебно-методического комплекса по дисциплине «Физика». Содержит три модуля: модуль 7 «Электромагнитные волны. Волновая оптика»; модуль 8 «Квантовая природа электромагнитного излучения. Элементы атомной физики и квантовой механики»; модуль 9 «Элементы квантовой статистики и зонной теории твердых тел. Элементы физики атомного ядра». Каждый модуль представляет собой логически завершенную единицу и состоит из следующих разделов: комплексная цель; базовые проблемы модуля; учебно-информационная модель; основной научно-теоретический материал; дополнительный научно-теоретический материал; материалы к лекциям; материалы для управляемой самостоятельной работы студентов; материалы к практическим занятиям; образец контрольного задания для проверки результатов обучения.

Предназначено для студентов агротехнических специальностей.

УДК 53(07)
ББК 22.3я7

ISBN 978-985-519-437-9

© БГАТУ, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

МОДУЛЬ 7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

| | |
|--|-----------|
| 1. КОМПЛЕКСНАЯ ЦЕЛЬ МОДУЛЯ | 10 |
| 2. БАЗОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДУЛЯ | 12 |
| 3. УЧЕБНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ | 14 |
| 4. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 16 |
| 4.1. СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ..... | 16 |
| 4.1.1. НОВЫЕ ПОНЯТИЯ | 16 |
| 4.1.2. ПОНЯТИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ | 20 |
| 4.2. ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 21 |
| 4.2.1. ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ..... | 21 |
| 4.2.1.1. Уравнение плоской волны..... | 24 |
| 4.2.1.2. Волновое уравнение | 27 |
| 4.2.1.3. Решение волнового уравнения | 28 |
| 4.2.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ | 29 |
| 4.2.2.1. Волновое уравнение для электромагнитных волн..... | 31 |
| 4.2.2.2. Плоская электромагнитная волна | 34 |
| 4.2.2.3. Объемная плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Умова–Пойнтинга..... | 34 |
| 4.2.2.4. Энергия электромагнитной волны..... | 36 |
| 4.2.3. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА..... | 38 |
| 4.2.3.1. Условия наблюдения интерференции для монохроматических волн | 38 |
| 4.2.3.2. Оптическая длина пути..... | 40 |
| 4.2.3.3. Условия интерференционных максимумов и минимумов... | 41 |
| 4.2.3.4. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников | 42 |
| 4.2.3.5. Способы получения интерференционной картины | 44 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.4. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА | 47 |
| 4.2.4.1. Принцип Гюйгенса–Френеля..... | 47 |
| 4.2.4.2. Зоны Френеля. Дифракция Френеля на простейших препятствиях | 50 |
| 4.2.4.3. Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка | 57 |
| 4.2.4.4. Дифракция рентгеновских лучей | 65 |
| 4.2.5. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА | 68 |
| 4.2.5.1. Естественный и поляризованный свет..... | 68 |
| 4.2.5.2. Поляризация при преломлении и отражении света | 71 |
| 4.2.5.3. Двойное лучепреломление..... | 73 |
| 4.2.5.4. Искусственная оптическая анизотропия..... | 78 |
| 4.2.5.5. Вращение плоскости поляризации..... | 80 |
| 4.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ..... | 84 |
| 4.3.1. КОГЕРЕНТНОСТЬ СВЕТОВЫХ ВОЛН | 84 |
| 4.3.2. ПРИНЦИП ГОЛОГРАФИИ..... | 86 |
| 5. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ | 91 |
| 5.1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ | 91 |
| 5.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ | 95 |
| 5.2.1. ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН | 95 |
| 5.2.2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ..... | 96 |
| 5.2.3. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА..... | 101 |
| 5.3. МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ..... | 106 |
| 5.3.1. УПРУГИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ | 106 |
| 5.3.2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА | 113 |
| 5.3.3. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА | 123 |
| 5.3.4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА..... | 135 |
| 6. ОБРАЗЕЦ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ..... | 141 |

МОДУЛЬ 8а. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

| | |
|--|------------|
| 1. КОМПЛЕКСНАЯ ЦЕЛЬ МОДУЛЯ | 144 |
| 2. БАЗОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДУЛЯ | 145 |
| 3. УЧЕБНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ | 146 |
| 4. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 147 |
| 4.1. СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ..... | 148 |
| 4.1.1. НОВЫЕ ПОНЯТИЯ | 147 |
| 4.2. ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 150 |
| 4.2.1. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ..... | 150 |
| 4.2.1.1. Тепловое излучение и его основные характеристики. Абсолютно черное тело и законы его теплового излучения | 150 |
| 4.2.1.2. Квантовая гипотеза. Формула Планка и ее связь с законами Стефана–Больцмана и Вина..... | 159 |
| 4.2.1.3. Элементы квантовой оптики. Энергия, масса, импульс фотона. Давление света с точки зрения квантовой теории | 162 |
| 4.2.1.4. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм света (излучения) | 165 |
| 4.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ..... | 170 |
| 4.3.1. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ И ЕГО ЗАКОНЫ..... | 170 |
| 4.3.1.1. Законы внешнего фотоэффекта..... | 170 |
| 4.3.1.2. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта | 171 |
| 4.3.1.3. Световая и вольтамперная характеристики фотоэффекта. Определение постоянной Планка с помощью внешнего фотоэф- фекта | 173 |
| 5. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ..... | 176 |
| 5.1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИИ | 176 |
| 5.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ..... | 179 |
| 5.3. МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ | 185 |
| 6. ОБРАЗЕЦ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ | 194 |

МОДУЛЬ 8б. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

| | |
|---|------------|
| 1. КОМПЛЕКСНАЯ ЦЕЛЬ МОДУЛЯ | 196 |
| 2. БАЗОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДУЛЯ | 198 |
| 3. УЧЕБНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ | 200 |
| 4. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ | 201 |
| 4.1. СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ..... | 201 |
| 4.1.1. НОВЫЕ ПОНЯТИЯ..... | 201 |
| 4.1.2. ПОНЯТИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ | 204 |
| 4.2. ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ | 205 |
| 4.2.1. ТЕОРИЯ БОРА ДЛЯ АТОМА ВОДОРОДА | 205 |
| 4.2.1.1. Спектр атома водорода. Опыты Резерфорда. Ядерная модель атома..... | 205 |
| 4.2.1.2. Постулаты Бора. Опыты Франка и Герца..... | 212 |
| 4.2.1.3. Атом водорода и водородоподобные системы по теории Бора | 216 |
| 4.2.2. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ | 221 |
| 4.2.2.1. Гипотеза де Бройля. Опыты, подтверждающие волновую природу микрочастиц | 221 |
| 4.2.2.2. Волновая функция микрочастицы..... | 227 |
| 4.2.2.3. Уравнение Шредингера..... | 230 |
| 4.2.2.4. Соотношение неопределенностей | 233 |
| 4.2.2.5. Частица в прямоугольной потенциальной яме..... | 237 |
| 4.2.2.6. Квантовомеханическое описание атома водорода. Волновая функция электрона. Квантовые числа | 245 |
| 4.2.2.7. Орбитальный момент импульса и орбитальный магнитный момент электрона в атоме водорода..... | 255 |
| 4.2.2.8. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона | 262 |
| 4.2.2.9. Многоэлектронные атомы. Периодическая система эле- ментов | 269 |
| 4.2.2.10. Понятие явлений магнитного резонанса..... | 273 |
| 4.2.3. ОПТИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ | 274 |
| 4.2.3.1. Излучение и поглощение света | 274 |
| 4.2.3.2. Квантовые генераторы | 280 |

| | |
|---|------------|
| 4.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ..... | 285 |
| 4.3.1. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР. ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ..... | 285 |
| 4.3.2. ЛИНЕЙНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛЯТОР..... | 289 |
| 4.3.3. ПРОСТЕЙШЕЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ВОДОРОДОПОДОБНОЙ СИСТЕМЫ..... | 293 |
| 5. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ..... | 299 |
| 5.1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ..... | 299 |
| 5.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ..... | 306 |
| 5.3. МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ..... | 314 |
| 5.3.1. АТОМ ВОДОРОДА ПО БОРУ..... | 314 |
| 5.3.2. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА. ВОДОРОДОПОДОБНЫЕ СИСТЕМЫ ПО КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ..... | 321 |
| 6. ОБРАЗЕЦ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ..... | 336 |

МОДУЛЬ 9. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ И ЗОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

| | |
|--|------------|
| 1. КОМПЛЕКСНАЯ ЦЕЛЬ МОДУЛЯ..... | 338 |
| 2. БАЗОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДУЛЯ..... | 340 |
| 3. УЧЕБНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ..... | 342 |
| 4. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 343 |
| 4.1. СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ..... | 343 |
| 4.1.1. НОВЫЕ ПОНЯТИЯ..... | 343 |
| 4.2. ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ..... | 347 |
| 4.2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ СТАТИСТИК..... | 347 |
| 4.2.2. КОНТАКТ ДВУХ МЕТАЛЛОВ. ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ РАБОТА ВЫХОДА ИЗ МЕТАЛЛА. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И ПОЛНАЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ ВНУТРИ МЕТАЛЛА, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА. ПОНЯТИЕ О ЗОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ..... | 359 |
| 4.2.3. ВНЕШНЯЯ И ВНУТРЕННЯЯ КОНТАКТНЫЕ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ. РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ НА КОНЦАХ ЦЕПИ, СОСТАВЛЕННОЙ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ЗВЕНЬЕВ, ПРИВЕДЕННЫХ В КОНТАКТ МЕТАЛЛОВ. ЗАКОНЫ ВОЛЬТА..... | 368 |
| 4.2.4. СОБСТВЕННАЯ И ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ..... | 380 |
| 4.2.5. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ..... | 395 |
| 4.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ..... | 430 |
| 4.3.1. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ..... | 430 |
| 5. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ..... | 432 |
| 5.1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ..... | 432 |
| 5.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ..... | 435 |
| 5.3. МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ..... | 438 |
| 6. ОБРАЗЕЦ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ..... | 454 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 455 |