

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

М.Г. ПЕТРУШАНСКИЙ

# КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»

Оренбург 2007

УДК 530.145(075.8)

ББК 32.86я73

П 31

Рецензент

кандидат физико-математических наук, доцент Э.К. Алиджанов

П 31 **Петрушанский М.Г.**  
**Квантовая природа излучения: учебное пособие /**  
**М.Г. Петрушанский. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007.- 107 с.**

**ISBN**

Учебное пособие включает теоретическое изложение материала, примеры решения задач, контрольные вопросы, задачи и тесты для самоподготовки.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 210201 при изучении дисциплин «Физика» и «Рентгеновские трубки, излучатели, моноблоки и питающие устройства».

П 1604030000

ББК 32.86я73

ISBN

© Петрушанский М.Г., 2007

© ГОУ ОГУ, 2007

## Содержание

<i><u>Введение.....</u></i>	<i><u>5</u></i>
<i><u>1 Тепловое излучение.....</u></i>	<i><u>6</u></i>
<i><u>1.1 Основные понятия и характеристики излучения.....</u></i>	<i><u>7</u></i>
<i><u>1.1.1 Поток и интенсивность излучения.....</u></i>	<i><u>9</u></i>
<i><u>1.1.2 Объемная плотность энергии.....</u></i>	<i><u>9</u></i>
<i><u>1.1.3 Испускательная способность.....</u></i>	<i><u>10</u></i>
<i><u>1.1.4 Энергетическая светимость.....</u></i>	<i><u>11</u></i>
<i><u>1.1.5 Поглощательная способность.....</u></i>	<i><u>11</u></i>
<i><u>1.2 Законы теплового излучения.....</u></i>	<i><u>12</u></i>
<i><u>1.2.1 Закон Кирхгофа.....</u></i>	<i><u>12</u></i>
<i><u>1.2.2 Закон Стефана-Больцмана.....</u></i>	<i><u>14</u></i>
<i><u>1.2.3 Закон Вина.....</u></i>	<i><u>15</u></i>
<i><u>1.2.4 Формула Рэлея-Джинса.....</u></i>	<i><u>17</u></i>
<i><u>1.3 Формула Планка для теплового излучения.....</u></i>	<i><u>19</u></i>
<i><u>1.4 Следствия формулы Планка.....</u></i>	<i><u>21</u></i>
<i><u>1.4.1 Закон Стефана-Больцмана.....</u></i>	<i><u>21</u></i>
<i><u>1.4.2 Закон Вина и правило смещения Вина.....</u></i>	<i><u>22</u></i>
<i><u>1.4.3 Формула Рэлея-Джинса.....</u></i>	<i><u>22</u></i>
<i><u>1.5 Контрольные вопросы.....</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>1.6 Примеры решения задач.....</u></i>	<i><u>23</u></i>
<i><u>1.7 Задачи для самостоятельного решения.....</u></i>	<i><u>27</u></i>
<i><u>2 Квантовые свойства света.....</u></i>	<i><u>28</u></i>
<i><u>2.1 Понятие о квантах.....</u></i>	<i><u>28</u></i>
<i><u>2.2 Фотоэлектрический эффект.....</u></i>	<i><u>30</u></i>
<i><u>2.2.1 Внешний фотоэффект.....</u></i>	<i><u>30</u></i>
<i><u>2.2.2 Внутренний фотоэффект. Применение фотоэффекта.....</u></i>	<i><u>36</u></i>
<i><u>2.3 Эффект Комптона.....</u></i>	<i><u>37</u></i>
<i><u>2.4 Давление света.....</u></i>	<i><u>41</u></i>
<i><u>2.5 Коротковолновая граница тормозного рентгеновского излучения.....</u></i>	<i><u>42</u></i>
<i><u>2.6 Контрольные вопросы.....</u></i>	<i><u>45</u></i>
<i><u>2.7 Примеры решения задач.....</u></i>	<i><u>46</u></i>
<i><u>2.8 Задачи для самостоятельного решения.....</u></i>	<i><u>51</u></i>
<i><u>3 Спектры излучения атомов. Квантовые генераторы.....</u></i>	<i><u>53</u></i>
<i><u>3.1 Сериальные формулы. Модели строения атома.....</u></i>	<i><u>54</u></i>

<i>3.1.1 Модель атома Томсона.....</i>	<i>55</i>
<i>3.1.2 Модель атома Резерфорда.....</i>	<i>57</i>
<i>3.2 Теория атома водорода. Постулаты Бора.....</i>	<i>60</i>
<i>3.3 Опыт Франка-Герца.....</i>	<i>67</i>
<i>3.4 Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли.....</i>	<i>69</i>
<i>3.5 Спонтанное и вынужденное излучение.....</i>	<i>72</i>
<i>3.6 Принцип работы лазера.....</i>	<i>74</i>
<i>3.7 Применение и основные типы лазеров.....</i>	<i>78</i>
<i>3.7.1 Рубиновый лазер.....</i>	<i>79</i>
<i>3.7.2 Лазер на алюмо-иттриевом гранате.....</i>	<i>81</i>
<i>3.7.3 Гелий-неоновый лазер.....</i>	<i>82</i>
<i>3.7.4 Полупроводниковые лазеры.....</i>	<i>84</i>
<i>3.8 Контрольные вопросы.....</i>	<i>85</i>
<i>3.9 Примеры решения задач.....</i>	<i>86</i>
<i>3.10 Задачи для самостоятельного решения.....</i>	<i>92</i>
<i>4 Общие методические указания к решению задач.....</i>	<i>93</i>
<i>5 Тесты.....</i>	<i>96</i>
<i>Заключение.....</i>	<i>103</i>
<i>Список использованных источников.....</i>	<i>104</i>
<i>Приложение А.....</i>	<i>105</i>
<i>Приложение Б.....</i>	<i>106</i>
<i>Приложение В.....</i>	<i>107</i>
<i>Приложение Г.....</i>	<i>108</i>
<i>Приложение Д.....</i>	<i>109</i>
<i>Приложение Е.....</i>	<i>110</i>

## Введение

Понимание явлений физики излучения, как и всех явлений микромира, невозможно без квантовых представлений, возникших немногим более 100 лет назад. Заслуга в этом принадлежит выдающемуся немецкому физику Макс Планку. Ему удалось объяснить и аналитически описать спектральное распределение света, излучаемого нагретыми телами, и решить проблему, перед которой классическая физика оказалась бессильной. Планк первым высказал гипотезу о квантовании энергии осциллятора, несовместимую с принципами классической физики. Именно эта гипотеза, развитая впоследствии трудами многих выдающихся ученых, дала толчок процессу пересмотра и ломки старых понятий, который завершился созданием квантовой физики.

Квантовая гипотеза, представление о фотонах и процессе излучения, как о квантовом переходе атомной системы из одного энергетического состояния в другое, позволили также объяснить закономерности фотоэффекта, эффекта Комптона и ряд других эффектов, непонятных с точки зрения классической волновой теории света. Особенно отчетливо квантовые свойства проявились в области рентгеновского и  $\gamma$ -излучения. Квантовый характер излучения и поглощения был использован Н. Бором для объяснения закономерностей, наблюдаемых в спектрах разреженных газов. Эти же представления необходимы для введения понятия индуцированного излучения и объяснения принципов работы лазеров.

Предлагаемое учебное пособие посвящено основам квантовой теории излучения и включает рассмотрение вопросов теплового излучения, взаимодействия излучения с веществом и возникновения спектров излучения атомов, а также связь этих вопросов с фундаментальными проблемами физики.

В пособии излагаются основные идеи, их физический смысл, методы исследования и результаты, полученные современной физикой. При этом обращено внимание на преемственность современной и классической физики, непреходящую ценность результатов классической теории, без усвоения которых трудно проникнуться идеями современной квантовой физики. Вопросы истории, экспериментального обоснования физических законов, применения их в технике и других науках затронуты в пособии лишь постольку, поскольку это необходимо для понимания изучаемых разделов курса.

Для более полного понимания и усвоения предлагаемого материала рекомендуется сочетать его изучение с разбором решений задач, приведенных в пособии. К каждой главе даны контрольные вопросы и задачи. В пособие включены также тесты, позволяющие оценить уровень подготовки по рассмотренным вопросам.