

Б.И. СТЕПАНОВ

ВВЕДЕНИЕ
В СОВРЕМЕННУЮ
ОПТИКУ

КВАНТОВАЯ
ТЕОРИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СВЕТА
И ВЕЩЕСТВА

УДК 535+530.145

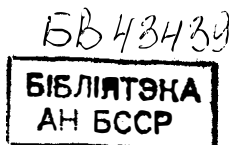
Степанов Б. И. Введение в современную оптику: Квантовая теория взаимодействия света и вещества.— Мн.: Навука і тэхніка, 1990.—319 с.—ISBN 5-343-00523-3.

Кратко изложены история возникновения и основные понятия квантовой механики; рассмотрены свойства волновых функций, уравнения Шредингера и Гейзенберга, теория возмущений; приведены волновые функции и уровни энергий для атома водорода, гармонического осциллятора и жесткого ротатора. Процесс поглощения и испускания излучения описан методами квантовой механики и квантовой электродинамики, Рассчитаны естественные контуры уровней энергии и спектральных линий. Изложена теория спина электрона, система электронных спектров.

Рассчитана на научных работников, аспирантов и студентов.
Табл. 6. Ил. 62. Библиогр. в конце глав.

Редактор
чл.-кор. АН БССР В. П. Грибковский

Рецензенты:
д-р физ.-мат. наук А. Г. Маханек,
д-р физ.-мат. наук Г. С. Круглик



1604060000—94
С—54—90
М 316(03)—90

ISBN 5-343-00523-3

© Б. И. Степанов,
1990

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора	5
 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ	
§ 1. Из истории квантовой механики	7
Зарождение квантовой теории (7). Принцип соответствия в теории Бора (14). Состояние квантовой теории к 1924 г. (18). Введение в механику Гамильтона (22). Успехи и недостатки теории Бора (24). Эффект Комптона (25). Совсем кратко о теории Бора, Крамерса и Слэтера (29). Волны де Бройля (30). Дифракция электронов (35). Электронная оптика (36)	
§ 2. Уравнение Шредингера	37
О физическом смысле волн де Бройля (37). Обоснование уравнения Шредингера (42). Понятие оператора (45). Другие способы обоснования уравнения Шредингера (53). Предельный переход от уравнений Шредингера к уравнениям классической механики (58)	
§ 3. Свойства волновых функций	59
Принцип суперпозиции (59). Роль наблюдения (62). Средние значения физических величин (68). Принцип неопределенности (70)	
§ 4. Зависимость механических величин от времени	80
Уравнения движения (80). Теоремы Эренфеста (83)	
§ 5. Теория возмущений	84
Основные положения (84). Вырожденные уровни (85). Теория квантовых переходов (87). Первый порядок теории возмущений (88)	
§ 6. Представления Шредингера и Гейзенберга	90
Представление Шредингера (90). Представление Гейзенберга (91)	
§ 7. Распространение энергии в линейных цепочках	93
Расчетные формулы (93). Исследование полученных решений (95)	
Литература к главе 1	98

2. ПОГЛОЩЕНИЕ И ИСПУСКАНИЕ СВЕТА АТОМНЫМИ СИСТЕМАМИ

§ 1. Поглощение и вынужденное испускание света	101
Исходные уравнения (101). Некоторые частные случаи (103). Введение понятия вероятности перехода (105). Точное решение задачи для двухуровневой системы (107)	
§ 2. Оператор взаимодействия света и вещества	112
Гамильтонова форма уравнений электромагнитного поля (112). Основная форма оператора взаимодействия (114). Мультипольность испускания (116). Правила отбора (117)	
§ 3. Дипольное испускание и поглощение света	118
Основные расчетные формулы (118). Дифференциальные коэффициенты Эйнштейна (119). Спонтанное испускание света (122). Универсальное соотношение между дифференциальными коэффициентами Эйнштейна (123). Интегральные коэффициенты Эйнштейна (126). Учет вырождения уровней (129)	
§ 4. Принцип соответствия	130
Основные выводы классической теории испускания света (130). Сравнение результатов квантовой и классической теории дипольного испускания света (131). Силы осциллятора (133)	
Литература к главе 2	134

3. РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ПРОСТЕЙШИХ АТОМНЫХ СИСТЕМ

§ 1. Атом водорода	135
Волновое уравнение (135). Решение уравнения (138). Орбитальный момент и его проекция (145). Правила отбора (148). Спектральные серии атома водорода (149). Постоянная Ридберга (151). Некоторые детали и тонкости (152). Нормальный эффект Зеемана (153)	
§ 2. Гармонический осциллятор	155
О модели гармонического осциллятора (155). Выводы классической теории (159). Уровни энергии (160). Собственные функции (162). Правила отбора (165). Решение квантовомеханической задачи о гармоническом осцилляторе в матричном (гейзенберговском) представлении (166)	
§ 3. Жесткий ротатор	168
Уровни энергии и собственные функции (168). Спектральные линии (169)	
§ 4. Несколько простейших задач квантовой механики	170
Отражение и прохождение частицы через потенциальный барьер (170). Частица в потенциальном ящике (174). Туннельный эффект (176)	

§ 5. Разделение переменных электронно-колебательного движения молекул в адиабатическом приближении	179
---	------------

Разделение переменных и классификации уровней энергии (179). Решение уравнения Шредингера для изолированной молекулы в адиабатическом приближении (181). Учет неадиабатичности. Неоптические переходы внутри молекулы (186). Влияние растворителя (188)

Литература к главе 3	194
---------------------------------------	------------

4 КОНТУРЫ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

§ 1. Контуры уровней энергии	196
---	------------

Постановка задачи (196). Первое приближение (198). Расчет контура уровня энергии (199). Контур системы уровней энергии (201)

§ 2. Контуры спектральных линий	202
--	------------

Связь контура уровня энергии с контуром спектральной линии (202). Контур спектральных полос (205)

§ 3. Связь средней длительности и полуширины уровней	206
---	------------

Простейшие примеры (206). Еще раз о соотношении неопределенностей для энергии и длительности (208)

Литература к главе 4	210
---------------------------------------	------------

5. КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА

§ 1. Равновесное распределение молекул идеального газа в классической статистике	211
---	------------

Предмет статистической физики (211). Закон распределения энергии в классической статистике (212). Закон распределения скоростей (215)

§ 2. Статистики Бозе—Эйнштейна и Ферми—Дирака	215
--	------------

Основные принципы квантовой статистики (215). Статистика Бозе—Эйнштейна (219). Статистика Ферми—Дирака (222)

Литература к главе 5	225
---------------------------------------	------------

6. СПИН

§ 1. История открытия спина	227
--	------------

Особенности спектров щелочных металлов (227). Гипотеза Уленбека и Гаудсмита (229). Опыты Штерна—Герлаха (232)

§ 2. Свойства спина	234
--------------------------------------	------------

Оператор спина электрона (234). Спинные функции (235)

§ 3. Полный момент количества движения	236
Общая векторная схема атомов (236). Мультиплетная структура спектральных линий (241). Аномальный эффект Зеемана (242). Принцип Паули (244)	
Литература к главе 6	245

7. КЛАССИЧЕСКАЯ КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

§ 1. Квантовые свойства свободного электромагнитного поля	247
О предмете квантовой электродинамики (250). Постановка задачи (252). Классический гамильтониан электромагнитного поля (254). Оператор энергии электромагнитного поля (258). Решение уравнения Шредингера для свободного электромагнитного поля (259). Операторы рождения и уничтожения фотонов (262). Квантование поля излучения с помощью операторов рождения и уничтожения фотонов (265). Квантовая механика фотона (267)	
§ 2. Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с веществом	269
Оператор взаимодействия света и вещества (269). Разложение волновой функции по собственным функциям вещества и поля (270). Матричные элементы оператора взаимодействия (272). Вероятность однофотонного процесса поглощения света (273). Вероятность однофотонного процесса испускания (276). Двухфотонные процессы преобразования света веществом (279). Трехфотонный процесс (284). Послесвечение атома (288)	
§ 3. Естественный контур уровней энергии и спектральных линий	289
Уровни энергии (289). Спектральные линии (291)	
Литература к главе 7	293

ПРИЛОЖЕНИЕ

Периодическая система элементов

§ 1. Таблица Менделеева	295
Возникновение понятия «элемент» (295). Открытие отдельных элементов (296). Учение об атомах (297). Открытие периодической таблицы элементов (298). Д. И. Менделеев и спектроскопия (301). О Д. И. Менделееве (302)	
§ 2. Строение атомов	305
Свойства электрона (305). Свойства протона (306)	
§ 3. Причины периодичности в таблице Менделеева	307
Возникновение физики атома (307). Электронные оболочки (313)	
Литература к приложению	314