



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**А. Е. Бурученко, А. К. Москалёв, А. Э. Соколов**

# ОБЩАЯ ФИЗИКА

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ  
АТОМНОЙ ФИЗИКИ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

УДК 539.18(07)  
ББК 22.38я73  
Б916

Рецензенты:

*С. С. Аплеснин*, доктор физико-математических наук, профессор  
Сибирского государственного университета науки и технологий;

*В. В. Слабко*, доктор физико-математических наук, профессор Си-  
бирского федерального университета

**Бурученко, А. Е.**  
Б916      **Общая физика. Прикладные аспекты атомной физики : учеб.  
пособие / А. Е. Бурученко, А. К. Москалёв, А. Э. Соколов. –  
Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 76 с.  
ISBN 978-5-7638-4082-7**

Изложен теоретический материал об атомных спектрах водородоподоб-  
ных атомов и щелочных металлов, о законах дифракции и их прикладных  
аспектах. Представлены результаты расчетов из проведенных эксперимен-  
тов и исследований. Приведены методические указания к курсовым работам  
и даны образцы их выполнения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 27.03.05  
«Инноватика», 08.03.01 «Строительство», 08.05.01 «Строительство уникаль-  
ных зданий и сооружений».

**Электронный вариант издания см.:**  
**<http://catalog.sfu-kras.ru>**

**УДК 539.18(07)**  
**ББК 22.38я73**

ISBN 978-5-7638-4082-7

© Сибирский федеральный  
университет, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Теоретические сведения .....	4
2. Курсовые работы .....	39
3. Образец выполнения курсовой работы «Исследование спектров испускания водородоподобных атомов» .....	48
4. Образец выполнения курсовой работы «Качественный и полуколичественный анализ минерального состава в веществе рентгеноструктурным методом» .....	56
Заключение .....	64
Библиографический список .....	65
Приложения .....	66

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

---

## Основные характеристики электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение одновременно проявляет свойства, характеризующие его как электромагнитную волну и как поток частиц – фотонов.

*Фотон* – элементарная частица электромагнитного излучения. Каждый фотон несет порцию энергии, которую принято называть *квантом*. Энергия фотона прямо пропорциональна частоте излучения:  $E_{\text{ф}} = h\nu$ , где  $h$  – постоянная Планка, равная  $6,62 \cdot 10^{-31}$  Дж · с.

Энергию фотона часто выражают в электрон-вольтах (эВ). 1 эВ – это энергия, которую приобретает электрон, двигаясь в электрическом поле при разности потенциалов в 1 В ( $1\text{эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Дж).

*Частота* электромагнитного излучения  $\nu$  показывает, сколько полных колебаний напряженности электромагнитного поля совершается в одну секунду. Единица измерения частоты – герц (Гц).

*Длина волны*  $\lambda$  – расстояние, которое проходит волна за время одного периода. В спектральном анализе наиболее распространенные единицы измерения длины волны: нанометр ( $1\text{нм} = 10^{-9}$  м), микрометр ( $1\text{мкм} = 10^{-6}$  м), ангстрем ( $1\text{Å} = 10^{-10}$  м).

Длина волны и частота связаны соотношением  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  ( $c$  – скорость света в вакууме, равная  $2,998 \cdot 10^8$  м/с).

Разновидности электромагнитного излучения, различающиеся длиной волны (частотой): радиоволны, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское и  $\gamma$ -излучения. Расположенные в порядке возрастания длины волны (частоты), они составляют полный спектр электромагнитных волн, в котором длина волны меняется в очень широком интервале от долей нанометра до нескольких километров.

## Происхождение спектров поглощения и испускания вещества

Возникновение спектров испускания и поглощения вещества всегда связано с изменением *внутренней энергии* его атомов или молекул. Частицы (атомы или молекулы), обладающие минимальным запасом внутренней

энергии, называют *невозбужденными*, а состояние, в котором они находятся, – *нормальным* или *основным*. Путем внешнего воздействия частицам вещества можно сообщить дополнительную энергию, поглотив которую они из нормального состояния перейдут в *возбужденное*. Внутренняя энергия атомов и молекул не может изменяться непрерывно, а изменяется скачкообразно, дискретно. Для атомов каждого элемента, молекул каждого вещества существует свой дискретный ряд возможных энергетических состояний. Поглощая или испуская порцию энергии, частица из одного возможного энергетического состояния переходит в другое состояние.

Условно энергетические состояния атомов и молекул обозначают в виде горизонтальных прямых – *энергетических уровней* (рис. 1). Самый низкий уровень  $E_1$  соответствует основному состоянию атома или молекулы. Над ним располагаются уровни  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  и т. д., каждый из которых отвечает определенному возбужденному состоянию, причем более высокому энергетическому уровню соответствует и более высокий запас внутренней энергии атома или молекулы.

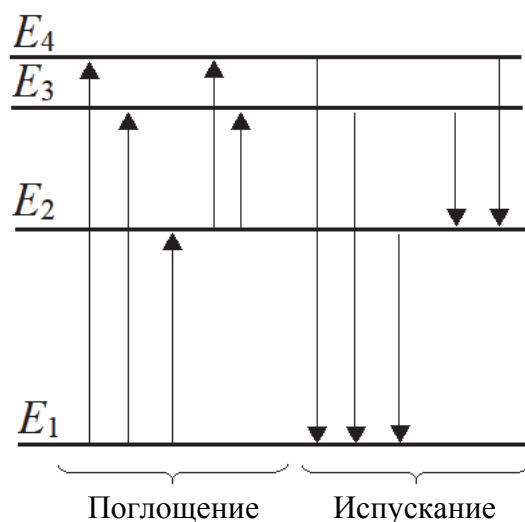


Рис. 1. Энергетические уровни

Энергия, которую нужно сообщить частице, чтобы перевести ее с основного на возбужденный уровень, называется *энергией возбуждения*. Измеряют энергию возбуждения чаще всего в электрон-вольтах. Процесс поглощения энергии частицами вещества обозначают стрелками, направленными вверх, а процесс испускания – стрелками, направленными вниз.

*Поглощать и излучать энергию частицы вещества могут порциями, равными разности энергий двух уровней.* Например: атом может перейти с уровня  $E_1$  на уровень  $E_2$ , поглотив квант  $h\nu_{1,2}$ , равный разности  $E_2 - E_1$ , а с уровня  $E_2$  на уровень  $E_3$ , поглотив квант  $h\nu_{2,3} = E_3 - E_2$ .

Каждый переход требует кванта определенной частоты (длины волны), которую можно подсчитать, если известна энергия уровней, между которыми совершается переход. Например:

$$\nu_{1,2} = \frac{E_2 - E_1}{h}; \quad \lambda_{1,2} = \frac{hc}{E_2 - E_1}.$$

Каждое вещество имеет свой набор энергетических уровней, отличаюсь от других веществ числом уровней и разностью энергий этих уровней. Поэтому спектры разных веществ отличаются друг от друга как частотами излучаемых или поглощаемых квантов, так и их числом. Это обстоятельство позволяет, изучив спектр вещества, сделать выводы о его химическом составе.

### Атомные спектры и строение атома

При испускании и поглощении атомами электромагнитного излучения изменяется внутренняя энергия каждого поглощающего или испускающего атома.

Внутренняя энергия атома складывается из кинетической энергии электрона (ядро неподвижно) и потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром. Если атом не подвергается внешнему воздействию, то его ядро и электроны находятся в таких энергетических состояниях, что внутренняя энергия атома имеет минимальное значение, т. е. атом невозбужден.

Возбудить атом можно, лишь сообщив ему извне дополнительную энергию. Возбуждение ядра требует большой энергии, порядка  $10^5$  эВ, что соответствует квантам  $\gamma$ -излучения. Поэтому в условиях получения оптических и рентгеновских спектров энергия атомных ядер остается неизменной и внутренняя энергия атомов зависит только от энергетического состояния электронов.

Электроны внешних и незавершённых внутренних оболочек значительно слабее связаны с ядром, чем электроны на внутренних полностью заполненных оболочках, для их возбуждения и даже отрыва нужна энергия всего несколько электрон-вольт.

Спектры химических элементов линейчатые. Атомы разных элементов имеют разное строение, поэтому имеют свой индивидуальный спектр, отличающийся от спектров других элементов числом линий и их длинами волн. Структура спектра элемента определяется возможными значениями внутренней энергии его атомов.

Рассмотрим структуру уровней и спектр самого простого из атомов – атома водорода, имеющего всего один электрон, или водородоподобного атома, т. е. ионизированного атома, у которого остался только один электрон. Например, это могут быть ион гелия  $\text{He}^+$  или ион лития  $\text{Li}^{++}$ .

Энергия электрона в атоме водорода зависит только от силы взаимодействия с его ядром. Благодаря очень большой по сравнению с электроном массе ядро в первом приближении можно считать неподвижным. Его размеры ( $\sim 10^{-13}$  см) во много раз меньше размера атома ( $\sim 10^{-8}$  см), поэтому ядро можно рассматривать как точечный заряд  $(+Ze)$ , где  $Z$  – порядковый номер элемента в таблице Менделеева. Электрон с зарядом  $(-e)$  движется в электрическом поле, потенциал которого  $\phi$  на расстоянии  $r$  от ядра равен:  $\phi = Ze/4\pi\epsilon_0 r$ . Следовательно, электрон в атоме имеет потенциальную энергию

$$U(r) = -e \phi = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (1)$$

Для простоты предположим, что электрон движется вокруг ядра по круговой орбите радиусом  $r$ . При этом согласно правилу квантования круговых орбит Бора он должен иметь дискретные квантованные значения орбитального момента импульса

$$L = m_e v_n r_n = n\hbar, \quad (2)$$

где  $m_e$  – масса электрона;  $v_n$  – его скорость на  $n$ -й орбите радиусом  $r_n$ ;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  – приведенная постоянная Планка.

Дискретность состояния атома, дискретность его спектра энергий выясняются волновой природой электрона. Почему электрон, находясь на разрешенной орбите, не излучает? Потому что электрон не является материальной точкой, а представляет сложный материальный объект, обладающий волновыми свойствами. Его движению соответствует стационарная волна де Бройля (рис. 2). Замкнутость траектории обуславливает устойчивое волновое движение, в котором укладывается целое число длин волн, т. е.  $n\lambda$ . В стационарном состоянии длина волны

$$\lambda = \frac{h}{mv}. \quad (3)$$

Волне, амплитуда которой остается со временем неизменной, должно отвечать *неизменное* распределение заряда.

В развитие идеи де Бройля о волновых свойствах вещества Э. Шредингер сопоставил движению микрочастицы комплексную функцию коор-