

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

А.А. Гуров, Ф.З. Бадаев,
П.В. Слитиков

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

*Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Общая химия»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2011

УДК 541.2(076.5)

ББК 24.1

Г95

Рецензент *Б.Е. Винтайкин*

Гуров А.А.

Г95 Строение вещества : метод. указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая химия» / А.А. Гуров, Ф.З. Бадаев, П.В. Слитиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 32, [4] с. : ил.

В методические указания включены описания трех опытов лабораторной работы «Строение вещества», примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения. В описании каждого опыта содержатся основные теоретические сведения (строение атома, химическая связь и кристаллическое состояние вещества, строение комплексных соединений), последовательность проведения и методика обработки результатов. По каждому опыту имеются девять вариантов исследования, один из которых выполняется каждым студентом (или парой студентов) индивидуально. На основе объединенных результатов делаются обобщенные выводы.

Для студентов машино- и приборостроительных специальностей технических университетов.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 541.2(076.5)

ББК 24.1

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА»

Цель работы – определение некоторых характеристик атомов и молекул; установление связи между этими характеристиками, строением атомов и молекул и физическими и химическими свойствами образуемых простых и сложных веществ.

Общие рекомендации

Каждый студент или пара студентов выполняют свой вариант исследования (табл. 1), который заранее указывается преподавателем.

Таблица 1

Варианты исследования

Но- мер вари- анта	Системы, изучаемые в опытах					
	первом	втором	третьем			
	Водный раствор соли	Образец кристалли- ческого вещества	Комплексы, состоящие из данных			
			ком- плексо- образо- вателя	лигандов		
				I	II	III
1	Лития (Li^+)	SiO_2	Co^{2+}	H_2O	NH_3	NO_2^-
2	Натрия (Na^+)	Al_2O_3	Ni^{2+}	H_2O	NH_3	NO_2^-
3	Калия (K^+)	KI	Cu^{2+}	H_2O	NH_3	Cl^-
4	Рубидия (Rb^+)	NH_4Cl	Cu^{2+}	H_2O	ЭДТА^{2-}	CNS^-
5	Цезия (Cs^+)	Pb	Cr^{3+}	H_2O	NH_3	NO_2^-
6	Кальция (Ca^{2+})	Sn	Fe^{2+}	H_2O	NCS^-	dmg*
7	Стронция (Sr^{2+})	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Fe^{3+}	H_2O	NCS^-	Cl^-
8	Бария (Ba^{2+})	I_2	Co^{2+}	H_2O	NH_3	NCS^-
9	Меди (Cu^{2+})	MgO	Ni^{2+}	H_2O	ЭДТА^{2-}	dmg
* dmg – диметилглиоксим $(\text{CH}_3)_2\text{C}_2(\text{NOH})_2$.						

Результаты всех исследований по каждому опыту объединяют и на их основе делают соответствующие общие выводы.

При подготовке к лабораторной работе необходимо отыскать требующиеся для выполнения опыта справочные данные по исследуемым системам, как то: температура плавления и температура кипения веществ; аллотропные и полиморфные их модификации; виды и типы их кристаллических решеток; значения относительной электроотрицательности элементов по Полингу. Эти данные следует записать в соответствующие графы рубрики «Справочные данные» в табл. 5, а также заполнить графы рубрики «Исходные данные» в табл. 3, 5, 7.

Опыт 1. Определение энергии активации (возбуждения) электронов атомов *s*- и *d*-металлов

Взаимодействие вещества с электромагнитным излучением лежит в основе многих спектроскопических методов анализа. Электромагнитное излучение одновременно проявляет свойства, характеризующие его как электромагнитную волну и как поток частиц – фотонов. Энергия E волны этого излучения (фотона) связана с его частотой ν , показывающей, сколько полных колебаний напряженности электромагнитного поля совершается в 1 с (*уравнение Планка*):

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме; λ – длина волны (расстояние, которое она проходит за один период), м.

Тогда энергия активации (возбуждения) 1 моль фотонов (квантов), т. е. их число Авогадро N_A ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹), равна

$$\begin{aligned} E_a &= N_A h \frac{c}{\lambda} = \\ &= \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{\lambda} = \frac{119,478}{\lambda} \text{ кДж/моль} \end{aligned} \quad (1)$$

(λ – в нанометрах).

Возникновение спектров испускания и спектров поглощения вещества всегда связано с изменением внутренней энергии его атомов или молекул. Частицы (атомы, молекулы, ионы), обладаю-

щие минимальным запасом внутренней энергии, называются *невозбужденными*, а состояние, в котором они находятся, — *основным*. Путем внешнего воздействия частицам вещества можно сообщить дополнительную энергию, поглотив которую они из основного состояния перейдут в *возбужденное* состояние.

Внутренняя энергия атомов и молекул изменяется скачкообразно (*дискретно*). Для атомов каждого элемента или молекул каждого вещества существует свой дискретный ряд возможных энергетических состояний. Поэтому они поглощают и испускают энергию только определенными порциями — квантами. Поглощая или испуская кванты энергии, частица переходит из одного возможного энергетического состояния в другое. Условно энергетические состояния атомов и молекул обозначают в виде горизонтальных линий (рис. 1). Самый нижний уровень — с энергией E_0 — соответствует основному состоянию частицы. Над ним располагаются уровни E_1 , E_2 и т. д., каждый из которых отвечает определенному возбужденному состоянию. При этом более высокому энергетическому уровню соответствует и более высокий запас внутренней энергии атома или молекулы.

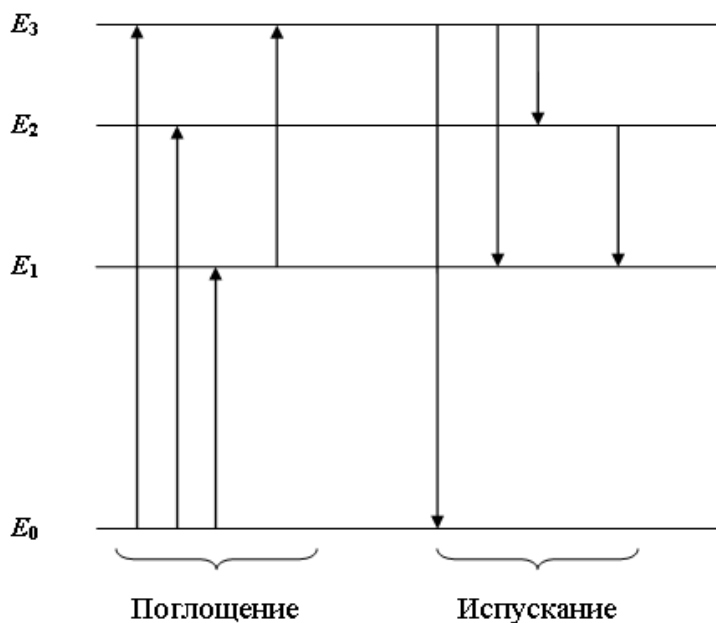


Рис. 1. Схематическое изображение энергетических уровней атома с указанием возможных переходов

Энергия, которую надо сообщить частице, чтобы перевести ее из основного состояния на более высокий энергетический уровень,

называется *энергией возбуждения*. Измеряют энергию возбуждения в джоулях на моль (Дж/моль) или в электронвольтах (эВ).

Возможные переходы при поглощении энергии частицами вещества обозначают стрелками, направленными вверх, а при ее испускании – стрелками, направленными вниз (см. рис. 1). При поглощении или испускании энергии в виде квантов электромагнитного излучения получаются соответственно *спектры поглощения* и *спектры испускания* вещества. При этом поглощаются и испускаются только те кванты, энергия которых равна разности энергий двух энергетических уровней. Оба вида спектров для одного и того же вещества идентичны и представляют собой распределение по частотам интенсивности соответственно поглощаемого или испускаемого излучения. На практике часто пользуются спектрами испускания вещества, называемыми *эмиссионными спектрами*. Последние являются совокупностью всех частот (длин волн), которые молекулы (атомы) данного вещества могут испускать, переходя с более высоких энергетических уровней на более низкие. Атомные эмиссионные спектры возникают при испускании электромагнитного излучения свободными атомами. Эти спектры являются *линейчатыми*, т. е. состоят из отдельных линий, соответствующих квантовому переходу между энергетическими уровнями E_m и E_n атома. Эмиссионные спектры атомов получают при их возбуждении в пламени, в электрическом разряде, при воздействии мощного лазерного излучения.

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

Электроны внешних и незавершенных внутренних уровней атома в спектроскопии называют *оптическими электронами*. Именно они и определяют энергетическое состояние атома. Эти же электроны в химии принято именовать *валентными*, так как они принимают участие в образовании химических связей, т. е. определяют валентность атома элемента. При комнатной температуре практически все атомы в образце вещества находятся в основном состоянии, которое, например, для атома натрия Na (зарядовое число, или атомный номер, $Z = 11$), характеризуется следующим распределением электронов по подуровням: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$.

Видно, что оптическим является электрон $3s$ -подуровня, который имеет значения квантовых чисел $n = 3$, $l = 0$ (рис. 2). При переходе этого электрона на подуровни $3p$, $4s$, $3d$, $4p$ и т. д. атом натрия оказывается в возбужденном состоянии, которому могут соответствовать энергетические уровни $E_1, E_2, \dots, E_\infty$. С возрастанием главного квантового числа n оптический электрон удаляется от ядра и остальных электронов. Вследствие этого уменьшаются силы его взаимодействия с ядром и с электронами. Поэтому, чем больше значение n , тем ближе соседние подуровни (см. рис. 2). Самый верхний уровень – уровень ионизации. Ему соответствует энергия ионизации атома натрия, равная 495,8 кДж/моль, при сообщении которой атому натрия от него отрывается оптический электрон и образуется положительный ион Na^+ ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^0$). Время жизни атома в возбужденном состоянии мало (около 10^{-8} с). Когда атом возвращается в основное состояние, испускается фотон характеристического излучения.

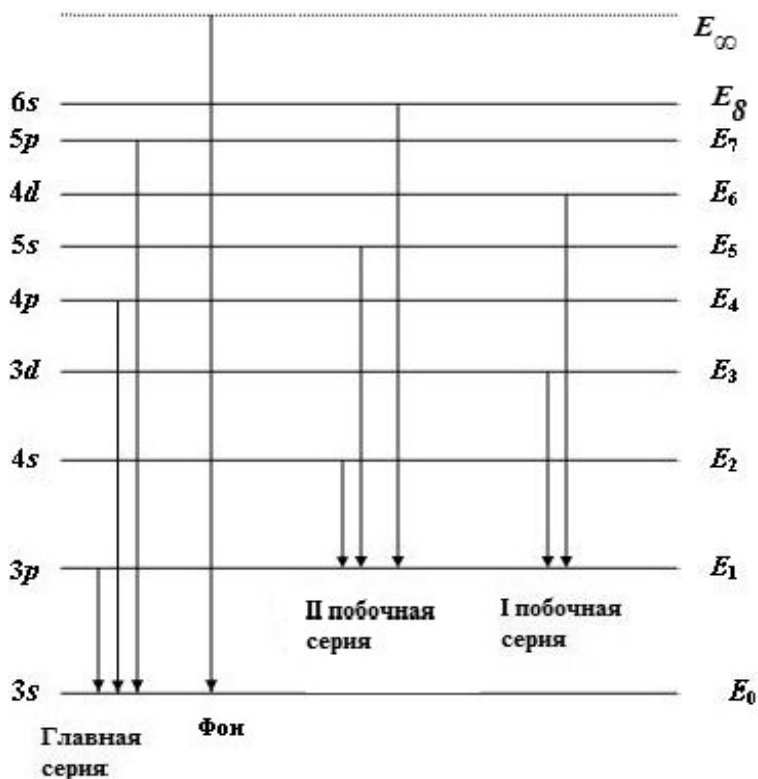


Рис. 2. Схематическое изображение энергетических уровней атома натрия с указанием разрешенных переходов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа «Строение вещества»	3
Общие рекомендации.....	3
Опыт 1. Определение энергии активации (возбуждения) электронов атомов <i>s</i> - и <i>d</i> -металлов	4
Опыт 2. Влияние вида химической связи в веществах и типа кристаллической решетки веществ на их физи- ческие и химические свойства	10
Опыт 3. Определение силы поля лигандов и построение их спектрохимического ряда для заданного иона- комплексобразователя.....	19
Примеры решения задач	26
Задачи для самостоятельного решения.....	28
Литература.....	32