

Приложение VIII

ПЕРИОДИЧНА СИСТЕМА

От гл. 15 формулираме общите правила за елементите:

1. Структурата на атомите се определя от атомния номер Z , т.е. от заряда на ядрото. Изотопите на даден елемент имат еднаква електронна структура.
2. С нарастване на атомния номер и увеличаване броя на електроните в атома електроните постепенно запълват състоянията с възможно най-малка енергия.
3. При запълване на енергетичните нива броят на електроните е ограничен от принципа на Паули.
4. Енергията на k -тия електрон, намиращ се в полето на ядрото и в полето на останалите електрони, т.е. в сферичносиметрично поле, се определя от главното квантово число n_k и от орбиталното квантово число l_k . Електроните с еднакви n и l имат еднаква енергия.
5. Електроните в атома образуват слоева структура – те се групират в слоеве и подслоеви.

Повечето от свойствата на химичните елементи са периодични функции на атомния номер Z . За пръв път Менделеев през 1869 г. доказва, че тази периодичност може да бъде ясно и убедително показана чрез Периодичната система на елементите (фиг. VIII.1).

Елементите с подобни химични и физични свойства са в една и съща *колона*. Елементите, в които се запълва външният слой, принадлежат към един и същи *период*. Например всички елементи от първа колона образуват групата на алкалните и имат валентност едно; елементите от последната колона са благородни газове и имат нулева валентност.

Периодичната система, представена на фиг. VIII-1, е разделена вертикално на блокове, в които всеки ред е отбелязан със спецификацията на подслоя, който се запълва от елементите на този ред (според схема (15.33)). Знаейки това, можем да получим конфигурацията на произволен атом. Но както беше отбелязано, има някои атоми, чиито последни електрони нарушават реда, предсказан от схемата. Конфигурацията им е показана на фиг. VIII-1 чрез надпис под химичния знак (за улеснение на табл. VIII-1 са показани названията на елементите).

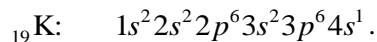
Таблица VIII-1. Елементи на Периодичната система.

Елементи на Периодичната система

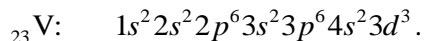
Z — пореден номер на елемента; A — относителна атомна маса на елемента

Z	Елемент	Знак	A	Z	Елемент	Знак	A
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Водород	H	1,01	51	Антимон	Sb	122
2	Хелий	He	4,00	52	Телур	Te	128
3	Литий	Li	6,94	53	Йод	J	127
4	Берилий	Be	9,01	54	Ксенон	Xe	131
5	Бор	B	10,8	55	Цезий	Cs	133
6	Въглерод	C	12,0	56	Барий	Ba	137
7	Азот	N	14,0	57	Лантан	La	139
8	Кислород	O	16,0	58	Церий	Ce	140
9	Флуор	F	19,0	59	Празеодим	Pr	141
10	Неон	Ne	20,2	60	Неодим	Nd	144
11	Натрий	Na	23,0	61	Прометий	Pm	145
12	Магнезий	Mg	24,4	62	Самарий	Sm	150
13	Алуминий	Al	27,0	63	Европий	Eu	152
14	Силиций	Si	28,1	64	Гадолиний	Gd	157
15	Фосфор	P	31,0	65	Тербий	Tb	159
16	Сяра	S	32,1	66	Диспрозий	Dy	163
17	Хлор	Cl	35,5	67	Холмий	Ho	165
18	Аргон	Ar	40,0	68	Ербий	Er	167
19	Калий	K	39,1	69	Тулий	Tu	169
20	Калций	Ca	40,1	70	Итербий	Yb	173
21	Скандий	Sc	45,0	71	Лутций	Lu	175
22	Титан	Ti	47,9	72	Хафний	Hf	178
23	Ванадий	V	51,0	73	Тантал	Ta	181
24	Хром	Cr	52,0	74	Волфрам	W	184
25	Манган	Mn	54,9	75	Рений	Re	186
26	Желязо	Fe	55,9	76	Осмий	Os	190
27	Кобалт	Co	58,9	77	Иридий	Ir	192
28	Никел	Ni	58,7	78	Платина	Pt	195
29	Мед	Cu	63,5	79	Злато	Au	197
30	Цинк	Zn	65,4	80	Живак	Hg	201
31	Галий	Ga	69,7	81	Талий	Tl	204
32	Германий	Ge	72,6	82	Олово	Pb	207
33	Арсен	As	74,9	83	Бисмут	Bi	209
34	Селен	Se	79,0	84	Полоний	Po	210
35	Бром	Br	79,9	85	Астатин	At	210
36	Криптон	Kr	83,8	86	Радон	Rn	222
37	Рубидий	Rb	85,5	87	Франций	Fr	223
38	Стронций	Sr	87,6	88	Радий	Ra	226
39	Итрий	Y	88,9	89	Актиний	Ac	227
40	Цирконий	Zr	91,2	90	Торий	Th	232
41	Ниобий	Nb	92,9	91	Протактиний	Pa	231
42	Молибден	Mo	96,0	92	Уран	U	238
43	Технеций	Tc	99	93	Нептуний	Np	(237)
44	Рутений	Ru	101	94	Плутоний	Pu	(244)
45	Родий	Rh	103	95	Америций	Am	(243)
46	Паладий	Pd	106	96	Кюрий	Cm	(247)
47	Сребро	Ag	108	97	Берклий	Bk	(249)
48	Кадмий	Cd	112	98	Калифорний	Kf	(249)
49	Индий	In	115	99	Айнщайн	Es	(254)
50	Калай	Sn	119	100	Фермий	Fm	(262)
				101	Менделеев	Md	(259)
				102	Нобелий	No	(254)
				103	Лауренсий	Zw	(257)

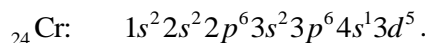
Под знака на К няма надпис и не очакваме изключение. Конфигурацията се получава по схемата (15.33). За 19-електронния атом тя е



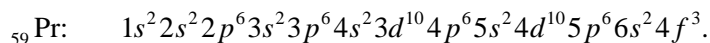
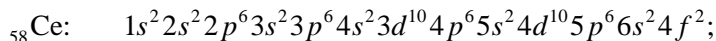
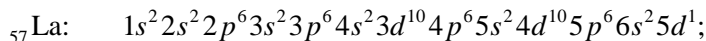
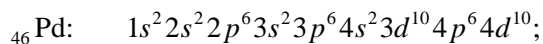
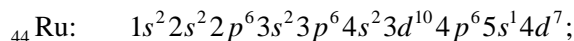
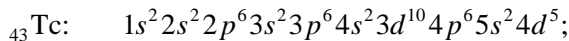
Първите 18 електрона изцяло запълват подслоеве с най-ниска енергия, а последният електрон отчасти запълва $4s$ -подслоя. Добавянето на още 4 електрона във ванадий ${}_{23}\text{V}$ завършва запълването на $4s$ -подслоя и поставя три електрона в $3d$ -подслоя, който е следващият по енергия. Конфигурацията е



Надписът $4s^1 3d^5$ под знака на ${}_{24}\text{Cr}$ на фиг. VIII-1 означава, че конфигурацията на този атом не завършва на очакваното $4s^2 3d^4$, а е следната:



Аналогично установяваме конфигурацията на другите атоми от разглеждания пример:



От този пример виждаме, че при някои елементи се нарушава редът от схема (15.33). Според схемата енергията на $3d$ -подслоя е по-висока от $4s$ -подслоя, докато тези слоеве се запълват. Но при ${}_{24}\text{Cr}$, а така също и при ${}_{29}\text{Cu}$ един от електроните, който трябва да бъде в $4s$ -подслоя, действително е в $3d$ -подслоя. Подобна ситуация се наблюдава за $5s$ - и $4d$ -подслоеве. В ${}_{43}\text{Tc}$ слой $5s$ се запълва по нормален начин. Но в ${}_{45}\text{Rh}$ в $5s$ -подслоя има само един електрон; в ${}_{46}\text{Pd}$ двата електрона са напуснали $5s$ -подслоя и са преминали в $4d$ -подслоя. Конфигурацията на ${}_{78}\text{Pt}$ и на ${}_{79}\text{Au}$ показва, че същото се наблюдава за $6s$ - и $5d$ -подслоеве. Нарушенията на схемата се наблюдават, когато съответните две нива са много близки. Това се вижда от фиг. VIII-1.

От друга страна, някои положения на схема (15.33) винаги се изпълняват. За първите две и за последните шест колони не се наблюдава нито едно нарушение на схемата за електронната конфигурация. Очевидно енергията на всеки p -подслой е винаги по-висока от енергията на предшестващите го s - и d -подслоеве и енергията на s -подслоя е винаги по-висока от тази на предшестващия го p -подслой. Между енергетичните нива на s -подслоя и предшестващия го p -подслой има голямо разстояние. От фиг. VII-1 се вижда, че това разстояние е голямо. Това е така, защото за дадено n енергията на подслоеве се увеличава с нарастването на

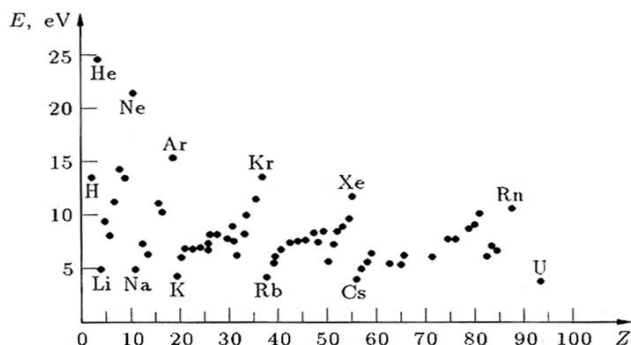
числото l и s -подслоят е винаги първият подслой, с чието запълване трябва да започне новият слой. Като следствие, когато един електрон се добавя към конфигурация със запълнен p -подслой, той е първият електрон от новия слой. В сравнение с електроните от предшестващия го p -подслой неговият среден радиус ще бъде значително по-голям (вж. (14.64) от Иванов, С. Т., Основи на теоричната и квантовата механика, УИ „Св. Климент Охридски“, 2001, София, глава XIX, за средния радиус на електрона на N при различни l), а енергията му – значително по-висока, много по-висока от обикновеното увеличаване при преминаване от един подслой към друг в рамките на един слой.

Голямото разстояние между енергетичните нива на всеки s -подслой и предшестващия го p -подслой има важни последици. Да разгледаме атомите на елементите $_{10}\text{Ne}$, $_{18}\text{Ar}$, $_{36}\text{Kr}$, $_{54}\text{Xe}$ и $_{86}\text{Rn}$, в които p -подслоят е завършен с добавянето на последния електрон. Поради голямата разлика в енергиите на този електрон в p -състоянието и в следващото възбудено s -състояние първото възбудено състояние на този атом е много далеч от основното. В резултат на това практически е много трудно да се възбудят такива атоми. Поради запълнения подслой те имат сферичносиметрично разпределение на заряда и затова нямат външно за атома електрично поле. Техните сумарни стойности на електричния заряд и на диполния електричен момент са равни на нула (поне що се отнася до осреднените им стойности по времето). Както е показано в Прил. VII, сумарните орбитални и спинови моменти на такива атоми са също равни на нула. А това означава, че и пълният им магнитен диполен момент е нула. Поради отсъствието на външни полета е много трудно за тези атоми да образуват химични съединения. Те също така имат много ниски точки на кипене и замръзване, защото почти липсва необходимото взаимодействие за кондензация в течности или твърди тела. Това са елементите на благородните газове.

Атомът на ^2He е също благороден газ, защото най-близкият незапълнен подслой е s и в основното си състояние има изцяло запълнен външен подслой. И макар че не съдържа запълнен p -подслой, неговото първо възбудено състояние е необикновено високо. Затова ^2He е поставен в последната колона на периодичната система (фиг. VIII-1), а не във втората. Един такъв елемент като $_{20}\text{Ca}$ не е благороден газ, макар че има изцяло запълнен външен подслой, защото в първото му възбудено състояние един електрон преминава в $3d$ -подслоя, който енергетично е близко до основното състояние.

Друга особеност на инертността на благородните газове се вижда от графиката на енергията на йонизация на различните атоми. Тя е равна на пълната енергия на един електрон в най-високия енергетичен запълнен подслой. Енергията на йонизация в зависимост от атомния номер Z е показана на фиг. VIII-2. Тук аналогично на периодичността на другите свойства се вижда периодичното ѝ изменение и нейната висока стойност за благородните газове. От тази фигура се вижда и ниската енергия на алкалните метали $_{11}\text{Na}$, $_{19}\text{K}$, $_{37}\text{Rb}$, $_{55}\text{Cs}$ и $_{87}\text{Fr}$. Те

съдържат един много слабо свързан електрон в s -подслоя. Химически те са силно активни, защото енергетично е много благоприятно този електрон да бъде отдалечен и по такъв начин да се образува изцяло запълнен външен подслой. На другата крайност са халогенните елементи: флуор ${}^9\text{F}$, хлор ${}^{17}\text{Cl}$, бром ${}^{35}\text{Br}$, йод ${}^{53}\text{I}$ и аstat ${}^{84}\text{At}$, на които не достига един електрон, за да имат запълнен външен подслой. Тези елементи имат много голям електронен афинитет; те се стремят силно да получат един електрон. Тяхната валентност е минус първа. През 1962 г. е открито, че при някои доста специални условия халогенът ${}^9\text{F}$ може да образува стабилни молекули с благородни газове! Дотогава се вярваше, че благородните газове са абсолютно инертни.



Фиг. VIII-2. Енергия на йонизация на някои елементи (експериментални данни).

За първите три периода от таблицата на Менделеев свойствата на елементите подобно на тяхната валентност и йонизационна енергия се изменят еднородно от алкален елемент до благороден газ. В останалите 4 периода ситуацията е значително различна. Елементите от ${}_{21}\text{Sc}$ до ${}_{28}\text{Ni}$, които се наричат първа преходна група, имат подобни химични свойства и почти една и съща йонизационна енергия. Тези елементи се образуват при запълване на $3d$ -подслоя, който поради ротационната енергия на електроните има доста по-малък радиус от s -подслоя (вж. (14.64) в Иванов, С. Т., Основи на теоретичната и квантовата механика, УИ "СУ Св. Климент Охридски", 2001, София, глава 15). Запълненият $4s$ -подслой (с изключение на Cr) екранира $3d$ -електроните от външно въздействие, така че химичните свойства на тези елементи са подобни независимо колко $3d$ -електрона имат. Химичните им свойства се определят от електроните им във външните подслоеве, затова те са отговорни за създаването на електрично и магнитно поле, с които взаимодействат другите атоми. Такива преходни групи се образуват при запълването на вътрешните подслоеве $4d$ и $5f$.

Подобна е ситуацията с рядкоземните елементи от ${}_{58}\text{Ce}$ до ${}_{71}\text{Lu}$. В тези елементи се запълва $4f$ -подслоят. Този подслой лежи дълбоко под $6s$ -подслоя и $4f$ -електроните са екранирани от външно въздействие. Затова лананидите имат почти идентични химични свойства. Същото се наблюдава и при актинидите от торий ${}_{90}\text{Th}$ до лоуренсий ${}_{103}\text{Lr}$. В тази преходна група се запълва вътрешният $5f$ -подслой. От актинидите само

торий ${}_{90}\text{Th}$, протактиний ${}_{91}\text{Pa}$ и уран ${}_{92}\text{U}$ съществуват устойчиво. Останалите са получени изкуствено – те се наричат трансуранови елементи.

В последно време са проведени редица изследвания за синтезиране и получаване на свръхтежки елементи. Изследванията са направени в ОИЯИ-Дубна в Русия и в Националната лаборатория (Lawrence Livermore National Laboratory) на Калифорнийския университет в САЩ. След елемент 104 елементите като правило са силно неустойчиви. Постигането на устойчиво състояние е заслуга на изследователите и е довело до запълване на Периодичната система на Менделеев с нови елементи 104 ÷ 116, 118.

Използването на статични и динамични свойства на процеса на спонтанно делене доведе до съществено нарастване на стабилността на елемента Hs хасий ($Z=108$) [Yu. A. Lazarov et al, “Discovery of enhanced nuclear stability near the deformed shells $N=162$ and $Z=108$ ”, Phys. Rev. Lett., vol. 73, n. 5, pp. 624-627 (1994)]. Предотвратяването на разпада на основното ниво от изследователите обезпечи синтеза на Hs Хасий $Z=108$ дори при деформирана електронна обвивка, когато се откриват нови възможности за по-нататъшна работа на границата на ядрените домени на свръхтежки елементи при бомбардиране с интензивни снопове циклотронно лъчение.

Следващ етап в изследванията е използването на мишени ${}^{233}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{242}\text{Pu}$ за синтезиране на ядра на $Z=112$, $Z=114$ и $Z=116$, съответно на елементите унубий Uub, унуквадий Uuq и унунхерсий Uuh.

За изотопите на съседните нечетни тежки елементи вероятността за α -разпадането при спонтанно делене се увеличава. Синтезирани са изотопи на елементите унунтрий Uut ($Z=113$) и унунпетий Uup ($Z=115$).

Поради пресметнатата по-ниска бариера на делене очакваната стойност на сечението на взаимодействие за ядрото на унуноктий Uuo ($Z=118$) е по-ниска от тази на изотопите на елемента унуквадий Uuq ($Z=114$), което е в съответствие с моделите на протонната обвивка за $Z>120$. Обаче бариерата на делене за $Z=118$ прави изключение. Резултатите по синтез на Uuo са представени в работата [Yu. Ts. Oganessian et al, “Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the ${}^{249}\text{Cf}$ and ${}^{245}\text{Cm} + {}^{48}\text{Ca}$ fusion reactions”, Phys. Rev., vol. C74, pp. 044602.1-9 (2006)] (двете работи по откритието за синтезиране на ядра на $Z=112$, $Z=114$ и $Z=116$, т.е. на унубий Uub, унуквадий Uuq и Унунхерсий Uuh, са цитирани в последната статия под номера [1] и [3]). За новите тежки елементи подробно изложение е направено в раздел 6 на книгата Д. Динев „Хоризонти на физиката“, Херон прес, 2010, София.

Накрая да подчертаем важната роля на принципа на Паули. Ако той не съществуваше, всички електрони в атомите биха били в състоянието с най-ниска енергия $1s$. Всички атоми биха имали симетрично разпределение на заряда и малки радиуси. Електроните им не биха създавали външни полета и щяха да имат много високо първо възбудено състояние. Атомите биха приличали на благородните газове и не би имало молекули. Цялата Вселена би била изцяло различна, ако разпределението на електроните не се подчиняваше на принципа на Паули!