

Сл. уз зад. 69

- 70.\* Колику снагу треба доводити металној куглици полупречника 2 cm, да би њена температура стално била за  $27^{\circ}\text{C}$  виша од температуре околине? Температура околине је  $20^{\circ}\text{C}$ . Сматрати да куглица зрачи као апсолутно црно тело и да губи енергију само зрачењем.

## 2.2. Фотоефекат

71. Кинетичка енергија фотоелектрона емитованог са површине цезијума је  $2\text{eV}$ . Наћи таласну дужину светлости која је изазвала фотоефекат ако је излазни рад за цезијум  $1,8\text{eV}$ .
72. Колики је излазни рад електрона из метала ако је црвена граница фотоефекта: а)  $500\text{ nm}$ ; б)  $6 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$ ?
73. Излазни рад за платину је  $6,3\text{eV}$ . Колика је максимална таласна дужина светлости која може довести до фотоефекта на платини?
74. а) Ако се површина цезијума изложи светлости таласне дужине  $400\text{ nm}$ , максимална брзина фотоелектрона је  $6,5 \cdot 10^5\text{ m/s}$ . Колика је црвена граница фотоефекта за цезијум?  
б) Излазни рад за кадмијум је  $4,08\text{eV}$ . Колика треба да је таласна дужина светлости којом се обасјава површина кадмијума, да би максимална брзина фотоелектрона била  $7,2 \cdot 10^5\text{ m/s}$ ?
75. а) Површина калијума изложена је деловању светлости таласне дужине  $345\text{ nm}$ . Излазни рад за калијум је  $2,26\text{eV}$ . Наћи максималну кинетичку енергију фотоелектрона.

б) Ако се површина неког метала обасја светлошћу фреквенције  $9,46 \cdot 10^{14}$  Hz, максимална кинетичка енергија фотоелектрона је  $2,84 \cdot 10^{-19}$  J. Наћи излазни рад и црвену границу фотоефекта за тај метал.

76.\* а) Ако се катода вакуумске цеви обасја светлошћу таласне дужине 310 nm, заочни напон је 1,7 V. Колики је излазни рад метала од ког је направљена катода?

б) Наћи фреквенцију светлости којом је обасјана катода вакуумске цеви ако је заочни напон 3 V. Минимална фреквенција светлости која може довести до фотоефекта у тој цеви је  $6 \cdot 10^{14}$  Hz.

77.\* При некој вредности заочног напона престаје да тече струја у вакуумској цеви чија је катода обасјана светлошћу таласне дужине  $\nu$ . Ако се фреквенција светлости промени 1,5 пута, заочни напон треба повећати два пута. Колика је фреквенција  $\nu$  ако је излазни рад за катоду 2,3 eV?

78.\* Површина неког метала обасја се најпре светлошћу таласне дужине 350 nm, а потом светлошћу таласне дужине 540 nm. Одредити излазни рад за тај метал ако се максималне брзине фотоелектрона у та два случају односе као 2 : 1.

79.\* Мерења на вакуумској фотодиоди показују: ако се катода озрачи светлошћу фреквенције  $2,2 \cdot 10^{15}$  Hz, заочни напон је 6,6 V; при озрачивању светлошћу фреквенције  $4,6 \cdot 10^{15}$  Hz, заочни напон је 16,5 V. Одредити Планкови константу на основу тих података.

80.\* а) Цинкана плочица изложи се деловању електромагнетног зрачења чији фотони имају енергије 1,53 MeV. Наћи максималну брзину фотоелектрона. Излазни рад за цинк је 4 eV.

б) Максимална брзина фотоелектрона, емитованих из метала озраченог  $\gamma$ -зрачењем, износи  $2,5 \cdot 10^8$  m/s. Колика је енергија фотона?



## КВАНТНО - МЕХАНИЧКИ МОДЕЛ АТОМА

Теорија која објашњава микросвијет је **КВАНТНА МЕХАНИКА**.

Основна једначина квантне механике је **ШРЕДИНГЕРОВА ЈЕДНАЧИНА**. Рјешенја те једначине су функције које се зову **функције стања** или **таласне функције**.

### Шредингерова једначина

У Шредингеровој једначини фигуришу маса честице, потенцијална енергија, укупна енергија (збир кинетичке и потенцијалне) - то су подаци које треба знати да би се могло кристички рјешавању једначине.

Шредингерова једначина има најједноставнији облик у случају стационарне стања микрообјекта који се креће дуж једне праве. Ако је положај микрообјекта одређен његовом удаљеношћу  $r$ , једначина је:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dr^2} \Psi(r) + U(r)\Psi(r) = E \cdot \Psi(r)$$

$m$  - маса микрообјекта

$U(r)$  - потенцијална енергија микрообјекта

$E$  - укупна енергија микрообјекта

$\Psi(r)$  - таласна функција

Рјешавањем Шредингерове једначине добијају се таласне функције ( $\Psi(\vec{r}, t)$ ).

Рјешавањем Шредингерове једначине добијају се функције које описују различита стања у којима се даљи микрообјекти могу налазити.

Решавањем Шредингерове једначине добијају се:

- енергије стања у којима се микрообјекат може налазити и
- функције стања помоћу којих се могу израчунавати вероватноће налажења микрообјекта у даним енергетским стањима.

## Квантна теорија атома

Савремена теорија атома је квантна теорија. У њој се могућа стања атома добијају решавањем Шредингерове једначине.

### Водородни атом

Решавањем Шредингерове једначине, добијају се функције стања електрона у водородном атому и вредности неких величина у даним стањима.

Показано је да је свако стаационарно стање дефинисано са три квантна броја који се зову ГЛАВНИ КВАНТНИ БРОЈ -  $n$ ; СПОРЕДНИ или ОРБИТАЛНИ -  $l$  и МАГНЕТНИ -  $m_l$ .

Квантни бројеви могу имати само одређене вредности и међусобно су повезани на следећи начин:

- главни квантни број може имати вредности:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

- орбитални квантни број може имати вредности:

$$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

- магнетни квантни број може имати вредности:

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l.$$

### Квантовање енергије

Решавањем Шредингерове једначине добијају се својствене енергије електрона у стаационарним стањима:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} 13,6 \text{ eV}, \quad n = 1, 2, \dots$$

(у квантној механици, формуле за енергију су исте као у Боровој теорији)



## Тросторно квантовање

У процесу решавања Шредингерове једначине долази се до закључка да момент импулса кретања електрона око језгра може имати дискретан низ вредности:

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}, \quad l = 0, 1, \dots, n-1$$

Ситња са различитим вредностима орбиталног квантног броја означавају се малим словима латинице:

ОРБИТАЛНИ КВАНТНИ БРОЈ	0	1	2	3	4	5	...
СТАЊЕ	s	p	d	f	g	h	...

Ознака ситња електрона садржи информацију о вредностима главног и орбиталног квантног броја: нпр. ознаком 2p се обележава ситње у којем је  $n=2$  и  $l=1$ .

Према квантној механици ни правац вектора  $\vec{L}$  не може бити произвољан. Пројекција момента импулса на неки издвојени правац одређена је формулом:

$$L_z = m_l \hbar, \quad m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l.$$

## Спин електрона

Према Шредингеровој теорији ситње електрона у атому дефинисано је са три квантна броја ( $n, l, m_l$ ). На основу експеримента утврђено је да електрон има још један момент импулса који је назван **СПИН** (тај момент импулса одговара неком крућрашњем кретању  $e^-$ ).

Спин је сопствени или крућрашњи момент импулса електрона.

Ознака за интензитет спина је  $S$ , за спински квантни број  $s$ , а за магнетни спински квантни број је  $m_s$ :

$$S = \hbar \sqrt{s(s+1)}$$

$$S_z = m_s \hbar$$

СПИНСКИ КВАНТНИ БРОЈ ЕЛЕКТРОНА ЈЕ  $s = \frac{1}{2}$ ,

А МАГНЕТНИ СПИНСКИ БРОЈ МОЖЕ ИМАТИ  
ВРЕДНОСТИ  $m_s = \pm \frac{1}{2}$ .  $\Rightarrow S = \hbar \frac{\sqrt{3}}{2}$

$$S_z = \frac{1}{2} \hbar \text{ или } S_z = -\frac{1}{2} \hbar$$

## Вишеелектронски атоми. Периодни систем елемената.

### Паулијев принцип

Према квантној физици, стање електрона у сваком атому одређују мерики квантна броја:

- главни  $n = 1, 2, 3, \dots$
- орбитални  $l = 0, 1, \dots, n-1$  ( $L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$ )
- магнетни  $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$  ( $L_z = m_l \cdot \hbar$ )
- магнетни спински  $m_s = \pm \frac{1}{2}$  ( $S_z = \pm \frac{1}{2} \hbar$ ).

Електрони у атому се налазе у различитим стањима. Један од принципа квантне механике је Паулијев принцип забране:

У једном атому може бити највише један електрон у стању дефинисаном одређеном мешаворком квантних бројева  $(n, l, m_l, m_s)$ .

Према томе, стања било која два електрона у атому разликују се по вриједностима макар једној квантној броја.

Стања са истом вриједношћу главнoг квантног броја називају се љуском и означавају се са  $K, L, M, \dots$

Стања са истом вриједношћу орбиталног квантног броја називају се орбитала или подљуска и означавају се са  $s, p, d, f, \dots$

\* За исту вриједност броја  $l$  постоје је  $2l+1$  различитих вриједности броја  $m_l$  и двије различите вриједности броја  $m_s$ . Максималан број електрона на једној подљусци је:  $2(2l+1)$

\* Максималан број електрона на једној љусци је:

$$Z = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2$$



У наредној табели приказан је максималан број електрона по љускама и подљускама:

ГЛАВНИ КВАНТНИ БРОЈ	ЉУСКА	МАКСИМАЛАН БРОЈ $e^-$ НА ПОДЉУСЦИ					МАКСИМАЛАН БРОЈ $e^-$ НА ЉУСЦИ
		s ( $l=0$ )	p ( $l=1$ )	d ( $l=2$ )	f ( $l=3$ )	g ( $l=4$ )	
1	K	2					2
2	L	2	6				8
3	M	2	6	10			18
4	N	2	6	10	14		32
5	O	2	6	10	14	18	50

Електрони се у атому распоредјују тако да енергија буде минимална, односно попуњавају најниже љуске. У оквиру једне љуске најнижу енергију имају s-стања, потом p-стања итд.

### Периодни систем елемената

Периодни систем елемената квантна физика објашњава мјзв. електронском конфигурацијом атома, односно распоредом електрона по љускама и подљускама.

Редни број атома у периодном систему једнак је броју електрона у том атому. Електрони попуњавају подљуске и љуске пошитоујући принцип минимума енергије и Паулијев принцип.

- На K љуску могу да стају само два електрона.

(прва два елемента у периодном систему, водоник и хелијум, имају све своје електроне на најнижој љусци; водоник има  $1e^-$ , хелијум  $2e^-$ )

- Код елемената од редног броја 3 (литијум) до редног броја 10 (неон) електрони попуњавају, осим K-љуске, и L-љуску.

(нпр: литијум има  $3e^-$ ,  $2e^-$  попуњавају K-љуску,  $1e^-$  попуњава L-љуску, s-орбиталу;

нпр. код бора (редни број 5)  $2e^-$  попуњавају K-љуску,

два  $e^-$  су на L-љусци и s-орбитали,  $1e^-$  је на L-љусци, p-орбитали)

- Почевши од наитријума (редни број 11) електрони попуњавају и M-љуску: 2 електрона су на K-љусци, 8 електрона је на L-љусци и једанаести електрон је на s-орбитали M-љуске

Атоми који имају попуњене модљуске и једнак број електрона у највишој деличкино попуњеној модљусци имају сличне хемиске особине - такви елементи су у истим групама периодног система

Електрони на максимално попуњеној модљусци имају стабилну конфигурацију и не учествују у интеракцији са другим електронима.

Електрон на највишој непопуњеној орбитали у атому зове се валентни електрон (само валентни електрони учествују у стварању хемиских веза између атома).

ПРИМЈЕРИ:

1. Израчунајте момент импулса орбиталног кретања електрона у атому ако се електрон налази у а) s-стању; б) p-стању

а) s-стање  $\Rightarrow l=0$ ;  $L = \hbar \sqrt{l(l+1)} = 0$

2. Електрон се налази у стању d. Наћи  $L, L_z$ ?

3. Написајте стања свих електрона  $4Be$  ако је атом нејодућен.

$4Be$ : 2 електрона су на K-љусци

2 електрона су на L-љусци ( $l=1$ )

$l=0$  - на овој вредности -  
мања је енергија

$$\Rightarrow (1, 0, 0, \frac{1}{2}), (1, 0, 0, -\frac{1}{2}), (2, 0, 0, \frac{1}{2}), (2, 0, 0, -\frac{1}{2})$$

4. На којој љусци се може наћи највише 32 електрона?

$$Z = 32$$

$$\Rightarrow n^2 = 16$$

$$Z = 2n^2$$

$$n=4 \Rightarrow \text{љуска K}$$

prof. Jelena Milanovic