

פיזיקה 3

פרק 6 - המודל הקוונטי לאטום המימן ספין והטבלה המחזורית

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגולים.....1

פתרון עבור אטום המימן ותנע זוויתי קוונטי:

סיכום כללי:

משוואת שרדינגר לפוטנציאל התלוי רק ב- r :

משוואה ל- $\theta(\theta)$:

$$\frac{1}{\theta(\theta)} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \theta(\theta)}{\partial \theta} \right) + l(l+1) \sin^2 \theta = m^2$$

משוואה ל- $\phi(\phi)$:

$$\frac{\partial^2 \phi(\phi)}{\partial \phi^2} = -m^2 \phi(\phi)$$

פתרון לחלק הזוויתי:

$$Y_l^m(\theta, \phi) = \theta(\theta) \phi(\phi) = \varepsilon \sqrt{\frac{(2l+1)(l-|m|)!}{4\pi(l+|m|)!}} P_l^m(\cos \theta) e^{im\phi}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} (-1)^m & m > 0 \\ 1 & m \geq 0 \end{cases}$$

$l \geq 0$ ו- $|m| \leq l$ שלם.

$$P_l^m(x) \equiv (1-x^2)^{|m|/2} \left(\frac{d}{dx} \right)^{|m|} P_l(x)$$

$$P_l(x) \equiv \frac{1}{2^l l!} \left(\frac{d}{dx} \right)^l (x^2 - 1)^l$$

$$Y_0^0 = \left(\frac{1}{4\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Y_2^{\pm 2} = \left(\frac{15}{32\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\phi}$$

$$Y_1^0 = \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cos \theta$$

$$Y_3^0 = \left(\frac{7}{16\pi} \right)^{\frac{1}{2}} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta)$$

$$Y_1^{\pm 1} = \mp \left(\frac{3}{8\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \sin \theta e^{\pm i\phi}$$

$$Y_3^{\pm 1}$$

$$= \mp \left(\frac{21}{64\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \sin \theta (5 \cos^2 \theta - 1) e^{\pm i\phi}$$

$$Y_2^0 = \left(\frac{5}{16\pi} \right)^{\frac{1}{2}} (3 \cos^2 \theta - 1)$$

$$Y_3^{\pm 2} = \left(\frac{105}{32\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \sin^2 \theta \cos \theta e^{\pm 2i\phi}$$

$$Y_2^{\pm 1} = \mp \left(\frac{15}{8\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \sin \theta \cos \theta e^{\pm i\phi} \quad Y_3^{\pm 3} = \mp \left(\frac{35}{64\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \sin^3 \theta e^{\pm 3i\phi}$$

$$\begin{aligned} P_1^1 &= \sin \theta & P_3^3 &= 15 \sin \theta (1 - \cos^2 \theta) \\ P_1^0 &= \cos \theta & P_3^2 &= 15 \sin^2 \theta \cos \theta \\ P_2^2 &= 3 \sin^2 \theta & P_3^1 &= \frac{3}{2} \sin \theta (5 \cos^2 \theta - 1) \\ P_2^1 &= 3 \sin \theta \cos \theta & P_3^0 &= \frac{1}{2} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \\ P_2^0 &= \frac{1}{2} (3 \cos^2 \theta - 1) \end{aligned}$$

אורתוגונליות :

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi [Y_l^m(\theta, \varphi)]^* [Y_l^{m'}(\theta, \varphi)] \sin \theta d\theta d\varphi = \delta_{ll'} \delta_{mm'}$$

המשוואה לחלק הרדיאלי :

$$\begin{aligned} \frac{1}{R(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial R(r)}{\partial r} \right) - \frac{2mr^2}{\hbar^2} (V(r) - E) &= l(l+1) \\ R(r) &= \frac{u(r)}{r} \\ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 u(r)}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{l(l+1)}{r^2} \right] u(r) &= Eu(r) \end{aligned}$$

פתרון עבור אטום המימן :

מתוך פתרון המשוואה תנאי שמקוונטט את האנרגיה :

$$\begin{aligned} E_n &= -\frac{mk^2 e^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{E_1}{n^2} \\ E_1 &= -\frac{mk^2 e^4}{2\hbar^2} = -13.6 \text{ eV} \\ n &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

הפתרון לפונקציה תלוי בקבועים n ו- l :

$$R_{nl}(r) = \sqrt{\left(\frac{2}{na}\right)^3 \frac{(n-l-1)!}{2n[(n-l)!]^3}} e^{-\frac{r}{na}} \left(\frac{2r}{na}\right)^l L_{n-l-1}^{2l+1} \left(\frac{2r}{na}\right)$$

רדיוס בוהר :

$$a = \frac{\hbar^2}{kme^2} = 0.529 \cdot 10^{-10} m$$

$$L_{q-p}^p(x) \equiv (-1)^p \left(\frac{d}{dx} \right)^p L_q(x)$$

$$L_q(x) \equiv e^x \left(\frac{d}{dx} \right)^q (e^{-x} x^q)$$

$$R_{10} = 2a^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{r}{a}\right)$$

$$R_{20} = \frac{1}{\sqrt{2}} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{r}{a}\right) \exp\left(-\frac{r}{2a}\right)$$

$$R_{21} = \frac{1}{\sqrt{24}} a^{-\frac{3}{2}} \frac{r}{a} \exp\left(-\frac{r}{2a}\right)$$

$$R_{30} = \frac{2}{\sqrt{27}} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{2}{3} \frac{r}{a} + \frac{2}{27} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right) \exp\left(-\frac{r}{3a}\right)$$

$$R_{31} = \frac{8}{27\sqrt{6}} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{r}{a}\right) \left(\frac{r}{a}\right) \exp\left(-\frac{r}{3a}\right)$$

$$R_{32} = \frac{4}{81\sqrt{30}} a^{-\frac{3}{2}} \left(\frac{r}{a}\right) \exp\left(-\frac{r}{3a}\right)$$

$$R_{40} = \frac{1}{4} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{r}{a} + \frac{1}{8} \left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{192} \left(\frac{r}{a}\right)^3\right) \exp\left(-\frac{r}{4a}\right)$$

$$R_{41} = \frac{\sqrt{5}}{16\sqrt{3}} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{r}{a} + \frac{1}{80} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right) \frac{r}{a} \exp\left(-\frac{r}{4a}\right)$$

$$R_{42} = \frac{1}{64\sqrt{5}} a^{-\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{1}{12} \frac{r}{a}\right) \left(\frac{r}{a}\right)^2 \exp\left(-\frac{r}{4a}\right)$$

$$R_{43} = \frac{1}{768\sqrt{35}} a^{-\frac{3}{2}} \left(\frac{r}{a}\right)^3 \exp\left(-\frac{r}{4a}\right)$$

פתרון כללי :

$$\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) Y_l^m(\theta, \varphi)$$

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

$$0 \leq l \leq n - 1$$

 l שלם ומקיים :

$$-l \leq m \leq l$$

 m שלם ומקיים :

אורתוגונליות :

$$\int \psi_{nlm}^* \psi_{n'l'm'} r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi = \delta_{nn'} \delta_{ll'} \delta_{mm'}$$

פונקציית ההסתברות הרדיאלית (צפיפות ההסתברות למצא את האלקטרון במרחק r מהגרעין):

$$P_{nl}(r) = |R_{nl}|^2 r^2$$

תנע זוויתי :

התנע הזוויתי הוא : $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = (L_x, L_y, L_z)$
נגדיר אופרטורים : $\hat{L}^2, \hat{L}_x, \hat{L}_y, \hat{L}_z$

$$\hat{L}^2 Y_l^m = l(l+1) \hbar^2 Y_l^m$$

$$|L| = \sqrt{l(l+1)} \hbar$$

גודל התנע יכול להיות גם אפס וזה בניגוד למודל של בוהר.

את הכיוון נתאר באמצעות הגודל של L_z , משם אפשר למצא את $\cos \theta = \frac{L_z}{|L|}$

$$\hat{L}_z Y_l^m = m \hbar Y_l^m$$

גם הכיוון של וקטור התנע הזוויתי מקוונטט!

רמות אנרגיה ניוון וספקטרום הפליטה :

צפיפות המצבים : $g(n) = 2n^2$ (ה-2 מגיע מהספין).

כללי מעבר (Selection Rules) :

$$1. n_i > n_f$$

$$2. \Delta l = l_f - l_i = \pm 1$$

$$3. \Delta m = m_f - m_i = 0, \pm 1$$

שאלות :

(1) הסתברות להיות רחוק מרדיוס בוהר

- א. חשבו את ההסתברות של אלקטרון במצב היסוד באטום מימן, להימצא במרחק שגדול מרדיוס בוהר מהגרעין.
- ב. מצאו את הרדיוס הממוצע בו נמצא האלקטרון במצב היסוד.

(2) כוח ממוצע

פונקציית הגל של המצב: $n = 2, l = 1, m = 0$ היא: $\psi_{210} = \frac{r \cos \theta}{\sqrt{32\pi a^5}} e^{-\frac{r}{2a}}$. מצאו את גודל הכוח החשמלי הממוצע שפועל על האלקטרון.

נוסחאות עזר:

$$\int_0^\infty x^n e^{-\alpha x} dx = \frac{n!}{\alpha^{n+1}}$$

$$\int_0^\pi \cos^2 \theta \sin \theta d\theta = \frac{2}{3}$$

$$\int_0^\pi \sin^5 \theta d\theta = \frac{16}{15}$$

(3) הראו כי התנז לא בכיוון Z

הראו שהתנע הזוויתי המסלולי של האלקטרון באטום המימן לא יכול להיות מקביל לציר Z.

(4) גז מעורר

נתון גז של אטומי מימן שבכל אחד מהם האלקטרון נמצא ברמה התחלתית ($n = 4, l = 3$).

נתון שאין אינטראקציה בין האטומים, טמפרטורת הגז נשארת קבועה כל הזמן ולא קיים שדה מגנטי חיצוני.

כמה קווי פליטה שונים (אורכי גל שונים) נראה בספקטרום הפליטה של הגז (ספקטרום הפליטה מתקבל כאשר האלקטרונים יורדים לרמות נמוכות יותר)? רשמו את מצבי האנרגיה הנמוכים ביותר שבהם יכולים להימצא האלקטרונים לאחר זמן רב (השתמשו במספרים הקוונטים (n, l) כדי לאפיין את מצבי האנרגיה).

(5) צבר אטומי מימן במצב 2 בשטרן גרלך

- צבר אטומי מימן נמצא במצב $n = 2$ (ועם תנע זוויתי כלשהו). בכל סעיפי השאלה יש להתחשב גם בספין.
- א. כמה כתמים יהיו על המסך עבור הצבר בניסוי שטרן גרלך?
- ב. ציינו איזה מצב קוונטי גרם לכל כתם על המסך.

- אורך המגנט בניסוי הוא L והמרחק מסוף המגנט ועד המסך הוא $10L$.
 השדה המגנטי הוא $B(z) = B_0 \frac{z}{L}$ ומהירות האטומים היא v .
 ג. מה יהיה המרחק בין שני הכתמים הנוצרים מהמצבים בהם האלקטרון נמצא ברמה $2s$?
 ד. כמה רמות אנרגיה שונות קיימות לצבר (תחת שדה מגנטי)?
 כמה אורכי גל שונים יכולים להיפלט מהצבר?

תשובות סופיות:

- (1) א. 0.677 ב. $1.5a$
 (2) $\frac{ke^2}{12a^3}$
 (3) הוכחה.
 (4) 5 קווים, $1s$ ו- $2s$.
 (5) א. ישנם 5 אופציות שונות למומנט המגנטי ולכן נקבל 5 כתמים.
 ב. הכתם הכי נמוך שייך ל- $m+2ms=2$ וככל שהערך יורד הכתם יהיה יותר גבוה.
 ג. $21 \frac{\mu_B B_0 L}{mv^2}$
 ד. לצבר 5 רמות אנרגיה שונות עבור הערכים השונים של המומנט המגנטי.
 7 אורכי גל שונים.

מומנט מגנטי מסילתי ואפקט זימן הנורמאלי:

סיכום כללי:

מומנט כוח על דיפול מגנטי:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

אנרגיה פוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי :

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

כוח על דיפול מגנטי בשדה מגנטי לא אחיד :

$$\vec{F} = (\vec{\mu} \cdot \vec{\nabla}) \vec{B}$$

מומנט דיפול מגנטי כתוצאה מתנועת האלקטרון סביב הגרעין :

$$\vec{\mu} = \frac{-\mu_B}{\hbar} \vec{L}$$

גודל קבוע שנקרא המגנטון של בוהר :

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 5.788 \cdot 10^{-5} \text{ eV}/T$$

האנרגיה הפוטנציאל כתוצאה האינטראקציה של המומנט המגנטי המסילתי עם שדה מגנטי חיצוני :

$$U = \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{L} \cdot \vec{B} = \mu_B B m$$

כאשר m הוא המספר הקוונטי של L_z .

תוספת לשינוי באנרגיה כתוצאה ממעבר בין הרמות בעקבות אפקט זימן :

$$\Delta E_z = \mu_B B \Delta m$$

$$\Delta m = \pm 1, 0$$

התוספת בעקבות אפקט זימן גורמת לכל קו ספקטרלי להתפצל לשלושה קווים.

שאלות:

1) פוטון נפלט מאטום מימן בשדה מגנטי

אלקטרון נמצא ברמת האנרגיה $3p$ של אטום מימן. האטום נמצא באזור בו יש שדה מגנטי אחיד $B = 4 \cdot 10^3 [T]$. מצאו את אורך הגל הקצר ביותר שיכול

להתקבל ממעבר של האלקטרון לרמה כלשהיא (הניחו שהאלקטרון אינו עולה רמות לפני הפליטה).

(2) פליטה מאטום בורון ורוחב פס

- גז של אטומי בורון נמצא באזור בו קיים שדה מגנטי חיצוני אחד B .
 בכל אחד מהאטומים מעוררים את האלקטרון שנמצא ברמה $2p$ לרמה $3s$
 ומוודדים את ספקטרום הקרינה האלקטרומגנטית שמתקבל בחזרה של
 האלקטרון לרמה המקורית.
- א. כמה קווים יתקבלו בספקטרום? הניחו שרמת האנרגיה זהות לאלו של
 אטום המימן.
- ב. מצאו את הערך של B עבורו נוכל להבחין כי הפיצול אכן נבע מהשדה
 המגנטי החיצוני אם נתון שזמן החיים של הרמה המעוררת הוא 2ns .

תשובות סופיות:

- (1) 100nm .
 (2) א. 3 קווים. ב. $B > 9\text{mT}$.

ספין ניסוי ושטרן גרלך:

סיכום כללי:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

$\vec{L}$ תנ"ז מסילתי, נובע מהתנועה הסיבובית של החלקיק.

$\vec{S}$ תנ"ז כתוצאה מהספין.

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

S גדולה - גודל התנ"ז מהספין.

s קטנה - הספין של החלקיק, עבור אלקטרון $s = \frac{1}{2}$.

עבור חלקיקים אחרים ערכי הספין הן כפולות שלמות של חצי $s = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$

חלקיקים שהספין שלהם חצי שלם $\frac{3}{2}, \frac{1}{2}$ וכו' נקראים **פרמיונים** וחלקיקים שהספין שלהם שלם $0, 1, 2$ נקראים **בוזונים**.

$$S_z = m_s \hbar$$

$-s < m_s < s$ בקפיצות של 1

עבור אלקטרון $m_s = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

$$\vec{\mu}_s = -g \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{S}$$

פקטור g או gyromagnetic ratio

עבור אלקטרון $g = 2.0023 \dots \approx 2$

שאלות:

(1) תוחלת של S

נתונה פונקציית הגל הבאה:

$$\frac{1}{\sqrt{4}}\psi_{2,1,-1,\frac{1}{2}} + \frac{1}{\sqrt{4}}\psi_{2,1,1,\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}}\psi_{2,1,1,-\frac{1}{2}}$$

א. הראו שהפונקציה מנורמלת (בהנחה ש- ψ_{n,l,m,m_s} הן אורטונורמליות).ב. מצאו את $\langle \hat{L}_z \rangle$.ג. מצאו את $\langle \hat{S}_z \rangle$.ד. מצאו את ΔS_z .

(2) שטרן גרלך עם תנז מסילתי

מה היה קורה בניסוי שטרן-גרלך אם לאלקטרון בקרן שפוגעת היה $l = 1$?

תשובות סופיות:

- (1) א. הוכחה. ב. $\frac{\hbar}{2}$. ג. 0. ד. $\frac{\hbar}{2}$.
- (2) הקרן תתפצל לחמש קרניים ונראה חמש נקודות על המסך.

אטומים מורכבים והטבלה המחזורית:

סיכום כללי:

כל אלקטרון מאכלס מצב מסוים המאופיין על ידי המספרים הקוונטיים: n, l, m_l, m_s .

בגלל האינטראקציה של האלקטרונים עם עצמם האנרגיות תלויות ב- n וגם ב- l .

עיקרון האיסור של פאולי (1900-1958) Wolfgang Pauli:

שני אלקטרונים באטום לא יכולים לאכלס את אותו המצב הקוונטי.

כלומר לא יכולים להיות שני אלקטרונים שיש להם בדיוק אותם מספרים קוונטיים: n, l, m_l, m_s .

ככל ש- l גדל (יש יותר תנ"ז מסילתי) האנרגיה גדלה.

הטבלה המחזורית:

GROUPS

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

PERIODS

1

2

3

4

5

6

7

KEY:

Atomic Mass

Oxidation States (bold indicates most stable)

Electronegativity

Element Name

Melting Point, K

Boiling Point, K

First Ionization Potential, V

Atomic Number

Element Symbol

Electronic Configuration

Density at 300K (g/cm³)

* indicates density in g/L of gaseous state at 273K and 1 atm

Atomic Radius (pm)

Ionic Radius (pm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18												
H 1.00794 Hydrogen	He 4.00260 Helium	Li 6.941 Lithium	Be 9.0122 Beryllium	B 10.811 Boron	C 12.011 Carbon	N 14.007 Nitrogen	O 15.999 Oxygen	F 18.998 Fluorine	Ne 20.180 Neon	Na 22.990 Sodium	Mg 24.305 Magnesium	Al 26.982 Aluminum	Si 28.086 Silicon	P 30.974 Phosphorus	S 32.065 Sulfur	Cl 35.453 Chlorine	Ar 39.948 Argon												
K 39.098 Potassium	Ca 40.078 Calcium	Sc 44.956 Scandium	Ti 47.867 Titanium	V 50.942 Vanadium	Cr 51.996 Chromium	Mn 54.938 Manganese	Fe 55.845 Iron	Co 58.933 Cobalt	Ni 58.693 Nickel	Cu 63.546 Copper	Zn 65.409 Zinc	Ga 69.723 Gallium	Ge 72.640 Germanium	As 74.922 Arsenic	Se 78.960 Selenium	Br 79.904 Bromine	Kr 83.798 Krypton												
Rb 85.468 Rubidium	Sr 87.620 Strontium	Y 88.906 Yttrium	Zr 91.224 Zirconium	Nb 92.906 Niobium	Mo 95.940 Molybdenum	Tc 98.906 Technetium	Ru 101.07 Ruthenium	Rh 101.07 Rhodium	Pd 106.42 Palladium	Ag 107.87 Silver	Cd 112.41 Cadmium	In 114.82 Indium	Sn 118.71 Tin	Sb 121.76 Antimony	Te 127.60 Tellurium	I 126.90 Iodine	Xe 131.29 Xenon												
Cs 132.91 Cesium	Ba 137.33 Barium	La-Lu Lanthanides	Hf 178.49 Hafnium	Ta 180.95 Tantalum	W 183.85 Tungsten	Re 186.21 Rhenium	Os 190.23 Osmium	Ir 192.22 Iridium	Pt 195.08 Platinum	Au 196.97 Gold	Hg 200.59 Mercury	Tl 204.38 Thallium	Pb 207.20 Lead	Bi 208.98 Bismuth	Po 209 Polonium	At 210 Astatine	Rn 222 Radon												
Fr 223.02 Francium	Ra 226.02 Radium	Ac-Lr Actinides	Rf 261 Rutherfordium	Db 262 Dubnium	Sg 266 Seaborgium	Bh 264 Bohrium	Hs 277 Hassium	Mt 268 Meitnerium	Ds 271 Darmstadtium	Rg 272 Roentgenium	Cn 285 Copernicium	Nh 286 Nihonium	Fl 289 Flerovium	Mc 288 Moscovium	Lv 293 Livermorium	Ts 294 Tennessine	Og 294 Oganesson												
La 138.91 Lanthanum	Ce 140.12 Cerium	Pr 140.91 Praseodymium	Nd 144.24 Neodymium	Pm 145 Promethium	Sm 150.36 Samarium	Eu 151.97 Europium	Gd 157.25 Gadolinium	Tb 158.93 Terbium	Dy 162.50 Dysprosium	Ho 164.93 Holmium	Er 167.26 Erbium	Tm 168.93 Thulium	Yb 173.05 Ytterbium	Lu 174.97 Lutetium	Ac 227.03 Actinium	Th 232.04 Thorium	Pa 231.04 Protactinium	U 238.03 Uranium	Np 237 Neptunium	Pu 244 Plutonium	Am 243 Americium	Cm 247 Curium	Bk 247 Berkelium	Cf 251 Californium	Es 252 Einsteinium	Fm 257 Fermium	Md 258 Mendelevium	No 259 Nobelium	Lr 260 Lawrencium

Alkali metals

Alkali earth metals

Transition metals

Rare earths

Basic metals

Metalloids

Noble gases

Non-metals

Halogens

Noble gases

Solid

Liquid

Gas

Hydrogen

Not classified

chemRoots

cchange

sasol

UNIVERSITY OF CAPE TOWN

CAPE TOWN SCIENCE CENTRE

www.ctsc.org.za | 021 300 3200

CTSC

Cape Town Science Centre

שאלות:

- (1) **טיטניום**
כמה אלקטרונים יש ליסוד טיטניום: $\text{Ti} (Z = 22)$ ברמה הרביעית?
הניחו שהוא במצב היסוד.
- (2) **אטום ראשון ברמה החמישית**
מהו המספר האטומי של האטום "הראשון" ברמה החמישית?
- (3) **קונפיגורציה של ברזל**
רשמו את קונפיגורציית האלקטרונים של אטום הברזל: $\text{Fe } Z=26$
במצב היסוד. רשמו את הכתיב המלא והמקוצר.
- (4) **קונפיגורציות הגיוניות**
אלו מהקונפיגורציות הבאות הן הגיוניות ואלו לא? (עבור אטומים ברמת היסוד)
 א. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3$
 ב. $1s^2 2s^2 2p^6 2d^2$
 ג. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 4s^2$
 ד. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$

תשובות סופיות:

- (1) שני אלקטרונים.
- (2) 37.
- (3) $3d^2 4s^2$, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
- (4) א. לא. ב. לא. ג. לא. ד. כן.