

## אין ספין

נניח שלאלקטרון אין ספין ושעקרון פאולי עדיין נכון. בנה את הטבלה המחזורית עד ל  $Z = 14$  ( $S_i$ ). מה היה קורה לתעשיית הצ'יפים המבוססת על סיליקון?

### פתרון

$Z = 1$  מימן עם אלקטרון אחד ב  $1s$ .  
 $Z = 2$  הליום עם אלקטרון אחד ב  $1s$  ואחד ב  $2s$ .  
 $Z = 3$  ליתיום עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  ואחד ב  $2p$ .  
 $Z = 4$  בריליום עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  ושניים ב  $2p$ .  
 $Z = 5$  בוהר עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  ושלושה ב  $2p$ .  
 $Z = 6$  פחמן עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  ואחד ב  $3s$ .  
 $Z = 7$  חנקן עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  ואחד ב  $3p$ .  
 $Z = 8$  חמצן עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  ושניים ב  $3p$ .  
 $Z = 9$  פלואור עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  ושלושה ב  $3p$ .  
 $Z = 10$  נאון עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  שלושה ב  $3p$  ואחד ב  $3d$ .  
 $Z = 11$  נתרן עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  שלושה ב  $3p$  ושניים ב  $3d$ .  
 $Z = 12$  מגנזיום עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  שלושה ב  $3p$  ושלושה ב  $3d$ .  
 $Z = 13$  אלומיניום עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  שלושה ב  $3p$  וארבעה ב  $3d$ .  
 $Z = 14$  סיליקון (צורף) עם אלקטרון אחד ב  $1s$  אחד ב  $2s$  שלושה ב  $2p$  אחד ב  $3s$  שלושה ב  $3p$  וחמישה ב  $3d$ .  
הסיליקון היה גז אציל במקרה זה כי הקליפה החיצונית שלו מלאה במצב היסוד, לכן לא היה מבצע אינטראקציות עם אטומים אחרים ובפרט לא היה יכול לשמש בחצי מוליך בתעשיית הצ'יפים.

## אטום חמצן

נתון אטום חמצן ובו 4 אלקטרונים באורביטל  $2p$ .  
 (1) הראה את כל המצבים האפשריים לאכלוס של 4 במצבי  $2p$ . מצא את התנע הזוויתי הכולל בכיוון  $z$ ,  $m$  ואת הספין הכולל בכיוון  $z$ ,  $m_s$  לכל מצב.  
 (2) מהם רמות האנרגיה בשדה מגנטי בכיוון  $z$  ובעוצמה  $B$ ? ביחס לאנרגיה  $E_2$  ללא השדה המגנטי, נתון המומנט המגנטי  $\mu_B(m + 2m_s)$   
 (3) בניסוי Stern Gerlach עם אטומי חמצן דומים לאטום המתואר כמה אלומות יתקבלו?

## פתרון

(1) כל המצבים האפשריים לאכלוס של 4 אלקטרונים באורביטל  $2p$  מוצג בטבלה 1. המצבים האפשריים נקבעים לפי עקרון האיסור של פאולי: שני אלקטרונים לא יכולים להיות באותו מצב קוונטי.

$m = -1$	$m = 0$	$m = 1$	$m \text{ total}$	$m_s = -1/2$	$m_s = 1/2$	$m_s \text{ total}$	$\Delta E$
2	2	0	-2	2	2	0	$2\mu_B B$
2	0	2	0	2	2	0	0
0	2	2	2	2	2	0	$-2\mu_B B$
2	1	1	-1	1	3	1	$-\mu_B B$
2	1	1	-1	3	1	-1	$3\mu_B B$
2	1	1	-1	2	2	0	$\mu_B B$
1	2	1	0	1	3	1	$-2\mu_B B$
1	2	1	0	3	1	-1	$2\mu_B B$
1	2	1	0	2	2	0	0
1	1	2	1	1	3	1	$-3\mu_B B$
1	1	2	1	3	1	-1	$2\mu_B B$
1	1	2	1	2	2	0	$-\mu_B B$

טבלה 1: כל האפשרויות לאכלוס מצבי  $2p$  ע"י 4 אלקטרונים

(2) האנרגיה של כל מצב תשתנה ב  $-\mu_B B(m + 2m_s)$ . השינוי מופיע בטבלה 1 בעמודה  $\Delta E$ .  
 (3) בטבלה ניתן לראות כי יש לנו 7 אפשרויות שונות למומנט מגנטי ולכן בניסוי שטרן גרלך יתקבלו 7 אלומות שונות.

# 1 Stern-Gerlach 1

משגרים אלומת אטומי בורון דרך מכשיר שטרן גרלך. בקצה מכשיר שטרן גרלך עומד מסך שעליו מופיעים כתמים במרחק 2.47 מ"מ אחד מהשני:  
 א. כמה כתמים מופיעים ולמה?  
 ב. מהו גרדיאנט השדה המגנטי במכשיר? נתון כי גודל המכשיר 4 ס"מ ומהירות האלומה היא 600 מטר לשנייה (את מסת האטום יש למצוא לבד).

## 1.0.1 פתרון

עבור אטום בורון  $Z = 5$ . לכן המבנה האטומי שלו מהצורה  $1S^2 2S^2 2P^1$ . מצבים אפשריים עבור אטום בורון

$$(1) \quad 1S^2 \rightarrow |100, \pm 1/2\rangle$$

$$(2) \quad 2S^2 \rightarrow |200, \pm 1/2\rangle$$

$$(3) \quad 2P^1 \rightarrow |21-1, \pm 1/2\rangle, |210, \pm 1/2\rangle, |211, \pm 1/2\rangle,$$

במכשיר שטרן גרלך ישנה הפרדה בין האלומות בהתאם לכוח השונה הפועל על המצבים השונים, לפי המשוואה הבאה

$$(4) \quad F_z = -\mu_B \frac{\partial B}{\partial z} (m_l + 2m_s) = \frac{\partial B}{\partial z} \mu_z$$

נרכיב את המצבים האפשריים

$$(5) \quad -2 \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B, -\frac{\partial B}{\partial z} \mu_B, 0 \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B, \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B, 2 \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B$$

כלומר, על המסך יופיעו 5 כתמים.  
 ב. נמצא את גרדיאנט השדה המגנטי  $\frac{\partial B}{\partial z}$ .

$$(6) \quad a = F/m = \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B (m_l + 2m_s)$$

כמו כן, מתנועת האטום בתוך המכשיר

$$(7) \quad d = \frac{at^2}{2} : t = \frac{W}{v} : d = \frac{aW^2}{2v^2}$$

$$(8) \quad d = \frac{\partial B}{\partial z} \mu_B \frac{W^2}{2v^2}$$

$$(9) \quad 2.47 \times 10^{-3} [m] = \frac{\partial B}{\partial z} \frac{9.274 \times 10^{-24} [J/T]}{1.795 \times 10^{-26} [kg]} \frac{(4 \times 10^{-2})^2 [m^2]}{2 \cdot 600^2 [m^2/sec^2]}$$

$$(10) \quad \frac{\partial B}{\partial z} = 2152.527 [T/m]$$