

# מודלים של האטום והגרעין

מודל האטום של תומסון (28-30)  
מודל האטום של רתרפורד (31-39)  
מודל האטום של בוהר (41-60,68)

חומר תיאורטי לקראת מבחן #1 בקרינה וחומר

## מודל האטום של תומסון (1898) :

ידוע היה בתקופתו של תומסון שמטען האלקטרונים הוא שלילי, וגם ידעו שהאטומים ניטראליים מבחינה חשמלית, מכאן שלכל אטום חייב להיות מטען חיובי. גם כן היה ידוע שהאלקטרונים קלים אלפי מונים מאטום שלם.

תומפסון טען שמבנה האטום הוא כדור שבו מפוזר מטען חשמלי חיובי בצורה אחידה, ואלקטרונים בעלי מטען שלילי משובצים בתוכו. יתר על כן, המטען החשמלי השלילי זהה בגודלו למטען החשמלי החיובי. המודל מזכיר עוגת צימוקים ולכן נקרא מודל עוגת הצימוקים.

הצלחותיו של המודל: (א) יציבות האטום ( $\Sigma F=0$ ) (ב) ניטרליות החומר (ג) גז מימן זוהר כאשר עוברת בו קרינה כי האלקטרונים גורמים לאלה שבאטום להתנדוד ובכך לזהור. ניתן להוכיח שהתנועה בתוך האטום לפי מודל האטום של תומסון היא הרמונית.

קשייו של המודל: לפי המודל של תומסון, ספקטרום הפליטה צריך להציג קו ספקטראלי אחד ויחיד והוא האנרגיה ששווה לתדירות התנודות באטום. בפועל יש אינסוף קווים ספקטראליים- מה שלא ניתן להסביר בעזרת המודל. רתרפורד ביצע ניסוי ומרסדן המשיך אותו. העבירו קרינת חלקיקי אלפא דרך רדיד זהב, ולפי המודל של תומסון החלקיקים היו צריכים לצאת בזווית אפס יחסית לפגיעה ואם לא אז זווית קטנה מאוד. רתרפורד גילה זוויות גדולות ומרסדן גילה שחלק מהחלקיקים אף הוחזרו- תופעה שלא ניתן להסביר בעזרת המודל של תומסון. תגובת רתרפורד: *"זה המאורץ הגדול מאז ימינו ביותר שקרה לי בחיי. כאילו ירית של 15 אינץ' לכיוון נייב והוא חזר ופגע בק"*

## מודל האטום של רתרפורד (1910) :

רתרפורד גילה שכדי להסביר את התופעה צריך שהאטום יהיה בנוי כך שרוב המסה תהיה מרוכזת במרכז האטום ושקוטרו של המרכז (הגרעין) תהיה קטנה פי  $10^{15}$  מקוטר האטום. רתרפורד סבר שהאלקטרונים נעים סביב לגרעין וגודל רדיוסם קובעים את גודל קוטר האטום. גם פה המטען החשמלי השלילי שווה בגודלו למטען החיובי בגרעין. המודל מזכיר את מערכת השמש שלנו ולכן מכונה המודל הפלנטארי של האטום.

הצלחותיו של המודל: (א) רתרפורד הצליח לפתח ביטוי של כמות חלקיקי ה  $\alpha$  בכל זווית פיזור שהיא- ז"א ניתן להסביר את הפיזור החלקי של החלקיקים ע"י רדיד הזהב. (ב) קוטר הגרעין הוא  $10^{-15}$  מטר ומרוכזים בו 99.99% מכלל האטום. כמו השמש ומערכת השמש שלנו. (ג) בעזרת מודל זה ניתן לחשב את רדיוס הסיבוב של אטום המימן- אלקטרון ופרוטון אחד.

אנרגיית יינון = האנרגיה המינימאלית שצריך להשקיע באטום זה כדי לעקור ממנו אלקטרון.

קשייו של המודל: (א) ידוע שחלקיק מואץ פולט קרינה אלקטרומגנטית, מכאן שהאלקטרונים צריכים לפלוט תמיד קרינה, ומכאן לאבד אנרגיה, ולכן לנוע בתנועה ספיראלית כלפי הגרעין עד שייצמדו לגרעין. חישובים מראים שמדובר בתהליך של פחות מ  $10^{-10}$  שניות, למרות שבמציאות האטומים יציבים. (ב) כאשר מעבירים קרינה דרך גז, ישנו ספקטרום פליטה שלא ניתן להסביר בעזרת המודל הפלנטארי (ג) המודל הפלנטארי אינו מטיל מגבלה על הרדיוסים ולא ברור למה התנגשויות לא גורמים לאלקטרונים לנוע ברדיוסים שונים.

## מודל האטום של בוהר (1913) :

נילס בוהר הוא פיזיקאי דני. הוא ייחס לאלקטרונים התנהגות קוונטית. כל המודל שלו בנוי על כמה הנחות:

הנחה #1: האלקטרונים נעים במסלולים בדידים סביב הגרעין. ניתן להביע את התנע הזוויתי ( $mvr$ ) ברדיוס החי ע"י מכפלה של מספר הרדיוס ב $\hbar$  ( $\frac{h}{2\pi}$ ). בכתוב מתמטי:  $mvr = n\hbar$ . (הנחה זו נקראת קוונטיזציה של התנע הזוויתי של האלקטרון באטום)

הנחה #2: אלקטרון שנע במסלול מותר לא פולט קרינה אלקטרומגנטית.

הנחה #3: במצב עמיד חלים על האטום חוקי המכניקה הניוטונית. במעבר מאנרגיה נמוכה לגבוהה יותר האלקטרון בולע פוטון, ובמעבר מגבוהה לנמוכה האלקטרון פולט פוטון.

ההנחה השנייה היא בסתירה לפיסיקה הקלאסית, אבל חוקי הפיסיקה הקלאסית מעולם לא נבחנו במצבים תת אטומיים. נעבור לפיתוח הנוסחאות של הרדיוסים החיים והאנרגיה בכל רדיוס ורדיוס.

$$\frac{kqq}{R_n^2} = ma_R = \frac{mV^2}{R_n}$$

$$(e = |q_e| = q_p)$$

$$V^2 = \frac{ke^2}{R_n m}$$

נעלה את ההנחה הראשונה בריבוע ונציב את מה שפיתחנו ל  $V$ :

$$mke^2 R_n = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2}$$

$$R_n = \frac{h^2}{4kme^2 \pi^2} n^2 = 0.529 n^2 (\text{Å})$$

לא אטרח לפתח את סכום האנרגיות. רק אציין שמדובר בסכום סקלרי של האנרגיה הקינטית והפוטנציאלית. את שתיהן אנו מכירים מהפיזיקה הניוטונית:

$$E_{T_n} = -\frac{13.6}{n^2}$$

$$E_{T_n} = \frac{E_{p_n}}{2} = -E_{k_n}$$

רמות האנרגיה של אטום המימן (eV)	רדיוסי המסלולים ב Å	n – מספר קוונטי של מסלול מותר
-13.6	0.529	1
-3.4	2.116	2
-1.51	4.761	3
-0.85	8.464	4
-0.54	13.225	5
0	לא מוגדר	∞

רמת האינסוף נקראת גם רמת היינון. שם האלקטרון יוצא ממסלולו סביב האטום ומתנהג בכוחות עצמו.

## דביר חזד - סיכום

### עירור אטום מימן:

ישנם שתי דרכים לערר אטום מימן: התנגשות עם חלקיק חומרי והעירור ע"י קרינה.

- (I) התנגשות עם חלקיק חומרי: חלקיק כלשהו שמואץ ופוגע באלקטרון, מעביר לו חלק מהאנרגיה שלו, וכל אחד ממשיך בדרכו. יכול להעביר לו כמה שצריך. אם יש לחלקיק אנרגיה מספקת להעבירו אפילו לרמת היינון, אין חובה שיעשה כן, יכול להיות שיעביר רק 10.2 eV וכך יעבירו רק לרמה השנייה, ואפילו לא קרוה לרמת היינון.
- (II) עירור על ידי קרינה: קרינה הכוונה בליעת פוטון על ידי האלקטרון. ההבדל בין דרך זו לדרך I הוא שכאן מתוך אינסוף הפוטונים הקיימים בתוך גל כלשהו, רק הפוטונים שיספיקו בדיוק להפרשים בין רמות האנרגיה יבלעו על ידי האלקטרונים ברמה היסודית.

חישובים שלא מסתמכים על מודל האטום של בוהר אלא עם תורת הקוונטים מראים שברוב רמות האנרגיה אלקטרון שוהה סדר גודל של  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  (s). פרק זמן זה מכונה זמן החיים של הרמה.

### יינון אטום מימן:

יינון אטום הכוונה עקירת אלקטרון מהאטום והבאתו אל מחוצה לו כך שלא יהיו יותר מערכת קשורה.  $E_p, E_{ph} \geq 13.6$  eV. כל האנרגיה שנותרת או מה שנשאר ממה שנמסר לאלקטרון בא לידי ביטוי בתור אנרגיה קינטית לאחר שהאלקטרון יונן.

### ספקטרום בליעה ופליטה:

את כמות הקווים הספקטראליים בספקטרום הפליטה למדנו איך לחשב בכיתה ע"י מתיחת קווים בדיאגרמת רמות האנרגיה ולכן לא אחזור על כך כאן. בספקטרום הבליעה מופיעה כל האור כולו מלבד כמה קווים של הפוטונים שנבלעו ע"י האלקטרונים ברמת יסוד. הקווים שיחסרו יהיו בדיוק הקווים שנדרשו להעלות את האלקטרונים מרמת היסוד לרמה בה הם נמצאים כעת.

מדוע מופיעים בספקטרום קווי בליעה אם הרי האטומים פולטים חזרה את אורכי הגל שהם בלעו?! הקרינה שנפלטת מפוזרת לכל הכיוונים ורק שיעור קטן מאוד ממנה נפלט לכיוון מאוחד ו/או לכיוון הספקטרומטר.

ניתן ליצור ספקטרום בליעה של חומר מוצק ע"י חימום והקרנת האור הלבן דרך אדי החומר שנוצרים בעקבות החימום. קווי הבליעה המתקבלים הם אלה שלה החומר המוצק.

כמה מסקנות: יש יותר קווים ספקטראליים בספקטרום הפליטה מאשר בספקטרום הבליעה (הוכח!). קווי הלעיה תלויים בסוג הגז, לכן הם מהווים סוג של טביעת אצבע עבור כל גז וגז.

### ספקטרום בליעה של אור המגיע מהשמש ועוד כוכבים:

גילו שהוראת הספקטרומטר מחוץ לכדור הארץ ובכדור הארץ זהה, ומכאן הסיקו שהגזים שבולעים חלק מהאור נמצאים בשמש עצמה. סדרה מסויימת של קווי בליעה בספקטרום אור השמש לא התאימה לאף יסוד שהיה מוכר במאה ה-19, אחרי כמה עשרות שנים גילו שהם מתאימים ליסוד הליום. בספקטרום של כוכבים רבים בולטים קווי הבליעה של מימן ובכוכבים אחרים קווי הבליעה מעידים שהשכבות החיצוניות מכילות יסודות אחרים בכמות רבות, למשל סידן.

הצלחותיו של המודל: (א) יציבות האטומים. בעזרת המודל ניתן לראות שכל אטום יציב ולא מאבד אנרגיה כמו במודל רתרפורד (ב) אפשר לחשב את רדיוס אטום המימן ולקבל שמדובר ב  $1 \text{ \AA}$  בערך. (כמו שהיה ידוע) (ג) רמת היינון של אטום המימן היא 13.6 eV, מה שמסתדר עם תוצאות הניסויים שנערכו.

קשייו של המודל: (א) אי אפשר להבין את הקווים הספקטראליים של האור הנפלט מגז מימן. (ב) אי אפשר לחשב בעזרת המודל הנ"ל את רמות האנרגיה של כל אטום אחר שאינו מימן או דמוי מימן. ©.