



תגובות קוראים

הערה למאמר: "גישה חדשה להוראת הנושא קישור כימי"

יוסף ליבנה*

איור 1 ממחיש את אופן ההיווצרות של צמד אטומי הליום: שני זוגות אלקטרונים נמשכים בו-זמנית לשני גרעינים שכל אחד מהם טעון +2 (איור 1 צד שמאל). כוחות המשיכה הללו עשויים היו להיות חזקים בהרבה מאלו השוררים במולקולת מימן. אך במקרה של הליום, לא נוצרת מולקולה שבה האטומים קשורים בקשר קוולנטי; נמנע מהאטומים להתקרב די כדי להביא את כוחות המשיכה לידי ביטוי מרבי. הגורם המפריע, כמובן, הוא כוח הדחייה הבין-אלקטרוני בטווחים הרחוקים, ומתוסף לו כוח הדחייה הבין-גרעיני בטווחים הקרובים. באופן מדויק יותר, בגישה המחייבת של מכניקת הקוונטים, ההסבר נשמע אחר:

באורביטל המולקולרי הקושר של He_2 יש מקום רק לזוג אחד של אלקטרונים. הזוג הנוסף "נאלץ" לאכלס אורביטל "אנטי-קושר". בחשבון הכולל סדר הקשר הוא אפס ומכאן המסקנה שאכן לא צפויה קיומה של מולקולה יציבה של הליום.

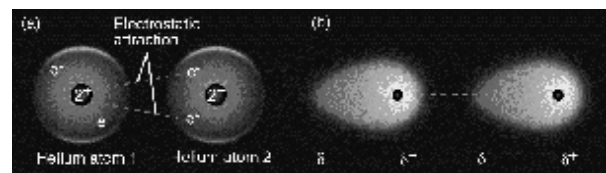
גם אם אין כאן קישור קוולנטי, אי אפשר להתעלם מההשפעה ההדדית של אטומי הליום זה-על-זה. עם התקרבותם, ובעקבות עיוות רגעי בענן האלקטרוני של אחד מהם, מושרה עיוות באותה הכוונה בענן האלקטרוני של האחר (איור 1 צד ימין). וכך נוצר כוח משיכה רגעי של הדו-קטבים הרגעיים. זהו מקורו של הביטוי של "כוחות הפיזור ע"ש לונדון" המכונים אצלנו "כוחות ון-דר-ולס". המשיכה ההדדית הינה רגעית בלבד משום שבטמפרטורת החדר, וגם בטמפרטורות נמוכות יותר, התנועה התרמית האקראית של האלקטרונים מפזרת את העיוותים בענניהם.

כך, קיימים כוחות איחוי בין אטומי גז אציל רק מתחת לטמפרטורת האידי שלם (269°C - עבור הליום) (שני אטומי מימן משמאל ושני אטומי ניאון (מימין)).

בעקבות מאמרה של תמי לוי נחום בעלון מס' 10, אני מבקש להוסיף מספר הערות משלי. אני מצטרף ללא סייג לשתיים מהקביעות המופיעות במאמר והמהוות בסיס לבניית תכנית הלימוד החדשה בנושא הקישור הכימי:

- בכל סוגי הקישור פועלים כוחות ועקרונות אנרגטיים משותפים. הנטייה של מדענים להבחין בין 6-8 סוגי קישור שונים נובעת מצרכים שלהם ולא משום שהחלקיקים המרכיבים את החומר "יודעים" להבחין בהם. קיים רצף של סוגי קישור מהחלש עד החזק, אבל בכולם התשתית הפיזיקלית זהה;
 - טוב נעשה כמורים, אם נעמת את תלמידינו עם העקרון הזה. איננו עושים להם שירות טוב עם ניסיונות פישוט (בדרך של הענקת יכולות הבחנה לחלקיקים-האנשה) כמו: "אטום מתכת מוסר אלקטרונים" לאטום אלמתכת בעת המפגש ביניהם כדי ליצור עמו קשר יוני כי כך מושגת יציבות מרבית".
- ההערות שלי נוגעות לסוג של כוחות בין-מולקולריים המכונים בעולם "כוחות דיספרסיה (פיזור) ע"ש לונדון". אצלנו, משום-מה אומץ הכינוי כוחות ון-דר-ולס למרות שכינוי זה משמש כימאים בעולם למכלול הכוחות הבין-מולקולריים.

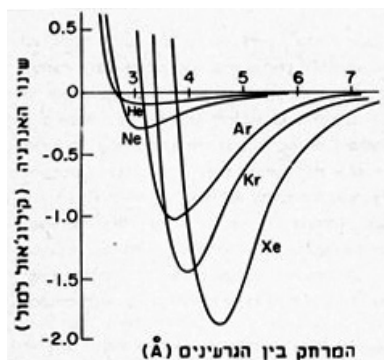
מולקולת הליום



איור 1. מתאר "מפגש" בין שני אטומי הליום

* יוסף ליבנה, לימד שנים רבות בבי"ס אורט קרית טבעון

על צורת עקומת האנרגיה. מכאן נגזר הכלל: ככל שיש באטום (או במולקולה) ענן אלקטרוני גדול יותר ומפוזר יותר, גוברים כוחות הפיזור המושרה. השוני בין העקומות הוא גם ב-"עומק הבור" וגם בטווח הפעולה. מה שאינו שונה הוא התלות של האנרגיה במרחק (לפי r^{-6}).



איור 3. התלות בגודל החלקיקים כימיה לביה"ס התיכון; כרך ב', ע' 54.

התלות של כוחות האיחוי בהשפעת הפיזור בגודל האטומים הפוכה לתלות של אנרגיית הקשר בגודל האטומים. לדוגמה:

	אנרגיית קשר מול/kJ	↔	אנרגיית איחוי מול/J	
H-H	436		250 ≈ (0.06%)	He-He
I-I	151		≈1800 (1%)	Xe-Xe

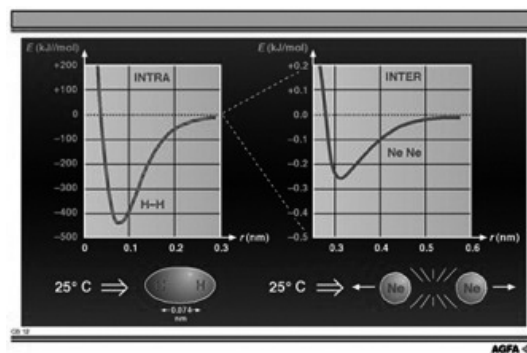
חלוקת תופעת הקישור לסוגים שונים

השוני בין האטרקציה בין אטומי מימן לאטרקציה בין אטומי גז אציל מאפשר את המיין המקובל תוך-מולקולרי ↔ בין-מולקולרי. אולם השוני הוא במאפיינים של האטרקציה, ולא במקורה (אופטימיזציה של כוחות קולוניים מנוגדים). השוני נובע ישירות מהמבנה האלקטרוני של האטומים (אכלוס רמות האנרגיה שלהם) ואינו תוצאה של סוג האטום (אל-מתכת ↔ גז אציל) או כל סיווג אנושי אחר, שהרי אין אטום ש"יודע" לאיזו קבוצת יסודות הוא שייך.

מקורות

http://itl.chem.ufl.edu/2045/lectures/lec_g.html

<http://wine1.sb.fsu.edu/chm1045/chm1045.htm>



איור 2. רצף של סוגי קישור

באיור 2 רואים שתי עקומות דומות לאיור מס' 1 ובמאמרה של תמי. מתוארת התלות של אנרגיית המערכת של שני אטומים כפונקציה של מידת ההתקרבות ביניהם. נדגיש את הדומה והשונה בהשוואת שתי העקומות.

הדומה: בשתי העקומות המשיכה ההדדית בין האטומים גוברת עם התקרבותם עד למרחק אופטימום שמעבר לו גוברת הדחייה עקב החפיפה של ענני האלקטרוני והדחייה של הגרעינים.

השונה: סדרי הגודל של הירידה באנרגיה: במימן אנרגיית הקשר היא 436 kJ/mol ואילו האנרגיה המשתחררת עקב התקרבות אטומי הניאון היא כ- 250 J/mol בלבד (כ-0.06%).

אטומי המימן קשורים קוולנטית זה לזה, ומולקולת המימן יציבה בטמפרטורת החדר. "אנרגיית האיחוי" של אטומי הניאון זניחה לעומת האנרגיה התרמית של הגז בטמפרטורת החדר, לכן מולקולות ניאון אינן יציבות.

טווח הפעולה שונה גם כן. במרחק בין-אטומי של 0.74 Å (0.074 ננומטר), אנרגיית האיחוי של מולקולת המימן במינימום; זהו אורך הקשר הקוולנטי שלה. המינימום באנרגיית האיחוי של אטומי הניאון הוא במרחק בין-אטומי של כ-3.2 Å (מרחק הגדול ביותר מפי 4).

גם התלות המתמטית של האנרגיה במרחק שונה: בקשר הקוולנטי האנרגיה תלויה בהופכי של המרחק (כלומר, לפי r^{-1}), ואילו במקרה של כוחות הפיזור התלות היא לפי r^{-6} .

באיור 3 רואים את השפעת הגודל של אטומי הגז האציל