



גישה חדשה להוראת הנושא קישור כימי

תמי לוי נחום*

תוכנית לימודים

חוקרים בהוראת המדעים, עם מפתחי תכניות לימודים ועם כימאים ידועי-שם בארץ ובעולם גובש **מודל הוראה אלטרנטיבי לנושא הקישור הכימי**.

הפרק "הקשרים שבחומר" במבנית "יחסים וקשרים בעולם החומרים" – מבנית חובה**, 3 יח"ל – מבוסס על הגישה המתוארת במאמר זה.

משנים גישה...

על פי המודל החדש, יש לבסס בקרב התלמידים את עקרונות היסוד המרכזיים העומדים בבסיס המושג קישור כימי, **עקרונות המשותפים לכל סוגי הקשרים**. כדי להבין את מהות הקישור הכימי וכדי לקבל כלים להבנת המורכבות של מגוון החומרים הקיימים היום בעולמנו, התופעות והתכונות לסוגיהן – יש צורך בהעמקה של הנושא. על בסיס המודל שפותח, ובהתאם לתכנית הלימודים החדשה ל-3 יח"ל, פותחה המבנית **"יחסים וקשרים בעולם החומרים"**, בקבוצת הכימיה במחלקה להוראת המדעים, במכון ויצמן למדע. על תוכני המבנית כולה ועל מבנה הפרקים שבה – תוכלו לקרוא במאמר שבעלון זה בעמוד 45.

המבנית מיועדת **לתלמידי כיתות י"א** המתמחים בכימיה. ייתכן שחלקם ילמדו בהמשך ביחידה החמישית ובמסגרתה יתמודדו עם נושאים מורכבים יותר המבוססים על הבנת המבנה האלקטרוני של החומר. הפרק הראשון במבנית זו עוסק בקישור כימי. מבנה הפרק מוסבר לתלמידים גם במהלך הפרק עצמו. בהתאם למודל ההוראה החדש שפותח, הנושא מוצג בפרק מכיוון העולם הנו-סקופי לכיוון העולם המאקרוסקופי. בחלק הראשון:

■ דיון קצר במודל האטום הבודד – חוק קולון ומושג האורביטל

רקע כללי

קישור כימי ומבנה החומרים הם נושאים מרכזיים בהוראת הכימיה, והבנתם חיונית ללימוד נושאים רבים בכימיה. ממחקרים רבים בארץ ובעולם עולה כי קיימים קשיי למידה רבים בנושאים אלו. בישראל, במחלקה להוראת המדעים של מכון ויצמן למדע ובמרכז הארצי למורי הכימיה, נערך ניתוח בחינת הבגרות בכימיה מדי שנה, במהלך 15 השנים האחרונות. ניתוחים אלו חשפו טעויות המשגה חמורות בנושא מבנה וקישור כימי. מסתבר שעל אף המאמצים להביא לידיעת המערכת – מורים, כותבי תכניות לימודים וחוקרים בהוראת המדעים – את הבעיות בהבנת מושגי המפתח בנושא זה, וחרף הניסיונות לפתור בעיות אלו, הטעויות חוזרות על עצמן מדי שנה ולעיתים אף מחריפות.

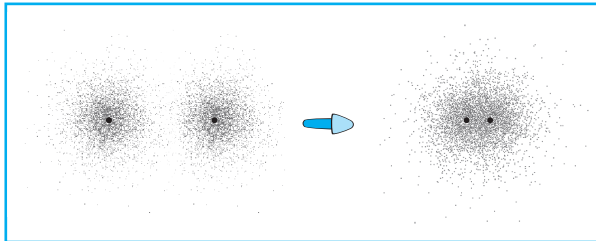
בארבע השנים האחרונות נערך מחקר בקבוצת הכימיה במחלקה להוראת המדעים של מכון ויצמן למדע שמתבסס על 14 שנים של ניתוח בחינות בגרות. ממחקר זה אנו מסיקים כי הטעויות החוזרות נובעות לא רק מקושי בסיסי בהבנת נושא מורכב זה, אלא גם מגורמים הקשורים בדרכים להערכת הנושא ובגישת ההוראה. לא נפרט את פרטי המחקר ואת תוצאותיו, רק נסכם ונאמר כי הממצאים הביאו אותנו למסקנה שיש לערוך **שינוי תפיסתי-מערכתי בהוראה ובהערכת הנושא**. בעבודה משותפת עם מורים מובילים, עם

* תמי לוי נחום, דוקטורנטית בהנחיית פרופ' אבי הופשטיין וד"ר רחל ממלוק-נעמן, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

** המבנית פותחה בקבוצת הכימיה, במחלקה להוראת המדעים בראשותו של פרופ' אבי הופשטיין, מכון ויצמן למדע. ריכוז הצוות: ד"ר רחל ממלוק נעמן וד"ר יעל שורץ, צוות הפיתוח והכתיבה של הפרק הראשון: תמי לוי נחום, ד"ר יעל שורץ, ד"ר רות בן-צבי וזיוה בר-דב. יועץ פדגוגי: פרופ' אבי הופשטיין, יועץ מדעי: ד"ר ליאור קרוניק.

- מה קורה כשאטום "פוגש" אטום? – המושגים, העקרונות וסוגי הקישור – בהרחבה
- מולקולות רב-אטומיות – קשרים, צורות וקוטביות המולקולה
- בחלק השני: צברים של חלקיקים: עולם החומרים – מבנה, תכונות ותופעות

הסתברות למציאת אלקטרון), נקודת האיזון בין כוחות המשיכה לבין כוחות הדחייה האלקטרוסטטיים (שבה שקול הכוחות הוא אפס), הייצוב האנרגטי (מינימום בגרף האנרגיה), אנרגיית הקשר ואורך הקשר (ראו איור 1). כל המושגים והעקרונות הללו מודגמים באופן מפורט באמצעות הקשר שנוצר בין שני אטומי מימן ליצירתה של מולקולת מימן. (ראו איור 2).



איור 2: ייצוג של אטומי מימן בודדים הנקשרים ליצירת מולקולת מימן

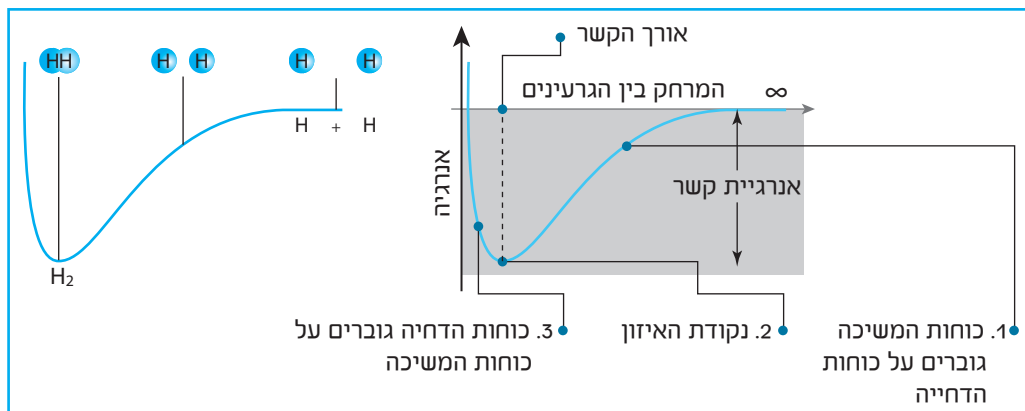
בהמשך מוצג המושג **אלקטרושליליות** שאינו נכלל בסילבוס של כיתה י', ובהקשר זה מוצג בפניהם **רצף של קשרים** מהקוולנטי הטהור (שנלמד ברמה בסיסית בכיתה י') ועד לקישור היוני שבו ההפרש באלקטרושליליות גדול במיוחד. הדיון הוא לגבי **שני אטומים** בלבד, ועדיין ללא התייחסות לגורמים הנוספים שקשורים בצבר ובמבנה. כדוגמה לקשר קוטבי בין שני אטומים אנו מתייחסים למימן כלורי ולמימן פלואורי. כדוגמה לקשר יוני בין שני אטומים אנו דנים במולקולת נתרן כלורי במצב הגזי. את כל סוגי הקישור הקיימים

שימו לב: על פי התכנית החדשה **לכיתה י'**, מוצגים בפני התלמידים ארבעה סוגי מבנים – המבנה המולקולרי, היוני, האטומרי והמתכתי, ובכל מבנה מפורטים סוגי הקשרים הקיימים בו. הדגשים בגישה זו מותאמים לכלל תלמידי כיתה י' שיש לצייד אותם באוריינות כימית בסיסית בלבד. בפרק זה אין אנו 'חוזרים אחורה' ומובן שאין כל כוונה שהתלמידים ילמדו את הנושא מההתחלה; הנחתנו היא שהתלמידים ימשיכו ללמוד על הקשרים ועל המבנה של החומר על בסיס הידע שרכשו בכיתה י', באופן ספירלי, והפעם יילמד המושג בצורה מעמיקה יותר ובהתאם לסילבוס של התכנית החדשה.

החלק הראשון של הפרק:

"הפלוס והמינוס ומה שביניהם"

כאמור, בכוונתנו לבסס לתלמידים את מושגי המפתח ועקרונות היסוד הדרושים להבנה עמוקה יותר של הקשר הכימי, כגון: חוק קולון, האורביטל (בהתבסס על המונח:



איור 1: שינויי האנרגיה כפונקציה של המרחק בין שני אטומי מימן



איור 3: סקלה של סוגי הקישור וחוזקם היחסי

יוני בין האטומים. ניתן לומר שבמהלך ההתקרבות של האטומים זה לזה, אלקטרון הערכיות של הנתרן עובר בהדרגה לסביבתו של אטום הכלור שאליו הוא נמשך בעוצמה רבה יותר; בסופו של תהליך היווצרות הקשר בנקודת האיזון ניתן לתאר זוג יונים הקשורים יחד, ועבורם נמדדו אנרגיית הקשר ואורך הקשר.

יש מקרים שבהם קיים הפרש באלקטרושליליות בין שני האטומים שיוצרים קשר, אבל כתוצאה ממספר גורמים אין מעבר כמעט מלא של אלקטרון מאטום לאטום. במקרים אלה ניתן לומר כי בתהליך ההתקרבות של האטומים זה לזה נוצר אורביטל מולקולרי שאינו סימטרי. האורביטל מתאר מצב שבו יש סיכוי למצוא את זוג האלקטרונים הקושרים בסביבת אחד משני האטומים בעדיפות, ותמיד יהיה זה האטום בעל האלקטרושליליות הגבוהה יותר.

כאמור, ייתכן גם קשר ואן-דר-ואלס בין שני אטומים. בתהליך שבו שני אטומי ארגון, למשל, מתקרבים זה לזה, כוחות המשיכה גדולים מכוחות הדחייה עד לנקודת האיזון. במהלך ההתקרבות לא נוצר אורביטל משותף, ואין מעבר של אלקטרון מאטום לאטום. כלומר, בקשר זה האלקטרונים הערכיים של כל אחד משני האטומים מתוארים באותו אופן גם לאחר שנוצר הקשר, והקשר מוגדר על פי אנרגיה ואורך ספציפיים. למעשה, את כל סוגי הקשרים שתוארו עד כה ניתן להגדיר באמצעות אורך קשר אופייני הנמדד בנקודת האיזון וכן אנרגיית הקשר שנפלטה בזמן יצירתו של הקשר.

ובכל זאת, על אף המשותף הרב בין כל סוגי הקשרים, ישנם מאפיינים שהופכים את הקשרים לשונים זה מזה,

ניתן להסביר באמצעות אותם עקרונות ומושגים שצוינו לעיל. לרבים מן הקשרים בין שני אטומים כלשהם נמדדו באופן אמפירי ערכים של אנרגיית קשר ואורך קשר שהם ספציפיים לזוג האטומים הנמדד; את כל הקשרים ניתן להסביר בנקודת האיזון בין כוחות המשיכה לבין כוחות הדחייה, שמתבטאת במינימום בגרף האנרגיה. כבר בשלב זה מוצגים בפניהם גם קשרי מימן וגם אינטראקציות ואן-דר-ואלס כדי "לפרוס" בפניהם את **הסקלה הרחבה של סוגי הקשרים**, אגב שימת דגש על חוזקי הקשרים כפי שניתן לראות באיור מס' 3.

מהו המשותף ומהו השונה בין הקשרים הכימיים?

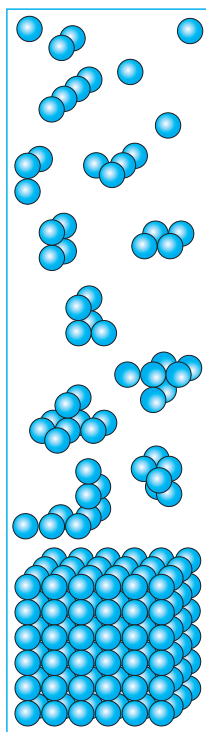
בכל המקרים שבהם שני אטומים מתקרבים זה לזה, ניתן להכליל ולומר שעד לנקודת האיזון כוחות המשיכה גוברים על כוחות הדחייה, ולכן תהליך ההתקרבות של האטומים זה לזה נמשך עד ששקול הכוחות הוא אפס. כאשר הקשר שנוצר בין שני האטומים הוא קוולנטי טהור, ניתן לומר שבמהלך ההתקרבות של האטומים זה לזה, הולך ומתהווה אורביטל מולקולרי המתאר הסתברות סימטרית למציאת זוג האלקטרונים הקושר סביב כל אחד מגרעיני האטומים הקשורים.

המקרה הקיצוני ביותר על הרצף שבין הקשר הקוולנטי הטהור לקשר היוני, הוא קשר יוני שבו ההפרש בערכי האלקטרושליליות בין שני האטומים הוא גדול יחסית. גם כאשר שני האטומים כלור ונתרן מתקרבים זה לזה, כוחות המשיכה ביניהם חזקים יותר מכוחות הדחייה. כל זה קורה עד לנקודת האיזון שבה הכוחות משתווים, ולכן שקול הכוחות הוא אפס. בנקודה זו קיים קשר

האפשר, כזה שיספק הסבר אחיד לתופעת הקישור, ומצד שני, אנו מאמינים שריבוי מודלים ויזואליים הוא חיוני ונחוץ, והדיון במודלים השונים חשוב ביותר.

עד כה, בחלק הראשון של הפרק, התמקד הדיון באטום הבודד, בזוגות אטומים ובמולקולות רב-אטומיות (בתכונות המולקולה הבודדת), ורק בשלב זה אנו עוברים לדון בצבר של חלקיקים – עולם החומרים.

החלק השני של הפרק: צברים של חלקיקים



החלק השני של הפרק עוסק בעולם החומרים, ואנו מתייחסים לשתי קבוצות חומרים – החומרים המולקולריים וחומרים בעלי מבני ענק.

כאשר דנים באינטראקציות הקיימות בין מולקולות, חוזרים לדיון הראשוני באינטראקציות ואן-דר-ואלס שהוצג בתחילת הפרק. כאן המקום להרחיב ולפרט מהם הגורמים המשפיעים על חוזקן של אינטראקציות אלו. חלק זה נלמד בדומה מאוד להוראה המסורתית, מלבד הדגשים וההתייחסות המיוחדת לתרכובות הפחמן ששולבו בכל המבניות בהתאם לסילבוס של התכנית החדשה. התלמידים נחשפים לקבוצות

הפונקציונליות השונות ולקשרים הקיימים בין המולקולות בחומרים המולקולריים השונים.

בהמשך חלק זה הדיון מתמקד בחומרים בעלי מבנה ענק. מה קורה כשאטומי פחמן רבים מתלכדים ונקשרים? מה קורה כשאטומי נתרן רבים נקשרים? מה קורה כאשר אטומי נתרן וכלור רבים נקשרים? אילו קשרים נוצרים בכל מקרה ומהו המבנה שמתקבל? בכל המקרים הללו מוסבר לתלמידים שמצב שבו שלושה אטומים קשורים יחד יציב יותר ממצב שבו שני

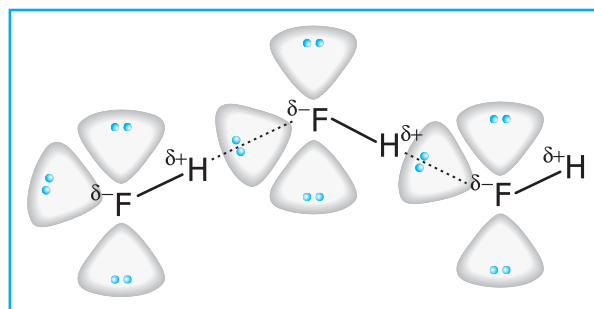
ולפיכך מגוון החומרים, התכונות והתופעות בעולמנו הוא עצום ומרתק. להלן דוגמאות למאפיינים השונים של הקשרים הכימיים:

■ לכל קשר ישנם אנרגיה ואורך אופייניים שמסבירים את השוני בחוזקי הקשרים.

■ ישנם קשרים שבהם מעורבים האלקטרונים הערכיים במידה זו או אחרת, כגון קשר קוולנטי, קשר קוטבי, קשר יוני וקשר מימני. לעומת זאת, קשרי הוואן-דר-ואלס נוצרים כתוצאה מכוחות משיכה חשמליים בין דיפולים רגעיים הנובעים מפיזור לא אחיד של ענני האלקטרונים על פני האטומים, אולם אין שיתוף של אלקטרונים ערכיים בין שני האטומים.

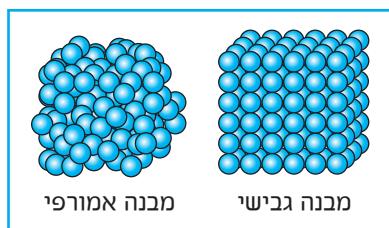
■ ישנם קשרים כיווניים – כאלה שניתן לייחס להם העדפה גאומטרית מסוימת – בהשוואה לקשרים שאינם כיווניים. לדוגמה, קשר קוולנטי וקשר מימני הם כיווניים, בעוד שקשר ואן-דר-ואלס אינו כיווני.

כדוגמה לקשר כיווני, מוצג בפרק המודל הבא המתאר שלוש מולקולות מימן פלואורי הקשורות זו לזו באמצעות קשרי מימן:



איור 4: מודל של 3 מולקולות מימן פלואורי הקשורות ביניהן בקשרי מימן

בהמשך הפרק ישנה התייחסות למאפייני המולקולה הבודדת, המורכבת משני אטומים ויותר: הקשרים שבה, המבנה שלה, קוטביותה או אי-קוטביותה ועוד; בכל הפרק מוצגים מודלים מוחשיים רבים. כלומר, מצד אחד נעשה ניסיון לבסס את הבנת הקישור הכימי על עקרונות ומושגים משותפים, על מנת ליצור מודל קוהרנטי ככל



איור 5

חלק מסכם: קשרים בקשרים

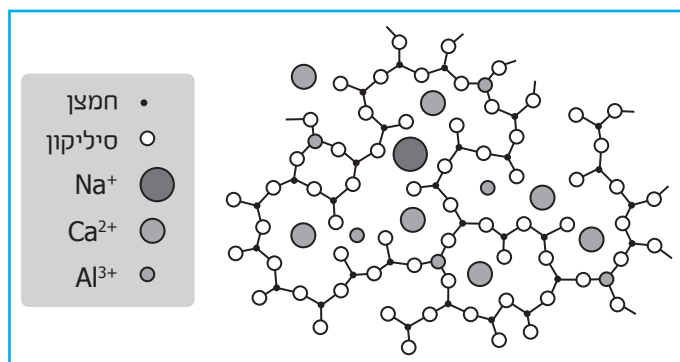
הפרק כולו מסכם דרך ניסוי חקר העוסק בגלוקוז, צמר-גפן, כותנה גולמית וחיתול חד-פעמי... באמצעות הניסוי חוזרים ודנים בסוגי הקישור השונים: קשרי מימן בין מולקולות ובתוך מולקולות (בין חלקים שונים במולקולה), קשרים קוולנטיים וקוטביים תוך מולקולריים ובין מולקולות (קשרי צילוב), קשרים יוניים, קשרי ואן-דר-ואלס וקשרי מימן עם מולקולות מים. כמו כן דנים במושגים חשובים כגון: מסיסות במים, ספיגות מים, חלק הידרופובי וחלק הידרופילי.

לאורך כל הפרק משולבות פעילויות רבות: דפי עבודה ובהם שאלות חשיבה ושאלות תרגול, פעילויות ברשת האינטרנט שכוללות המחשות לקשרים, למבנה ולתכונות החומרים; ניסויי חקר, פעילויות בקבוצות, מפות מושגים וצפייה בסרטים.

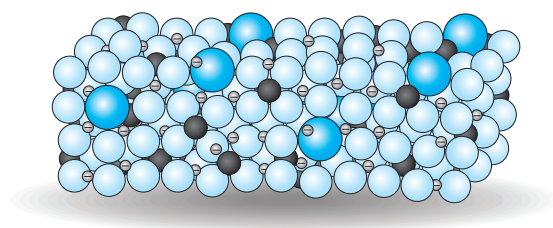
אטומים קשורים יחד, ואילו מצב של ארבעה אטומים הקשורים יחד יציב יותר מזה של שלושה אטומים וכן הלאה. לדוגמה – Na_3 יציב יותר מ- Na_2 ו- Na_4 יציב יותר מ- Na_3Cl_3 ; באופן דומה, Na_3Cl_3 יציב יותר מ- Na_2Cl_2 וכן הלאה.

בהקשר זה מודגש לתלמידים שבמקרה של חומרים מולקולריים, התארגנות החלקיקים בצבר היא שונה. בחומרים הבנויים ממולקולות, המולקולות מוגדרות על פי מספר האטומים הקשורים בהן, סוג האטומים והמבנה שלהן. בין המולקולות הללו קיימים כוחות חלשים יותר. על מנת להמחיש את ההבדל בקשרים ובהיערכות החלקיקים, ישנן מספר הפניות לאנימציות ברשת האינטרנט, שבהן מומחש המבנה הענקי, כאשר הפעילויות הרלוונטיות מפורטות בספר.

כיוון שרוב רובם של החומרים שהם בעלי מבנה ענק הם מוצקים בטמפרטורת החדר, מצאנו לנכון לדון בחלק זה במבנה גבישי ובמבנה אמורפי של מוצקים (ראו איור 5). נושא זה נכלל בסילבוס של התכנית החדשה. בפרק קיימת גם התייחסות למבנים גבישיים שונים כיוון שהתארגנות מסודרת של חלקיקים יכולה להיעשות בדרכים שונות. בסופו של חלק זה מוצגים שני חומרים מעניינים ושימושיים: הפלדה והזכוכית (ראו איורים 6 ו- 7).



איור 7: מודל דו-ממדי למבנה מורכב של זכוכית מבנה של סיליקאט הקשורים בו יונים שונים



איור 6: מודל המתאר סגסוגת של ברזל עם פחמן ומתכת נוספת