

מכירים חומרים חדשים: כלובים מולקולריים

שכבת גיל

חטיבה עליונה - כיתות י"א – י"ב

תקציר הפעילות

בפעילות זו התלמידים יכירו את המבנה של כלובים מולקולריים – קבוצת חומרים בעלת חשיבות בתחומים רבים. התלמידים יצפו בסרטונים המציגים את הנושא, יגזרו ויקפלו מודל המציג את המבנה של כלוב מולקולרי מסוים ויבינו מהם את הכוחות שמייצבים מבנה זה.

משך הפעילות

כשני שיעורים, אם הפעילות מתבצעת כולה בכיתה. אפשר לתת לתלמידים לבנות את המודל בבית ולסכם את הנושא בכיתה במשך זמן קצר יותר.

מטרות הפעילות

- להעשיר את התלמידים בנושא בחזית המדע.
- להבין נושא עכשווי במדע בעזרת ידע בסיסי שנלמד בשיעורי הכימיה.
- לקשר בין מחקר כימי חדשני לשימושים בחיי היום-יום.

מושגים מתוכנית הלימודים

מבנה וקישור, רדיוס אטומי

מיומנויות

יישום ידע, יצירתיות, שיתוף פעולה, שימוש בייצוגים שונים

אופי הלמידה

יחידים, זוגות או צוותים

סוג הפעילות

פעילות להקניית הנושא או לסיכום נושא

- "3-D Structure of the Molecular Cage": <https://bit.ly/2NwrkU0>
- "How to build a nanocage: Self-assembling silica": <https://bit.ly/2Ly7Ai6>
- "Molecular cages – the hole story": <https://bit.ly/2xztbAN>

הכנות לקראת הפעילות

- להחליט אם נותנים לכל התלמידים להכין את הפעילות הזאת בלבד, או שמחלקים אותם לקבוצות וכל קבוצה מקבלת להכין פעילות אחרת. לדוגמה: פעילות זו היא אחת ממגוון פעילויות שנושאהן "מכירים חומרים חדשים" או "מכירים מוצר":

- מכירים חומרים חדשים: נחלים יוניים (מבנה וקישור)
- מכירים מוצר ומתכננים ניסוי: נחל מחיקה (מבנה וקישור)
- מכירים מוצר: כימיה בראש גפרור (חמצון-חיזור)
- מכירים מוצר: אלכוה'ל (מבנה וקישור, חלבונים)

- בסיכום כל קבוצה תציג בפני הכיתה את החומר או את המוצר שהכירה. אירוע כזה יכול גם להתאים לערב מגמה, ערב הורים-תלמידים וכו'. בלמידה מרחוק כל קבוצה תציג את הפעילות שלה ב"זום".
- לחלק את התלמידים לזוגות או קבוצות, במידת הצורך, לפי אופן הפעילות שנבחר.
- לצפות בשלושת הסרטונים ולבחור עבור התלמידים את הסרטון או הסרטונים שמתאימים לכם.
- לדאוג לאפשרות הקרנה של הסרטונים בכיתה.

מה עושים?

קראו את קטע המידע הבא:

מהם כלובים מולקולריים?
כלובים מולקולריים נוצרים כאשר מולקולות מתחברות זו לזו, באמצעות קשרי מימן או קשרים קוולנטיים, ליצירת מבנה סגור שבתוכו חלל קבוע. בדופנות המבנה הסגור ישנם פתחים. אטומים, יונים או מולקולות בגודל מתאים יכולים להיכנס ולצאת מהחלל שבמרכז הכלוב דרך הפתחים הנמצאים בדופנות בכלוב.

הכלובים יכולים להתחבר אחד לשני, כמו אבני לֶגו, וליצור מבנים ענקיים תלת-ממדיים. מולקולה שנכנסת לחלל בכלוב אחד יכולה להתקדם לחללים בכלובים הבאים, שכן כל החללים מתחברים למעין תעלות בתוך המבנה הענק.

לכלובים מולקולריים שימושים רבים. לדוגמה:

- זירוז תגובות כימיות (קטליזה): המגיבים והזרז נכנסים לחללים מתאימים בכלובים, והתגובה מתרחשת במהירות וביעילות.
- נשיאת תרופה בגוף בתוך הכלוב המולקולרי עד לאתר המטרה בגוף: התרופה כלואה בכלוב מולקולרי ומשתחררת ממנו בדיוק במקום בגוף שבו היא נחוצה. דבר זה יכול למנוע תופעות לוואי ופגיעה באיברים אחרים. כלובים מולקולריים מסוימים מתמוססים במים, ולכן יכולים להוביל בדם תרופה הכלואה בחלל שבתוכם, ושהיא עצמה הידרופובית ולא יכולה להתמוסס בדם.
- הפרדת חומרים: ההפרדה יכולה להיות מבוססת על גודל: הפרדה בין חומרים שנכנסים לכלוב ובין חומרים שאינם נכנסים לכלוב. ההפרדה יכולה להתבסס גם על קצב דיפוזיה שונה דרך מבנה ענק של כלובים מולקולריים: חלק מהחומרים עוברים מהר ואחרים מתעכבים מאחור. כך אפשר לנקות תערובות של חומרים מחומרים בלתי רצויים.

צפו בסרטונים המציגים כלובים מולקולריים, בקישורים שקיבלתם מהמורה.

לבחור מתוך הסרטונים הבאים:

- "3-D Structure of the Molecular Cage": <https://bit.ly/2NwrkU0>
- "How to build a nanocage: Self-assembling silica": <https://bit.ly/2Ly7Ai6>
- "Molecular cages – the hole story": <https://bit.ly/2xztbAN>

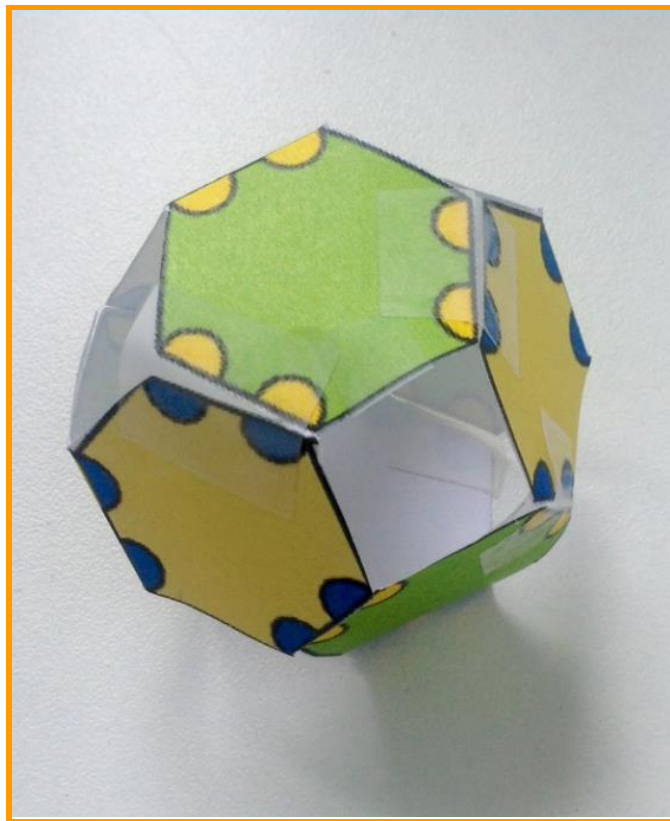
- קבלו מהמורה דף עם גזרה לשם קיפול מודל של כלוב מולקולרי.
הגזרה לקיפול נמצאת בקישור:

<http://science.sciencemag.org/content/sci/333/6041/436/F1.large.jpg>

יש לבקש מהתלמידים להגדיל את הגזרה עצמה (חלק C בדף) על דף A4 שלם ולהדפיסה.

- הדפיסו את הגזרה (חלק C בדף) על דף A4 שלם, רצוי בצבע.

- גזרו את הגזרה מהדף וקפלו על הקווים. ששת הריבועים הלבנים שמופיעים בגזרה נחוצים בזמן הקיפול ויצירת החיבורים הראשונים, אך בהמשך יש לגזור אותם החוצה. הדביקו חתיכות קטנות של סלוטייף שקוף מבחוץ, **רק על המשושים הצהובים והירוקים**, כדי לקבע את המבנה.
 - לאחר מספר חיבורים, כשהגוף יציב, גזרו החוצה את הריבועים הלבנים, ואז הדביקו חתיכות נוספות של סלוטייף כדי לייצב את הגוף סופית.
- דוגמה למודל שמתקבל לאחר הקיפול וההדבקה:**



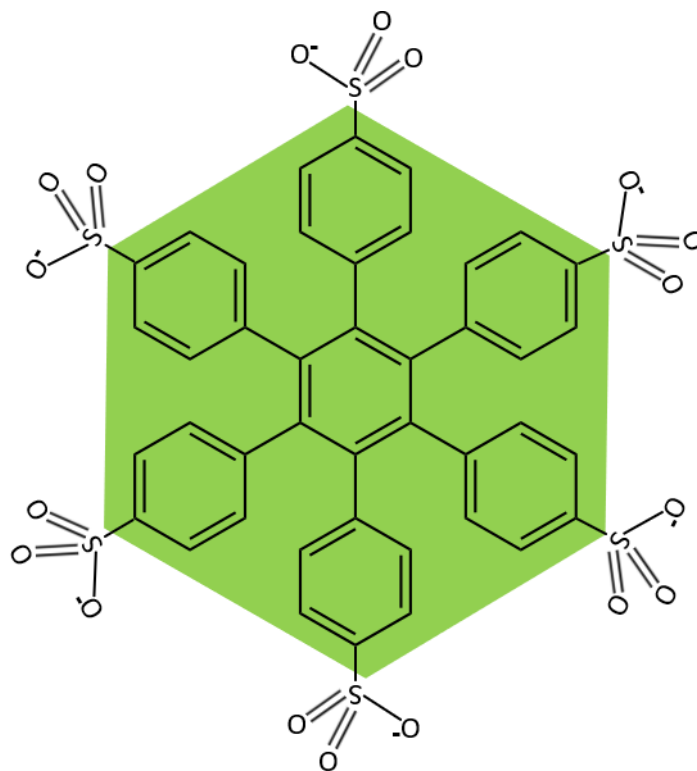
צילום: רותי שטנגר. הגזרה לקיפול נלקחה מהאתר:

<http://science.sciencemag.org/content/sci/333/6041/436/F1.large.jpg>

· התבוננו במבנה שיצרתם:

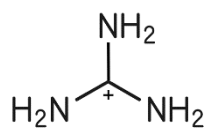
- כמה פאות סגורות קיימות במבנה? שמונה: ארבע ירוקות וארבע צהובות.
- כמה פתחים נמצאים במבנה? שישה: במקומות שבהם היו הריבועים הלבנים.

· הפאות הירוקות והפאות הצהובות מייצגות מולקולות שונות. כל פאה ירוקה היא מולקולת $\text{hexa(4-sulfonatophenyl)benzene}$



מבוסס על איור של: [Rifleman 82 \(talk\) - Own work, Public Domain](#).

בכל פאה צהובה יון חנקתי במרכז ושלושה יוני גואַנִידינְיִום (guanidinium) סביבו (ראו איור A בדף שנשלח מהמורה). בשולי הפאה נמצאות הקבוצות האמיניות של יוני הגואַנִידינְיִום:



איור: Shutterstock

הכלוב המולקולרי נוצר בגלל היווצרות קשרים בין מולקולות hexa(4-sulfonatophenyl)benzene ובין יוני הגואַנִידינְיִום (כלומר בין הפאות הירקות לצהובות במודל). מהו סוג הקשרים שנוצרים?

קשרי מימן הנוצרים בין זוגות אלקטרונים חופשיים על אטומי חמצן בקבוצות הסולפונט של hexa(4-sulfonatophenyl)benzene ובין אטומי מימן חשופים בקבוצות האמיניות של יוני הגואַנִידינְיִום. הסבירו לתלמידים שקבוצות הסולפונט מסומנות במודל על ידי חצאי עיגולים צהובים. הקבוצות האמיניות מסומנות במודל על ידי חצאי עיגולים כחולים.

· אורך של צלע במשושה בכלוב המולקולרי היא מסדר גודל של 7 אנגסטרם ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$). מדדו את אורך הצלע במשושה במודל שבניתם. פי כמה גדול אורך הצלע במודל שלכם מאורך הצלע האמיתי של כלוב מולקולרי?

התשובה תשתנה מקבוצה לקבוצה, והיא תלויה בגודל הגזרה שכל קבוצה הדפיסה. אם אורך הצלע במשושה במודל תהיה 1.5 ס"מ, אז צלע זו ארוכה פי 21,428,571 מאורך הצלע במשושה בכלוב המולקולרי.
החישוב:

$$1.5\text{ cm} : 7 \times 10^{-8}\text{ cm} = 21,428,571$$

· גודל הפתחים הריבועיים קובע את גודל האטומים או המולקולות שיכולים להיכנס לתוך הכלוב המולקולרי. התבוננו במודל שלכם וקבעו מה אורך הצלע של הפתח הריבועי בכלוב המולקולרי.
גם כ-7 אנגסטרם. הצלע של הפתח הריבועי היא, למעשה, הצלע של הדופן המשושה.

· חפשו באינטרנט את הרדיוס של אטום הגז האציל קסנון, Xe. האם אטום של קסנון יוכל להיכנס לתוך הכלוב המולקולרי שאת המודל שלו בניתם?

הרדיוס של אטום קסנון הוא 108 פיקומטר, שהם 1.08 אנגסטרם. לפיכך הקוטר של אטום קסנון הוא 2.16 אנגסטרם, והוא יכול להיכנס בקלות דרך הפתח של הכלוב המולקולרי הספציפי. התלמידים יכולים למצוא ערכים אחרים לרדיוס אטום הקסנון – תלוי בשיטת המדידה או החישוב, אך בכל מקרה אטומי קסנון יוכלו להיכנס בקלות לכלוב מולקולרי ספציפי זה.

יש להדגיש לתלמידים כי ישנם כלובים מולקולריים רבים בעלי גדלים שונים, הבנויים ממולקולות שונות מאלה שהכרנו בפעילות זו. והחישוב שנעשה כאן מתאים רק לכלוב המולקולרי הספציפי שאת המודל שלו בנינו.

מקורות

Byrne, K., Zubair, M., Zhu, N. et. al (2017). Ultra-large supramolecular coordination cages composed of endohedral Archimedean and Platonic bodies. *Nat Commun* 8, 15268. <https://doi.org/10.1038/ncomms15268>

Liu, Y., Hu, C., Comotti, A., & Ward, M. D. (2011). Supramolecular Archimedean cages assembled with 72 hydrogen bonds. *Science* 22(333), 436–440. <https://doi.org/10.1126/science.1204369>