

מכירים חומרים חדשים: כלובים מולקולריים

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

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.

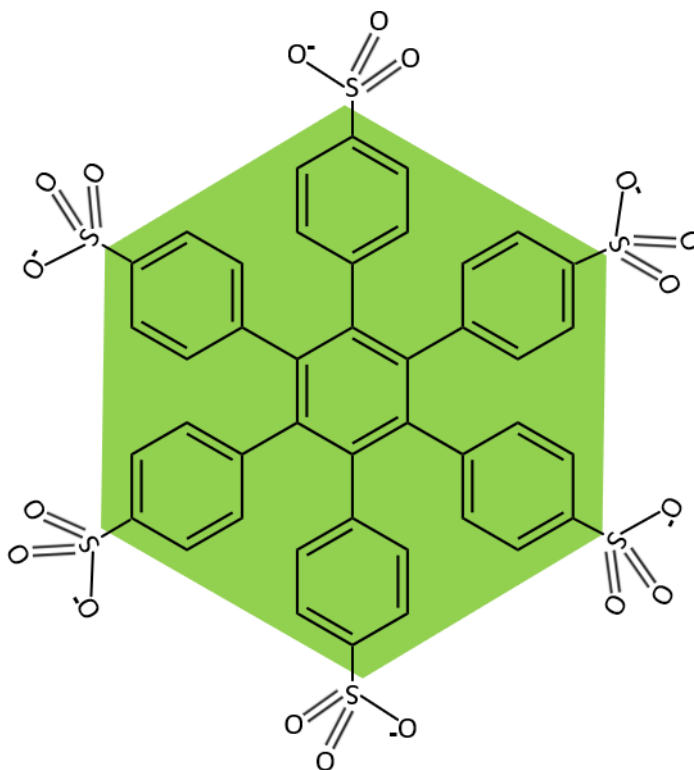
· הפרדת חומרים: ההפרדה יכולה להיות מבוססת על גודל: הפרדה בין חומרים שנכנסים לכלוב ובין חומרים שאינם נכנסים לכלוב. ההפרדה יכולה להתבסס גם על קצב דיפוזיה שונה דרך מבנה ענק של כלובים מולקולריים: חלק מהחומרים עוברים מהר ואחרים מתעכבים מאחור. כך אפשר לנקות תערובות של חומרים מחומרים בלתי רצויים.

צפו בסרטונים המציגים כלובים מולקולריים, בקישורים שקיבלתם מהמורה.

- קבלו מהמורה דף עם גזרה לשם קיפול מודל של כלוב מולקולרי.
- 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 סלוטייפ 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 סלוטייפ כדי לייצב את הגוף סופית.
- התבוננו במבנה שיצרתם:

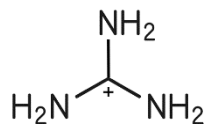
- כמה פאות סגורות קיימות במבנה?
- כמה פתחים נמצאים במבנה?

- 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 גואנידיניום (guanidinium) סביבו (ראו איור A בדף שנשלח מהמורה). בשולי הפאה נמצאות הקבוצות האמיניות של יוני הגואנידיניום:



איור: Shutterstock

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

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

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>