

# מבנה וקישור

## מבנה האטום

האטום בנוי מגרעין שבו פרוטונים, נויטרונים ואלקטרונים שנעים סביבו.

אלקטרון	נויטרון	פרוטון	החלקיק
1-	0	1+	מטען החלקיק
0.0018 (זניחה)	1	1	מסת החלקיק (ביחידות אטומיות)

## הגדרות:

**מספר אטומי:** מספר הפרוטונים שבחלקיק. מספר הפרוטונים שבחלקיק קובע את היסוד.

**המטען הגרעיני:** שווה למספר הפרוטונים שבגרעין.

**מספר מסה:** סכום מספר הפרוטונים עם מספר הנויטרונים.

**איזוטופים:** אטומים של אותו יסוד, כלומר בעלי אותו מספר פרוטונים, אך בעלי מספר נויטרונים שונה,

ולכן מספר מסה שונה.

**מטען החלקיק:** אטום שמוסר אלקטרון/ים הופך ליון חיובי ומטען החלקיק חיובי.

אטום שמקבל אלקטרון/ים הופך ליון שלילי ומטען החלקיק שלילי.

## סימול האטום:



🔔 **ציון חשוב לאיזוטופים:**

האטומים:  $^{35}\text{Cl}$ ,  $^{37}\text{Cl}$ , איזוטופים זה של זה.

האטומים:  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ , איזוטופים זה של זה.

לעתים מסתפקים ברישום מספר המסה, שכן סמל האטום "מסגיר" את המספר האטומי.

## היערכות אלקטרונים על פי רמות אנרגטיות:

האלקטרונים מסודרים ברמות אנרגטיות סביב הגרעין. האלקטרונים השליליים נמשכים לגרעין החיובי בכוחות משיכה חשמלית, והסיבה שהאלקטרונים אינם "נדבקים" לגרעין היא שהם נמצאים בתנועה מעגלית מתמדת, ולכן פועלים עליהם כוחות צנטריפוגליים, המרחיקים אותם ממרכז האטום, מהגרעין. האלקטרונים השליליים נמשכים לגרעין החיובי, לכן הרמה הראשונה, הקרובה ביותר לגרעין, מתמלאת ראשונה, ונכנסים בה עד שני אלקטרונים. אחר כך הרמה השנייה מתמלאת, ונכנסים בה עד שמונה אלקטרונים. אחר כך הרמה השלישית מתמלאת, ונכנסים בה עד 18 אלקטרונים. האלקטרונים של אשלגן,  $K_{19}$ , וסידן,  $Ca_{20}$ , נכנסים לרמה הרביעית, למרות שהרמה השלישית עוד לא מלאה:



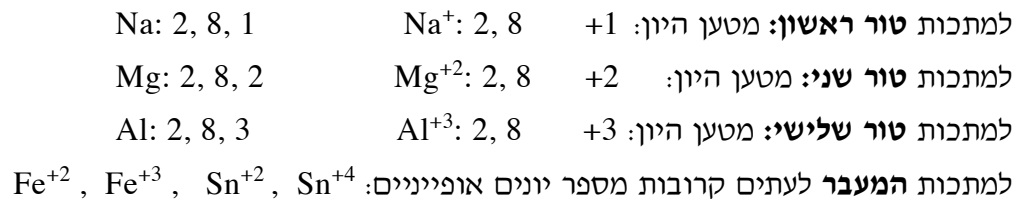
## הקשר בין היערכות האלקטרונים לבין מיקום היסוד בטבלה המחזורית

- באטומים ניטרליים מספר רמות האלקטרונים שווה למספר השורה בטבלה המחזורית.
- באטומים ניטרליים מספר האלקטרונים ברמה האחרונה שווה למספר הטור בטבלה המחזורית.

## היערכות אלקטרונים של יונים:

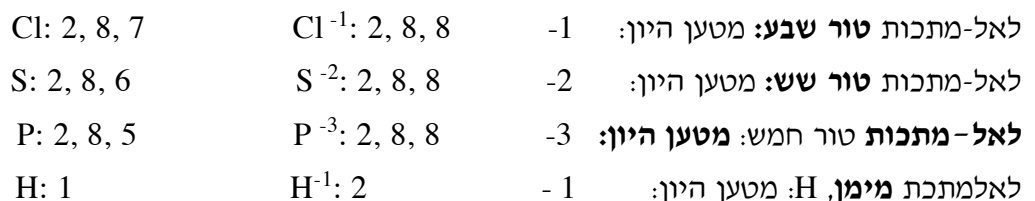
### יוניים חיוביים של מתכות:

בתרכובות יוניות האטומים של המתכת מוסרים אלקטרונים/ים מהרמה האחרונה.



### יונים שליליים של אל-מתכות:

בתרכובות יוניות לאטומים של האל-מתכות נוספים אלקטרונים/ים לרמה האחרונה.

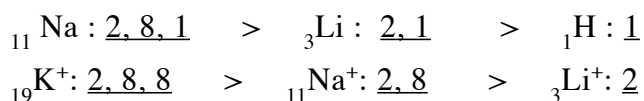


רשום היערכויות אלקטרוניים לאטומים וליונים האופייניים שלהם:

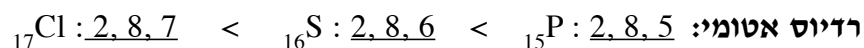
K: \_\_\_\_\_ Be: \_\_\_\_\_ N: \_\_\_\_\_ O: \_\_\_\_\_ F: \_\_\_\_\_  
 K<sup>+</sup>: \_\_\_\_\_ Be<sup>2+</sup>: \_\_\_\_\_ N<sup>3-</sup>: \_\_\_\_\_ O<sup>2-</sup>: \_\_\_\_\_ F<sup>-1</sup>: \_\_\_\_\_

### רדיוס אטומי, רדיוס יוני:

1. ככל שיש באטום יותר רמות מאוכלסות באלקטרונים, כך הרדיוס של האטום או של היון גדול יותר. לכן, כשיוורדים בטור בטבלה המחזורית הרדיוס האטומי עולה.



2. אם מספר הרמות המאוכלסות באלקטרונים שווה, ככל שהמטען הגרעיני גדול יותר, כך כוחות המשיכה החשמליים בין האלקטרונים לגרעין גדלים, ורדיוס האטום או היון קטן. לכן, כשמתקדמים בשורה בטבלה המחזורית משמאל לימין הרדיוס האטומי יורד.



א. השלימו את הטבלה.

היערכות אלקטרוניים של היון האופייני	מטען היון האופייני	היערכות אלקטרוניים של האטום הניטרלי	האטום הניטרלי
			Ca
			H
			S
			P
			Mg
			Al

ב. דרגו את האטומים על פי גודל הרדיוס האטומי שלהם, ואת היונים על פי גודל הרדיוס היוני שלהם.

## חוק קולון:

חוק קולון מבטא את הקשר בין הכוח החשמלי שפועל בין שני חלקיקים טעונים חשמלית,  $F$ , לבין המטען של החלקיקים והמרחק ביניהם.

$k$	מספר קבוע.
$q_1$	מטען אחד: באטום זה הגרעין.
$q_2$	מטען שני: באטום זה האלקטרון.
$r$	המרחק בין שני המטענים.
$F$	הכוח החשמלי הפועל בין שני מטענים.

$$|F| = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

## משמעות חוק קולון:

1. ככל שהמטענים גדולים יותר, פועלים ביניהם כוחות משיכה חשמלית חזקים יותר.
2. ככל שהמטענים רחוקים יותר זה מזה, פועלים ביניהם כוחות חשמליים חלשים יותר.

## אנרגיית יינון:

**האנרגיה שיש להשקיע, על מנת להוציא אלקטרון אחד מהרמה הרחוקה מהגרעין מאטום בודד במצבו הגזי.**

1. כשהאטומים באותו טור, ככל שהאלקטרון השלילי יוצא מרמה קרובה יותר לגרעין החיובי, אנרגיית היינון גבוהה יותר, משום שעל פי חוק קולון, ככל שהמרחק בין המטענים החשמליים קטן יותר, כוחות המשיכה החשמלית שפועלים ביניהם חזקים יותר, ויש להשקיע יותר אנרגיה על מנת להוציא את האלקטרון.
2. כשהאלקטרון יוצא מאותה רמה, ככל שהמטען הגרעיני גדול יותר, אנרגיית היינון גבוהה יותר, משום שעל פי חוק קולון, כוחות המשיכה הפועלים בין האלקטרון לבין הגרעין חזקים יותר, והאנרגיה שיש להשקיע על מנת להוציא אלקטרון מהאטום גבוהה יותר.

שאלות לדאגה?

- א. לאיזה מבין שני האטומים אנרגיית יינון גבוהה יותר: H או He? נמקו.
- ב. לאיזה מבין האטומים אנרגיית יינון גבוהה יותר: F או I? נמקו.

א. אנרגיית היינון של He גבוהה מזו של H. בשני האטומים האלקטרון יוצא מהרמה הראשונה, אולם המטען הגרעיני של He (+2) גדול מהמטען הגרעיני של H (+1) ולכן המשיכה החשמלית בין הגרעין לבין האלקטרון חזקה יותר, על פי חוק קולון, ונדרשת כמות גדולה יותר של אנרגיה על מנת להוציא את האלקטרון.

ב. אנרגיית היינון של F גבוהה מזו של I. שני האטומים נמצאים באותו טור. באטום F האלקטרון יוצא מרמה 2 ואילו באטום I האלקטרון יוצא מרמה 4. כלומר, באטום F האלקטרון יוצא מרמה קרובה יותר לגרעין, לכן, על פי חוק קולון, המשיכה החשמלית בין הגרעין לבין האלקטרון חזקה יותר ב-F, והאנרגיה הדרושה להוצאת אלקטרון מאטום F גבוהה יותר מזו שדרושה להוצאת אלקטרון מאטום I.

### אלקטרו-שליליות:

המידה שבה אטום מושך אליו אלקטרוני הקשר.

ערך זה חושב על ידי המדען פאולינג, בעזרת ערכי אנרגיית היינון והזיקה האלקטרונית של האטום. כשנוצר קשר קוולנטי בין אטומים בעלי ערכי אלקטרו-שליליות שונים, לאטום האלקטרו-שלילי יותר, יהיה מטען חלקי שלילי:  $\delta^-$ , ולאטום בעל האלקטרו-שליליות הנמוכה יותר יהיה מטען חלקי חיובי:  $\delta^+$ .

נתונים ערכי אלקטרו-שליליות של אטומים:

H							He
2.1							-
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	-
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	3.0	-
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.8	1.0	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	2.9

## הגורמים המשפיעים על ערך האלקטרו-שליליות:

1. ככל שהרדיוס האטומי קטן יותר, האלקטרו-שליליות גבוהה יותר, משום שעל פי חוק קולון, כוחות המשיכה החשמלית בין הגרעין לבין אלקטרוני הקשר חזקים יותר. כך, כשעולים בטור בטבלה המחזורית, הרדיוס האטומי יורד והאלקטרו-שליליות עולה.
2. כשהרדיוס האטומי דומה, ככל שהמטען הגרעיני עולה, האלקטרו-שליליות גבוהה יותר, משום שעל פי חוק קולון, כוחות המשיכה החשמלית בין הגרעין לבין אלקטרוני הקשר חזקים יותר, והאלקטרו-שליליות עולה. כך, כשמתקדמים בשורה משמאל לימין, האלקטרו-שליליות עולה.

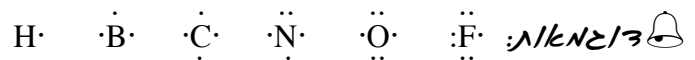
שאלון/צמחה?

- א. הסבירו מדוע האלקטרו-שליליות של N גבוהה מזו של P.
- ב. הסבירו מדוע האלקטרו-שליליות של Cl גבוהה מזו של Si.

- א. האטומים P ו-N נמצאים באותו טור. לאטום N יש שתי רמות אלקטרוניים ואילו לאטום P יש שלוש רמות אלקטרוניים. מכאן, שבאטום N המרחק בין הגרעין לבין אלקטרוני הקשר קטן יותר, לכן, על פי חוק קולון, המשיכה החשמלית בין הגרעין לבין אלקטרוני הקשר חזקה יותר, ואטום N אלקטרו-שלילי יותר.
- ב. האטומים Si ו-Cl נמצאים באותה שורה, לשניהם שלוש רמות אלקטרוניים. לאטום Cl מטען גרעיני גדול יותר, לכן, על פי חוק קולון, הגרעין של Cl מושך אליו את אלקטרוני הקשר במידה רבה יותר, והאטום Cl אלקטרו-שלילי יותר.

## נוסחת לואיס – נוסחת ייצוג אלקטרוניים של אטומים:

נוסחה שמייצגת את אלקטרוני הערכיות, שהם האלקטרוניים של הרמה האחרונה של האטום, ששווה למספר הטור בטבלה המחזורית.



## קשר קוולנטי

קשר קוולנטי הוא קשר של שיתוף אלקטרוני ערכיות בין שני אטומים (בדרך כלל). בקשר זה יש חפיפה של אורביטלים אטומיים לקבלת אורביטל מולקולרי משותף. הקשר נוצר בדרך כלל בין אלקטרוניים בלתי מזווגים בין שני אטומים קרובים. בקשר קוולנטי יש כוחות חשמליים בין הגרעינים של האטומים הקשורים לבין אלקטרוני הקשר.


קשרים קוולנטיים בין אטומים קיימים גם בחומרים מולקולריים וגם בחומרים אטומריים.

**קשר קוולנטי טהור:** קשר בין אטומים בעלי אותה אלקטרו-שליליות, לדוגמה: H - H.

**קשר קוולנטי קוטבי:** קשר בין אטומים בעלי אלקטרו-שליליות שונה.

האטום האלקטרו-שלילי יותר מקבל מטען חלקי שלילי,  $\delta^-$ , ואילו האטום הפחות אלקטרו-שלילי מקבל מטען


חלקי חיובי,  $\delta^+$ . ככל שההפרש בערכי האלקטרו-שליליות גדול יותר, הקשר הוא קוטבי יותר.

$\delta^+$	$\delta^-$	$\delta^+$	$\delta^-$	<b>לשאלה</b> 
H	S	H	Cl	
2.1	2.5	2.1	3.0	ערכי האלקטרו-שליליות:
0.5		0.9		ההפרש באלקטרו-שליליות:

### חומרים מולקולריים:

אלה בדרך כלל יסודות ותרכובות של אל-מתכות הבנויים ממולקולות: קבוצות מוגדרות של אטומים הקשורים בקשרים קוולנטיים בתוך המולקולות (אך בין המולקולות ישנם קשרים חלשים יותר).

**נוסחה מולקולרית:** נוסחה שמייצגת את מספר האטומים מכל סוג שישנם במולקולה אחת.

**לשאלה**  חמצן:  $O_{2(g)}$ , פחמן דו-חמצני:  $CO_2$ , מים:  $H_2O_{(l)}$ , גלוקוז:  $C_6H_{12}O_{6(s)}$ .

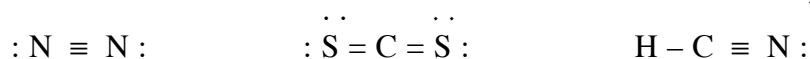
### נוסחת ייצוג אלקטרוניים (נוסחת לואיס) של מולקולות:

מציירים נוסחאות לאטומים הבודדים ויוצרים קשרים בין אלקטרוניים בלתי מזווגים בין אטומים שכנים.



### נוסחת מבנה של מולקולה:

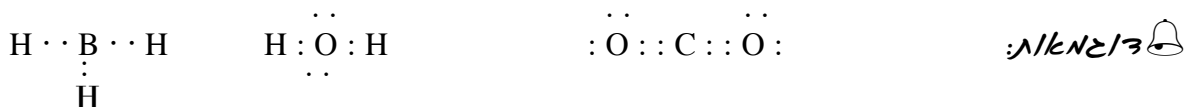
בנוסחת מבנה רושמים קו במקום כל זוג אלקטרוניים קושר, ומציינים את זוגות האלקטרוניים הלא קושרים בנקודות:



### כלל האוקטט:

בחומרים מולקולריים, בדרך כלל סביב כל אטום ברמה האחרונה יש שמונה אלקטרונים (ארבעה זוגות אלקטרונים).

יוצאים מן הכלל: אטומי המימן, H, שיש סביבם רק שני אלקטרונים, ואטומי בור, B, שיש סביבם רק שישה אלקטרונים ברמה האחרונה.



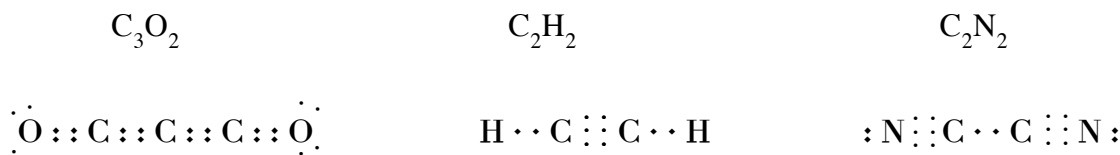
🔔 *זכור!*

🔔 **טיפ:** על מנת להצליח לרשום נוסחת ייצוג אלקטרונים למולקולה, יש למקם את האטומים שיש להם יותר אלקטרונים בלתי מזווגים במרכז, ולקשור בין האלקטרונים הבודדים הללו של אטומים שכנים.

### מולקולות בעלות מספר אטומים מרכזיים

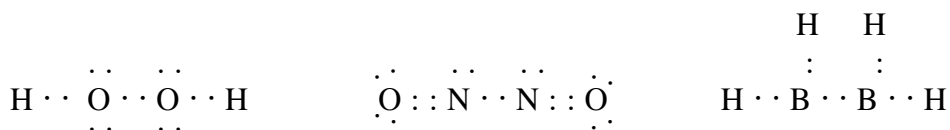
🔔 **טיפ:** אם יש שני אטומים מרכזיים או יותר, כדאי לקשור קודם את האלקטרונים הבלתי מזווגים של האטומים שבצדדים, ורק אחר כך לקשור את האלקטרונים הבלתי מזווגים של האטומים המרכזיים. זכרו לרשום גם את זוגות האלקטרונים הלא קושרים!

🔔 *זכור!*



🔔 **טיפ:** רשמו נוסחת ייצוג אלקטרונים עבור מולקולות של:  $\text{H}_2\text{O}_2$   $\text{N}_2\text{O}_2$   $\text{B}_2\text{H}_4$

✍️ פתרון:



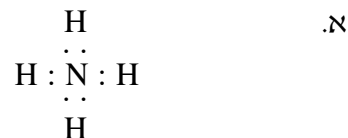


## נוסחאות ייצוג אלקטרוניים עבור יונים

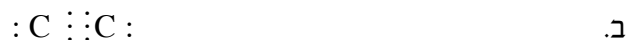
לעיתים מייצגים בעזרת נוסחת ייצוג אלקטרוניים גם יונים חיוביים ושיליים. בדוגמאות הבאות נראה כיצד ניתן לקבוע אם הנוסחה מייצגת יון חיובי, יון שלילי או מולקולה ניטרלית.

שאלה לדוגמה:

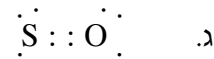
קבעו לגבי כל אחת מנוסחאות הייצוג הבאות את מטענה.



לאטום ניטרלי של N יש חמישה אלקטרוניים ברמה האחרונה. לארבעה אטומים ניטרליים של H יש ארבעה אלקטרוניים ברמה האחרונה. כלומר, אילו החלקיק היה ניטרלי, היו לו תשעה אלקטרוניים, אולם יש באיור שמונה אלקטרוניים. מכאן, שבחלקיק חסר אלקטרון אחד יחסית לחלקיק ניטרלי, וזהו יון חיובי בעל מטען +1. היום:  $\text{NH}_4^+$ .



לשני אטומים ניטרליים של C יש שמונה ( $4 \cdot 2$ ) אלקטרוניים ברמה האחרונה. בנוסחת ייצוג האלקטרוניים מופיעים עשרה אלקטרוניים. מכאן, שבחלקיק יש עודף של שני אלקטרוניים יחסית לחלקיק ניטרלי, וזהו יון שלילי בעל מטען -2. היום:  $\text{C}_2^{2-}$ .



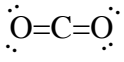
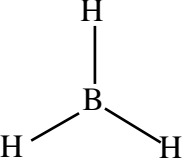
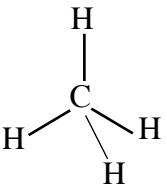
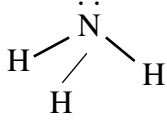
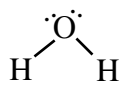
לכל אחד מהאטומים הניטרליים S ו-O יש שישה אלקטרוניים ברמה האחרונה. כלומר, אם החלקיק ניטרלי, אמורים להיות לו 12 אלקטרוניים ברמה האחרונה. ניתן לראות שבנוסחת ייצוג האלקטרוניים אכן ישנם 12 אלקטרוניים, ולכן זוהי מולקולה ניטרלית, שמטענה הוא אפס. הנוסחה המולקולרית: SO.

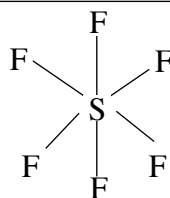
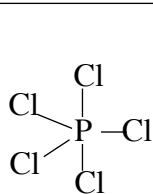
### צורות של מולקולות ונוסחת מבנה מרחבי


הצורה של המולקולה תלויה במספר האטומים שקשורים לאטום המרכזי, ובמספר זוגות האלקטרונים הלא קושרים סביב האטום המרכזי, והיא נובעת מכוחות הדחייה החשמלית בין זוגות האלקטרונים שסביב האטום המרכזי. בשאלות, צורת המולקולה תהיה נתונה.

**נוסחת מבנה מרחבי:** נוסחת מבנה שמייצגת את הצורה המרחבית של המולקולה.

יש להכיר חמש צורות:

שם הצורה	נוסחה מולקולרית	נוסחת המבנה המרחבי
קווי	$CO_2$	
משולש מישורי	$BH_3$	
טטרהאדר	$CH_4$	
פירמידה משולשת	$NH_3$	
זוויתי מישורי	$H_2O$	



ישנן צורות נוספות של מולקולות.   $PCl_5$ ,  $SF_6$ .

## קוטביות של מולקולות

או: באילו מקרים המולקולה בעלת דו-קוטב קבוע?

א. מולקולות בעלות צורה זוויתית או צורה של פירמידה משולשת הן תמיד בעלות דו-קוטב קבוע, משום שפיזור ענן האלקטרונים בהן אינו סימטרי.

ב. במולקולות בעלות צורה קווית, צורת משולש מישורי או צורת טטרהאדר:

1. אם כל האטומים שקשורים לאטום או לאטומים המרכזיים זהים, פיזור ענן האלקטרונים הוא

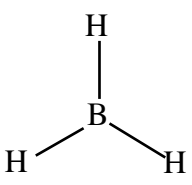
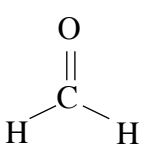
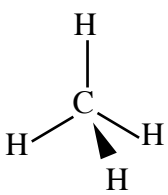
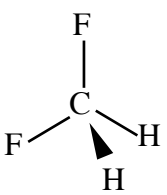
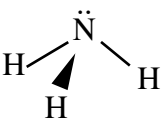
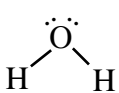
סימטרי, ואין במולקולה דו-קוטב קבוע.

2. אם האטומים שקשורים לאטום או לאטומים המרכזיים שונים זה מזה, ולכן שונים גם באלקטרו-

שליליות שלהם, פיזור ענן האלקטרונים לא סימטרי, ובמולקולה יש דו-קוטב קבוע. במולקולה קווית

דו-אטומית, יש דו-קוטב קבוע, אם האטומים שונים באלקטרו-שליליות שלהם.

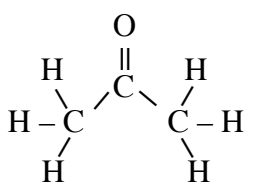
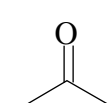
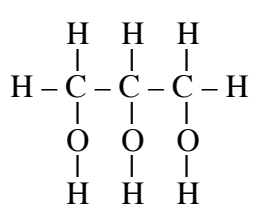
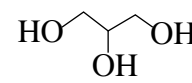
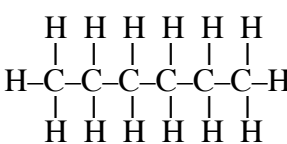
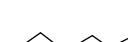
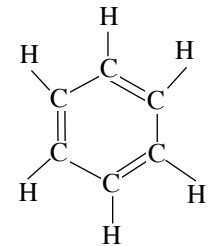
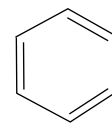
אלקטרוניקה

שם הצורה	מולקולה לא קוטבית	מולקולה קוטבית
קווי	$\ddot{\text{O}}=\text{C}=\ddot{\text{O}}$	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$
משולש מישורי		
טטרהאדר		
פירמידה משולשת	אין	
זוויתי מישורי	אין	

## נוסחת מבנה מקוצרת

בנוסחת מבנה מקוצרת לא מציינים את אטומי הפחמן ואת אטומי המימן שקשורים אליהם. מניחים שבסוף כל קשר קוולנטי יש אטום פחמן, ומשלימים את מספר המימנים כך שסביב כל אטום פחמן יהיו ארבעה קשרים קוולנטיים.

מאת/ת: 

נוסחה מולקולרית	נוסחת מבנה	נוסחת מבנה מקוצרת	החומר
$C_3H_6O$			1. אצטון
$C_3H_8O_3$			2. גליצרול
$C_6H_{14}$			3. הקסאן
$C_6H_6$			4. בנזן

רשמו נוסחת מבנה מפורטת, נוסחת מבנה מקוצרת ונוסחה מולקולרית עבור:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$

פתרון:

נוסחה מולקולרית	נוסחת מבנה מפורטת	נוסחת מבנה מקוצרת
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$  \begin{array}{cccc}  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\    &   &   &   \\  \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\    &   &   &   \\  \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H}  \end{array}  $	

### השוואת טמפרטורות הרתיחה של חומרים מולקולריים

בתהליכי ההיתוך והרתיחה של חומרים מולקולריים נשברים קשרים בין המולקולות, לכן יש לבדוק מהם הקשרים הבין-מולקולריים בכל חומר, ואילו גורמים משפיעים על חוזקם.

**כוחות בין-מולקולריים:**

**א. קשרי ונדרולס:**

בין מולקולות ישנם כוחות ונדרולס. כוחות אלה נובעים מדו-קוטב רגעי ובחלק מהחומרים גם קבוע, שנוצר במולקולות, וגורם לכוחות משיכה בין מטען חלקי חיובי  $\delta^+$  במולקולה אחת לבין מטען חלקי שלילי  $\delta^-$  במולקולה אחרת.

**חוזק קשרי הוונדרולס תלוי בעיקר בשלושה גורמים:**

1. **גודל ענן האלקטרוני של המולקולה:** ככל שיש במולקולה יותר אלקטרונים, נוצר דו-קוטב רגעי ממושך יותר וחזק יותר, וקשרי הוונדרולס בין המולקולות חזקים יותר, וטמפרטורות ההיתוך והרתיחה גבוהות יותר.

**like ?**: לאיזה מבין החומרים הבאים יש טמפרטורת גבוהה יותר:  $\text{Cl}_2$  או  $\text{Br}_2$ ? נמקו.

פתרון:  $\text{Br}_2 > \text{Cl}_2$ . שניהם חומרים מולקולריים, שבתהליך הרתיחה שלהם נשברים קשרי ונדרולס בין המולקולות. ענן האלקטרוני במולקולה של  $\text{Br}_2$  גדול יותר מזה של  $\text{Cl}_2$  (במולקולה של  $\text{Br}_2$  יש  $35 \cdot 2 = 70$  אלקטרונים ובמולקולה של  $\text{Cl}_2$  יש  $17 \cdot 2 = 34$  אלקטרונים), ולכן במולקולות  $\text{Br}_2$  נוצר דו-קוטב רגעי ארוך וממושך יותר, ולכן קשרי הוונדרולס בין מולקולות  $\text{Br}_2$  חזקים יותר, וטמפרטורת הרתיחה של  $\text{Br}_2$  גבוהה יותר.

2. **קוטביות המולקולה:** אם בנוסף לדו-קוטב הרגעי, יש במולקולה גם דו-קוטב קבוע, כוחות הוונדרולס בין המולקולות חזקים יותר וטמפרטורת הרתיחה גבוהה יותר.

**אלה?** לאיזה מבין החומרים יש טמפרטורת רתיחה גבוהה יותר: HCl או F<sub>2</sub>? נמקו.

**פתרון:** HCl > F<sub>2</sub>. שניהם חומרים מולקולריים, שבתהליך הרתיחה שלהם נשברים קשרי ונדרולס בין המולקולות. ענן האלקטרונים של המולקולות בשני החומרים דומה: 18 אלקטרונים, ולכן חוזק קשרי הוונדרולס על בסיס דו-קוטב רגעי דומה, אך במולקולות של HCl יש גם דו-קוטב קבוע, נוסף על דו-קוטב הרגעי, ואילו ביסוד F<sub>2</sub> אין דו-קוטב קבוע, לכן כוחות ונדרולס בין המולקולות של HCl חזקים יותר, וטמפרטורת הרתיחה של HCl גבוהה יותר מזו של F<sub>2</sub>.

**טיפים:** למולקולות של יסודות אין דו-קוטב קבוע. **צמחיה:** N<sub>2</sub>.  
לתרכובות של פחמן ומימן בלבד **אין** דו-קוטב קבוע. **צמחיה:** C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>.  
לתרכובות פחמן, מימן וחמצן תמיד יש דו-קוטב קבוע. **צמחיה:** C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>.

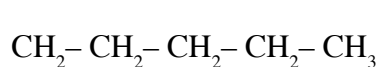
3. **שטח המגע בין המולקולות:** ככל שהמולקולה ארוכה יותר, שטח המגע בין המולקולות גדול יותר, ואז קשרי הוונדרולס בין המולקולות חזקים יותר, וטמפרטורת הרתיחה גבוהה יותר.  
**טיפ:** גזים אצילים הם חומרים מולקולריים שבנויים מאטומים בודדים שצורתם עגולה. לכן, שטח המגע בין ה"מולקולות" במצב נוזל ומוצק מינימלי, קשרי הוונדרולס חלשים יחסית, וטמפרטורות ההיתוך הרתיחה נמוכות יחסית.

**אלה?** לאיזה מבין החומרים הבאים יש טמפרטורת רתיחה גבוהה יותר, F<sub>2</sub> או Ar? נמקו.

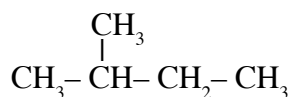
**פתרון:** F<sub>2</sub> > Ar. שניהם חומרים מולקולריים, שבתהליך הרתיחה שלהם נשברים קשרי ונדרולס בין המולקולות. ענן האלקטרונים של המולקולות בשני החומרים דומה: 18 אלקטרונים, אולם בין המולקולות של F<sub>2</sub> יש יותר שטח מגע בין המולקולות מאשר בגז האציל Ar, ולכן קשרי הוונדרולס על בסיס דו-קוטב רגעי חזקים יותר בין מולקולות F<sub>2</sub>, וטמפרטורת הרתיחה של F<sub>2</sub> גבוהה יותר.

**טיפ:** בהשוואה בין איזומרים של תרכובות פחמן, ככל שהמולקולה מסועפת יותר, יש פחות שטח מגע בין המולקולות, קשרי ונדרולס חלשים יותר, וטמפרטורת הרתיחה נמוכה יותר (אם אטום פחמן קשור ליותר משני אטומי פחמן נוספים - המולקולה מסועפת).

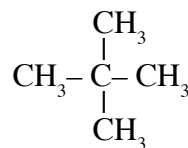
שאלה? דרגו את טמפרטורות הרתיחה של החומרים A, B, C. נמקו תשובתכם.



A



B



C

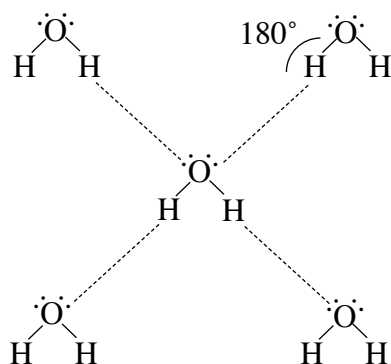
פתרון:  $A > B > C$ . שלושתם חומרים מולקולריים, שבתהליך הרתיחה שלהם ניתקים קשרי ונדרולס בין המולקולות. החומרים הם איזומרים: כלומר בעלי אותה נוסחה מולקולרית:  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , אך בעלי מבנה שונה. לכן ענן האלקטרונים של המולקולות בשלושת החומרים שווה בגודלו. המולקולות אינן קוטביות. המולקולות של A אינן מסועפות ולכן שטח המגע בין המולקולות שלו הוא הגדול ביותר, ולכן כוחות הוונדרולס בין המולקולות שלו הם החזקים ביותר, וטמפרטורת הרתיחה של A היא הגבוהה ביותר. המולקולות של C מסועפות יותר מאלה של B, לכן שטח המגע בין המולקולות של C קטן יותר, לכן כוחות ונדרולס בין מולקולות C חלשים יותר, וטמפרטורת הרתיחה של C נמוכה יותר מזו של B.

## ב. קשרי מימן

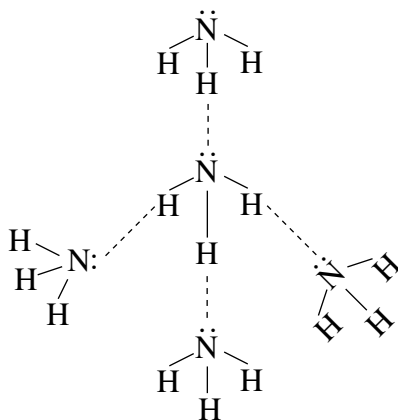
בחומרים מולקולריים שבהם יש אטום מימן, H, שקשור בקשר קוולנטי לאחד מהאטומים המאוד אלקטרו-שליליים: F, O, N, אטום המימן הנ"ל נותר כמעט חשוף מאלקטרונים, ומהווה מוקד ליצירת קשרי מימן בין המולקולות. זוגות אלקטרונים לא קושרים באטומי F, O, N גם הם מהווים מוקדים ליצירת קשרי מימן. נוצרים קשרי מימן בין אטום המימן, שכמעט חשוף מאלקטרונים במולקולה אחת, לבין זוג אלקטרונים לא קושרים באטום F, O, N במולקולה אחרת. שימו לב לאטום F. יש שלושה זוגות אלקטרונים לא קושרים ולכן שלושה מוקדים ליצירת קשרי מימן, לאטום O יש שני מוקדים ליצירת קשרי מימן ולאטום N מוקד אחד ליצירת קשרי מימן.

בקשרי מימן נוצרת זווית של  $180^\circ$ , כלומר נוצר קו ישר שמחבר את שלושת האטומים המעורבים בהיווצרות הקשר המימני.

🔔 **3/27:** קשרי מימן בין מולקולות מים:



קשרי מימן בין מולקולות אמוניה:



**השוואת טמפרטורת רתיחה של חומרים מולקולריים:**

1. ככל שיש במולקולה יותר מוקדים ליצירת קשרי מימן, יהיו יותר קשרי מימן בין המולקולות, וטמפרטורת הרתיחה תהיה גבוהה יותר.

🔔 **3/27:** לאיזה מבין החומרים הבאים טמפרטורת רתיחה גבוהה יותר –  $H_2O_2$  או  $H_2O$ ? נמקו.

פתרון: שניהם חומרים מולקולריים שבתהליך הרתיחה יש לשבור קשרי מימן בין המולקולות, שכן יש בהם אטומי מימן כמעט חשופים מאלקטרונים, הקשורים לאטומי חמצן. במולקולות  $H_2O_2$  יש יותר מוקדים ליצירת קשרי מימן, לכן בין המולקולות של  $H_2O_2$  יש יותר קשרי מימן, ולכן טמפרטורת הרתיחה של  $H_2O_2$  גבוהה יותר.