

פרק ראשון

"יחודן של תרכובות הפחמן"



פרק ראשון ייחודן של תרכובות הפחמן

תרכובות פחמן על גלגלים – מקורות אנרגיה מתחדשים

בנזין, סולר וגז בישול כולם דלקים מינראליים (תערובות של תרכובות פחמן) המופקים מזיקוק נפט והאנרגיה המשתחררת בעת שריפתם מניעה את גלגלי התחבורה והתעשייה בימינו. אך השימוש ה"פזרני" בהם מעורר בעיות חמורות.



עתודות הנפט מתדלדלות, שריפת הדלק גורמת לזיהום רב של הסביבה, ואספקת הדלק ומחירו מושפעים מתנודות גאופוליטיות בשוק העולמי. לכן מחפשים כיום פתרונות נוספים ומיוחדים:

הידעתם ששדות תירס וקני סוכר יכולים להוות מקור להפקת אתנול, דלק העתיד?

החשבתם אי פעם שתוכלו לתדלק משאיות ואוטובוסים בשמן צמחי במקום בסולר?

אם לא, הגיעה השעה לחשוב קצת אחרת! התשובה טמונה בשימוש בדלק מסוג חדש, ביו-דלק.

ביו-דלק הוא דלק ממקור ביולוגי, המורכב ממולקולות של תרכובות פחמן בדומה לדלקים מינראליים שמקורם הוא נפט. אמנם גם דלקים אחרים המופקים מנפט, כמו גז טבעי (מתאן) וגז נוזלי (גז בישול מעובה, תערובות של פרופאן



איסוף שמן משומש
לייצור ביו-דיזל

ובוטאן), תופשים את מקומם של הדלקים המקובלים ונחשבים למקורות אנרגיה זולים ו"ירוקים" יותר, אך כיום המדענים מקדישים את מירב תשומת הלב דווקא למקורות אנרגיה מתחדשים כמו שמש, רוח וביו-דלק.

לביו-דלק עדיפות ניכרת על פני השמש והרוח מכיוון ששמש ורוח הם מקורות אנרגיה הדורשים פיתוח טכנולוגיות חדשות כדי שיהיה אפשר להשתמש בהם, בעוד שבביו-דלק אפשר להשתמש גם בכלי הרכב הקיימים.

ביו-דיזל ואתנול הם שני ביו-דלקים מתחדשים הנמצאים כיום בשימוש גובר והולך בחלק ממדינות העולם כגון ברזיל, קנדה ושבדיה.

ביו-דיזל מיוצר מפסולת של שמנים: שומן צמחי, שומן בעלי חיים או פסולת של שמן תעשייתי, והוא משמש, בדומה לסולר, להנעת מנועי דיזל. מעניין שגם מנוע הדיזל הראשון שהמציא רודולף דיזל בשנת 1892 הונע בשמן בוטנים.

הביו-דיזל ידידותי לסביבה כי הוא ממחזר שמנים משומשים ופולט פחות פחמן דו חמצני CO₂ וגפרית דו חמצנית SO₂. הוא פועל בכל מנוע דיזל ללא צורך לבצע כל שינוי במבנה ומתאים גם להסקה ביתית. אפשר להשתמש בו גם כשהוא מצוי בתערובות עם סולר רגיל.

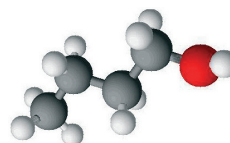
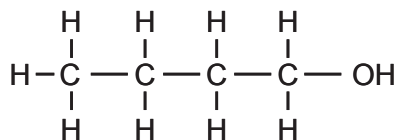
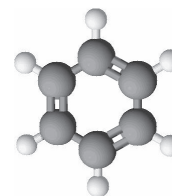
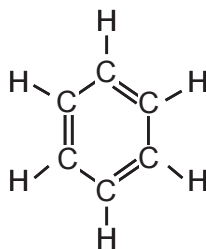
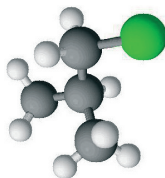
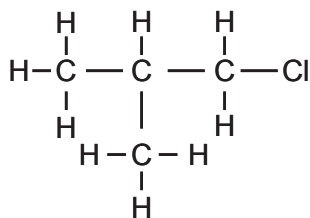
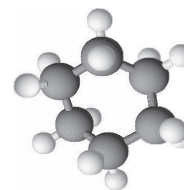
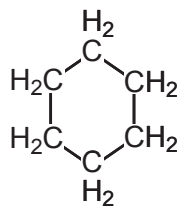
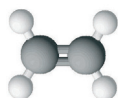
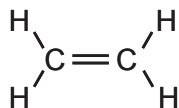
האתנול הוא ביו-דלק חשוב נוסף המיוצר בדרך כלל מתירס או מקני סוכר. יתרונו הגדול הוא בכך שאפשר להשתמש בו במנועי הבנזין הקיימים בתערובות שונות עם בנזין, החל מ-E10 (10% אתנול ו-90% בנזין) ועד E85 (85% אתנול ו-15% בנזין). יתרון נוסף שלו הוא בהיותו ידידותי לסביבה כי שריפתו משחררת גזים רעילים בכמות קטנה יחסית לזו של הדלקים הרגילים. מחקרים מראים שהשימוש בדלק E85 מביא לירידה של 37% בגזי החממה ושימוש ב-E10 הירידה מתקרבת ל-4%, כל זאת בהשוואה לדלק רגיל. רק חיסרון אחד מעכב את השימוש הנרחב בהם – מחיר הייצור הגבוה שלהם, אך גם הוא עתיד לרדת עם פיתוח טכנולוגיות ייצור מתקדמות. כך, "תוך כדי החלפת הגלגלים", מסתיים לו עידן הדלק המינרלי ומתחיל עידן הדלק הביולוגי.

1. מהם מקורות אנרגיה מתחדשים ומה יתרונותיהם לצומת מקורות אנרגיה אחרים?
2. מדוע חשוב שישראל תצודד פיתוח ושימוש במקורות אנרגיה מגוונים ומתחדשים?
3. האם גם ישראל כבדדיל מתאימה (גאוגרפית וכלכלית) להפיק אנרגיה מקני סוכר? מה צשויות להיות המגבלות שלנו?
4. פיתוח מנועים "גמישים", המסוגלים לפעול בשימוש באתנול, בנזין או כל תערובת שלהם, האיץ את השימוש בדלקים אלו וחייב ייצור כמויות גדולות שלהם. האם לצובדה זו צשויים להיות גם היבטים שליליים?

א. השלד הפחמני - אבן הבניין

א.1. "שחור הוא יפה" - השלד הפחמני בתרכובות פחמן

בדגמי המולקולות שלפנינו נבחין בעובדה משותפת בולטת לעין - בכולן קיימות שרשרות או טבעות של כדורים שחורים המייצגים אטומי פחמן. מבנה יסודי זה משותף לכל תרכובות הפחמן על מספרן העצום ונקרא "שלד פחמני".



שלד פחמני = רצף אטומי הפחמן במולקולה.

כל המולקולות של תרכובות הפחמן בנויות משרשרות של אטומי פחמן הקשורים אלו לאלו ברצף. כל אחד מאטומי הפחמן בשרשרת קשור גם לאטומי מימן. לפעמים נמצא במולקולות של תרכובות פחמן גם אטומי אלמנטים אחרות כגון חמצן, חנקן, גפרית או הלוגנים.

השלד הפחמני, היינו שרשרת פחמן בעלת אורך שונה, מהווה חלק עיקרי בכל מולקולה ולעתים אף בונה את המולקולה כולה. מולקולות של תרכובות פחמן יכולות להיות בעלות שרשרות "ישרות" או מסועפות, הן יכולות להיבנות משרשרות פחמן בעלות קשרים קוולנטיים יחידים בלבד או לכלול גם מספר קשרים כפולים. שרשרות הפחמן יכולות להיות פתוחות או סגורות ולפעמים מחליפה אותן טבעת משושה מישורית

הנקראת "טבעת בנזנית", שנוסחתה C_6H_6



או כך:



ומתארים אותה כך:

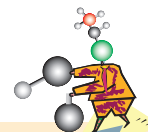
בטבעת בנזנית קשור כל אחד מששת אטומי הפחמן בשלושה קשרים קוולנטיים יחידים לאטום מימן ולשני אטומי פחמן סמוכים לו. ששת אלקטרוני הערכיות הנותרים יוצרים ענן אלקטרוני משותף לכל המולקולה מכיוון שהם נמשכים בעת ובעונה אחת לכל אחד מאטומי הפחמן במולקולה.¹

1 - תופעה זו נקראת "אל איתור אלקטרוני".

2א. "ככה וככה..." – איזומרים וקונפורמציות בשלד הפחמני

כידוע, כל אטום פחמן הוא בעל ארבעה אלקטרוני ערכיות ולפיכך התרכובת הפשוטה ביותר המכילה פחמן ומימן היא מתאן CH_4 . בין ענני האלקטרונים של אטום הפחמן במולקולת המתאן קיימת זווית של 109° והצורה המרחבית שלה היא טטרהדר. כדי להבין כיצד משפיעה העובדה הזו על צורתו של השלד הפחמני ועל תכונותיו, נזמין אתכם להתנסות בבניית מודלים של תרכובות פחמן שונות "ולחוש את הכימיה בידיים".

הכול בידיים שלנו – סדנת מודלים א'



1. חברו זה לזה ברצף חמישה כדורים שחורים המייצגים אטומי פחמן. קשרו אליהם

כדורים לבנים המייצגים אטומי מימן. קיבלתם מולקולת פנטאן C_5H_{12} .

א. מהי הזווית בין כל שלושה אטומי פחמן הקשורים זה לזה?

ב. האם לשרשרת אטומי הפחמן במולקולות הפנטאן יש צורה ישרה? אם לא - ציירו את צורתה.

ג. ממה נובעת עובדה זו לדעתכם?

2. הסירו את הכדורים המייצגים אטומי מימן. החזיקו בכל יד קצה אחר של שרשרת

אטומי הפחמן וסובבו אותה בכיוונים שונים כך שתתקבל שרשרת בעלת צורה

אחרת.

א. כמה צורות כאלה אפשר לקבל לדעתכם?

ב. ציירו שלוש מבין הצורות שקיבלתם.

ג. האם כל צורה מהווה שלד של מולקולת תרכובת שונה?

3. בנו מודל של 1,2 די כלורו אתאן $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$. הציבו את הכדורים המייצגים

את שני אטומי הכלור אחד מאחורי השני, כך שיחפפו זה את זה. מצב כזה נקרא

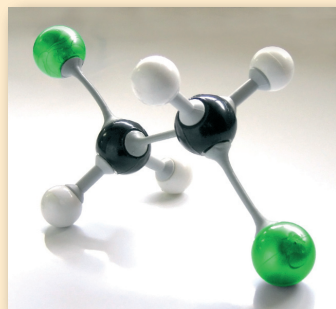
"היערכות חופפת". סובבו אחד מאטומי הפחמן סביב הקשר היחיד C-C כך שאחד

הכדורים המייצגים אטום כלור יתרחק ככל האפשר מהכדור המייצג את אטום הכלור

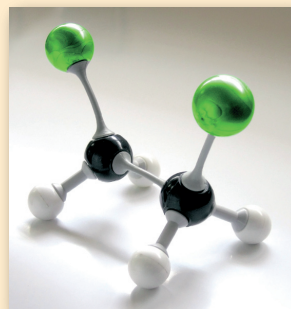
הקשור לאטום הפחמן השני. מצב כזה נקרא "היערכות חורגת".

א. מה הזווית בין אטומי הכלור בהיערכות חופפת ובהיערכות חורגת?

ב. איזה מצב לדעתכם יציב יותר?



הערכות חורגת



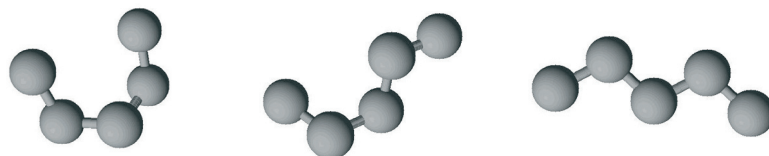
הערכות חופפת

4. נסו לבנות מודל אחר למולקולת הפנטאן C_5H_{12} (רמז: קצרו את השרשרת על ידי ניתוק אחד הכדורים השחורים ממנה וחברו אותו במקום אחר בשרשרת).
5. בשיטה דומה בנו מודל שלישי שיתאים לנוסחה המולקולרית של פנטאן C_5H_{12} . האם שלושת המודלים שבניתם שייכים לאותה תרכובת או מהווים דגמי מולקולות של תרכובות שונות?

בסדנת המודלים הכרנו שלוש תופעות חשובות המאפיינות שרשרות של תרכובות פחמן.

- א. ראינו כי אטומי פחמן הקשורים ברצף בקשרים יחידים אינם יוצרים שרשרות ישרות אלא שרשרות "זיגזגיות", וזאת בשל זוויות הקשרים בין אטומי הפחמן. למרות זאת נוהגים לכנות שרשרות מעין אלו בשם **שרשרות ישרות**.
- ב. הבחנו גם שמולקולות הבנויות משרשרות אטומי פחמן הן גמישות וקיימת בהן אפשרות לסיבוב חופשי של חלק אחד מהשרשרת ביחס לחלק אחר בה. הסיבה לכך היא יכולת סיבוב חופשי סביב קשר קוולנטי יחיד. לסיבוב כזה נדרשת אנרגיה נמוכה בהרבה מזו הנדרשת לשבירת קשר קוולנטי יחיד. המולקולות יכולות לקבל אנרגיה מזערית זו כשהן מתנגשות אלו באלו במצב נוזלי או גזי, כך שהצורה של השלד הפחמני בכל מולקולה משתנה כל הזמן אך מהות המולקולה אינה משתנה. כל צורה שונה כזו נקראת **קונפורמציה**.

קונפורמציה = צורה מרחבית של מולקולה הנובעת מיכולת סיבוב חופשי סביב קשר יחיד.



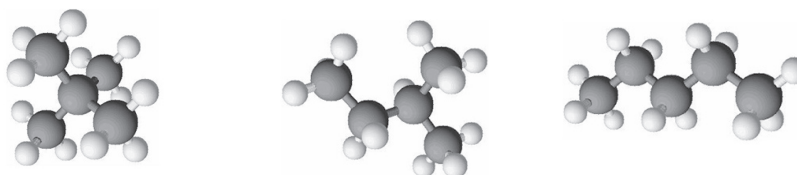
דוגמה: מספר קונפורמציות של פנטאן C_5H_{12}

למרות אפשרות הסיבוב החופשי הקיימת סביב הקשר הקוולנטי היחיד, לא כל הקונפורמציות יציבות במידה שווה. הקונפורמציות המועדפות מבחינה אנרגטית הן אלו שבהן יש מינימום של דחיות של זוגות אלקטרוניים וזוהי בדרך כלל היערכות ה"חורגת". קונפורמציה חורגת כגון זו שבניתם בסדנת המודלים נקראת "אנטי" והיא יציבה יותר מהקונפורמציה ה"חופפת" שבניתם.

מדוע לדעתכם מועדפת הקונפורמציה החורגת על פני ה"חופפת"? הסבירו בעזרת הדחייה החשמלית הקיימת בין ענני האלקטרוניים.



ג. הבחנו כי שרשרות אטומי פחמן בתרכובות פחמן יכולות להיות "ישרות" או מסועפות וכך ליצור מולקולות בעלות מבנים מרחביים שונים. בסדנת המודלים בנינו לפנטאן שלושה מבנים מולקולריים מרחביים שונים :

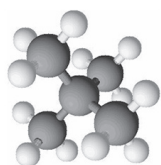
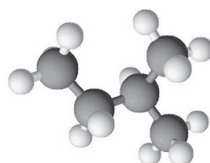
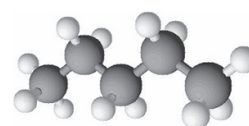


שלוש התרכובות הללו הן בעלות אותו מספר אטומי פחמן ומימן, אך כאמור, השלד הפחמני שלהן שונה. לאחת מהן יש שלד פחמני ישר, לשנייה – שלד עם נקודת הסתעפות אחת, ולשלישית – שלד עם שתי נקודות הסתעפות. כל אחת משלוש התרכובות הללו היא איזומר מבנה של C_5H_{12} והתופעה נקראת איזומריה².

2 - איזומריה, ביונית: איזו = שווה, מר = מספר.

איזומרים = תרכובות בעלות אותה נוסחה מולקולרית אך בעלות נוסחת מבנה שונה.

חשוב לזכור כי איזומרים הם תרכובות שונות לגמרי אלו מאלו, וכדי להפוך איזומר אחד לאיזומר שני יש לשבור קשרים קוולנטים קיימים וליצור קשרים קוולנטים חדשים. לעומת זאת, כל הקונפורמציות הן אותה תרכובת ולפיכך במעבר מקונפורמציה אחת לשנייה, בתרכובות המכילות קשרים בודדים, אין צורך לשבור קשר קוולנטי כלשהו. לאיזומרים של תרכובות פחמן תכונות שונות כגון טמפרטורת רתיחה ומסיסות.

טמפרטורת רתיחה 9°C טמפרטורת רתיחה 28°C טמפרטורת רתיחה 36°C

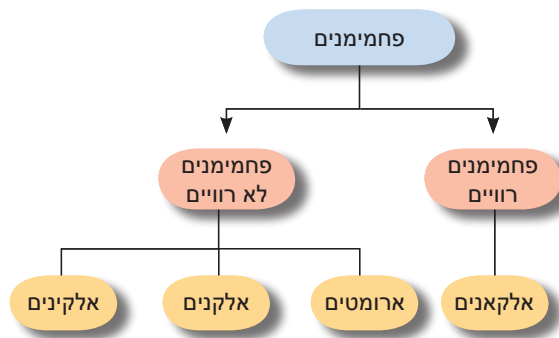
1. הסבירו את ההבדל בין טמפרטורות הרתיחה של האיזומרים השונים של פנטאן באמצעות מושגים של מבנה וקישור.
2. האם תרכובות אלו מסיסות במים? הסבירו באמצעות מושגים של מבנה וקישור.



א3. הכול נשאר במשפחה – אלקאנים, אלקנים.

באיזומרים השונים שהכרנו ראינו כי השלד הפחמני על צורתיו השונות הוא מרכיב בסיסי בכל מולקולה של תרכובת פחמן ופעמים אף מהווה את המולקולה כולה. תרכובות הבנויות מאטומי פחמן ומימן בלבד נקראות פחמימנים.

פחמימנים = תרכובות הבנויות מאטומי פחמן ומימן בלבד.



אפשר למיין את הפחמימנים במיון ראשוני לשני סוגים עיקריים. פחמימנים שהמולקולות שלהם מכילות קשרים קוולנטיים יחידים בלבד נקראים "פחמימנים רוויים" ואילו פחמימנים שהמולקולות שלהם מכילות גם קשרים כפולים נקראים "פחמימנים בלתי רוויים". שני הסוגים האלה מתמיינים לארבע משפחות: אלקאנים, אלקנים, אלקינים וארומטים.

משפחה של תרכובות פחמן = תרכובות שונות בעלות תכונות פיזיקליות וכימיות דומות ונוסחה מולקולרית כללית אחת.

I. משפחת האלקאנים – מבנה ותכונות

האלקאנים הם פחמימנים רוויים. כל הקשרים במולקולות שלהם הם קשרים קוולנטים יחידים (C-C, C-H) ולכל התרכובות במשפחה נוסחה כללית משותפת: C_nH_{2n+2}

בטבלה הבאה נתונות נוסחאות וערכי טמפרטורות היתוך ורתיחה של אלקאנים*.

שם האלקאן	נוסחה מולקולרית	נוסחת מבנה מקוצרת	טמפרטורת היתוך ($^{\circ}C$)	טמפרטורת רתיחה ($^{\circ}C$)
מתאן	CH_4	CH_4	-182	-162
אתאן	C_2H_6	CH_3CH_3	-183	-89
פרופאן	C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$	-190	-42
בוטאן	C_4H_{10}	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	-138	-1
פנטאן	C_5H_{12}	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	-130	36
הקסאן	C_6H_{14}	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	-95	69
הפטאן	C_7H_{16}	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	-91	98
אוקטאן	C_8H_{18}	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	-57	126

* הנתונים בטבלה הם לגבי אלקאנים בעלי שרשרת ישרה הנקראים אלקאנים "נורמלים"

מעיון בטבלה אפשר לראות כי לכל האלקאנים טמפרטורות היתוך ורתיחה נמוכות. הטמפרטורות עולות עם העלייה במספר אטומי הפחמן בכל מולקולה. תכונה נוספת המאפיינת את כל האלקאנים היא מסיסות טובה בממסים אל-מימיים ומסיסות גרועה במים.

עכשיו תורכם



התבוננו בטבלה וענו על מספר שאלות.

- האלקאנים הם חומרי דלק חשובים ומשמשים לחימום בבית, בתחבורה ובתעשייה. מי מבין האלקאנים הנתונים, אוקטאן C_8H_{18} או אתאן C_2H_6 , יתאים לשימוש כגז בישול ביתי ומי יתאים כדלק למכוניות? הסבירו.
- א. האם אלקאנים מסיסים במים? הסבירו.
ב. נהוג להשתמש בנפט (תערובת של אלקאנים) להורדת כתמי זפת (תערובת פחמימנים ארוכי שרשרת). הסבירו צובדה זו במונחים של מבנה וקישור.

"לכל מולקולה יש שם שנתנו לה המדענים" – שיטת IUPAC³

כפי שהכרנו, קיים מגוון עצום של תרכובות פחמן בעלות מבנה ואורך שרשרת שונה. מדענים מצאו שיטה שבאמצעותה נוכל לכנות בשם את כל תרכובות הפחמן, כך שלכל תרכובת יהיה שם שונה וייחודי לה, ושלכל שם של תרכובת אפשר יהיה להתאים אך ורק נוסחת מבנה אחת.

אם נתבונן בטבלת האלקאנים לעיל נבחין שלשמות מתאן, פרופאן, בוטאן, פנטאן וכל השאר – סיומת זהה (...אן) ותחילית שונה. תחילת השם מציינת את מספר אטומי הפחמן בתרכובת:

מת'... אטום פחמן אחד

את'... שני אטומי פחמן

פרופ'... שלושה אטומי פחמן

בוט'... ארבעה אטומי פחמן

פנט'... חמישה אטומי פחמן

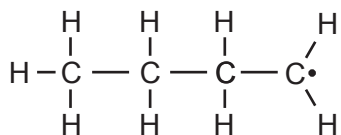
כללים אלה מאפשרים לתת שם לכל שרשרת ישרה. אך מה לגבי שרשרות מסועפות? כיצד נכנה בשם גם את קבוצות האטומים המהוות את ההסתעפות? לשם כך עלינו להכיר את המושג קבוצת אלקיל.

קבוצת אלקיל = נוצרת מהאלקאן המתאים על ידי הורדת אטום מימן.

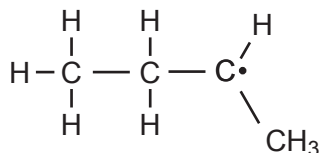
הנוסחה הכללית שלה היא C_nH_{2n+1} .

אין לקבוצת אלקיל קיום עצמאי ולכן היא קשורה תמיד לקבוצות אטומים שונים כגון ל-OH בכוהלים, ל-NH₂ באמינים, ל-Cl באלקיל הלידים ול-H באלקאנים. מדענים נוהגים למיין את קבוצות האלקיל לשלושה סוגים ולאפיין כל קבוצת אלקיל על פי מספר אטומי הפחמן הקשורים לאטום הפחמן שממנו הורידו אטום מימן.

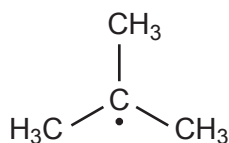
³ - International Union of Pure and Applied Chemistry - הארגון הבינלאומי של כימאים לקביעת סטנדרטים אחידים בכימיה.



כאשר מורידים אטום מימן מ- CH_3 , הפחמן שנתר קשור כעת לשני אטומי מימן וקבוצת אלקיל אחת ונקרא "פחמן ראשוני".



כאשר מורידים אטום מימן מ- CH_2 , אטום הפחמן הנתר קשור כעת לאטום מימן אחד ולשתי קבוצות אלקיל ונקרא "פחמן שניוני".



כאשר מורידים אטום מימן מ- CH , אטום הפחמן שנתר, קשור כעת לשלוש קבוצות אלקיל ואף לא לאטום מימן אחד ונקרא "פחמן שלישוני".

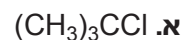
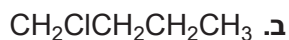
גם קבוצת האלקיל נקראת בהתאמה: אלקיל ראשוני, שניוני או שלישוני. מכיוון שאין לקבוצת אלקיל קיום עצמאי והיא נקשרת לקבוצת אטומים ויוצרת תוצרים, גם השם של התוצרים המתקבלים נקבע על פי קבוצת האלקיל.

לדוגמה: כשקבוצת אלקיל ראשוני, שניוני או שלישוני נקשרת לקבוצת הידרוקסיל (OH) ויוצרת כוהל, הכוהל המתקבל מושפע מסוג השלד הפחמני המרכיב אותו ולפיכך נקרא אף הוא כוהל ראשוני, שניוני או שלישוני. באופן דומה, כאשר קבוצת אלקיל ראשוני, שניוני או שלישוני נקשרת לאטום הלוגן ויוצרת אלקיל הליד, האלקיל הליד המתקבל נקרא בהתאמה: אלקיל הליד ראשוני, שניוני או שלישוני.

עכשיו תורכם

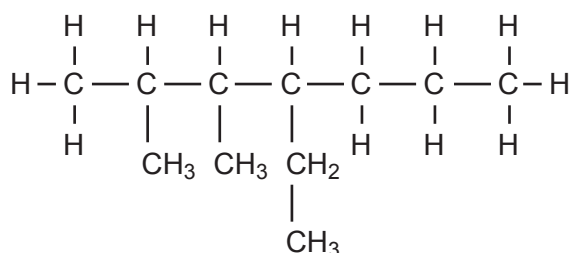
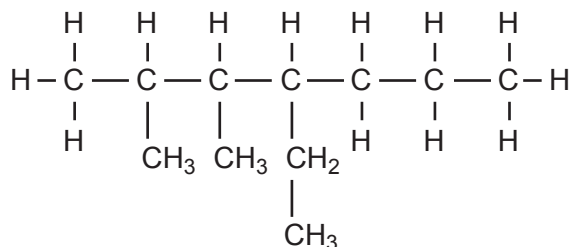


לפניכם שלוש נוסחאות של בוטאן כלורי. לכל נוסחה ציינו אם אטום הפחמן המחובר לכלור הוא ראשוני, שניוני או שלישוני.

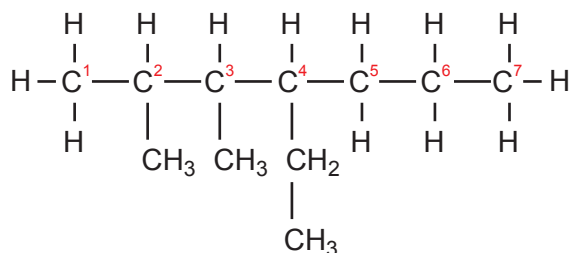


כללים לקביעת שם לתרכובת פחמן

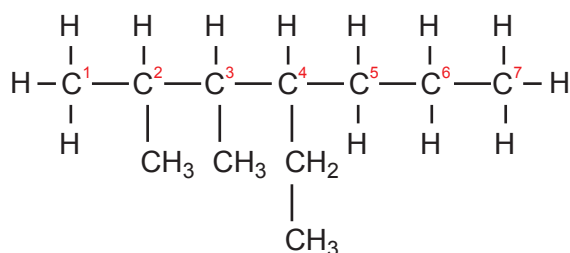
נדגים כללים אלה במציאת שם לתרכובת הבאה:



1. נמצא את השרשרת הארוכה ביותר במולקולה ונמנה את מספר אטומי הפחמן הקשורים ברצף שהיא מכילה. זו "שרשרת האם". ניתן לה שם על פי הטבלה בעמוד 11.

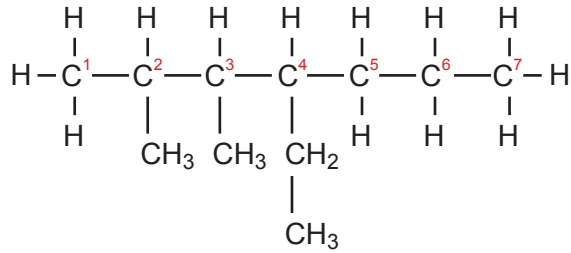


2. נמספר את אטומי הפחמן ב"שרשרת האם" כך שנקודות הסיוף יהיו מאטום פחמן בעל מספר סידורי נמוך ככל האפשר.



2-מתיל-3-מתיל-4-אתילהפטאן

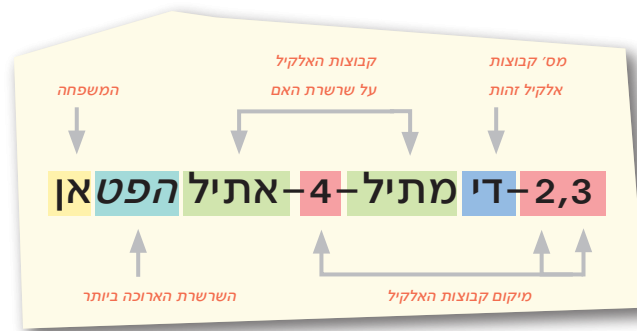
3. ניתן שם לכל קבוצת אלקיל המהווה הסתעפות ונקבע לגבי כל קבוצת אלקיל את מספרו הסידורי של אטום הפחמן ב"שרשרת האם" שאליו היא קשורה. נכתוב את המספר הסידורי לפני שם קבוצת האלקיל ואת כל הצירוף שהתקבל נכתוב לפני השם של "תרכובת האם".



2,3-דימתיל-4-אתילהפטאן

אם על "שרשרת האם" מצויות שתי קבוצות אלקיל זהות, אפשר להשתמש במושג דו לפני שם קבוצת האלקיל.

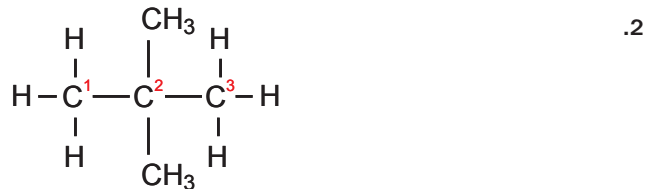
נסכם: בעזרת התרשים הבא נכתוב שם עבור כל תרכובת פחמן.



בעזרת הכללים שלמדנו ניתן שם לשניים מבין שלושת האיזומרים של פנטאן שהכרנו.



השרשרת הארוכה ביותר במולקולה מכילה חמישה אטומי פחמן. לכן תחילת השם שלה יהיה פנט... והסיומת ...אן. כיוון שאין בשרשרת נקודות הסתעפות, תיקרא התרכובת: פנטאן נורמלי.

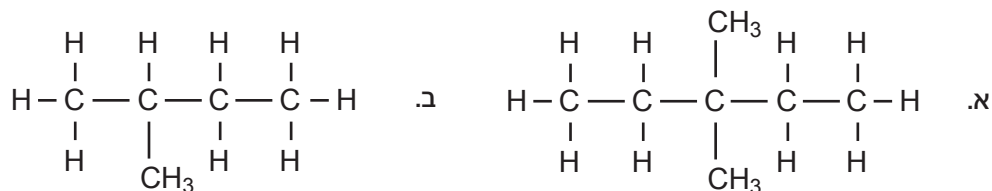


השרשרת הארוכה ביותר במולקולה, "שרשרת האם", מכילה שלושה אטומי פחמן ולפיכך היא נקראת פרופאן. כיוון שיש במולקולה שתי קבוצות מתיל, הקשורות לשרשרת האם בנקודת הסתעפות הנמצאת באטום הפחמן השני שלה, תיקרא התרכובת: 2,2-דימתילפרופאן.

עכשיו תורכם



1. לפניכם נוסחאות מבנה לשתי תרכובות, תנו שם לכל אחת מהן.



2. ציירו נוסחת מבנה לכל אחת מהתרכובות הבאות:

א. 2,3,5-טרִימתיל הקסאן

ב. 2,2,4-טרִימתיל הפטאן

3. כתבו נוסחת מבנה עבור כל האיזומרים של הקסאן C_6H_{14} , תנו לכל איזומר שם וכתבו עבורו נוסחת מבנה מקוצרת.

II. משפחת האלקנים – מבנה ותכונות

אלקנים הם פחמימנים בלתי רוויים שבכל מולקולה שלהם מצוי קשר כפול אחד ולפיכך הנוסחה המולקולרית הכללית שלהם היא C_nH_{2n} .

בטבלה הבאה נתונות נוסחאות וערכי טמפרטורות היתוך ורתיחה של אלקנים*.

שם	נוסחה מולקולרית	נוסחת מבנה מקוצרת	טמפרטורת היתוך ($^{\circ}\text{C}$)	טמפרטורת רתיחה ($^{\circ}\text{C}$)
אתן	C_2H_4	$CH_2=CH_2$	-169	-104
פרופן	C_3H_6	$CH_2=CHCH_3$	-185	-47
1-בוטן	C_4H_8	$CH_2=CHCH_2CH_3$	-185	-7
1-פנטן	C_5H_{10}	$CH_2=CHCH_2CH_2CH_3$	-138	30

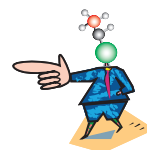
*הנתונים בטבלה הם לגבי אלקנים בעלי שרשרת ישרה הנקראים אלקנים "נורמלים".

מעיון בטבלה ניתן לראות כי גם לכל האלקנים, כמו לאלקאנים, טמפרטורות היתוך ורתיחה נמוכות העולות עם העלייה במספר אטומי הפחמן בכל מולקולה. תכונה נוספת המאפיינת גם היא את כל האלקנים היא מסיסות טובה בממסים אל-מימיים ומסיסות גרועה במים.

תוכלו לראות ששמות האלקנים נגזרים משמות האלקאנים בעלי אותו מספר אטומי פחמן, אך הסיומת של השם שונה. שימו לב לכך ששמו של כל אלקן מבטא את אורך השרשרת בכל מולקולה שלו, ובנוסף לכך גם את מיקומו של הקשר הכפול במולקולה. בכל האלקנים בטבלה אטום הפחמן הראשון (בקצה השרשרת) קשור לאטום הפחמן השני בקשר כפול ולכן כולם נקראים 1-בוטן, 1-פנטן וכו'.

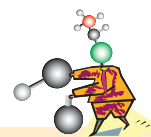
באלקנים קיימים גם איזומרים הנבדלים זה מזה אך ורק במיקומו של הקשר הכפול במולקולות שלהם. לדוגמה: ב-2-פנטן $\text{CH}_3\text{-CH}=\text{CH-CH}_2\text{-CH}_3$, הקשר הכפול נמצא בין אטום פחמן מס' 2 לבין אטום פחמן מס' 3.

עכשיו תורכם



1. כתבו נוסחת מבנה עבור 1-הקסן, 2-הקסן, 3-מתיל-1-פנטן.
2. כתבו נוסחת מבנה עבור כל האיזומרים של בוטן C_4H_8 וכנו אותם בשם. האיזומרים שונים באורך השרשרת, בנקודות ההסתצפות, במיקום הקשר הכפול. כמה איזומרים מצאתם? למצעה, קיימים גם איזומרים נוספים לתרכובת C_4H_8 . כדי למצוא את האיזומרים הללו נפנה לסדנת המודלים שלנו ונכיר סוג חדש של איזומרים.

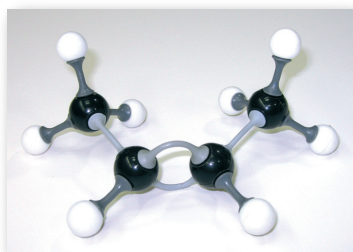
הכול בידיים שלנו – סדנת מודלים ב'



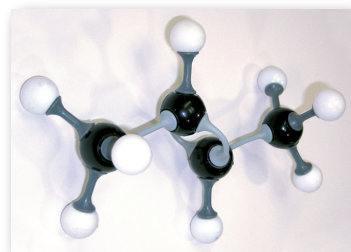
1. בנו מודלים עבור אתן C_2H_4 ועבור אתאן C_2H_6 . בדקו האם גם לאתן, כמו לאתאן, יש קונפרמציות שונות?
 - א. כיצד אפשר להסביר זאת?
 - ב. איזו תכונה גיליתם לגבי הקשר הכפול?
2. בנו מודלים עבור 1-בוטן ועבור 2-בוטן. השוו את המודלים שבניתם עם אלה שבנו תלמידים אחרים.
 - א. האם כל המודלים שנבנו צ"י התלמידים עבור 1-בוטן זהים? אם לא - כמה איזומרים התקבלו?

ב. האם כל המודלים שנבנו צ"י התלמידים עבור 2-בוטן זהים? אם לא - כמה איזומרים התקבלו?
 3. בנו מודל גם עבור האיזומר שלא בניתם כדין והשוו בין שני המודלים שבניתם עבור אותה תרכובת (לשם נוחות אפשר להחליף כל קבוצת מתיל CH_3 בכדור בצבע אחר).
 ציינו מהו ההבדל ביניהם.

בסדנה מצאנו כי לתרכובת 2-בוטן יש שני איזומרים. האחד נקרא ציס-2-בוטן והשני נקרא טרנס-2-בוטן.



ציס-2-בוטן



טרנס-2-בוטן

בציס-2-בוטן מצויות שתי קבוצות המתיל באותו צד של הקשר הכפול ואילו בטרנס-2-בוטן הן מצויות משני עברי הקשר הכפול. בגלל קשיחותו של הקשר הכפול אי אפשר לעבור מאיזומר ציס לטרנס בלי שייפתח הקשר הכפול. לכן כל אחת מתרכובות אלו היא תרכובת שונה שגם היא איזומר של 2-בוטן.

נראה אפוא כי באלקנים קיים סוג נוסף של איזומרים – **איזומרים גאומטריים הנקראים איזומרי ציס-טרנס**. איזומרים מסוג זה שווים בסוג הקשרים ובמיקומם אך שונים בהיערכותם במישור.

עכשיו תורכם



1. ציירו נוסחאות מבנה עבור איזומרי ציס-טרנס של 2-פנטן.
2. קיים איזומר נוסף ל- C_4H_8 ושמו 2-מתיל-1-פרופן. האם קיימים איזומרי ציס-טרנס שלו? אם כן - ציירו אותם. אם לא - נמקו.
3. ציירו נוסחת מבנה עבור כל האיזומרים של $C_2H_2Cl_2$ וכנו כל אחד מהם בשמו.

בנוסף לאיזומרים שהכרנו, קיים גם סוג אחר של איזומרים השונים זה מזה בהיערכות המרחבית שלהם ובהשפעתם על אור ולכן הם נקראים **איזומרים אופטיים**.

ג. "איזומרים במראה" – איזומרים אופטיים

ב.1. אטום פחמן א-סימטרי

בעולם הסובב אותנו אפשר להבחין בשתי קבוצות של גופים: גופים סימטריים וגופים א-סימטריים.

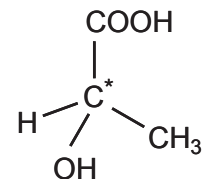
צלחות, כדורים, קוביות, מזלגות, מסמרים הם גופים סימטריים. כפפות, נעלים, כפות ידיים, קונכיית וברגים הם גופים א-סימטריים.



כפות ידיים ונעליים הן גופים א-סימטריים מכיוון שאינן חופפות זו לזו אלא מהוות תמונת ראי אחת של השנייה. תכונה זו נקראת כיראליות. מקור השם הוא מיוונית *cheir* ומשמעותו "יד". גם בעולם המולקולות אפשר להבחין במולקולות סימטריות ומולקולות א-סימטריות שנקראות גם מולקולות כיראליות. במולקולות א-סימטריות קיימים אטומי פחמן א-סימטריים והם המקנים למולקולה את תכונת הכיראליות.⁴

פחמן א-סימטרי = פחמן הקשור לארבעה אטומים או קבוצות אטומים שונות.

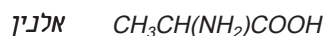
פחמן א-סימטרי נמצא תמיד במרכז טטרהדר וקשור לארבע קבוצות שונות בארבעה קשרים קוולנטיים יחידים. לדוגמה: במולקולת חלב $\text{CH}_3^*\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ יש פחמן א-סימטרי אחד ונהוג לסמנו בכוכבית.



עכשיו תורכם



1. לפניכם נוסחאות מבנה מקוצרות לארבע מולקולות של תרכובות פחמן.



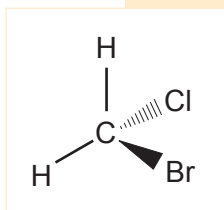
א. כתבו נוסחת מבנה עבור כל אחת מהמולקולות.

ב. סמנו בכוכבית את אטומי הפחמן הא-סימטריים בכל מולקולה וציינו כל אחת מארבע הקבוצות הקשורות אליה.

2. ציינו באיזו מולקולה יש יותר מפחמן א-סימטרי אחד ובאילו מולקולות אין פחמן א-סימטרי כלל.

כאשר אנו רוצים לצייר את המבנה המרחבי של מולקולות בעלות פחמן טרהדרי ניתקל בקושי: איך לצייר מבנה מרחבי על דף מישורי? הכימאים מצאו לכך שיטה פשוטה.

“מבט לעומק” – שיטה מוסכמת לציור טרהדר



א. בנו מודל של מולקולת כלורו ברומו מתאן CH_2ClBr .

ב. החזיקו דף נייר ניצב לשולחן. הצמידו אל חלקו העליון של הדף את אטום הפחמן ואטומי המימן הקשורים אליו כך שאטום הברום בולט בכיוון אליכם ואטום הכלור פונה אל המרחב שמאחורי הדף (אם קיבלתם מבנה שונה מזה המתואר בשרטוט תוכלו לעבור אל המבנה הנדרש על ידי סיבוב המולקולה ב-180 מעלות).

ג. ציירו את הקשר אל האטום היוצא בכיוון אלינו, על ידי קו מתרחב ומודגש, את הקשר אל האטום הנכנס אל הדף על ידי קו מרוסק, ואת הקשרים אל האטומים שבמישור הדף בקו רגיל.

ד. סובבו את המודל שבניתם ב-180 מעלות וציירו שוב את המבנה סביב אטום הפחמן בשיטה המוסכמת.

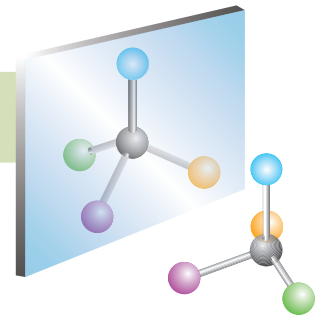
עכשיו תורכם



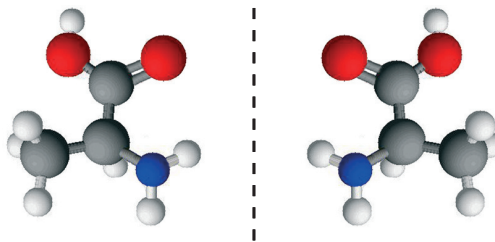
1. ציירו בשיטה המוסכמת את המבנה המרחבי סביב אטום הפחמן המסומן בחומצת חלב $CH_3\text{C}H(OH)COOH$ באלנין $CH_3\text{C}H(NH_2)COOH$
2. ציירו בשיטה המוסכמת את המבנה המרחבי סביב אטום הפחמן המסומן באתנול $CH_3\text{C}H_2OH$. ציינו האם הפחמן המסומן הוא א-סימטרי ומה המבנה המרחבי שלו.

כאשר במולקולה יש פחמן א-סימטרי אחד, יכולים להתקיים בה שני איזומרים בעלי מבנה מרחבי שונה. שני האיזומרים הללו הם תמונת ראי האחד של השני ונקראים אננטיומרים.

אננטיומרים = שני מבנים מרחביים של המולקולה המהווים תמונת ראי האחד של השני.

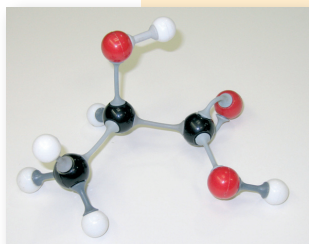
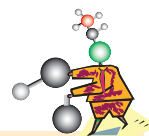


לפניכם דגמים של שני האננטיומרים של חומצת האמינו אלנין.

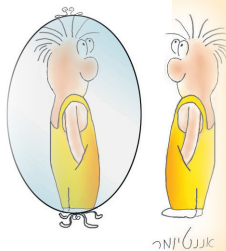


בדקו וציינו היכן נמצא הפחמן הא-סימטרי במולקולה. ?

הכול בידיים שלנו – סדנת מודלים ג'



1. בנו מודל למולקולת חומצת חלב $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$:
קחו כדור שחור המייצג את אטום הפחמן הא-סימטרי וחברו אותו לארבעה כדורים בצבעים שונים המייצגים קבוצות שונות. השתמשו בכדור בצבע אחד עבור CH_3 , בכדור בצבע שני עבור OH , בכדור בצבע שלישי עבור COOH ובכדור בצבע רביעי עבור H .
2. בנו באותה דרך גם איזומר מרחבי המהווה תמונת ראי למולקולה שבניתם בסעיף 1. הקפידו להשתמש בכדורים באותם צבעים לייצוג אותן קבוצות, כמו בסעיף 1.
רמז: תוכלו לעשות זאת בקלות אם תבנו תחילה מודל זהה לזה שבניתם בסעיף 1 ותחליפו את מיקומם של שניים מתוך ארבעת הכדורים הצבעוניים.
3. ודאו שאמנם בניתם שני אננטיומרים על ידי הבדיקות הבאות:
- נסו לסובב את אחד המודלים בזוויות שונות. האם יתקבל המודל השני?
- נסו "להלביש" את אחד המודלים על המודל השני. האם הצלחתם לחפוף ביניהם?
אם התשובה לשתי הבדיקות שלילית – הצלחתם לבנות מודלים לשני האננטיומרים של חומצת חלב המהווים תמונת ראי האחד של השני.
4. בנו מודל של מולקולת חומצה פרופאנואית $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.
קחו כדור שחור שייצג את אטום הפחמן השני בשרשרת (האם הוא א-סימטרי?) וקשרו אותו לקבוצות השונות. השתמשו בכדור בצבע אחד עבור CH_3 , בכדור בצבע שני עבור COOH ובשני כדורים בצבע שלישי עבור כל אחד מאטומי המימן.
5. בנו באותה דרך מודל נוסף של איזומר מרחבי המהווה תמונת ראי של המולקולה שבניתם בסעיף 4. בצעו את "מבחני הסיבוב והחפיפה" לשני המודלים האחרונים כפי שביצעתם אותם בסעיף 3.
האם התשובות לשתי השאלות הן כפי שהיו לגבי חומצת החלב או אולי הפעם הן חיוביות? אם שתי התשובות חיוביות, בניתם שני מודלים זהים של מולקולה אחת ולא שני מודלים של שתי מולקולות שונות. אך אל דאגה! זו אינה טעות שלכם אלא עובדה ידועה: רק במולקולות בעלות פחמן א-סימטרי יש איזומרים שונים המהווים תמונת ראי האחד של השני ולכן רק להן יש אננטיומרים.



טוב האחד מהשניים – האיזומר המועיל

לאננטיומרים תכונות כימיות ופיזיקליות זהות רבות אך הם נבדלים זה מזה בהשפעתם על אור, דהיינו בפעילותם האופטית. הפעילות האופטית השונה שלהם מאפשרת לנו לזהות אותם ואף להפריד ביניהם. לעובדה אחרונה זו יש חשיבות עליונה בתעשיית התרופות והמזון, מכיוון שהשפעתם של אננטיומרים על הגוף החי עשויה להיות שונה מאוד זה מזה.



ידוע כי כשהגוף מייצר חומר בעל מולקולות כיראליות, נוצר רק אחד האננטיומרים. זאת מכיוון שהאזור הפעיל, הנמצא על האנזים ומזרז את ייצור החומר בגוף, הוא בעל מבנה מרחבי המתאים בדיוק לאותו אננטיומר, כדוגמת ההתאמה הקיימת בין מפתח למנעול.

לעומת זאת בהפקת חומר בעל מולקולות כיראליות במעבדה מתקבלים לרוב שני האננטיומרים.

לכן כאשר אדם צורך תרופה שיוצרה במעבדה, הוא מכניס לגופו תערובת של כמויות שוות של שני האננטיומרים. יחד עם זאת, רק אחד האננטיומרים בתרופה פעיל. האננטיומר הפעיל מתקשר לאזורי המטרה בגוף ורק הוא עשוי לשפר את המצב הבריאותי שלנו. האננטיומר השני, שאינו מתאים מרחבית וכימית לאזורים ייחודיים אלה, אינו משפיע כלל על הגוף ואינו פעיל.

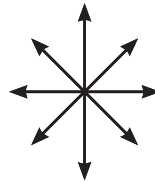
לדוגמה: החומר איבופרופן משכך כאבים ונמצא בתרופות כמו "אדוויל" ו"נורופן". הוא נמכר כתערובת של שני האננטיומרים, אך רק אננטיומר אחד שלו משכך כאבים ואילו האננטיומר השני אינו פעיל.

בדומה לכך גם ההורמון אדרנלין, המצוי בגוף באופן טבעי, ניתן כתרופה המשמשת להחזרת תפקודו של לב שחדל לפעום. גם כאן אננטיומר אחד הוא הפעיל ואילו האננטיומר השני אינו פעיל. דוגמה קיצונית יותר, שבה הפקת התרופה כתערובת של שני האננטיומרים עלולה להזיק, היא תרופת ה"תלדומיד". התרופה הזו שימשה בשנות השישים להרגעת בחילות והקאות והתגלתה מאוחר יותר כמסוכנת. התברר כי אננטיומר אחד שלה אמנם פעל לפי המצופה אבל האננטיומר השני שלה גרם למומים בעוברים!⁵

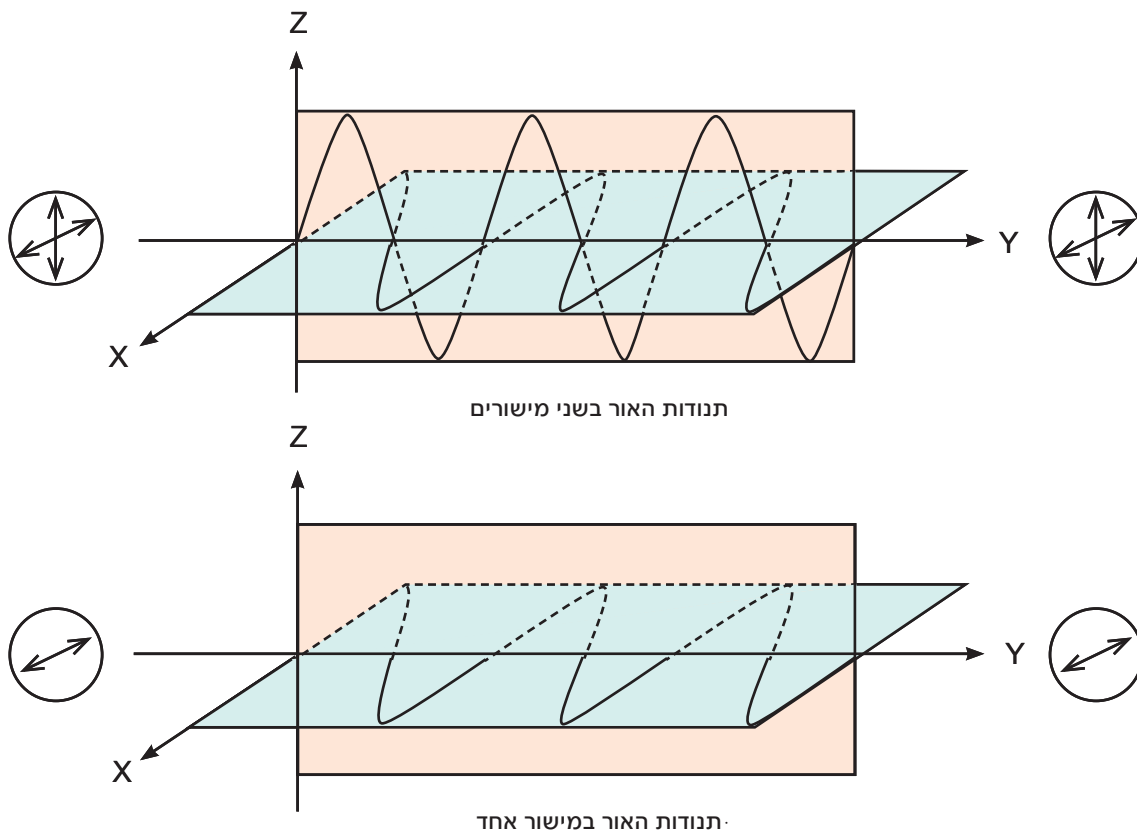
5 – על בעיית התלדומיד תוכלו לקרוא בספר: כימיה בקו הבריאות/ בתיה גלעד, שרה פרח, בהוצאת המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.

ב2. פעילות אופטית

קרינת אור היא אחת מצורות האנרגיה המוכרות לנו. קרינת אור מתפשטת במרחב כגל המתנוודד בו זמנית במישורים רבים.

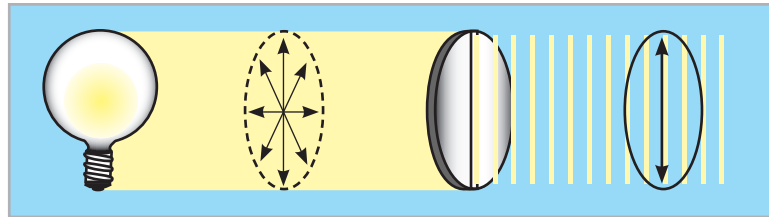


לפניכם שרטוטים המתארים את תנודות האור בשני מישורים ובמישור אחד.



גל שמתנוודד רק במישור אחד נקרא **גל מקוטב**.

גל מקוטב מתקבל על ידי העברת אור רגיל דרך מקטב. המקטב פועל בדומה למטבע בעל חריץ אחד, המאפשר רק לגל המתנוודד באותו מישור לעבור דרכו ובו בזמן בולם את כל הגלים המתנוודדים במישורים אחרים. בדרך זו הופך אור רגיל לאור מקוטב, כפי שנראה בתמונה.



כיצד מתנהג אור מקוטב ? הניסוי הבא ימחיש זאת.



ניסוי 1: "ויהי אור, ויהי חושך"

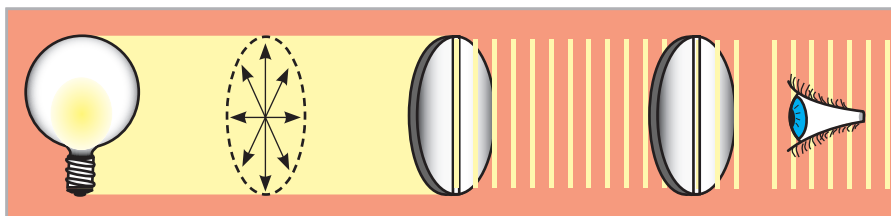
חומרים וציוד

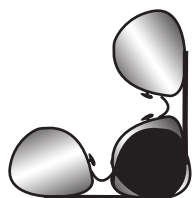
2 זוגות משקפיים מקטבות או שני לוחות מקטבים.

מהלך הניסוי

1. התבוננו אל האור דרך כל מקטב.
2. שימו מקטב אחד מעל השני – מה אתם רואים?
3. סובבו ב-90 מעלות את המקטב הקרוב אליכם – מהו השינוי שהתרחש?

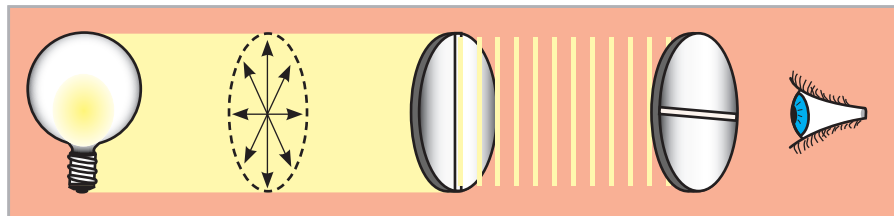
נראה כי כאשר שני המקטבים מקבילים זה לזה, האור שעובר דרך המקטב הראשון עובר באותה עצמה גם דרך המקטב השני וכך מגיע לעינינו.



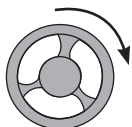


משקפי שמש עם עדשות
מקטבות מפחיתות
ב- 50% את כמות האור
המגיעה לעינינו

כאשר המקטבים מאונכים זה לזה – האור שעובר דרך המקטב הראשון אינו יכול לעבור גם דרך המקטב השני והתוצאה היא שהאור אינו מגיע לעינינו.



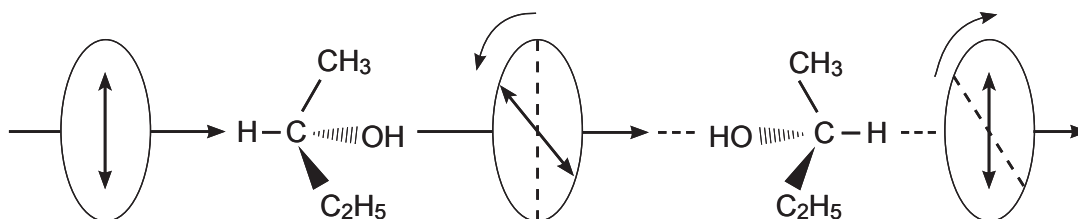
אננטיומרים הם חומרים פעילים אופטית המשפיעים על אור מקוטב העובר דרכם.



חומר פעיל אופטית = חומר המסובב את מישור האור המקוטב.

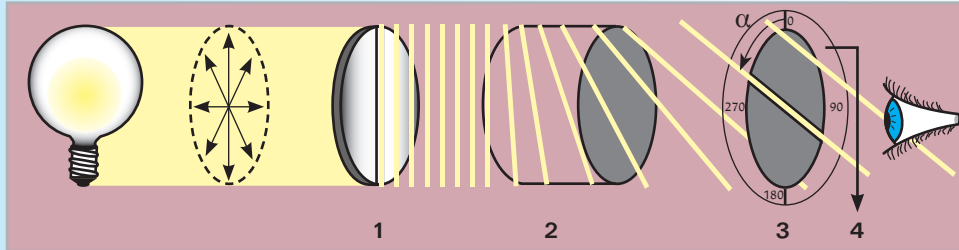
אננטיומרים מסובבים את מישור האור המקוטב באותה זווית אך בכיוונים מנוגדים. האחד – מסובב את מישור האור המקוטב בכיוון השעון (+) והשני – בכיוון מנוגד לכיוון השעון (-).

מה קורה בתערובת שבה נמצאים שני אננטיומרים ביחס 1:1? האור המקוטב העובר דרך התערובת נתקל במולקולות המסובבות את מישור הקיטוב שלו בכיוון השעון (+) אך גם במספר שווה של מולקולות המסובבות את מישור הקיטוב שלו בכיוון מנוגד לשעון (-), והתוצאה היא שמישור הקיטוב של האור אינו משתנה כלל. תערובת כזו נקראת **תערובת רצמית**.



המכשיר המודד את זווית הסיבוב של חומר פעיל אופטית נקרא **פולרימטר**.

“הסיבוב המתוק” – כיצד פועל הפולרימטר



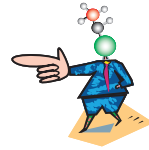
הפולרימטר בנוי מארבעה חלקים: שני מקטבים (1) ו-(3) המוצבים במאונך זה לזה, תא אחסון לתמיסה הנבדקת (2) ומד זווית עגול (4) למדידת זווית הסיבוב. הפולרימטר פועל כך: אור עובר דרך המקטב הראשון (1), יוצא ממנו כאור מקוטב, עובר דרך תא (2) כאשר הוא ריק (או מלא בתמיסה חסרת פעילות אופטית) ומגיע אל המקטב השני (3) כשמישור הקיטוב שלו אינו משתנה. המקטב השני, המאונך לראשון, אינו מאפשר לאור להגיע לעינינו. במצב זה “רואים” חושך מוחלט. כשמכניסים תמיסה המכילה אננטיומר אחד לתא האחסון, היא מסובבת את מישור האור המקוטב והמקטב השני אינו “חוסם” את כל האור וכך מגיע אור לעינינו. כדי לקבוע את זווית הסיבוב של האור המקוטב על ידי תמיסת האננטיומר, נסובב את המקטב השני (3) המחובר למד הזווית שמאלה או ימינה, עד שיגיע למצב מאונך למישור האור המקוטב היוצא מתא התמיסה הנבדקת (שהשתנה עקב פעילות התמיסה עליו). אז שוב לא יגיע אור לעינינו ו”נראה” חושך. כעת נוכל לקרוא את זווית הסיבוב ולקבוע את סימנה. אם סובבנו את מד הזווית עם כיוון השעון הסימן הוא (+). אם סובבנו אותו נגד כיוון השעון, הסימן הוא (-).

פעילות אופטית היא תכונה פיזיקלית של אננטיומרים בדומה לטמפרטורות היתוך ורתיחה, צפיפות ומסיסות. לכל תרכובת פעילה אופטית קיימת זווית סיבוב סגולית האופיינית לה $(\alpha)^6$. לדוגמה: זווית הסיבוב הסגולית של חומצה לקטית היא $+2.6^\circ$.

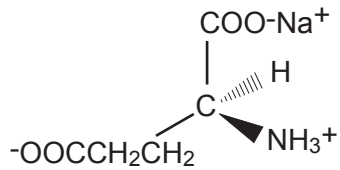


6 - זווית הסיבוב הסגולית = זווית הסיבוב של תמיסה המכילה 1 גרם תרכובת ב-1 מיליליטר, הנמצאת בתא שאורכו 1 דצימטר.

עכשיו תורכם



מונוסודיום גלוטמט MSG הוא חומר המחזק טעם באוכל, אך יש אנשים הנמנעים משימוש בו מפני שהם אלרגיים לו. מולקולות של מונוסודיום גלוטמט MSG מסובבות את מישור האור המקוטב עם כיוון השעון בזווית של 24 מעלות ($+24^\circ$).



1. מהי זווית הסיבוב של (-)MSG?
2. שרטטו את נוסחת המבנה של (-)MSG.
3. נתונה תצורת המכילה כמויות שוות של שני האננטיומרים של MSG. מה תהיה זווית הסיבוב שלה? נמקו.

על המר והמתוק... – סיפור האספרטם

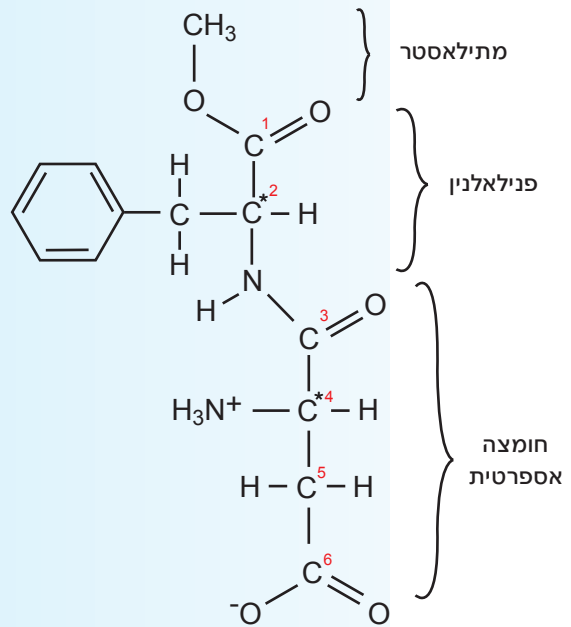


בבוקר חורפי אחד בדצמבר 1965, במהלך עבודתו המדעית, ליקק הכימאי והחוקר ג'ים שלטר את אצבעו בתנועה מורגלת בנסותו לקחת דף נייר מערמת דפים ולהפתעתו חש טעם מתוק. תחילה ייחס זאת לשאריות מהסופגנייה שאכל קודם לכן בהפסקת הקפה שלו. אך מיד הבין שלא ייתכן שהיא הייתה המקור לטעם המתוק מכיוון שרחץ את ידיו לאחר האוכל. או אז התעוררה סקרנותו. הייתכן שהייתה זו התרכובת שבה עסק – האספרטם?

הוא ידע שחלק ממרכיבי תרכובת זו הן חומצות אמינו אשר נמצאות באופן טבעי בחלבונים ולכן לא חשש לטעום אותה. ואכן התרכובת הייתה **מתוקה!** מיד הכין לעצמו ולשותפו לעבודה, הרמן לאורי, קפה מומתק בחומר זה ונוכח לדעת שלקפה המתוק אין טעם לוואי.

עשרים שנה לאחר אותו היום השתלמה סקרנותו של שלטר, שכן **אספרטם**, הממתיק המלאכותי, נמכר במחזור של ביליוני דולר בשנה.

מהו הרכב האספרטם וכיצד הוא בנוי? בנוסחת האספרטם אפשר להבחין בשלושה חלקים: מולקולת חומצה אספרטית קשורה למולקולת החומצה פנילאלנין וזו קשורה גם למולקולת מתנול. ולכן שמה של התרכובת הוא אספרטיל-פנילאלנין – מתילאסטר.



שימו לב!

שתי חומצות האמינו, חומצה אספרטית ופנילאלנין, בעלות אטום פחמן א-סימטרי ולפיכך הן בעלות פעילות אופטית. כל אחת מהן יכולה להתקיים כאננטיומר (+) או (-).

בסינתזה של אספרטם במעבדה, מאותם שלושה מרכיבים באותו סדר, מתקבל לעתים, יחד עם האספרטם המתוק, גם אספרטם מר שנוסחת המבנה שלו זהה לחלוטין לנוסחת האספרטם המתוק.

כיצד אפשר להסביר זאת?

נראה כי גם לאספרטם שני אננטיומרים. האחד (+) מסובב את האור בכיוון השעון והוא האספרטם המר והשני (-) מסובב את האור נגד כיוון השעון והוא

האספרטם המתוק. כדי לייצר את האספרטם המתוק הרצוי (-) יש להשתמש באננטיומרים המתאימים בלבד, שכן רק אם נרכיב אותו מחומצה אספרטית (-) ופנילאלנין (-) נקבל אספרטם (-). למעשה, בחירה זו איננה פשוטה כלל ועיקר מכיוון שרוב תרכובות הפחמן הפעילות אופטית והמיוצרות במעבדה מתקבלות כתערובת רצמית (תערובת ביחס 1:1 של שני האננטיומרים), שלא כתרכובות פחמן פעילות אופטית הנמצאות בטבע או בגופנו כאחד האננטיומרים בלבד. לכן יש להפיק אספרטם מחומצות אמינו טבעיות שהן אננטיומרים (-) כדי שבתגובה ביניהן ייווצר רק התוצר אספרטם (-).

מדוע רק אספרטם (-) אחראי לתחושת טעם מתוק בפינו?

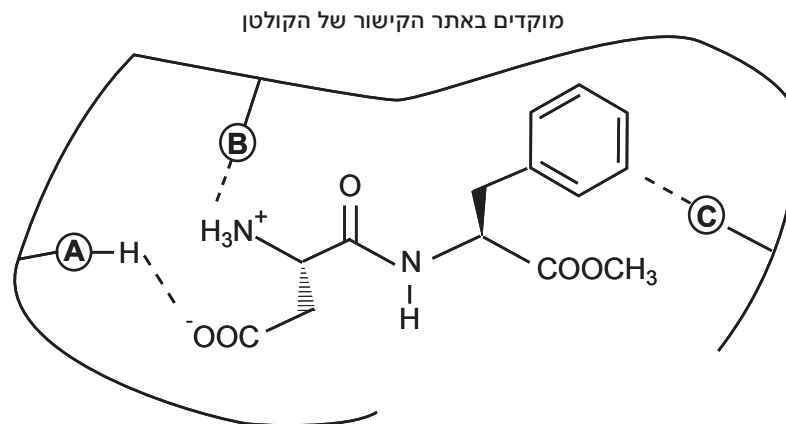
רוב התהליכים בגוף החי מתרחשים בקצב מתאים לפעולתם של אנזימים, שהם זרזים ביולוגיים. פעולת הזירוז נעשית באמצעות קישור לאתר הפעיל באנזים. רק איזומר בעל מבנה מרחבי ספציפי יכול להתקשר לאתר הזה. כפי שלא נוכל ללבוש כפפת יד שמאל על יד ימין כך לא יוכל האננטיומר הבלתי מתאים להתקשר אל האתר הפעיל באנזים. באותה דרך מתקשרים גם הקולטנים הקיימים בתאי חוש הטעם הנמצאים על לשוננו למולקולות האספרטם. רק המבנה המרחבי של מולקולות אספרטם (-) מתאים לקולטנים הקיימים בתאי חוש הטעם האחראים לתחושת הטעם המתוק.



עכשיו תורכם



התרשים שלפנינו מתאר כיצד מתקשרת מולקולת אספרטם (-) לקולטנים בגופנו. בתרשים תוכלו לראות שקשרים בין-מולקולריים נוצרים בין אזורים שונים במולקולת האספרטם לבין מוקדים מתאימים על הקולטנים.



- איזה קשר בין-מולקולרי מתקיים בין המוקד C שצל הקולטן לבין הטבעת הבנדנית שבמולקולת האספרטם?
- איזה קשר בין-מולקולרי קיים בין המוקדים A ו-B שצל הקולטן לבין אזורים מתאימים במולקולת האספרטם?

האם יש צורך להגביל את צריכת האספרטם?

כאשר האספרטם נספג בקיבה, שבה סביבה חומצית, הוא עובר פירוק לשלושת מרכיביו: חומצה אספרטית, פנילאלנין ומתנול. החומצה האספרטית (-) משמשת כנוירוטרנסמיטור במוח, כלומר מעבירה מידע מנוירון לנוירון. כאשר נוצרים נוירוטרנסמיטורים רבים מדי, נוצרים בעקבותיהם רדיקלים חופשיים המסוגלים לחסל תאים במוח. לכן יש לצרוך רק כמות מוגבלת של אספרטם.

בעיה נוספת בצריכת אספרטם נובעת מהצטברות מולקולות של התרכובת פנילאלנין, אצל אנשים שבגופם חסר האנזים שתפקידו לפרק את עודפי התרכובת הזו. עודפי הפנילאלנין מצטברים בגוף כקטונים ומפרשים בשתן. זו מחלה הנקראת פנילקטונוריה (P.K.U) והיא פוגעת בהתפתחות המוח של פעוטות ועלולה אף לגרום למותם בגיל צעיר. גם לאנשים שאינם חולים ב-P.K.U מומלץ להגביל את צריכת האספרטם.

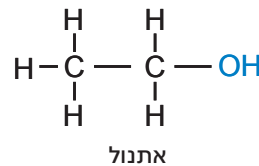
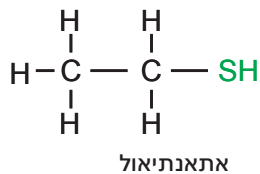


ג. הקבוצה הפונקציונלית - "הערך המוסף" של תרכובות פחמן

תרכובות פחמן שונות מעורבות בתהליכים המתרחשים סביבנו ובתפקוד התקין של גופנו. הקבוצות הפונקציונליות הקשורות לשלד הפחמני הן המקנות לתרכובת מסוימת יכולת לתפקד באופן ייחודי ושונה מתרכובת אחרת.

ג. קבוצות פונקציונליות - מגוון והרכב

לפניהם שתי תרכובות פחמן ידועות.



אתנול, כוהל בעל ריח חריף מוכר, מסיס במים ולא רעיל. אתאנתיאול, חומר בעל ריח חריף לא נעים, אינו מסיס במים ורעיל. לשלד הפחמני של מולקולת האתנול מחוברת קבוצת הידרוקסיל (OH) ואילו לשלד הפחמני של מולקולת אתאנתיאול מחוברת קבוצת תיאול (SH). נראה ששינוי קטן בקבוצה הפונקציונלית, החלפת אטום חמצן באטום גפרית במולקולה, גורם לשינוי גדול בתכונות החומר.

קבוצה פונקציונלית = קבוצה המקנה לתרכובת את תכונותיה הייחודיות וקובעת את השתייכותה המשפחתית.

איך נוכל להבין את ההשפעה של החלפת הקבוצות הפונקציונליות בתרכובות פחמן? נדמה זאת למתרחש במייבש שיער מצוי. מייבש השיער פועל על ידי שחרור אוויר חם מראש המכשיר. ניתן להבריג ראשים שונים



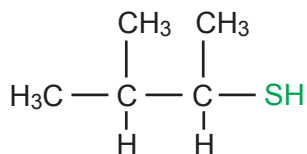
לגוף המכשיר בהתאם לצורך: ליישר, לסלסל, לגלגל או לנפח.

ועם קצת דמיון...

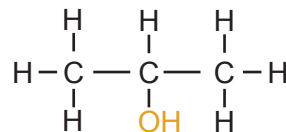
גוף המכשיר הוא ה"שלד הפחמני" במולקולה, ראש המכשיר הוא "הקבוצה הפונקציונלית" שלו. שלד פחמני שתוחלף בו הקבוצה הפונקציונלית ייצור תרכובת בעלת תפקוד שונה. ולעומת זאת, תרכובות בעלות אותה קבוצה פונקציונלית, גם אם השלד הפחמני שלהן שונה, הן תרכובות בעלות תכונות משותפות ונקראות "משפחה כימית".

משפחה כימית = קבוצת תרכובות בעלות קבוצה פונקציונלית זהה.

משפחת הכהלים בעלת הקבוצה הפונקציונלית (OH) ומשפחת התיאולים בעלת הקבוצה הפונקציונלית (SH), הן רק שתיים מהמשפחות הכימיות הרבות הקיימות בתרכובות פחמן.



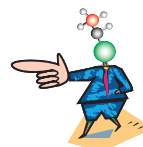
3-מתיל-2-בוטאנתיאול



2-פרופאנול

כדי להדגיש את קיומן של הקבוצות הפונקציונליות בתוך המולקולות מקובל לרשום נוסחת מבנה מקוצרת המדגישה אותן ולא נוסחה מולקולרית כללית. לדוגמה, את האתאנול נרשום כך: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ולא כך: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

עכשיו תורכם



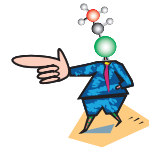
1. רשמו נוסחאות מבנה מקוצרות עבור הכהלים אתנול ו-2-פרופאנול.
2. רשמו נוסחות מבנה מקוצרות עבור אתאנתיאול וכך עבור 3-מתיל-2-בוטאנתיאול.

לפניכם טבלה המציגה מגוון משפחות כימיות של תרכובות פחמן.⁷
R בנוסחה הכללית מייצג שלד פחמני.

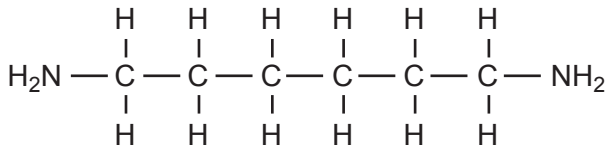
שימושים	דוגמה	נוסחת מבנה מקוצרת	שם המשפחה	הקבוצה הפונקציונלית	נוסחת מבנה כללית
חומר דלק, מרכיב בגז בישול.	פרופאן	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	אלקאנים	אין	RH
חומר מוצא להפקת חומרים פלסטיים.	אתן	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	אלקנים	קשר כפול	C=C
גז קירור, חומר דחף בתרסיסים, פוגע בשכבת האוזון בסטרטוספירה ולכן השימוש בו נאסר.	דיכלורו דיפלואורו מתאן (פראון)	CCl_2F_2	אלקיל הלדים	הלוגן	RX (X=F,Cl,Br,I)
המרכיב הפעיל במשקאות חריפים.	אתנול	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	כוהלים	קבוצה הידרוקסילית	ROH
חומר הרדמה, משכך כאבים.	דיאתיל אתר	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	אתרים	קבוצה אתרית	ROR
חומצה המשתחררת בעת עקיצת נמלים.	חומצה מתנואית	HCOOH	חומצות קרבוקסיליות	קבוצה קרבוקסילית	RCOOH
בעל טעם וריח של אננס, משמש כתוסף מזון.	אתיל בוטאנואט	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_2\text{H}_5$	אסטרים	קבוצה אסטרית	RCOOR'
מתווך עזבי במנגנון התאהבות באדם.	פנילאתיל אמין	$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_2$	אמינים	קבוצה אמינית	RNH ₂
ריח חריף, מתריע על דליפת גז.	אתאנתיאול	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$	תיאולים	קבוצה תיאולית	RSH

*7 - מעובד מתוך "כימיה בקו הבריאות" / בתיה גלעד-שרה פרח, האוניברסיטה העברית בירושלים

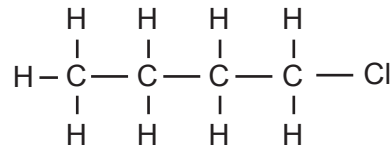
עכשיו תורכם



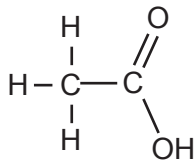
1. כתבו נוסחאות מבנה עבור התרכובות שבטבלה בעמוד הקודם.
2. לפניכם נוסחאות מבנה של שש תרכובות פחמן שונות.
 - א. ציינו מהי הקבוצה הפונקציונלית בכל תרכובת ולאידו משפחה היא שייכת.
 - ב. כתבו נוסחת מבנה מקוצרת עבור כל אחת מהן.



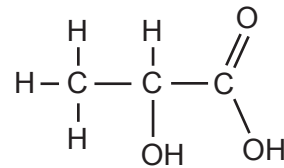
1,6-הקסאנדיאמין



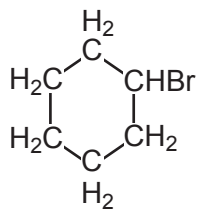
1-כלורובוטאן



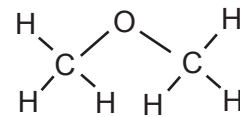
חומצה אתאנואית



חומצת חלב



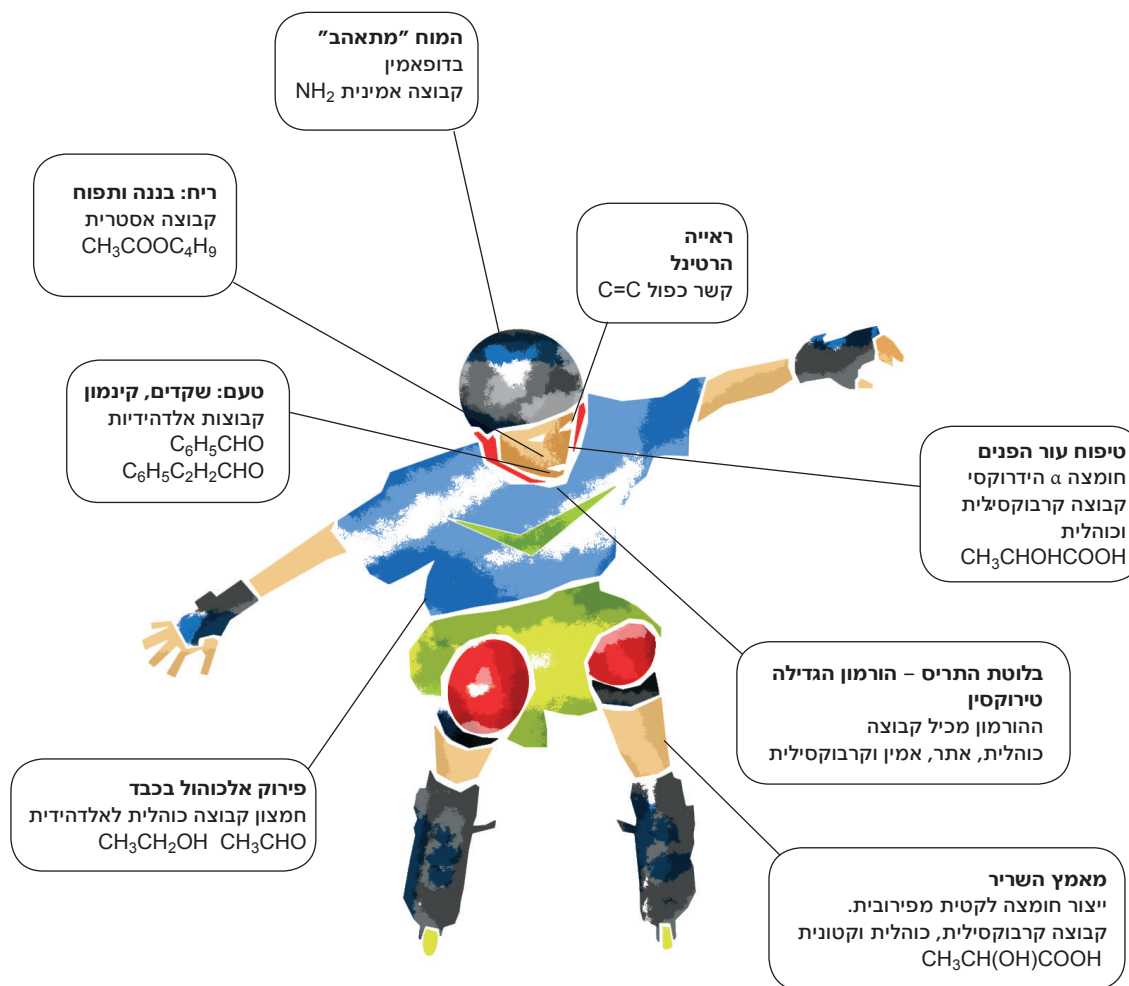
ברומוציקלوهקסאן



דימתילאתר

גם בגופנו פועלות תרכובות השייכות למשפחות כימיות רבות ותהליכים שונים וחיוניים מתרחשים בו בכל עת בזכות הקבוצות הפונקציונליות והמעברים ביניהן.

הגוף הפונקציונלי שלנו



נראה כי תרכובת פחמן עשויה לכלול יותר מקבוצה פונקציונלית אחת, וכל קבוצה עשויה לתפקד בדרך האופיינית לה, אם כי לעיתים נוצרת השפעה הדדית בין הקבוצות באותה מולקולה.

לכל קבוצה פונקציונלית תגובות אופייניות לה וכך אפשר לזהות משפחות כימיות באמצעות ניסויים מתאימים.

2. זיהוי קבוצות פונקציונליות בתרכובות פחמן

לפניכם ניסויים המדגימים שיטות זיהוי של קבוצות פונקציונליות בתרכובות פחמן.



ניסוי 2: זיהוי כוהלים
א. חמצון כוהלים

חומרים וציוד

- 1 מ"ל אתנול במבחנה עם פקק
- 5 מ"ל תמיסת $0.1M \text{KMnO}_4$ בסביבה חומצית
- טפי
- כן+מבחנות

מהלך הניסוי

טפטפו 3–5 טיפות של תמיסת KMnO_4 לתוך המבחנה עם האתנול וצפו במתרחש.
מה השתני הנראה לעין?

שינוי הצבע המקורי של תמיסת KMnO_4 מסגול לחום מעיד על נוכחות כוהל.
הצבע הסגול של תמיסת KMnO_4 נובע מנוכחותו של היון MnO_4^- (aq) המצוי בה, ואילו הצבע החום מעיד שנוצרה התחמוצת MnO_2 (ה) – MnO_4^- (aq) עבר חיזור והכוהל עבר (חמצון).

למעשה, לא כל הכוהלים עוברים חמצון ואפשר לזהות אותם גם בדרך אחרת.

ב. תגובת כוהלים עם נתרן – קבלת יון אלקאוקסיד (RO^-)
ניסוי הדגמה

חומרים וציוד

- 30 מ"ל אתנול אבסולוטי
- קוביות קטנות של נתרן בנפט
- מי ברז
- פינצטה ארוכה
- 2 כוסות כימיות של 50 מ"ל
- מעגל חשמלי: ספק, אלקטרודות גרפיט, 2 חוטי חשמל "בננה-תנין" + מכשיר רגיש לבדיקת מוליכות חשמלית (mA)

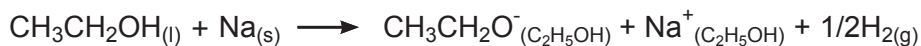
מהלך הניסוי

- א. הכניסו לכוס כימית 30 מ"ל אתנול.
- ב. בדקו את המוליכות החשמלית של הנוזל.
האם הוא מוליך חשמל?
- ג. הוסיפו לכוס קוביית נתרן וצפו במתרחש.
מה השינוי שנראה לעין?
- ד. חכו שהתגובה תסתיים ובדקו שוב את המוליכות החשמלית בתמיסה.
האם התמיסה שנוצרה מוליכה חשמל?
צל מה מצידה תוצאת הבדיקה?
- ה. הוסיפו לכוס שנייה מי ברז, בדקו את המוליכות החשמלית שלהם והשוו אותה לזו של התמיסה בסעיף ד'.
למי מוליכות חשמל גבוהה יותר?



פליטת גז בתגובה שבה השתתף הנתרן (בתרכובת פחמן לא חומצית) מעידה על נוכחות כוהל.

בתגובה של אתנול עם נתרן השתחרר גז מימן ונוצר נתרן אתוקסיד המתמוסס בכוהל ומתפרק ליונים.



יוני הנתרן ויוני האתוקסיד ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$) שבתמיסת האתנול אחראים למוליכות החשמלית שלה.

מהניסוי אפשר ללמוד גם על קיום קבוצה חשובה נוספת הנקראת קבוצת אתוקסי. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$) הקבוצה הזו אחראית גם היא להולכת החשמל בתמיסה.

ניסוי 3: זיהוי חומצות ובסיסים של תרכובות פחמן תגובה עם מגנזיום ועם מים



חומרים וציוד

- 10 מ"ל חומץ ביתי - תמיסה מימית של CH_3COOH
- 10 מ"ל תמיסה מימית של 1,6-די אמינו הקסאן ($\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$)
- סרט מגנזיום

- נייר pH + סקלת צבעים
- 2 כוסות כימיות 50 מ"ל
- מכשיר לבדיקת מוליכות חשמלית

מהלך הניסוי

א. העבירו את תמיסת החומץ לכוס כימית ובדקו את ה-pH ואת המוליכות החשמלית שלה.

מהו ה-pH? האם התמיסה מוליכה חשמל?

ב. העבירו את התמיסה של 1,6-דיאמינו הקסאן לכוס השנייה, בדקו את ה-pH ואת המוליכות החשמלית שלה.

מהו ה-pH? האם התמיסה מוליכה חשמל?

ג. הוסיפו חתיכת סרט מגנזיום לכל אחת מהתמיסות וצפו במתרחש.

מה השתנוי הנראה לעין?

1. מהי הקבוצה הפונקציונלית בכל אחד מהחומרים?
2. כתבו ניסוח תגובה כימית לכל אחד מהחומרים על סמך תוצאות כל הניסויים.



ניסוי 4: זיהוי אלקנים הוספת מי ברום לציקלוהקסן



חומרים וציוד

- 6 מ"ל ציקלוהקסן (C_6H_{10}) במבחנה פקוקה (כ-1/3 מבחנה)
- תמיסת Br_2 בציקלוהקסאן (C_6H_{12}) בבקבוק עם טפי

מהלך הניסוי

ספטפו לתוך המבחנה המכילה את האלקן - ציקלוהקסן טיפה אחר טיפה תמיסת ברום וצפו במתרחש.

מה השתנוי הנראה לעין?

שינוי הצבע המקורי של תמיסת הברום מעיד על נוכחות אלקן⁸.

ג3. תגובות כימיות – מעברים בין קבוצות פונקציונליות

לתרכובות פחמן תכונות שונות בשל הקבוצות הפונקציונליות שלהן ולפיכך כאשר אתם מעוניינים לקבל תרכובות אחרות עם תכונות רצויות, יש לשנות את הקבוצה הפונקציונלית.

אפשר לעשות זאת בשתי דרכים.

I. שינוי הקבוצה הפונקציונלית

לדוגמה, אפשר לשנות את קבוצת ההידרוקסיל (OH) בכוהלים על ידי חמצונה⁹ לקבוצת קרבוקסיל (COOH) או לקבוצת קרבוניל (C=O) ולקבל חומצות קרבוקסיליות¹⁰ או קטונים, שהם תוצרים בעלי תכונות שונות מאלו של הכוהלים. כוהל ראשוני (קבוצת ההידרוקסיל הקשורה לקבוצת אלקיל ראשוני) עובר חמצון ומתקבלת חומצה קרבוקסילית:



כוהל שניוני (קבוצת ההידרוקסיל הקשורה לקבוצת אלקיל שניונית) עובר חמצון ומתקבל קטון:



אנו משתמשים בסימן [O] לחומר מחמצן המכיל אטומי חמצן.

II. החלפת הקבוצה הפונקציונלית

אפשר להחליף את הקבוצה הפונקציונלית בתרכובות פחמן בקבוצה פונקציונלית אחרת, ללא שינוי בשלד הפחמני. תגובות כאלו מאפשרות לייצר חומרים בעלי תכונות מתאימות מחומרי גלם מצויים.

לדוגמה, אפשר להחליף את אטומי הכלור באלקיל כלורידים בקבוצות ההידרוקסיל וכך לקבל כוהלים, שהם חומרים בעלי תכונות שונות מהמגיבים האלקיל הלידים.



בפרק ב' נכיר תהליכים כאלה המאפשרים ליצור תרכובות מגוונות בעלי תכונות רצויות.

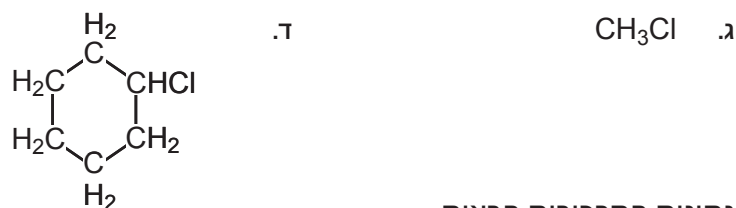
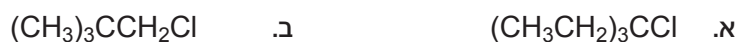
9 – המושג חמצון מוכר לכם מלימודים קודמים.

10 – בחמצון כוהל ראשוני על ידי מחמצן חלש CuO מתקבל כידוע אלדהיד.

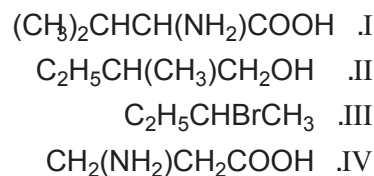


חושבים... ועונים - שאלות חזרה

1. מיינו את האלקיל הלידים הבאים לראשוני, שניוני ושלישוני, ע"פ המבנה של אטום הפחמן הקשור לקבוצה הפונקציונלית.



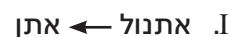
2. נתונות התרכובות הבאות:



א. שרטטו נוסחת מבנה לכל אחת מהמולקולות וזהו לאלו מהתרכובות עשויה להיות פעילות אופטית.

ב. במולקולות בעלות פעילות אופטית, שרטטו עבור כל אחד מהאננטיומרים את המבנה המרחבי סביב אטום הפחמן הכיראלי (ראו הדרכה ב"מבט לעומק").

3. במעבדה במפעל כימי ניסו להשתמש בחומר הגלם אתנול ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) לייצור תרכובות שונות באמצעות שלוש התגובות הבאות:

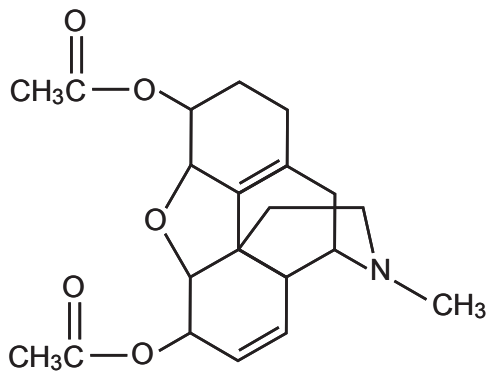


א. לגבי כל תהליך רשמו את נוסחת המבנה של התוצר הסופי.

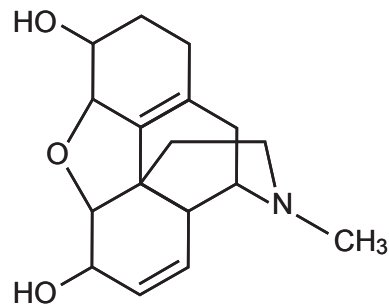
ב. הציעו לכימאי דרך שבה יוכל לבדוק שאכן קיבל את התוצר הרצוי.

4. לשתי התרכובות $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$, $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_2\text{H}_5$ ריחות של פירות. שרטטו את נוסחת המבנה שלהן וציינו מהי הקבוצה הפונקציונלית המשותפת לשניהן.

5. מורפין היא תרופה המרגיעה כאבים והרואין הוא סם מעורר מסוכן. שני החומרים ממכרים. התבוננו בנוסחאות שני החומרים וענו:
- מהן הקבוצות הפונקציונליות בכל תרכובת? אילו קבוצות פונקציונליות שונות בשתי התרכובות?
 - מה משותף במבנה השלד הפחמני של שתי התרכובות?
 - הסבירו מה עשויה להיות הסיבה לתכונות המשותפות והשונות בתרכובות אלו.



הרואין



מורפין