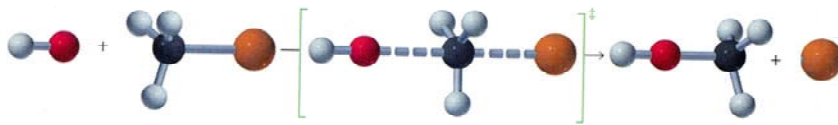


מולקולות במסע - התחנות

שבדרך

כימיה אורגנית מתקדמת

מדריך למורה

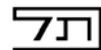


אריאלה וינר - חיה פרומר - רחל צימרוט

האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים

משרד החינוך. המזכירות הפדגוגית. האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

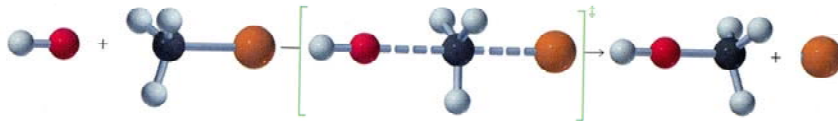
מטה מל"מ. המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט



מולקולות במסע - התחנות שבדרך

כימיה אורגנית מתקדמת

מזריך למורה



ראש הפרויקט: פרופ' דני מגדלר

ד"ר רחל צימרוט - אריאלה וינר - חיה פרומר

יוצא לאור במימון האגף לתכנון ופיתוח תכניות לימודים במשרד החינוך ומטה מל"מ, המרכז לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים



משרד החינוך. המזכירות הפדגוגית. האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



מטה מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי - טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט

תוכן עניינים

4	מבוא
	1. הקדמה
7	2. המושגים במבנית
8	3. תכנון לימודים – ידע מוקדם ונקודות השקה למבניות אחרות
9	4. האמצעים הדידקטיים בספר
12	5. מבנה כל פרק במדריך

פרק ראשון : ייחודן של תרכובות פחמן

13	א. השלד הפחמני – אבן הבניין
13	לב העניין
13	צעד צעד
14	הערות והארות
15	תשובה לעניין
18	לעומקו של עניין
18	ב. "איזומרים במראה" – איזומרים אופטיים
18	לב העניין
19	צעד צעד
19	הערות והארות
20	תשובה לעניין
21	לעומקו של עניין
22	ג. הקבוצה הפונקציונלית – "הערך המוסף" של תרכובות פחמן
22	לב העניין
22	צעד צעד
23	הערות והארות
24	תשובה לעניין
26	לעומקו של עניין

פרק שני : תגובות התמרה - "צעד אחרי צעד"

27	לב העניין
27	צעד צעד
29	הערות והארות
33	תשובה לעניין
39	לעומקו של עניין

פרק שלישי : אלימינציה וסיפוח – "מולקולות על פרשת דרכים"

47	לב העניין
47	צעד צעד
50	הערות והארות
53	תשובה לעניין
68	לעומקו של עניין

מבוא

1. הקדמה

המבנית, מולקולות במסע - התחנות שבדרך, היא מבנית בחירה (חצי יחידת לימוד) בנושא כימיה אורגנית מתקדמת על פי תוכנית הלימודים החדשה ל- 4-5 יחידות, והיא נועדה לתלמידי כיתה י"ב המתמחים בכימיה.

מטרת המבנית היא להציג את הכימיה האורגנית כתחום דעת בעל ארגון פנימי ובו חוקיות פשוטה יחסית. החוקיות הפשוטה מתבטאת בכך שמספר מצומצם של מנגנוני תגובה משותפים לתהליכים רבים. לימוד כימיה אורגנית דרך מנגנוני התגובה מאפשר הבנת המגוון הרחב של התהליכים בתעשייה, בסביבה ובגופנו.

בפרקי המבנית יודגשו המאפיינים הכימיים הבאים של תרכובות הפחמן:

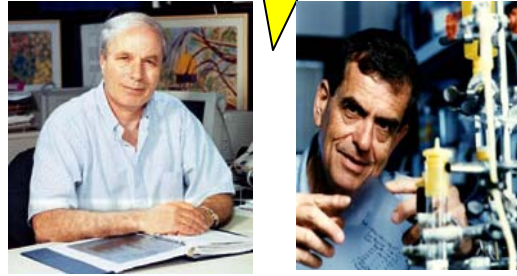
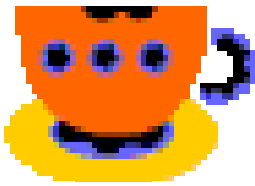
- א. **קבוצות פונקציונליות** המקנות לתרכובות את תכונותיהן המגוונות - במבנית יובלט הרעיון כי שינוי "קטן" הנעשה באחת הקבוצות הפונקציונליות בתרכובת גורם לשינוי ניכר בתכונות הפיסיקליות והכימיות.
- ב. הכרת **מנגנון תגובה** כמודל לתיאור השלבים בהם הופכת קבוצה פונקציונלית אחת לאחרת – במבנית יודגש כי ידיעת המנגנון מאפשרת לחזות מראש את התהליכים המתרחשים ואף לבחור את התנאים המתאימים לקבלת התוצר הרצוי. הבנת המגוון הרחב של תהליכים בכימיה אורגנית תבוא מתוך הכרה כי קיים עבורם מנגנון משותף המבוסס על תגובה בין אלקטרופיל לנוקלאופיל.

במבנית אנו מציגים את הכימיה האורגנית בהקשרים הקרובים לעולמם של התלמידים, וכך הם נחשפים לעולם העשיר של תרכובות הפחמן המוצא ביטוי כמעט בכל תחום בחיינו (תרופות, תהליכים המתרחשים בגופנו, מוצרי מזון וסביבה). בתרשים בעמוד הבא מוצגים כמה מהתהליכים המתרחשים במחקר, בטבע ובתעשייה וקשורים לתהליכים המתוארים במבנית

**טצאים
ורחות**
ריח המנטה
והאספרטם

**פרס נובל
2004**
מנגנונים

**ספורט
אתלרי
אדרנלין**



כימיה בחיי יומיום



סביבה
במצולות הים
הבלטי

כריאות
ויאגרה

תצטייה
נאופרן

המבנית כוללת:

ספר לתלמיד

מדריך למורה

פעילויות ממוחשבות

הספר הוא המרכיב העיקרי במבנית ובו שלושה פרקים:

פרק ראשון – ייחודן של תרכובות הפחמן

פרק שני - תגובות התמרה – "צעד אחרי צעד"

פרק שלישי - אלימינציה וסיפוח - "מולקולות על פרשת דרכים"

בפרק זה שני חלקים:

חלק ראשון: תגובות אלימינציה

חלק שני: תגובות סיפוח

הספר כולל ניסויים, סדנאות מודלים מולקולריים, מאמרים וסיפורי מקרה הקושרים את

הנושאים הנלמדים לחיננו. אנימציות ותרגילים אינטראקטיביים בפעילויות ממוחשבות המלווה

את הספר/מבנית.

2. המושגים במבנית

המושגים הנלמדים במסגרת היחידה כוללים את כל רשימת המושגים שהוגדרה על ידי ועדת התוכנית החדשה לכימיה 5 יח"ל בתחום המבנית כימיה אורגנית מתקדמת.

- **שלד פחמני וקבוצות פונקציונליות בתרכובות פחמן** : קבוצת אלקיל-ראשוני, שניוני, שלישוני. יון קרבוניום, איזומרי הסתעפות, איזומריה ציס-טרנס,
- **שמות תרכובות פחמן**: קביעת שמות על פי שיטת IUPAC
- **חומצות ובסיסים**: הגדרות על פי לואיס, חוזק בסיס וחוזק חומצה, תגובת חומצה בסיס,
- **סטריאוכימיה**: פעילות אופטית, פחמן כיראלי, אננטיומרים, תערובת רצמית
- **תגובות בתרכובות פחמן**: מנגנון תגובה, התקפה נוקלאופילית, נוקלאופיל-הקבוצה התוקפת, קבוצה עוזבת
- **תגובות התמרה**: תגובת התמרה מסדר ראשון (S_N1) ומסדר שני (S_N2), היפוך וולדן
- **תגובות אלימינציה**: תגובת אלימינציה מסדר ראשון ($E1$) ומסדר שני ($E2$) אל-מיום
- **תגובת סיפוח**: התקפה אלקטרופילית, כלל מרקובניקוב

3. תכנון לימודים ידע מוקדם ונקודות השקה עם מבניות אחרות.

המבנית מתבססת על עולם מושגים, שמרביתו מוכר לתלמידים מלימודיהם הקודמים. לדוגמא, התלמיד יוכל לקשר את הידע שלו בנושא מבנה וקישור בלימוד מבנה ותהליכים בתרכובות פחמן כיוון שהיסודות העיקריים הבונים את המולקולות (H N C O) מקיימים את כלל האוקטט וכו' לו.

המושגים שנלמדו במבניות קודמות

1. **קשור כימי**: קשר בודד, קשר כפול (ציס-טרנס), צורות מולקולריות מרחביות. מודל לואיס, אורביטלים
2. **תרכובות פחמן**: פחמימנים ישרים ומסועפים, טבעות, איזומרים, קבוצות פונקציונליות של: אלקיל הלידים, כוהלים, חומצות קרבוקסיליות, אמינים, פולימרים
3. **חומצות ובסיסים**: הגדרות ברונסטד לאורי, חוזק בסיסים וחוזק חומצות, תגובות בין חומצות ובסיסים
4. **תרמודינמיקה וקינטיקה**: מצב מעבר(תצמיד משופעל), אנרגית שפעול, תוצר ביניים, מהירות תגובה, סדר תגובה, שלב קובע מהירות.

אנו ממליצות ללמד את המבנית לאחר לימוד נושא תרמודינמיקה וקינטיקה, בו התלמיד נחשף לנושאים המהווים בסיס ללימוד נושא המנגנונים.



4. האמצעים הדידקטיים במבנית



ניסויים

מספר הניסויים במבנית מוגבל כיוון שחלק גדול מתרכובות הפחמן אסור לשימוש בבית הספר. בספר כלולים ניסויי זיהוי חומרים, ניסויים בשיטת ניבוי – התבוננות - הסבר (POE) וניסויי חקר.

”הכול בידיים שלנו” - סדנת מודלים מולקולריים

שימוש במודלים מולקולריים נפחיים ממחיש את העובדה שמולקולות אורגניות הן בעלות נפח ומבנה מרחבי מוגדר (ואינן מורכבות מקווים ואותיות כפי שהתלמיד עלול להבין מנוסחות מבנה). העבודה עם מודלים פיזיקליים מסייעת להבין מושגי מפתח במבנית זו כמו: איזומריה, הפרעה סטרית, מצב מעבר ועוד.

המודלים המתאימים הם מודל כדור-מקל ומודל אורביט מולקולרי. במודל כדור-מקל מומלץ להשתמש כשבונים מולקולות קטנות, כדי להמחיש הפרעה סטרית ולהדגים תהליכים במולקולות המכילות קשר כפול. במודל אורביט מומלץ להשתמש כאשר בונים מולקולות גדולות או מסועפות וכאשר מעוניינים להמחיש את המבנה של שלד המולקולה.

באמצעות סדנאות מודלים אנו מעודדים את התלמידים לעבוד עם מודלים ממשיים (ולא רק מחשבתיים וממוחשבים למרות שזה נראה קצת מיושן) כי אנו מאמינים שלהתנסות ב”עבודת ידיים” יש ערך מוסף. כפי שאומר פתגם סיני עתיק:

”כשאני שומע – אני שוכח

כשאני רואה – אני זוכר

כשאני עושה – אני מבין!”



העבודה עם מודלים פיזיקליים במקרה זה מסייעת להבין מושגי מפתח במבנית כמו: איזומריה (סיעוף, גיאומטרית ואופטית), הפרעה סטרית, מבנה מצב מעבר, מבנה תוצר ביניים מבנה תוצר מועדף, ועוד.

מאמרים וסיפורי מקרה

סיפורי המקרה והמאמרים, מתארים אירועים מעולמנו הקשורים לחומר הנלמד. תפקידם הוא להציג את הכימיה האורגנית בהקשרים הקרובים לתחומי ההתעניינות של התלמידים ולהדגיש את קשרי הגומלין הקיימים בין הכימיה לבין תחומי מדע אחרים ובכללם תעשייה /טכנולוגיה וחברה. ידוע כי המוטיבציה של התלמידים ללימוד נושא מסוים גדלה, ככל שהם משוכנעים בחשיבותו וברלוונטיות שלו.

כמו כן, המאמרים, סיפורי המקרה והשאלות המלוות אותם מזמנות את יישום הידע הנלמד במבנית להיבטים בריאותיים, סביבתיים ותעשייתיים ולתופעות מחיי יומיום. התנסות נוספת זו של התלמיד תשפר את יכולתו להתמודד עם כתבות ומאמרים בעלי תוכן מדעי ותסייע לו בהמשך דרכו להתעדכן בידע חדש ולרענן ידע שכבר רכש.

הפעילויות הממוחשבות

רציונל

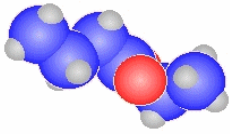
בלימוד המבנית "כימיה אורגנית מתקדמת" התלמידים נדרשים להתמודד עם רמת ההבנה הגבוהה ביותר בכימיה, שהיא "רמת התהליך" (Dori & Hameiri, 2003), שכן המבנית עוסקת במנגנונים בכימיה אורגנית. בנוסף להתמודדות עם רמת התהליך, התלמידים חייבים להתמודד עם תפישת המבנה המרחבי של המולקולות האורגניות והשינויים החלים בו לאורך התהליך. לכן, יש להשתמש במרב האמצעים הדידקטיים כדי לסייע לתלמידים להתגבר על קשיים אלה ולאפשר להם לבנות את המודל המנטאלי המתאים. נמצא ששימוש במודלים ממוחשבים עשוי לשפר את הבנתם ותפישותיהם המרחביות של התלמידים. האנימציות הממוחשבות יתארו וימחישו בדרך מיוחדת את הדינאמיות של התהליכים, והתרגילים הממוחשבים יאפשרו לתלמידים לבדוק ולשפר את הבנתם בנושאי מנגנוני התגובה.

הפעילויות בפעילויות ממוחשבות חייבות להיות אינטראקטיביות, שכן נמצא במחקרים העוסקים בהוראת המדעים, שהוראה אינטראקטיבית משפרת את ההבנה הקונספטואלית של התלמידים.

אנימציות ממוחשבות של מנגנונים ותרגילים

הפעילויות ממוחשבות המלוות את התכנית מכילות אנימציות אותן יפעילו התלמידים עצמם. האנימציות תתארנה את מנגנון התגובה על פי השלבים וגם את השינויים המתרחשים במבנה המרחבי של המולקולות במהלך התגובות.

המנגנונים הנלמדים במבנית מלווים באנימציות הממחישות את הדינאמיות שבתהליכים ומדגישות את שלבי המנגנון והמבנה המרחבי של המגיבים התוצרים ומצב המעבר. בעוד שהעבודה עם מודלים פיסיקליים ממחישה מצבים הרי העבודה עם המודלים הממוחשבים ממחישה את התהליכים. האנימציות הממוחשבות ממחישות בדרך מיוחדת את הדינאמיות של התהליכים.

תרגול ממוחשב

התרגילים יהיו תרגילי סיכום בהם התלמידים יבחרו תשובה לשאלות בנושא ויקבלו משוב לתשובותיהם.

התרגילים הממוחשבים יאפשרו לתלמידים לבדוק ולשפר את הבנתם בנושאי מנגנוני התגובה.

5. מבנה כל פרק במדריך

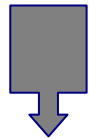
פרקי המדריך למורה ערוכים בהתאמה לפרקי הספר לתלמיד וליחידות בכל פרק. ההתייחסות במדריך לכל יחידת לימוד היא על פי תבנית קבועה וכוללת מספר סעיפים המופיעים ברצף קבוע. לכל סעיף – סימן מוסכם (ICON) המבטא את אופיו. לפניהם שמות הסעיפים על פי רצף הופעתם בכל יחידה, ולצדם סימניהם המוסכמים.

לב העניין - רעיונות ומושגים מרכזיים ביחידה



כולל את המושגים החדשים ותמצית הרעיונות המרכזיים המובאים ביחידה.

צעד צעד... - מהלך היחידה והתפתחותה



א.תרשים רצף ההוראה

ב.הערות והארות- ההצעות הדידקטיות מובאות בטבלה בצורה תמציתית ומובנית



תשובה לעניין – תשובות למבחר שאלות



הצעה לתשובות לחלק מהשאלות המופיעות במהלך הפרק: ניסויים, פעילויות וקטעים

יישומיים. כמו כן, תשובות לשאלות הסיכום והחזרה שבסוף כל פרק.



לעומקו של עניין... הרחבה והעמקה



כולל: פעילויות וניסויי בחירה

הרחבה בתחומי תוכן

מקורות לקריאה ועבודה נוספת

פרק ראשון – ייחודן של תרכובות הפחמן

פרק זה הוא מעין "ארגז הכלים" של המבנית, שכן הוא עוסק במושגים הבסיסיים המשמשים את התלמידים לאורך המבנית, תוך קישורם לידע הקודם שלהם. הפרק מלווה בסדנאות מודלים – "הכול בידיים שלנו", בהם יכולים התלמידים להתמודד עם הבנת המבנה המרחבי של תרכובות הפחמן. כמו כן משולבים בפרק ניסויים לזיהוי הקבוצות הפונקציונליות שמטרתם להזכיר שוב את "המשפחות הכימיות" עליהן התלמידים למדו בעבר וניסויים המדגימים את הפעילות האופטית.

א. השלד הפחמני - אבן הבניין

לב העניין-מושגים, רעיונות מרכזיים ביחידה



מילים:

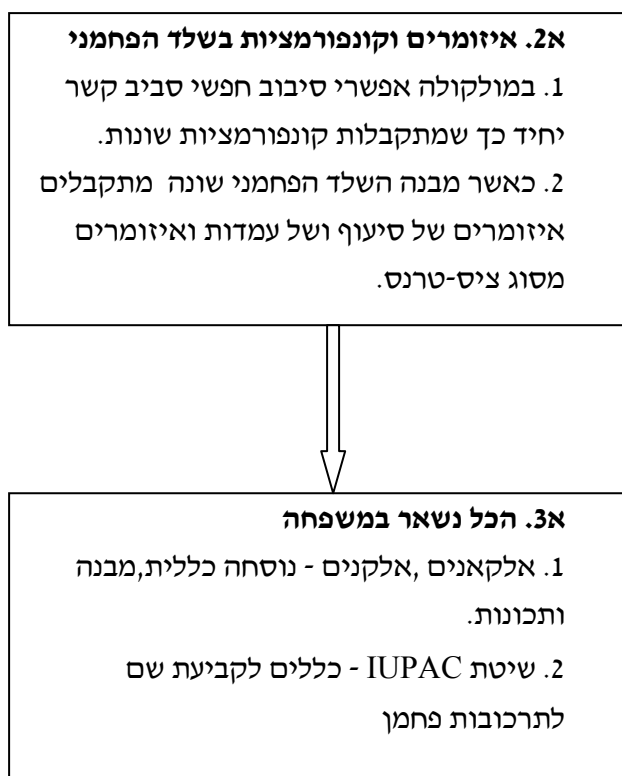
ביו-דלק, דלקים מתחדשים, טבעת ארומטית, קונפורמציות, איזומרים, משפחה כימית, קבוצת אלקיל.

רעיונות:

1. לעולם העשיר של תרכובות פחמן קשר הדוק למקורות אנרגיה ותערובות שלהן מרכיבות דלקים מינראליים מסורתיים (מתכלים) ודלקים מתחדשים כביו דלקים.
2. השלד הפחמני מהווה חלק עיקרי בכל מולקולה של תרכובות פחמן.
3. מבנה השלד הפחמני וצורתו משפיעים על תכונות התרכובת.
4. מדענים מצאו שיטה לכנות תרכובות, בשיטת IUPAC לכל תרכובת יש שם שונה וייחודי לה.

צעד צעד – מהלך היחידה והתפתחותה





הערות והארות

להדגיש את ההבדלים בין הדלקים המינראליים לבין הביו-דלקים ולקשר דיאלמה כלכלית זו לישראל.	הקדמה- תרכובות פחמן על גלגלים
כדאי להביא ולהציג לפני הכיתה מודלים גדולים (כדור-מקל) של המולקולות מעמוד 2 כדי להמחיש את מרכזיותו של השלד הפחמני. את מולקולת הבנזן נבנה על ידי קשרים כפולים מצומדים עם זאת נציין כי למעשה כל הקשרים זהים (אל- איתור).	א.השלד הפחמני-אבן הבניין א1
סדנת מודלים א': כמובן עדיף שכל קבוצה תבצע את כל מהלך הסדנה אך בכיתה עם מספר רב של תלמידים ניתן לפצל את הסדנה למשימות כך שכל קבוצה תבנה דגם אחד ותציג בפני כל הכיתה את תוצאותיה.	א2
שני קטעי חזרה. כדאי לעבור במהירות ולעגן את הסבר התכונות הפיסיקליות של אלקאנים ואלקנים בתכנים הידועים שנלמדו במבנה וקישור. בעמ' 29 מופיעה סדנת מודלים ב' שמטרתה להציג בפני התלמידים	א3, II, I

<p>סוג נוסף של איזומרים- איזומרים גיאומטריים. גם כאן ניתן לפצל את הסדנה למשימות וכל קבוצה בסיום תציג בפני כל הכיתה תוצאות חלקיות של הסדנה.</p> <p>למרות שהנושא לא נדרש בבחינת הבגרות אנו ממליצים ללמד אותו. מניסיוננו מצאנו שתלמידים קולטים זאת במהירות, וידע זה עוזר להם בהבנת המושגים קבוצת אלקיל שניונית ושלישונית, מושגים הנדרשים בפרקים הבאים. עם זאת התלמידים לא יידרשו בבחינת הבגרות לתת שם לתרכובת או לחילופין, לכתוב נוסחת תרכובת על סמך השם שלה.</p>	<p>I3א – קביעת שם לתרכובות פחמן</p>
--	-------------------------------------



תשובה לעניין – תשובות למבחר שאלות

עמ' 2

1. אנרגיה ממקורות אנרגיה מתחדשים כגון רוח, שמש וביו-דלק מנצלת כוחות הנמצאים בטבע שאינם מתכלים עם הזמן ולכן גם אם נשתמש באנרגיה המופקת מהם זמן ממושך, כמותם לא תפחת. בניגוד לכך, מקורות אנרגיה כגון גז טבעי או גז נוזלי הם בעלי כמות סופית ולכן כמותם בעולם פוחתת בשימוש חוזר ונשנה לאורך זמן.
2. לישראל אין בשטחה מקורות אנרגיה מתכלים כגון גז או נפט ולכן חשוב שתפתח טכנולוגיות לשימוש באנרגיה המבוססת על מקורות מתחדשים.
3. אזורים שונים בישראל (בקעת בית שאן, עמק הירדן) הם בעלי אקלים חם ולח המתאים לגידולי קני סוכר. לישראל גם יכולת לפתח טכנולוגיות להפקת אנרגיה מקני סוכר. המגבלות: כמות המים בישראל מועטת יחסית לברזיל וכוח העבודה בה יותר יקר.
4. ייתכן כי ייצור מוגבר של אתאנול יוביל גם להגברת בעיות שתייה.

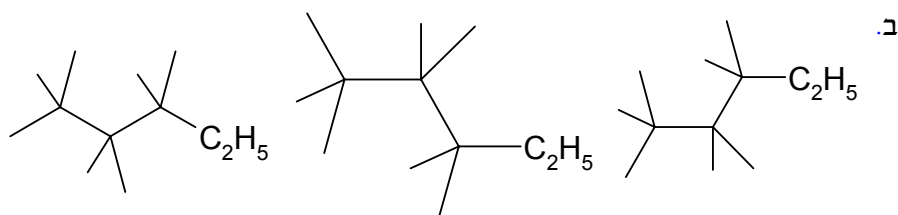
תשובות לסדנת מודלים א' (עמ' 18)

1. א. הזוית היא 109.5.

ב. צורה זיגזגית

ג. מקיום זויות הקשר 109.5 בין כל שלושה אטומי פחמן.

2. א. אינסוף צורות בהתאם לסיבוב.



ג. כל הצורות שייכות לתרכובת אחת שכן המבנה נשמר.

3. א. בהערכות חופפת אפס מעלות, בהערכות חורגת 180 מעלות.
 ב. הערכות חורגת יציבה יותר שכן קיימת בה דחייה מכסימלית בין ענני האלקטרונים של הכלור.
 5. שלושת המודלים שייכים לתרכובות שונות שכן השלד הפחמני השתנה ובעקבותיו- המבנה.

עכשיו תורכם (עמ' 23)

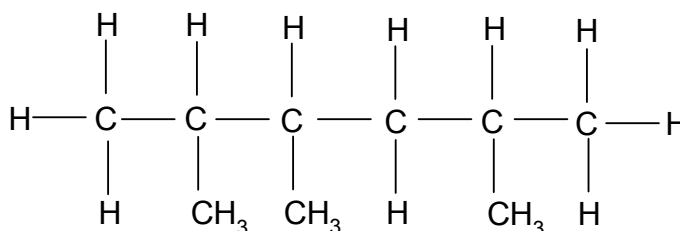
1. אתאן יתאים לגז בישול כי יש לו טמפרטורת רתיחה נמוכה מטמפרטורת החדר. אוקטאן יתאים לדלק למכוניות כי הוא נוזל בטמפרטורת החדר.
 2. א. אלקאנים לא יתמוססו במים שכן אינם יכולים ליצור קשרי מימן עם מים וכך להשתלב בקשרי המימן של המים.
 ב. נפט יכול להוריד כתמי זפת שכן הוא יכול להמיס אותם: ייוצרו קשרי ו.ד.ו בין מולקולות האלקאנים לבין מולקולות הזפת.

עכשיו תורכם (עמ' 25)

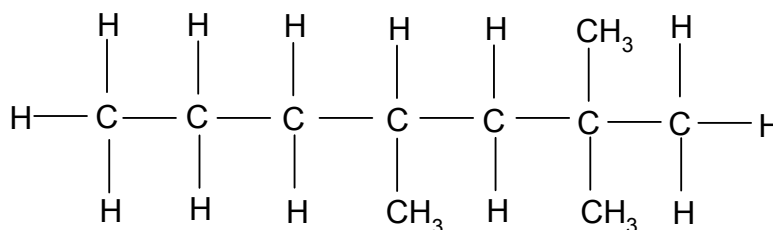
- א. שלישוני ב. ראשוני ג. שניוני

עכשיו תורכם (עמ' 28)

1. 3 די מתיל פנטאן ו- 2 מתיל בוטאן.
 2. א.



ב.



3. $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ הכסאן נורמלי

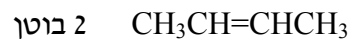
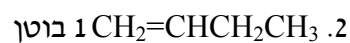
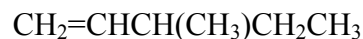
2 מתיל פנטאן $(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$

3 מתיל פנטאן $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$

2 דו מתיל בוטאן $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2\text{CH}_3$

2,3 דו מתיל בוטאן $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}(\text{CH}_3)_2$

עכשיו תורכם (עמ' 29)



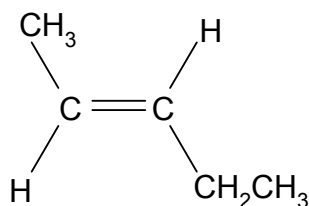
נמצאו 3 איזומרים.

סדנת מודלים ב' (עמ' 29 – 30)

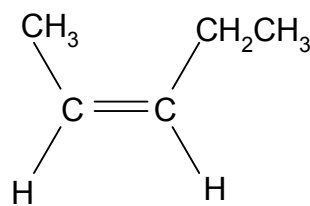
1. לאתן אין קונפורמציות שונות כי קשר כפול הוא צפוד ולא קיים סיבוב חופשי סביבו בלי לנתק אותו.
2. חלק מהתלמידים בנו איזומר ציס 2 בוטן וחלק- טרנס 2 בוטן. התקבלו בסך הכול 4 איזומרים. ביניהם 2 איזומרים עבור 2 בוטן.
3. באיזומר אחד (טרנס) שתי קבוצות מתיל נמצאות משני צידי הקשר הכפול ובאיזומר שני (ציס), שתי קבוצות מתיל נמצאות באותו צד של הקשר הכפול.

עמ' 31- עכשיו תורכם

.1



טרנס-2-פנטן



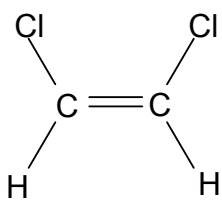
ציס-2-פנטן

אין צורך לדרוש מהתלמידים להתייחס לזווית הטרהדרית בין שני אטומי הפחמן בקבוצת

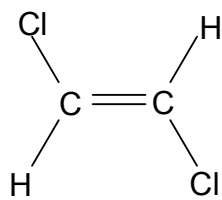
האתיל. מספיק שייכתבו אותה ברצף, או אפילו כ- C_2H_5

2. לא קיים עבור 2 מתיל 1 פרופן איזומרי ציס טרנס כיון שאטום הפחמן הקשור לפחמן הסמוך בקשר כפול (פחמן מס' 2), קשור גם לשתי קבוצות זהות (קבוצות מתיל).

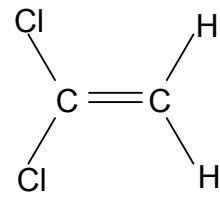
.3



ציס 1,2-דו-כלורואתן



טרנס 1,2-דו-כלורואתן



1,1 דו-כלורואתן

לעומקו של עניין



1. רשימת אתרים מתאימים

ביו-דלקים

<http://ootips.org/living/biodiesel.htm>

<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=5435>

http://www.hayadan.org.il/BuildaGate4/general2/data_card.php?U=no&SiteName=hayadan&ItemID=394138582&ValuePage=Product

http://www.hayadan.org.il/BuildaGate4/general2/data_card.php?U=no&SiteName=hayadan&ItemID=286822054&ValuePage=Product

http://www1.snunit.k12.il/heb_journals/galileo/008026.html

<http://ootips.org/living/biodiesel.htm>

ב. "איזומרים במראה" - איזומרים אופטיים

לב העניין – מושגים ורעיונות מרכזיים ביחידה



מטרה: פחמן א-סימטרי, פעילות אופטית, אננטיומרים, פולרימטר

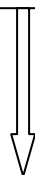
רציונות:

1. המבנה המרחבי של המולקולות משפיע על התכונות הפיסיקליות של החומרים ועל התפקודים הביולוגיים שלהם.
2. רק למולקולות בעלות פחמן א-סימטרי יש פעילות אופטית. איזומרים בעלי מבנה דמוי ראי של מולקולות אלה הם אננטיומרים.
3. לאננטיומרים תכונות כימיות ופיסיקליות רבות זהות אך הם נבדלים בפעילותם האופטית.
4. ניתן לזהות ולהפריד בין שני אננטיומרים בעזרת הפעילות האופטית השונה שלהם.
5. היכולת לזהות ולהפריד בין איזומרים אופטיים היא בעלת חשיבות עליונה בתעשיית התרופות והמזון כיוון שהשפעתם של אננטיומרים על הגוף החי עשויה להיות שונה ולעיתים מזיקה

צעד צעד – מהלך היחידה והתפתחותה



א1. השלד הפחמני- אבן הבניין
 השלד הפחמני מהווה חלק עיקרי במולקולה, ויכול להיות בעל מבנה של שרשרות "ישרות" מסועפות או בעל מבנה טבעתי.



ב2. פעילות אופטית

1. חומר פעיל אופטית והשפעתו על מישור האור המקוטב.
2. אננטיומרים מסובבים את מישור האור המקוטב באותה זווית אך בכיוונים מנוגדים המסומנים ב - (+) (-).
3. הסיבוב המתוק-כיצד פועל הפולרימטר.
4. על המר והמתוק – סיפור האספרטם



הערות והארות

<p>מומלץ לפזר על שולחן המורה פריטים סימטריים וא-סימטריים ולמיינם.</p> <p>חשוב לציין ולהראות מהם גופים כירליים : גופים א-סימטריים שאינם חופפים זה את זה אך מהווים תמונת ראי אחד של השני.</p>	<p>ב. "איזומרים במראה"- איזומרים אופטיים</p> <p>ב1-אטום פחמן א-סימטרי</p>
<p>שימו לב : כאן מגיעים למושג אננטיומרים בדרך קצת שונה מהמקובלת. לא על ידי ניסיונות חפיפה (כפי שמודגם בסדנת המודלים בעמ' 35, אלא מתוך שרטוט המבנה המרחבי. כדאי לתרגל גם שרטוט טטרהדרים אחרים. עם זאת לא מומלץ לצייר קבוצות פונקציונאליות מורכבות כדי לא להסתבך בצורה המרחבית שלהן.</p>	<p>"מבט לעומק" – שיטה מוסכמת לציור טטרהדר</p>
<p>זהו ניסוי קצרצר המתאים להדגמה אף בחדר הכיתה . תוצאותיו הן</p>	<p>ב 2-ניסוי : "ויחי אור ויהי</p>

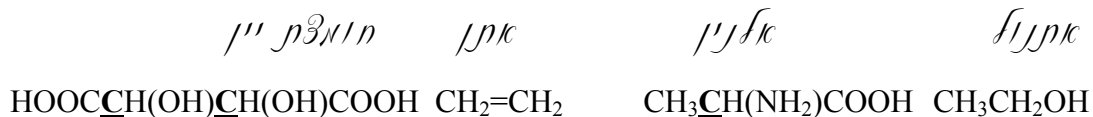
חד משמעיות ואחריו ניתן לגשת בקלות להסבר פעולת הפולרימטר.	חושך"
ניתן להשתמש בקטע גם לחזרה על קשרי מימן. אבל כמובן שהערך המרכזי שלו הוא הקשר בין הכימיה לבריאות, לחיים. כדאי להבליט את הסכנות שבכל הממתקים ולהמליץ על שתיית מים בעיקר.	על המר והמתוק



תשובה לעניין – תשובות למבחן שאלות

עכשיו תורכם (עמ' 33)

1. הפחמן הא-סימטרי מסומן בקו מתחתיו :



אטום הפחמן הא-סימטרי במולקולת אלנין קשור ל- $\text{H}, \text{CH}_3, \text{NH}_2, \text{COOH}$

כל אחד משני אטומי הפחמן הא-סימטרי במולקולת חומצת יין קשור ל- $\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$

$\text{COOH}, \text{H}, \text{OH},$

2. בחומצת יין יש שני אטומי פחמן א-סימטרי ובאלנין – אטום פחמן אחד א-סימטרי.

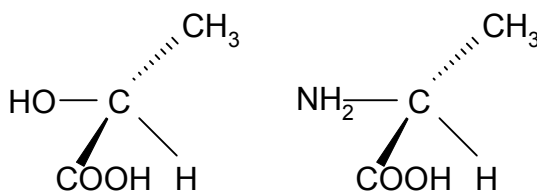
באתאנול ובאתן אין פחמנים א-סימטריים, אך מסיבות שונות :

באתאנול המולקולה טטרהדרית אך אין אטום פחמן הקשור לארבע קבוצות שונות.

באתן יש קשר כפול והמולקולה מישורית ולא טטרהדרית כך שאין בה שום סיכוי לקיום אטום

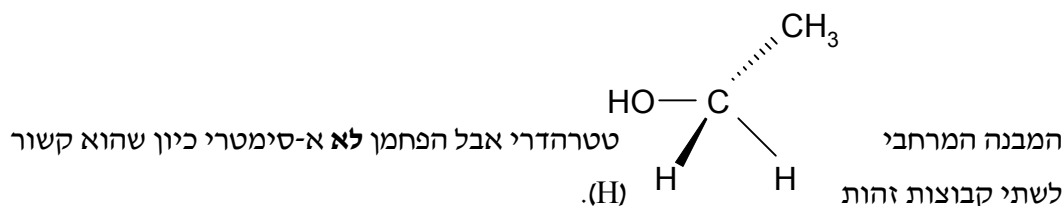
פחמן א-סימטרי.

עכשיו תורכם עמ' 34



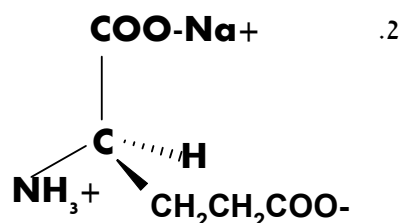
1.

2.



עכשיו תורכם (עמ' 41)

1. זווית הסיבוב היא 24° -

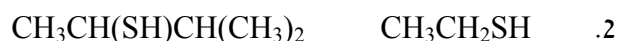


2. זווית הסיבוב של התערובת תהייה אפס שכן קיים בה מספר שווה של מולקולות המסובבות את מישור האור המקוטב בכונים מנוגדים.

עכשיו תורכם (עמ' 43)

1. לקשר המימני נוצרים קשרי ו.ד.ו בין הטבעת הבנזנית לבין מוקד C שעל הקולטן.
2. בשני המוקדים הללו מתקיימים קשרי מימן: במוקד A מולקולת האספרטס "תורמת" זוג אלקטרונים לא קושרים שעל אטומים בעלי אלקטרושליליות גבוהה לקשרי המימן ואת אטום המימן בעל המטען החיובי החלקי תורם הקולטן. במוקד B המצב הפוך, מולקולת האספרטס "תורמת" לקשר המימני את אטום המימן הטעון מטען חיובי חלקי ואילו הקולטן תורם את זוג האלקטרונים הלא-קושרים השייך לאטום בעל אלקטרו שליליות גבוהה.

עכשיו תורכם (עמ' 45)



לעומקו של עניין - הרחבה והעמקה



1. סיפור התלידומיד מתוך הספר "כימיה בקו הבריאות", מתאים להרחבה בנושא אננטיומרים. זוהי דוגמא טרגית לתרופה יעילה שהכילה שני אננטיומרים, איזומר מועיל ואיזומר רעיל וההיבטים הרפואיים והאתיים של השימוש בה. הטרגיות שבסיפור והדילמה הכרוכה בשימוש בתרופה עשויה להתאים לכיתות גבוהות. על מקרה התלידומיד תוכלו לקרוב בספר: כימיה בקו הבריאות/ גלעד, ב. פרח, ש. עמ' 56-55, 67, 70.
2. על דרך להפריד בין שני אננטיומרים תוכלו גם לקרוא בספר: כימיה בקו הבריאות/ גלעד, ב. פרח, ש. בנושא "הפרד ומשול" עמ' 68-70.

3. על הגילוי באקראי של האספרטס ושל חומרים נוספים תוכלו לקרוא ב: "שיבושים שהובילו להמצאות". כמעט 2000 חוברת 11.

ג. הקבוצה הפונקציונלית "הערך המוסף" של תרכובות פחמן

לב העניין – מושגים רעיונות מרכזיים ביחידה



דעו:

קבוצה פונקציונלית, משפחה כימית

רציונות:

1. קיום קבוצות פונקציונליות שונות מקנה לתרכובות את תכונותיהן המגוונות.
2. שינוי "קטן" באחת הקבוצות הפונקציונליות בתרכובת גורם לשינוי ניכר בתכונות הפיסיקליות והכימיות שלה.
3. ניתן למיין את תרכובות הפחמן למשפחות כימיות על פי הקבוצה הפונקציונלית הזוהה. תרכובות פחמן בעלות אותה קבוצה פונקציונלית הן בעלות תכונות משותפות(גם אם השלד הפחמני שלהן שונה) ונקראות משפחה כימית.
4. ניתן לזהות משפחות כימיות באמצעות תגובות האופייניות לכל משפחה. בתגובות כימיות שונות של תרכובות פחמן מתרחשים שינויים בקבוצות פונקציונליות.

צעד אחרי צעד – מהלך היחידה והתפתחותה



1. קבוצות פונקציונליות - מגוון והרכב

1. הכרות עם מגוון קב' פונקציונליות:
- שם, נוסחה כימית, מבנה והשתייכות למשפחה כימית
2. הגוף הפונקציונלי:
- דוגמאות לתהליכים המתרחשים בגופנו בזכות הקבוצות הפונקציונליות והמעברים ביניהן.

2. זיהוי קבוצות פונקציונליות

- תגובות אופייניות למספר משפחות:
- אלקנים, כוהלים, חומצות ובסיסים אורגניים
- וקבלת אלקאוקסיד*



ג3. תגובות כימיות-מעברים בין קבוצות

פונקציונאליות

מעברים כאלה מתרחשים בשתי דרכים:

1. שינוי הקבוצה הפונקציונאלית

2. החלפת הקבוצה הפונקציונאלית.



הערות והארות

קטע וסעיף	הצעות
ג1.	ניתן להדגים החלפת קבוצה פונקציונאלית אחת בחברתה, על ידי הבאת פן-מייבש שיער עם מספר ראשים ותוך כדי דיבור לבצע את החלפת הראשים. כך מפנים התלמיד את מבנה תרכובות אורגניות: שלד קבוע ולא מגיב בדרך כלל (בפרק ג' נדון בחריגה מכלל זה) וקבוצות פונקציונאליות מתחלפות במהלך תגובות כימיות. בשלב זה לא מומלץ להקדיש זמן לחריגה מהכלל טרם שביססנו אותו אצל התלמידים.
ג1	כשהתלמידים מתאמנים בכתיבת נוסחות מבנה מלאות ומקוצרות עבור קבוצות פונקציונאליות ניתן לשלב בלימוד זה ולהביא לתשומת ליבם גם את העובדה שקיימים שימושים לחומרים בעלי קבוצות פונקציונאליות שונות: הן באמצעות הטבלה בעמוד 25 והן באמצעות "הגוף הפונקציונאל שלנו"(באותו סעיף). יחד עם זאת לא מומלץ להתעכב על כך זמן רב.
ג2. ניסוי 2: זיהוי כוהלים	החלק הראשון של הניסוי, חמצון באמצעות $KMnO_4$ מוכר למורים. לגבי החלק השני, קבלת אלקאוקסיד, אנו ממליצים לבצע זאת כניסוי מורה משיקולים בטיחותיים הכרוכים בשימוש בנתרן. הוספנו את התגובה של כוהל עם נתרן (או מתכת אלקלית אחרת), המוכרת למורים במטרה אחרת. לא כשיטה לזיהוי כוהלים (מה גם שהשיטה אינה ספציפית לכוהלים בלבד), אלא במטרה לקבל את יון האתוקסיד $(C_2H_5O^-)$. חשוב שהתלמידים יכירו קבוצה זו כי בתגובות התמרה ואלימינציה (פרקים ב', ג') היא פועלת כמתקף אלקטרופילי חזק.

ניסוי 3: זיהוי חומצות ובסיסים של תרכובות פחמן	זהו ניסוי פשוט ובחלקו אף מוכר לתלמידים. שוב, ניתן לבצע את בדיקות המוליכות כהדגמות ולהסתפק בבדיקת pH והוספת המגנזיום על ידי התלמידים. ערך מוסף בניסוי- התלמידים נפגשים עם תרכובות בעלות שתי קבוצות פונקציונאליות במולקולה אחת.
ניסוי 4: זיהוי אלקנים	זהירות! הציקלו הקסן מסריח ורעיל וכמותו גם הברוס. לבצע במנדף ואם אין אפשרות, להעביר מיד בתום ניסוי התלמיד, את השאריות למנדף.
ג3 תגובות כימיות- מעברים בין קב' פונקציונאליות	זהו קטע קישור שאת הרעיונות הנמצאים בו נבסס שוב ושוב בפרקים הבאים. לקצר!! לא להרחיב בנושא חמצון שלא נידון בספר זה ונלמד כבר במסגרת 3 יח"ל.

זיהוי קבוצות פונקציונאליות בתרכובות פחמן (עמ' 51-49)

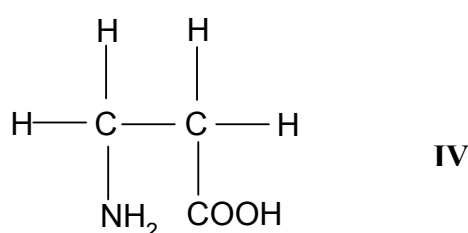
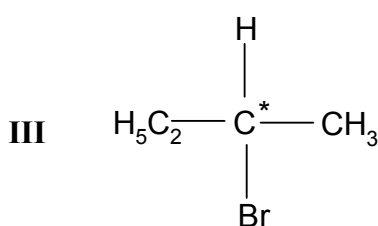
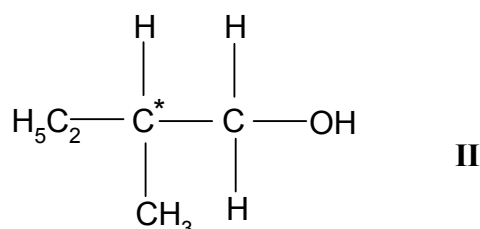
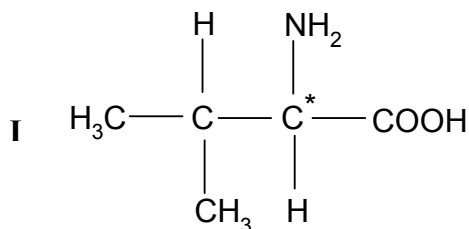
- צבע התמיסה הופך חום.
- הנוזל לא מוליך חשמל.
- בהוספת נתרן לכוהל משתחרר גז.
- התמיסה מוליכה חשמל. התוצאה מעידה על כך שעתה יש יונים בתמיסה.
- לתמיסת האלקאוקסיד מוליכות גבוהה יותר מאשר למי ברז.

ניסוי 3:

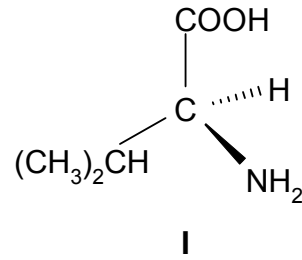
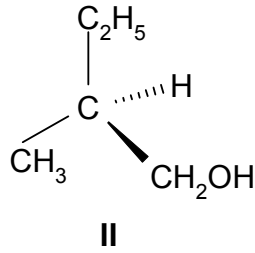
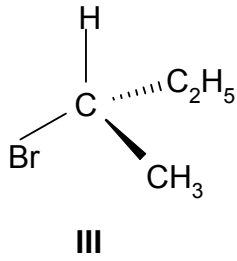
- ה- pH נמוך מ-7. התמיסה מוליכה חשמל.
- ה- pH גבוה מ-7. התמיסה מוליכה חשמל.
- בתמיסת החומצה, משתחרר גז (מימן). בתמיסת הבסיס לא קורה כלום.
- $$\text{Mg}_{(s)} + 2 \text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)} + \text{Mg}^{+2}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$$

חושבים...ועונים (עמ' 53)

- א' = שלישוני, ב' ו- ג' = ראשוני, ד' = שניוני.
- א.א.



.2 ב.

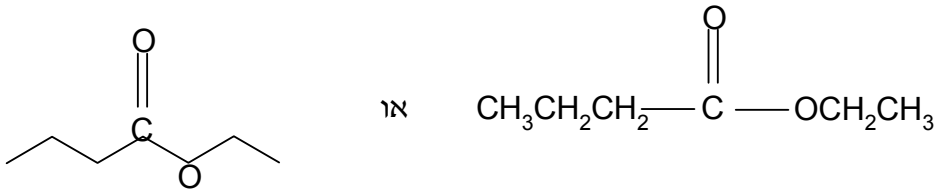


3. I. התוצר $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ בודקים ע"י הוספת מי ברום.

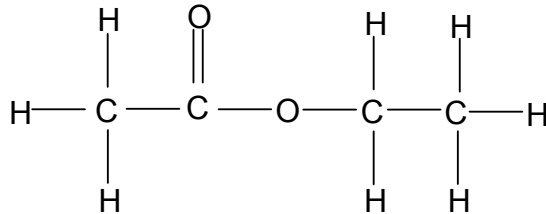
II. התוצר $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ נוצר חומר שאינו מסיס במים, אומנם זה זיהוי לא ספציפי.

III. התוצר CH_3COOH בודקים ע"י נייר pH

I.4



II



הקבוצה המשותפת לשתיהן היא הקבוצה האסטרית COOR'

ניתן לתרגל עם התלמידים את כל אחת מצורות הכתיבה שלמעלה. כולן מתקבלות.

5. א. במורפין: קבוצה הידרוקסילית, אתרית, אמינית. בהרואין: קבוצה אסטרית, אמינית ואתרית.

ב. מבנה השלד הפחמני זהה לחלוטין.

ג. מולקולות התרופות בעלות 2 קבוצות פונקציונאליות זהות (מתוך השלוש) וגם בעלות מבנה מרחבי דומה. למדנו שמולקולות נקשרות לרצפטורים בגוף בשל המבנה הספציפי של כל מולקולה. יתכן שהמבנה הזה אחראי להשפעות הדומות על הגוף. לעומת זאת המולקולות שונות בקבוצה פונקציונאלית אחת: אסטרית במקום הידרוקסילית, ולכן התכונות לא יכולות להיות זהות לחלוטין.



לעומקו של עניין – הרחבה והעמקה

1. קטע זה מתאים לקרוא בכתה כפתיחה לנושא קב' פונקציונליות ויכול להתאים גם בתחילת הפרק בכתות להם ידע בסיסי בתרכובות פחמן. הקשר לחיי יום יום והסגנון הידידותי עשוי לעורר עניין ולהגביר מוטיבציה.

”סתם יום של חול”.... תרכובות פחמן סביבנו

המציאות שלנו מורכבת מתרכובות פחמן. הן נמצאות בכל מקום סביבנו, ואף בתוכנו והתסריט הבא המתרחש ב”סתם יום של חול” ממחיש זאת בבהירות:



דנה קמה בבוקר. מצחצחת שיניים, (איכס..המשחה חריפה מידי..). מסרקת את שיערה תוך התבוננות במראה (אוף הוא מסולסל היום...), שותה קפה (אהה איזה ריח טוב.. עכשיו באמת התעוררתי...), שמה את התיק על הכתף ואצה רצה לבית הספר בשמחה רבה (השיעור הראשון הוא שיעור ספורט- אלא מה?) כל מה שדנה עשתה קשור לעולם של תרכובות פחמן:

אז מה היה לנו?

משחת השיניים – מכילה **פניל אמין** (אמין).

המנטול שבמשחה המקנה לה את הטעם החריף (כהל)

הצפייה במראה – קשורה ל**רטינל** (קשר כפול) בעין שמשנה את המבנה שלו תוך כדי פעילות הראייה.

השיער המסולסל – בנוי מחלבון שהמבנה שלו כולל חומצות אמיניות המכילות קבוצות SH **(תיאולים)**

הקפה – מכיל **קפאין** (אמין)

חוש הריח והטעם – מופעלים על ידי אברי חישה בלשון ובאף המכילים רצפטורים המותאמים מרחבית למולקולות האחראיות לריח ולטעם (מבנה מרחבי של מולקולות **ואיזומרים אופטיים**) הריצה בשיעור הספורט – מאמץ בו מופעלים שרירים בגוף ומייצרים **חומצה לקטית** מחומצה **פירובית** (קבוצות קטניות, כוהליות, קרבוכסיליות)

יכולנו להמשיך את התסריט עוד ועוד.... שכן תרכובות פחמן רבות מעורבות בכל תחומי חיינו: בכל יום אנו משתמשים במזון, מוצרי קוסמטיקה ותרופות הבנויים כולם ממולקולות של תרכובות פחמן. גם התהליכים המתרחשים בגופנו לדוגמה: עיכול, נשימה והתהליכים העצביים במח, הם כולם תגובות של תרכובות פחמן. הגיע הזמן להכיר את המולקולות המופלאות הללו.

2. על ”תיאוריות הריח” ועל הקשר בין המבנה המרחבי לטעם וריח תוכלו לקרוא במאמר של

פרופ' איקן ”טעם וריח עניין של מבנה”; כמעט 2000, חוברת 8 בנושא מבנים.

פרק שני: תגובות התמרה – "צעד אחרי צעד"

פרק זה הוא לב המבנית, באשר הוא מציג בפני התלמידים לראשונה את נושא מנגנון התגובה. מנגנון התגובה מוצג בתור מודל לתיאור שלבי התגובה ("צעד אחרי צעד"), המאפשר לחזות את התהליכים ואף להתאים את התנאים להתרחשותם. מטרת הפרק היא להציג את המושג מנגנון תגובה דרך תגובות בסיס-חומצה ודרך המושג של מעברי אלקטרוניים, ולהביא להבנה עמוקה יותר של הגורמים והתנאים המשפיעים על קיום וקצב התגובות.

לב העניין – מושגים ורעיונות מרכזיים



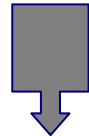
מילות:

מנגנון תגובה, חומצה ובסיס לפי לואיס, תגובת התמרה, מצב מעבר, נוקלאופיל, קבוצה עוזבת, ממש פרוטי, ממש אפרוטי, תגובה מסדר ראשון, תגובה מסדר שני

רעיונות:

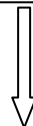
1. מנגנון תגובה הוא **מודל** המתאר, צעד אחר צעד, את שלבי התגובה
2. הכרת מנגנון התגובה מאפשרת לחזות אלו תהליכים עשויים להתרחש ולבחירת התנאים לקבלת התוצר הרצוי.
3. התמרה נוקלאופילית עשויה להתרחש במנגנונים שונים ולהיות תגובה מסדר ראשון S_N1 או תגובה מסדר שני S_N2 .
4. תגובות התמרה מתרחשות בתעשייה ובגופנו

צעד צעד - מהלך הפרק והתפתחותו



הקדמה - המנגנונים שהגיעו שטוקהולם
פרסי נובל בשנים 2005 ו 2004 נתנו על פיתוח מנגנונים לתגובות מסוימות. הכרת מנגנון תגובה מאפשר להשתמש בה בייצור תרופות ובתעשייה.

א. מהו מנגנון תגובה
1. הגדרה, דוגמא והסבר למנגנון תגובה
2. הנחיות לכתיבת מנגנון תגובה באמצעות חיצים המתארים את תנועת זוגות האלקטרוניים.



ב. חומצות ובסיסי לואיס – הגורם המניע בתגובות

1. זוג אלקטרוניים בפעולה – חומצות ובסיסים על פי תיאורית לואיס
2. בסיסי לואיס בפעולה – התמרה בתרכובות פחמן
- תגובות בהן קבוצה פונקציונלית אחת מוחלפת בקבוצה אחרת



ג. התמרה במבט לעומק

1. מנגנון התגובה (S_N2) – מגיבים, תוצרים ומצב מעבר
2. היבט מרחבי – "היפוך וולדן"
לתוצר מבנה מרחבי הפוך, סביב אטום הפחמן הטטראדרי, בהשוואה למגיב
3. נוקלאופילים – מהו נוקלאופיל, התמרה נוקלאופילית, סיפור מקרה- התמרה בים הבלטי
4. הגורמים המשפיעים על תגובת התמרה (S_N2):
הנוקלאופיל
הקבוצה העוזבת
הממס-פרוטי וא-פרוטי
השלד הפחמני



ד. תגובת התמרה שתי דרכים!

1. גם אלקיל הליד שלישוני יכול..
תגובת התמרה של בוטיל כלורי שלישוני המהירה ביותר בהשוואה לזו של בוטיל כלורי שניוני וראשוני
2. מנגנון תגובה וסדר תגובה
תגובה מסדר ראשון, תגובה מסדר שני
הקשר בין סדר התגובה ומנגנוני תגובת ההתמרה S_N2, S_N1
כיצד קובעים סדר בדרך ניסוית
3. מנגנון תגובת S_N1 - שלושה שלבים, תוצר ביניים – יון קרבוניום ותוצר סופי
4. היבט מרחבי S_N1 - אם הפחמן המותקף הוא אסימטרי יתקבלו שני תוצרים שהם אננטיומרים
5. הגורמים המשפיעים על תגובת התמרה S_N1
6. סוגרים מעגל....-השוואה בין S_N1 לבין S_N2
מאפיינים וגורמים המשפיעים מנגנון התגובה.

ה. תגובות התמרה על פס הייצור ובגופנו

1. אלקיל הלידים - חומרי מוצא בתעשייה מעדיפים תגובות במנגנון S_N2 כי מתקבל תוצר אחד ופשוט יותר לבודדו.
2. כוהלים ואתרים - חומרי מוצא בהתמרה בכוהלים ואתרים קבוצות עוזבות חלשות וההתמרה מתבצעת רק ב"תחבולה" הוספת חומצה.
3. "מכורים לאדרנלין" - הכול בגלל מתיל אחד תגובות התמרה המתרחשת בגופנו במצבי לחץ בה אדרנלין הופך לנוראדרנלין.

**הארות והערות**

הסעיף	
פתיחה	בחרנו לפתוח בסיפור שני פרסי נובל על מנת להדגיש את החשיבות שיש לחקר המנגנונים ואת התרומה שעשויה להיות לידע זה לתחומים רבים, שמחנו לציין גם את חלקם של מדענים ישראלים בתחום. אנו מאמינות שהקשרים כאלה יוצרים מוטיבציה ועניין בנושא.
א	התחלנו במנגנון תגובת התמרה כיוון שהוא פשוט וממחיש יותר משאר המנגנונים, את מעברי זוגות האלקטרונים המתקיימים גם בתגובות אחרות. בחרנו בתגובת חומצה בסיס המוכרת לתלמידים - בין אמוניה לבין מימן כלורי על מנת להדגים בפעם הראשונה מנגנון תגובה באמצעות חיצים המתארים מעבר של זוגות אלקטרונים.
ב1.	את המעבר לחומצות ובסיסים על פי לואיס אנו עושים בעזרת ניסוי 1: "המשקע הנמש בכל מצב". את תוצאות הניסוי לא ניתן להסביר בעזרת התיאוריה של ברונסטד ולאורי ולכן אנו נזקקים להגדרות חדשות עבור חומצות ובסיסים.
ב2.	הפעם הראשונה בה נפגשים התלמידים במושג התמרה היא בניסוי 2: מבוטיל כלורי לבוטאנול. 1. המשקע שנוצר - $(AgCl)$ מאשר שיוני Cl^- עזבו את מולקולות המגיב בוטיל כלורי. 2. נייר ה pH מוכיח שקיימים יוני H_3O^+ בתוצרים ומכאן שהנוקלאופיל הוא מולקולות מים. מקורם של המים הוא אתאנול 95%. 3. התגובה עם בוטיל כלורי הראשוני איטית 7-10 דקות עד להופעת המשקע. לכן מומלץ להשתמש בבוטיל כלורי שניוני. 4. ניתן לבצע את הניסוי בצלחת פטרי על מטול כהדגמה במקרה זה הכמויות הן 20

<p>מ"ל תמיסת 2% $AgNO_3$ 0.4 מ"ל של בוטיל כלורי כמו בניסוי 4 "מבט של שיקוע" סעיף 1בפרק זה. זהירות מהשחרת הידיים! את השאריות יש להכניס למיכל מיוחד לפסולת אורגנית ולהכניס ישר למנדף.</p>	
<p>התמרה במבט לעומק</p>	ג
<p>בשלב זה מציגים לראשונה מנגנון מפורט לתגובת התמרה אך לא מציינים את סוג המנגנון S_N2. הסיבה לכך היא העובדה שבפרק זה נלמדים מספר רב של מושגים ואנו מעדיפים לחשוף את התלמידים אליהם בהדרגה. סיבה נוספת, איננו רוצים בשלב זה להכניס את המושג סדר תגובה.</p> <p>מצב המעבר הוא מושג שיש להקפיד לאפיין אותו במדויק מבחינות רבות: מבנה מרחבי, הקשרים החלקיים, אנרגיה פוטנציאלית גבוהה, חוסר יציבות ותוחלת חיים קצרה במיוחד. חשוב להסביר את כל המאפיינים של מצב המעבר בשלב זה על מנת שיהיה פשוט לעשות את ההבחנה בין מצב מעבר לבין תוצר הביניים שיתקבל בתגובת S_N1 בהמשך הפרק. את המתאר את גילוי מצב המעבר על ידי הפרופסור המצרי - זוויל אשר קיבל על כך פרס נובל בשנת 1999 מובא ב"לעומקו של עניין".</p> <p>כאן מומלץ להדגיש בפני התלמידים את העובדה כי לתוצר המתקבל בהתמרה S_N2 יש אומנם מבנה מרחבי טטרהדרי (קונפיגורציה) הפוך מזה של המגיב, אך כיון שהתוצר אינו מהווה אנטיומר של המגיב, אין אפשרות לחזות מראש מה יהיה כוון זווית הסיבוב של האור המקוטב על ידי התוצר. עובדה זו נקבעת אך ורק בדרך ניסויית – על ידי פולרימטר. הרחבה בעניין מובאת ב"לעומקו של עניין".</p>	ג1.
<p>סדנת מודלים אי' מטרתה להמחיש לתלמיד את המבנה המרחבי השונה של חומר המוצא והתוצר ואת ההיפוך שהתרחש במבנה. בניית הדגם של מצב המעבר הוא החלק המורכב והחשוב ביותר בסדנה זו. לכן יש לבדוק שהתלמיד יבחר את הכדור המרכזי בעל הגיאומטריה המתאימה (כדור בעל חמישה חורים/זיזים במבנה של בי פירמידה משולשת) וגם יחבר אליו את כל אחד מהכדורים המייצגים אטומים או קבוצות שונות במקום המתאים. החלפת דגם של קבוצת אטומים בכדור צבעוני אחד המייצג אותה, מפשט את העשייה ומסייע להבנה. ביצוע המשימה אינו פשוט וחשוב שהתלמידים יעבדו בקבוצות.</p> <p>כדאי שעל שולחן המורה יהיו דגם של כל אחד מהשלבים בתהליך.</p> <p>הצעה נוספת: ניתן לבנות את חומר המוצא ואת התוצר מכדורי פלסטלינה (כאטומים) וקסמי עץ (כקשרים). באופן כזה אין צורך להחליף את הכדורים כאשר עוברים מחומר המוצא למצב המעבר וממצב המעבר לתוצר, אלא מזיזים בעדינות את ה"קשרים" לפי הצורך.</p>	ג2.
<p>בשלב זה אנו מוסיפים מושגים חדשים: נוקלאופיל והתמרה נוקלאופילית ולא מסתפקים במושג שכבר ידוע בסיסי (לואיס) אנו זקוקים למושגים אלה להמשך הלמידה בה ניווכח כי מהירות תגובת התמרה מושפעת באופן ישיר מחוזקו של</p>	ג3

<p>הנוקלאופיל ולא מחוזקו כבסיס לואיס : ככל שהנוקלאופיל חזק יותר תגובת ההתמרה מהירה יותר ולא בכל המקרים קיימת התאמה בין חוזק הבסיס וחוזק הנוקלאופיל. על הגורמים המשפיעים על חוזקו של הנוקלאופיל נדון בסעיף הבא. לפני שנכנסים לעומק הדיון התיאורטי אנו מפנים את תשומת ליבו של התלמיד לתהליך חמור המתרחש בכדור הארץ שלנו. "התמרה במצולות". סיפור זה הוא דוגמא לתגובת התמרה נוקלאופילית פשוטה ולדילמה סביבתית ובריאותית חריפה המתרחשת בים הבלטי כבר יותר מ-50 שנה. להוספת נופך דרמטי ניתן לקרוא אותו בפני הכיתה ואחר כך לעורר את הדיון. בסעיף לעומקו של עניין מצורף דף עבודה בנושא זה.</p>	
<p>סעיף זה הוא החלק המרכזי של הפרק, כי הוא דן בפעם הראשונה בגורמים המשפיעים על מהירות תגובת התמרה.</p> <p>חוזקו של הנוקלאופיל אינו נמצא בכל המקרים בהתאמה לחוזקו כבסיס לואיס וחשוב להדגיש שלמרות שכל אחד מהם : הנוקלאופיל וגם בסיס לואיס תורמים אלקטרונים בתהליך ההתמרה, חוזק כל אחד מהם נקבע בדרך שונה: חוזק הנוקלאופיל נקבע על ידי מהירות תגובת ההתמרה ואילו חוזק הבסיס נקבע על ידי קבוע שווי המשקל (Kb).</p> <p>כל מורה בכתתו יחליט באיזו רמה לעסוק בקבוע שווי המשקל של הבסיס. אנו חושבים שניתן להיעזר בערכים מדויקים של Kb אך חשוב יותר להדגיש את היחס הישר שקיים בין ערכי Kb לבין חוזק הבסיס .</p> <p>שימו לב שבדיון העוסק בשני הגורמים המשפיעים במשולב על חוזקו של הנוקלאופיל: חוזקו כבסיס לואיס והיכולת שלו לקיטוב עצמי, אנו מצמצמים את הדיון ומתמקדים בהשתנות התכונה באטומי יסודות וביונים בלבד, ורק באילו הנמצאים באותו מחזור או באותו טור בטבלה המחזורית <u>בלבד</u>.</p> <p>על מנת להסביר מהם קבוצה עוזבת טובה, ממס פרוטי וממס א-פרוטי אנחנו משתמשים במושגים הידועים לתלמידים מיחידות קודמות כמו: אנרגיית קשר, אורך קשר, קשרי מימן ומיום, ובכל המקרים אנו בוחנים את השפעתם על מהירות תגובת ההתמרה.</p> <p>הערה בנושא הממס : יש לשים לב מהו הממס בתגובה. לדוגמא : כאשר משתמשים באלקוקסיד מסוים כנוקלאופיל לדוגמה : CH_3O^- עדיף להשתמש כממס בכוהל המתאים : CH_3OH שכן גם הממס יכול להתנהג כנוקלאופיל. אם האלקוקסיד CH_3O^- מומס בממס פרוטי אחר לדוגמה ב- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ אחר, יתקבל בנוסף לתוצר ROCH_3 גם תוצר נוסף ROC_2H_5.</p>	<p>ג4 IV,III,II,I</p>
<p>תגובות התמרה – שתי דרכים</p> <p>כאן אנו עוסקים לראשונה במושגים שהתלמידים אמורים ללמוד החל משנת תשס"ח במסגרת היחידה הרביעית. עם זאת, כתבנו בספר קטע קצר שיהווה חזרה על הידוע מהיחידה הרביעית ויהווה מצע ללימוד <u>וקשור</u> מנגנוני תגובת התמרה, $\text{S}_{\text{N}}1$ ו $\text{S}_{\text{N}}2$.</p>	<p>ד.7</p>
<p>מהכרת הגורמים המשפיעים על מהירות תגובת התמרה, ובמיוחד מידיעת השפעת</p>	<p>ד.17</p>

<p>המבנה של השלד הפחמני של החומר המותקף על מהירות התגובה יכול היה להיווצר הרושם אצל התלמיד שאלקיל הליד שלישוני אינו מגיב בתגובת התמרה בגלל הפרעה מרחבית הקיימת בשלד שלו, ולכן אנו פותחים את הדיון בשני ניסויים המראים :</p> <p>א. שגם אלקיל שלישוני יכול לעבור תגובת התמרה (ניסוי: קשת של צבעים – הצעה להכנת אינדיקטור אוניברסלי המתאים לתחומי 14 - pH כתובה מתחת לטבלה).</p> <p>ב. יתרה על כך, אלקיל שלישוני מגיב במהירות גדולה יותר מאלקיל הליד ראשוני ושניוני (ניסוי: מבט של שיקוע).</p> <p>הפתרון לקונפליקט המדומה הזה הוא ההצעה כי התגובה אצלו מתרחשת בדרך שונה, במנגנון שונה.</p>	
<p>בסעיפים אלה עוברים ל"מבט לעומק" בתגובת S_N1 וכמו ב S_N2 אנו לומדים את השלבים במנגנון, היבטים מרחביים ואנרגטיים וכן את הגורמים המשפיעים על תגובת S_N1.</p> <p>פה צריך להדגיש מספר דברים :</p> <ul style="list-style-type: none"> • היות והתהליך רב שלבי יש שלב איטי והוא השלב הקובע את מהירות התגובה. • בתהליך זה יש "תוצרי ביניים" וחשוב מאוד לאפיין את המושג ולהבחין בינו לבין מצב מעבר. • הממש משמש גם כנוקלאופיל ויש לו השפעה גדולה על מהירות התגובה. <p>בסדנת המודלים ב' יש לבדוק שהתלמידים מבינים את המבנה המרחבי בכל שלב ובחרים עבור יון הקרבונים את הכדור בעל הגיאומטריה המתאימה (כדור בעל שלושה חורים היוצר צורן/יון מישורי). חשוב גם שיבינו שמבנה מישורי זה מאפשר לקבל שני תוצרים שהם אננטיומרים כשההתקפה נעשית מכל אחד מצידי המישור.</p>	3ד, 4ד, 5ד,
<p>שימו לב, ההשוואה בין שני המנגנונים נעשית משתי בחינות: מאפייני התגובה והגורמים המשפיעים על התגובה. בחינה כזו משתי נקודות ראות אינה פשוטה לתלמידים כלל ועיקר ויש לבסס אותה לפני המשך ההוראה.</p>	6ד
<p>המטרה יישום והדגשה של מספר עובדות :</p> <p>העדפה של S_N2 בגלל שמתקבל תוצר אחד.</p> <p>תגובת ההתמרה יכולה להתרחש גם בכיוון הפוך.</p> <p>הקשר בין חוזקו של הבסיס לבין הכיוון המועדף של התגובה.</p>	1ה
<p>"בתחבולות תעשה לך התמרה", ידוע כבר לתלמידים שטיב הקבוצה העוזבת משפיע על תגובת ההתמרה אך כאן ניתן לראות כיצד בפועל ניתן לשנות "במעט" את הקבוצה העוזבת ולהפוך את התגובה לאפשרית.</p>	2ה
<p>מסיימים את הפרק בתחום "חס" אצל הנוער- ספורט אתגרי (extreme) הקשור ישירות לתגובת התמרה.</p> <p>ניתן להראות בעזרת נוסחות הנוראדרנלין והאדרנלין שאכן התרחשה תגובת התמרה ולהדגיש שבדומה לתהליכים אחרים המתרחשים בגוף זהו תהליך מורכב ולא ישיר.</p>	מכורים לאדרנלין

כל מורה יחליט באיזו מידה להתעמק אך אנו ממליצים לא לוותר.
--

הכנת אינדיקטור אוניברסאלי

לתוך 200 מ"ל כהל נוסיף:

- 0.01 גר' אינדיקטור תימול כחול
- 0.025 גר' אינדיקטור מתיל אדום
- 0.2 גר' אינדיקטור פנול פתלאין
- 0.1 גר' אינדיקטור ברומו תימול כחול

נמיס את החומרים בכוהל רצוי על-גבי בוחש מגנטי, ונטפטף פנימה 0.05M NaOH עד לקבלת צבע ירוק כהה.
אח"כ נוסיף לתערובת 400 מ"ל מים מזוקקים.

סקלת צבעים לפי pH:

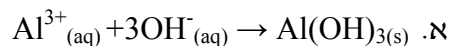
pH	ורוד	כתום	ירוק	סגול	כחול	pH
	1	4	7	10	14	

* באדיבותן של הלבורנטיות פנינה וסוזי ממכון דוידסון.



תשובה לעניין – תשובות למבחר שאלות

עמ' 60 – ניסוי 1

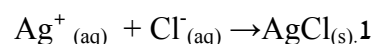


ב. $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 3\text{H}_3\text{O}^{+}_{(aq)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(l)}$. זו תגובת חומצה – בסיס לפי ברונסטד-

לאורי, הבסיס הוא $\text{Al}(\text{OH})_3$ והחומצה $\text{H}_3\text{O}^{+}_{(aq)}$

ג. לא יתכן שזו תגובת חומצה-בסיס על פי ברונסטד, כי $(\text{OH})^{-}_{(aq)}$ אינו צורון שמוסר פרוטון.

עמוד 62 – ניסוי 2

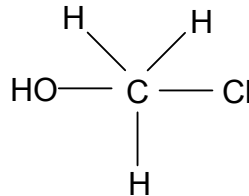


2. הקשר הקוולנטי-קוטבי בין אטום הכלור לאטום הפחמן במולקולת האלקיל הליד-ניתק, ואטום הכלור שהיה בעל מטען שלילי חלקי עזב את מולקולת האלקיל הליד עם זוג אלקטרוני הקשר וכך הפך ליון שלילי.

3. הזמן שחלף נידרש להידרוליזה של האלקיל הליד שזו תגובת שווי משקל איטית המתרחשת בין מולקולות ומעורבים בה שבירת קשרים ויצירת קשרים חדשים. בתמיסת כסף חנקתי יש יוני $Ag^+_{(aq)}$ המגיבים עם יוני ה- $Cl^-_{(aq)}$ שהם אחד מתוצרי תגובת ההידרוליזה של האלקיל הליד, ויוצרים משקע. כיון שתגובת השיקוע מהירה, קטן עקב כך ריכוז אחד התוצרים ($Cl^-_{(aq)}$) בתגובת ההידרוליזה, ועל פי עיקרון לה שטליה מתחזקת מהירות התגובה הישירה – ההידרוליזה של בוטיל כלורי
4. ניתן ללמוד מכך על העובדה שהתמיסה חומצית עקב נוכחות יוני הידרון (H_3O^+) בתוצרים.
5. יון הידרון H_3O^+ .

עכשיו תורכם (עמ' 67)

- על פי ניסוח התגובה OH^- תורם לאטום הפחמן זוג אלקטרוני ו"מכריח" את אטום הכלור להינתק מהמולקולה עם אלקטרוני הקשר שלו כיון שלילי (Cl^-). לפיכך OH^- הוא הבסיס המתקיף, ויון כלור Cl^- הוא הקבוצה העוזבת, והאלקיל הליד – החומר המותקף.
- א. לאטום הפחמן 4 קשרים המאורגנים במבנה טטרהדרי.
ב. במצב המעבר יש לאטום הפחמן 5 קשרים. 3 קשרי C-H נשארים ללא שינוי, הקשר C-OH שנוצר חלקית, חלש יותר וגם הקשר C-Cl שניתק חלקית, חלש יותר. המבנה המרחבי של מצב המעבר, בי פירמידה משולשת - מישור שמשני צדדיו שני קשרים בזווית 180^0 ביניהם.



- ג. המבנה המרחבי של CH_3OH טטרהדרי והשוני בינו לבין מולקולת המגיב הוא הקשר C-O-H שהוא זוויתי בניגוד למגיב שבו כל ארבע הקבוצות הנקשרות לאטום הפחמן האסימטרי הן חד אטומיות.
- למצב המעבר אנרגיה פוטנציאלית גבוהה דבר המעיד על חוסר יציבותו.
- ה. קטע (a) - אנתלפית השיפעול (אנרגית השיפעול)
- ו. קטע (b) - ΔH היינו, השינוי באנתלפית התגובה (חום התגובה)
- ז. התגובה אכסותרמית כיון שאנתלפית התוצרים נמוכה מאנתלפית המגיבים.

התמרה במצולות הים הבלטי (עמ' 70)

- נימוקים בעד שליית החביות מהים:
 - תכולת החביות גורמת לעיתים תכופות לנזקים לדייגים, כפי שהודגם בסיפור.
 - תכולת החביות מזיקה לצמחית הים ולבעלי החיים הימיים.

נימוקים נגד שלילת החביות מהים :

- א. הפעולה יקרה מאוד ומהווה מעמסה כלכלית גדולה על המדינות .
 - ב. עצם תהליך השלייה מסכן את העוסקים בו ועלול להזיק לסביבה יותר מאשר כשהוא במי הים.
 - ג. תהליך ההידרוליזה עם מי הים מנטרל את רעילות חומרי הלוחמה שחביות (אם כי היא איטית ביותר).
2. ההתמרה המתרחשת במי הים היא פתרון חלקי בלבד כיוון שהיא איטית מאוד.

עכשיו תורכם (עמ' 73)

1. יון תיאור RS^- הוא נוקלאופיל חזק יותר מ- RO^- כיוון שיכולתו של S לקיטוב עצמי גדולה יותר מזו של O בגלל גודלו, וכך הוא יכול לתרום את זוג האלקטרונים לקשר עם אטום הפחמן בקלות במידה רבה יותר.
2. יון F^- הוא נוקלאופיל חלש יותר מאשר יון מתוקסי כיוון ש :
 - א. הוא מהווה בסיס לואיס חלש יותר, (K_b קטן יותר) כלומר מסוגל פחות בקלות לתרום את זוג האלקטרונים שלו להתקפה על אטום הפחמן הטעון במטען חשמלי חיובי חלקי.
 - ב. בגלל שהוא יון קטן יחסית ל- CH_3O^- הוא בעל יכולת נמוכה יותר לקיטוב עצמי וגם זה מקטין את יכולת ההתקפה שלו.
3. ההבדל בין התיאורים ליונים שלהם נובע מצפיפות המטען החשמלי שעליהם. במולקולת RSH קיים אומנם מטען חשמלי שלילי חלקי על אטום הגפרית אך הוא קטן יותר מהמטען השלילי של יון ה- RS^- . לכן יון RS^- הוא בסיס יותר חזק ומסוגל לתרום בקלות רבה יותר את זוג האלקטרונים שלו, והוא גם נוקלאופיל יותר חזק ומסוגל להתקיף את אטום הפחמן בשלד הפחמני, במהירות רבה יותר.

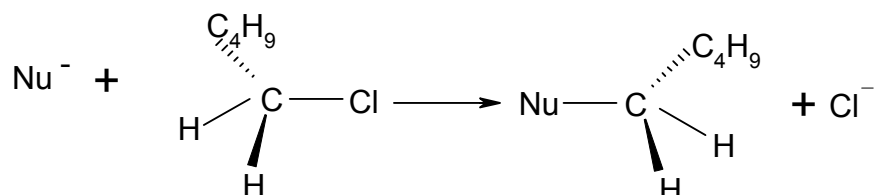
הקבוצה העוזבת (עמ' 74)

1. הקבוצה העוזבת הטובה ביותר היא I^- כיוון שהתגובה בה היא משמשת כקבוצה עוזבת, מתרחשת במהירות הגבוהה ביותר מבין כל התגובות.
2. ככל שהיון גדול יותר, המרחק שלו מאטום הפחמן, הטעון במטען חיובי חלקי, גדול יותר אורך הקשר גדול יותר) והוא יכול להינתק מאטום הפחמן ביתר קלות וליצור יון שלילי במהירות רבה יותר. כלומר: הוא קבוצה עוזבת טובה יותר.
3. הבסיס החלש ביותר מבין ההלוגנים הוא I^- . ניתן להיעזר בטבלת הדרוג הבסיסים בעמ' 108.
4. ככל שבסיס לואיס חלש יותר הוא מסוגל פחות בקלות לתרום זוג אלקטרונים כי הוא "מחזיק" אותם טוב יותר. היינו הוא מסוגל להינתק מאטום הפחמן ולצאת כיון שלילי מהר יותר ולכן מהווה קבוצה עוזבת טובה יותר.

5. נשתמש באלקיל יודי או אלקיל ברומי כיוון שהם מהווים מקור לקבוצה עוזבת טובה ומהירות תגובת ההתמרה גבוהה.

עכשיו תורכם (עמ' 77)

- 2- כלורו-2- מתיל פנטאן יגיב לאט יותר בהתמרה בדרך שהכרנו (S_N2) כיוון שהשלד הפחמני שלו מסועף יותר ומהווה הפרעה מרחבית להתקפת הנוקלאופיל "מהעורף".
1- כלורו פנטאן יגיב בדרך שהכרנו הכי מהר. אפשר להסתפק בניסוח מקוצר או:



2. ההסבר לסעיפים א' ב' ג' ו ד' זהה - ככל שהנוקלאופיל טוב יותר תגובת ההתמרה מהירה יותר.

- I^- נוקלאופיל טוב יותר בשל יכולת קיטוב עצמית גבוהה יותר מ- Br^- .
- ב. יון ההידרוקסיד (OH^-) נוקלאופיל טוב יותר כי הוא בסיס לואיס חזק יותר מאשר מים H_2O בגלל צפיפות המטען השלילי שלו. הינו: יון OH^- יכול ל תרום טוב יותר זוג אלקטרונים שלו, מאשר מולקולת H_2O יכולה לתרום אחד משני זוגות האלקטרונים הלא קושרים שעל החמצן.

ג. יון HS^- נוקלאופיל טוב יותר בשל יכולת קיטוב עצמית גבוהה יותר מיון HO^- שכן אטום S גדול מאטום O.

- ד. I^- נוקלאופיל טוב יותר כי יכולת הקיטוב העצמית שלו גבוהה מזו של F^- .
- ה. לממס השפעה על חוזק הנוקלאופיל. ממס פרוטי כמו מים יוצר סביב יון הכלור Cl^- מעטפת של מולקולות מים (aq) שממסכת ומחלישה את יכולת ההתקפה שלו ואילו ממס לא פרוטי כדוגמת DMSO לא מחליש את יכולת ההתקפה של הנוקלאופיל באותה מידה.

ניסוי 3: "קשת של צבעים" (עמ' 78)

1. ה- pH ירד מבסיסי (בסביבות 10) לחומצי (בסביבות 4-5).
2. ריכוז יוני ההידרון עלה כי במהלך התגובה השתחררו יוני הידרוניום (H_3O^+)
3.
$$(\text{CH}_3)_3\text{CCl}_{(l)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{C}(\text{OH}) + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$$
4. לשאלה זו אנו צופים שתהיינה לתלמידים תשובות שונות: יהיו בודאי כאלה שיחשבו שתרחש תגובה אך לא יצפו שיהיו שינויי צבע ואחרים שיחשבו שכן יהיו שינויי צבע כי הוספנו אינדיקטור. מעניין אם יהיו תלמידים שיקשרו בין שני הניסויים 2 ו- 3.

עכשיו תורכם (עמ' 82)

1. התגובה מסדר ראשון והמנגנון הוא S_N1 .

2. התגובה מסדר שני והמנגנון הוא S_N2 .

עכשיו תורכם (עמ' 85)

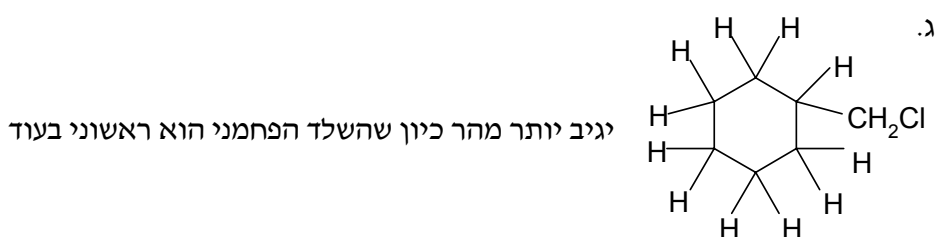
1. בשלב א' מתרחש פרוק מולקולת הבוטיל כלורי $(CH_3)_3C-Cl$ ונוצר יון קרבוניום שנוסחתו: $(CH_3)_3C^+$ וכן יון Cl^- . בשלב ב' מתרחשת התקשרות מולקולת מים ליון הקרבוניום ונוצר $(CH_3)_3CH_2O^+$. בשלב ג' יוצא פרוטון מהתוצר של שלב ב' ועובר למולקולת מים נוספת ומקבלים H_3O^+ ו- $(CH_3)_3COH$. כמובן שהתלמידים נדרשים לצייר נוסחת מבנה לכל התוצרים בשלושת השלבים.
2. החלקיקים שנוצרו בשלב א' ו- ב' הם תוצרי ביניים ואילו הכוהל המתקבל בשלב ג' הוא התוצר הסופי בתגובה.
3. לשלב א' אנרגית שיפעול גבוהה ביותר דהיינו זה השלב האיטי של התגובה ומכנים אותו: שלב קובע מהירות.
4. לשלבים ב' וג' אנרגית שיפעול נמוכה והם מתרחשים במהירות גבוהה מאוד ולכן השפעתם על מהירות כל התגובה היא זניחה בהשוואה לזו של שלב א'.
5. הגרף שנצייר עבור התמרה של אלקיל הליד שניוני במנגנון S_N1 יהיה שונה מהגרף המצויר בספר שהוא עבור אלקיל הליד שלישוני. אנרגית השיפעול עבור שלב א' בגרף שנצייר תהיה גבוהה יותר (הקטע התחום בחץ יהיה יותר ארוך). גם האנרגיה של יון הקרבוניום השניוני גבוהה יותר (השקע בעקומה שנצייר יהיה גבוה יותר מזה שבספר). שכן יון קרבוניום שניוני פחות יציב מיון קרבוניום שלישוני ומתקבל במהירות נמוכה יותר.

סדנת מודלים ב' (עמ' 85)

5. בסדנה זו קבלנו שני תוצרים שהם אננטיומרים וכל אחד מהם עשוי לסובב את מישור האור המקוטב באותה זווית אך בכיוון מנוגד. בסדנה א' לעומת זאת, קבלנו תוצר אחד בלבד ולפחמן המרכזי שלו מבנה טטראדר הפוך מזה של המגיב (S_N2). יחד עם זאת, חשוב לזכור כי איננו יכולים לקבוע בוודאות מה יהיה כיוון סיבוב האור המקוטב של התוצר המתקבל ב- S_N2 בהשוואה לזה של המגיב כיון שאין קשר ברור בין המבנה המרחבי ההפוך של הטטראדר שנוצר וכיוון סיבוב האור המקוטב. את כיוון סיבוב האור המקוטב ניתן לקבוע רק באופן ניסויי בפולרימטר. דף סיכום בנושא נמצא ב"לעומקו של עניין".
- ההבדל במספר התוצרים שהתקבלו בשתי הסדנאות ובפעילותם האופטית נובע ממנגנון התגובה. ב- S_N1 (סדנה ב') מתקבל יון קרבוניום מישורי וההתקפה של הנוקלאופיל יכולה להיעשות משני צדי המישור, מכוונים מנוגדים ולתת שני תוצרים שונים שהם אננטיומרים. לעומת זאת, ב- S_N2 מתרחש "היפוך וולדן" ומתקבל תוצר פעיל אופטית בעל מבנה מרחבי הפוך לזה של המגיב.

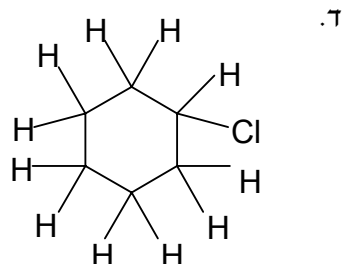
חושבים... ועונים (עמ' 92)

1. א. $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{CHI}$ תגיב מהר יותר בתגובה על פי מנגנון $\text{S}_{\text{N}}2$ כיון שהשלד הפחמני שלה פחות מסועף ומפריע פחות ל"התקפה העורפית" של הנוקלאופיל.
- ב. $(\text{CH}_3)_2\text{CHI}$ יעבור את התגובה יותר מהר כיון שהקבוצה העוזבת שלו (I^-), טובה יותר מהקבוצה העוזבת ב- $(\text{CH}_3)_2\text{CHCl}$ שהיא Cl^- . כידוע יון I^- בסיס לוואיס חלש יותר מ- Cl^- וגם יכולת העיוות העצמי שלו גבוהה יותר שהרי הוא גדול יותר ממנו.



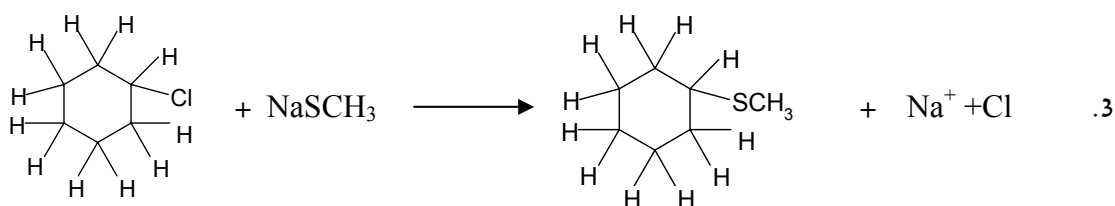
שבמולקולה השנייה השלד הפחמני הוא שניוני ומהווה הפרעה מרחבית ל"התקפה העורפית" של הנוקלאופיל.

ד. יגיב יותר מהר בגלל מבנה השלד השניוני שלו

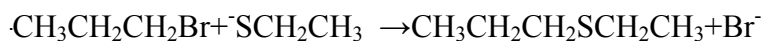


בעוד שלמולקולה השנייה יש שלד שלישוני המהווה הפרעה מרחבית כנ"ל.

2. א. מהירות התגובה תגדל פי שניים.
- ב. מהירות התגובה תגדל פי שלושה.
- ג. מהירות התגובה תגדל כי בטמפ' גבוהה יותר, מספר רב יותר של מולקולות הן בעלות אנרגיה קינטית גבוהה מאנרגיית השפעול של התגובה.
- ד. מהירות התגובה תגדל כיון שלא תתקיים בממס הא-פרוטי ה"מעטפת" המימית שמחלישה את הנוקלאופיל ומעכבת את התקפתו.

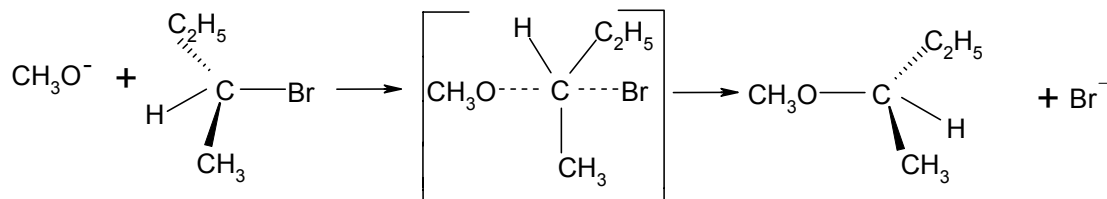


א. הנוקלאופיל הוא SCH_3^- והקבוצה העוזבת היא Cl^- .



ב. הנוקלאופיל הוא $\text{SCH}_2\text{CH}_3^-$ והקבוצה העוזבת היא Br^- .

4. א.



ב. בתוצר התרחש היפוך מבנה של הטראדר- היפוך ולדן

5. א.



עשוי להיווצר גם $(\text{CH}_3)_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$

ב. הבוטיל יודיד (III) יגיב במהירות הגבוהה ביותר משתי סיבות:

a. הוא שלישוני המגיב בתגובת $\text{S}_{\text{N}}1$ המהירה יותר מתגובת $\text{S}_{\text{N}}2$

b. הוא מכיל אטום יוד המהווה קבוצה עוזבת טובה יותר מאשר אטום ברום.

לעומקו של עניין

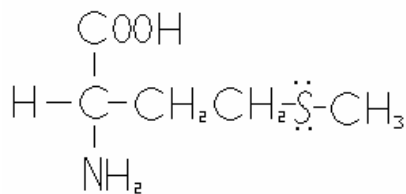


1. על פרס נובל לכימיה לשנת 2004 - תוכלו לקרוא בעל כימיה גיליון מס' 7.

2. על פרס נובל לשנת 2005 תוכלו לקרוא בעל כימיה גיליון מס' 9.

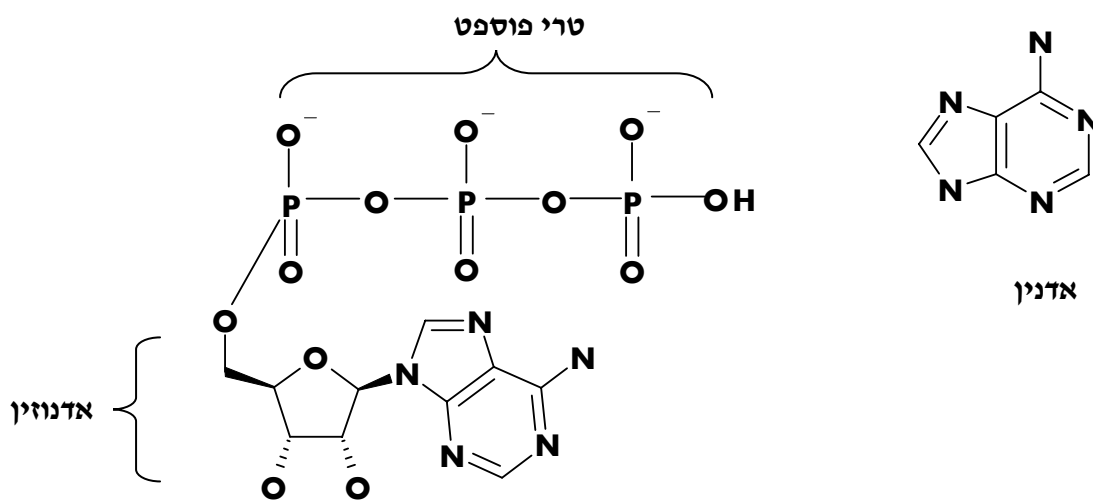
3. הרחבה ל"מכורים לאדרנלין" (עמ' 91) - מנגנון התגובה ליצירת אדרנלין מנוראדרנלין

מולקולת חומצת האמינו מתיונין, המכילה קבוצת מתיל על אטום גפרית, היא האחראית להעברת קבוצת מתיל לנוראדרנלין לקבלת אדרנלין.



מתיונין

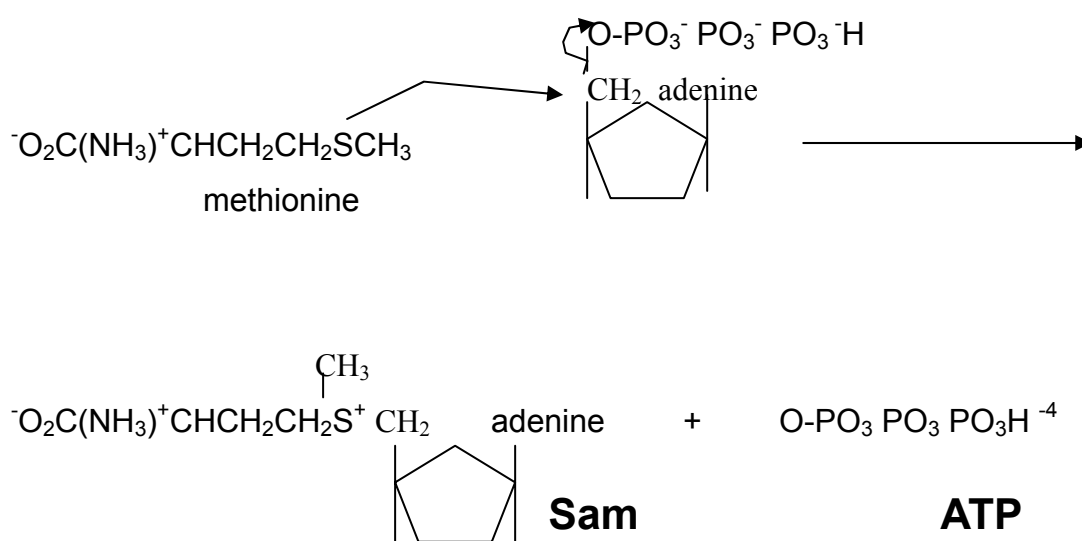
העברה זו אינה מתרחשת באופן ישיר אלא, כמו תהליכים רבים בגוף, בסיועו של ה-ATP, הלוא הוא אדנוזין טרי פוספט.



תגובת המתילציה מתרחשת במספר שלבים:

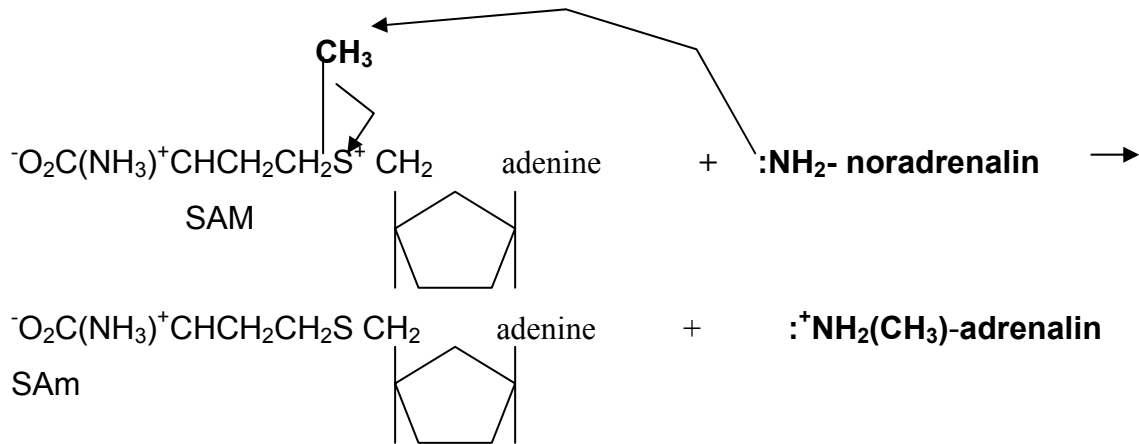
א. התגובה המקדימה - יצירת המולקולה המותקפת SAM

המתיונין מגיב עם מולקולת ATP ומתקשר באמצעות אטום הגפרית שלו לאטום הפחמן הקשור לטבעת האדנוזין תוך יציאת קבוצת הטרי פוספט כיון שלילי. מתקבל **S-אדנוזיל מתיונין** ובקיצור SAM. תגובה מקדימה זו היא התמרה נוקלאופילית מסוג S_N2 ובה הנוקלאופיל הוא המתיונין, החומר המותקף הוא האדנוזין והקבוצה העוזבת היא הטרי פוספט.

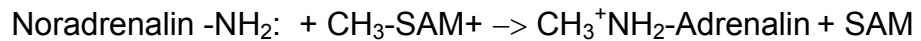


ב.. התגובה העיקרית - קבלת אדרנלין מנוראדרנלין

מולקולת הנוראדרנלין, הנוקלאופיל, מתקרבת ל - SAM, המולקולה המותקפת, מתקיפה את קבוצת המתיל "מאחור" באמצעות זוג האלקטרונים הלא-קושר שעל אטום החנקן, ונקשרת אליה. בו-בזמן עוזבת יתרת המולקולה SA, המהווה קבוצה עוזבת, ומתקבל האדרנלין.



ובקיצור:



שימו לב!!!

א. המולקולה המותקפת, SAM, היא בעלת מטען חיובי (ולא ניטרלית כרגיל). לכן, הקבוצה העוזבת עם זוג האלקטרונים הנוסף אליה היא ניטרלית, ולא יון שלילי המאפיין קבוצה עוזבת כרגיל.

ב. הנוקלאופיל נוראדרנלין הופך תחילה ליון רבעוני (יון המכיל אטום חנקן בעל 4 קשרים) ואחרי שחרור H^+ , מקבלים את האדרנלין.

4. אתרים המתאימים לנושאי הפרק

א. פרס נובל (עמ' 56)

מאמר ואנימציה של <http://nobelprize.org/chemistry/laureate/2005/info.pdf> -

מנגנון המתאטזיס

גילוי מצב המעבר בדרך ניסויית ע"י <http://nobelprize.org/chemistry/laureate/1999/> -

פרופסור זויל

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3157320,00.html>

ב. הים הבלטי "גז החרדל" (עמ' 69)

<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/mustardg.htm#PartTitle:3.%20%20PHYSIC>

http://en.wikipedia.org/wiki/Mustard_gas

<http://www.greenleft.org.au/back/1992/48/48p14.htm>

<http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=23556&newsdate=26->

[Jan-2004](#)

ג. אדרנלין ונור אדרנלין (עמ' 91)

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3135477,00.html>

<http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%95%D7%9C%D7%99%D7%9A>

[%D7%A2%D7%A6%D7%91%D7%99](#)

ד. אנימציות + אנימציות למנגנונים

<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/s>

[n2/sn2rxn01.html](#)

<http://www.colby.edu/chemistry/OChem/demoindex.html#table>

[/http://ull.chemistry.uakron.edu/genobc](http://ull.chemistry.uakron.edu/genobc)

5. דף עבודה בנושא "התמרה במצולות הים הבלטי" (עמ' 69)

הכינה וניסתה ד"ר דבורה יעקובי מחמד"ע



שם התלמיד: _____

בית הספר: _____

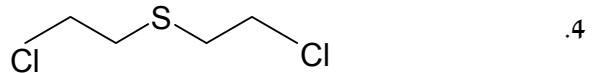
תאריך: _____

"התמרה במצולות הים הבלטי" דף עבודה

1. מדוע נזרקו חביות המכילות גז עצבים וגז חרדל לים הצפוני?
2. מדוע מהוות חביות אלה איום על איכות הסביבה? התייחס לעובדה שחביות אלה עשויות מברזל.
3. מהם חילוקי הדעות בקשר לפתרון הבעיה של חביות אלה?
4. צייר נוסחת מבנה שלדית של גז החרדל.
5. התבונן בתגובה הכימית שעובר גז החרדל במעמקי הים. כנה תגובה זו בשם.
6. נסח מחדש את התגובה המופיעה במאמר אולם הפעם החלף את היון H^+ המופיע כתוצר ביון H_3O^+ .
7. גז החרדל רעיל למערכת העצבים ואילו הדייג שנפגע נצרב בעור ידיו. ממה, לדעתך, נפגעו ידיו של הדייג שנגע בחבית? התייחס בתשובתך לארבע רמות ההבנה בכימיה.
8. התייחס לתשובתך לשאלה 6 והחלט אם תהליך ההתמרה בים, המתרחש מעצמו, יכול להוות פיתרון לבעיה או אולי, לפחות, הקלה מסוימת של הבעיה. התייחס לרמות ההבנה בכימיה אולם גם מעבר להן.
9. בים הבלטי מגיב גז החרדל עם H_2O האם יכול גז החרדל להגיב במעבדה עם HBr ? אם לא – הסבר מדוע לא. אם כן – נסח את התגובה.

תשובות

1. זריקת חביות לים הייתה הדרך של שני הצדדים שהשתתפו במלחמת העולם השנייה, גרמניה ובעלות הברית, להיפטר מאמצעי לחימה שנותרו אחרי המלחמה.
2. ברזל עובר שיתוך, תגובה עם חמצן. שיתוך זה, המתבצע באמצעות החמצן המומס במי הים, מזורז בנוכחות אלקטרוליטים המצויים בשפע במי הים. החביות מגיבות, עם כך, עם החמצן, מתמוססות באופן חלקי, נסדקות ותוכן הרעיל מתפזר בתוך מי הים.
3. יש הטוענים כי הסכנה שבנוכחות החביות במי הים היא זניחה בשל מספר סיבות: החביות תתכסנה מעצמן ותיקברנה בחול במשך הזמן. גם אם גז החרדל יזלוג לתוך מי הים הוא יעבור תגובת התמרה עם מי הים ובכך תנוטרל רעילות החומר בנוסף לכך עצם פעולת הוצאת החביות היא מסוכנת שכן הן עלולות להתבקע תוך כדי פעולה זו. לעומתם יש הטוענים כי רעילות החומר מסוכנת לא רק לעולם החי והצומח של הים אלא גם לדייגים, שכן החביות נמצאות בעומק נמוך בשל רדידותו של הים באזור בו הושלכו החביות.



5. תגובת התמרה נוקליאופילית. התגובה מתרחשת פעמיים ובכל פעם מוליקולת מים היא נוקליאופיל ויון כלור הוא הקבוצה העוזבת.



7. ידיו של דייג שנגע בחביות נצרכו והופיעו עליהן שלפוחיות. בעת תגובת ההתמרה בין מוליקולת גז החרדל לבין מוליקולות המים הנוקליאופיליות נפלטים יוני כלור אבל נפלטים גם יוני הידרוניום, חומצה, הפוגעים בעור, על פי הניסוח הבא:

$$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}_{(l)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{OH}_{(aq)} + 2\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + 2\text{Cl}^-_{(aq)} \quad .7$$

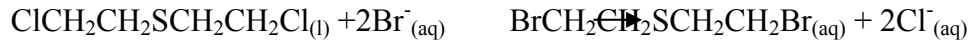
8. תהליך ההתמרה המתרחש בים, בו מותמרים אטומי הכלור שבגז החרדל לקבוצות הידרוקסיל (ראה ניסוח בתשובה 6 ובתשובה 7) מבטל אומנם את רעילותו של גז החרדל אולם יחד עם זאת הוא פולט חומצה חזקה לים. חומצה זו לא רק שהיא רעילה בפני עצמה (שכן מערכות חיות, וביחוד חד תאיים המהווים את בסיס שרשרת המזון רגישים מאוד לרמת ה-pH) אלא גם מזרזת את שיתוכן של החביות, כאשר הברזל, כמו רוב המתכות, מגיב עם החומצה.



- תגובה זו גורמת לסדקים נוספים בחביות ולזליגה מוגברת של גז החרדל למי הים. התוצאה מכך היא שתהליך ההתמרה אינו פיתרון לבעיה ואף לא הקלה שלה ואנו חוזרים לדילמה

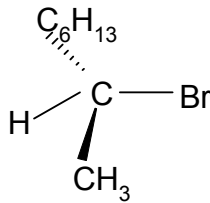
המתוארת בתשובה לשאלה 1. מה יותר מסוכן ומה יותר יקר: להשאיר את החביות בים או להוציא אותן.

9. גז החרדל יכול להגיב עם HBr שכן Br^- הוא נוקליאופיל טוב



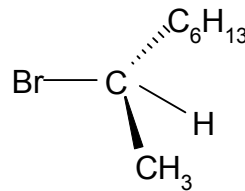
6. מה בין סיבוב אופטי וקונפיגורציה?

- א. ההיערכות המרחבית של ארבע קבוצות סביב אטום פחמן כיראלי במולקולה נקראת הקונפיגורציה שסביב אותו אטום.
- ב. כידוע, פחמן כיראלי במולקולה אחראי לפעילות אופטית של החומר. מולקולה המכילה פחמן כיראלי מסובבת את מישור האור המקוטב.
- לאנטיומרים – זווית הסיבוב של האור המקוטב שווה בגודלה ומנוגדת בכיוונה. לזוג אנטיומרים יש גם קונפיגורציה הפוכה סביב אטום הפחמן הא-סימטרי.



(-)-R-2-ברומואוקטאן

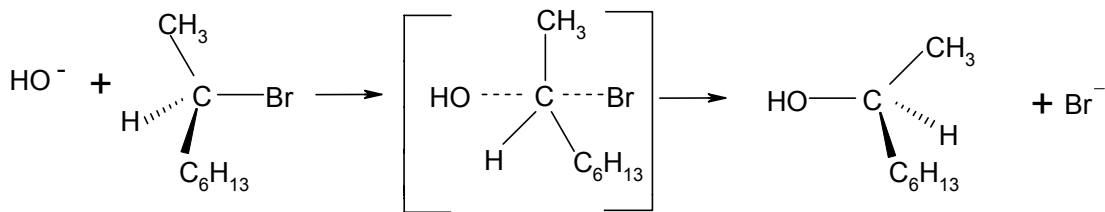
$$\alpha = -34.25$$



(+)-S-2-ברומואוקטאן

$$\alpha = +34.25$$

ג. בתגובות התמרה מסוג $\text{S}_{\text{N}}2$ הקונפיגורציה של התוצר הפוכה לקונפיגורציה של המגיב (היפוך וולדן).



(-)-R-2 ברומו אוקטאן

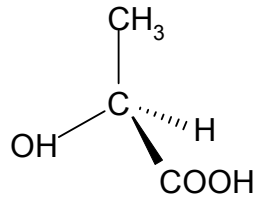
$$\alpha = -34.25^\circ$$

(+)-S-2 אוקטאנול

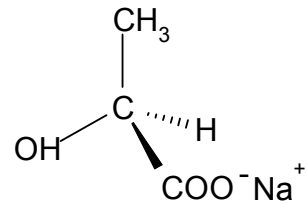
$$\alpha = +9.90^\circ$$

עם זאת, אין להסיק מכך שזווית הסיבוב של אור מקוטב על ידי התוצר תהיה תמיד מנוגדת בכיוונה מזווית הסיבוב של האור המקוטב על ידי המגיב בתגובות $\text{S}_{\text{N}}2$ כי:

ד. אין התאמה ברורה (קורלציה) בין הקונפיגורציה של מולקולות בעלות אטום פחמן א-סימטרי לבין הכוון (+)/(-) של סיבוב האור המקוטב על ידן. קיימות תרכובות עם קונפיגורציה מסוימת המסובבות את מישור האור המקוטב ימינה (+) או שמאלה (-). בעוד שניתן לקבוע מתוך נוסחת המבנה של מולקולה את הקונפיגורציה שלה, הדרך היחידה בה ניתן לקבוע את זווית וכוון הסיבוב של אור מקוטב על ידי תרכובת היא בדרך ניסוית בעזרת פולרימטר.



(+)S חומצה לקטית



(-)S נתרן לקטאט

פרק שלישי: אלימינציה וסיפוח – "מולקולות על פרשת דרכים"

חלק ראשון: אלימינציה



לב העניין-מושגים ורעיונות מרכזיים ביחידה

א'ע'א: אלימינציה מסוגים: E1, E2, פחמן אלפא, פחמן ביתא, אפקט אינדוקטיבי, אל-מיום, התפלגויות חלקיקים לפי מהירות, תגובות מתחרות.

רציונות:

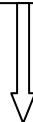
1. חומרים המגיבים ביניהם עשויים לתת תוצרים שונים בתנאים שונים
2. ניתן לנווט תגובה מסוימת למסלול נבחר (אלימינציה או התמרה) על ידי שינוי מתוכנן של תנאי התגובה, שינוי המימס או ושינוי הטמפרטורה.
3. יש נקודות דמיון ושוני בין מנגנוני ההתמרה והאלימינציה
4. אל מיום, הוא מקרה פרטי של אלימינציה המתרחשת במנגנון שונה.
5. תגובות אלימינציה ואל מיום מתרחשות בתעשייה ובגופנו

צעד צעד – מהלך היחידה והתפתחותה



א. תגובת אלימינציה

1. אפשר גם אחרת
- אותם מגיבים, בתנאים שונים, נותנים תוצר שונה.
2. בתגובת האלימינציה שבה משתתף אלקיל הלוגני ובסיס ניתקים מהמולקולה אטומים או קבוצת אטומים ונוצר קשר כפול.



ב. אלימינציה – מבט לעומק

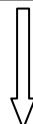
ב.1 מנגנון התגובה

תגובת E2 מתרחשת במנגנון חד שלבי והיא תגובה מסדר



ב.2 מנגנון התגובה

תגובת E2 מתרחשת במנגנון חד שלבי והיא תגובה מסדר שני.



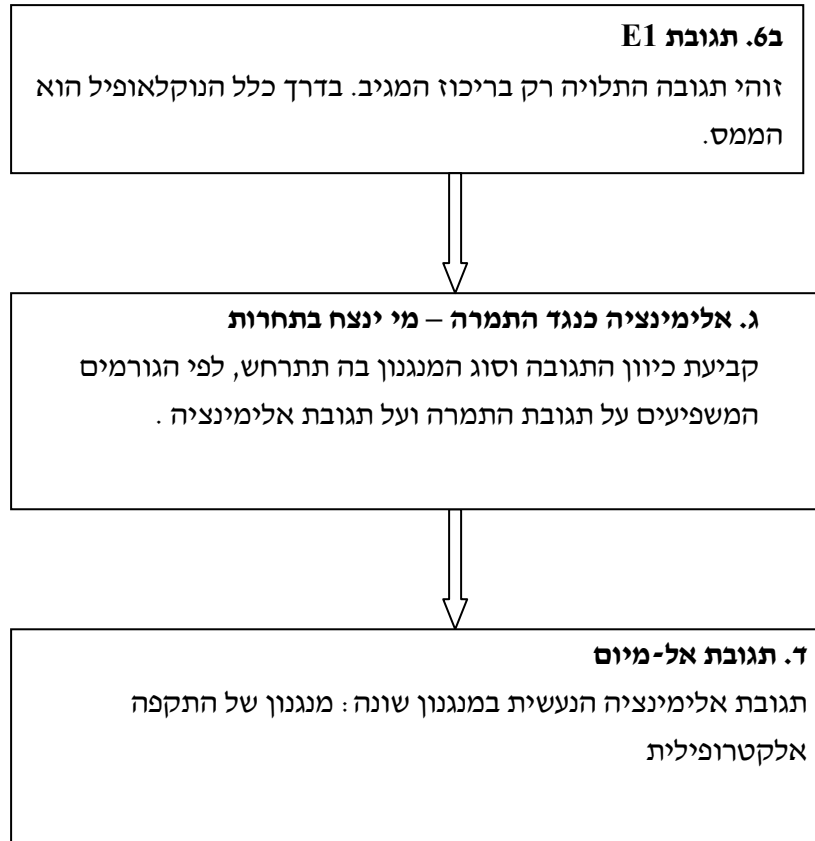
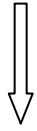
3.3. היבט מרחבי
 המצב המועדף לאלימינציה הוא הקונפורמציה אנטי של המולקולה המותקפת.

3.3. הגורמים המשפיעים על תגובת אלימינציה

1. השלד הפחמני.
 ככל שהשלד הפחמני מסועף יותר כך תועדף תגובת האלימינציה
2. הקבוצה העוזבת
 ככל שהקבוצה העוזבת טובה יותר האלימינציה תתרחש במהירות גבוהה יותר.
3. הנוקלאופיל
 באלימינציה, יש חשיבות לחוזק הבסיס. בסיס חזק יכוון את התגובה לאלימינציה, לעומת נוקלאופיל טוב, שיכוון את התגובה להתמרה.
4. המימס
 מימס פרוטי מחליש את הבסיס המתקיף ולכן מחזק תגובת ההתמרה.
5. הטמפרטורה
 בטמפרטורות גבוהות מועדפת אלימינציה ובטמפרטורות נמוכות, ההתמרה.

4. הגורם הקינטי
 לתגובת אלימינציה אנרגית שפעול גבוהה. לתלמיד מוצגת דיאגרמת התפלגויות המהירויות במולקולות כדי להמחיש את השפעת הטמפרטורה על מהירות התגובה.

5. הגורם התרמודינמי
 בתגובת האלימינציה נוצרים בדרך כלל יותר מולקולות תוצרים ממולקולות מגיבים. מסיבה זו האנטרופיה עולה. לכן, ככל שהטמפרטורה עולה יש העדפה לאלימינציה.





הערות והארות

הצעות	קטע וסעיף
<p>הפרק פותח בהצגת העובדה הניסויית שאלקיל הליד ובסיס עשויים לא להגיב בתגובת התמרה אלא בתגובת אלימינציה. כדי להבין את הגורם לשינוי כיוון התגובה מובא בהמשך, תיאור והסבר של תגובת האלימינציה.</p>	<p>תגובת אלימינציה- אפשר גם אחרת</p>
<p>בחרנו לפתוח ולהתמקד במנגנון האלימינציה מסוג E2 מכיוון שזהו המנגנון הנפוץ ביותר. בתחילת סעיף זה מפורט המנגנון. בתהליך זה הבסיס תוקף את המימן החומצי הקשור לפחמן β תוך יצירת קשר כפול ועזיבת אטום ההלוגן. התקפת הפחמן הזה מתאפשרת הודות לאפקט האינדוקטיבי של אטום ההלוגן. יש לחדד את השווה והשונה בין מנגנון ההתמרה והאלימינציה: הדמיון: בשניהם קיימת התקפה נוקלאופילית ובשלב האחרון ניתקת הקבוצה העוזבת. השוני: באלימינציה, הנוקלאופיל מתקיף את פחמן β, ולאחר מכן מתנתק מהמולקולה יחד עם הקבוצה העוזבת, כך שנוצר קשר כפול במולקולה. לעומתה בהתמרה הנוקלאופיל מתקיף את פחמן α ונשאר קשור אליו ורק והקבוצה העוזבת מתנתקת מהמולקולה. על מנת להסביר איזה מצב מועדף מבחינה מרחבית אנו נעזרים במושג קונפורמציות עליו למדנו בפרק א'. לכן לימוד המנגנון מלווה בסדנת מודלים.</p>	<p>אלימינציה- מבט לעומק ב1. מנגנון התגובה</p>
<p>מטרתה של סדנת המודלים ג' להמחיש את הקונפורמציה ההתחלתית הרצויה של האלימינציה (אנטי) וכן את השינוי שעובר האלקיל הליד- מבחינה מרחבית (מטטראדר למבנה מישורי). אפשר לדון באפשרות לקבלת מבנה ציס או טרנס של התוצר הסופי עם תלמידים ברמה גבוהה באופן הבא: לבנות שני מודלים זהים של מולקולת המוצא. לאחר שמתרגלים לפי</p>	<p>ב2. היבט מרחבי</p>

<p>ההוראות, אלימנציה עם הוצאת אטום מימן מצד ימין של הכלוריד, מוציאים אטום מימן מצד שמאל של הכלוריד. בשני המקרים נקבל קונפירגורציות שונות: פעם ציס ופעם טרנס. מכאן אנו לומדים ששני התוצרים אפשריים, אלא שהטרנס יותר יציב ולכן הסיכוי לקבלתו גבוה יותר.</p>	
<p>הדיון המעמיק בגורמים המשפיעים על תגובת האלימנציה יסייע, להבין מהם התנאים העשויים לגרום להכוונת התגובה להתמרה או לאלימנציה. השלד הפחמני</p> <p>לגבי השלד הפחמני חשוב להדגים על ידי מודלים כי כיוון שבהתמרה פחמן α מותקף-הגישה אליו קשה ואילו באלימנציה פחמן β מותקף שהגישה אליו קלה יותר, ולכן אלימנציה אפשרית בשלד פחמני מסועף. הנוקלאופיל</p> <p>יש להסביר לתלמידים את ההבדל בין בסיס ונוקלאופיל. חוזקו של הבסיס נקבע לפי קבוע הבסיסיות K_b (טבלה מפורטת נמצאת בנספחים), ואילו חוזקו של הנוקלאופיל נובע מיכולת הקיטוב העצמי שלו. בפרק ב' הסברנו שנוקלאופילים הנגזרים מיסודות בני אותו מחזור, יש התאמה בין חוזק הנוקלאופיל וחוזקו כבסיס.</p> <p>בנושא ההפרעה המרחבית - גם שלד בעל הפרעה מרחבית וגם נוקלאופיל בעל הפרעה מרחבית מכוונים את התגובה לאלימנציה מאותה סיבה. המימס</p> <p>יש לציין שגם מים וגם כוהל הם מימסים פרוטיים, אבל כיוון שהמים הם מקטבים יותר מאשר הכוהל, הרי הם מחלישים יותר את הבסיס ולכן בנוכחותם לא מתרחשת האלימנציה ומועדפת תגובת ההתמרה. ולכן מבצעים אלימנציה בנוכחות כוהל או מימס לא פרוטי. הטמפרטורה</p> <p>העלאת הטמפרטורה מכוונת את התגובה לאלימנציה בעיקר בשל הגורם הקינטי וגם בשל הגורם התרמודינמי.</p>	<p>ב3. הגורמים המשפיעים על תגובת אלימנציה</p>
<p>בנושא זה התלמידים יכולים להתבסס על ידיעותיהם בנושא קינטיקה (היחידה הרביעית והיחידה השלישית). עקומת בולצמן המתארת את התפלגות האנרגיה הקינטית במולקולות, משמשת ככלי עזר להבנת מושג אנרגיית השפעול. לאחר מכן ישנה השוואה של תגובות בעלות אנרגיות שפעול שונות בטמפרטורות שונות.</p> <p>בנספח המצורף לפרק זה, תמצאו דיון העוסק בהיבט המתמטי (על סמך משוואת אהרניוס) של השפעת הטמפרטורה על שתי תגובות בעלות אנרגיות שפעול שונות. מהדיון נובע כי העלאת טמפרטורה של תגובה בעלת אנרגיית</p>	<p>ב4. היבט קינטי</p>

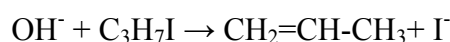
<p>שפעול גבוהה משפיע יותר על מהירות התגובה מאשר העלאת טמפרטורה של תגובה בעלת אנרגיית שפעול נמוכה. מסיבה זו העלאת טמפרטורה של התגובה מכוונת את התגובה לאלימינציה שכן, זו תגובה בעלת אנרגיית שפעול גבוהה.</p>	
<p>בתגובת אלימינציה, בדרך כלל, מתקבלים יותר מולקולות תוצרים ממולקולות מגיבים. מסיבה זו האנטרופיה עולה. ולכן לפי המשוואה: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ ככל שהטמפרטורה תעלה תגובת האלימינציה תהיה מועדפת גם מבחינה תרמודינמית.</p>	<p>ב5. היבט תרמודינמי</p>
<p>התהליך המתואר בסיפור זה הוא מורכב למדי. גם אם התלמידים מתקשים כדאי להציג אותו כמדגים את הקשר בין החברה לחידושי המדע, ו"לתרמיות מדעיות".</p>	<p>סיפור מקרה: "שערוריה במקסיקו"</p>
<p>תגובת E1 היא פחות שכיחה מתגובת E2 ולכן כדאי לעבור על סעיף זה בקצרה. בשלב זה כדאי לתרגל את התרגילים בתקליטור העוסקים בתגובות אלימינציה.</p>	<p>ב6. תגובת E1</p>
<p>לאחר שהתלמיד מכיר את כל הגורמים המשפיעים על תגובת האלימינציה הוא יכול להשוות אותם עם הגורמים המשפיעים על תגובת ההתמרה ולקבוע "מי ינצח בתחרות", בתנאים נתונים. מטרת סעיף זה היא לארגן ולסכם את הגורמים הרבים שזכרו בסעיפים הקודמים. לשם כך, מובאת טבלה המסכמת באופן השוואתי את הגורמים השונים, וכן מארגן גרפי בצורת "מפת דרכים" המציג את הקשר בין סוגי המגיבים והמנגנונים בהם יגיבו. אנו מציעות למורים להדריך את תלמידיהם להשתמש בשני מארגנים אלו כדי לענות על השאלות בסוף סעיף זה ובסוף הפרק.</p>	<p>ג. אלימינציה כנגד התמרה</p>
<p>הסעיף נפתח בסיפור מקרה הממחיש את השימוש בתגובת אלימינציה מסוג הוצאת מולקולת מים. תהליך האל-מיום מתרחש במנגנון שונה מאלימינציה. כאן מתרחשת התקפה אלקטרופילית על ידי יון המימן החיובי. המתקיף האלקטרופילי יופיע שוב בהמשך בחלק השני של הפרק: תגובת הסיפוח.</p>	<p>ד. אל-מיום אלימינציה מזן אחר</p>

תשובה לעניין –

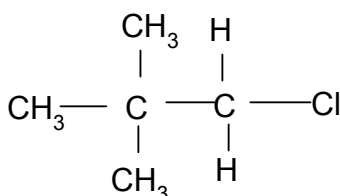
עכשיו תורכם - עמ' 97



.1



.2



לתרכובת זו אין מימן על פחמן β (הסמוך לפחמן הקשור לכלור) ולכן לא יכול להיווצר אלקן כי התרכובת לא יכולה לעבור אלימינציה

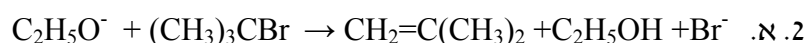
עמוד 100

.1 בשתי התגובות הנוקלאופיל התוקף הוא OH^- והקבוצה העוזבת Br^- .

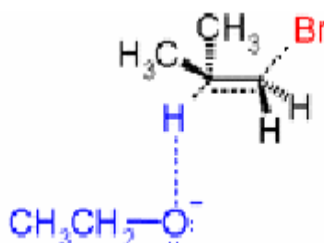
.2 ההבדל הוא בשלבי התגובה וכתוצאה מכך בתוצרי התגובה.

בתגובה הראשונה בה מתקיימת התמרה - הנוקלאופיל מתקיף את הפחמן בעל המטען החיובי אליו קשורה הקבוצה העוזבת ונקשר אליו. בתגובה השנייה בה מתקיימת אלימינציה - הנוקלאופיל תוקף את המימן שעל פחמן β ונקשר אליו בו זמנית הקבוצה הקשורה לפחמן α עוזבת ונוצר קשר כפול בין שני אטומי הפחמן α ו β .

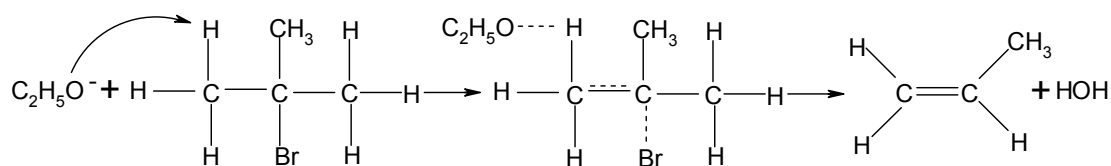
עכשיו תורכם - עמ' 102

.1 תגובת האלימינציה דומה ל- $\text{S}_{\text{N}}2$ שגם היא מתרחשת בשלב אחד.

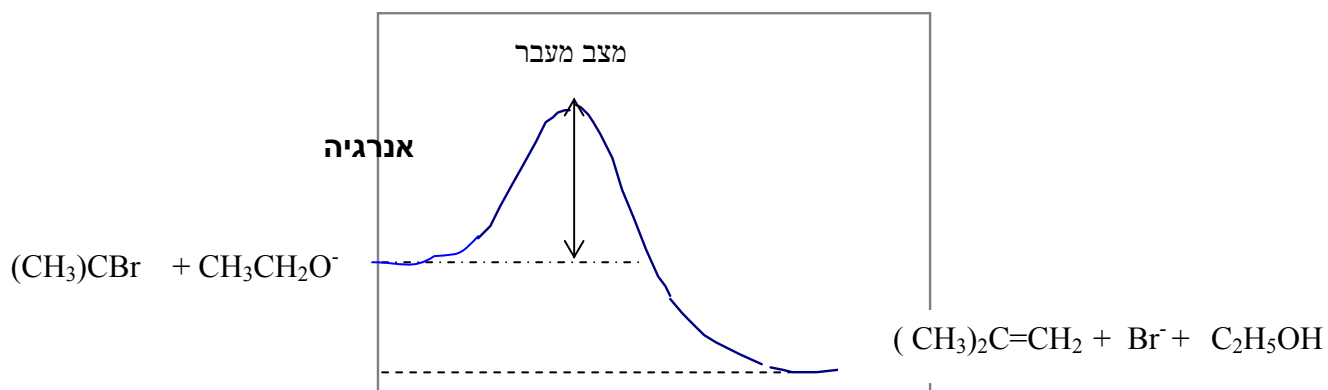
.ב



א.3

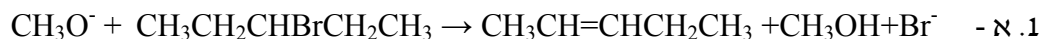


ב.3



התקדמות התגובה

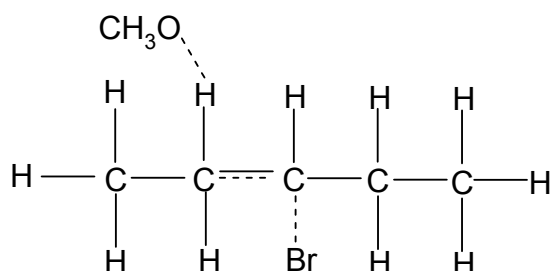
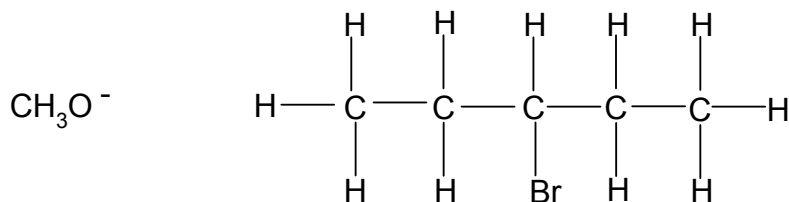
עכשיו תורכם - עמ' 104



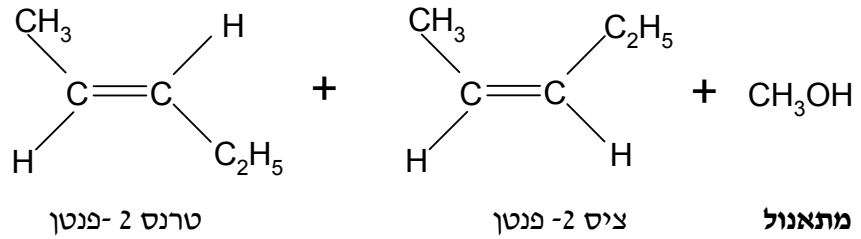
צריך לציין שמתקבלים שני איזומרים גיאומטריים ציס וטרנס של האלקן ואיזומר טרנס יציב יותר ולכן מועדף.

אפשר לכתוב גם נוסחות מבנה מלאות (ולא מקוצרות) ואז בתוצר לכתוב את האיזומרים ציס וטרנס המתקבלים ולציין שטרנס מועדף. ואז בסעיף ב' מוסיפים רק את נוסחת המבנה של מצב המעבר.

ב. המגיבים:

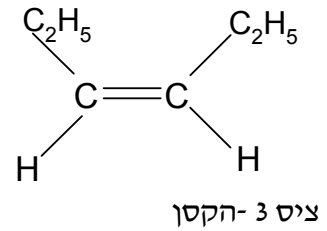
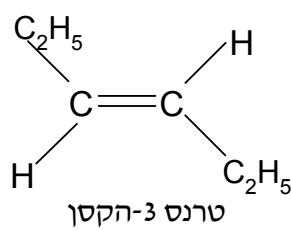
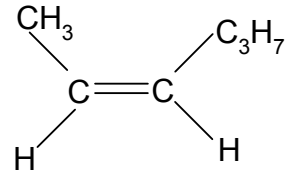
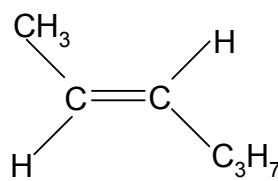


תוצרים:



עכשיו תורכם - עמ' 105

1. יתקבלו שני אלקנים : 2-הקסן ו 3-הקסן לכל אחד מהם איזומרי ציס וטרנס. סה"כ יתקבלו ארבעה איזומרים.

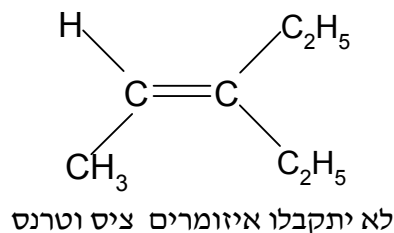


2. איזומרי טרנס יהיו יציבים יותר כי הדחייה בין ענני האלקטרונים של שתי הקבוצות הנפחיות (מתיל-פרופיל או אתיל-אתיל)הקשורות לפחמני הקשר הכפול – קטנה יותר, כי המרחק בין הקבוצות הנפחיות הללו – גדול יותר באיזומרי טרנס מאשר באיזומרי ציס.

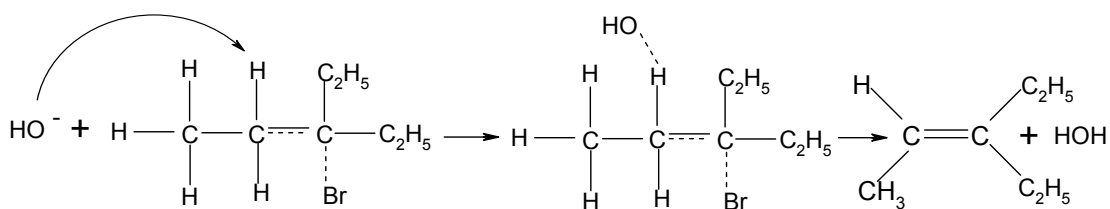
עכשיו תורכם - עמ' 107 (למעלה)

1. למצב מעבר יציב יותר, יש אנרגיה פוטנציאלית נמוכה יותר, ולפיכך גם האנרגיה הנדרשת כדי לקבל אותו מן המגיבים ולאפשר בכך את התגובה – היינו, אנרגיית השיפעול - גם היא נמוכה יותר, וכתוצאה – התגובה מהירה יותר.

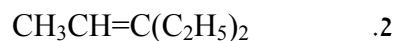
2. א.



2. ב.



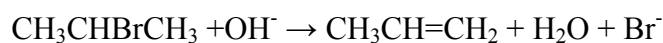
עכשיו תורכם - עמ' 107 (למטה)



3. אומנם בשתי התגובות נקבל אותו תוצר: $\text{CH}_3\text{CH}=\text{C}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$. אך תגובה מס' 1 מהירה יותר כיוון ש-Cl מהווה קבוצה עוזבת טובה יותר מאשר F.

הסיבה: אנרגיית הקשר C-F גדולה יותר והקשר C-F קצר יותר לכן ה-F עוזב באיטיות רבה יותר מאשר Cl שעבורו הקשר C-Cl ארוך וחלש יותר ולכן עוזב יותר במהירות רבה יותר.

עכשיו תורכם - עמ' 109



ב. OH^- בסיס יותר חזק מאשר CH_3COO^- (כיון ש- H_2O שהוא החומצה המצומדת שלו – חומצה חלשה יותר מאשר CH_3COOH (החומצה המצומדת של CH_3COO^-). לכן נצפה כש OH^- הוא הנוקלאופיל המתקיף – לאחוז גבוה יותר של תוצרי אלימינציה.

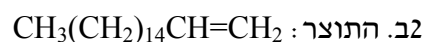
ג. במקרה שהקבוצה המתקיפה היא CH_3COO^- , כיוון שיון האתאנואט גדול ובעל יכולת קיטוב עצמי גבוהה, הוא מהווה נוקלאופיל חזק יותר מאשר OH^- ולפיכך נצפה לאחוז גבוה יותר של התמרה.

2. א. הקבוצה המתקיפה $(\text{CH}_3)_3\text{CO}^-$ אחראית לאחוז הגבוה של תוצר האלימינציה, כיוון ש:

1. היא בסיס חזק ביותר (כמו שאר האקלאוקסידים המצוינים בטבלת ה- K_b) ומסוגלת "לקרוע" את המימן שעל פחמן ביתא. הערה: למעשה יש כאן גם אפקט אינדוקטיבי של דחיית אלקטרונים על ידי שלושת הקבוצות המתלילות, וזה עוד מגביר את הבסיסיות. המורה יכול לבחור אם להציע גם הסבר זה אבל התלמיד לא נדרש לדעת זאת.

2. היא נפחית מאוד.

בניגוד לה, ה- CH_3O^- אמנם גם הוא בסיס חזק מאוד, וגם נוקלאופיל חזק, אבל בניגוד לה הוא יכול לבצע התמרה כי אין לו קושי מרחבי להתקרב לפחמן אלפא. לכן הוא אחראי לתגובה בה אחוז תוצר התמרה גבוה יותר.



עמ' 111

1. הקשר הנשבר בהתמרה של 1-ברומבוטאן עם OH^- : C-Br (ונוצר: C-O)

2. הקשרים הנשברים באלימינציה של 1-ברומבוטאן עם OH^- : C-C , C-H , C-Br

(ונוצרים: C=C , O-H)

עמ' 112

1. בטמפרטורה הגבוהה יותר: ב- T_2

2. מספר ההתנגשויות הפוריות ב- T_2 גדול יותר ולפיכך התגובה מהירה יותר.

עמ' 113

3. שטח ג'.

4. שטחים ג' + ד'.

5. השטח א+ב+ג+ד מבטא את מספר המולקולות בעלות אנרגיה גבוהה יותר מ- E_{a1} בטמפרטורה T_2 , היינו את מספר המולקולות בעלות אנרגיה מספיקה להתנגשויות פוריות והמסוגלות להגיב בתגובת התמרה בטמפרטורה הגבוהה יותר - T_2 . לעומת זאת, השטחים א+ג מבטאים את מספר המולקולות בעלות אנרגיה מספיקה להתנגשויות פוריות והמסוגלות להגיב בתגובת התמרה בטמפרטורה הנמוכה יותר - T_1 . על פי השרטוט נראה שהיחס בין שני השטחים הוא 1:2 נחזור על אותה בדיקה, לגבי תגובת אלימינציה:

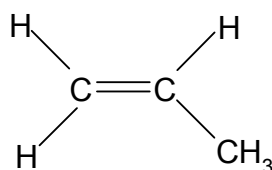
אנרגית השפעול לאלימינציה היא E_{a2}

השטח ג' מבטא את מספר המולקולות בעלות אנרגיה גבוהה יותר מ- E_{a2} ב- T_1 היינו בעלות אנרגיה מספיקה להתנגשויות פוריות והמסוגלות להגיב בתגובת אלימינציה בטמפרטורה נמוכה יותר T_1 ואילו השטחים ג+ד מבטאים את מספר המולקולות בעלות אנרגיה גבוהה יותר מ- E_{a2} ב- T_2 היינו בעלות אנרגיה מספיקה להתנגשויות פוריות והמסוגלות להגיב בתגובת אלימינציה בטמפרטורה הגבוהה יותר T_2 . על פי השרטוט נראה שהיחס בין שני השטחים גדול יותר עבור תגובת אלימינציה והוא כ- 1:3.

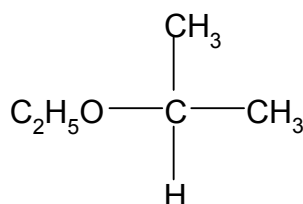
מסקנה: העלאת הטמפרטורה, מגדילה באופן יותר משמעותי את היחס במספר המולקולות המגיבות בתגובת אלימינציה, בהשוואה לגידול היחסי במספר המולקולות המגיבות בתגובת התמרה כשמעלים את הטמפרטורה. לכן תגובת אלימינציה מתרחשות בעיקר בטמפרטורות גבוהות יותר ואילו תגובת התמרה מתרחשות גם בטמפרטורות נמוכות יותר, שאז מספר המולקולות בעלות אנרגיה גבוהה יותר מאנרגית השפעול הגבוהה עבור אלימינציה - E_{a2} - נמוך מאוד.

עמ' 114

1.

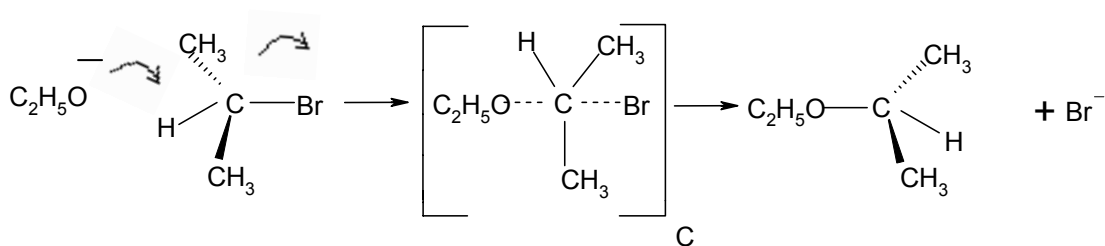


79% - אלימינציה

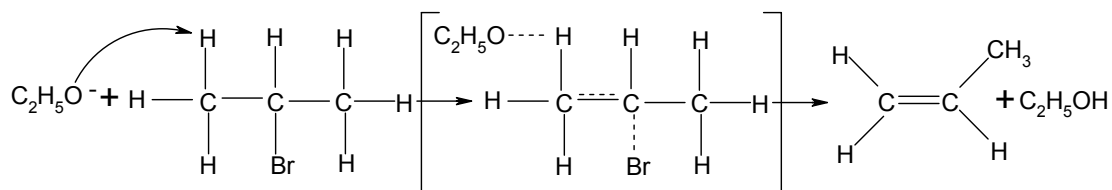


21% - התמרה

2. מנגנון ההתמרה



מנגנון האלימינציה



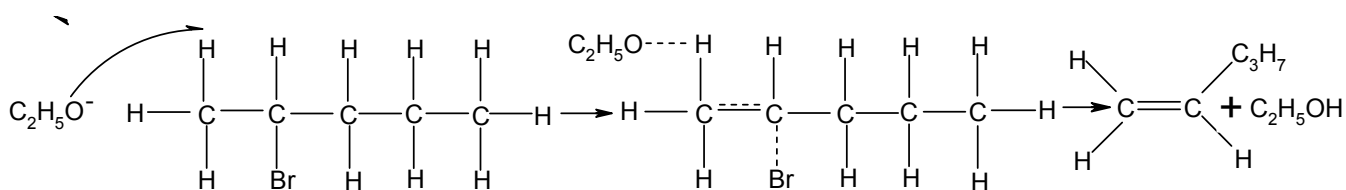
3. בטמפרטורת החדר אחוז האלקן ירד כי מועדפת תגובת התמרה.

עמוד 118

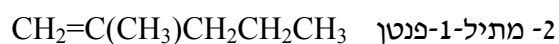
1. הנוקלאופיל הוא מולקולת מים המתקיף בשלב ב' של התגובה.
2. תוצר הביניים הוא יון הקרבוניום המתקבל בשלב א' של התגובה.

עכשיו תורכם – עמ' 118

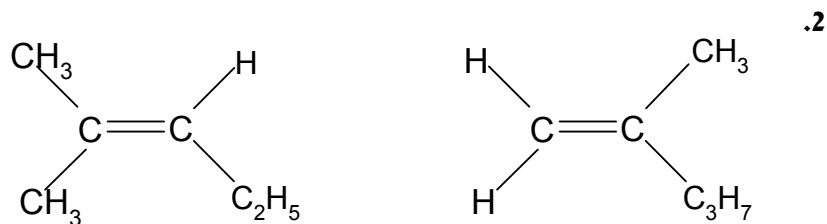
1.



2. בתגובה יתקבלו 2 תוצרים:

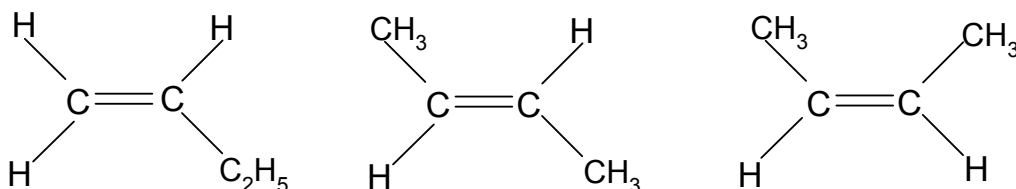


שימו לב לשני האלקנים שהתקבלו אין איזומרים ציס וטרנס

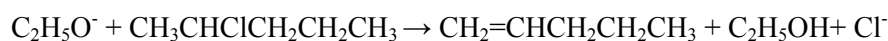
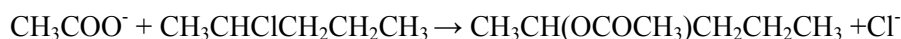


עמ' 119 – עכשיו תורכם

1. תגובת אלימינציה תועדף כי הבסיס החזק יכול למשוך את המימן שעל פחמן ביתא, ובגלל יכולת הקיטוב העצמי הנמוכה הוא לא יכול להתקיף "מאחורה" את פחמן אלפא ולבצע התמרה. התוצרים הם 1-בוטן ו-2-בוטן ציס וטרנס.

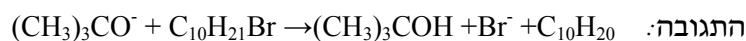


2. יון האתוקסיד $C_2H_5O^-$ הוא בסיס חזק יותר מיון האצטט (CH_3COO^-) שכן החומצה המצומדת שלו C_2H_5OH היא חומצה חלשה יותר מחומצה אצטית (אתאנואית) CH_3COOH . לכן תועדף אצלו תגובת אלימינציה. בנוסף, יון האצטט גדול יותר, יכול לבצע קיטוב עצמי טוב יותר, להתקיף "מאחורה" את פחמן אלפא ולהשתתף בתגובת התמרה.



כמוכן שבתגובת האלימינציה יתקבל גם תוצר נוסף 2- פנטן ולו איזומרים ציס וטרנס.

3. בתגובה הראשונה תועדף אלימינציה שכן הנוקלאופיל המתקיף נפחי וקשה לו להתקרב לפחמן אלפא ולבצע התמרה.

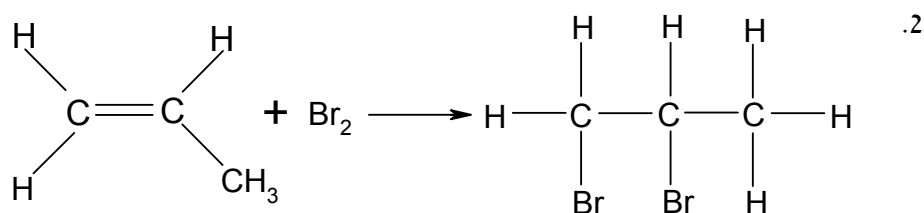


בתגובה השנייה תועדף התמרה שכן יון מתוקסיד בסיס חזק, קטן ובעל יכולת קיטוב עצמי גבוהה.



עמ' 123 – שאלות בניסוי "חוקי היובש"

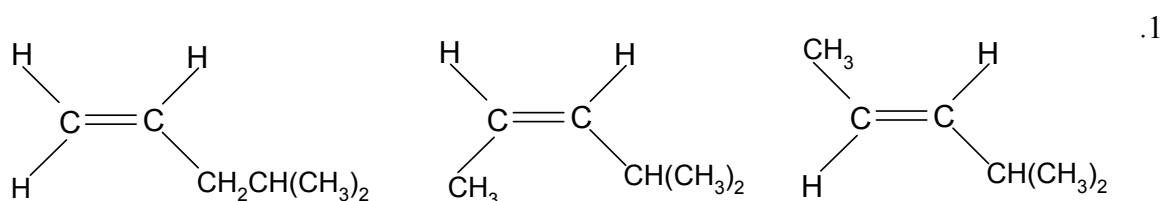
1. ניתן להסיק שהתרחש אל-מיום כיוון שתמיסת $\text{Br}_2(\text{C}_6\text{H}_{12})$ איבדה את הצבע הכתום שלה וכך זיהינו שנוכח אלקן שהוא תוצר האלימינציה.



עמ' 124 – עכשיו תורכם

1. הקבוצה העוזבת: מולקולת מים H_2O
2. הנוקלאופיל המתקיף (בשלב ג') הוא היון השלילי A^- של החומצה HA שהפרוטון שלה התקיף בשלב א' (ביצע פרוטונציה).
3. ניתן לדעת ש- HA זרז כיון שכמותו לא משתנה בתגובה. הוא מגיב בשלב א' ומתקבל חזרה בשלב ג'.
4. א.ב. התגובה היא רב-שלבית ובמהלך התגובה מתקבל יון קרבוניום (שלב ב') ומכאן שהיא במנגנון E1 .

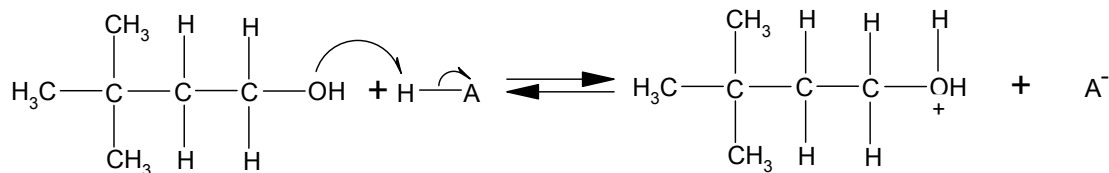
עמ' 126 – עכשיו תורכם



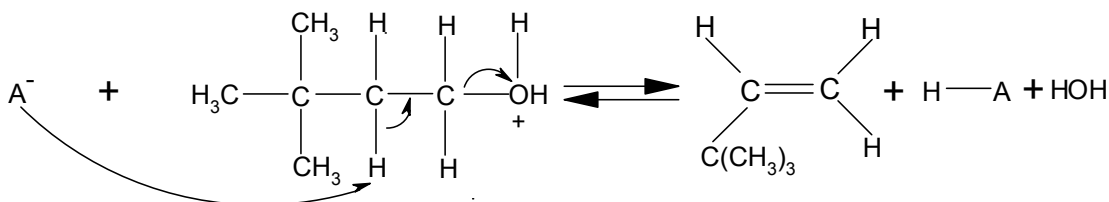
- 1.
2. $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$ המולקולה לא עוברת תגובת אל-מיום, שכן אין לה מימנים על פחמן ביתא.

3. מנגנון התגובה לא יכול להיות E1 כיון שכוהל ראשוני לא יכול ליצור יון קרבוניום ראשוני יציב. למעשה הוא עובר אל-מיום מסוג E2 על פי המנגנון הבא:

שלב א' – מהיר מאוד - הכוהל מקבל פרוטון מהחומצה.



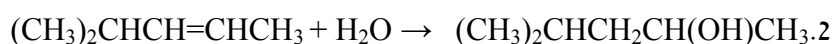
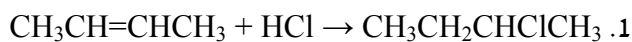
שלב ב' – איטי (שלב קובע מהירות) הבסיס מושך אליו מימן מפחמן ביתא, נוצר קשר כפול ועוזבת מולקולת מים.



התלמידים לא נדרשים לדעת את המנגנון היות והוא לא כלול בספר. מכל מקום, עליהם להבין שלא תתכן תגובה במנגנון E1 שכן זה כוהל ראשוני ותתכן תגובת E2 רגילה, חד-שלבית, שהקבוצה העוזבת בה היא מים H₂O

5. כוהל שנותן יון קרבוניום יציב, לדוגמה יון קרבוניום שלישוני, יוכל לעבור E1 לכן (CH₃)₃COH מהווה דוגמה טובה לכך. נוסחת התוצר שיתקבל: (CH₃)₂C=CH₂. כמובן שעבור כוהלים אחרים שייבחרו ייתכנו גם איזומרי ציס-טרנס.

עמ' 128 – עכשיו תורכם

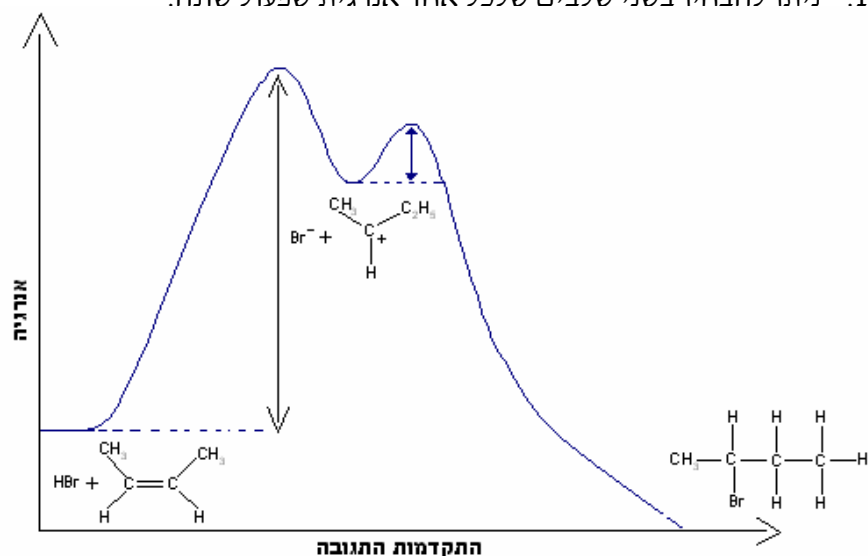


עמ' 130

1. H⁺, Br⁺ אלקטרופילים בגלל מטענם החיובי.

עמ' 132 – עכשיו תורכם

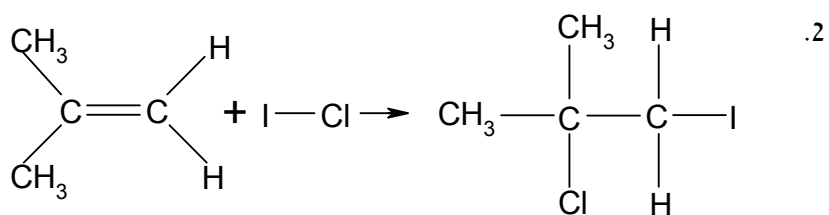
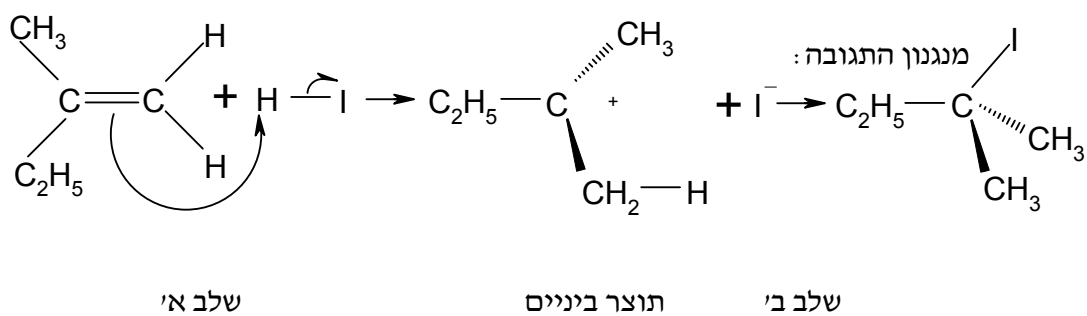
1. ניתן להבחין בשני שלבים שלכל אחד אנרגיית שפעול שונה.

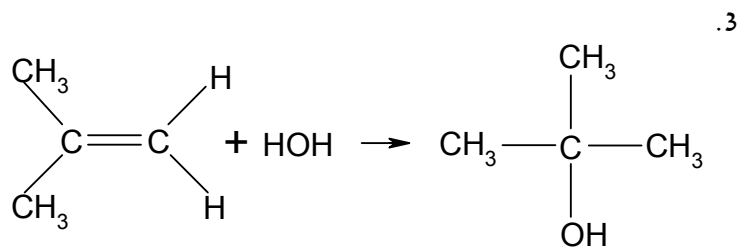


3. בשלב א' אנרגיית שפעול גבוהה יותר ולכן זה השלב האיטי – השלב קובע המהירות.

4. בשלב א' מעורבים ניתוקי קשרים: C-Br, וקשר פאי בקשר הכפול ולכן הוא איטי יותר משלב ב' שבו יש תגובה בין יונים בעלי מטענים מנוגדים הנמשכים זה לזה ולכן – מאוד מהירה.

עמ' 136 – עכשיו תורכם





עמ' 137 למטה

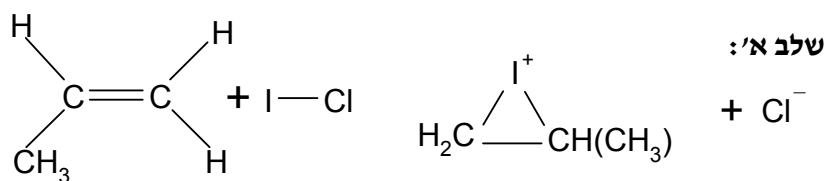
1. שלב א' הוא איטי ולכן – שלב קובע מהירות התגובה.

2. בשלב א' – האלקטרופיל הוא יון הידרון H_3O^+

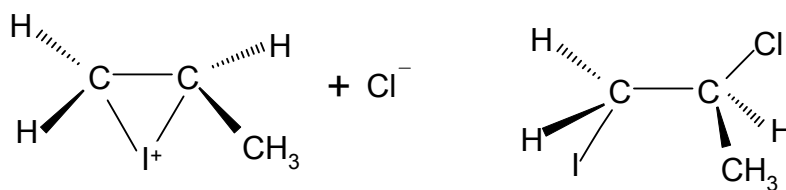
בשלב ב' - הנוקלאופיל הוא H_2O

בשלב ג' – הנוקלאופיל הוא H_2O

עמ' 139 – עכשיו תורכם



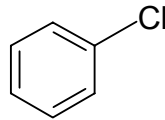
שלב ב':



עמ' 144 – עכשיו תורכם

1. יתכן שיציבות הטבעת הבנונית הנובעת מהאל-איתור אלקטרוני, היא הגורמת ל"תפנית".

2. התוצר הוא כלורו בנון



זרז מתאים הוא FeCl_3

3. אם נוסיף ל- FeCl_3 (כקטליזטור) את התרכובת Cl-Br כיון שהקוטב החיובי י
במולקולה הוא על הברום, הברום יתקיף בשלב ב' את טבעת הבנזן וייוצר יון ארניום.
ואז נקבל ברומובנזן וגם HCl ו הקטליזטור- FeCl_3 .

עמ' 145 – עכשיו תורכם

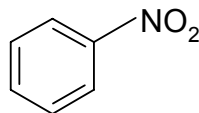
בשלב א'- הקטליזטור מנתק את הקשר בין CH_3 ל- Cl . ה- Cl נקשר ל-קטליזטור
ומקבלים AlCl_4^-

בשלב ב'- CH_3^+ מתקיף את אחד מזוגות האלקטרונים של טבעת הבנזן ויוצר יון
ארניום.

בשלב ג'- היון AlCl_4^- מתקיף את המימן בין ארניום ואז מקבלים HCl , AlCl_3 ו-
מתילבנזן (טולואן).

3. הקטע על מתילציה בגוף הועבר למדריך למורה כחומר העשרה ואינו נמצא כעת בספר
לתלמיד, לפיכך יוכל לענות על השאלה רק לפי בחירת המורה. התשובה:
הדומה שהתרחשה מתילציה – אטום מימן הוחלף בקבוצת מתיל. השונה, פה
המתילציה על טבעת בנזן ובגוף על אטום חנקן בקבוצת אמינו.

3. יתקבל ניטרובנזן



חושבים ועונים- שאלות חזרה – עמ' 146

1. התרכובת היא 2-כלורובוטאן.

א. האיזומרים הם: ציס 2-בוטן, טרנס 2-בוטן ו 1-בוטן

ב. התרכובת 2-מתיל-2-כלורופרופאן, והאלקן המתקבל 2-מתיל-1-פרופן

ג. המנגנון יהיה E2.

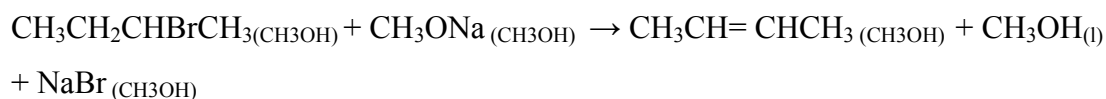
אפשרות אחת, דומה לציור הנמצא בעמוד 70 בספר ואז ההתקפה על מימן הקשור לפחמן שלישי ונוצר קשר כפול בין הפחמן השלישי והשני.

אפשרות אחרת, היא שההתקפה על מימן הקשור לפחמן ראשון ונוצר קשר כפול בין הפחמן הראשון והשני.

לפי חוק זייצב רוב התוצרים הם 2-בוטן אבל התלמיד לא למד על חוק זה כי אינו בתכנית הלימודים.

2. התגובה היא אלימינציה

א. ההנחה היא שהתרחשה תגובה E2. גם כאן אפשריים שלושת האיזומרים הרשומים בשאלה ראשונה.



ב. המנגנון דומה למנגנון שתואר בעמוד 70 בספר וגם כאן כמו בשאלה ראשונה אפשריים 3 תוצרים.

ג. את קצב התגובה ניתן למדוד בעזרת שינוי pH במהלך התגובה. האתוכסיד המגיב הוא בסיס ובתגובה נוצר כוחל שהוא נייטרלי.

מבצעים 3 ניסויים. בניסוי ראשון קובעים את ריכוזי המגיבים ובודקים את הזמן הדרוש לקבלת pH מסוים בעזרת אינדיקטור מתאים. בניסוי שני מכפילים את ריכוז האלקיל הליד ובודקים את הזמן הדרוש לקבלת אותו pH. בניסוי שלישי מכפילים את ריכוז האתוכסיד ובודקים את הזמן הדרוש לקבלת אותו pH.

אם הקצב הושפע מריכוז שני המגיבים (בשני המקרים הזמן התקצר בערך בחצי)- הסדר הוא שני E2. אם רק ריכוז האלקיל הליד השפיע על הקצב- הסדר הוא ראשון והתגובה התרחשה מנגנון E1.

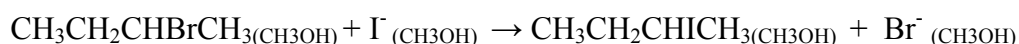
.3

א. התרחשה תגובת התמרה.

ב. כדי שתועדף תגובת התמרה יש להגיב עם נוקלאופיל שהוא בסיס חלש יחסית או בעל קיטוב עצמי גבוה.

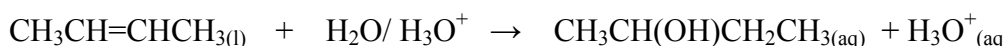
היונים ההלידים יכולים לשמש כנוקלאופיל ובמקרה זה מתאים במיוחד ה- I^- .

נוקלאופילים נוספים: מים, כוהל ויון שלילי פחמני כמו: $CH_3CH_2^-$



.4

א. זוהי תגובת סיפוח



ב. התוצר העיקרי שיתקבל בתגובת סיפוח של כל אחד מהאיזומרים יהיה 2-בוטאנול. תוצר זה יתקבל גם אם התלמיד בחר ב-1-בוטן כי האלקטרופיל – יון ההידרוניום, מתקיף את אטום הפחמן של הקשר הכפול, הקשור למספר רב יותר של מימנים. תוצר הביניים בתגובה זו הוא יון קרבוניום שניוני, היציב יותר מיון קרבוניום ראשוני.

ג. 1 בוטאנול אינו עשוי להתקבל בסיפוח מים ל 1 בוטן. גם במקרה זה התוצר העיקרי יהיה 2-בוטאנול המתקבל בהתאם לכלל מרקובניקוב.

5. א. המנגנון S_N2 - אלקיל הליד שניוני מומס באצטון



ב. המנגנון E2 - אלקיל הליד שניוני בטמפ' גבוהה ובסיס חזק



ג. המנגנון S_N1 - אלקיל הליד שלישוני, ממס פרוטי שהוא נוקלאופיל חלש



ד. המנגנון S_N1 - אלקיל הליד שלישוני תערובת של ממיסים פרוטיים, נוקלאופילים חלשים



ה. המנגנון E2 - אלקיל הליד שלישוני ובסיס חזק ונפחי שלא מאפשר בקלות התמרה



אפשרי גם תוצר נוסף של S_N1 $(CH_3)_2C[(CH_3)_3CO]CH_2CH_3$

ו. המנגנון S_N2 - אלקיל הליד שניוני מומס באצטון ונוקלאופיל חזק. תתכן תחרות עם מנגנון

E2 כאשר הטמפרטורה גבוהה כי CN^- בסיס די חזק.



לעומקו של עניין

אתרי אינטרנט



אורי זיק (1995). כלור המוות הירוק, גלילאו. אתר סנונית

מאמרים

צימרוט, ר. (1993) הגורמים המשפיעים על מהירות תגובה. ידיעון כימיה טכנולוגיה וחברה,

56-57

טבלת חוזק בסיסים (מיועד למורים בלבד) *

	Kb	pKa* של החומצה לה הבסיסי מצומד
NH ₂ ⁻		38
H ⁻		35
(CH ₃) ₃ CO ⁻		18
CH ₃ CH ₂ O ⁻		16
OH ⁻		15.7
CH ₃ NH ₂		10.6
CO ₃ ⁻²	2.1 * 10 ⁻²	10.2
C ₆ H ₅ O ⁻		9.9
NH ₃	1.8 * 10 ⁻⁵	9.2
CH ₃ COO ⁻	5.6 * 10 ⁻¹⁰	4.75
F ⁻		3.2
H ₂ O		-1.74
CH ₃ OH		-2.5
Cl ⁻		-7
Br ⁻		-9
I ⁻		-10

* $pKa = -\log(Ka)$ ככל שקבוע החומצה גבוה יותר הרי הבסיס חלש יותר.

ככל ש pKa גבוה יותר החומצה חלשה יותר ולכן הבסיס המצומד חזק יותר.