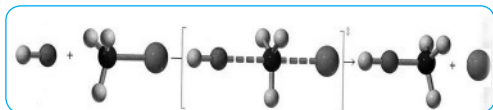


סוף כל סוף המנגנונים חוזרים... מולקולות במסע - התחנות שבדרך



מבנית בחירה, ברמת 4-5 יח"ל
אריאלה וינר, חיה פרומר, רחל צימרוט*

התהליכים יש מנגנון משותף, וכי מנגנון זה מבוסס על תגובה של מעברי זוגות אלקטרונים – מאפשרת להבין תהליכים רבים בכימיה אורגנית.

במבנית מוצגת הכימיה האורגנית בהקשרים הקרובים לעולמם של התלמידים, וכך הם נחשפים לעולם העשיר של תרכובות הפחמן המוצא ביטוי כמעט בכל תחום בחיינו: בתרופות, בתהליכים בגופנו, במוצרי מזון ובתהליכים בסביבה. הנושאים במבנית שזורים בסיפורי מקרה ובדילמות סביבתיות ומהווים מרקם "אורגני" אחד.

מקומה של המבנית ברצף ההוראה

המבנית תילמד לאחר לימוד מבניות החובה ומבניות הבחירה בשלוש היחידות הראשונות וכן לאחר לימוד המבנית העוסקת בתרמודינמיקה וקינטיקה ביחידה הרביעית.

חשוב להדגיש שבתכנית הלימודים החדשה של 3 יח"ל אין מלמדים ברצף את הנושאים בכימיה של תרכובות פחמן, אלא כחלק מנושאים שונים כגון: מבנה וקישור, חמצון כהלים, כימיה של המזון ועוד. מסיבה זאת, פותחת המבנית בראש ובראשונה לשם חזרה והרחבה של מושגים שנלמדו, ורק לאחר מכן לשם לימוד מנגנוני תגובות בכימיה אורגנית שהם לב המבנית.

יתרה מזו, אנו רואים חשיבות רבה בהוראת עקרונות ייחודיים לכימיה אורגנית אגב התבססות על עקרונות קודמים שנלמדו. לדוגמה, העיקרון המרכזי בכל מנגנון תגובה, שלפיו מתקיימים מעברי אלקטרונים בין נוקלאופיל לאלקטרופיל, נבנה על בסיס הידע בנושא "מבנה וקישור".

המבנית מולקולות במסע – התחנות שבדרך היא מבנית בחירה חדשה שפותחה במרכז להוראת המדעים באוניברסיטה העברית בירושלים בראשותו של פרופ' דני מנדלר. את המבנית פיתחו וכתבו אריאלה וינר, חיה פרומר ורחל צימרוט, והיעץ מדעי הוא פרופ' דני מנדלר. מבנית זו תואמת את המלצת ועדת המקצוע לכימיה עבור תכנית הלימודים החדשה. היקפה של המבנית הוא 45 שעות לימוד, והיא נלמדת בכיתה י"ב. הספר יצא במהדורת ניסוי, והוא יילמד בשנת תשס"ז בכיתות ניסוי במספר בתי-ספר ברחבי הארץ.

כימיה אורגנית – בראש אחר!

מטרת המבנית היא להציג את הכימיה האורגנית כתחום דעת שהארגון הפנימי והחוקיות בו מאפשרים בפשטותם היחסית להבין ולחזות מראש את התהליכים המתרחשים. תפיסה זו שונה מזו של התלמידים הרואה בכימיה האורגנית נושא תיאורי הדורש שינון. בפרקי המבנית יודגשו התהליכים הבאים המאפיינים את תרכובות הפחמן:

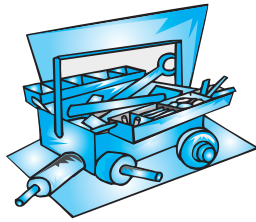
א. קיום קבוצות פונקציונליות המקנות לתרכובות את תכונותיהן המגוונות – במבנית יובלט הרעיון כי שינוי "קטן" הנעשה באחת הקבוצות הפונקציונליות בתרכובת גורם לשינוי ניכר בתכונות הפיזיקליות והכימיות.

ב. הכרת מנגנון תגובה כמודל לתיאור השלבים שבהם הופכת קבוצה פונקציונלית אחת לקבוצה פונקציונלית אחרת. ידיעת המנגנון מאפשרת לחזות מראש את התהליכים המתרחשים ואף לבחור את התנאים המתאימים לקבלת תוצר רצוי. הידיעה כי לרבים מן

* אריאלה וינר, חיה פרומר, ד"ר רחל צימרוט - חברות קבוצת הכימיה במרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.

פרקי הספר "צעד אחר צעד"...

פרק ראשון: ייחודן של תרכובות הפחמן



פרק זה הוא מעין "ארגז הכלים" של המבנית, שכן הוא עוסק במושגים הבסיסיים המשמשים את התלמידים לאורך המבנית, ובקישורם לידע הקודם של התלמידים.

הפרק מלווה בסדנאות מודלים – "הכול בידיים שלנו", באמצעות המודלים יכולים התלמידים להתמודד עם הבנת המבנה המרחבי של תרכובות הפחמן. כמו כן משולבים בפרק ניסויים לזיהוי הקבוצות הפונקציונליות שמטרתם להזכיר שוב את "המשפחות הכימיות" שעליהן למדו התלמידים בעבר.

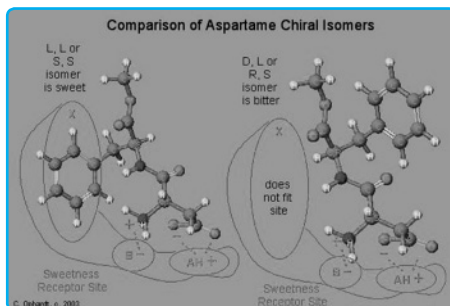
הפרק פותח בסיפור מקרה "על גלגלים". בסיפור מוצגים דלקים מתחדשים, ביו-דלקים המחליפים בהצלחה את הדלקים המינרליים המוכרים לנו.

לפרק שלושה חלקים, ואלה הם:

א. השלד הפחמני – אבן הבניין

בחלק זה דנים בשלד הפחמני של תרכובות הפחמן על מגוון האיזומרים שלהן. מטרתו של חלק זה היא להראות את הקשר בין מבנה השלד הפחמני לתכונות הפיזיקליות של התרכובות. בפרק מוצגים מושגים כמו: קונפורמציות, איזומרי סיעוף, איזומרי עמדות, איזומרי (ציס – טרנס), קבוצות אלקיל ראשוני, שניוני ושלישוני ומשפחות כימיות אלקאנים ואלקנים.

ב. "איזומרים במראה" – איזומרים אופטיים



התרומה הנלווית ללימוד מנגנוני תגובות בשלב זה של לימודי הכימיה היא בהבנת השלבים השונים בדרך שבה מתרחשת התגובה ולא רק בהבנת הסיבות התרמודינמיות להתרחשותה. כך יכולים התלמידים להעמיק את הבנתם בכל הנוגע לטיבן של תגובות כימיות.

תיאור המבנית

המבנית כוללת ספר לתלמיד, מדריך למורה ותקליטור.

ספר לתלמיד

הספר לתלמיד מכיל את הפרקים הבאים:

פרק ראשון – ייחודן של תרכובות הפחמן

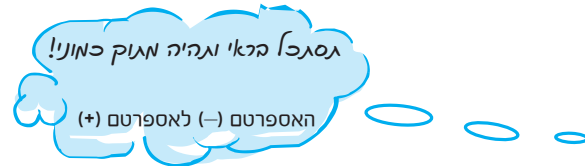
פרק שני – תגובות התמרה, צעד אחר צעד

פרק שלישי – אלימינציה וסיפוח, מולקולות על פרשת

דרכים

כל פרק מלווה בתרגילים, בניסויים, בסדנאות על מודלים

מולקולריים, בסיפורי מקרה ובמבט שובב.



המדריך למורה

המדריך למורה מותאם לפרקי הספר לתלמיד וליחידות בכל פרק. כל יחידה במדריך בנויה על פי תבנית קבועה וכוללת: רעיונות ומושגים מרכזיים, רצף הוראה, הערות והארות דידקטיות וכן הצעות נוספות לפעילויות שלא נכללו בספר. בנוסף מכיל המדריך הפניות לאתרי אינטרנט ומאמרים בנושאי המבנית. המדריך כולל גם פתרונות לשאלות המופיעות בגוף הפרק וכן פתרונות לשאלות המסכמות כל פרק.

התקליטור

התקליטור המלווה את התכנית מכיל אנימציות של התהליכים במספר דרכי ייצוג, שאותן יפעילו התלמידים עצמם. האנימציות יתארו את מנגנון התגובה על פי השלבים וגם את השינויים המתרחשים במבנה המרחבי של המולקולות במהלך התגובות.

בחלק זה דנים במבנה המרחבי של המולקולות ובאיזומריה אופטית. מטרתו של חלק זה להוות בסיס ידע להבחנה בין סוגי המנגנונים המזכרים במבנית ולהראות כיצד המבנה המרחבי של המולקולה משפיע על התפקודים הביולוגיים שלה בגוף. בחלק זה מובא סיפור האספרטם המתוק והאספרטם המר, כדי להמחיש כיצד אנטיסיומרים של אותה תרכובת מתקשרים לקולטנים שונים בתאי חוש הטעם ולכן אחראים לתחושת טעם שונה.

האם זהו חלק ג? אם לא – מהו חלק ג? **הקבוצה הפונקציונלית – "הערך המוסף" של תרכובות הפחמן**

בחלק זה דנים במגוון קבוצות פונקציונליות, ומטרתו להציג את הרעיון שלפיו הקבוצה הפונקציונלית במולקולה של תרכובת פחמן היא האחראית לתכונות הייחודיות שלה. כתוצאה מכך שינוי "קטן" בקבוצה הפונקציונלית הקשורה לשלד הפחמני של מולקולה, גורם לשינוי ניכר בתכונותיה. רעיון זה מודגם על ידי אנלוגיה חביבה: מכשיר בעל "ראש מתחלף" כגון מייבש שיער או שואב אבק. גוף המכשיר הוא השלד הפחמני,

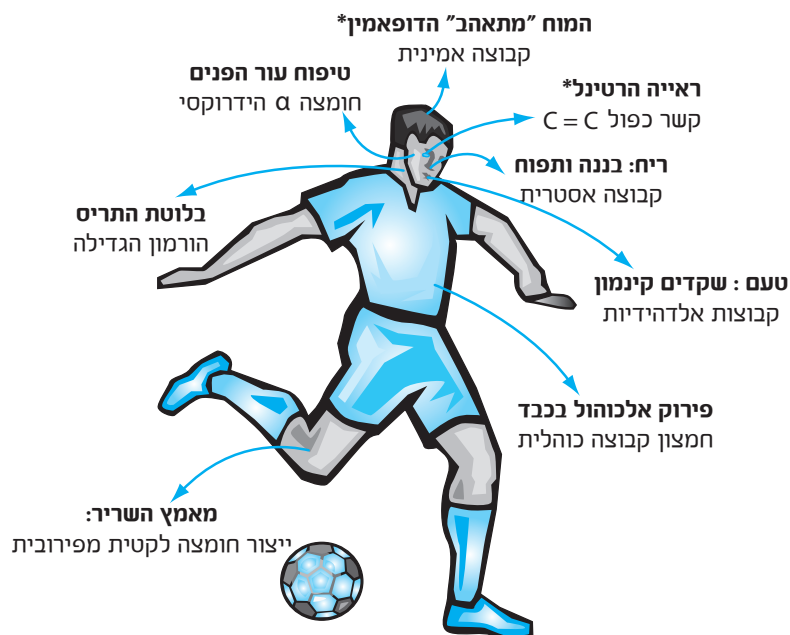
ואילו הראש המתחלף הוא הקבוצה הפונקציונלית. הפרק מציג את התכונות השונות של תרכובות בעלות קבוצות פונקציונליות שונות משלושת ההיבטים האלה:

1. לתרכובות בעלות קבוצות פונקציונליות שונות – שימוש שונה. לדוגמה, בכהלים משתמשים במזון וברפואה ואילו במרקפטנים משתמשים כתוספי טעם וריח במזון וכתוסף ריח לגז בישול.

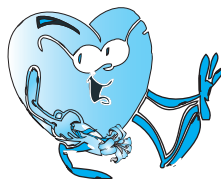
2. לתרכובות בעלות קבוצות פונקציונליות שונות – תפקוד שונה בגוף האדם. לדוגמה, הקשר הכפול של מולקולת הרטינל אחראי למנגנון הראייה, ואילו הקבוצה האלדהידית אחראית לטעמים שונים במזון.
3. לתרכובות בעלות קבוצות פונקציונליות שונות – תגובות אופייניות וכתוצאה מכך זיהוי שונה. לדוגמה, כוהל מזהים על ידי מחמצן, ואילו אלקן מזהים על ידי סיפוח ברומ.

בסוף הפרק מוצגת האפשרות לשנות את הקבוצה הפונקציונלית בשלד הפחמני של המולקולה, מה שמסייע בידינו ליצור תרכובות חדשות לפי הצורך. סעיף זה מוביל את התלמידים לפרק הבא העוסק במעברים בין הקבוצות הפונקציונליות.

הגוף הפונקציונלי



פרק שני: תגובות התמרה – צעד אחר צעד



פרק זה הוא לב המבנית, באשר הוא מציג בפני התלמידים לראשונה את נושא מנגנון התגובה.

מנגנון התגובה מוצג כמודל 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 אלקטרונים, ולהביא להבנה עמוקה יותר של הגורמים והתנאים המשפיעים על קיום התגובות וקצבן.

הפרק פותח בסיפורם של פרסי נובל שהוענקו למדענים ישראלים בשנת 2004, ולמדענים אמריקניים בשנת 2005 על פענוח מנגנוני תגובה, וזאת כדי להמחיש את חשיבות העיסוק בנושא המנגנונים. בהמשך הפרק מוצג המושג מנגנון תגובה באמצעות תגובת התמרה. בחרנו במנגנון זה כיוון שהוא פשוט ונפוץ ביותר וממחיש יותר משאר המנגנונים את המעברים של זוגות האלקטרונים המתקיימים גם בתגובות אחרות.

לפרק חמישה חלקים, ואלה הם:

א. מנגנון התגובה

בחלק זה מבצעים התלמידים ניסוי העוסק בתגובת בסיס-חומצה בין בסיס האמוניה ובין חומצה כלורית, כדי להבהיר את המושג מעברי אלקטרונים באמצעות תגובה המוכרת להם.

ב. חומצות ובסיסי לואיס – גורם מניע בתגובות

בחלק זה מתוודעים התלמידים לתגובת בסיס-חומצה על פי לואיס על ידי ניסוי העוסק עדיין בתרכובות איאורגניות (בסיס האלומיניום ובסיס הנתרן), ורק בהמשך מוצגת בפניהם תגובת ההתמרה של הפיכת אלקיל הליד לכוהל כדוגמה לתגובת חומצה-בסיס בתרכובות אורגניות.

ג. התמרה במבט לעומק

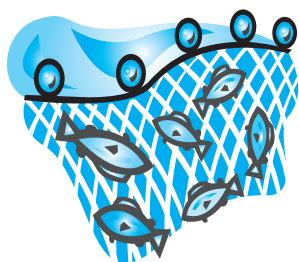
בחלק זה מפורטים מנגנון תגובת ההתמרה (S_N2) – אם כי עדיין אין מזכירים מושג זה) והגורמים המשפיעים על

תגובה זו. כמו כן נלמדים המושגים והרעיונות הבאים: נוקלאופיל והגורמים המשפיעים על חוזקו, קבוצה עוזבת והגורמים המשפיעים על מידת פעילותה, היבטים מרחביים (היפוך ולדן) ואנרגטיים בתגובה, השפעת סוגי



ממסים (פרוטי וא-פרוטי) על מנגנון התגובה והשפעת השלד הפחמני (ראשוני, שניוני ושלישוני) על התגובה.

כאן יכולים התלמידים להיעזר בתקליטור הממחיש על ידי אנימציה את תגובת ההתמרה וכן בסדנת מודלים הממחישה את הצורונים בעלי מבנה מרחבי שונה בשלבי תגובת ההתמרה (האלקיל הליד, מצב המעבר המישורי והתוצר הסופי בעל הקונפיגורציה ההפוכה מבחינה מרחבית).



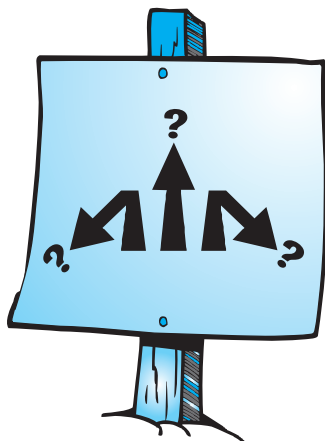
בחלק זה של הפרק מופיע סיפור מקרה נוסף "התמרה במצולות", ובו מתואר המפגע הבריאותי שנגרם כתוצאה מהשלכת עודפי חל"כ (גז חרדל) לים הבלטי, על ידי בנות הברית בתום

מלחמת העולם השנייה. אחת האפשרויות שהוצעו להיפטר מחומרים מסוכנים אלה היא השארתם במימי הים כדי לאפשר לתהליך ההתמרה המתרחש שם ל"נטרל" אותם.

ד. תגובת התמרה – שתי דרכים

בחלק זה מוצג לראשונה רעיון קיומם של שני מנגנונים לתגובת התמרה S_N1 ו- S_N2 , באמצעות ניסוי מסוג ניבוי-ניסוי-הסבר (POE). בניסוי זה נחשפים התלמידים לתגובת התמרה באלקיל הליד שלישוני המתרחשת במנגנון S_N1 שאינו מוכר להם. בנוסף מוצגים כאן לראשונה ההיבט הקינטי של תגובת ההתמרה והדרך לבדוק ניסויית את סדר התגובה ואת סוג מנגנון התגובה.





הפרק מורכב משתי יחידות: היחידה הראשונה עוסקת בתגובה המתחרה להתמרה – אלימינציה, והיחידה השנייה עוסקת בתגובה ההפוכה לאלימינציה – סיפוח.

1 – אלימינציה

אלה ארבעת חלקיה של היחידה:

א. אפשר גם אחרת...

חלק זה פותח בתגובה בין חומרים מוכרים העשויים להוביל לתגובת התמרה, אלא שהפעם באופן מפתיע, התוצרים שונים – מתקבל אלקן וחומרי לוואי נוספים. תגובת האלימינציה שהתרחשה בפועל מוצגת כמתחרה לתגובת ההתמרה שציפינו לה. גם כאן מלווה את הקטע סיפור מקרה: האלימינציה שמאפשרת הפקת ניאופרן, שהוא חומר גלם לחליפות צלילה, כפפות מגן ועוד.

ב. אלימינציה במבט לעומק

בחלק זה מפורט מנגנון התגובה E₂ (אם כי לא מזכירים מושג זה עדיין), אגב שימוש במושגים הידועים לתלמידים

בשלב זה יכולים התלמידים ליישם את לימודיהם מפרק הקינטיקה שביחידה הרביעית בנושא קצב תגובה, סדר תגובה ודרכים לבדיקת השפעת ריכוז על קצב התגובה. כאן מודגשים גם ההיבטים האנרגטיים של התגובה, במטרה להסביר את השפעת השלד הפחמני על שני סוגי מנגנון התגובה.

הטבלאות המפרטות את המאפיינים ואת הגורמים המשפיעים על מנגנוני התגובה SN₁ ו-SN₂ "סוגרות את המעגל".

ה. תגובות התמרה על פס הייצור ובגופנו

בחלק זה מובאים היבטים יישומיים של תגובות התמרה

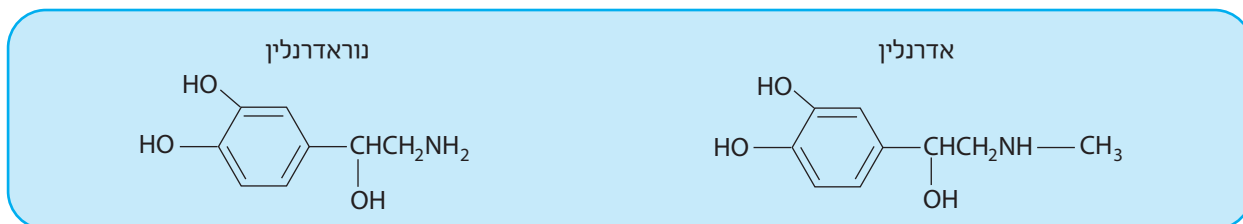


בתעשייה, במזון ובגוף האדם. דוגמה מעניינת לתגובת התמרה המתרחשת בגופנו היא מתילציה של נוראדרנלין לקבלת אדרנלין. "מכורים לאדרנלין" הוא סיפור

העוסק בספורט אתגרי – גלישת גלים, טיפוס קירות, קפיצות בנג'י, כל אלה פעולות הגורמות לייצור מוגבר של אדרנלין. יש לציין שתהליך זה, ככל התהליכים בגוף האדם, הוא מורכב למדי, והמורים ידונו בו בכיתות לפי שיקוליהם ולפי רמת הכיתה.

פרק שלישי: אלימינציה וסיפוח – מולקולות על

פרשת דרכים (לפי התבנית שלכם בפרקים הקודמים) פרק זה מציג את התחרות בין תגובות, ומטרתו ללמד את התלמידים כיצד ניתן לנווט את התגובה לכיוון הרצוי בהתאם לתנאי התגובה, ולכן הוא נקרא "מולקולות על פרשת דרכים".



א. "המסע ההפוך – סיפוח לאלקנים"

בחלק הראשון מוצג המבנה המיוחד של הקשר הכפול המאפשר התקפה אלקטרופילית.

ב. סיפוח – מבט לעומק

בחלק השני מוצג מנגנון הסיפוח דרך תגובת סיפוח של מימן הליד H-X לאלקן, אגב הדגשת ההיבט המרחבי, לאחרים ניתן הסבר לכלל מרקובניקוב ול"סיפוח ללא מנצחים" – סיפוח הלוגן לאלקן.

הסיפור המסיים חלק זה הוא "תרכובות כחול לבן – ייצור PVC במפעל "פרטרום", המשלב תגובת סיפוח ואלמינציה בתעשייה.

ג. התמרה בבנזן – מתחיל כסיפוח וסופו התמרה

בחלק זה הוספנו דיון בתגובות ובמנגנונים של הלוגנציה ואלקילציה בבנזן. הסיבה להצגת התרכובות הארומטיות, למרות שאינן כלולות בסילבוס, היא שבנזן ותרכובותיו הם בעלי חשיבות מרכזית בכימיה אורגנית. תרכובות אלו משמשות להפקת פולימרים, צבעים, דטרגנטים וחומרי הדברה.

מולקולות במסע על קו הסיום

בבואנו להשתמש בידע שרכשנו במבנית לשם ייצור חומרים חדשים שישפרו את איכות חיינו, אנו מדגישים את הקשר ההדוק שיש לכימיה עם כל הסובב אותנו, ואת ההשפעה המכרעת שיש לגורם האנושי. ובלשונו של המדען הדגול אלברט איינשטיין:

...הדאגה לאדם ולגורלו חייבת להיות תמיד עניינם העיקרי של כל המאמצים הטכנולוגיים והמדעיים. לעולם אל תשכח זאת בין הדיאגראמות והמשוואות...

לסיום, אנו מקוות שהתלמידים שילמדו מבנית זו יכירו בחשיבותו של העולם המופלא של הכימיה האורגנית, ושהמורים שילמדו מבנית זו ייהנו מהוראת המבנית כפי שאנו נהיננו מכתובתה

ממנגנון ההתמרה: נוקלאופיל וקבוצה עוזבת. בנוסף מוצגים בו רעיונות חדשים: התקפת בסיס על מימן חומצי והאפקט האינדוקטיבי. נערכת השוואה בין מנגנון האלימינציה למנגנון ההתמרה כדי לעמוד על הדומה והשונה בהם, ולאחריה מוצגים הגורמים המשפיעים על התגובה: נוקלאופיל, קבוצה עוזבת, ממס, טמפרטורה ושלד פחמני של החומר המותקף. בחלק זה קיימת התייחסות מיוחדת להיבט האנרגטי-קינטי של תגובות ההתמרה בהשוואה לתגובת האלימינציה.

גם כאן התלמידים מופנים לתקליטור הממחיש את תגובת האלימינציה ומדגיש את ההיבט המרחבי שלה. סדנת המודלים בפרק זה ממחישה את הצורונים המתקבלים בשלבים השונים: האלקיל הליד במצב אנטי, מצב המעבר והאלקן המתקבל בסוף התגובה. בהמשך מוצגת בקיצור גם אלימינציה במנגנון אחר: E_1 , והסיפור מסתיים באלימינציה שלא צלחה ובתוצאותיה – "שערווייה במקסיקו".

ג. אלימינציה כנגד התמרה – מי ינצח בתחרות?

לאחר שהוצגו תגובות ההתמרה והאלימינציה על מנגנוניהן ועל הגורמים המשפיעים עליהן, עולה שוב רעיון התחרות בין התגובות, אלא שעתה לתלמידים ישנם כלים ל"נווט" את המגיבים לכיוון הרצוי. גם כאן מובאים סיכום השוואתי וכן "מפת דרכים" המסייעת לתלמידים בניבוי סוג התגובה על פי התנאים.

ד. אלמיום – אלימינציה מזן אחר

הסיפור הפותח פרק זה הוא "בראש אוסטרלי" – ייצור חומר הגלם להפקת פוליאיתילן מקנה סוכר. תגובת אל-מיום מוצגת כמקרה פרטי של אלימינציה, אך במנגנון שונה. המנגנון הוא התקפה אלקטרופילית ולא נוקלאופילית. בנוסף מובא יישום של אלמיום כ"ל בגוף במעגל החומצה הציטרית.

II – סיפוח

אלה הם שלושת חלקיה של היחידה:

