

# כִּילַיָּה בתחביבי החיים



## תגובה בפועל

בתיה גלעד ♀ שרה פרח

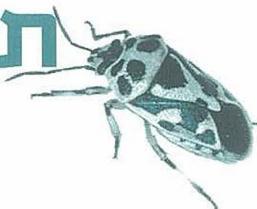
המרכז להוראת המדעים  
האוניברסיטה העברית בירושלים  
מהדורה ניסויית, תשנ"ט 1999



# בתחביבי כויהה

## תגובה בפועל

בתיה גלעד ♀ שרה פרח



המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים  
מהדורה ניסויית, תשנ"ט 1999



## צוות הפיתוח

**ריכוז הצוות:** ד"ר צחי מילגרום

**כתבה:** בתיה גלעד, שרה פרה

**פיתוח ניסויים:** רבקה אפרת

**אחריות אקדמית:** פרופ' נאוה בן-צבי

**ליויי מידע DIDOTI:** ד"ר רות אמיר

**יעוץ:** ברוריה אגרסט, ד"ר אהרון אייל

פרופ' לינה בן-דוד, שרה גנות

ד"ר חagit מאיר, ד"ר דני מנדLER

פרופ' יצחק מרכוס, ד"ר ברברה צין

**קראו והעירו:** פרופ' רפי גורן, פרופ' צבי זקס

**עריכת הלשון:** דרורה وعدיה

**איורים ועיצוב:** מרים שפירא

**סזר ועימוד:** ארט פולס

**המלבה"ז:** שושנה בן-שם

**הפקה:** דפוס מאור ולך

**צלום העטיפה:** © ד"ר דוד דרום

תודהנו לצלמים שנתרנו את הסכמתם לשימוש בתמונותיהם:

הורציו גוטמן (עמ' 77, 133), ד"ר דוד דרום (עמ' 79 מערת הנטיפים),

ליורוה חסין (עמ' 194), מרים שפירא (עמ' 9).

תודה מיוחדת למורים שלמדו ולחנידים שלמדו לפי מהדורות העיצוב וסייעו לנו להפיק לקחים ומהדורות אג.

המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים



© כל הזכויות שמורות, ירושלים, תשנ"ט 1999

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם או לאחסן במאגרי מידע בכל דרך  
או בכל אמצעי אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.

יצא לאור ביוזמתו ובפיקוחו של המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט  
inesisim של משרד החינוך, התרבות והספורט, האוניברסיטה העברית בירושלים, ומכוון ייצמן למדע, רחובות

ב"כימיה בתהליכי החיים" אנו מסתכלים במבט חדש ועדכני על עולם הכימיה ועל משיקותו לעולמות של תחומי דעת אחרים ובמיוחד לעולם אותו חובקים מדעי החיים.

נגלת כאן דרך הסתכבות חדשה בתוכנות ובתהליכיים כימיים ונראית כיצד דרכים אלו מוגשות בין תחומי דעת שונים – ביולוגיה מולקולרית מהצד אחד ומדע החומרים מהצד השני.

אנו מתבוננים בכימיה כתהליך, אנו מעוניינים בתוצאות התהליך ברמה שהיא מעבר לרמה המולקולרית. על פי תפיסת המדע החיים עצם הם תולדה זאת של תהליך – צמיחה כימית היוטה בסיסו לראשונה של החיים. המורכבות בגידול ובצורות של העולם הטבעי נוצרה מתהליכים פשוטים. רבים מהשינויים החשובים באטמוספרה, בסביבה ובأكلים ראשיתם בהשתנות כימיות – שבירה ויצירה של קשרים.

הзадמנות לבנות תוכנית לימודים זאת "כימיה בתהליכי החיים" נוצרה מתוך הסתכבות מפוקחת של האחראים על לימודי הבiology בארץ על חשיבות תחום הכימיה לסטודנטים אלה. הראייה החדשה היא שכימיה כמדע מולקולרי היא חיונית לחקר החיים ויש לעסוק בלמידה כדי לזרום בסיס מוצק ומשיק ללימודיו הבiology. אנו משוכנעים שעשייה משותפת זו, של המרכז להוראת המדעים באוניברסיטה העברית בירושלים יחד עם המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, היא בסיס להזדמנויות למידה חדשות ומרתקות.

באופן טבעי "תגובה בפעולה" הספר המונח כאן לפניכם, הוא הראשון בסדרת "כימיה בתהליכי החיים". התהליכיים, הנитוח שלהם והציגות המרוכות כולם מתרחשים במים, שם גם נוגעים מדע הכימיה ומדעי החיים.

# תוכן העניינים



**הקדמה: מים, מים בכל מקום //**

## 1 היכרות לעומק עם מולקולות המים 13

1א. מים הם חומר מולקולרי 13

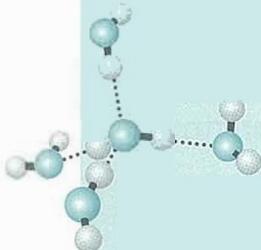
1ב. כוחות בין-מולקולריים 15

כוחות ון-דר-ולס 16

פעילות מס' 1: השפעת חשמל סטטי על איזומטר נזולים שונים 18  
קשרי מימן 24

זה קלא... הכימיה שבין איזום למצע 24

זה קלא... קשרי מימן במולקולות של יצורים חיים 26



## 2 תכונות ייחודיות של המים 28

כשמים קופאים הם מתרפשים... 28

החום הסגולי של מים גבוה במיוחד 30

גם חום האידוי של מים גבוה במיוחד 30

למים מתח פנים גבוה במיוחד 32

למים כושר נימיות גבוה 33

הקלעה / פול... "מים" 34

## 3 המים כממס 35

פעילות מס' 2: מסיס או לא מסיס 35

3א. המים – ממס "אוניברסלי" 35

זה קלא... הידרופיליות והידרופוביות במערכות חיות 37

הקלעה / פול... "על שמן ועל מים" 38

3ב. על ממס ומומס 38

תמייסות מימיות 39

תמייסות של מוצקים במים 39

פעילות מס' 3: תלות מיסיסות של מוצקים בטמפרטורה 41

זה קלא... יונים חיוניים ליצורים חיים 43

תמייסות של גאים במים 45

זה קלא... השפעת הטמפרטורה על החיים במים 47

זה קלא... הסכנות שמתהנת לפני המים 48

3ג. תמייסות – החיבת הכמותית 49

רכיב באחוזים מסה/נפח 50

רכיב בחלוקת למיילון 50

מספר אבוגדרו 53

מול – ה"מנה" של הכימאים 54

פעילות מס' 4: מול של סוכריות 54

מסה מולרית 55

פעילות מס' 5: תערוכה של מולים 56

רכיב מולרי 57

3ד. חוקי תמייסות – תכונות קוליגטיביות 58

המומס מוריד את לחץ האדים של הממס 58

## הקדמה: זמן להגיב <sup>66</sup>

### 1 קצב תגובה <sup>66</sup>

1א. התקדמות תגובה <sup>66</sup>

פעילות מס' 1: התרכשות תגובה בין מגנויים לחומצה מימן כלורית <sup>66</sup>

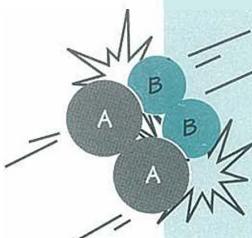
וב. מהו קצב תגובה וכיצד הוא נמדד? <sup>67</sup>

פעילות מס' 2: מדידת קצב התגובה בין מגנויים לחומצה מימן כלורית <sup>67</sup>

1ג. כיצד ניתן לשנות קצב של תגובה? <sup>68</sup>

פעילה מס' 3: השפעת ריכוז המגנויים על הקצב של תגובה <sup>68</sup>

פעילה מס' 4: השפעת הטמפרטורה על הקצב של תגובה <sup>69</sup>



### 2 ההסבר התאורטי לממצאים הניסויים <sup>69</sup>

2א. תאוריית ההתגשויות <sup>69</sup>

אנרגיית שפועל <sup>70</sup>

פרופיל תגובה <sup>72</sup>

זה קחו... על מנת להרוויח צריך להשקייע! <sup>73</sup>

הגורם המרחב <sup>74</sup>

תגובה בתמייה <sup>74</sup>

2ב. הסבר הממצאים הניסויים בעזרת תאוריית ההתגשויות <sup>75</sup>

השפעת ריכוז המגנויים על קצב תגובה <sup>75</sup>

השפעת הטמפרטורה על קצב תגובה <sup>76</sup>

### 3 זרים <sup>78</sup>

פעילות מס' 5: השפעת זרז על הקצב של תגובה <sup>78</sup>

וב. מהו זרז? <sup>79</sup>

3ב. כיצד משפיעה נוכחותו של זרז על קצב תגובה? <sup>79</sup>

קטלייה הומוגנית וקטלייה הטרוגנית <sup>80</sup>

זה קחו... זרים בתעשייה או "זמן" = כף" <sup>81</sup>

זה קחו... ממיר קטלייטי ודלק נתול עופרת <sup>82</sup>

<p>המומס מעלה את נקודת הרתיחה של הממס <sup>59</sup>  <b>59</b> המומס מורד את נקודת החיטוך (קיפאון) של הממס  <b>59</b> זה קחו... נוגד קיפאון בחרקים <sup>60</sup>  <b>60</b> אוסמוּה <sup>60</sup>  <b>60</b> פעילות מס' 6: קרום ברני <sup>61</sup>  <b>61</b> פעילות מס' 7: אוסמוּה <sup>61</sup></p> <p>זה קחו... שימוש תעשייתי בתופעת האוסמוּה: אוסמוּה הפוכה <sup>64</sup>  <b>64</b> תהליכי אוסמוּה בין תמייסות בריכוזים שונים <sup>65</sup>  <b>65</b> התנהגות של תא דם אדום בתמייסות שונות <sup>67</sup>  <b>67</b> זה קחו... ייחודם של תא הדם האדומים של הגמל <sup>69</sup>  <b>69</b> זה קחו... איך מתקיימים צמחים בקרקעות מלוחות? <sup>69</sup>  <b>69</b> זה קחו... ניצול תופעת האוסמוּה לשימור מזון <sup>70</sup>  <b>70</b> הלאה... מים מליחים ימתכו <sup>71</sup>  <b>71</b> שאלות לסייע פרק א <sup>72</sup></p>
---

## 4 אנזימים 104

- פעילות מס' 6: השפעת אנזים על תגובת הפירוק של מי-חמצן 104
- 4א. מהו אנזים? 105
- 4ב. המבנה המולקולרי של האנזימים 106
- האתר הפעיל 107
- זה קלא... עיכוב אנזימים 109
- השפעת הטמפרטורה על פעילותו של אנזים 110
- זה קלא... יצורים הומוטרמיים ויצורים פוקילוטרמיים 110
- זה קלא... שימור מזון 111
- השפעת החומציות על פעילותו של אנזים 112

## 5 תהליכי הפיכם 113

- 5א. דינמיקה של תהליכי הפיכם 113
- 5ב. מצב שיווי-משקל 114
- 5ג. מאפייני שיווי-משקל 116
- 5ד. קבוע שיווי-משקל 116
- 5ה. הפרעות במצב שיווי-משקל 118
- פעילות מס' 7: השפעת שינוי הריכוצים על מצב שיווי-משקל 120
- זה קלא... הובלת חמצן על ידי המוגלובין 122
- mbט מסכם על תהליכי הפיכם 125
- שאלות לסיכום פרק ב 126

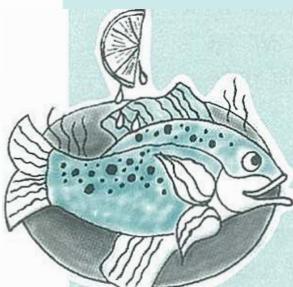
## הקדמה: על המר ועל החמצוע 135

### 1 הגדרה של בסיסים וחומצות 137

- פעילות מס' 1: זיהוי בסיסים וחומצות במעבדה 137
- 1א. הגדרה ביצועית של בסיסים וחומצות 138
- 1ב. הגדרה מולקולרית של בסיסים וחומצות 139
- 1ג. תגובת בסיס-חומצה על פי ברונסטד-לאורי 139
- בסיס וחומצה צמודים 140
- חומרים אמפיקטרוטיים 144
- זה קלא... האופי האמפיקטרוטי של החומצות האמיניות בסיסים וחומצות רב-פרוטיים 146

### 2 תמייסות מיניות של בסיסים וחומצות 147

- 2א. תגובת בסיס-חומצה בתמייסה מינית 147
- פעילות מס' 2: מוליכות חשמלית של תמייסות מיניות של בסיסים וחומצות 148
- אלקטROLיטים חזקים וחלשים 148



## 2ב. חזק של בסיסים וחומצות 149

פעילות מס' 3: הבחנה בין חזק לריכוז 150

## 2ג. שיווי-משקל בתמימות מימיות של בסיסים וחומצות חלשים 151

קבועי שיווי-משקל של בסיסים וחומצות חלשים 154

הה קָרְאָגָן... חומצות וcabii shinim 158

## 3 דרגת החומציות של תמישות מימיות 161

3א. היינון העצמי של מים 161

3ב. קבוע היינון של מים, K<sub>w</sub> 162

3ג. ריכוז יוני הידרוניות בתמימות מימיות של חומצות ובסיסים 163

3ד. סולם החומציות, H<sub>k</sub> 165

הה קָרְאָגָן... ה-H<sub>k</sub> של העיר 167

הה קָרְאָגָן... "שקר החון" 168

168 תוכנות של סולם ה-H<sub>k</sub>

מודית H<sub>k</sub> 171

הה קָרְאָגָן... אפקט בוחר 171

פעילות מס' 4: סולם H<sub>k</sub> 173

הה קָרְאָגָן... חומציות שונה לאורך מערכת העיכול 174

הה קָרְאָגָן... "הפרוטון בכימיה" 178

## 4 תגבות סתירה 179

4א. מאפייני תגבות סתירה 179

הה קָרְאָגָן... תגבות הסתירה – הפטרון הייעיל לצרבת 181

הה קָרְאָגָן... מודיען כדי לשוטף יידיים מימי לימון לאחר שנוגעים בזג' 182

4ב. ההיבט הכלומי של תגבות סתירה 183

4ג. טירציה 186

פעילות מס' 5: תגבות סתירה 189

4ד. אינדיקטורים 191

הה קָרְאָגָן... מודיען מיץ כרוב יכול לשמש כאינדיקטור לבסיס-חומצה? 193

הה קָרְאָגָן... דבר אליו בצלבאים 194

הה קָרְאָגָן... צבע 194

## 5 תמישות בופר 195

פעילות מס' 6: בופר בפועלה 195

5א. מיתון שינויי ב-H<sub>k</sub> 196

5ב. הרכבה של תמישת בופר 197

5ג. כיצד פועל בופר? 198

5ד. מאפיינים של בופר 199

הה קָרְאָגָן... בופרים ביצורים חיים 199

שאלות לסיכום פרק ג 204

# פרק א:

• מים • מים • מים

מימן • מימן • מימן • מימן



תירם • מימן • מימן • מימן

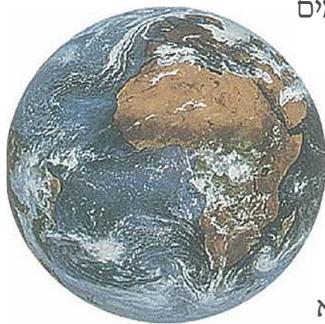
• מים • מים • מים

- 1 היכרות לעומק עם מולקולות המים
- 2 תכונות ייחודיות של המים בם כממס



# היקום

## מים, מים בכל מקום



כדורי הארץ הוא כוכב עשיר במים. כ-70% מפני השטח שלו מכוסים במים הנמצאים באוקיינוסים, בימים ובאגמים. בנוסף לכך, גם הסביבה הקרובה אלינו, האטמוספירה, מכילה מים. למעשה, הכוכב שרווי ב"אווירה מימית" שהחלק ממנו אנו ממש יכולים לראות, אלו הם העננים שבשמים. נוכחותם של כמויות גדולות של מים על פני הארץ, שימושיות במיוחד. הופכת את הכוכב שלנו ליעודי במערכת השמש. השימוש הוטרדו בשאלת המסקנת, האם יש חיים על פניו כוכב אחר במערכת השמש, הם חיפשו אחר סימני מים. הסיבה לכך היא שהחיים כפי שאנו מכירים אותם, תלויים בנזול מיוחד זה.

"ארץ" היא הכוכב היחיד שיש בו מים במצב צבירה נזלי ועל כן, ככל הנראה, הוא הכוכב היחיד המאפשר חיים. באופן תאורטי, יתכן אולי חיים במקום אחר ביקום המתבססים על חומר שונה ממים, אבל הם יהיו כה שונים מהחיים שאנו מכירים, שלא נזהה אותם כצורת חיים, אפילו אם ניתקל בהם.



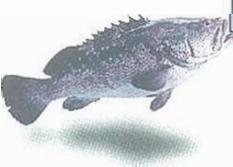
לא רק שאנו חיים בעולם עשיר במים, גם בגופנו המים הם מרכיב מרכזי. כ-70% ממשת הגוף הם מים. רוב המים נמצאים בתאים, חלק קטן יותר נמצא בחלל הבין-תאי והשאר, ברובו, מהווים את המרכיב הנזלי של הדם. המים מהווים מרכיב מרכזי לא רק בגוף האדם אלא בכל צורות החיים. מדי יום אובדים גוף בדרכים שונות שלושה ליטר מים. בשל חיניותם של המים علينا להחזיר לגוף מים באמצעות שתיה או אכילה. חיניותם של המים כה גדולה, עד כי לא נוכל לשרוד יותר מימים אחדים ללא מים, בשעה שאנו יכולים לחיות כמעש חדש שלם בלי מזון. נתן, על כן, להבון מדוע באמנים עברו קיומים של מקורות מים ואפשרות האספקה שלהם הם שקבעו היכן ימוקמו יושבים.

המים משמשים אותנו לא רק לנוזל לשתייה. הם משמשים לנו לניקיון, אנו שוחים במים ושתים בהם ונוהנים מהתועלת שהם מבאים כשהם יודדים מהশמים כghost (למרות האי נוחות...). אנחנו כל כך רגילים למים, עד כי לעיתים אנו שוכחים שהמים הם הנזול המיחד ביותר בטבע. מים אפשריים חיים כשהם במצב הנזלי. למלנו בלחש האויר ובטמפרטורות השוררים על פני כדור הארץ המים הם נזליים, ואילו חומרים אחרים בעלי מולקולות בגודל דומה הינם איזים. המים הם נזלים בתנאים השוררים על פני כדור הארץ, משום שלמים נקודות רתיחה גבוהה במיוחד. הגורם לנקודות הרתיחה הגבוהה של המים וכן לתכונות ייחודיות אחרות שליהם הוא כוחות משיכה חזקים יחסית המתקיימים בין מולקולות המים. ללא כוחות אלו המים היו במצב גז בנסיבות הקיימות על פני כדור הארץ. לו כך היה הרי שאוקיינוסים, אגמים ונחלות לא היו מתקיים, ולעולם לא היה יורד גשם...



במרבית המקרים המים שבסביבהנו אינם מים טהורים אלא תמייסות מימיות. מים הם ממם מצויין, הם מסווגלים להמים חומרים רבים ושוניים. האוקיינוסים והימים, המהווים 98% מהמים שלל פנוי כדור הארץ, הם תמייסות מימיות. גם נוזלי הגוף החי הן תמייסות מימיות. מצב נוזלי עדיף על פני מצב הצבירה האחרים כתזוז להתרחשותן של תגובות כימיות. חומרים רבים נוטים להגיב ביניהם בקלות רבה יותר כאשר הם מצויים בתמיסה. ואכן תגובות כימיות המאפיינות חיים מתרכשות בתמיסה מימית, למשל עיכול מזון בקיבה או הכפלת DNA בעת חלוקת התא. פרט להיות המים תזוז המקל על התרחשות של תגובות כימיות, לעיתים המים עצם משתתפים בתגובהות אלו כמגיב או כתזוז. הנוזל עדיף על פני המוצק הקשיח ועל פני הגז המפואר גם לצורך הובלת חומרים. ואכן מים במצב נוזלי משמשים בגוף להובלה של חומרי מזון ופסולת.

**פרק זה** נזכר במבנה של מולקולות המים, נלמד מהם הכוחות הפעילים בין מולקולות המים וכייזד הם גורמים לתכונות הייחודיות של המים.  
בהמשך נלמד איך התכונות הייחודיות של מולקולות המים הופכות אותם ל"מים אוניברסלי" ולבסוף נכיר תכונות המאפיינות תמייסות.



## 1

## היכרות לעומק עם מולקולות המים

### התכונות המייחדות של המים

אנו חיים על פני כוכב עשיר במים, שכן רבות מהתופעות שבחן אנו נתקלים בחיה היום יום קשורות למים. חלק מההתופעות מעוררות פליה, נבחן כמה תופעות מוכרות מסווג זה וננסה להסביר כיצד הן מתרחשות. בודאי כבר שמעתם שלא רצוי להכנס לבקבוק זכוכית מלא מים, כי הבקבוק עלול להתפוצץ! האם גם בקבוק מלא שמן היה מתפוצץ? כשאתם יוצאים מבירכת השחיה או מהאמבטיה אתם מרגשים שקר לכם. האם הייתם מרגשים שקר לכם לו הייתם יבשים? בחוף הים ביום חם קשה להלך על החול הלוהט, אך מי הים צוננים ונעימים, האם הקדשטים פעם מחשבה לעובדה שאוותה שמש מחממת את שניהם? כדי להסביר את התופעות שהזכרנו ותופעות רבות נוספות علينا להכיר תחילת את התכונות הייחודיות של המים. ננסה גם להבין מהו ההסביר ברמת החקלאיים לתופעות אלה.

### 1 א. מים הם חומר מולקולרי

בלימודיכם הקודמים הכרתם דוגמאות שונות של חומרים מולקולריים, חלקים יסודות וחלקם תרכובות. חומרים מולקולריים פשוטים מורכבים משני אטומים או יותר של אלמנטים. האטומים יכולים להיות זחים ובמקרה זה מתקבלת מולקולה של יסוד, לדוגמה:  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $F_2$ ,  $H_2$ . כאשר האטומים שונים, מתקבלת מולקולה של תרכובת, לדוגמה: מולקולת מים –  $H_2O$ , המורכבת משני אטומי מימן ואטום חמצן אחד. דוגמאות אחרות הן:  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $HF$ . בכל הדוגמאות הללו אטומי האלמנטים קשורים ביניהם **קשר קוולנטי**.

#### קשר קוולנטי (קשר שיתופי)

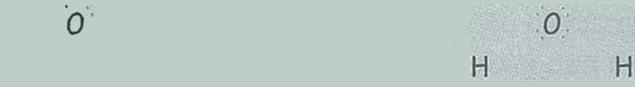
כפי שלמדנו בעבר, קשר קוולנטי נוצר כאשר האטומים המתקשרים חולקים ביניהם זוג אלקטרוניים (אחד מכל אטום). זוג האלקטרונים נושא לשני הגראניים והוא משותף לשניהם, ומכאן שמו של הקשר.

עוד למדנו, שהאלקטרונים המשותפים בקשר מכורים ברמת האנרגיה החיצונית של האטומים והם נקראים **אלקטרוני ערניות**. אזכור שיטה פשוטה ונוחה לתיאור אלקטרוניים הערכיות נקראת "נוסחת **"זוג אלקטרוניות"**". אם נבחן, לדוגמה, את אטום החמצן, נראה שיש לו שמונה אלקטרונים הנמצאים בשתי רמות: שניים בrama הראשונה ושישה אלקטרונים בrama השנייה שהיא הרמה החיצונית לגביו. נוסחת **"זוג אלקטרוניות"** תציג רק את ששת אלקטרוניות הערכיות שלו, ולכן לגבי אטום החמצן היא תראה כך: 0

...ALKALI  
ALKALI

במולקולת מים כל אטום מימן ב מולקולה קשור בקשר קוולנטי לאטום החמצן.

### צורות ייצוג שונות של מולקולת מים



#### נוסחת מבנה

#### נוסחת ייצוג אלקטרוני

הנקודות מייצגות את אלקטרוני הערכיות של האטומים. כל אטום אלקטרוני היוצר קשר מסומנים בקו.

בכל המקרים שהזכרנו עד כה תיארנו קשר קוולנטי יחיד. יתרון גם קשר קוולנטי כפול. כאשר שני האטומים המתקשרים חולקים ביניהם שני זוגות אלקטרוניים, מתאפשר קשר כפול, למשל: ב מולקולת  $\text{H}_2\text{O}$  קיימים קשרים קוולנטיים כפולים:



שני הקווים מייצגים את שני זוגות האלקטרונים של הקשר הכפול.

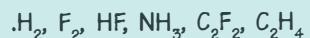
קיימים גם מקרים שבהם שני אטומי הקשר חולקים ביניהם שלושה זוגות אלקטרוניים, אז מתאפשר קשר קוולנטי משולש. לדוגמה ב מולקולת חנקן –  $\text{N}_3$  וב מולקולת חומצה מימן-ציאנית –  $\text{HCN}$  יש קשרים קוולנטיים משולשים:



שלושת הקווים מייצגים את שלושת זוגות האלקטרונים של הקשר המשולש.

### אוויר זח... ...זח זר

צירור נוסחות ייצוג אלקטרוניות ונוסחות מבנה לכל אחת מה מולקולות הבאות:



### האויר שאנו נשמים

באוויר ש סביבנו יש שני מרכיבים עיקריים: חנקן וחמצן. החנקן מהו זה כ- 78% מנפח האויר והחמצן כ- 21% (ארгон, אז אציל, נמצא גם הוא באוויר בשיעור של כ- 1%, באוויר מצויים גם גזים נוספים בכמותות זעירות יחסית). מתרבר שצמוד זה – החנקן והחמצן – בזכות הניגודים שבו מאפשר את קיומו. ככלנו ברורה חינוכותו של החמצן לתהליכי הנשימה, אך

...על כל...

לא היינו רוצים שכל מגע עם האוויר יסתהים בשרפה של ממש... אם האויר היה מכיל בעיקר חמצן, שהוא חומר פעל במיחוז, היו מערכות הגוף והסביבה מגיבים עמו באופן נמרץ. כאן "בא לעזרתנו" האפקט הממתן של החנקן. החנקן נחשב לחומר "אדיש" (איןרט) מבחינה כימית. מולקولات חנקן, כפי שראינו, מורכבות משני אטומים בלבד הקיימים ביניהם בקשר משולש. אנו מצפים שקשר משולש יהיה חזק וקשה לפירוק. ואכן מולקولات חנקן אינה מתקשרת בקלות, משום שככל התקשרות אל מולקولات של חומר אחר דורשת תנאי מוקדם, שהקשר המשולש יתפרק, ופירוק זה דורש אנרגיה גבוהה. למעשה החנקן האדים "מושלח" את החמצן הפעיל שבאויר, ונוצרת תערובת של חמצן וחנקן בעלת פעילות מתונה יחסית.

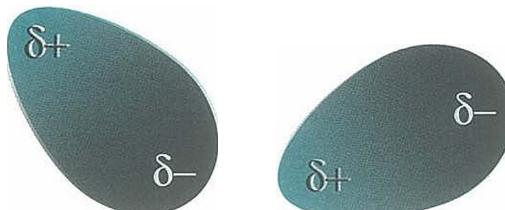
## 1ב. כוחות בין-מולקולרים

בטופטרורת החדר ובלחץ אטמוספרי מים הם נזלים, פרחמן דו-חמצני הוא גז וסוכר הוא מוצק. כל אלה הם חומרים מולקולריים, ובכולם יש קשרים קוולנטיים בתוך המולקولات, ובכל זאת תכונותיהם כה שונות. כדי לעמוד על ההבדלים ביניהם יש לחקור את התנהוגותם כבר, כאמור של חלקיקים, ולבדוק מדוע במקרה אחד (פרחמן דו-חמצני) המולקولات נמצאות כמולקولات בודדות, ובשני המקרים האחרים המולקولات מאורגנות בצפיפות או בקרבת זו. מה מחייב אותן ביחד? איך כוח משיכה יכול לפעול בין מולקولات ניטריות מבחינה חשמלית?

### מה מקורם של הכוחות הבין-מולקולרים?

נתאר לעצמנו חומר המצו באחד ממצבי הצבירה המיעובים מוצק או נוזל. בכל מולקולה בחומר זה מצויים גרעינים בעלי מטען חשמלי חיובי ועננים אלקטرونיים בעלי מטען חשמלי שלילי. אילו היינו יכולים לעקוב אחר צורת הענן האלקטרוני, היינו רואים שהענן אינו מפוזר באופן אחיד סביר הגרעין כל הזמן. בנקודת זמן מסוימת מתעוזת הענן האלקטרוני ונוצר ריכוז רגעי של מטען שלילי חלקי לצד אחד של המולקולה, ובצדה الآخر מטען חיובי חלקי. הפרדה כזו של מטענים חשמליים חלקיים נקראת **קיוטוב**. כאשר שתי מולקولات קרובות זו לזו, קיוטוב באחת מהן משרה קיוטוב מנוגד במולקולה השכנה, זאת על ידי דחיה או משיכה של ענן האלקטרונים שלה. כשהשתי המולקولات נוצר קיוטוב, מתקיימות משיכה קלה בין המטען החלקי החיובי במולקולה האחת לבין המטען החלקי השלילי במולקולה השכנה. במלils אחרות, קיימת בפועל משיכה בין אלקטرونים ממולקולה אחת לבין הגרעין של המולקולה השניה. הקיוטוב הנוצר הוא **זמן**, משום שכפי שהוא נוצר הוא גם יכול להתבטל, כאשר הענן האלקטרוני המיעוב חוזר להיות אחיד. הקיוטוב הוא גם מקרי, משום שנគודה שמהווה ברגע מסוים מטען חלקי שלילי יכולה ברגע אחר להוות מטען חלקי חיובי כאשר הענן מתעוות לכיוון הפוך.

## תמונה רגעית של משיכת בין שתי מולקולות כלשהן



נוהגים לסמן מטען חלקי באות היוונית דלתא,  $\delta$  (+' למטען חלקי חיובי ו-' למטען חלקי שלילי).

באир נראות שתי מולקולות כלשהן ברגע מסוים שבו נוצרו בהן מטענים חלקיים מנוגדים, ועל כן קיימות ביניהן משיכה רגעית. בנקודות זמן אחרות מטענים חלקיים אלו מתבטלים, והמשיכה בין שתי מולקולות אלו נפסקת. בו בזמן נוצרים מטענים חלקיים מנוגדים בשתי מולקולות אחרות ומתקיים ביניהן משיכה. כעבור זמן קצר גם מטענים חלקיים אלו מתבטלים. התמונה המתבקשת, בסיסומו של דבר, היא של שינויים מהירים מאוד הגורמים לכך שבמשך רוב הזמן רוב המולקולות נמצאות במצב של משיכה אל מולקולות אחרות.

## כוחות ון-דר-וילס

כוחות המשיכה החשמליים בין מולקולות ניטרליות מכונים "כוחות ון-דר-וילס" על שם המדען ההולנדי ג'והנס ון-דר-וילס (Johannes van der Waals) שחקר אותם. לפי התיאור שלעיל, ניתן להעריך שככל שהיו בכל מולקולה יותרALKتروנים (ופרוטונים), עצמתם של הכוחות תגבר, שכן ישנן אפשרות רבות יותר לייצרת קיטוב. עצמתם של הכוחות תבוא לידי ביתוי חיצוני, למשל, בנקודות הרתיחה של החומר. לאחר שבתהליק הרתיחה יש להפריד בין מולקולות החומר ולהרחקין זו מזו תוך התגברות על כוחות המשיכה ביניהן, אנו צופים שככל שהיו במולקולות החומר יותרALKטרונים, נקודת הרתיחה שלו תהיה גבוהה יותר. כדוגמה לתופעה זו נציג בטבלה הבאה את נקודות הרתיחה של משפחת ההלוגניים:

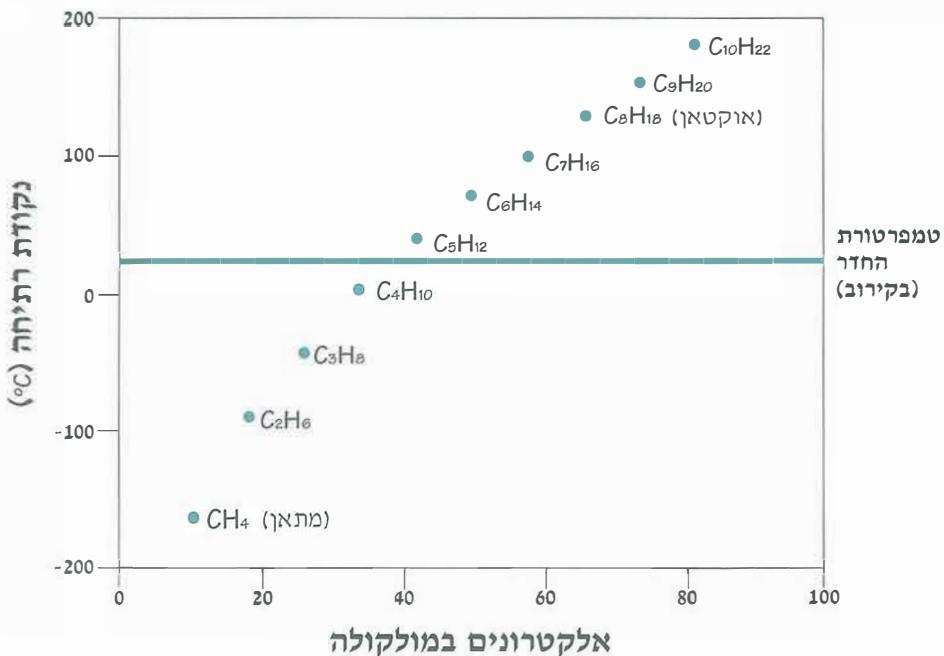
## טבלה א'. נקודות הרתיחה של משפחת ההלוגניים

החומר	מספרALKטרונים במולקולה	נקודת רתיחה (°C)	נקודת רתיחה (°C)
$F_2$	18	-188	
$Cl_2$	34	-35	
$Br_2$	70	58.8	
$I_2$	106	184.3	

הבדלים בנקודת ההיתוך (שאין מופיעות בטבלה) ונקודות הרתיחה (המופיעות בטבלה) של יסודות אלה גורמים בסופו של דבר לכך שבטמפרטורת החדר פלאור וכלור נמצאים במצב גז, הברום נוזלי, ואילו הידוד מוצק.

ודוגמה נוספת: הפעם של תרכובות פחמן ומימן הנקראות פחמימנים. בגרף הבא ניתן לראות את נקודות הרתיחה של כמה פחמימנים בעלי מבנה מולקולרי דומה.

### גרף א'. נקודות רתיחה של כמה פחמימנים



גם במקרה זה נשמרת מגמת העלייה בנקודת הרתיחה עם העלייה במספר האלקטרונים. הפעם העלייה במספר האלקטרונים נובעת מעלייה במספר האטומים במולקולה. כך יוצא שפחמיינים בעלי מספר גובה יותר של אטומים במולקולה נמצאים במצב נזלי בטמפרטורת החדר.

### הרכב עונתי של דלק

המבנה למכניות הוא תערובת של פחמימנים שונים. למרבית המולקولات המרכיבות תערובת זו יש בין שישה לעשרה אטומי פחמן במולקולה. עם חילופי העונות בתיבי היזוק משנים את הרכב התערובת. בחורף בתיבי היזוק מפיקים בנזין שתאדה ביטר קלות במאheid, כדי שהחצחה תהיה יותר קלה. בקיץ בתיבי היזוק מפיקים דלק המתאדה פחות בקלות כדי למנוע היוצרות בעותת של אדי דלק, אשר היו מקטינות את אספקת הדלק למנוע.

לע...  
לע...  
לע...  
לע...

## פעילות מספר 1: השפעת חשמל סטטי על זרימת נוזלים שונים



**המטרה:** בפעולות זו תטענו סרגל פלסטיק או מוט זכוכית בחשמל סטטי ותבזקו, האם הוא משפיע על זרימתם של נוזלים שונים.

**חומרים:**

- ✓ מים
- ✓ כוס כימית של 100 מ"ל
- ✓ אתanol
- ✓ אצטון
- ✓ סרגל פלסטיק או מוט זכוכית
- ✓ פיסת צמר או פיסת nisi
- ✓ הקسان

**ועכשו למבצעה:**

- 1) מלאו את אחת הביריות במים והעמידו כוס מתחתייה.
- 2) שפשפו סרגל פלסטיק בפיסת צמר או מוט זכוכית בפיסת nisi (פעולה זו גורמת לטעינה של הסרגל או המוט בחשמל סטטי).
- 3) פתחו את הבירטה ורקרו את הסרגל או מוט הזכוכית בצורה אנכית אל קילוח המים בלי לגעת בקילוח. רשמו מה קרה לקילוח.
- 4) חזרו על הניסוי עם אתanol, אצטון והקسان.
- 5) ציינו לגבי כל אחד מהנוזלים מה התרחש.



בפעולות זו ראיינו שהקלוח של חלק מהנוזלים סטה בהשפעת הסרגל או המוט האכוכית הטיעונים. סטיטיותם של חומרים אלו מעידה שקיימות בהם טעינה חשמלית. דנו קודם בקיים קיטוב זמני במולקולות ניטרליות. הקיטוב הזמני אינו יכול לגורם לסטיטה שניצפה, משום שהמולקולנים החלקיים מתחלפים, מquizים זה זה ובמוצע המולקולות אין קווטביות. מולקולות אלו לא תישמשנה לסרגל הטוען. מכאן אנו מסיקים שבמולקולות הבונות את החומרים שסטו קיים, ככל הנראה, קיטוב קבוע בנוסף לקיטוב הזמן שבו דנו עד עתה.

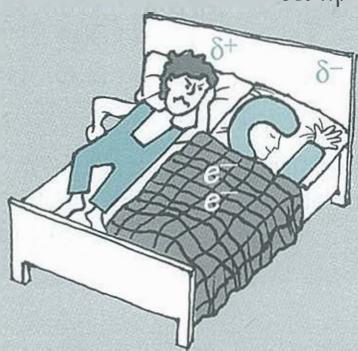
### מה מקורות של הקיטוב הקבוע?

כדי להבין מה מקורות של הקיטוב הקבוע علينا לדון תחיליה באופןיו של הקשר הקולונני בתוך המולקולה הנחשכת לקוטבויות.

626 מילא...

## קשר קוולנטי קווטבי – אלקטרושליליות

הזכרנו קודם שקשר קוולנטי נוצר על ידי שיתוף של אלקטرونים בין שני אטומים. כאשר הקשר נוצר בין שני אטומים זהים, האלקטרונים המשותפים נמשכים באוטה מידה אל שני הגרעינים. זהו **קשר קוולנטי טהור**. אך ברוב המקרים הקשרים הקוולנטיים אינם "טהורים", כי הקשר נוצר בין שני אטומים שונים. במקרה זה אחד הגרעינים מסוגל למשוך את אלקטרוניו הקשר חזק יותר מהשני. הסיבה לכך היא שמטענו של הגרעין גדול יותר או שבין הגרעין לבין אלקטרוניו הקשר המרתק קטן יותר, או שתי הסיבות גם יחד. כתוצאה לכך הען האלקטרוני מתעוזות וסבב הגרעין הראשון נוצר מטען שלילי חלקית, ואילו סבב הגרעין השני נוצר מטען חיובי חלקית. זהו **קשר קוולנטי קווטבי**. לדוגמה במולקולת מימן כלורי,  $\text{HCl}$ , הקשר בין המימן לכליור הוא קוולנטי קווטבי. אטום הכלילו נשא מטען שלילי חלקית, ואילו אטום המימן נשא מטען חיובי חלקית.



שימוש לבן:



הפעם מותוארת רק מולקולה אחת משומש מזוכר בקשר תוך מולקולרי.

קשר קווטבי קיים גם בין אטומי המימן לאטום החמצן במולקלות מים ובמולקלות של תרכובות נוספות שבן נתקלנו:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ .

כפי שלמדתם בעבר, היכולת החישית של אטום למשוך אליו את אלקטרוניו הקשור נקראת **אלקטרושליליות**. הכימאי לינוס פאולינג (Linus Pauling) הציע מדריך כמותי לאלקטרושליליות. היחסות מדורגים על פי סולם ערכיהם מ-0.7 (ציזום) עד 4 (פלואור). כאשר משווים יסודות הממוקמים באותה שורה במערכת המחזורית, רואים שככל שיסוד ממוקם יותר ימינה, האטום שלו הוא בעל מטען גרעיני גדול יותר, וכן הוא מפעיל כוח משיכה גדול יותר. כאשר משווים יסודות הממוקמים באותו טור במערכת המחזורית, רואים שככל שיסוד ממוקם מיותר מモוקם יתיר גבוה, המרחק בין גרעין האטום לאלקטרונים החיצוניים שלו קטן יותר, וכך הוא מפעיל כוח משיכה גדול יותר. כך יוצא שהמגמה הכללית במערכת המחזורית היא זאת: ככל שנעים ימינה בשורה ו/או עולים בטור (להוציא את הגזים האצילים) הולכת וגדלה האלקטרושליליות, כפי שנניתן להראות בטבלה הבאה.

### ערבי אלקטרושליליות לפי פאולינג

H 2.1									He —
Li 1.0	Be 1.5	B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne —		
Na 0.9	Mg 1.2	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0	Ar —		
K 0.8	Ca 1.0	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8	Kr 2.9		
Rb 0.8	Sr 1.0	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe 2.6		
הערה: בטבלה מופיעים יסודות מייצגים מטוריים וויאן במערכת המהזרית (לא כולל את מתכות המעבר). היסודות המטומניים נחسبים מתחום למחצה, ממשאלים יסודות מתכתיים ומימיים יסודות אלמתכתיים.									

הערה: בטבלה מופיעים יסודות מייצגים מטוריים וויאן במערכת המהזרית (לא כולל את מתכות המעבר). היסודות המטומניים נחسبים מתחום למחצה, ממשאלים יסודות מתכתיים ומימיים יסודות אלמתכתיים.

ארבעת היסודות השכיחים ביותר בגוף האדם ובכל היצורים החיים הם מימן, חמצן, פחמן וחנקן. שני היסודות הראשונים מרכיבים את המים, שלושת היסודות הראשונים מרכיבים את הפחמיימות והשומנים ורביעתם יחד בונים את החלבונים. על כן יש חשיבות להבין את אופיו של הקשר הקולונטי הנוצר בין יסודות אלו ואת השלכותיו על תכונות החומר. אטומי החמצן והחנקן הם בין האטומים בעלי האלקטרושליליות הגבוהה ביותר. כאשר אטומות אלומתכות אלו יוצרים קשרים קולונטיים עם אטומים של אלומתכות אחרות, קרוב לוודאי שהיסוד השני יהיה בעל אלקטרושליליות נמוכה יותר. לכן החמצן או החנקן נשאים מטען שלילי חלקי. לעומת זאת, אטומי האלומתכות מימן ופחמן הם בעלי אלקטרושליליות נמוכה יחסית, ועל כן הם בדרך כלל נשאים מטען חיובי חלקי.

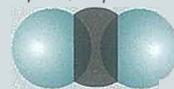
### מה בין קשר קווטבי ובין מולקולה קווטבית?

האם קיומו של קשר קווטבי במולקולה הופך את המולקולה כולה לקווטבית? כאשר מדובר במולקولات דו-אטומיות כדוגמת O<sub>2</sub> התשובה ברורה: במולקולה כזו יש קשר קווטבי יחיד, ועל כן המולקולה יכולה קווטבטית. אך מה באשר למולקولات תלת אטומיות כמים ומולקولات מורכבות יותר? האם ניתן שמלקولات בעלות קשרים קולונטיים תהיינה חסרות קישוט קבוע? זה "תיכן" מולקולה בעלת קשרים קווטביים יכול להיות חסרת קישוט קבוע, אם כל הקשרים קווטביים שבה מסודרים בצורה סימטרית במישור או במרחב, כך שההשפעה של המטען החלקיים מתבטלת. הקווטבטות של מולקולה המורכבת מקשרים קווטביים אחדים תלויות, על כן, במבנה הגאומטרי של המולקולה.

## מבנה של מולקולות

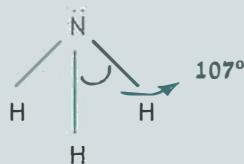
מבנה המולקולה נקבע בעיקר על ידי התיחס שתופסים האלקטרוניים שלה במרחב. כדי לדעת את המבנה של מולקולות נعزيزים במודל "דחיה זוגות האלקטרוניים". לפי מודל זה זוגות האלקטרוניים נערכים כך שהמרחב האזוטי ביניהם יהיה מרבי. נסקור עתה כמה מבנים של מספר מולקולות מעניינות.

פחמן דו-חמצני,  $\text{CO}_2$  – הפחמן, האטום המרכזי בмолקולה, קשור לשני אטומי חמצן בקשרים קוולנטיים קווטביים. הפחמן מוקף באربעה זוגות אלקטרוניים קושרים, העורכים בשני קשרים כפולים. יש להתייחס אליהם כל שני זוגות אלקטרוניים קושרים. האזוטה בין הקשרים הכפולים היא  $180^\circ$ . צורת המולקולה קווית, השפעת המטען החלקיים מתבטלת, ועל כן המולקולה בכללותה אינה קווטבית.

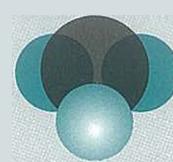


מודל מלא מרחב של מולקולה פחמן דו-חמצני  
(בשילוב אטום הפחמן)

אמוניה,  $\text{NH}_3$  – החנקן, האטום המרכזי בмолקולה, קשור לשלווה אטומי מימן בקשרים קוולנטיים קווטביים. סביב החנקן שלושה זוגות אלקטרוניים קושרים זוג אחד לא קשור. הזוג הלא קשור גורם לדחיה גדולה יותר ביחס לאזוגות האחרים, ועל כן האזוטה בין האזוגות הקושרים היא  $107^\circ$  [לשם השוויה אם היו ארבעה זוגות אלקטרוניים קושרים, כמו בмолקולת המתאן, הייתה מתאפשרת זווית של  $109^\circ$ , האזוטה הטטרדרית]. המבנה המרחבי המתתקבל הינו פירמידה משולשת, השפעת החלקיים מתבטלת, ועל כן המולקולה קווטבית.



נוסחת מבנה של מולקולה אמונייה



מודל מלא מרחב של מולקולה אמונייה  
(בשילוב אטום החנקן)

מים,  $\text{H}_2\text{O}$  – החמצן, האטום המרכזי בмолקולה, קשור לשני אטומי מימן בקשרים קוולנטיים קווטביים. סביב החמצן שני זוגות אלקטרוניים קושרים ושני זוגות לא קושרים. זוגות האלקטרוניים הלא קושרים גורמים לכיפוי המולקולה, כך שהזווית בין האלקטרוניים הקושרים מצטמצמת ל- $104.5^\circ$ . מולקולת המים הינה מולקולה מישורית כפופה (ואכן כך צירנו אותה כאשר הצגנו צורות יציג שונות של מולקولات מים בתחילת סעיף זה). בשל צורת מולקולת המים השפעת המטען החלקיים אינה מתבטלת, והמולקולה קווטבית. קווטביות מולקולת המים מסבירה רבות מתכונות המים, כפי שעוזן נראה בהמשך.



## אכליות...

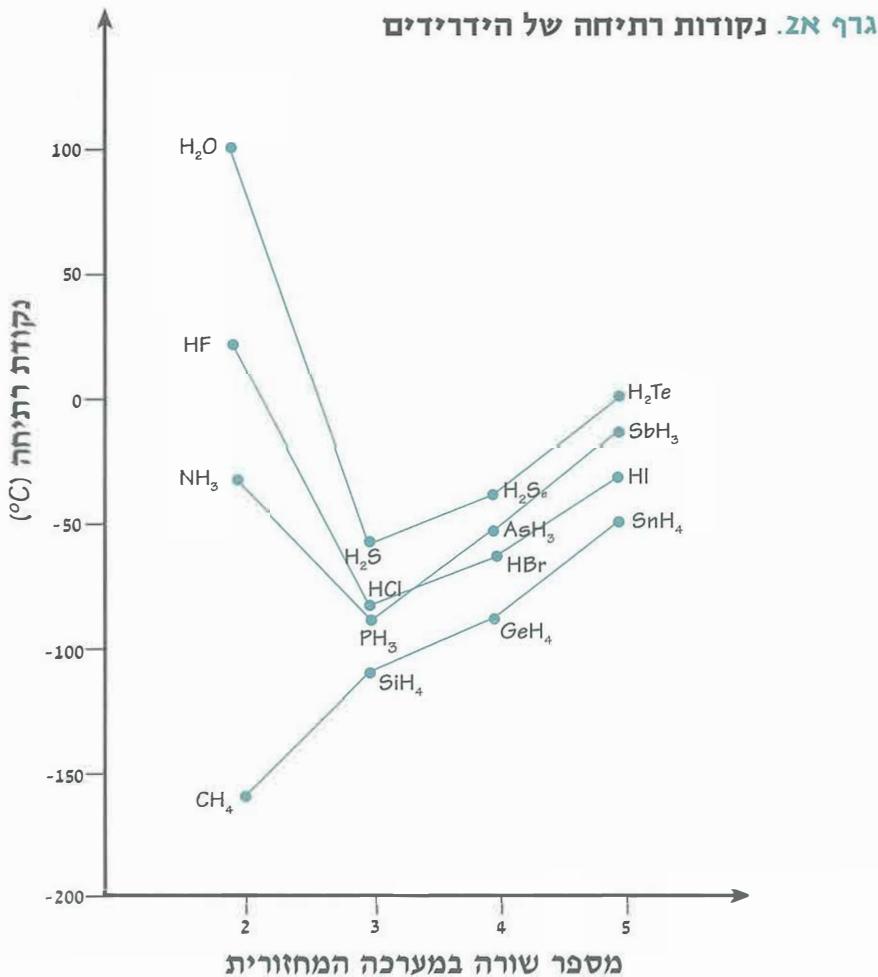
- חזרו לתוכאות פעילות מס' 1 – השפעת חשמל סטטי על זרימות נוזלים שונים.
- 1) ציירו את נוסחאות המבנה של מולקולות הנוזלים שעםם עבדנו.
  - 2) קבעו לגבי כל אחת מהמולקולות את המבנה הגאומטרי שלה על פי מודל "דוחית זוגות האלקטרוניים", ציינו האם המולקולה קווטבית.
  - 3) נסו עתה להסביר מדוע כל אחד מהנוזלים התנהג כפי שראיתם בניסוי.



במולקולות קווטביות פועלים עוד כוחות הנובעים מכוחות משיכה חשמליים בין המטען החלקיים הקבועים שבמולקולות סמוכות בנוסף לאלה הפועלים בין המטען החלקיים הזמנניים. בחומרים קווטביים סך כל הכוחות הבין-מולקולריים רב יותר מאשר בחומרים לא קווטביים בעלי גודל מולקולות דומה. נקודות ההתיוך והרטיחה של חומרים קווטביים תהיינה על כן גבוהות יותר מאשר בחומרים לא קווטביים בעלי מספר אלקטרונים דומה. לדוגמה  $\text{H}_2\text{S}$ , שהוא חומר קווטבי, יש 18 אלקטרונים במולקולה ונקודות הרטיחה שלו (בלחץ אטמוספרי) היא  $61^\circ\text{C}$ , ואילו אתאנו  $\text{H}_2\text{C}$ , שהוא חומר לא קווטבי בעל אותו מספר אלקטרונים במולקולה, נקודות הרטיחה שלו (בלחץ אטמוספרי) היא  $-89^\circ\text{C}$ .

## תעלומת נקודות הרטיחה

כל שמספר האלקטרונים במולקולה גדול יותר נקודות הרטיחה של החומר גבוהה יותר בגלל עלייה בחזק כוחות ון-דר-ולס. מסקנה זו עלתה מניתוח הטבלה והגרף שהציגו את נקודות הרטיחה של חומרים שונים ביחס למספר האלקטרונים במולקולה. הגרף הבא מתאר את נקודות הרטיחה של היזידרים (תרוכבות המכילות מימן) נגד מספר השורה במערכת המחזוריית של "בן זוגו" של המימן בהיזיריד. בgraf מוצגות ארבע משפחות: משפחת הפחמן (טור V), משפחת החנקן (טור VI), משפחת החמצן (טור VII) ומשפחת ההלוגנים (טור VIII).



נתבונן תחילה בgrp של הידרידים של משפחת הפחמן: מוגמת נקודות הרתיחה מתאימה לציפוי – ככל שעולה מספר האלקטרונים ב מולקולה עולה נקודות הרתיחה של החומר. גם בגרפים של הידרידים של משפחות החנקן, החמצן והгалוגנים מתקיימת המגמה הצפואה: מ- $\text{CH}_4$  עד  $\text{H}_2\text{S}$ , מ- $\text{H}_2\text{O}$  עד  $\text{H}_2\text{Te}$  וכן מ-HCl עד HI. אך בשלושה מקרים המגמה מתחפה: במשפחת החנקן אצל האמונייה, במשפחת החמצן אצל המים ובמשפחת הгалוגנים אצל מימן פלאורי. נקודות הרתיחה שלהם גבוהות הרבה יותר מאשר המשפחתיים העצומים על פי גודלו המולקולרי. היינו מצפים, למשל, למשתמש את נקודות הרתיחה של המים בסביבות 100°C-, והרי ידוע לכל שמיים רותחים ב-100°C! (בלחץ אטמוספר). בגלל המבנה המרחבית שלן הידרידים של שלוש המשפחות, משפחת החנקן, משפחת החמצן ומשפחת הгалוגנים, בנויים מ מולקולות קווטביות (פרט ל- $\text{CH}_4$  ול- $\text{Te}_2\text{H}$  שבו הקשרים קולנטיים טהורים, ראו ערך אלקטרוזיליות). נקודות הרתיחה הגבוהות במיוחד של האמונייה, המים והמימן פלאורי בהשוואה לאלו של שאר "בני המשפחה" שלהם מעידים על קיום כוחות בין- מולקולריים בעוצמה שטרם הכרנו. במקרים אלו לא מדובר בכוחות ו-ז-דר-ולס הנובעים מקיוטוב קבוע אלא בכוחות מסווג חדש. הכוחות הבין- מולקולריים הפעלים בין המולקולות המרכיבות את כל אחד משלשות החומרים הללו נקראים **קשרי מימן**.

## קשרי מיכון

מה מאפיין את שלוש המולקولات החיריגות: אמונה, מים ומים פלאורי? המיעוד במולקولات של מים, אמונה ומים פלאורי הוא שככלן מצוי אוטם מימן הקשור בקשר קוולנטי לאחד מהאטומים האלקטרושליליים ביותר: פלאור, חמצן או חנקן. אמנס ערך האלקטרושליליות של אטום כלור גבוהה כמו של חנקן, אך בגל גודל האטום צפיפות המטען שלו קטנה יותר, ועל כן הוא אינו נכלל בקבוצה זו.

בין היסודות שאוטומיהם יוצרים את הקשר קיימים הפרש גדול באלקטרושליליות, ולכן הקשר הקוולנטי הנוצר הוא קווטבי במינוח. אלקטרוני הקשר נשיכים לאטום האלקטרושלילי יותר, ואילו אטום המימן נשא מטען חיובי חלק. נתקדם תחילה במעטען החלקי החיבוי. המטען החלקי החיבוי מרוכז כלו בגרעין המימן האשער, שאינו אלא פרוטון בודד ללא מעטפת אלקטרונית. הגרעין "חושף" זהה מאפשר נגירות של המטען החלקי השלילי הקרוב אליו, מכיוון שאין אלקטרונים שייחזו אותו. עתה נעבור לאטום בעל המטען החלקי השלילי ונגלה שמצוים בו גם אלקטרונים לא קשרים. המטען החלקי החיבוי, הפרוטון, במולקולה אחת נמשך לאוג אלקטרונים לא קשר ב מולקולה הסמוכה. בין שתי המולקولات הסמוכות נוצר קשר המכונה **קשר מימן**. המימן, למעשה, מהווה גשר בין שתי המולקولات.

החותבות הניכרת של הקשר, הנגירות אל הפרוטון והאלקטرونים הלא קשורים של האטום בעל המטען החלקי השלילי גורמים לכך שהקשרי מימן הם החזקים שבכוחות הבין-מולקולריים. קשרי מימן חזקים פי עשרה מכךות זר-זר. יחד עם זאת קשרי מימן חלשים יחסית לקשרים קוולנטיים.

### הכימיה שבין אנזים למצע

הכוחות הבין- מולקולריים נפוצים במערכות ביולוגיות רבות. לדוגמה, הם ממלאים תפקיד חיוני בפעולות של אנזימים. אנזימים הם האזאים **אתר פעיל** הביוולוגיים שבשלדייהם התגובה

ביצורים חיים לא היו מתרחשות בקצב מתאים. ביצורים חיים מתרחשות אלף תגובהות וכמעט בכל אחת מהן אנזים ייחודי משלה. המגיב שעליו פועל האנזים נקרא **מצע** (סובסטרט). תנאי מקדים להתרחשות התגובה הוא קישור המצע לאזור מסוים באנזים הנקרא **אתר פעיל**. כדי שהמצע יקשר לאתר הפעיל צריכה לחתקיים התאמה מרחבית וכימית בין האתר הפעיל באנזים למצע. ההתאמה המרחבית



ה活泼

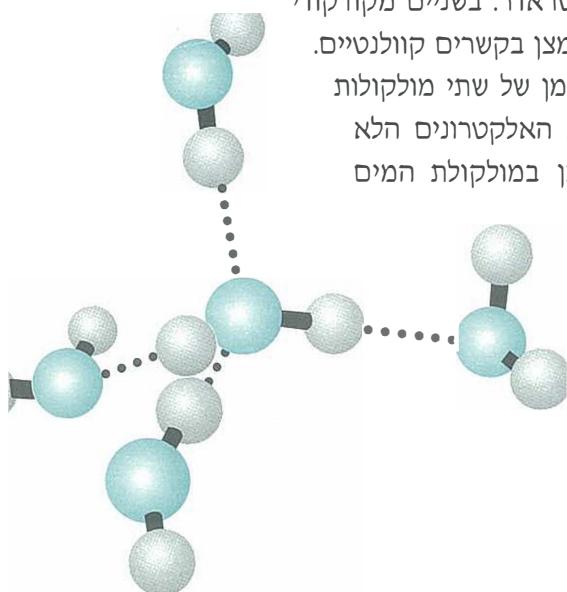
מתבטאת בכך שלמצע תהיה צורה משלימה לאזור הפעיל באנזים. ההתאמה הכימית מתבטאת ביכולת ליצור קשרים בין האזור הפעיל למצע. לעיתים קרובות מדובר בכוחות וו-דר-ולס וקשרי מימן שאוטם הכרנו. לעיתים מדובר גם במשיכה בין מטענים מנוגדים, ולעתים רוחקות יותר מדובר בקשרים קוולנטיים בין האנזים למצע.

## קשרי מימן בין מולקולות מים

אם נבחן את נקודות הרתיחה של שלושת החומרים החריגים: מימן פלאורי ( $19.54^{\circ}\text{C}$ ) אמונייה ( $33.35^{\circ}\text{C}$ ) ומים ( $100^{\circ}\text{C}$ ), ניווכח לדעת שגム בין "החריגים" יש הבדלים. נקודת הרתיחה של מים גבוהה באופן בולט. מכאן ניתן להסיק קשרי המימן בין מולקולות מים חזקים במיוחד. הסיבה לכך היא הקשר בין קשרי המימן בין מולקולות מים היא שבמולקולת מים מתקיים השילוב של התנאים הבאים:

- 1) קוטביות קשר גבואה יחסית. קשר H — O (במים) קוטבי יותר מאשר H — N (באמונייה).
- 2) הימצאותם של שני אטומי מימן וכגדם שני זוגות אלקטرونונים לא קשורים. במילאים אחרים, במים המצב מאוזן: מספר אטומי המימן שווה למספר זוגות האלקטרונוניםyla קשור אחד (יחס של 1:3). מכאן נובע שאין מספיק אטומי חנקן היכולים ליצור קשרי מימן עם כל אטומי המימן במולקולות הסמוכות. במולקולת מימן פלאורי יש אטום מימן אחד ושלושה זוגות אלקטرونונים לא קשורים (יחס של 3:1). במקרה זה אין מספיק אטומי מימן היכולים ליצור קשרי מימן עם כל זוגות האלקטרונוניםyla קשורים של אטומי הפלואור במולקולות הסמוכות.
- 3) הסידור המרחבי של מולקולות המים הקשורות זו לזו. המבנה הקפוי של מולקולת מים יחד עם שני זוגות האלקטרונוניםyla קשורים שעל אטום החמצן מכתבים את מספר מולקולות המים היכولات להתקשר בקשרי מימן למולקולת מים אחת ואת הסידור המרחבי שלהן. אטום החמצן במולקולת מים מצוי, למעשה, במרכזו של טטרהדרן. בשניים מקודקיי הטטרהדרן מצויים אטומי מימן הקשורים לחמצן בקשרים קוולנטיים.

בשני הבודקדים הנוטרים מצויים אטומי מימן של שתי מולקולות מים סמוכות, היוצרים קשרי מימן עם זוגות האלקטרונוניםyla קשורים של החמצן. כל אחד מאטומי המימן במולקולת המים קשור בקשר מימן לאטום אלקטронונים לא קשור של אטום חמצן במולקולת מים אחר. בסיכוןו של דבר, כל מולקולת מים יכולה להתקשר לארבע מולקולות מים סמוכות באמצעות קשרי מימן.



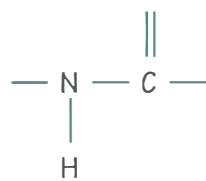
## קשרי מימן בмолקולות של יצורים חיים

כאמור, היסודות פחמן, מימן, חנקן וחמצן הם היסודות הנפוצים ביותר ביצורים חיים. אחד המאפיינים הבולטים של אטומי יסודות אלו הוא ממדיהם הקטנים. שאטומים אלו יוצרים קשרים קוולנטיים, אלו קשרים חזקים יחסית, שהרי מידת חזקו של הקשר גדולה ככל שהמරחק בין גרעיני האטומים קטן.

אולם ביצורים חיים מלבד חזק צריכה להתקיים גם תכונה נוספת – גמישות, זאת אומרת, היכולת לעבורי שינויים בຄלות יחסית. וכן בקשרים קוולנטיים: H — O — H — N מצוי הפתרון גם לכך. במולקולות המכילות קשרים אלו נוצרים קשרי מימן בין מולקولات סמוכות והן **בתוך** המולקולה, בין חלקים שונים שלה (כאשר המולקولات גדולות מספיק ומקופלות בצורה המאפשרת זאת). כאמור, קשרי מימן הם החזקים שבכוחות הבין-מולקולריים, אך הם חלשים יחסית לקשרים קוולנטיים. לפיכך בתמיינות מימיות קשרי מימן נוצרים ונשברים בקלות הרבה יותר מקשרים קוולנטיים, ובכך הם מקנים גמישות למולקولات של יצורים חיים.

קשרי מימן חזקים יותר כאשר אטום המימן ושני האטומים הקיימים אליו (האחד בקשר קוולנטי והשני בקשר מימני) נמצאים על קו ישר (בזווית של  $180^\circ$ ). התכונה זו של קשרי מימן מקנה לחלבון מבנה מרחבי מוגדר. לבניה המרחבי של החלבון נודעת חשיבות מכרעת בתפקודו.

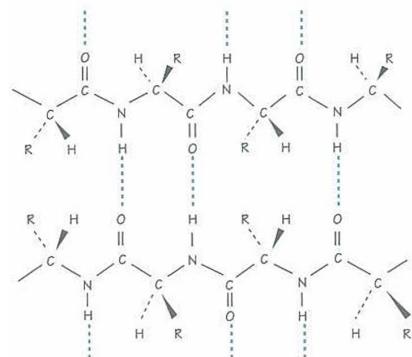
חלבונים בניוים מאבני בניין, חומצות אמיניות, הקשורות אחת לשניה בקשר פפטידי:



הקשר הפפטידי חואר במרוחקים קבועים לאורך מולקولات החלבון, והוא יכול ליצור קשרי מימן. וכן בחלבונים רבים קיים מבנה שניוני המכונה "סליל  $\alpha$ ", המיזבב על-ידי קשרי מימן בין חומצות אמיניות הנמצאות למרוחקים קבועים לאורך מולקولات החלבון, כפי שנinetן לראות באירור.

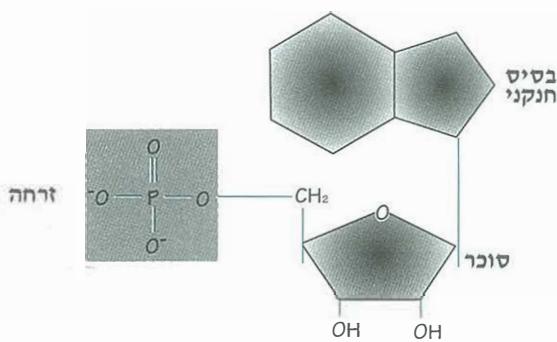


מבנה שניוני נוסף בחלבונים, המכונה "משטח כפלים  $\beta$ ", מיזבב אף הוא על ידי קשרי מימן בין קטעי שרשרות סמוכות של חומצות אמיניות.

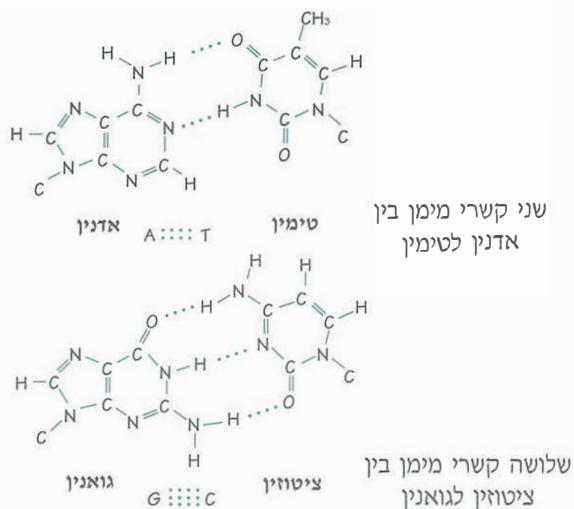


דוגמה אחרת לחיוניותם של קשרי מימן ביצורים חיים ניתן לראותה במבנה של מולקולת ה-DNA – הקוד הגנטי הקובע את רצף החומצות האמינוות בחלבון. מולקולת ה-DNA מורכבת מסליל כפול. כל סליל מורכב מבסיס חנקני, סוכר וקובוצת נוקלאוטידים, המוחברים זה לזה. כל נוקלאוטיד מורכב מבסיס חנקני, סוכר וקובוצת אורה. קיימים ארבעה נוקלאוטידים שונים: אדנין, טימין, גואנוין וציטוזין החונים זה מההרכבת הבסיס החנקני שלהם. קשרי המימן נוצרים בין הקבוצות החנקניות של שני נוקלאוטידים הנמצאים על שני גידלים שונים של הסליל הכפול. הקשרים נוצרים תמיד בין גואנוין לציטוזין ובין אדנין לטימין, כפי שניתן לראות באירור, הסיבה לכך היא ההתחمة הימית ביניהם. לא זו בלבד שהקשרי מימן אוחזים את שני הסלילים יחד, אלא הם גם מאפשרים שכפול מדויק של ה-DNA בעת חלוקת הגוף.

מבנה כללי של נוקלאוטיד

איור סכמטי של הסליל ההפוך  
של ה-DNA

הבסיסים החנקניים





## תכונות ייחודיות של המים

### המים – נוזל יוצא מן הכלל

המים מוכרים לנו כנוזל חסר טעם וריח, ולעתים קרובות אנו מתיחסים אליהם כאל דבר מובן מאליו, אך למעשה יש תכונות ייחודיות שיש להן השלכות ניכרות על תהליכי החיים על פני כדור הארץ. מה עושה את המים לכל כך מיוחדים? בשלב זה יש בידינו כלים להבנת הייחוד הזה. ניתן להסתכל על המים כאלו "קהילה" של מולקולות, שקשרי מימן הנוצרים ביןין מחזיקים אותן קרובות זו לזו. במצב הנוזלי מולקולות המים עדין מסוגלות לנوع מעט, כמו אנשים במסיבת קוקטייל צפופה, אך במצב המוצק הן יוצרות מבנה גבישי נוקשה, כאנשים היושבים במקומותיהם בתאטרון.

### בשניים קופאים הם מותפשטים...

מה קורה כשזרקים קוביית קרח לכוס מים? קוביית הקרח צפה על פני המים. לעומת זאת, אם זורקים מוצק של כל חומר אחר אל כוס שבה אותו החומר במצב נוזלי, המוצק ישקע לתחתית הocus. הציפיות של כל חומר במצב המוצק גבוהה יחסית לציפות של אותו חומר במצב הנוזלי (כשניהם באותו טמפרטורה). רק במקרים המצב הפוך – קרח, מים במצב מוצק, צפוף פחות ממים במצב נוזלי, ולכן הקרח צף על פני המים, כשהניהם נמצאים בטמפרטורת הקיפאון.

### מתוחות לקרח חמים ונעים

בחורף, כשהטמפרטורה יורדת ומגיע ל- $-3^{\circ}\text{C}$  (ומטה), השכבה העליונה של האגמים והנהרות קופאתה. כפי שראינו, ביגוד למוצקים אחרים ששוקעים בנוזל שלהם, הקרח צף על פני הנוזל שלו – המים – ואני שוקע! שכבת הקרח מבזודה בין המים שמתוחה בין האויר שמעליה, כך שהטמפרטורה של המים כמעט ואינה יורדת. תופעה זו היא המאפשרת את החיה באגמים ובנהרות באזורי קרים ב민וחו. אילו הקרח היה צפוף יותר, והוא היה שוקע. האגמים והנהרות היו קופאים בהדרגה מהקרקעית כלפי מעלה, עד לבסוף הם היו קופאים לגמרי ועם כל בעלי החיים והצמחים בהם.

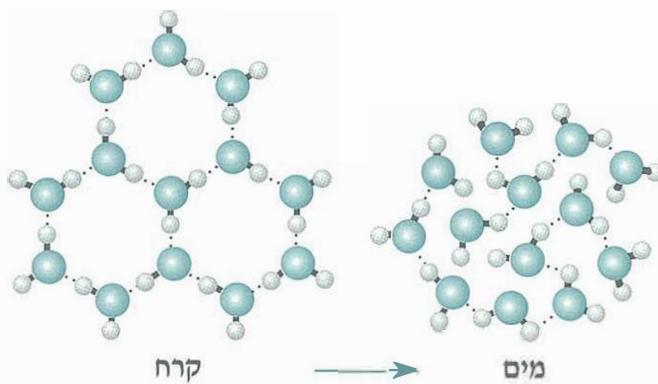
...לכל...

### מדוע הקרח, שהוא מוצק, פחוס צפוף מהנוול שלו? הכל בgel קשרי מיכון...

למදנו שכל מולקולת מים יכולה ליצור קשרי מימן עם ארבע מולקולות מים שכנות. מתרבר, שבמצב הנוזלי יכולת זאת לא מומשת עד תום, ורק כאשר המים קופאים לקרח, מתחמשת יכולת זאת במלואה. בקרח כל מולקולת מים אכן כן קשורה לארבע מולקולות מים שכנות, וארבעת הקשרים מכונים לארבע פינות של טוראדר. כתוצאה לכך מתקבל סריג תלת-ממדי פתוח של

מולקולות מים וביניהן חללים שצורתם משושה. בנוואל, לעומת זאת, לא כל מולקולת מים קשורה לארבעה אחרות, ובנוסף לכך אנרגיית התנועה של המולקולות גבוהה יחסית, ולכן קשרי מימן יכולים להתרפרק וקשרי מימן אחרים נוצרים במקומות. כתוצאה לכך המבנה אינו נוקשה, ומולקולות המים בנואל יכולות להתקרבות זו לזו ולמעשה הן "נכונות" אל תוך החללים המשושים. לסיום, במצב הנואלי של המים הארייזה של המולקולות צמודה יותר לעומת המצב המוצק, ואת הסיבה לתופעה שמים במצב נואלי צפופים יותר מהקרח (כשניהם מצויים בטמפרטורה של 0°C).

### גבישי קרח ניתכים



### הקפאה בהבקע

لتופעה הזאת של התפשטות המים בעת קיפאוןם, אשר יתרונה לחיים באגמים באזוריים קרירים ברור, עלולה להיות גם השפעה שלילית על שלמותם של תאים. התא הוא סביבה מימית, ולכן כשהטמפרטורה יורדת עד לנקודת הקיפאון, נוצרים גבישי קרח. וכי שלמדנו, הקרח מתפשט יחסית למים נואליים, והתפשטות הזה עלולה לגרום לקרירה של קרומי התאים וכתוצאה לכך להרס של התאים עצם. ככל שהקריר איטי יותר, נוצרים גבישים גדולים יותר, ועל להיגרם נזק רב יותר. יצרני המזון הקפוא, המודעים לבעה זו, משתמשים בשיטה הנكرة "הקפאה בהבקע" שהיא הקפאה מהירה מאוד, כדי למנוע היוצרות גבישי קרח גדולים ועל ידי כך הם מקטינים את הנזק לבניה התאים במוצר הקפוא. בדרך זו נשמרים המרכיב והצורה של המוצר.

...  
ללא...

### המים הם "וסת טמפרטורה סכוי" של הגוף ושל הסביבה

קשרי המימן בין מולקולות המים גורמים לכך שלמים יש ערכיהם חריגים של נקודת היתוך, חום היתוך, נקודת רתיחה, חום אידוי וחום סגול. התכונות הללו מאפשרות למים לפעול כ"וסת טמפרטורה"噫יל בסביבה הפנימית – בגוף הגוף ובסביבה החיצונית – על פני כדור הארץ. נתמקד בשתיים מהתכונות שהזכירנו: חום אידוי וחום סגול.

## החומר הסגול שמיים גבוה במיוחד

ראשית נזכיר מהו חום סגול: חום סגול הוא כמות האנרגיה שיש להשكיע או לקלוט כדי לשנות את הטמפרטורה של 1 ג' חומר ב- $C^{\circ}$ . כפי שניתן לראות בטבלה שלמטה, החום הסגול של מים גבוה במיוחד. משמעות הדבר היא שאנרגיית חום רובה מושקעת כדי לגרום לעלייה קטנה בטמפרטורה של המים, ולהיפך – המים "נפטרים" מאנרגיית חום רובה גם בעקבות ירידת קטנה בטמפרטורה.

### טבלה א2. חום סגול של כמה נזליים

החומר	נוסחה מולקולרית	חום סגול (ג'ול/גרם $C^{\circ}$ )
מים	$H_2O$	4.18
אתanol	$C_2H_5OH$	2.46
דו-אטיל אטר	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	2.32
פחמן ארבע כלורי	$CCl_4$	0.861

ברמת התאים וכן ברמת היצור החי השלים מאפשר החום הסגול הגבוה של מים לשמור על טמפרטורה קבועה יחסית למורות התנודות בטמפרטורה של הסביבה ולמרות החום הנפלט כתוצאה של המטבוליים. יש לציין, שהתמונה הזאת של המים מאפשרת ליצור חי להתחמוד עס תוספתן של כמות חום מוגבלת בלבד. כדי להתחמוד עס כמות חום גדולה יותר נדרש מגנונים נוספים. בגין האדם המנגנון העיקרי המאפשר התמודדות עס כמות חום גדולה יחסית הוא הזרעה, ועלייה נדונ ב렘ישך.

החומר הסגול הגבוה במיוחד של מים גורם לכך שהכמויות העצומות של המים על פני כדור הארץ ממתנת את שינוי הטמפרטורה הימים-יומיים. כדי להתרשם מההשפעה הממוננת הזאת, זי אם ניתן את הדעת לשינוי הטמפרטורה הקיצוניים המתרחשים באזורי בעל אקלים מדברי – ביום חמ מאד ובלילה – קר.

## גם חום האידי שמיים גבוה במיוחד

ראשית נזכיר מהו חום אידי: חום אידי הוא כמות האנרגיה שיש להשקיע כדי להפוך 1 ג' של נוזל לאז. כפי שניתן לראות בטבלה שלහן, גם חום האידי של מים גבוה במיוחד. משמעתו של חום האידי גבוהה של מים היא שתתהליך אידי של מים יש השפעת קירור ניכרת.

### טבלה אג. חום אידוי של כמה נזלים

(בנקודות הרתיחה של הסט\*)

הנזול	חום אידוי (ג'ול/גרם)
מים	2,260
מתאנול	1,100
אתאנול	854
אצטון	523
הקסאן	423
כלורופורם	247

\* אמנים בטבלה מופיעים ערכים של חום אידוי בנקודות הרתיחה, אך גם בטמפרטורות אחרות נשמר היחס בין ערכו הגבוה של חום האידוי של מים לבין ערכיו של חום האידוי.

המנגנון העיקרי המאפשר לגוף לשומר על טמפרטורה יציבה, גם כשבומס החום גבוה מאוד, הוא מנוגנון החזעה. כאשר מזעים כמו גזולה מהחומר הגוף משתחררת בעקבות ניצולו לאידי כמותה קטנה של מים מפני שטח הגוף. ובכן, כדאי לחת את הדעת לכך שהחזעה אינה מטרד כי אם הצלחה.

האפקט המרכזי של אידי מים משפיע גם על האקלים בעולם. כמות גזולה של חום מהסבירה מנוצלת לאידי מים מפני שטחים של ימים ואוקיינוסים. ללא תהליכי אידי זה האדמה הייתה מתחמתת מאוד. בגל תהליכי זה ליד מקורות מים קרייר יותר מאשר באזורי צחיחים. תופעה זו בולטת במיוחד בימים הקיץ החמים.

### ושוב, הכל בגל קשרי מיון...

ננסה לראות עתה מהו ההסבר המולקולרי לערכי הגבואה של החום הסגוליל ושל חום האידי של מים.

### חום סגוליל:

כאשר משקיעים אנרגיה חום בחומר, היא נוספת לאנרגיית התנועה של החלקיקים שלו ומתרבתת בעליית הטמפרטורה של החומר. ככל שכוחות המשיכה הפועלים בין המולקולות של החומר חזקים יותר, נדרשת אנרגיה רבה יותר כדי לנתק חלק מהקשרים ביניהם ולאפשר עלייה באנרגיית התנועה שלהם, כלומר עלייה בטמפרטורה של החומר. אם נחזר לטבלה, נראה שערכו של החום הסגוליל של מים הוא הגובה ביותר מ בין החומרים שבטבלה. למעשה מסתבר כי חוםם הסגוליל של מים גבוה מהחום הסגוליל של מרבית החומרים המוכרים כיום. כפי שידוע לנו, בין מולקולות המים פועלם קשרי מיון חזקים, ועל כן ברור לנו מדוע החום הסגוליל של מים הוא גבוה כל כך.

## חומר אידוי:

מסתבר שגם ערכו של חום האידוי של מים גבוה מאוד, ולמעשה הוא גבוה מיחס החום האידוי של מרבית החומרים הידועים. חום אידוי מבטא את האנרגיה המושקעת בניתוק כל הקשיים הבין- מולקולריים המתקיים בין מולקולות הנוזל בטפרטורת הרתיחה, אך אין מתקיימים בין מולקולות הגז. בנקודת הרתיחה של המים,  $0^{\circ}\text{C}$ , קיימים עדין קשרי מימן רבים בין המולקולות. דרישה לכך אנרגיה רבה כדי לנתק את קשרי המימן ולהפריד בין המולקולות.

### אכליים לאחים...



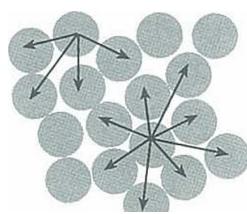
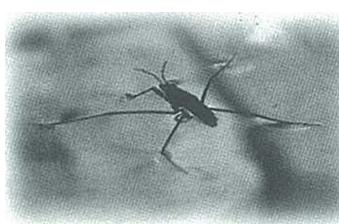
בקטע הפתייה "התכונות המופלאות של המים" האכרנו את שלוש התופעות הבאות:

- 1) התפוצצות הבקבוק בעקבות כפיאת המים שבתוכו.
- 2) ההרגשה שקר לנו כאשר רטובים, אבל לא כאשר יבשים.
- 3) ההבדל בטפרטורה של חול הים לעומת זו של המים.

נסו להסביר עתה את התופעות על סמך ידיעותיכם על קשרי מימן הפעילים בין מולקולות המים והשלכותיהם על התכונות הייחודיות של המים. ציינו איזו תכונה "יחודית מייצגת כל תופעה".

תכונות ייחודיות נוספות של מים הן מתח פנים גבוה וכושר נימיות גבוה. כפי שנלמד עתה גם תכונות אלה נובעות מקיום של קשרי מימן בין מולקולות המים.

## למים מתח פנים גבוה במיוחד



קרוב לוודאי שראיתם אי פעם חרקים המהקלים על מים בלי שהם שוכעים בתוכם. חרקים אלו אינם שוכעים אף על פי שצפיפות גופם גדולה משל צפיפות המים. גם כאשר מניחים באזירות מהדק על פני מים הוא לא שוכע. תופעות אלו מדגימות תכונה מיוחדת של פני השטח של המים. התכוונה הזאת של מים נובעת מהвойות הבין- מולקולריים הפעילים על מולקולות המים הנמצאות על פני הנוזל. מולקולות הנמצאות מתחת לפני השטח של הנוזל נשוכות במידה שווה על ידי מולקולות הנמצאות מכל עבריה, ואילו מולקולות הנמצאות על פני השטח של הנוזל נשוכות רק על ידי מולקולות הנמצאות לידן או מתחמן. הכוח המשיך את המולקולות מפני השטח אל תוך הנוזל גורם לשטח הפנים להתקוץ ולהתנגן כמו קרום. המ�� לכוחות הפנימיים שעליים יש להתגבר כדי להרחיב את שטח הפנים של הנוזל נקרא מתח פנים.

מתח הפנים הוא האנרגיה הדורשת כדי להגדיל את שטח הפנים של הנוזל נקרא מתח פנים. מתח הפנים הוא האנרגיה הדורשת כדי להגדיל

את שטח הפנים ביחידת שטח אחת. מתח פנים הוא תכונה המאפיינת את כל הנזלים, וכך

שהכוחות הפעילים בין האוטומים או בין המולקולות המרכיבות את הנוזל גדולים יותר,

מתוך הפנים של מים גבוה בשווה לנוזלים אחרים, ואת בגל קשיי המימן

החזקים המתקיים בין המולקולות שלו. לכיספית מתח הפנים הגבוה ביותר מבין כל הנזלים המוכרים. כיספית היא המתכת היחידה המצויה במצב נוזלי בטמפרטורת החדר. בין אוטומי הכספית פעילים קשרים מתכתיים, שהם ידוע חזקים יותר מכל סוג של כוחות בין מולקולרים.

האם נ שבר לכם אי פעם מד-טמפרטורה והכספית שהייתה בו נשפכה על הרצפה? אם כן, וודאי שמתסם לב להתקדרות של טיפות הכספית, זהו ביטוי חיצוני למתח הפנים הגבוה של הכספית. מתח הפנים הוא גם הגורם לצורתה הגדולה של טיפת מים. המשיכה של האוטומים או המולקולות הנמצאות על פני הנוזל אל תוך הנוזל מקטינה את שטח הפנים שלו. כתוצאה לכך מתקבלת צורה כדורית שהיא בעלת שטח הפנים הקטן ביותר ביחס לנפח נתון.



### למיים כושר נימיות גבוהה

ニמיות (קפליריות) היא יכולתם של נזלים לעלות בצינורות דקים. כושר נימיות של נוזל נקבע על פי מאין של שני סוג כוחות מנוגדים: מצד אחד, הכוחות המתקיים בין המולקולות או בין האוטומים בנוזל עצמו הנקראים **כוחות קוהזיה**, ומצד אחר הכוחות הנוצרים בין המולקולות או בין האוטומים של הנוזל לבין האוטומים של החומר שמננו מרכיב המשטח (דופן הצינור הנימי) הנקראים **כוחות אדזהיה**. נוזל הוא בעל כושר נימיות גבוהה, כאשר כוחות האדזהיה שלו חזקים מכוחות הקוהזיה שלו.

למים יש כושר נימיות גבוהה במיוחד. כאשר מכנים צינורית זכוכית דקה לתוך מים, המים עולים בצינורית. בין המים לבין האוכנית נוצרים כוחות אדזהיה הנובעים מקיים של קשרי מימן בין מולקולות המים לבין אוטומי החמצן בזכוכית (שהמרכיב העיקרי בה הוא  $O_2$ ). כוחות האדזהיה

גורמים לשוליים של פני המים להיצמד לדפנות הצינורית ובכיקול "לטפס" עליו. פני המים יוצרים צורה קעורה. כוחות הקוהזיה בין מולקולות המים לבין עצם גורמים לכך ש מולקולות מים נוספות "נגררות" אף הן כלפי מעלה. למעשה כוחות האדזהיה נוטים להגדיל את שטח הפנים של המים ולהקנות לו צורה קעורה, ואילו מתח הפנים של המים הנובע מכוחות קוהזיה נוטה להקטין את שטח הפנים של המים ולסייע את הקו הקעור תוך העלאת פני הנוזל. העליה של המים בצינורית נשכחת עד אשר כוחות האדזהיה והקוהזיה המושכים את המים כלפי מעלה מתאימים עם כוח הכבידה המופעל על המים ומושך אותם כלפימטה. ב嚷יגוד למים לכיספית יש כושר נימיות נמוך. במקרה זה כוחות הקוהזיה



מים

כיספית

בין אטומי ה캡סיפית עולים על כוחות האדזהיה בין ה캡סיפית לצוכית, ולכן ה캡סיפית אינה עולה כלפי מעלה בצינורית ופני ה캡סיפית יוצרים צורה קמורה. ראוי להציג את חשיבותו אופיו של החומר שמננו עשויה הצינורית. למיין אין כושר נימיות גבוה בצינורית העשויה מחומר שמולקולות המים אין יכולות ליצור קשרי מימן עם האטומים שלו. לכושר הנימיות הגבוה של מים יש השפעה רבה על חייהם של צמחים ובעלי חיים. מים ומינרלים עולים בצמח בצינורות העצה. המים בכל צינור יוצרים עמוד רציף לאורך כל הצמח מהשורשים דרך הגבעול או הגזע עד לעליים. עמוד המים מצליח לשמר על רציפות הוודאות לכוחות הקוזזהיה בין מולקולות המים לבין עצמן והודאות לכוחות האדזהיה בין מולקולות המים לבין צינורות העצה. דפנות צינורות העצה מורכבות מטאית שבניה מיחידות חזרות של גלקוא ( $C_6H_{12}O$ ). על כוחות האדזהיה בין המים וצינורות העצה "אחראים" קשרי המימן בין מולקולות המים לקבוצות הידרוקסיל (OH) המרבות בתאיית. השילוב של כוחות האדזהיה והקוזזהיה מאפשר קיום של עמוד רצוף ודקיק לאורך כל הצינור מקצת צמרתו של הגובה בעצים ועד שורשי. גם הדם שהוא למעשה תמייה מימית, נע בכלי דם קטנים בכוח הנימיות בלבד!

## הכלאה גולג...



הסרט "מים" \* מתוך הסדרה "עולם הכימיה" עוסק ברמת החלקיקים וברמת התופעות אחד. הסרט נבחנים מבנה מולקולת מים, הקשרים המתקיים בין מולקולות מים סמכות והתכונות הייחודיות של המים – החומר הנפוץ ביותר בעולם.

\* הסרט "מים" הוא הסרט השניים-עשר בסדרה "עולם הכימיה". הסרטה "עולם הכימיה" היא חלק מסדרות הטלקורס של פרויקט אנברג והופקה באוניברסיטת מרילנד בשיתוף עם מרכז הסרטים החינוכיים. המהדורה העברית הוכנה על ידי האוניברסיטה הפתוחה.

## 3. המים כמממס

### פעילות מספר 2: מסיס או לא מסיס



**המטרה:** בפעולות זו תשוו את מסיסותם של יוד ו\_nhochot\_gofratiyah\_bimim\_ ובממס אורגני (תרכובת פחמן).

#### חומרים:

- ✓ מים
- ✓ ספטולה
- ✓ 1,1,1 טריכלوروאתאן
- ✓ דף נייר לבן
- ✓ גבישי יוד<sub>2</sub>
- ✓ 2 קיסמים
- ✓ אבקת Nhochot\_gofratiyah\_OH<sub>2</sub>•CuSO<sub>4</sub>

#### כליים:

- ✓ 2 צלחות פטרី מצוכית
- ✓ ספטולה
- ✓ 1,1,1 טריכלרוואטאן
- ✓ אבקת Nhochot\_gofratiyah\_OH<sub>2</sub>•CuSO<sub>4</sub>

#### ועכשו לעבודה:

- 1) הניחו על השולחן דף נייר לבן והעמידו עליו את שתי צלחות הפטרី.
- 2) הוסיפו לכל אחת מהצלחות מים עד שהם יכסו את התחתית של צלחת הפטרី.
- 3) הוסיפו, באחריות, לכל צלחת כ-2 מ"ל של 1,1,1 טריכלרוואטאן (צרייה להיווצר מעין "בריכה" של טריכלרוואטאן בתוך המים) – אל תזיזו את צלחות הפטרី.
- 4) הוסיפו, באחריות, לצלחת אחת כמה גבישים של יוד לתוכה "בריכת" ה-1,1,1 טריכלרוואטאן ואותו מספר גבישים למים, ערבעו בעדינות הרבה בעארת קיסם. רשמו את תצפיותיכם.
- 5) לצלחת השנייה הוסיפו קצת אבקה של Nhochot\_gofratiyah\_OH<sub>2</sub>•CuSO<sub>4</sub> ה-1,1,1 טריכלרוואטאן וכן למים, ערבעו בעדינות הרבה בעארת קיסם. רשמו את תצפיותיכם.

## 3א. המים – ממס "אוניברסלי"

ציינו בתחילת הפרק, כי אחת מהתכונות החשובות של המיםכנואל היא כושרים לממס מגוון רחוב של חומרים, קרוב לוודאי, יותר סוגים מכל ממס אחר. על כן הם מכונים לעיתים קרובות הממס "אוניברסלי".

הגורמים לכושר ההמסה הנזכר של המים הם שניים: קווטביותן של מולקולות המים ויכולתן ליצור קשרי מימן.

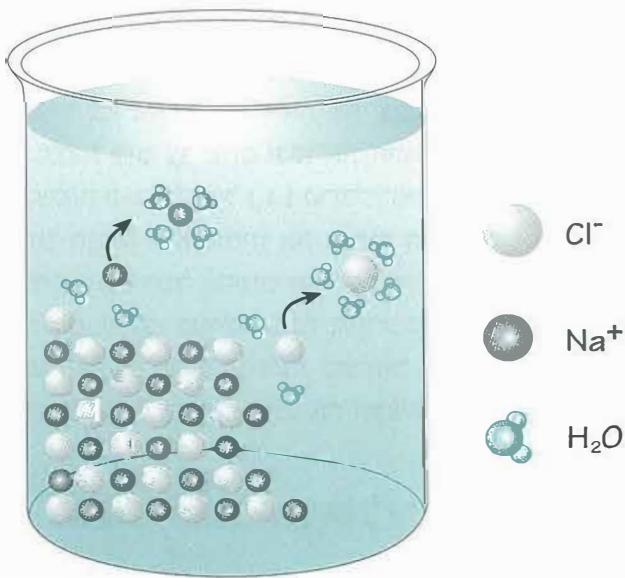
חומריים יוניים **מתמוסטים** במים. ניקח לדוגמה תרכובת יומיומית כמומלח שולחן (נטראן קלורי, NaCl). המלח הוא מבנה ענק, סרג' יוני, הבניוי מיוני נתרן חיוביים וינוי כלור שליליים. היוניים מוחזקים יחד בשל כוחות המשיכה החשמליים הפועלים בין המטען המנוגדים. הקשר בין היוניים הוא חזק ונדרשת אנרגיה רבה כדי לשבור אותו. מצד שני, מולקולות המים הקוטביות הקשורות

בניהם בקשרי מימון חזקים, כפי שלמדונו. אם נתיחס לרמת החקיקים, הרי שכשר גבישי מלח מוכנסים למים, מתחולל "מאבק" בין כוחות סותרים: מצד אחד – המשיכה בין היונים בעלי המטען הנמנוגדים בסרגיג היוני וקשרי המימון בין מולקולות מים שכנות. ומצד אחר – המשיכה החדשה המתאפשרת בין היונים למטען החקיקים הממנוגדים במולקולות המים: אטומי החמצן, ה"קצתה" השילילי של מולקולות המים, נמשכים ליוני הנתרן החיוביים, ובז' בבד אטומי המימן, ה"קצתה" החיובי של מולקולות המים, נמשכים ליוני הכלור השיליליים.

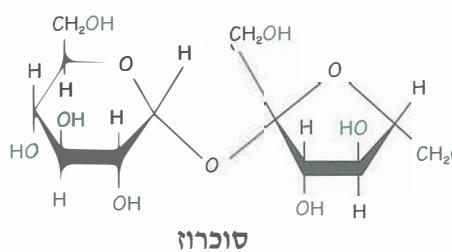
אם מלח מתמוסס במים, כמו במקרה של נתרן כלורי, זהו סימן לכך שכוחות המשיכה החדשים – בין מולקולות המים והיונים – גברו על כוחות המשיכה הקודמים – בין היונים בעלי המטען הממנוגדים בסרגיג היוני וקשרי המימון בין מולקולות מים שכנות – והיונים נפרדו זה מזה. מתקבלים יוניים "עטופים" במולקולות מים, יוניים אלה נקראים **יוניים ממויימים**. שימו לב שלאחר שיוניים ממויימים עשויים את גביש המלח, מולקולות מים אחירות מתקרבות אליו והתהלך חזר על עצמו.

אם מלח לא מתמוסס במים, כמו במקרה של כסף כלורי, זהו סימן לכך שכוחות המשיכה החדשים לא גברו על כוחות המשיכה הקודמים והיונים נשארו מגובשים.

תיאור תהליכי ההמסה של נתרן כלורי במים ברמת החלקיקים



מיס הם גם ממס מצוין לחומרים מולקולריים, בתנאי שהחומרים אלו יש יכולת ליצור קשרי מימן עם מולקולות המים. נבדוק, למשל, את הסוכר שאנו שמים בתחום או בקפה שלנו, הנקרא



סוכרוז. במולקולת סוכרוז יש קבוצות הידרוקסיל (OH-) רבות. בקבוצת הידרוקסיל, כמו במקרים, אוטם חמצן הקשור לאטום מימון, ועל כן יש בה כתוב ניכר ואפשרות ליצירת קשרי מימון. כאשרנו מוסיפים סוכר למזקה שלנו והסוכר נמס, מבחינה מולקולרית

ונוצרים קשרי מימן בין מולקולות הסוכר ובין מולקולות המים תוך שבירת קשרי המימן שהיו בין מולקולות המים לבין עצמן ושבירת הקשרים שהיו בין מולקולות הסוכר לבין עצמן. גם כאן מתחלול מעין "מאבק", שבסיומו מולקולות הסוכר נפרדות זו מזו.

כאן המקום לציון, שישנם חומרים מולקולריים שבמצבם הטהור המולקולות שלהם אינן יוצרות קשרי מימן בין עצמם, אך בתמיסה מימית הם כן מסוגלות להשתלב במערך קשרי מימן עם מולקולות מים. גם חומרים אלו יתמוססו במים, לדוגמה אצטון.

ישנם חומרים מסוימים בעלי מולקולות קווטביות, שהמים מגיבים אתן לייצור יונים, ולאחר מכן המים ממייסים את היונים שנוצרו. התגובה המתרחשת הגורמת ליינון המולקולות היא העברה של פרוטון, והחומרים נקראים בסיסים וחומצות. בחומרים אלו ובתגובהיהם נuszק בהרחבה בפרק **"בסיסים וחומצות"**.



לעומת...

חומרים המתמוססים במים נקראים חומרים הידרופיליים – "אהבי מים" (מיונית: הידרו – מים, פילי – אהוב). חומרים שאינם מתמוססים במים מכונים חומרים הידרופוביים – "יראי מים" (מיונית: הידרו – מים, פובי – ירא). הפחמים נקראים, לדוגמה, הם חומרים הידרופוביים.

לעומת...

## הידרופיליות והידרופוביות במערכות חיים

פוספוליפידים וחלבונים הינם מולקולות אופייניות לצוראים חיים. הן מולקולות גדולות יחסית, וניתן לבחין בהן גם באזוריים הידרופיליים וגם באזוריים הידרופוביים.  
 פוספוליפידים הם מרכיב חשוב בקרומי תאים ואברונים תוך תאים. למOLECOLOT הפוספוליפיד יש "ראש" הידרופילי, הכולל אטומיםALKTROSHILILIIM יחסית: חמוץן, חנקן או יון זרחתי ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) ו"זנב" הידרופובי, הכולל שרשרת הבניה מספר רב של פחמנינים ומימנים. במים מולקולות הפוספוליפידים מתארגנות כך ש"ראשיהן" חשופים למים, ואילו ה"זנבות" חבוים מהמים. המבנה הדוד-שכבותי של קרומי התאים הוא מבנה שנוצר באופן דומה ואפשר להסביר באמצעותו את תוכנות הברנות של הקרומים הבילוגיים.

נוcheinותן של קבוצות הידרופיליות והידרופוביות משפיעה גם על צורתן של מולקולות החלבונים. יש לאкор שלמבנה מולקולות החלבון יש חשיבות מכרעת בתפקוד החלבון. כל החלבונים במערכות חיים נמצאים ב מגע עם מים. הקיפול של החלבונים לצורה המיויחדת והאופיינית להם נגרם מצד אחד על ידי קשרי המימן הפועלים בין האזוריים ההידרופיליים בחלבון לבין מולקולות המים שמסביבו, ומצד אחר על ידי כוחותondo-ולס בין אזוריים הידרופוביים שונים בחלבון. האזוריים ההידרופיליים בחלבון מצויים בסביבה מימית מופנים, על כן, כלפי חוץ, ואילו האזוריים ההידרופוביים "קבורים" בתוך המOLECOLA.

## הלאה גו...go...



אתם בוודאי יודעים ששמן ומים אינם מותערבים זה בזה. זה עתה למדנו על תמייסות. בתמייסות המולקולות של המומס מפוארות בין המולקולות של הממס. אך קיימות גם מערכות פיזור נוספת, טבעיות וסינטטיות: אמולסיה (תערובת של שמן במים או של מים בשמן) היא דוגמה אחת לכך. בשעה שבתמייסה הפיזור הוא ברמה מולקולרית, הרוי שבאמולסיה הפיזור הוא בטיפות. ראיינו שאת הפיזור בתמייסה מסבירים על ידי קיומם של כוחות משיכה בין-מולקולריים. מערכות הפיזור האחרות, לעומת זאת, מתאפשרות על ידי חומר פעיל שטח.

הסרט "על שמן ועל מים"<sup>\*</sup> מציג מערכות פיזור שונות, ההבדלים ביןיהן והישומים שלהם בתחום רפואי, חקלאות, תעשיית מזון וкосמטיקה.

\* הסרט "על שמן ועל מים" נמנה על סדרת "מה בכימיה". הסדרה "מה בכימיה" הופקה באוניברסיטה העברית בירושלים על ידי המרכז האוניברסיטאי למולטימדיה בשיתוף עם המרכז להוראת המדעים.

## ב. על ממס ומומס

בתחילת הסעיף ציינו שהמים נחשבים לממס "אוניברסלי" בשל יכולתם ליצור **תמייסות** מימיות עם מגוון רחב של חומרים. אבל מהן בעצם תמייסות? האם תמייסות הן נזילות בהכרח? והאם נזילות פירושו מימיות דזוקא?

**תמייסה** היא תערובת אחדית (הומוגנית) של שני מרכיבים או יותר.

**כלכל:** ממש הוא המרכיב שמספר הצורונים שלו ( מולקולות או יוניים ) גדול יותר.

**מומס** הוא המרכיב שמספר הצורונים שלו קטן יותר.

מום מומס

### שימוש לבו:

הגדרות של ממס ומומס הינה שירוטיות ונקבעות לנוחיות הדיוון. מיתכן תמייסה שבה הנסיבות היחסיות של הממס והמומס יהיו כה דומות, עד כי "חלוקת התפקידים" כבר לא תהיה ברורה.



בלימודיכם הקודמים נתקלתם בעיקר בסוג אחד של תמייסות שבחן המומס היה חומר במצב מוצק, והממס היה נוזל, לרוב מים. אמנים אלו הן התמייסות הנפוצות ביותר, אך על פי ההגדרה, קיימות עוד אפשרויות. תיtocן, למשל, תערובת אחדית של גזים. אין דוגמה טובה יותר לתמייסה זאת מאשר האויר שאנו נשמים, שבו חמצן, פחמן דו-חמצני וгазים נוספים מומסים בחנקן.

תמיישה מסווג אחר היא תמיישה נואל בנואל. דוגמה מוכרת מסווג זה היא הבנזין, שהוא תערובת של פחמיינים. ואיזו מין תמיישה היא מי סודה? זהה תמיישה של גז – פרחמן דו-חמצני בנואל – מים. ולבסוף, עד כמה שהדבר עשוי להיראות מוזר, ישנן גם תמיישות מוצקות. כשאומרים על חycz'ש שהוא עשוי מכף "טההור" הוא עשוי למעשה מממס (נתך) של נחושת המומסת בכף. לאחר שראינו שקיימות תמיישות מסווגים שונים, נזהור עתה ונתמקד בתמיישות המימיות, משום שתגوبות כימיות המאפיינות חיים מתרכשות בהן.

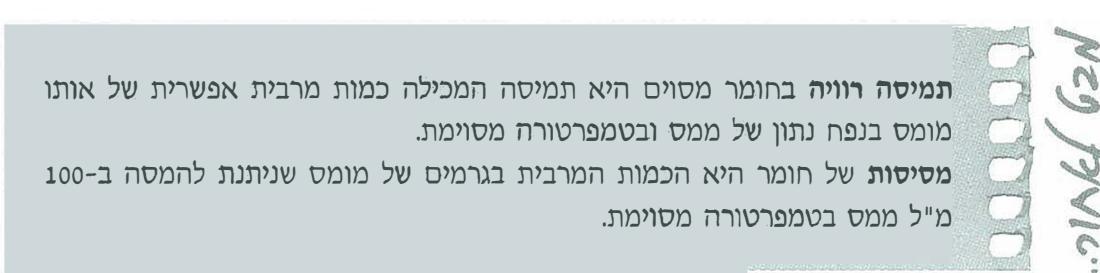
### תמיישות מיצירות

נעסוק בתמיישות מימיות שניי סוגים: תמיישות שבahn המומס הוא מוצק ותמיישות שבahn המומס הוא גז.

### תמיישות של מוצקים במים

**כמה מלח ניתן להמיס בכוס מים?**

מה היה קורה אילו היינו לוקחים כוס ובה 100 מ"ל מים ומוסיפים לה קצת מלח שולחן ומערביים? המלח היה נמס. אבל אם היינו ממשיכים להוסיף עוד ועוד מלח, לבסוף היינו מגיעים לנקודת שבת המלח מפסיק להתמוסס, במצב זה התמיישה הגעה לרוויה.



### טבלה א4. מסירות של כמה מוצקים ב-100 מ"ל מים ב- $20^{\circ}\text{C}$

המוצק	כמות (ג)
натרן כלורי	35.9
סידן כלורי	74.5
אשלגן כלורי	34.2
אשלגן חנקתי	31.6
כסף חנקתי	216
כסף כלורי	~ 0.0002
סוכרוז	204
פרפין	לא מסיס

## אכגון אגם...

התבוננו בטבלה, מצאו מהו החומר בעל המסיטות הגבוהה ביותר? מהו החומר בעל המסיטות הנמוכה ביותר?



פרק 6.2  
...  
...

**חומר קל תמס:** חומר שכמות גדולה יחסית ממנו מתומססת במים.

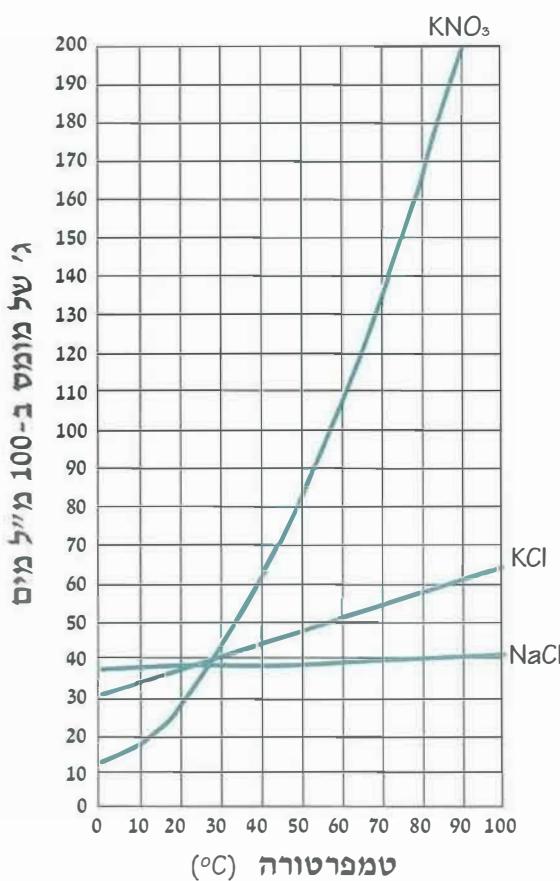
**חומר קשה תמס:** חומר שرك כמות קטנה מאוד ממנו מתומססת במים.



אם היינו ממיסים 31.6 ג' של אשלגן חנקתי ב-100 מ"ל מים ב-20°C, היינו יוצרים, למעשה, תמיישה רוויה. אנחנו כבר יודעים שלא ניתן להמס כמות נוספת של אשלגן חנקתי בתנאים אלו. אך נוכל להמס כמות נוספת של אשלגן חנקתי, אם נחמס את התמיישה. זאת משום, שמסיטותו של אשלגן חנקתי עולה עם הטמפרטורה. תופעה זו נcona לא רק לגבי אשלגן חנקתי, **מסיטותם של מרבית המוצקים עולה עם עליית הטמפרטורה.**

הדרך הטובה ביותר להציג את התלות של המסיטות בטמפרטורה, היא באמצעות גרף הנקרא **"עקומת מסיטות"**. הגרף מבטא את מספר הגרים של מומס המומסים ב-100 מ"ל של מים ביחס לטמפרטורה.

**גרף אן.**  
**עקומות מסיטות**  
**של מלחים אחדים**



**שימוש לבו:**

כל נקודה בעקבות המיסיות מייצגת תמייה רוויה בטמפרטורה מסוימת.



### מה נוכל ללמידה מהעקבות...

כבר במבט ראשון ניתן לראות, שעקבות המיסיות של נתרן כלורי היא כמעט אופקית. צורה זו של העקומה משקפת את העובדה שמשיסותו של נתרן כלורי כמעט ואינה מושפעת מהשינויים בטמפרטורה של התמייה. במקרה זה חימום לא "ישכנע" כמוות נוספת של מלח להתחמום. לעומת זאת, עוקמות המיסיות של אשלגן חנקתי עולה בתליות עם העליה בטמפרטורה. צורה זו של העקומה משקפת את העובדה שהמיסיות של אשלגן חנקתי מושפעת השפעה רבה מהשינויים בטמפרטורה.

*אנו שמחים...*



התבוננו בעקבות וענו על השאלות הבאות:

- 1) נתחו את עוקמת המיסיות של אשלגן כלורי.
- 2) איך משלשת המלחים הוא בעל המיסיות הגבוהה ביותר (ב- $20^{\circ}\text{C}$ ) (ב- $60^{\circ}\text{C}$ )?
- 3) באיזו טמפרטורה יש לנתרן כלורי לאשלגן כלורי אותה מיסיות?
- 4) מה יקרה אם נקרר תמייה רוויה של אשלגן חנקתי?
- 5) כמה ג' של אשלגן חנקתי ישקוו אם נקרר תמייה רוויה של אשלגן חנקתי (שהומס ב- $100^{\circ}\text{C}$  מ"ל מים) מ- $80^{\circ}\text{C}$  ל- $20^{\circ}\text{C}$ ?
- 6) הציעו דרך להפרדת תערובת של נתרן כלורי ואשלגן כלורי שהומסו יחד.

### פעריות מספר 3:

### תלות מיסיות של מוצקים בטמפרטורה



**המטרה:** לפעריות זו שני חלקים:

בחלק א' תקבעו את מיסיותו של המלח  $\text{CaCl}_2$  (אשלגן כלורי) בטמפרטורות שונות. בחלק ב' תקבעו את מיסיותו של מלח בלתי ידוע בטמפרטורות שונות, ותזהו אותו על ידי השוואת עוקמות המיסיות שקיבלתם בניסוי עם עוקמות מיסיות המופיעות בספרות.

**חומרים:**

- ✓ המלח אשלגן קלורטי  $KClO_3$
- ✓ מים
- ✓ מלח לא ידוע
- ✓ קרח

**כליים:**

- ✓ ארלנמייר של 100 מ"ל
- ✓ מד טמפרטורה
- ✓ פקק גומי בעל חור אחד
- ✓ בוחש מגנטי קטן
- ✓ ספטולה
- ✓ פלטת חימום + ערבול
- ✓ כוס כימית של 250 מ"ל
- ✓ משורה של 10 מ"ל

**ועבשו לעובודה:****חלק א':**

- 1) השחילו את מד הטמפרטורה לחור שבפקק הגומי והתחאימו את מיקומו, כך שכאשר פוקקים את האrlenמייר קצה מד הטמפרטורה לא יגע בתחתית האrlenמייר, אך יהיה בגע עם הנזול שבתוכו.
- 2) הכינו אמבט מי קרח בכוס הימית.
- 3) הכנו טבלה לרשום תוצאות הניסוי שתכלול את העמודות הבאות: מסת התמיסה, טמפרטורת ההתגשות, ריכוז התמיסה.
- 4) הכניסו את הבוחש המגנטי באווירות לאrlenמייר וסקלו את המערכת הכללת: arlenמייר, מד טמפרטורה, בוחש מגנטי ופקק.
- 5) שקלו כ-5 ג' של  $KClO_3$ , הכניסו אותו לתוך arlenמייר, שקלו את המערכת כולה וקבעו את המסנה המדעית של המלח על ידי הפחיתה מסת המערכת. רשמו לפניכם את מסת המלח.
- 6) הוסיפו 10 מ"ל מים לאrlenמייר, קבעו את המסנה המדעית של התמיסה ורשמו אותה בטבלה.
- 7) העמידו את arlenמייר על פלטת החימום. הפעילו באווירות את הערבול ומקמו את arlenמייר כך שהערבל המגנטי לא יפגע במד הטמפרטורה. חמו את arlenמייר ותכולו עד אשר כל המלח מתמוסס.
- 8) העבירו את המערכת לאמבט מי קרח שהכנתם. צפו בתמיסה במהלך הקירור ורשמו בטבלה את הטמפרטורה שבה מופיע הגביש הראשוני.
- 9) הוסיפו 2 מ"ל מים, קבעו את המסנה המדעית של התמיסה, רשמו אותה וחזרו על שלבים 7,8.
- 10) הוסיפו 8 מ"ל נוספים של מים, קבעו את המסנה של התמיסה, רשמו אותה וחזרו על שלבים 7,8.
- 11) הוסיפו 5 מ"ל נוספים של מים, קבעו את המסנה של התמיסה, רשמו אותה וחזרו על שלבים 7,8.
- 12) הוסיפו 5 מ"ל נוספים של מים, קבעו את המסנה של התמיסה, רשמו אותה וחזרו על שלבים 7,8.
- 13) הוסיפו 19 מ"ל נוספים של מים, קבעו את המסנה של התמיסה, רשמו אותה וחזרו על שלבים 7,8.

**لسיכום:**

- 1) חשבו את ריכוזי התמיסות הרוויות (גרם מלח ל-100 גרם ממס) בכל אחת מהטמפרטורות והוסיפו נתונים אלו לטבלה שלכם.
- 2) סרטטו גרפ' של ריכוז המומס נגד הטמפרטורה.

**חלק ב':**

- 1) חזרו על כל מהלך העבודה שביצעתם בחלק א' עם המלח הלא ידוע.
- 2) ציירו עקומת מסיסות על פי תוצאות הניסוי.
- 3) זהו את המלח על ידי השוואת עקומת המסיסות שקיבלתם לעקומות המופיעות בספרות.

**ליונים בתמיסה מימית יש אופי מיוחד**

כשמימיים תרכובת יונית מוצקה במים, היונים נפרדים. היונים הנפרדים בתמיסה הם ניידים בניגוד ליונים בגביש המוצק. אם נחבר מעגל חשמלי לתמיסה, היונים אלו יוכל לנעו אל האלקטרודות בעלות המטען הנגדי – האניונים לאנודה והקטיונים לקטודה, והתמיסה תוליך חשמל. בשלב זה עשויה להתרחש אלקטROLיזה של התרכובת והיא תפרק ליסודותיה.

חומרים יוניים שתמיסותיהם המימיות מוליכות נקראים **אלקטROLיטים** – ניתנים לפירוק על ידי חשמל. לעומת זאת, חומרים מולקולריים שאינם נפרדים ליונים בתמיסה, למשל סוכר, אינם מוליכים חשמל, ועל כן הם נקראים **לא-אלקטROLיטים**.

**יוניים חיוניים ליוצרים חיים**

לכ לך...

בתאים של בעלי חיים וצמחים מצויים כ-40 יסודות המצויים בכמותיות הגדלות ביותר ביוטה היותרם פחמן, מימן, חמצן וחנקן. יסודות אלו בונים את המולקולות הגדלות והמורכבות של הפחמימות, החלבונים, הליפידים והויטמינים וכל אלה יחד הם "המרכיב האורגני" של הגוף. "המרכיב האורגני" והמים מהם 96% מסת הגוף של יצורים חיים. כ-4% הנוטרים נחשבים ל"מרכיב האנאורגני" המוכר בשם מינרלים. המקור של החומרים האנאורגניים הוא במחצבים המצויים בסלעים המכילים את פניו כדורי הארץ (מינרל – מחצב). חשוב לדעת שאטנס נהגים לבנות את המינרל לשם היסוד: סידן, זרחן, נתרן וכדומה, אך רוב המינרלים בגוף של יצורים חיים מצויים בצורה יונית. ככל מקורה, כדי ליצורים חיים יכולים לקלוט את המינרלים, יש לספק לגוף את המינרלים בצורה יונית. היונים נחוצים להתקפות תקינה של הגוף ומשתתפים בתהליכים שונים של חילוף חומרים. את היונים נדרושים לגוף מחלקים לשתי קבוצות לפי הכמות הנצרכת מכל אחד מהם:

- א. מקרומינרלים – מינרלים הנצרכים בכמותות גדולות יחסית: סידן, זרחן, נתרן, כלור, אשלגן, מגנזיום וגופרית.
- ב. מיקרומינרלים – מינרלים הנצרכים בכמותות מזעריות: ברזל, יוד, מנגן, נחושת, אבץ וקובלט.

הכמות הנצרכת של המינרל אינה מלמדת על דרגת חשיבותו לגוף.

**הפעולות העיקריות של היונים בגוף האדם הן:**

- ויסות הלחץ האוסmotי של נוזלי הגוף, לשם כך דרושים בעיקר יוני נתרן  $\text{Na}^+$ , אשלגן  $\text{K}^+$  וכלו  $\text{Cl}^-$ .

- ויסות יחסית חומצה-בסיס של נזלי הגוף, לשם כך דרושים יוני קלור- $\text{Cl}^-$ , יוני מימן זרחתי  $\text{HPO}_4^{2-}$ , יוני מימן פחמתי  $\text{HCO}_3^-$ .
- שמירה על מאzon הIONS בגוף הקשור למאzon המים בגוף, לשם כך דרושים יוני נתרן  $\text{Na}^+$ , אשלגן  $\text{K}^+$ , סידן  $\text{Ca}^{2+}$  ומגנזיום  $\text{Mg}^{2+}$ .
- הפעלת שרירים והובלת גירויים עצביים. בפעולות זו משתתפים יוני סידן  $\text{Ca}^{2+}$ , נתרן  $\text{Na}^+$  ואשלגן  $\text{K}^+$ .
- בניית העצמות והשיניים, לשם כך דרושים יוני סידן  $\text{Ca}^{2+}$ , מגנזיום  $\text{Mg}^{2+}$ , פלאור  $\text{F}^-$  ויון זרחתי  $\text{PO}_4^{3-}$ .
- השפעה על קצב תגובות בתא על ידי זירוא או עיכוב של מערכות אנזימטיות. לשם כך דרושים יוני מגנזיום  $\text{Mg}^{2+}$ , ברזל  $\text{Fe}^{2+}$ , נחושת  $\text{Cu}^{2+}$ , מנגן  $\text{Mn}^{2+}$ , אבץ  $\text{Zn}^{2+}$  ומוליבדן  $\text{Mo}^{2+}$ .
- חלק מהמרקמים היוון משמש מרכיב של האנזים, במקרים אלו הוא מכונה קופקטור.
- רכיב בתרכובות בעלות חשיבות פיזיולוגית רבה, כגון:  $\text{HPO}_4^{2-}$  ב-ATP ובחומצות גרעין. ברזל בהמוגלובין, יוד בהורמוני בלוטת המgan וקובלט בויטמין  $\text{B}_{12}$ .

בנזלי הגוף יש מאzon של יונים. הפרת האיזון עלולה להיגרם כתוצאה ממיחסור ביונים הדרושים לגוף או כתוצאה מעודף שלהם. נסקור דוגמאות של כמה מחלות הנגרמות בשל היעדר איזון בגוף הנובע ממיחסור באחד מהIONS החשובים לתפקוד תקין של הגוף או בשל עודף של יונים.

**מחסור בסידן:** הסידן הוא הIRON הנפוץ ביותר בגוף האדם. רוב הסידן בגוף מרוזם בעצמות. חוסן של העצמות קבוע במידה רבה על ידי ציפויו הסידן בהן. עצמות העובר לפני הלידה הן גמישות ורכות. בשבועות הראשונים לחילוק החל תהליך מואץ של הסטיידות העצם, ותהליך זה נמשך, אם כי בקצב שונה, במשך כל השנים. מחסור בסידן בשלב הינקות והילדות גורם למחלת הרכתת המתבטאת בעצמות רכות ועיותים במבנה השלד. אצל אנשים מבוגרים יורדת כושר הספיגה של סידן מהמזון על ידי המעי ומהשתן על ידי הכלאות. כתוצאה לכך יורדת רמת הסידן בדם. ריאדה זו מפעילה ברקמת העצם תאים הגורמיים לנדייה של סידן מהעצמות אל הדם. כתוצאה לכך דופן העצמות הופכת דקה יותר, וחחללים בעצם גדלים במידה ניכרת. החללים הללו הקנו למחלה את שמה – אוסטיאופורוזיס (אוסטיאו – עצם, פורוסי – נקבובי). אצל אדם הסובל מהמחלה העצומות נעשות פגימות יותר ונותרות להישבר בקלות ניכרת. החללים הללו היללו מחלה את שמה – אוסטיאופורוזיס שכיה בקשר נשים לאחר גיל הפוריות יותר מאשר בגברים, ותופעה זו קשורה בהפסקת ייצור ההורמון אסטרוגן הגורם, קרוב לוודאי, לפגיעה בייצור ויטמין C, הדורש לשיפגת הסידן מהמעי אל הדם.

**מחסור בברזל:** רוב הברזל בגוף מצוי בהמוגלובין, נשא החמצן בדם. ההמוגלובין הוא צבען (פיגמנט) המהווה את המרכיב העיקרי של תא הדם האדום ומקנה לדם את צבעו

האדום. מחסור בברזל גורם להאטה בייצור ההמוגולובין. בתנאים כאלה נוצרים פחות תאדים אדומים, ואלה שנוצרים הם קטנים וחיוורים יותר. מצב זה של מחסור בהמוגולובין נקרא אנמיה. אצל בני אדם הלקרים באנמיה מוגלים קשיים בכושר הובלת החמצן במאצז, והຕופעה ניכרת באיברים הרגישיים לחוסר בחמצן: במוח, בשירים ובשריר הלב. המחסור בחמצן בא לידי ביטוי בתחום עייפות, סחרחות, טשטוש הראייה, קוצר נשימה ודףיקות לב מוגברות. דפיקות הלב המואצות נובעות ממאמץו של הלב להשלים את חוסר החמצן שבركמות על ידי הגברת קצב פעולתו והזרמה מהירה יותר של הדם לגוף. לסובלים מאנמיה יש צבע פנים חיוור.

**מחסור ביוד:** היוד מהוווה מרכיב של הורמון התירוקסין הנוצר בבלוטת המגן (тирואיד). התירוקסין הוא ההורמון העיקרי המօססת את קצב חילוף החומרים בגוף. אצל ילדים הסובלים מחסור ביוד נפגעת התפתחות הגוף והשליטה, ומעוכבת התפתחות המינית. העור מתיבש והשיער נעשה שביר. תופעות אלה נקראות קרטיניזם. הסימן הבולט למחסור ביוד הוא בלוטת מגן מוגדלת, תופעה הנקראת זפקת. בגל הירידה ברמת התירוקסין בדם היפופיזה מפרישה הורמון להמרצת הפעולות של בלוטת המגן. בהשפעת ההורמון זה מתרבים התאים של רקמת הבלוטה אך ההורמון תירוקסין אינו יכול להיווצר בשל מחסור ביוד. יש אזוריים רבים בעולם שבhem המים והקרקע דלים ביוד. כדי למנוע קרטיניזם ופקת נהגים בארצות רבות להוסיף למלח הבישול כמויות זעירות של מלחי יוד.

**עודף של יוניים:** היוניים המעורבים בפעולות פיזיולוגיות נדרשים בכמות קטנות יחסית. כמות עודפת שלהם עלולה לגרום להרעלת שיכולה אף להסתיים במות. כל המיקרומינרלים יכולים להיות ארסיים, כאשר הם מצויים בגוף בכמות מופרצת. גם עודף של יוניים מקבוצת המיקרומינרלים עלול להזיק. עודף נתרן, לדוגמה, עלול לגרום ליתר לחץ דם והגברת של הפרשת שתן. עודף של זרחן פוגע בספוגה של סיידן מהמעי, וכתוצאה לכך גורם לתופעות פיזיולוגיות האופייניות למחלה של מחסור בסידן.

## תמייסות של גזים במים

בין החומרים החשובים מבחינה ביולוגית מצויים חומרים שהם גאים בטemptrotת החדר. אלו הם החמצן, הפחמן הדו-חמצני והחנקן. חומרים אלו בנויים ממולקולות שאין יכולות ליצור קשרי מימן עם מולקולות המים, ולכן אין להתפלा שהם מסיסים במים בכמות עצירות בלבד, כפי שניתן לארונות בטבלה 5. נזכיר בתחלת המשנה נפרצים קשרי מימן בין מולקולות המים ונוצרים קשרים חלופיים בין מולקולות המים וחלקי המומס. למולקולות המרכיבות את החומרים שהזכירנו "אין מה להציג" למים כתחליף לשורי המימן, ועל כן מסיסות בהם כה נמוכה.

**טבלה א5.** מסיסות של כמוה גזים ב-100 g של נים ב- $25^{\circ}\text{C}$ \*

הגז	כמויות (ג')
חמצן	0.0039
חנקן	0.0017
פחמן דו-חמצני	0.1449

\* כשלחץ הכלול של הגז ואדי המים הוא 1 אטמוספרה.

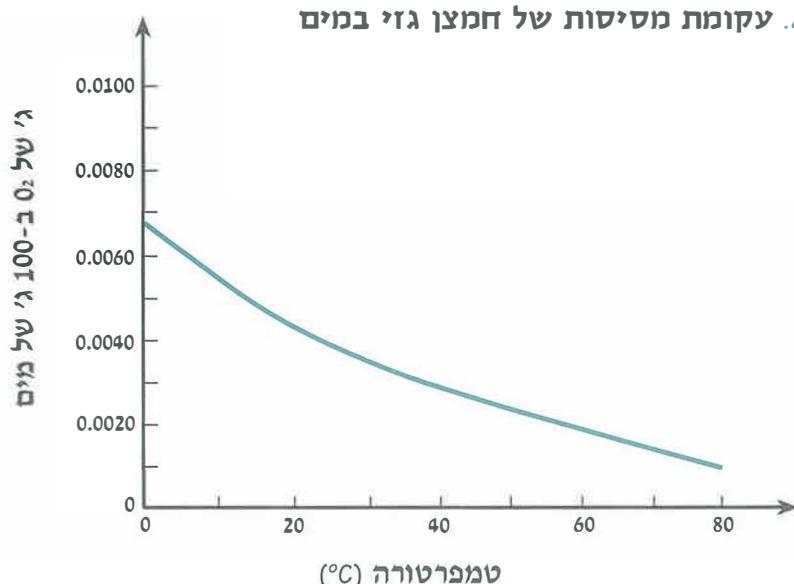
### הסעת חמצן בדם

ראינו שמסיסות של חמצן במים נמוכה למדי. אם כך, נשאלת השאלה איך מושע חמצןaggi, החיווני כל כך לתהילך הנשימה, בנוזל הדם? כדיוע, בدم נמצא חלבון הנקרא המוגלבין. המוגלבין הוא חלבון מסוים (משמעותו מה...). מולקולת החלבון קשורת אליה את החמצן ומקילה בכך על הסיטהו. המוגלבין משמש, למעשה, כנשא של חמצן בדם.

...כל אלה...

### תלות מסיסות הגזים בטמפרטורה

ראינו שמסיסותם של מוצקים רבים עולה עם עליית הטמפרטורה. גזים מתנהגים באופן שונה: **מסיסותם של הגזים יורדת עם עליית הטמפרטורה.** בשל חטיבתו של החמצן המומס במים לחיהם של היוצרים החחיים בהם נתבונן בעקבות המסיסות של חמצן במים, המופיעה להלן:

**גרף א4.** עקומה מסיסות של חמצן גזי במים

הערה: העקומה מתיחסת למים הנמצאים ב מגע עם אויר.

ניתן ללמידה מהעקומה שיש קשר הדוק בין מסיסותו של החמצן במים לבין הטמפרטורה שלהם, מסיסותו יורדת כמעט למחצית, כשהטמפרטורת המים עולה מ- $25^{\circ}\text{C}$  ל- $0^{\circ}\text{C}$ .

### השפעת הטמפרטורה על החיים במים

רוב היצורים החיים (היצורים האירוביים) זוקקים לאספקה סדירה של א' החמצן כדי לשרד. מקור החמצן של יצורים החיים במים הוא החמצן המומס בסביבתם המימית. לדגים, לצפרדעים ולחיידקים אירוביים דרושה אספקה סדירה של חמצן. חלק מהחמצן, מומס ישירות מהאוויר מעל המים. כמוות נוספת של חמצן מתקבלת מצמחי מים י록ים, הפלטים חמצן בתהליך הפוטוסינטזה. ראננו שלטמפרטורת המים יש השפעה ניכרת על מסיסות החמצן בהםם. דגים עלולים למות, אם כמוות החמצן המומס במים יורדת מתחת לערך מסוים. יוצא מכך, שטמפרטורת המים משפיעה על אפשרות הקיום של דגים במים. למעשה, הבעה חמורה עוד יותר. דגים הם פויקילוטרמיים, ועל כן אם טמפרטורת המים עולה, גם חום גופם של הדגים. כפי שעוזר לנו בפרק "דינמיקה של תגבות", הקצב שבו מתרחשות תגבות עולה עם העלייה בטמפרטורה. מכאן, ככל שטמפרטורת המים עולה, הקצב התגבות המטבוליות בגוףו של הדג עולה אף הוא, ועל כן צrichtת החמצן שלו עולה. הדבר נכון גם לגבי היצורים האחרים החיים במים. במהלך קיז חם התחרות על החמצן גוברת, משום שהטמפרטורה הגבוהה יחסית גורמת לכך אחד לעלייה בצריכת החמצן, ומצד אחר – לירידה בריכוזו במים. כמוות החמצן המינימלית הדרישה לקיום של בעלי חיים משתנה מבעל חיים אחד לשני. היות שכמות החמצן המומס במים תלואה בטמפרטורה של המים, הטמפרטורה המקסימלית המאפשרת חיים משתנה גם היא מבעל חיים אחד לשני. דג הקרפינו, לדוגמה, יכול להתקיים במים בטמפרטורה שאינה עולה על  $32^{\circ}\text{C}$ , ואילו דג השמק לא יכול לחיות במים שהטמפרטורה שלהם גבוהה מ- $15^{\circ}\text{C}$ !

...למה?

### לכדי שאלות...

- 1) מדוע רצוי להכין צמחי מים לאקווריום שבו חיים דגים?
- 2) כאמור, דגים הם פויקילוטרמיים, ולכן יש להקפיד על טמפרטורה קבועה של המים באקווריום. מה עולות לקרות אם התרמוסטט מתקלקל, וכתוצאה מכך טמפרטורת המים עולה בכמה מעלות?
- 3) מפעלים רבים משתמשים במים לקירור בתהליכי הייצור השונים. מים אלה זורמים לאחר מכן לנחלים שבקרבתם. מדוע נחשבים מים אלה כ"מאהס" למרות שאינם מכילים חומר רעליל כלשהו?



עוד בעניין הטמפרטורה: תמיisha אחרית המוכרת לנו מחיי היום-יום היא פחמן דו-חמצני המומס במים. במי סודה ובمسקאות תוססים אחרים מומס הגז פחמן דו-חמצני. נוכל להשתמש במידע שרכשנו לגבי תלות מסיסות הגאים בטמפרטורה בובאנו להכין משקה מוגז במכשור ביתי. ככל שהמשקה קר יותר, נוכל להמס בו כמות גדולה יותר של פחמן דו-חמצני, ולהיפך סודה חמה מאבדת את הגז ולכן אינה טעימה...

## תלות מסיסות הגאים בלחץ

מסיסותם של גאים במים, בניגוד למסיסותם של המוצקים, תליהה בעוד גרים בלבד הטמפרטורה. מסיסות הגאים במים תליהה גם בלחץ: **מסיסות הגז נמצאת ביחס ישיר ללחץ של הגז שמעל הנוזל.** אם לחץ הגז מוכפל, כמות הגז שתומס בו תוכפל אף הוא. כאשר עוסקים בתערובת של גאים, מסיסותו של גז מסוים מתוך התערובת נמצאת ביחס ישיר ללחץ החלקי של גז זה (תלות המסיסות של גז בלחץ החלקי של אותו גז נסicha על ידי הכימאי ויליאם הנרי William Henry) ונקרואת על שמו – **חוק הנרי.** לחץ החלקי של גז מוגדר כתרומותו היחסית של אותו גז ללחץ הכללי. האויר הוא דוגמה לתערובת של גאים. בגובה פני הים הלחץ הכללי של האויר על פני המים הוא אטמוספירה אחת, והלחץ החלקי של החמצן הוא כ-0.2 אטמוספירות (שכן החמצן מהווה כ-20% מהאויר).



הזכירנו כמה תמייסות המוכרות לנו מחיי היום יום ונסיים בתמיישה מוכרת נוספת – "חגיגת" יותר – השמנינה. כשפותחים בקבוק של שמנינה נשמע פיצוץ קל והמשקה מבבע ותוסס. על מה כל ה"רעש"? פתיחת הבקבוק הורידה בבת אחת את הלחץ שהיא מעלה הנוזל בבקבוק ובתנאים החדשים שנוצרו מסיסות הגז פחתה, ועוזפי הגז השתחררו בטcs רב רושם.

## הסכנות שמתהנת לפני המים

במשך השנים חלה התפתחות טכנולוגית שאפשרה לאדם לרדת לעומק הים. ספורט העלילה, למשל, הפך פופולרי, אך הוא מחייב להבין את ההשפעות של תנאי לחץ גבוה השוררים במקומות עמוקים על גוף האדם. כשאדם צולל מתחת לפני המים, הלחץ שמסביבו הולך וגדל עליליה של אטמוספירה אחת בכל ירידה של עשרה מטרים לעומק). בגוף האדם יש כמה חללים של אויר. הגדולים והחשובים שבהם הם הריאות. מכיוון שקל לדחוס אויר (להקטין את הנפח על ידי הפעלת לחץ), הר噫 שעלייה בלחץ עלולה להקטין במידה ניכרת את נפח הריאות ובכך לגרום להתמוותותן. לכן, אדם הצולל למקומות חיציב להגן על ריאותיו מפני התמוותות. כדי למנוע התמוותות הצוללים צריכים לשאוף אויר הנמצא בלחץ השווה ללחץ הסביבה. ואכן, הבלונים

...על כל...



שהצולנן נושא עמו מצוידים בוסת, שתפקידו לספק לצולנן אויר הנמצא בלחץ הזרה ללחץ החיצוני, כך שנפח הריאות יישמר. כתוצאה מכף בצלילה עם בלוני אויר, הדם הזורם בנימי הריאות חשור לאוויר בלחץ גובה מהנורמלי. עובדה זו עלולה לעורר בעיה, אם לאחר שהות ממושכת מתחת לפני המים הצולנן עולה מהר מדי אל פניהם. כפי שאנו כבר יודעים, המסיסות של גזים בנזול תליה בלחץ שਮופעל על הנזול. מסיסותו של הגז עולה עם העלייה בלחץ. הויאל וצולנן הנמצא מתחת לפני המים נשם אויר דחוס, מתמוססת בנזולי גופו כמות גדולה יחסית של גזים. העלייה מהירה אל פניהם מורידה בביטחון את לחץ האויר לאטמוספירה אחת. היות שתחת הלחץ החדש כמות קטנה יותר של גאים יכולה להתמוסס, יש "בריחה" של גאים מהתמייה, ככלומר מנוזלי גופו של הצולנן. הדבר דומה לפתחתו של בקבוק משקה Tosse... הגאים ה"בורחים" ייצרו בועות בנזולי הגוף, בתוך התאים ומהץ להם. תופעה זו נקראת "הפגת לחץ" ובלועזית "דיקומפרסיה".

הדקומפרסיה עלולה לגרום לנזקים שונים החל בכאבים מקומיים וכלה במות, תלוי במקומות שבו נוצרו הבועות. בועות הנוצרות במערכות העצבים ההיקפית עלולות לגרום לכאבים קשים בגפיים. במערכות העצבים המרכזית הבועות עלולות להפריע לפעילות מוחית או לתפקוד מוח השדרה ולגרום לשיתוק. בועות הנוצרות בدم עלולות להיליך במערכות נימי הריאות ולגרום לקוצר נשימה העולול להסתינים במות. התסמים (סימפטומים) הנובעים מיצירת הבועות מופיעים דקוט אחד עד שעשوت לאחר העלייה מהירה מהמעמקים. ניתן למנוע את היוצרותן של הבועות אם עלים עליה איטית וಮבוקרת אל פניהם. עודף הגאים שהוא מומס ברקמות משתחרר באיטיות, עובר לריאות ונפלט החוצה במחירות המספיקה למנוע את הופעתן של הבועות. צולנים שלא נשמרו ונפגעו מדיקומפרסיה יש להעיבר במהירות לטיפול בתא לחץ.

### ג. תמייסות – ההיבט הכמותי

האם בקרתם בבריכת השחיה לאחרונה? אם כן, יתכן שהבחנתם ברייח החירף של הכלור. הוספה הכלור למי הבריכה נועדה למנוע התפתחות של אורוגניזמים מזוהמים במים. אך האם "כל המרבה הרי זה משובח"? לא! עודף של כלור עלול לגרום ל"הרעלת כלור" לשוחים בבריכה. מצד שני, מעט מדי כלור לא יהיה יעל. אם כן, כמה כלור צריך האחראי על הבריכה להוסיף למים? ומרקם אחר – במספר ערים בישראל מוסיפים יון פלאורי (בצורת מלח של היסוד) למי השתייה. מחקרים רבים שנערכו בנושא בריאות חן והרואו שותפות של יון פלאורי למי השתייה מקטינה את מספר מקרי העששת. אבל, מצד שני, עודף של יון פלאורי גורם לכטמים על אגוזית השן. אם כן, כמה מלח של יון פלאורי על העירייה להוסיף למי השתייה? במקרים אלו ובמקרים רבים אחרים חשוב לנו לדעת כמה מומס יש בתמייסה, או במינוח המדעי – מהו ריכוזה של התמייסה.

**ריכוז של תמייסה הוא כמות המומס המצוייה בכמות נתונה של ממס או של תמייסה.**

קיימות כמה שיטות לבטא ריכוז של תמייסה. באחת מהן כבר נתקלנו בלי להגדירה כ식חה לביטוי ריכוז, כאשר דנו במסילות ובעקומות מסוימות. בשיטה ההיא הנתונים שלנו היו מסה של מומס (בגרמים) בונף נתון של מסה, במקרה שלנו – מים. עתה נלמד שיטות אחרות לבטא ריכוז, שוכן מתייחסות לכמות נתונה של תמייסה. בחרנו להציג את השיטות השימושיות ביותר ליותר לעוסקים ביצורים חיים.

### רכיבז באחוזים מסה/ונף

רכיבז תמייסה באחוזים מסה/ונף מבטא את מספר הגרמים של המומס ב-100 מ"ל של תמייסה. לחישוב של ריכוז התמייסה באחוזים מסה/ונף משתמשים בנוסחה הבאה:

$$\text{רכיבז תמייסה ב- \%} = \frac{\text{מסת המומס ב'}}{\text{ונף התמייסה במ"ל}} \times 100$$

לדוגמא, "תמייסה פיזיולוגית", שימושים בה בעירויים, היא תמייסה מינימלית של נתרן כלורי שרכיבזהה 0.9% מסה/ונף. תמייסה זו מכילה 0.9 ג' נתרן כלורי ב-100 מ"ל תמייסה. ביטוי ריכוז של תמייסות באחוזים מסה/ונף מתאים בעיקר לתמייסות של מוצקים במים.

### אכליים לאחים...



- 1) חשבו את ריכוזה ב-% מסה/ונף של התמייסות הבאות:
  - א. 5.4 ג' גלוקוז ב-100 מ"ל תמייסה
  - ב. 9 ג' נתרן כלורי ב-2 ליטר תמייסה
- 2) כיצד תכננו את התמייסות הבאות:
  - א. ליטר של תמייסה פיזיולוגית
  - ב. 500 מ"ל של תמייסת אשלגן כלורי שרכיבזהה 10% מסה/ונף
- 3) נתונה תמייסת נתרן כלורי שרכיבזהה 3% מסה/ונף. מהו נפח התמייסה שעיליכם לאוזן, אם הייתם רצים לקבל ממנה 15 ג' מלחי?

### רכיבז בחלוקת למיליון

لتמייסות שבהן כמות המומס מאד קטנה, כמו תמייסות של גאים במים, או תמייסות שבהן מצויות רק כמויות זעירות של יוניים במים, יחידת הריכוז השימושית היא חלקים למיליאון, חל"מ (ppm). בשיטה זו מבטאים את מסת המומס במ"ג (1000/1 ג') לק"ג (1000 ג') תמייסה.

שימוש לב!

היחס בין 1 מ"ג ל-1 ק"ג הוא אכן אחד למיליאון.



כמות המימן המרבית המתמcosaת ב-1 ק"ג תמיisha מימית היא כ-2 מ"ג (ב- $20^{\circ}\text{C}$ ), על פי ההגדרה הנ"ל, ריכוז המימן בתמיisha זו הוא 2 חל"מ, ואכן זהה כמות מאד קטנה. למה הדבר דומה? לו היינו מיליון וחמשה והוא בידנו 1,000,000 מטבעות בננות שקל כל אחת, היו 2 שקלים מתוכם משוללים לכמות המימן, ואילו שאר המטבעות – 999,998 – היו משוללים לכמות המים! כמות החמצן המרבית המתמcosaת ב-1 ק"ג תמיisha מימית (ב- $20^{\circ}\text{C}$ ) היא 43 מ"ג או בקיצור – ריכוז של 43 חל"מ.

### **מבט אחר על כמות – "ראיה ברמת החלקיקים"**

עד כה ביטאנו ריכוזי תמייסות במונחים של מסה של מומס בכמות נתונה של תמיישה. גישה זו אכן נוחה לשימוש ומקובלת ולעתים אף בלתי נמנעת, כאשר מסת החומר היא הנתון היחידי העומד לרשותנו. אך בניתוח של תהליכיים כימיים המסה אינה נתון מספק, משום שבתהליכיים אלו מתרחשות תగבות בין חלקיקים ביחסים מתאימים (ואכן זה בא לידי ביטוי בניסוח מאוזן של תהליכיים). על כן הגיוני יותר לטפל בכמות המכלולות מספר ידוע של חלקיקים ולא מספר ידוע של גרים, למשל תהליך ההיווצרות של מים: ברמת החלקיקים שתי מולקולות של מימן מתחשפות למולקולת חמצן אחת ומתקבלות שתי מולקולות של מים:



שים לב!

מה שכנינו "יחסים מתאימים" מתייחס ישירות למספר חלקיקים ולא למספר גרים.



### **אבל איך נספר חלקיקים אם אפילו לראות אותם אנו לא מסוגלים?**

היינו יכולים לעקוב את הבעה, אילו ידענו מה המסה של כמות החלקיקים הרצiosa לנו. אמן טענו קודם שהמסה אינה נתון שמעוני, אבל היא יכולה לשמש כאמצעי כדי להגיע לנnton החשוב לנו באמת – מספר החלקיקים.

#### **מדידת מסה מהוות תחליף לספירה**

למעשה אנו נתקלים בבעיה דומה בחיי היום-יום. אנו קונים מהדקים, דפים ועצים בחבילות. על גבי כל חבילה מצוין מספר הפריטים שבה. אך האם מישחו באמת טרור למספר כל פריט? סביר יותר להניח שהיצרנים פתרו את הבעיה על ידי שיקלה. בתחילת הייצור הם ספרו פעם אחת 100 מהדקים, למשל, ומזו את המסה שלהם ומאז הם מכינים קופסאות בהתאם לכך.

...ומלאו...

נסו לחשב עתה על מקרים נוספים שבהם מדידת מסה מהוות תחליף לספירה.  
חשבו גם על מקרים שאיןם קשורים בחיי של "תלמיד מצוי". מצאתם?



נ�始 עתה לבעה שלנו. ה"פריטים" הבסיסיים שבהם עוסקת הכימיה הם האוטומים. האוטומים הם, כמובן, כל כך קטנים, שלא רק שאיננו מסוגלים לספור אותם, אנו גם לא מסוגלים לקבוע ישירות את המסה של האוטם הבודד. ובכן, מהו הפתרון?

### מזה אוטומית יחסית

מדענים השתמשו בשיטות מתחכחות ועזרו במכשור מתקדם (סקטטרומטר מסות) כדי לקבוע מסות של אוטומים. אולם זמן רב לפני שנודעו המסות של האוטומים השונים, היו ידועים היחסים בין מסות האוטומים. בכל מדידה יש צורך לקבוע תחילת תקנית, ואליה משווים את שאר הערכים הנבדקים. הכימאים חפשו בין האוטומים "מעומד מתאים" שיישמש כיחידה תקנית למסה של האוטומים. לאחר מספר נסינונות שככלו את אוטום המימן (האוטם הקל ביותר) ואת אוטום החמצן (הויצר תרכובות עם מגוון רחב במיוחד של יסודות אחרים), נבחר לבסוף (מסיבות של נוחות ודיוק) אוטום פחמן, <sup>2</sup>, שהוא האיזוטופ העיקרי של הפחמן (כל יחסית להפרידו משאר האיזוטופים של פחמן).

נקבע שיחידה המסה האוטומית התקנית היא המסה של  $1/12$  ממסת אוטום פחמן  $12$  (<sup>12</sup>C).

מכאן שהמסה האוטומית היחסית של אוטום פחמן  $12$  עצמו היא  $12.000$ .  
על בסיס היחידה התקנית, נבנה סולם של מסות אוטומיות יחסיות (לעתים קרובות הן נקראות בקיצור, מסות אוטומיות). הערכים של המסות האוטומיות של היסודות השונים מופיעים במערכת המוחזרית. זהו הנตอน השני המאפיין את אוטומי היסודות, בנוסף למספר האוטומי שלהם. דוגמאות מספר למסות אוטומיות תוכלו לראות בטבלה הבאה:

**טבלה A6. מסות אוטומיות יחסיות של כמה יסודות**

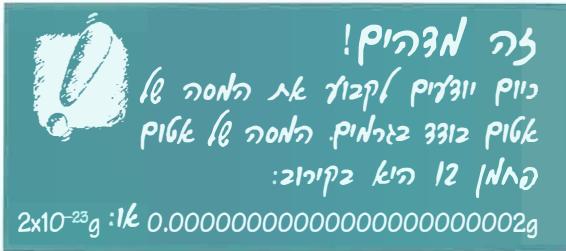
- הערות:
- 1) מסה אוטומית יחסית היא מספר טהור – חסר יחידות, משום שהוא מבטא כפולה של היחידה התקנית.
  - 2) המסות היחסיות המופיעות במערכת המוחזרית הן בעצם ממוצע משקל של מסות האיזוטופים השונים של כל יסוד על פי שכיחותם בטבע. במקרים רבים קיימים איזוטופ עיקרי שכיחותו גבוהה ואיזוטופים נוספים שכיחותם נמוכה או זניחה. במקרה של הצלור, לעומת זאת, יש שני איזוטופים שכיחותם ממשוואתי, ולכן כפוי שניתן לראות בטבלה A6, ערכם משפיע במידה ניכרת על ערך המסה הסופי.

אטום	מסה אוטומית יחסית (ערכים מקורבים)
מיימן	1.0
פחמן	12.0
חמצן	16.0
נטרן	23.0
צלור	35.5

מצאו את המסות האוטומיות היחסיות של היסודות הבאים (היעזרו במערכת המוחזרית): נחושת (Cu), כסף (Ag) זהב (Au).

...טבלי





עם כל החשיבות וההישג שבמציאות המשא של  
אטום בודד, הרי שבשגרת העבודה במעבדה  
ובתעשייה אין אפשרות וגם אין כל צורך לשקל  
אוטומים בודדים. אפיו המאזניים העדינים ביתר

לא יהיו רגשיים מספיק למסה קתנה כל כך. יותר מזה, אנו גם לא מסוגלים לחת בכפיה מאה אוטומים ולשקל אוטם. גם מנתה של אלף אוטומים ואפלו מיליון אוטומים לא תועיל לנו. דרישה לנו מנתה הרבה יותר גדולה. דרישה לנו "קפיצה" של כמה סדרי גודל.

מספר אבוגדרו

הבחן שמשתמשים בה בכימיה מכילה מספר עצום של חלקיקים. מדענים חישבו ומצאו שמספר האטומיים ב- $12 \text{ g}$  פחמן 12 הוא בקירות\*  $602,000,000,000,000,000$  ובסימון מדעי  $6.02 \times 10^{23}$ . אכן זהו מספר עצום. המספר כל כך גדול שהוא מסעיר את הדמיון. הוא הרבה יותר גדול מאשר המספר הכוכבים ביקום הנראה... המספר הזה מוכר כמספר אבוגדרו (או קבוע אבוגדרו) על שם המדען אמדאו אבוגדרו (Amedeo Avogadro) והוא מסומן באות הלועזית – N. בסכמתה

## עד כמה גדול הוא מספר אבוגדרו?



חכילה של  $6.02 \times 10^{23}$  דפ"ם, הייתה כל כך גבוהה שהיא הייתה מוגעה מכאן ועד לשם, לאפעם אחת כי אם מיליו בעמ"מ...



מחשב מודרני המסוגל לבצע 10 מיליון  
מוניות בשנייה היה זוקק לכמעט 2 מיליון  
שנים כדי למנות עד <sup>23</sup>  $6.02 \times 10^{23}$  ...



אם היו לך  $6.02 \times 10^{23}$  מולרים  
היית יכול לבזבז מיליארד דולר  
בכל שניות ועדיין היו נשארים לך  
יותר מ- 99.999% מבפסך,  
כדי להעיבר לירושים שלך  
אחרי 120 שנים!



**את פני כדור הארץ שכבה שעובייה יותר מ-160 ק"מ...**



משך זמן הארכון פי  $4 \times 10^{23}$  שנים הוא בצדור הארץ, על פי חלק מהתאוריות.



**זרימת  $6.02 \times 10^{-23}$  טיפות מים**  
במפלי הניגרה הייתה נמשכת  
וותר מ-100,000 שנים...

\* הערך האמין והמדויק ביותר שנמצא הוא  $6.0221367 \times 10^{23}$ , אך עד זה מדובר לרובית הזרים ולכן מעוגל ל- $6.02 \times 10^{23}$ .

## מול – ה"מנה" של הכימאים

כמויות חומר המכיל  $6.02 \times 10^{23}$  חלקיקים נקראת מול (mole) כפי שగביים מונים בזוגות (2), פחית בירה בשישיות (6), ביצים בתריסרים (12) וניירות בחבילות (500), החלקיקים שבהם עוסקת הכימיה – אטומים, מולקולות, יוניים ואלקטרונים – נמנים בمولים.

**אנו לא...**



1) חשבו כמה חלקיקים יש ב:  
 א.  $\frac{1}{2}$  מול של אטומי חמצן  
 ב.  $\frac{1}{4}$  מול של מולקולות מים  
 ג.  $\frac{1}{10}$  מול של יוני אשלגן

2) כמה מול של אטומי חמצן יש במול של מולקולות חמצן?  
 3) כמה מולים של אטומים מכל סוג יש במול של מולקולות גלוקוז שנוסחתה  $C_6H_{12}O_6$ ?  
 4) כמה מול של יוני נתרן יש במול אחד של נתרן כלורי?  
 5) כמה מול של יוני כלורי יש ב- $\frac{1}{4}$  מול של נחושת כלורית שנוסחתה  $CuCl_2$ ?

## פעילות מס' 4: מול של סוכריות



**המטרה:** המחשת גודלו של מספר אבוגדרו באמצעות אנלוגיה מתוקה. בפעילות זו תעריכו את עובי השכבה שתтвор על ידי מול של סוכריות חדשים, אם היו שופכים אותן על כל שטחה של ארצות הברית.

- |  |   |
|--|---|
| <b>חומרים:</b><br>✓ חבילה גדולה של סוכריות חדשים | <b>כליים:</b><br>✓ משורה מכויילת של 100 מ"ל |
|--|---|

### ועבשו לעבודה:

- 1) מלאו את המשורה בסוכריות עד לנפח של 100 מ"ל.
- 2) ספרו את מספר הסוכריות הממלאות את הנפח זהה.
- 3) חשבו נפח של סוכריה אחת.
- 4) חשבו את הנפח שיתפסו מול של סוכריות ( $6.02 \times 10^{23}$  סוכריות).
- 5) תרגמו את היחידות ממ"ל למ"ק (מטר מעוקב).
- 6) חשבו את עובי השכבה שתתקבל אילו היינו מכסים את שטחה של ארצות הברית על כל 50 מדינותיה בערך מול של סוכריות (שטח של ארצות הברית הוא  $7.82 \times 10^{12}$  מ"ר).



כשם שתሪיסר מכל 12 יחידות כלשהן, מול מכל מספר אבוגדרו של חלקיקים כלשהם. באופן תאורטי ניתן לדבר על מול של כל דבר, אך אין זה מעשי לדבר, למשל, על מול של ביצים או על מול של דפים, כפי שראינו בסכמה של מספר אבוגדרו ובפעילות שזה עתה ביצעתם.

המול נבחר כמנה המתאימה לספרה של חלקיקים, כדי שמספר אבוגדרו העצום "יחפה" על הממדים הוציאים של האטומים. שימושה מאוד קטנה כוכפלת במספר מאוד גדול מתקבלת, בסופה של חשבון, מסה הניתנת למדידה, וזה בדיקת מה שחייבנו.



הערה: הצגנו קודם קודם את המסה של אטום בודד של פחמן 12 כ- $1.993 \times 10^{-23}$  g, הפעם דיבקנו קצת יותר...

כפי שניתן לראות מהחישוב שערכנו, מספר אבוגדרו הוא הגורם המכפיל במעבר ממסה של אטום אחד למסה של מול אטומים. אך, שימו לב, זה אינו סתם מספר עצום, ערכו מביא לכך שערך המסה של מול אטומים שווה לערך של המסה האטומית היחסית מבוטא בגרמיים.

### מסה מולרית

**המסה של מול חומר נקראת מסה מולרית.**

ה"מתקoon" למציאת מסה מולרית של אטומים הוא פשוט למדי: מבטאים את המסה האטומית היחסית בגרמיים. לדוגמה המסה המולרית של מימן היא 1 g' ושל חמצן היא 16 g'. דוגמאות אלו ואחרות מסוימות בטבלה הבאה:

### טבלה א.7. מסות מולריות של כמה אטומים

היסוד	מסה אטומית יחסית (ערכים מקורבים)	מסה מולרית
מימן	1.00	1.00 g'
פחמן	12.00	12.00 g'
חנקן	14.00	14.00 g'
חמצן	16.00	16.00 g'
נטרון	23.00	23.00 g'
כלור	35.50	35.50 g'
נחושת	63.55	63.55 g'

כאשר עוסקים בתרכובות, המסה המולרית היא סכום המסות המולריות של האטומים המרכיבים אותן. לדוגמה מסה מולרית של מים היא 18 g' ( $1g' + 16g' = 18g'$ ).

## אכזבי אקס...

- 1) חשבו את המסות המולריות של התרכובות הבאות:  
א. אמונייה ( $\text{NH}_3$ ) ב. מתאן ( $\text{CH}_4$ ) ג. נתרן כלורי ( $\text{NaCl}$ ) ד. גליקוז ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )  
ה. סוכרוז ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
- 2) חשבו כמה מולרים יש בחומרים הבאים: א. 34 ג' של אמונייה    ב. 56 ג' של מתאן
- 3) חשבו את המסה של החומרים הבאים: א. 5 מול של נתרן כלורי    ב. 5/1 מול של סוכרוז



## פעולות מס' 5: תערוכה של מוללים



**המטרה:** בפעולות זו תשלו מוללים של חומרים שונים ותכינו תערוכת מוללים כיתתייה.

### חומרים:

- ✓ מספר יסודות ותרכובות על פי בחירתכם

### כליים:

- ✓ ספטולה
- ✓ כוסות כימיות

### ועבשו לעבודה:

- 1) כל קבוצה תבחר 3 יסודות ו-3 תרכובות.
- 2) כתבו את נוסחאות החומרים שבחרתם וחשבו את המסה המולרית של כל חומר.
- 3) מודזו את המסה המתאימה במאזנים והכנוו לכלי מתאים. הדיבקו על הכלי תווית מהה... מה צריך להיכתב על תווית זו?
- 4) כל קבוצה תציג את החומרים שלה ב"תערוכת המוללים הכיתתייה".



### סיכום

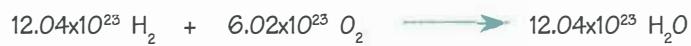
נזכיר עתה לתלמידים שהזכרנו בפתיחתו של הקטע " מבט אחר על כמויות" – תהליך היוצרים המים. נסכם עתה באמצעות סדרה של ניסוחי תגובה מאוזנים, שכולם מתיחסים לתהליך זה, את המושגים שלמדנו: הניסוח המאוזן ה"מקורי" היה:



משמעותו ברמת החלקיקים היא:



ונכל עתה להכפיל את המקדמים של הניסוח **במספר אבוגדרו** תוך שמירה על/ion הניסוח, אזי נקבל:



כמזה חומר שמכילה מספר אבוגדרו של חלקיקים היא על פי הגדרה – מול של חלקיקים, ועל כן נוכל לכתוב את הניסוח הנ"ל גם כך:



מאחר שאנו יודעים את **הmassות המולריות** של כל אחד מהחלקיקים המופיעים בניסוח, נוכל לתאר את היחסים ביניהם גם בגרמיים:



וכך הניסוח המקורי של התהליך קיבל מגוון של משמעותיות.

נשוב עתה לנושא המרכז שעסקנו בו – ריכוז תמייסות. סטינו מהנושא ולמדנו על המול, בין השאר, כדי שנוכל להכיר את השיטה השימושית השלישייה לביטוי ריכוז של תמייסות: **הרכיב המולרי**.

### רכיב מולרי

רכיב מולרי של תמייסה מוגדר כמספר המולים של מומס בליטר של תמייסה. ריכוז מולרי (הנקרא גם מולריות) מסומן באות הלועזית M. לחישוב הרכיב המולרי משתמשים בנוסחה הבאה:

$$\frac{\text{מספר המולים של המומס}}{\text{נפח התמייסה בליטרים}} = \text{רכיב מולרי של תמייסה (M)}$$

אם לדוגמה נmis 0.3 מול גלוקוז ב-0.5 ליטר של תמייסה נקבל תמייסה בריכוז של M=0.6.

### אכליים...

1) חשבו את הרכיב המולרי של התמייסות הבאות:

א. 3 מול אשלגן כלורי ב-1.5 ליטר תמייסה

ב. 0.1 מול נתרן כלורי ב-100 מ"ל תמייסה



- ב) א. כמה ג' אשלאן כלורי עליהם לשקול כדי להכין את התמיisha המופיעה בסעיף א' של השאלה הקודמת?
- ב. כמה ג' נתרן כלורי עליהם לשקול כדי להכין את התמיisha המופיעה בסעיף ב' של השאלה הקודמת?

הטבלה הבאה מסכמת את שלוש השיטות שלמדו לנו לביטוי ריכוזים:

#### **טבלה 8. שיטות לביטוי ריכוז תמיisha**

השיטה	הגדרה	היחידות	%
רכיב באחוזים מסה/נפח	מסה של מומס בגרמים ל-100 מ"ל של תמיisha		
חל"מ חלקים לˌミليון	מסה של מומס במ"ג לק"ג של תמיisha	חל"מ	
רכיב מולרי M	מולים של מומס בליטר של תמיisha	M	

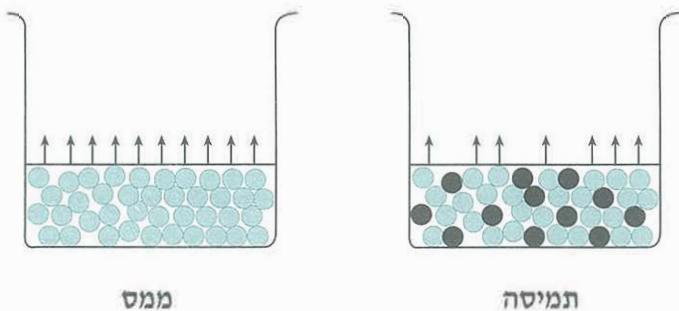
## **3. ד. חוקי תמיisha – תוכנות קוליגטיביות**

ישנן תוכנות של תמיisha השונות מאלו של הממס הטהור. השפעתו של המומס על הממס ניכרת באربע התופעות הבאות: הורדת לחץ האדים, העלאת נקודת הרתיחה, הורדת נקודת ההיתוך והתרחשותה של אוסמהה. נציג כל אחת מהן בקצרה.

### **הCOMMONS מוריד את לחץ האדים של הממס**

לחץ אדים של נזול מוגדר כלחץ המופעל על ידי הנזול, כאשר הנזול והאדים שלו נמצאים בשווי-משקל, כלומר כאשר מתרחשים שני תהליכי הפוכים – איזדי ועיבוי – בו זמנית ובאותו קצב. נוכחותו של מומס לא נזיף גורמת לירידה בלחץ האדים של הממס בתמיisha לעומת לחץ האדים של הממס הטהור. משמעותה של תופעה זו היא שריכוז הממס המתנדף קטן מריכוז הממס הטהור המתנדף באותו תנאים (ראו לצין שבשווי-משקל גם ריכוז הממס המתubaota קטן יותר). ניתן להסביר את התופעה הזאת בדרך הבאה: בין מולקולות המומס לבין מולקולות הממס מתקיים כוחות משיכה, ועל כן יורד ריכוז הממס האמין לאיזדי (כפי שניתן לראות באירור שבעמוד הבא). מצד שני, לאחר שהמומס אינו נזיף, אין מולקולות מומס בפזה הגזית, וממילא אין שינוי ברכיב הממס המתubaota חזקה מהפזה הגזית לתמיisha. גם במקרה זה מושג לבסוף שווי-משקל, אך ב"נקודות מגש" אחרות. לסייעו של דבר – ריכוז נמוך יותר של ממס "בורח" מהתמיisha, ועל כן לחץ האדים נמוך יותר מאשר של ממס טהור.

## הורדת לחץ האדים



נוכחותו של מומס מקטינה את ריכוז המומס הזמין לאידי.

## המומס מעלה את נקודת הרתיחה של הממס

נקודת הרתיחה של נזול היא הטמפרטורה שבה לחץ האדים של הנזול משתווה לחץ החיצוני. לכן שינוי לחץ האדים של נזול, יגרום גם לשינוי בנקודת הרתיחה שלו, וכך אמנס קורה: המומס מעלה את נקודת הרתיחה של הממס. ההסבר לתופעה הוא: כיוון של לחץ האדים של תמיישה נמוך יותר מזה של הממס הטהור, נדרש טמפרטורה גבוהה יותר כדי שהלחץ האדים של הממס ישוווה לחץ החיצוני, ועל כן הרתיחה מתרחשת בטמפרטורה גבוהה מהרגיל. תמיישה מיימת, לדוגמה, רותחת בטמפרטורה גבוהה מ- $100^{\circ}\text{C}$  (בלחץ אטמוספירי). באיזו טמפרטורה בדיק? הדבר תלוי ברכיבי המומס.

## המומס כוריד את נקודת ההיתוך (קיפאון) של הממס

נקודת היתוך היא הטמפרטורה שבה מתקיים שוויי-משקל בין שני תהליכים הפוכים: היתוך וקיפאון. המומס גורם להורדת נקודת היתוך של הממס בתמיישה בהשוואה לו של הממס הטהור. מבחינה כמותנית הורדת נקודת היתוך של הממס היא תופעהבולטות יותר מהעלאת נקודת הרתיחה שלו. תמיישה מיימת, לדוגמה, קופאת בטמפרטורה נמוכה מ- $5^{\circ}\text{C}$ . באיזו טמפרטורה בדיק? הדבר תלוי ברכיבי המומס.

מכיוון שנקודת המוצא שלנו היא תמיישה נזלית, נסביר את התופעה נזק התיעחות לתהיליך הקיפאון, אך מובן שטמפרטורת היתוך וטמפרטורת הקיפאון הן אותה טמפרטורה. נקודת הקיפאון יורדת, מפני שריכוז הממס המתגבש מזוק תמיישה קטן יותר מריכוז הממס המתגבש (באותם תנאים) מזוק הממס הטהור. ניתן להסביר את התופעה בדרך הבאה: בין מולקולות המומס לבין מולקולות הממס מתקיימים כוחות משיכה, ועל כן יורד ריכוז הממס הזמין להתgebשות. מצד שני, מולקולות המומס אין משפיקות על תהליך היתוך של הגביש, שהרי הוא מורכב רק ממולקולות הממס. כתוצאה לכך שוויי-משקל בין התהליכים המנוגדים הופר. גם במקרה זה מושג לבסוף שוויי-משקל, אך ב"נקודת מגש" אחרת. זה יתרחש כשהטמפרטורה

תרד. מכאן, נקודת ההיתוך (קייפאון) נמוכה יותר מהרגיל. תופעה זו מנוצלת למניעת קפיאת מים בעדי הזרכים בימי החורף הקרים באמצעות פיזור מלח עליהם.

### נוגד קייפאון בחركים

טמפרטורת גוףם של יצורים פוקילוטרמייםמושפעת מהטמפרטורה של הסביבה שבה הם נמצאים. לכן יצורים פוקילוטרמיים החווים בסביבות שבhn הטמפרטורה יורדת מתחת ל- $20^{\circ}$  חשופים לסכנות קפיאה. כפי שלמדנו, היוצרות גבישי קרח בתוך התאים עלולה לגרום לקריעה של קרומי התאים ולהרטס של מבנה התאים עצם. במספר מינים של חרקים החווים באזוריים קרים קיימת התאמה מעניינת לסביבתם. לקרהת החורף עולה ריכזו של החומר גליקוזל בנזלי גוףם. כתוצאה לכך יורדת נקודת הקייפאון של נזלי גוףם של חרקים אלו, והם לא קופאים למרות הירידה בטמפרטורה של סביבתם. לדוגמה, בהמולימפה נזלו במהלך הגוף של חסרי חוליות שמקביל בתפקודו לדם וללימפה בבעלי חוליות) של זחלי הצרעה Bracon cephi ריכוז הגליקוזל מגע בחודשי החורף ל- $M_5$ , וכותזהה לכך נקודת הקייפאון של ההמולימפה שלהם יורדת ל- $17.5^{\circ}$ . באביב ריכוז הגליקוזל בהמולימפה של החרקים שב וירוד.

ללא...

### אוסמוזה

התופעה הרביעית המיחודת תמייסות נקרהת אוסמוזה. אוסמוזה היא דיפואיה של ממס דרך קרום ברוני. בתהליך אוסמוטי הממס עובר דרך הקרום מאזור שבו ריכזו גבוה לאזור שבו ריכזו נמוך במורד מפל הריכוזים. הקריםים הברונניים החשובים ביותר נמצאים ביצורים חיים. קרומי התאים (ובתאים אוקריוטיים גם קרומי האברוניים) הם ברונניים. תהליכי רתיחה וקייפאון אינם שכיחים ביצורים חיים, לעומת זאת אוסמוזה היא תופעה אופיינית להם. לאוסמוזה תפקיד חשוב בהבלת חומרים ובויסות מזון המים והמלחים ביצורים חיים, ועל כן נדון בה בהרחבה בהמשך.

ארבע התכונות של תמייסות שהציגו תלויות אך ורק ברכיב המומס הנמצא בתמייסה ולא בזיהותו הכימית, **בתנאי שהתמייסות מהולות ומתנהגות באופן "אידאלי"**. תכונות אלו נקראות **תכונות קוליגטיביות, קוליגטיביבי פירשו** "תליי באוסף". מאחר שהתכונות הקוליגטיביות תלויות רק ברכיב המומס ולא בתכונות הייחודיות שלו, לתמייסה מימית של סוכר (דו-סוכר) שרכיבה  $M_1$  יש לחץ אדים, נקודת רתיחה, נקודת היתוך ואפקט אוסמוטי כמו לתמייסת גלוקוז (חץ-סוכר) ברכיב  $M_1$ . סוכרוז וגלוקוז הם דוגמאות של חומרים מולקולריים. האם לחומרים יוניים – אלקטROLיטים – עוברים בתמייסה פירוק על תכונות התמייסה? לא! משום שחומרים יוניים – אלקטROLיטים – עוברים בתמייסה פירוק לקטיאונים ואניאונים, וכל אחד מהם משפיע בנפרד על תכונות התמייסה. לכן כאשר מול אחד של

נתן כלורי,  $\text{NaCl}$ , מומס במים מתקבלים 2 מול יוני – מול אחד של יוני  $(\text{aq})^+$   $\text{Na}^+$  ומול אחד של יוני  $(\text{aq})^- \text{Cl}^-$ . על כן ההשפעה של תמייסת נתן כלורי  $\text{M}_1$  על התוכנות הקוליגטיביות תהיה כפולה מזו של תמייסת סוכרוז בריכא  $\text{M}_2$ . באופן דומה, ממול אחד של סיידן כלורי,  $\text{CaCl}_2$ , המומס במים מתקבלים 3 מול של יונים מומסים – מול אחד של יוני  $(\text{aq})^{2+} \text{Ca}^{2+}$  ושני מול של יוני  $(\text{aq})^- \text{Cl}^-$ . על כן ההשפעה של תמייסת סיידן כלורי  $\text{M}_1$  על התוכנות הקוליגטיביות תהיה פי שלושה מזו של תמייסת סוכרוז  $\text{M}_2$ .

## פעילות מס' 6: קروم ברוני



**המטרה:** בפעולות זו תצרו קרום ברוני. הקרום נוצר בתגובה בין נחושת גופרית וקומפלקס שהרכבו אשלגן שש ציאנו ברזל. הקרום חדיר למולקולות מים, אך לא ליוני של נחושת גופרית. ניסוח נטו של התגובה:  $2\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + (\text{aq})^{4-} [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$

### חומרים:

- ✓ תמייסת נחושת גופרית  $\text{M}_1$  0.1 mol/l  $(\text{aq})^+$   $\text{CuSO}_4$
- ✓ גבישים של אשלגן שש ציאנו ברזל  $(\text{aq})^{4-} [\text{Fe}(\text{CN})_6]$

### כליים:

- ✓ כוס כימית קטנה
- ✓ ספטוליה

### עבשו לעבודה:

- 1) מאגו 50 מ"ל של תמייסת נחושת גופרית לכוס קטנה.
- 2) הוסיפו בעזרת הספטוליה את גבישי האשלגן שש ציאנו ברזל, נא לא להזיז את הocus.
- 3) צפו במתרחש ורשמו את תצפיותיכם.

### לסיכום:



הסבירו את תצפיותיכם במונחים של תהליך אוסמוטי.

## פעילות מס' 7: אוסמוזה



**המטרה:** בפעולות זו תוכלו לראות תהליך אוסמוזה דרך קרום ברוני. כאשר שמים ביצה בחומץ, חומצת החומץ שבו מגיבה עם הסיידן הפחמתי שבקליפת הביצה, וכתוצאה מכך קליפת הביצה "נעימת" ונחשף הקרום הברוני שמתחתיה.

**חומרים:**

- ✓ ביצה טרייה
- ✓ חומץ בריכוך 5%
- ✓ תמייסת סוכר (50:50)

**כליים:**

- ✓ כוסות כימיות של 250 מ"ל

**ועבשוו ללבודה:**

- 1) הכניסו את הביצה לתוך כוס של 250 מ"ל.
- 2) מלאו את הכוס בחומץ וכסו אותה עם נייר פר芬. חוררו את הפר芬 והעמידו ל-48 שעות.
- 3) לאחר 48 שעות קליפת הביצה "תיעלם" והביצה תתפח מאד. שפכו את התמיסה ובחנו את הביצה.

הערה: הקром יציב מספיק כדי שתוכלו להחזיק את הביצה ביד, אבל בעדינות!

- 4) מצאו לכוס הכימית השנייה תמייסת סוכר והניחו בה את הביצה התפוחה. חזרו להתבונן בביבה לאחר יום ורשמו מה קרה לביצה.

**לסיכום:**

- 1) מדוע הביצה תופחת כאשר היא מושרית בחומץ?
- 2) מה קרה לביצה לאחר שהתהה يوم בתמייסת סוכר? הסבירו את מה שראיתם בתצפית. 

**מבט מקרוב על אוסטומה**

כאמור, כל התאים החיים מוקפים קромים ברוניים. התאים מכילים חלבונים, סוכרים וחומרים נוספים המומסים במים. מרבית החומרים המומסים אינם עוברים דרך הקром הברני, אך המים – הממס, עוברים בתחוםו הנקרא אוסטומה.

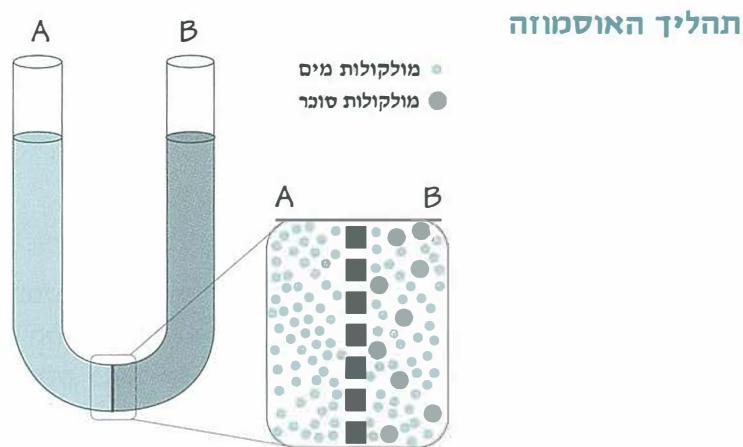
אוסטומה היא מקרה פרטי של דיפוזיה. דיפוזיה מוגדרת, כאמור, כמעבר נטו של חומר מאזור שבו ריכזו גבוה לאזור שבו ריכזו נמוך, במורד מפל הריכוזים. ואילו אוסטומה הוגדרה כ-מעבר נטו של הממס (ביצורים חיים: מים) דרך קром ברני מאזור שבו ריכזו גבוה לאזור שבו ריכזו נמוך, במורד מפל הריכוזים של הממס. יתכן שנראה לכם מואר להתייחס לריכוך המים (הממס) בתמייסה, משום שהוא רגילים להתייחס לריכוך המומס\*. הסיבה לכך שמתיחסים לריכוך המים היא שבאוסטומה עוקבים אחר מעבר של מים. אך מובן שיש קשר בין שני הריכוזים: ככל שיש יותר מומס בנפח נתון של תמייסה, כך יש פחות מים באותו נפח. במילים אחרות, ככל שריכוך המומס גבוה יותר, הריכוך של המים נמוך יותר.

**איך מתרחשת האוסטומה?**

נבדוק לדוגמה שני נזלים הנמצאים בצד אחד של צורת U ומופרדים על ידי קром ברני. הנואל מצד השמאלי של הצינור הוא מים טהורים, נסמן אותו ב-A, ואילו מצד הימני של הצינור הנואל

\* לאמינו של דבר, בניתו של כל התכונות הקוליגטיביות מתייחסים עקרונית לריכוך הממס.

הוא תמייסת סוכר, נסמן אותו ב-B. הקروم הבהיר במרקחה זה הוא קרום סינטטי – צלופן. את המערכת ניתן לראות באור שלפניכם.

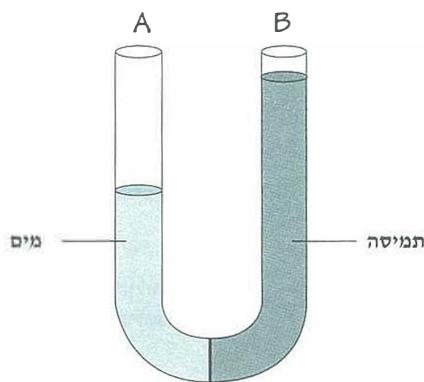


בררנות הצלופן היא תוצאה של קוטר המעבירים שבו. ניתן, על כן, להתייחס לקרום זה כאל מסנן פשוטה. חשוב לדעת, שקרום התא אינו מסנן פשוטה והבררנות שלו מורכבת יותר.

אנו כבר יודעים שמים יעברו מצד A לצד B. אך מהו ההסביר לכך ברמת החלקיקים? נתבונן תחילה בחלק המוגדל שבאיור, הוא מתאר את הקרום ואת הרכב המולקולות שני צדי. בצד B שבו מצויות מולקולות סוכר, פועלים כוחות משיכה בין בין מולקולות המים. כתוצאה לכך יורד ריכוז המים הזמין למעבר דרך הקרום. לעומת זאת, בצד A מצויות רק מולקולות של מים. מולקולות מים חוצות את הקרום משני הצדדים. אך כיון שבצד A יש ריכוז מים גבוה יותר מאשר בצד B בכל רגע נתון, יעברו יותר מולקולות מים מצד A לצד B מאשר בכיוון ההפוך. בסופה של דבר, יש תנוצה נטו של מולקולות מים מהצד שבו ריכוז גבוה אל הצד שבו ריכוז נמוך.

### האם התנועה נטו של המים מצד A לצד B תימשך עד שבן המים יעבדו לתמייסה?

ראינו שיש תנוצה נטו של מים (הממס) מצד A לצד B. כתוצאה מהמעבר של מים מצד A לצד B, רמת הנזול בצד B תהיה גבוהה יותר מרמת הנזול בצד A, כפי שניתן לראות באור הבהיר. המשקל של תוספת הגובה הזה מפעיל לחץ על התמייסה שבצד B. לחץ זה, הנובע מגובה עמוד הנזול, נקרא לחץ הידростטי. בשלב מסוים תוספת הגובה תיצור בצד B לחץ הידростטי גדול מספיק, שימנע תנוצה (נטו) נוספת של מים (מצד A לצד B). האנרגיה המכנית של עמודות הנזול בצד B שקופה כנגד האנרגיה הרכמית של הריכוז הגבוה של המים בצד A. בשלב זה תיפסק האוסמוזה, גם אם לא כל המים עברו לתמייסה. שני הנזולים יהיו במצב של שיווי-משקל שבו תנוצה של מולקולות מים נשכחת בהתאם מידת הגובה של המים כלומר, מספר שווה של מולקולות מים עוברות מצד אחד. במבט מבחוץ לא נראה כל שינוי.

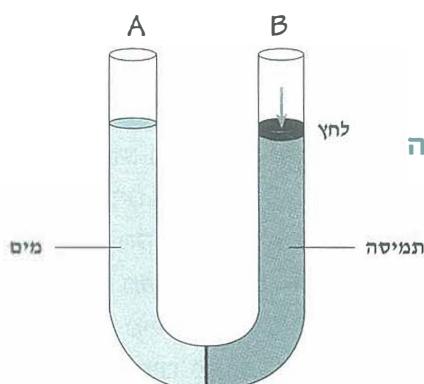


**האוסמוזה גורמת ל"הפרת"  
חוק הכלים השלובים**

### לחץ אוסמוטי

ההפרש בין הלחצים ההידростטיים של עומדות התמיישה ושל עמודות הממס הטהו, המתkeletal במכב של שיווי-משקל, נקרא לחץ האוסמוטי של התמיישה. אם כך, ניתן לומר שתהליכי האוסמוזה בין נוזל טהור לבין תמיישה נפסק, כאשר הלחץ ההידростטי של "תוספת הנוזל" משתווה לחץ האוסמוטי של התמיישה.

ראינו שבערך מסוים של לחץ ההידростטי האוסמוזה נפסקת. על פי אותו עיקנון, ניתן למנוע את תהליכי האוסמוזה, אם מראש נפעיל על הזורע בצד B לחץ מתאים, כלומר לחץ השווה לחץ האוסמוטי של התמיישה.



**הפעלת לחץ חיצוני  
על תמיישה למניעת אוסמוזה**

**שימוש תעשייתי בפעולת האוסמוזה: אוסמוזה הפוכה**

דנו בהפסקת תהליכי האוסמוזה, דנו גם במניעת האוסמוזה, הפעם בלבד צעד נוסף קדים ו נראה, שניתן גם להפוך את כיוון התהליכי האוסמווזי. הפסקת תהליכי האוסמוזה נעשית על ידי הפעלת לחץ על התמיישה השווה לחץ האוסמוטי. אם נפעיל על התמיישה לחץ הגדל מהלחץ האוסמוטי של התמיישה, נגורום לאוסמוזה הפוכה. כאשר מפעלים לחץ על התמיישה הגדל מהלחץ האוסמוטי שלה "مالצים" את מולקולות הממס מעבר מהתמיישה אל תוך הממס הטהור דרך הקром הברני. מעבר מולקולות הממס מתבצע, במקרה זה, בגיןוד למפל הריכוזים.

オスמוזה הפוכה משמשת לטיהור מי-שפכים ולהתפלת מי-ים. בתהליכי אלו "مالצים" את מולקולות המים לעזוב את התמיישה ולעבור אל המים הטהורם.

...על כל...

## לחץ אוסמוטי – ההיבט הכימי

מתברר שהלחץ האוסמוטי של תמיישה נמצא ביחס ישיר לרכיב המולרי שלו, כפי שניתן לראות במשוואת הבאה:

$$M \cdot K = \pi$$

$\pi$  – לחץ אוסמוטי

K – קבוע מתכוניות (פרופורציה) תלוי בטמפרטורה

M – ריכוז מולרי. נא לא להתבלבל! ריכוז מולרי הוא מספר מולי המומס בליטר של תמיישה

מהמשווה של מעלה אנו רואים שבטמפרטורה נתונה, ככל שהרכיב המולרי של התמיישה עולה, הלחץ האוסמוטי גדל. מהמשווה ניתן גם לראות שהלחץ אוסמוטי הוא אכן תכונה קוליגטיבית. ערכו של הלחץ האוסמוטי תלוי רק במספר חלקיקי המומס (מספר המולרים של המומס) ולא באזות הכימית שלהם.

## קביעת מסה מולרית באמצעות מדידת לחץ אוסמוטי

מדידת לחץ אוסמוטי יכולה לשמש לקביעת מסה המולרית של מומס, כאשר זו אינה ידועה. השיטה נקראת אוסומטריה והוא מבוססת על מדידת לחץ אוסמוטי של תמיישה המכילה מסה ידועה של מומס בעל מסה מולרית לא ידועה. עקרונית, כל מדידה של שינוי בתכונה של הממס הנובעת מנוכחות המומס (תכונה קוליגטיבית), כגון נקודות רתיחה או נקודות קיפאון, יכולה לשמש לקביעת מסה מולרית. היתרון בקביעת מסה מולרית באמצעות לחץ אוסמוטי הוא רגישותה של השיטה. הרגישות מתחבطة בכך שאפילו הפרש קטן ברכיבאים, גורם לשינוי משמעותית בלחץ האוסמוטי. תמיישה של  $M = 0.01$  סולורוז, תראה עלייה של  $C = 0.005^\circ$  בנקודת הרתיחה וירידה של  $C = 0.02^\circ$  בנקודת החיתוך (ב>Showa למס הטהור), ואילו הלחץ האוסמוטי שלה שווה לחץ ההידростטי הנוצר על ידי עמוד מים בגובה 2 מטר! (למס הטהור אין לחץ אוסמוטי). השינויים הקטנים בנקודות הרתיחה והחיתוך קשים למדידה, אך המדידה של שינוי לחץ גדולים קלה, ועל כן גם אמינה.

הオスומטריה חשובה בעיקר כאשר רוצים לקבוע מסה מולרית של חומרים בעלי מסה מולרית גבוהה במיוחד, כמו אניזמים וחלבונים אחרים. מספר המולרים של חומר שכזה בתמיישה שmasת המומס שלה ניכרת הוא קטן מאוד, ולכן התכונות הקוליגטיביות של התמיישה שלוZNICHOT, פרט ללחץ האוסמוטי. נבדוק, לדוגמה, תמיישה של המגולוביין. ריכוזה של תמיישה המכילה 0.1 g/mol זה ב-100 mL תמיישה הוא רק  $M = 1.55 \times 10^{-5}$  ! (מסה המולרית של המגולוביין היא 64,500 g/mol). מובן שינויים בנקודות רתיחה/חיתוך בתמיישה זו אינם ניתנים למדידה, אך את הלחץ האוסמוטי שלה ניתן בהחלט למדוד. הוא שווה לחץ ההידростטי הנוצר על ידי עמוד מים בגובה 4 m.

## תהליכי אוסמוזה בין תמיישות בריכוזים שונים

עד עתה עסקנו באוסמוזה בין ממס טהור לבין תמיישה. אוסמוזה מתרכשת גם כאשר קרום ברני מפריד בין שתי תמיישות בעלות ריכוזים שונים. הממס עובר מהתמיישה המהולה, שבה יש מעט

מומס ורבה ממס, אל התמיישה המרכזת, שבה יש הרבה מומס ומעט ממס. לשתי תמייסות בעלות ריכוזים שונים יש, כמובן, לחיצים אוסמוטיים שונים.

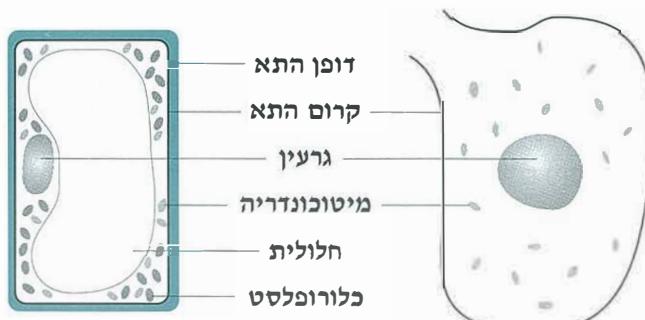
### **האם המעבר נטו של מולקולות ממס מהתמיישה המהולה לתמיישה המרכזת יימשך עד להשוואת ריכוזים?**

לא>Dזוקא. תנועת הממס **תיפסק**, כאשר הלחץ hydrostatic, הנובע מהעליה בגובה עמודות הנוזל, בצד של התמיישה המרכזת יאזור את הפרש הלחיצים האוסמוטיים בין שתי התמייסות. האוסמוזה תיפסק גם אם לא הושגה השוואת ריכוזים.

כאשר שתי תמייסות בעלות לחיצים אוסמוטיים שונים מופרדות על ידי קром ברני, התמיישה בעלת הלחץ האוסמוטי הנמוך יותר (המהולה) נחשבת **היפוטונית** ביחס לתמיישה המרכזת יותר (היפו – תחת, טונוס – מתח), והתמיישה בעלת הלחץ האוסמוטי הגבוה יותר (המרכזת) נחשבת **היפרTONIC** ביחס לתמיישה המהולה (היפר – מעל).

אם נכנס תא צמחי או תא חידק ותא של בעל חיים לתמיישה **היפוטונית** ביחס לנוזל התוך-תאי שלהם, כל אחד מהם ישפיע מכך בצורה שונה. אם תא של בעל חיים יוכנס לתמיישה **היפוטונית** (ביחס לנוזל התוך תא שלו), ייכנסו מים אל תוך התא דרך הקром הברני. ואם הפרש הלחיצים האוסמוטיים בין תוך התא ובין התמיישה החיצונית יהיה גדול ממספריק, יחדרו לתא מים רבים, קром התא יימתח ולבסוף יתפוצץ, וכל תכונות התא תדלוף החוצה.

גם לתא צמחי וגם לתא חידק יש קром ברני, אך אם נשים תא שכאה בתמיישה **היפוטונית** (ביחס לנוזל התוך תא שלו) התא לא יתפוצץ. מדוע? לתא צמחי ולתא חידק יש כיסוי קשיח הנקרא דופן התא. דופן התא מורכב מסיבים של תאית וחומרים אחרים. תא צמחי ותא חידק בתמיישה **היפוטונית** מתמלאים, קром התא נלחץ כלפי דופן התא, אך דופן התא הקשה מפעיל לחץ מכני נגד על הקром. כאשר הלחץ המכני המופעל על ידי דופן התא משתווה לחץ האוסמוטי, נפסקת חזרת המים לתא. لكن תא בעל דופן הופך בתמיישה **היפוטונית** יציב ונוקשה. כל טבח מתחילה מנגנון תופעה זו כדי לשמור על רעננותם של עלי חסה וירקות אחרים – ירך שהושרה במים או שהותזו עליו מים (המהולמים, במקרה זה, תמיישה **היפוטונית** ייחסית לנוזל התוך תא) יהיה יציב ונוקשה.



תא צמחי במים טהורים התא מתנפח, אך דופן התא מונע את התפוצצותו.

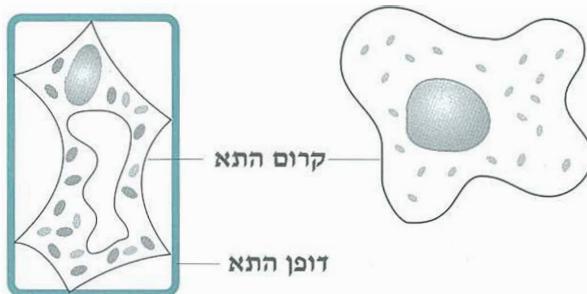
תא של בעל חיים במים טהורים התא מתנפח ולבסוף מתפוצץ.

**השפעה של  
תמיישה **היפוטונית**  
על תא של בעל חיים  
ותא צמחי**

מה יקרה אם נכנס כל אחד מסוגי התאים הללו לתמיסת היפרטוניה (ביחס לנוזל התוך-תאי שלו)? בתא של בעל חיים יצאו מים מהתא אל התמיסת החיצונית. ככל שהפרש הלחצים האוסmotיים בין תוך התא לבין התמיסת החיצונית יהיה גדול יותר, התא יabd' יותר מים. אבדן מים גדולים עלול לגרום למאות של תא בעל החיים.

הזרוף של התא הצמחי גורם לו להתנגד אחרתו. כמו בתא של בעל חיים מים עוזבים את התא הצמחי, תיכון התא מתכווץ, אבל זופן התא נשאר יציב יחסית, אם כי הוא פונה קצת אל פנים התא. בסך הכל, התא קצת פחות קשה. אם התא מאבד הרבה מים, תוכנו יכול להתכווץ עד כדי כך שהחלקים הפנימיים מתרחקים מזרוף התא. התהיליך זהה נקרא **פלסמויזה**.

### השפעה של תמיסת היפרטוניה על תא של בעל חיים ועל תא צמחי



<b>תא צמחי בתמיסת מרכזת</b> התא מתכווץ. אם תחולת התא מתכווצת יותר מדי, קרום התא ניתק מהזרוף.	<b>תא של בעל חיים בתמיסת מרכזת</b> התא מתכווץ. (אך לא זופן התא). אם תחולת התא מתכווצת יותר מדי, קרום התא ניתק מהזרוף.
---	--

כאשר תמיסות בעלות לחץ אוסmotiy שווה מופרדות על ידי קרום ברני לא מתרחשת אוסמוזה. התמיסות נחשות **איזוטוניות** זו לזו, כלומר בעלות לחץ אוסmotiy שווה (איזו – שווה). חשוב לציין שגם זה מולקולות עוברות מצד אחד, אך במספר שווה.

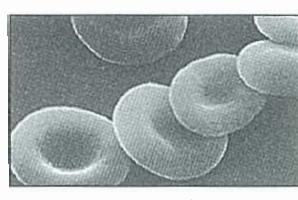
### התנהגות של תא דם אדום בתמיסות שונות

כאשר שמים תא דם אדום (תא של בעל חיים, כאמור) בתמיסת היפוטוניה, מים נכנסים אל תוך הרטא. תמיסת מלח ברכיבו 0.9% מסה/נפח היא איזוטונית ביחס לתאים. תמיסת זו נקראת תמיסת פיזיולוגית. כל תמיסת בריכוך נמוך מזה נחשבת לתמיסת היפוטוניה. כאשר שמים את התאים בתמיסת מאוד היפוטונית ביחס אליהם (תמיסת בריכוך 0.5% מסה/נפח ומטה) נכנסים הרבה מים לתוך התא. תא הדם מתפוצץ, וכל הhamoglobin שביהם דולף החוצה. לתופעה זו של הרס תא הדם האדומים ודריפת הhamoglobin קוראים **המוליזה** (מיוןית: המו – דם, ליא – שבירה, התפוצצות, הרס).

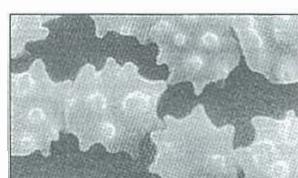
כאשר שמים תא דם אדום בתמיסת היפרטוניה, מים יוצאים מתוך התא אל התמיסת החיצונית. בתמיסת מלח ברכיבו שמעל 0.9% מסה/נפח (היפרטוניה) תא דם אדום מתכווץ ומתקבל מראה משונן דמי כוכב. כאשר שמים את התאים בתמיסת מאוד היפרטונית ביחס לנוזל התוך-תאי שלהם (תמיסת בריכוך 1.2% מסה/נפח ומעלה) תא הדם מאבדים מים רבים מדי ומתיים.

בגוף האדם ובגוף של בעלי חיים אחרים במצב ריגול הלחץ האוסמוטי של פלסמת הדם שווה ללחץ האוסמוטי של תוכן התאים, ויש לכך חשיבות גודלה לפעילות התקינה של הגוף. קיימים בגוףมนגןונים המבטיחים שמירה על ריכוז מומסים (כלומר, לחץ אוסמוטי) קבוע פחות או יותר. שמירה על לחץ אוסמוטי קבוע הוא אחד ממרכיבי ההומיאו-אסטזיס בגוף (הומיאו-אסטזיס, מיונינית: homianio – שווה, statis – מצב, ומשמעותו שמירה על סביבה פנימית קבועה).

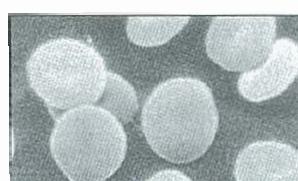
## תאי דם אדוקים בתקיפות שונות



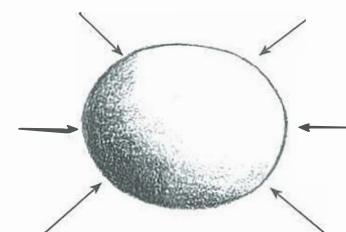
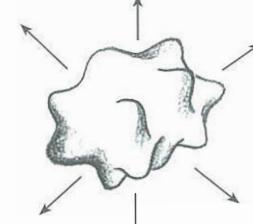
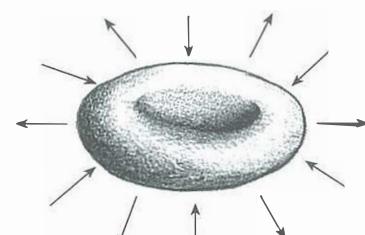
תמיisha איזוטונית



תמיisha היפרטונית



תמייסה היפוטונית



1216A 25



קצחה והריעת מהקהיף את כל התופעות הקשורות בטהיליך האוסטומזה בעולמנו. בחרנו, על כן, להציג שלוש דוגמאות מעניינות: האחת מעולם החיה, השנייה מעולם הצומח והשלישית ביוולוגית-תעשייתית (תלוּ בנקודות המבט).

...על כל...

### **“יחודם של תאי הדם האדומים של הגמל**

יכולתו של הגמל להתקיים בתנאי מדבר קשורה, בחלוקת, לאופיים המייחד של תאי הדם האדומים שלו. מחקר שנערך בנושא זה השווה את התנהוגותם של תאי הדם האדומים של הגמל עם אלו של האדם, כאשר הם נקבעו בתמייסות בריכוזים שונים. לצורך, תמייסת מלך ברייכוז 0.9% מסה/נפח היא איזוטונית לרכיב המלחים בגוף האדם ונקראת על כן תמייסה פיזיולוגית. תמייסה זו איזוטונית גם לנוזלי הגוף של הגמל.

כאשר שמו תאי דם אדומים של אדם בתמייסת מלך ברייכוז של 1.2% מסה/נפח ומעלה (תמייסה היפרטונית), התאים שינוי את צורתם העגללה ונעשה שונים. ואילו תאי הדם האדומים של הגמל, אינם משנים את צורתם בתמייסת ברייכוז צזה. רק בתמייסת מלך ברייכוז של 20% מסה/נפח נמצא מספר תאי דם אדומים של גמל שקצביהם שונים. בתמייסת מלך ברייכוז של 0.5% מסה/נפח ובריכוז נמוך מזה (תמייסה היפוטונית) עוברים תאי הדם האדומים של האדם, כאמור, המולzie. ואילו תאי הדם של הגמל, עמידים אף בתמייסה שרייכואה 0.1% מסה/נפח!

הממצאים הללו מראים שתאי הדם האדומים של הגמל גמישים הרבה יותר מאשר של האדם. הם גם מסבירים כיצד, מצד אחד, יכול הגמל לשורוד ימים רבים ללא שתיפות מים, אף על פי שערכו האוסטומטי של הדם שלו עולה, ומצד אחר את העובדה שכאשר הגמל מגיע אל מקור מים, הוא יכול לשנות כמויות גדולות מאוד של מים בזמן קצר למורות הדילול שנגרם לדם שלו. בשני המקרים למורות השינוי בלחץ האוסטומטי של הדם של הגמל לא נגרם כל נזק לתאי הדם האדומים שלו.

### **איך מתקיימים צמחים בקרקעوط מלוחות?**

יכולתו של הצמח לקלוט מים מהקרקע דרך קרומי שורשי קשורה, לפחות בחלוקת, לתהיליך האוסטומזה. תנועת המים מהקרקע אל היונקות של שורשי הצמח היא תוצאה של מפל לחצים, וביניהם הלחץ האוסטומטי. הלחץ האוסטומטי אמןנו אינו הגורם היחיד, אך הוא בהחלט גורםמשמעותי.

נתיחס אל המים בקרקע ועל הציטופלטמה אשר בתוך היונקות, כאשר הלחץ האוסטומטי של הציטופלטמה שבתאי היונקות יהיה גבוה יחסית אלה של הקרקע.

קרקע מדבנית וקרקע של חוף הים הן קרקעוט מלוחות יחסית לקרקעוט אחרות, ובכל זאת צמחים גדלים בקרקעוט אלו. מטעוררת השאלה, כיצד הצמחים מצילים לקרקע מים מהקרקע ולהתקיים? דרכי העמידות של צמחים ברייכוזי מלחים גבוהים בקרקע הן מגוונות.

חשוב לציין שמרבית הצמחים מוגנים באמצעות שילוב של כמה שיטות. בהכללה ניתן לחלק את דרכי העמידות של צמחי קרקע מלחות לשולש קטגוריות: האחת – בריחה מלאה, השנייה – הركة עודפי מלח והשלישית, המעניינת אותנו במיוחד, שמירה על לחץ אוסמוטי גבוהה בתוך התאים.

"אשליל אָרֶץ יִשְׂרָאֵל" הגדל במלחות (קרקעות מלחות) הוא דוגמה טובה לכך. ריכוז התמיסת שבתאי היונקות שלו הוא ۱۰.۴‰. לשם השוואה ריכוז התמיסת שבתאי "יהודי נודד" הוא ۰.۴‰! תאי היונקות של האשליל צוברים כמות עצומה של מלחים בדרך אקטיבית. לאחר מכון היונקות קולוטות מים מהקרקע באוסמוזה, משומש שהטמיסה בתאים שלחן מרוכזת יותר מזו שבקרקע. האשליל נפטר מעודפי המלח באמצעות בלוטות רב-תאיות, המפרישות את המלח באופן אקטיבי על פני העלים.

### **ניצול תופעת האוסמוזה לשימור מזון**

אחד השיטות לשימור מזון מנצלת את תופעת האוסמוזה. אם מעלים את לחץ האוסמוטי של המזון, יוצרים תנאים שאינם נאותים להתקחותם של חיידקים ומיקרואורגניזמים אחרים. ליתר דיוק, בשיטה זו גורמים להם לאבד מים לטובת המזון, הם מתיבשים ולבסוף מתים. כיצד עושים זאת בפועל? שתי הדרכים השכיחות ביותר הן אלו: הוספת מלח או הוספת סוכר. ההמלחה מקובלת בשימור של בשר ודגנים, ואילו ההוספה של סוכר מתאימה לשימור פירות ולהבנת ריבות וממתקים.

למרות יעילותה של שיטה זו קיימים סוגים אחדים של פטריות ושמרים העמידים בפניה. הם יכולים, למשל, להיות בריבה שריכוז הסוכר שבה עולה על ۵۰‰ מסה/נפח. "תכן שנתקלתם פעם בריבבה שהתקלקלה לאחר שפתחתם אותה, עציו אתם יודעים מי גרם לכך... בדומה לכך קיימים חיידקים המסוגלים להתקיים בריכוז מלח העולה על ۲۵‰ מסה/נפח, הם נקראים הלופילים (אווהבי מלח). כפי שאתם בודאי מבינים, אף הם יכולים לגרום לקלוקול המזון.

דיברנו בהרחבה על תהליך האוסמוזה בתאים חיים, עם זאת כדאי לציין שמים נקלטים ביצורים חיים גם בדרכים אחרות.

ראיינו שבתהליך האוסמוזה מים נעים מאזור שבו ריכוזם גבוה לאזור שבו ריכוזם נמוך דרך קרום ברני. תנועה כזו של חומר במפל הריכוזים היא תהליך ספונטני (תהליך הקורה עצמו). אך לא רק מים עוברים דרך הקרומים של תאים חיים, אלא גם מגוון של חומרים אחרים, למשל חומרי מזון ופסולת. הם עוברים את הקרום במפל הריכוזים שלהם באופן ספונטני. ישנם גם מקרים רבים המכחיבים העברת של חומרים בניגוד למפל הריכוזים שלהם. תנועה של חומר בניגוד למפל הריכוזים שלו נקראת העברת פעילה (אקטיבית). העברת זו אינה ספונטנית והיא דורשת השקעה של אנרגיה על ידי התא.

## הכלאה גו...go...



מים חיווניים לצמיחתם של גידולים חקלאיים. בישראל ובאזורים צחיחים אחרים קיימים מיחסור במים שפירים בכלל ומים לצרכי חקלאות בפרט. מאז ומתמיד היה ידוע שהשקייה במים מלאחים אינה מניבה יבולים טובים. במרכז הניסויים לחקלאות מדברית ברמת הנגב הצלicho לנצל מים מלאחים להשקייה חקלאית, והחוקרים אפילו טענים שיש בכך יתרון כלכלי. הסרט "מים מלאחים ימתקו" \* מציג הצלחה זו.

\* הסרט "מים מלאחים ימתקו" נמנה על סדרת "מה בכימיה". הסדרה "מה בכימיה" הופקה באוניברסיטה העברית בירושלים על ידי המרכז האוניברסיטאי למולטימדיה בשיתוף עם המרכז להוראת המדעים.

## שאלות לsicום פרק א'

(1) על אילו כוחות ממשיכה יש להתגבר כאשר:

- א. מרתיחסים מים
- ב. מרתיחסים  $\text{H}_2$
- ג. יוד ממריא

(2) הסבירו את הסיבה להבדל בנקודות הרטמיה בין בני הזוג הבאים:

-85°C	HCl	20°C	HF
97°C	ICl	59°C	$\text{Br}_2$
150°C	$\text{CHBr}_3$	61°C	$\text{CHCl}_3$

(3) קבעו עבור כל אחד מזוגות החומרים הבאים למי תהיה טמפרטורת רתיחה גבוהה יותר. נמקו את תשובותיכם.

- א.  $\text{SiH}_4$  או  $\text{CH}_4$
- ב. HCl או HF
- ג.  $\text{CH}_3\text{OH}$  או  $\text{H}_2\text{O}$

(4) באילו מבין החומרים הבאים נוצרים קשרי מימן בין המולקולות?

- א.  $\text{CH}_4$
- ב.  $\text{CH}_2\text{NH}_2$
- ג.  $\text{CH}_3\text{F}$
- ד.  $\text{H}_2\text{O}$

(5) אילו קשרים ניתקים בתהיליך האידיוי של מים? אילו קשרים לא ניתקים בעת האידיוי? מה ניתן למדוד מכך על החזק היחסי של הקשרים השונים המתקייםים במים?

(6) הגדרו מהו חום סגוליל והסבירו מדוע החום הסגוליל הגבוה של מים חשוב לחים על פני כדור הארץ?

(7) הגדרו מהו חום אידיוי והסבירו מדוע חום האידיוי הגבוה של מים חשוב לגוף האדם?

(8) أيיה סוג של כוחות בין מולקולריים עשוי להיות בין המומס לממס בכל אחד מהמקרים הבאים:

- א. HF במים
- ב.  $\text{C}_2$  בציקלוהקסאן (פחמיין)
- ג. KBr במים

(9) אצטון מסיס במים. ציררו נוסחאות מבנה של מולקולת מים ומולקולת אצטון והראו איך הן עשוות להתקשר ביניהן. באיזה סוג קשרים מדובר?

10) קבעו עבור כל אחד מהזוגות של מקורות המים הבאים, מי מכיל כמות חמצן גבוהה יותר? נמקו את תשובתכם לגבי כל אחד מהמקרים.

א. נהר עם זרם מהיר או נהר עם זרם איטי?

ב. אגם באביב או אגם בקיי?

ג. אגם صحריים בו דגי קרפין או אגם صحריים בו דגי שמק?

11) מדוע עליה פתואומית אל פני המים לאחר שהיא ממושכת מתחת למים גורמת לייצור בועות בנוали הגוף?

12) שימוש בתערובת של חמצן עם הליום במקום אויר (שמכיל כ-80% חנקן) מפחיתה את סכנת היוצאות הבועות. מה יכולה להיות הסיבה לכך שהליאום עדיף על חנקן?

13) כידוע, האדם מסוגל לצולל ללא ציוד צלילה, אם כי לפראקי זמן קצרים. לפני הכניסה למים הוא לוקח שאיפה عمוקה של אויר כדי להאריך את משך שהותו מתחת למים.

א. הסבירו מדוע אדם שצולל ללא ציוד חשוף פחות לסכנות הדקופרסיה?

ב. נמצא אדם שבצע צילוות חוזרות רבות עלול בכל זאת ללקות בדקומפרסיה. הסבירו מדוע.

14) כמה מוללים מצוינים ב-

א.  $10^{23} \cdot 3$  מולקולות של  $\text{NH}_3$

ב.  $10^{24} \cdot 6$  אטומים של Li

ג.  $10^{22} \cdot 6$  מולקלולות של  $\text{Br}_2$

15) כמה מוללים של אטומי מימן, H, מצויים ב-1 מול מהתרוכבות הבאות:

א.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$       ב.  $\text{CH}_3\text{OH}$       ג.  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$       ד.  $\text{HNO}_3$

הערה: בשאלות הבאות ניתן לעגל את נתוני המסות המולריות עד לספרה אחת אחרי הקודה העשרונית.

16) כמה מוללים של אוקטאן,  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , מצויים ב-228 גרם של אוקטאן?

17) מהי המשנה בגרמים של מול של כל אחד מהחברים:

א.  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$       ב.  $\text{Au}$       ג.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$       ד.  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$

18) חשבו את המשנה המולרית של כל אחת מהתרוכבות הבאות:

א. סכריין, ממתקיק מלאכוטי,  $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{NO}_3\text{S}$

ב. פרוקאין, משכך כאבים,  $\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{O}_2$

ג. פנולפתלאין, חומר צבע,  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$

- 19) הנוסחה המולקולרית של ויטמין C (חומר איסקורבית) היא  $C_6H_8O_6$
- A. המנה היומית המומלצת של ויטמין C היא 60 מ"ג. כמה מולים של ויטמין C צריך אדם שבולע 60 מ"ג ממנה?
- B. טבלת טיפוסית מכילה 1 גרם של ויטמין C. כמה מולים של ויטמין C יש בה?
- C. אם אתה צריך 1 גרם של ויטמין C, כמה אטומי חמצן אתה בולע?

20) כספרופאן בוער באוויר נוצרים פחמן דו-חמצני ואדי מים. ניסוח התהלהך הוא זה:



- A. רשמו את היחס בין המולקולות שהניסוח המאוזן ה"נ"ל מבטא.
- B. רשמו את היחס בין המולמים של החומרים שהניסוח המאוזן מבטא.
- C. רשמו את היחס בין מסות החומרים שהניסוח המאוזן מבטא.

21) חשבו את הריכוז ב-% מסה/נפח של התמיסות הבאות:

- A. 4 גרם NaCl מומסים ב-100 מ"ל תמיישה
- B. 1.66 גרם סוכרוז מומסים ב-200 מ"ל תמיישה
- C. 20 גרם KCl מומסים ב-600 מ"ל תמיישה
- D. 32 גרם  $Na_3PO_4$  מומסים ב-2 ליטר תמיישה.

22) במיל"ם נמצאו 0.412 גרם של יוני סידן  $Ca^{2+}$  לכל ק"ג מים.  
מהו ריכוז יוני הסידן בחל"ם?

23) במכרה זהב מסוים נמצאו 5 גרם זהב על כל טון מחצב גלמי.  
מהו ריכוז הזהב במחצב בחל"ם?

24) נניח שהכנתם 500 מ"ל של תמייסתמלח כלשי בריכוז 0.1M, ובטעות נשפכה חלק מהתמייסה. מה יקרה לריכוז של התמייסה שנותרה בכללי? הסבירו.

25) הסבירו כיצד תכינו 250 מ"ל של תמייסת טוכרז,  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , בריכוז 0.15M?

26) היכן מצוי הריכוז הגבוה ביותר של יוני אשלגן? ב-

A. 0.20M KCl  
B. 0.15M  $K_2CrO_4$   
C. 0.080M  $K_3PO_4$

27) נתונות שתי תמיסות של סוכר מאכל:  
A. 4 ליטר תמיסת סוכר בריכוז 0.125M

בבאיו משתי התייסות מצויים יותר מоловים של סוכרי? פרטו את חישוביכם.

28) חשבו את הריכוז המולרי של התמיסות הבאות:

א. מול שלoca ב-507 מ"ל תמיisha

ב. 5.85 גרם של NaCl ב-0.25 ליטר תמיסה

ג. 101 גרם של  $\text{O}_3\text{NO}$  מומסים ב-1.5 ליטר תמיisha

29) אם המשפט הבא נכון? אם לא, תקנו אותו והסבירו.  
תכוונות קוליגטיביות תלוויות באופי של הממס והמומיס ובירכיו של המומס".

(30) סדרו את התמיסות הבאות על פי סדר יורד של טמפרטורת היתוך:

א. גליקוז 0.20M

0.12M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

0.10M  $\text{CaCl}_2$  . $\lambda$

0.12M KBr .T

31) ניתן לשמור בשר ודגים על ידי המלחמה שלהם. הסבירו מה מתרחש כאשר משרים  
בשר או דגים בתמייה בעלת ריכוז מלח גבוה.  
כיצד בכלל זאת עלול להתקלקל בשר שומר בדרך זו?

32) כיצד ניתן לקבוע את הלחץ האוסמוטי של תא דם אדום באורח מיקרוסקופ שדרכו מtbody>

35-33 סטלה מילון נסיך פולני וויליאם אדוארד ג'יימס סטלה

(33) כאשר מעבירים תא דם אודומיים למים מזוקקים, הם מתפרקים כמעט מיד. מדובר כאשר שמים תאים של רקמה צמחית במים מזוקקים, לא מתרחשת תופעה דומה? \*א. חזרת המים לתא הצמחי נפסקת כאשר הלחץ המכני המופעל על ידי דופן התא משפטווה לפצע אוטומטיו

ב. הקרים של התא הצימי מאיו את כניסה המים אל התא.

ג. קורום התא האצמחי חזק וגמייש הרבה יותר מקרים התא של בעלי החיים.

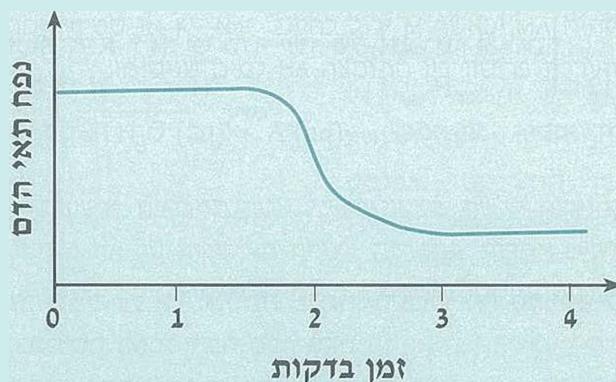
ד. הלחץ האוסמוטי של התא הצמחי נזוק הרבה יותר מהלחץ האוסמוטי של תא חדם אודומיים.

(שאלת זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות בביולוגיה תשמ"ב 1982, 5 יחידות לימוד).

- (34) גמל יכול לשנות ב��ת אחת כמויות גדולות של מים, הרבה יותר מאשר יונקים אחרים. مكان ניתן להסביר שם נשים תאֵ דם אדומיים של גמל ושל אדם בתמיישת מלח, NaCl, מוהלה שריכוזה 0.2% איזין?
- תאי הדם של האדם יתפוצצו ותאי הדם של הגמל לא יתפוצצו.
  - תאי הדם של האדם יתפוצצו ותאי הדם של הגמל לא ישנו את נפחם.
  - תאי הדם של האדם יתכווץ ותאי הדם של הגמל לא יתכווץ.
  - שני סוגי התאים לא ישתנו.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחינה בגרות בביולוגיה תשמ"ח 1988, 5+3 יחידות לימוד).

- (35) התבוננו בעקבותה הבהה וקבעו לאיזו תמיישה הוכנסו תאֵ הדם (של אדם):



- מים מזוקקים.
- لتמיישה שריכוז המומסים בה שווה לרכיב המומסים בתאי הדם האדומיים.
- لتמיישה שריכוז המומסים בה גבוהה מריכוז המומסים בתאי הדם האדומיים.
- لتמיישה שריכוז המומסים בה נמוך מריכוז המומסים בתאי הדם האדומיים.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחינה בגרות בביולוגיה תשמ"ט 1989, 5+3 יחידות לימוד).

- (36) א. תארו כיצד נראה תא יחיד בתמיישה המתוארת בשאלה 35 סעיף ג'.
- ב. מה היה קורא לנפח תא הדם אילו היו מכניםים אותם לכל אחת מהתמיישות האחרות (א, ב, ד)?
- ג. תארו כיצד היה נראה תא דם יחיד בכל אחת מהתמיישות האחרות (א, ב, ד).

# פרק ב:

דינמיקה של תגבות ↗

דינמיקה של תגבות ↗



דינמיקה של תגבות ↗

דינמיקה של תגבות ↗

- ❶ קצב תגובה
- ❷ ההסבר התאורטי לממצאים הניסויים
- ❸ זרים
- ❹ אנזימים
- ❺ תהליכיים הפיכיים



## זמן להגיב



כשעוסקים בכימיה עוסקים בחומרים ובשינויים החלים בהם. בעקבות תגובה כימית חומרים בעלי תכונות מסוימות הופכים לחומרים אחרים בעלי תכונות אחרות. בדרך כלל, אנו מתמקדים בטיבו של החומר שנוצר, אבל במקרים רבים יש חשיבות גם להיבט אחר – מהירות היוצרים החומר החדש, או במילים אחרות: "קצב התגובה".



יש תשובות המתרחשות "בעצתיים", במקרים אלו ההתרחשויות היא איטית כל כך שקשה לבדוק בהצטבותו תוצרי התגובה, אלא אם כן מدتנים זמן ארוך. דוגמה טובה לכך היא היוצרות של נטיפים ואקיפים במערות נטיפים. במערכות אלה מתרחשים בו זמני שני תהליכים מנוגדים האחד – המשך של סלע גיר (סידן פחמתי) על ידי חומצה פחמתית, והשני שיקוע של גיר תוך שחרור מים והתנדפות פחמן דו-חמצני. תהליך זה, כאמור, הוא איטי למדי ותוצאותיו המרשימות נראות לעין רק כעבור שנים. לעומת זאת, במקרה השני של הסולם יש תשובות המתרחשות "כחף עין", ותוצאותיהן הדרמטיות ניכרות מיד. דוגמה לתהליך מסווג זה היא התפוצצות של חומר נפץ, במקרה זה משך התהליך הוא חלקן שניות בלבד. מרבית התשובות הכימיות שנבדקו הן נתקלים בחיי היום-יום מתרחשות בזמנים שבין שני המฉบבים הקיצוניים שתיארנו לעיל. התשובות הכימיות המתרחשות כשלijk נשרף או כושאול מתבשל הן דוגמאות לתהליכי המתרחשים בקצב בינוניים.



לעתים קרובות אנו מעוניינים לא רק לדעת מהו קצב התגובה אלא גם לשנותו, להמריצו או לרסנו על פי הצורך. בשפט דלק טילים, למשל, מעוניינים בשחרור מהיר של תוצרים גזאים ואנרגיה כדי לחת לטיילים דחיפה מרבית, ייחד עם זאת ראוי לציין שהשליטה בתהליך זה קשה. לעומת זאת, כאשר מייצרים מוצרי מזון משתמשים בעת ההכנה להאט את התהליכים הגורמים להם להתפרק ולהקנות למוצרים חיי מדף ארוכים.

## הפרק פותח

בדיוון על קצב תגובות ומטרתו ללמידה כיצד מודדים קצב של תשובות כימיות. בהמשך נכיר שניים מהגורםים המשפיעים על קצב תגובה: ריכוזיהם של החומרים המגיבים והטמפרטורה שבה מתרחשת התגובה. לאחר מכן נציג את "תאוריות ההתגשויות" ובארתיה ננתח את השפעת שני הגורמים שהזכירנו וכן את השפעתו של גורם נוסף – הזמן. נדון בחשיבותם של זרים בתהליכי תעשייתיים ובחינויים של חזרזים הביולוגיים – האנזימים – שבלעדיהם לא היו מתרחשות תשובות כימיות בתנאים המתוונים השוררים ביצורים חיים. בחלק האחרון של הפרק נתמקד בתהליכי הפיכים, מהם הגיעו למבצע של שיווי-משקל, נאcir את המאפיינים של מבנה זה ונדון בהפרעות הנגרמות למערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל ותשובה המערכת עליהן.

# 1

## קצב תגובה

כאשר מתרחשת תגובה כימית מגיבים הופכים לתוצריים. אך במקרים רבים זו אינה התמונה השלמה מכיוון שעם חלוף הזמן מתרחשת במקביל גם תגובה הפוכה שבה התוצריים הופכים חזרה למגיבים. תהליכיים שכאלה, שבהם מתרחשות בו זמניות שתי תגובות הפוכות, נקראים **תהליכיים הפוכים**, בפרק "שינוי-משקל בתגובות כימיות" הזכרנו דוגמאות ל手続きים הפוכים כמו איזוטו ועיבוי של נזול או יצירה ופירוק של פוסגן,  $\text{COCl}_2$ . בבואה לעקב אחר התקדמותה של תגובה נוח לנו, למען פשוטות הדין, להתייחס לתגובה כאילו היא מתרחשת בכיוון אחד בלבד – ממגיבים לתוצריים. בשלב מתקדם יותר של הפרק, כאשר כל הניתוח כבר יהיה בידינו, "נוסיף לתמונה" את התהליך ההיפוך ונדון בכלל, זאת אומרת, בדינמיקה של תהליכיים הפוכים.

### 1.a. התקדמות תגובה

#### פעילות מס' 1: התרחשות תגובה בין מגנזיום לחומצה מיין כלורית



**המטרה:** בניסוי זה תABBוננו בתגובה המתרחשת בין המתכת מגנזיום לבין תמיסת מיימת של חומצה מיין כלורית שניטשה הוא:  $\text{Mg}(s) + 2\text{HCl}(aq) \rightarrow \text{MgCl}_2(aq) + \text{H}_2(g)$

הניסוי ימחיש לנו את העובדה שבתגובה כימית מתרחשים בו זמניות שינויים הן בكمויות המגיבים והן בكمויות התוצריים.

#### חומרים:

✓ 5 מ"ל תמיסת מיימת של מיין כלורי 2*M* ו*HCl*

✓ 0.1 ג' סרט מגנזיום

#### כלים:

✓ מבחנה

✓ מעמד מבחנות

✓ בלון

✓ משורה של 10 מ"ל

#### ועבשו ל עבודה:

- (1) הצביעו את המבחן במעמד המבחןנות.
- (2) נפחו את הבלון וסחררו ממנו את האוויר. חזרו על פעולה זו פעמיים מספר כדי למתוח אותו.
- (3) שקלו כ-0.1 ג' של סרט מגנזיום (על נייר שキלה), חתכו לחתיכות קטנות והכניסו אותן לבalon.
- (4) מדדו במשורה 5 מ"ל מתמיסת המיין הכלורי והעבירו אותה ל מבחנה.

- 5) הלבשו את הבלון על פתח המבחנה.  
 6) הפילו את חתיכות המגנזיום שבתוכן הבלון לתוך המבחנה והתבוננו בשינויים המתרחשים בבחנה ובבלון המחבר אליה.

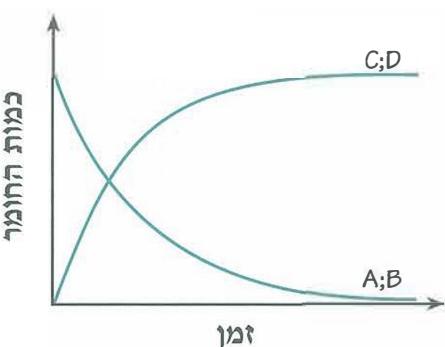
**لسיכום:**

- 1) על פי מה קבועם מתי הסטיימה התגובה?
- 2) מה קרה למגנזיום? מה קרה לנפח הבלון?
- 3) האם תוצאותיכם תואמות את ניסוח התגובה? (הтиיחסו להיעלמות המגיבים והן להופעת התוצרים).



בניסוי רأינו שבמהלך התגובה המגנזיום המוצק – המגיב – נעלם ובמקביל השתרחר מימן גזי – התוצר – שניפח את הבלון. באותו אופן, לגבי תגובה כללית שניסוחה הוא:

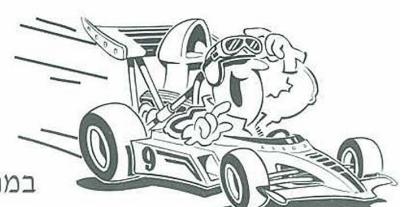
**गраф ב'. שינוי בכמויות המגיבים  
והтворcis במהלך תגובה**



אנו מצפים שעם התקדמות התגובה יירדו כמויות המגיבים (A;B) ובו בזמן יעלו כמויות התוצרים (C;D). את השונות כמויות המגיבים והתוצרים עם התקדמות התגובה נוכל לראות בgraf ב':

## ב. מהו קצב תגובה וכייזד הוא נמדד?

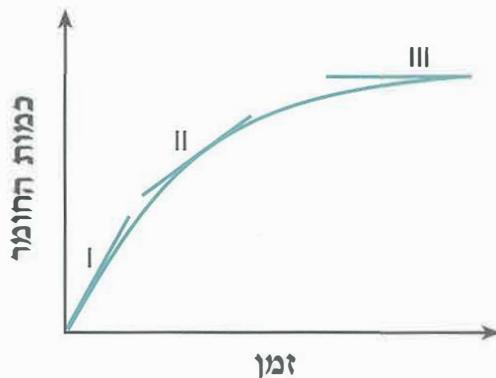
קצב של תהליך הוא מידת התקדמות התהליך ביחידת זמן. קצב של תהליך נמדד על פי מידת השינוי שחל במדד כלשהו ביחידת זמן. דוגמה המוכרת לנו מחיי היום יום היא מהירות (קצב) הנסיעה של מכונית. מהירות הנסעה של מכונית נמדדת במנוחים של דרך (שינוי מקום) ביחידת זמן, לרוב בקמ"ש (קילומטרים לשעה).



באופן דומה ניתן להתייחס לקצב של תגובה כימית. קצב של תגובה כימית נמדד במנוחים של שינוי בכמויות של חומר ביחידת זמן, לרוב בمولים לשניה.

להלן גרף המתאר את תלות כמות התוצר בזמן. שימו לב: העקומה המוצגת בגרף היא עקומת התוצרים (פ;צ) שהופיעה בגרף הקודם. מעוקמה זו ניתן לחשב את קצב התגובה. על פי הגדרתו קצב התגובה הוא השיפוע של העקומה.

### גרף ב2. שינוי בכמות התוצרים במהלך תגובה



כפי שאותם יכולים לראות, הדבר אינו פשוט כל כך לאחר שמידת שיפוע העקומה משתנה. להמחשת עובדה זו סימנו את היסרים המשיקים לעקומה בשלוש נקודות זמן (I, II, III). ואכן, לכל אחד מהיסרים יש שיפוע שונה: לישר הראשון (I) השיפוע התולול ביותר, לישר השני (II) שיפוע מותון יחסית, ואילו הישר השלישי (III) הוא בעל שיפוע אפסי. אם כך, איך מהשיעורים מייצג את קצב התגובה? התשובה היא שככל אחד מהשיעורים מייצג את קצב התגובה בפרק זמן שונה. בambilים אחרים, במהלך התגובה קצב התגובה משתנה. בהתאם לתגובה כשהעקומה תלולה ביותר, קצב התגובה הוא המהיר ביותר (I), בהמשך כשהשיעור מתמתן קצב התגובה פחות מהיר (III), ואילו בסוף התגובה כשהעקומה מתישרת קצב התגובה אפסי (III), וכך לא מפסיק תוצר נסף. בשלב זה אין בידינו מידע לענות על השאלה מדוע קצב התגובה משתנה,ណון בכך בהמשך.

אם ברצוננו למדוד את קצב התגובה באופן מעשי علينا למדוד את הירידה בכמות המגיב או את העלייה בכמות התוצר, לסרטט גרף של כמות החומר ביחס לפחות וממנו להסיק לגבי קצב התגובה. אם נתיחס לתגובה בין מגנזיום למימן כלורי את מי מהחומרים נבדוק, האם נזקוק אחרי הימלומות המגנזיום או אחר הצלבירות המימני תארוטית נוכל לבצע את התגובה עם עודף של מגנזיום, למדוד את מסתו לפני הניסוי, במשך הניסוי ובסיוםו. במקרה זה היה מתקבל במהלך ניסוי מסורבל, שבו היה עליינו להעמיד סדרה של מערכות תגובה ובחון כמיות שות של מגיבים. לאחר מכן היה علينا לעוזר כל אחת מהמערכות בפרק זמן מסוים שנקבע מראש ולמדוד את מסת המגנזיום. בדרך מסוובכת זאת היינו מקבלים מכל מערכת תגובה נתון בנקודת הזמן אחת. הזרק החלופית היא מעקב אחר העלייה בנפח המימן הגז. המימן הוא הגז היחיד המעורב בתגובה, הוא מביע מטען התמיisha החוצה, כך שניתנו לאסוסף במאرك או במשורה ולמדוד את נפחו. בדרך זו מתקבלים ממתקבים מערכות תגובה אחת נתונים על כל פרקי הזמן המבוקשים. אם כך, בתגובה זו המימן הוא החומר הנוח ביותר למעקב. כפי שראיתם, בחירת החומר שעוקבים אחריו מכתיבה את שיטת המיעקב.

**שימוש לב!**

מעקב אחר התקדמות תגובה נעשה על ידי מדידת כמות חומר ביחידת זמן. הגודל המיצג את הכמות נקבע על פי החומרים: מסה ב' למוצקים, נפח במ"ל לגזים, ואילו כאשר החומרים המעורבים בתהליך הם מומסים, הגודל המתאים הוא ריכוך בمولים ליטר.



## פעריות מספר 2: מדידת קצב התגובה בין מגנזיום לחומצה מיימן כלורית



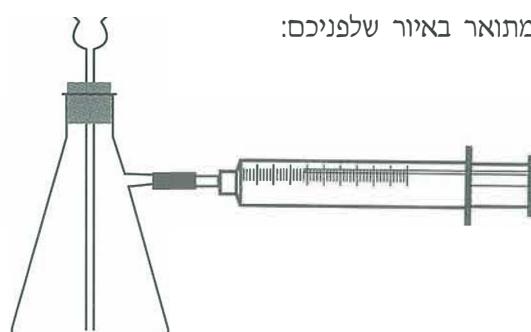
**המטרה:** בניסוי זה תמדו את קצב התגובה בין מגנזיום לתמיסת מיימן כלורי על ידי מעקב אחר נפח המימן המצטבר בפרק זמן קצר.

**חומרים:**

- ✓ ארלנמייר של 250 מ"ל עם זרוע צדדיות ✓ 1 ג' סרט מגנזיום ✓ צמר פלדה ✓Tamisa miyimit shel miyimn kloroi M2 + HCl ✓ פקק מהיר ✓ משפט ✓ צינור גומי ✓ שעון עץ ✓ צינור שחזור ✓ משורה של 50 מ"ל ✓

**ועכשו לעבודה:**

- 1) שפשפו את סרט המגנזיום בעזרת צמר הפלדה והכניסו את סרט המגנזיום לאrlenmeier.
- 2) הריכיבו את המערכת כמפורט באירור שלפניכם:

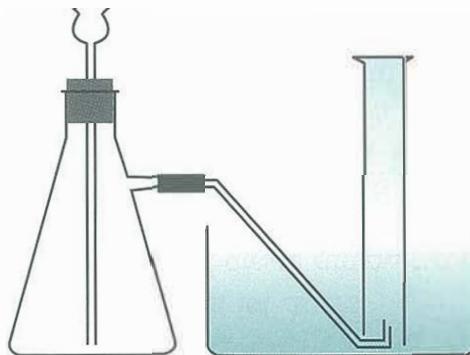


- (3) מדדו במשורה 50 מ"ל מתmisat miyimn kloroi.
- (4) מגו את החומצה לאrlenmeier דרך המשפט ובו זמניית הפעילו את שעון העץ.
- (5) מדדו את נפח המימן שנאסף במרוחחים של חצי דקה עד לסיום התגובה.

**אפשרויות לתמרוֹן:**

**א)** אם אין ברשותכם משפך כמותואר באירר, ניתן לבצע את הניסוי בלבד, אך במקרה זה על הפקק של האrlenmeyer להיות לא מחורר. הוספת התמיisha (בסעיף 4) תיעשה, במקרה זה, על ידי הסרת הפקק, מזיגת התמיisha בזריזות וסגירה מיידית של הפקק. המשך הניסוי יהיה כמותואר לעיל.

**ב)** קיימת אפשרות להחליף את המזרק שבמערכת במשורה הפוכה ומלאה במים, כפי שמותואר באירר הבא:

**לסיכום:**

- 1) רשמו את ממוצאי הניסוי בטבלה.
- 2) הציגו את הממצאים בגרף שיראה את נפח המימן (במ"ל) ביחס לאמן (בדיקות).
- 3) חשבו את קצב התגובה בדקה הראשונה, בדקה השנייה ובדקה השלישית. מה ניתן להסיק מהחישובים?
- 4) התבוננו עתה בגרף שסרטטוּם: **א)** מה ניתן להסיק מצורת העוקמה?  
**ב)** מהי המשמעות של התוישנות העוקמה?

## 1ג. כיצד ניתן לשנות קצב של תגובה?

כדי לענות על שאלה זו علينا להכיר את הגורמים המשפיעים על הקצב של תגובה כימית נתונה. שניים מהגורםים העיקריים המשפיעים על קצב של תגובה הם אלו: ריכוזיהם של המגיבים והטפרטורה שבה מתרכשת התגובה. בשני הניסויים הבאים נבחן את השפעתו של כל אחד מגורמים אלו על קצב התגובה. בניסויים אלו נמודד, מט unified נוחות, את **משך הזמן** העובר מתחילה התגובה ועד לסיוםה או עד לנקודת זמן אחרית שאotta נקבע מראש.משך התגובה יכול ליצג את קצב התגובה לאחר שהוא תלוי בו, שהרי כאשר קצב התגובה מהיר יחסית,משך התגובה יהיה קצר, ואילו כאשר קצב התגובה איטי יחסית,משך התגובה יהיה ארוך. שימושו לבן שבניוסיים אלו אנו מעתלמים כביכול מהעובדת שקצב התגובה משתנה במהלך, ולמעשה אנו מתייחסים לקצב תגובה ממוצע. אידך זה אינו מפריע לחקר את השפעת הגורמים השונים על קצב התגובה.

## פעילות מס' 3: השפעת ריכוז המגיבים על הקצב של תגובה



**המטרה:** בניסוי זה תעקבו אחר התגובה בין תמייסה מימית של נתרן תיו-גופרטאי,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , לתמייסה מימית של חומצה מימן כלורית,  $\text{HCl}$ . הניסוח הוא:



במהלך הניסוי תשנו את הריכוא של תמייסת הנתרן התיו-גופרטאי ותבדקו את השפעת השינוי ברכיביו על משך התגובה.



**הבהרה:** אחד מתוצרי התגובה הוא גופרית מוצקה,  $(\text{S}_8)$ , ושייעתה גורמת לעכירות התמייסה. ככל שה>tagובה מתקדמת, עולה עכירות התמייסה. אנו נקבע את משך התגובה כזמן העובר מהתחילתה ועד לקבלת דרגה מסוימת של עכירות בתמייסה. למעשה אנו מודדים את משך הזמן העובר עד להצטברות כמות מסוימת של תוצר. נגידו את זמן סיום התגובה בזמן שבו לא ניתן עוד לראותו מבעד לתמייסה. לצורך זה תציבו את כל התגובה מעל נייר לבן שעליו תסמן מראש "A" בלורד שחור, כפי שמתואר באירור שלפניכם:

### חומרים:

- ✓ תמייסה מימית של נתרן תיו-גופרטאי  $2\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- ✓ תמייסה מימית של מימן כלורי  $2\text{M HCl}$

### כליים:

- ✓ משורה של 50 מ"ל
- ✓ משורה של 10 מ"ל
- ✓ 5 כוסות כימיות של 100 מ"ל
- ✓ דף נייר לבן
- ✓ לורד שחור
- ✓ שעון עץ

### ועכשו לעבודה:

- (1) סמןו את הкусות הכימיות מ-1 עד 5.
- (2) סמןו "A" בלורד שחור על דף נייר לבן והניחו עליו כוס כימי.
- (3) מדדו בעזרת המשורה המתאימה 5 מ"ל של תמייסת מימן כלורי ומגוו אותה לכוס.

- (4) מזו באזור המשוררת המתאימה 50 מ"ל של תמייסת נתרן תיו-גופרטי ומזו לכוס (המכילה כבר תמייסת מימן כלורי) והפעילו את שעון העצר.
- (5) התבוננו מעל הכוס ועטרו את השעון כאשר סימן ה- "א" נעלם מעיניכם. רשמו את הזמן שעבר מתחילת התגובה ועד להיעלמותו ה- "א".
- (6) חזרו על הניסוי עם ריכוזים נמוכים יותר של נתרן תיו-גופרטי: הצביעו כוס אחרת על סימן ה- "א" ומזו לתוכה 5 מ"ל של תמייסת מימן כלורי.
- (7) מזו באזור המשוררת המתאימה המתאימה 40 מ"ל של תמייסת נתרן תיו-גופרטי.
- (8) השלימו את הנפח בשוררה ל- 50 מ"ל על ידי הוספת מים מזוקקים ומזו את תוכן המשוררת לכוס. הפעילו את שעון העצר.
- (9) קבעו את הזמן העובר עד להיעלמותו ה- "א".
- (10) חזרו על שלבים 9-6 עם 30 מ"ל, 20 מ"ל ו- 10 מ"ל של תמייסת נתרן תיו-גופרטי ובכל פעם הקפידו להשלים את הנפח ל- 50 מ"ל (על ידי הוספת מים מזוקקים), לפני שאתם מזגים את תכולת המשוררת לכוס.

**لסיכום:**

- (1) הציגו את ממצאי הניסוי בטבלה, חשבו מה היה ריכוז הנתרן התיו-גופרטי בכל אחד מהניסיונות.
- (2) סרטטו גראף המתאר את משך התגובה ביחס לריכוז הנתרן התיו-גופרטי.
- (3) מה תוכלו להסיק לגבי הקשר בין ריכוז הנתרן התיו-גופרטי לבין קצב התגובה? (שים לב להבדל בין משך התגובה לבין קצב התגובה). 

בעקבות ניסוי זה וניסויים אחרים המذוחים בספרות ניתן לנתח מסקנה כללית לגבי השפעת ריכוז המגיבים על הקצב של תגובה:

**רוב התגובה הכימיות מתרכחות בקצב מהיר יותר מאשר מעלים את ריכוז המגיבים.**

לדוגמה: חומרים שבוערים באוויר היו בוורים מהר יותר בחמן נקי (להזיכרכם, תגובה בערה היא תגובה של חומר כלשהו עם חמן). מידע זה הוא שימושי כoubles פחמים במנגל. נשיפת אויר על הפחים, "נפנוף", מספקת יותר חמן ועל כן משפרת את הבערה.

## פערות מס' 4: השפעת הטמפרטורה על הקצב של תגובה



**המטרה:** בניסוי זה תעקבו שוב אחר התגובה בין תמיסת נתרן תיו-גופרתי לתמיסת של חומצה מימן כלורית, אך הפעם תבדקו את השפעת הטמפרטורה על משך התגובה.

### חומרים:

- ✓ תמיסת מימית של נתרן תיו-גופרתי  $Mg(OH)_2$  0.05M
- ✓ תמיסת מימית של מימן כלורי  $HCl$  0.4M
- ✓ מים מזוקקים



### כליים:

- ✓ 4 כוסות כימיות של 100 מ"ל
- ✓ 4 ארלנמיירים של 25 מ"ל
- ✓ 2 משורות של 50 מ"ל
- ✓ מד טמפרטורה
- ✓ דף נייר לבן
- ✓ לורד שחור
- ✓ שעון עץ
- ✓ 3 אמבטי חימום (אפשר כתתיים)

### ועבשו ל עבודה:

- 1) סמננו את ארבע הкусות ואת ארבעת האrlenמיירים, במקביל, מ-1 עד 4.
- 2) מזרדו בעורת משורה 30 מ"ל של תמיסת נתרן תיו-גופרתי ומאגו אותה לכוס מס' 1. חזרו על פעולה זו בשאר הкусות המסומנות.
- 3) מזרדו בעורת המשורה השנייה 25 מ"ל של תמיסת מימן כלורי ומאגו אותה לאrlenmiir מס' 1. חזרו על פעולה זו בשאר האrlenmiiriים המסומנים.
- 4) הכניסו את האrlenmiiriים ואת הкусות המסומנים ב-2, 3, 1-4 לאמבטי החימום המכוננים לטמפרטורות אלו:  $40^{\circ}C$ ,  $50^{\circ}C$ ,  $60^{\circ}C$ , כך שכל אמבט יהיה כוס אחד ואrlenmiir אחד בעלי אותו מס'.
- 5) סמננו על דף נייר לבן "א" בלורד שחור והניחו עליו את כוס מס' 1.
- 6) הוסיפו את תמיסת המימן הכלורי המצויה באrlenmiir מס' 1 לכוס הכימית שעל ה-"א", ערבו וזרזו את הזמן העובר עד היעלמותו ה-"א" מעיניכם.
- 7) בדקנו בעורת מד-טמפרטורה אם תכליות הкус מס' 2 והarelnmiir מס' 2 הגיעו לטמפרטורה של  $40^{\circ}C$ . אם כן, הוציאו אותם מהאמבט ונגבו היבט את החלק החיצוני של הкус.
- 8) הציבו את כוס מס' 2 מעל סימן ה-"א", הוסיפו את תמיסת המימן הכלורי המצויה באrlenmiir מס' 2 לכוס הכימית שעל ה-"א", ערבו וזרזו את הזמן העובר עד היעלמותו ה-"א".
- 9) חזרו על הפעולות שבסעיפים 7 ו-8 בכלים שבטמפרטורות של  $50^{\circ}C$  ו-  $60^{\circ}C$  לפני הסדר.

**لسיכון:**

- 1) הציגו את ממצאי הניסוי בטבלה.
- 2) סרטטו גף המתאר את משך התגובה ביחס לטמפרטורה.
- 3) מה תוכלם להגיד לגבי הקשר בין הטמפרטורה לבין קצב התגובה? (שים לב להבדל בין משך התגובה לבין קצב התגובה).

בעקבות ניסוי זה וניסויים אחרים המذוחים בספרות ניתן לנתח מסקנה כללית לגבי השפעת הטמפרטורה על הקצב של תגובה:

**התגובה כימיות מתרכשות בקצב מהיר יותר כאשר מעלים את הטמפרטורה  
שבה חן מתרכשות.**

עובדיה זו ניתנת לניצול במטבח. מעוניינים לבשל מרק ואננסים קצר? – במקום להילץ בשלו בסיר לחץ! כאשר מבשלים בסיר רגיל, תהליך הבישול מתרכש בטמפרטורה שאינה עולה על  $100^{\circ}\text{C}$  (טמפרטורת הרתיחה של המים). אך כאשר מבשלים בסיר לחץ, הלץ השורר בסיר גורם לעלייה בטמפרטורת הרתיחה של המים והם עשויים לרתחה ב- $110^{\circ}\text{C}$ . העלייה בטמפרטורה גורמת לכך שימוש הבישול בסיר לחץ יהיה קצר יותר מאשר בסיר רגיל.

**הקצב של תגובות רבות גדול פי 2 כאשר הטמפרטורה שבה מתרכשת התגובה  
עליה ב- $10^{\circ}\text{C}$  בלבד!**

את אותה עובדה ניתן לנצל גם בכיוון הפוך. אם גם אתם מלאה המאחסנים סוללות במרק, אתם תורמים בכך לארכת חי הסוללות. הטמפרטורה הנמוכה יחסית השוררת במרק גורמת להאטת התהליכים הכימיים ה"מצביעים" את הסוללות.

### שיטת עקיפה למדידת קצב תגובה

למדנו שקצב תגובה נמדד לפי השינוי בכמות אחד החומרים, מגיבים או תוצריים, המשתתפים בתגובה. אך לא תמיד המדידה קללה לביצוע. לעיתים נדרשות שיטות עקיפות למשך אחר הקצב של תגובות. במקרים אלו הרעיון הכללי הוא לעקוב אחר תכונה אשר ידוע שהיא מתכוונתית (פרופורציונלית) לריכוז אחד החומרים, ולכן היא יכולה ליצג אותו. אחת השיטות מסווג זה היא השיטה הספקטросקופית שבה מודדים שינויים בבבילה של אור או בפליטות. שיטה אחרת היא השיטה הפולרימטרית שבה עוקבים אחר שינוי במידת סיבוב מישור הקיטוב של האור. שיטה אחרת מבוססת על מדידות חשמליות, כאשר המעקב הוא אחר השינוי במוליכות חשמלית. למעשה גם אנחנו השתמשנו בשיטה עקיפה למדידת השינוי בכמות התוצר, כאשר נעזרנו בעלייה בעכירות התמיisha כמדד להצברות גופרית.



## הסביר התאורטי למצאים הניסויים

מדוע ריכו המגיבים והטמפרטורה שבה תגבה מתרחשת משפיעים על קצב התגבה? תשובה לשאלה זו והסביר משכנע למצאי הניסויים שערכנו מספקת לנו "תאוריות ההתנגשויות".

### 2א. תאוריות ההתנגשויות

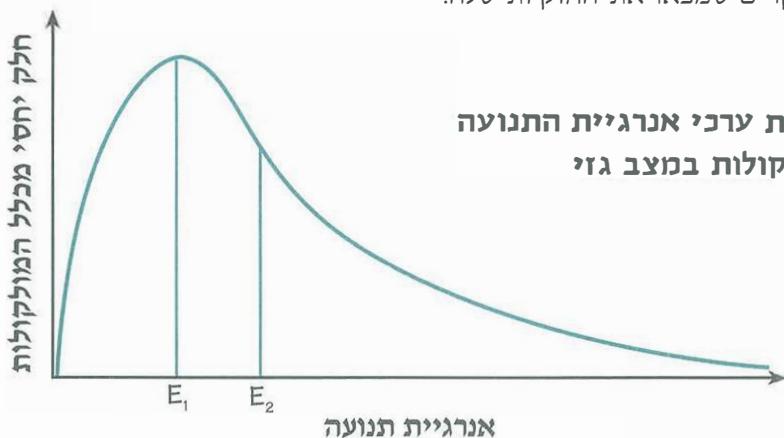
תאוריות ההתנגשויות קשורות בין קצב התגבה לבין היחסות בין המולקולות במהלך התגבה כימית נשברים קשרים שהיו בмолקולות המגיבים, במקומות נוצרים קשרים חדשים ומתקבלות מולקולות של תוצריים. שלב שבירת הקשרים, שהוא השלב הראשון בכל תגבה כימית, דורש אנרגיה. במקרים אחרים: להתחלה תגבה כימית דורשה אנרגיה. אנרגיה זו מסופקת על ידי מולקולות המגיבים עצמן, או אנרגיית התנועה שלהן. כאשר מולקולות נעות מתנגשות זו באו, האנרגיה שלן יכולה לגרום לשברת קשרים שהיו בהן.

תאוריות ההתנגשויות פותחה לתיאור תגבות דו- מולקולריות המתרחשות במצב צבירה גז. כפי שנראה בהמשך, ניתן ליישם את עקרונות התאוריה גם לגבי תגבות המתרחשות בתמיסה, אם כי במקרה זה המצב מורכב יותר.

תאוריות ההתנגשויות מتبasing על תאוריות התנועה של הגזים (התאוריה הקינטית), لكن נציג תחילת בקצרה את העקרונות של תאוריה זו.

#### תאוריות התנועה של הגזים (התאוריה הקינטית)

על פי תאוריות התנועה של הגזים, בטמפרטורה שמעל האפס המוחלט מולקולות במדגם של גז נמצאות בתנועה מתמדת ואקראיית. תוך כדי תנועתן המולקולות מתנגשות זו בזו וגם בדפנות המכלי שבו הן מצויות. תוך כדי התנגשויות אלו האנרגיה של המולקולות יכולה להשנות, לפחות או לר做梦. התמונה הכלכלית המתבקשת היא של מולקולות במדגם של גז יש ערכיהם שונים של אנרגיות תנובה: יש מעט מולקולות בעלות אנרגיות תנובה נמוכה, יש מעט מולקולות בעלות אנרגיות תנובה גבוהה ולרבות הmolkulot יש ערכי ביןיים של אנרגיה. העיקומה המתארת את התפלגות ערכי אנרגיות התנועה של המולקולות נקראת "עקומת מקסול-בולצמן" (Maxwell-Boltzmann) על-שם החוקרים שמצאו את החוקיות שלה.



**גרף ב.3.**  
התפלגות ערכי אנרגיות התנועה  
של מולקולות במצב גזי

**שיםו לב:**

העוקמה אינה עוקמת "פעמון" רגילה. עוקמת פגמון מייצגת התפלגות נורמלית של ערcisים והיא סימטרית סביב הערך המרבי (המקסימום). לעומת זאת, השיכח – הערך הנפוץ ביותר – והממוצע הם בעלי אותו ערך מסווני. ואילו עוקמת מksamול-בולצמן אינה סימטרית, אלא נוטה ימינה. לעומת זאת, השיכח המסומן בגרף ב- $E_1$ , והממוצע המסומן בגרף ב- $E_2$  אינם בעלי אותו ערך מסווני. המוצע, שהוא המדד העיקרי אותנו, נמצא על העוקמה מימין לשיכח. במילים אחרות, ערך האנרגיה המוצע אינו הערך הנפוץ ביותר.

אנרגיית התנועה של מולקולה היא הגורמת לဓירותה, וכך ככל שאנרגיית התנועה של מולקולה גבוהה יותר, מהירותה של המולקולה גבוהה יותר. אין לנו אפשרות למדוד ישירות את אנרגיית התנועה של מולקולה מסוימת או את מהירותה, אך אנו יכולים לדעת מהי אנרגיית התנועה המוצעת של המולקولات בדגם על פי הטמפרטורה של הדגם. **טמפרטורה של דגם גז** מהויה, למעשה, **ביטוי חיצוני לאנרגיית התנועה המוצעת של המולקولات בדגם**.

### **התנגשות בין מולקולות**

לאחר שהכרנו את העקרונות של תאוריית התנועה של הגאים, נוכל עתה להכיר את תאוריית ההתנגשויות. הרעיון המרכזי שתאוריות ההתנגשויות מוסיפה הוא זה:  
**כדי שתתרחש תגובה בין חומרים, המולקولات שלהם חייבות להתנגש זו בזו.**  
 מכאן יוצא, שככל שמספר ההתנגשויות ביחיד זמן גדול יותר, כך התגובה מהיר יותר.

אך מתברר שלא כל התנגשויות מביאה לתגובה. מסקנה זו עלתה מניתוח מדויק של מערכות תגובה שונות. נבחן, לדוגמה, את מהן: תערובת של  $H_2$  ו- $O_2$  גזים המצויים בלחץ ובטמפרטורה תקניות. עברו מערכת זו חישבו ומוצאו שככל מולקולה עוברת  $10^3$  התנגשויות בשניה. אם כל התנגשויות בין מולקولات  $H_2$  ו- $O_2$  הייתה מסוימת ביצירת מולקولات התוצר  $H_2O$ , התגובה הייתה מגיעה לשיאומה בתוך פחות משנייה, אך למעשה בתנאים תקניים התגובה מתרחשת באיטיות רבה. מנתה הסיבה לפער בין קצב התנגשויות לבין התגובה שرك אחת מכל  $10^3$  התנגשויות יוצרת תגובה. בהכללה ניתן לומר לגבי מרבית התגובה שרק חלק קטן מההתנגשויות אכן מובילות לתגובה.  
 נשאלות השאלה: מה מונע מהתגובה להתתרחש מהר יותר? מדוע קצב התגובה קטן הרבה יותר מהקצב הצפי על פי מספר ההתנגשויות? מדוע לא כל התנגשויות מסוימות בתגובה?

### **אנרגיה שפיעול**

כאמור, השלב הראשון בתגובה כימית – שלב שבירת הקשרים – דורש אנרגיה, אנרגיה זו מקורה באנרגיית התנועה של מולקولات המגיבים עצמן. מכאן ניתן להבין שתגובה כימית מתרחש רק אם מולקولات המתנגשות תהיה כמות מינימלית של אנרגיה או כמות גבוהה ממנה. כמות אנרגיה מינימלית זו, הדרישה לשם התרחשותה של תגובה, נקראת **אנרגיית שפיעול Activation Energy** ( $E_a$ ). לכל תגובה יש אנרגיית שפיעול ייחודית לה, על פי אופיה ועל פי סוג הקשרים הניתקים בהמשך.

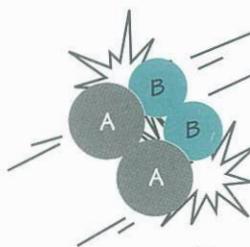
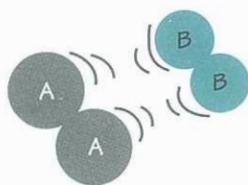
לצורך ההסביר נציג תגובה דו- מולקולרית כללית המתארשת במצב צבירה גיא שניסוחה הוא זה:



התגובה בין מימן ו יוד גאים היא דוגמה ממשית לתגובה כזו, וניסוחה:



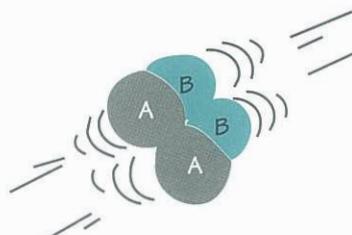
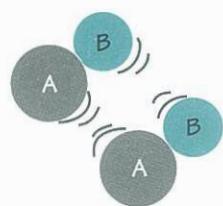
אם המולקولات  $A_2$  ו-  $B_2$  נעות לאט, כלומר הן בעלות אנרגיית תנועה נמוכה, הן מתנגשות התרגשות אלסטית, כלומר לאחר ההתנגשות הן תיפרՃנה ללא כל שינוי במבנה שלתן ותוך שימור סכום אנרגיות התנועה שלתן. הדבר דומה להתנגשות בין שני כדורי ביליארץ, גם במקרה זה לאחר ההתנגשות ה כדורים נפרדים זה מהז בלי שהמבנה שליהם השתנה.



ב. המולקولات נפרדות ללא שינוי ההתנגשות "לא הצלחה".

א. ההתנגשות ללא אנרגיה מספקת של מולקولات בעלות אנרגיית תנועה נמוכה.  
(התנגשות אלסטית)

לעומת זאת, אם המולקولات  $A_2$  ו-  $B_2$  נעות במהירות מספקת, כלומר הן בעלות אנרגיית תנועה גבוהה, לפחות כמו אנרגיית השפעול, ההתנגשות תוביל למשמעות של שתי המולקولات וליצירת מצב מעבר הנקרא "תצמיד משופע" (Activated Complex). ההתנגשות חזקה זאת נקראית "התנגשות אנרגטית". להזגמה נחזרו לכדורי הביליארץ, אילו שני ה כדורים היו מתנגשים בעוצמה גבוהה במיוחד, זה לא היה "עובר להם בשקט", הם היו עוברים שינוי מבני – הם היו מותנפצים!



ב. נוצרו מולקولات תוצר – AB – ההתנגשות "הצלחה".

א. ההתנגשות עם אנרגיה מספקת: קשרים נחלשים, ואחרים מתחלים להיווצר.  
(תצמיד משופע)

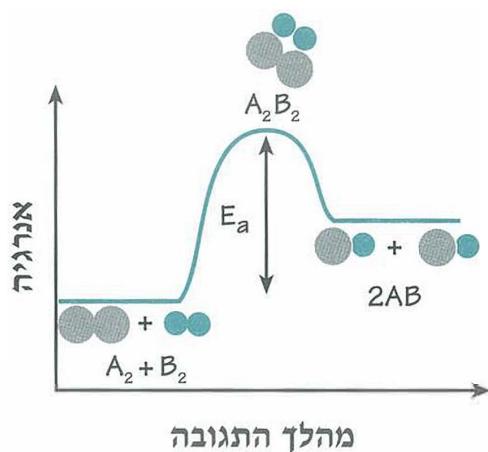
במצב של תצמיד משופעל הקשרים שהיו ב מולקולות לפני התנגשות מתרופפים, והקשרים החדשין רק מתחילה לヒווצר. נוצר מצב שבו ארבעת האטומים קרובים זה לזה וארבעת האלקטרוניים הקשרים נמשכים בו זמן לאربعת הגרעינים. אנרגיית התנועה לשתי המולקולות שהתנגשו אוצרה עתה בתצמיד המשופעל. אורך חיו של ה"יצור" המורכב והאנרגטי זה קצר מאוד והוא אכן מתרפרק ב מהירות. כשהתצמיד המשופעל מתרפרק, הוא יכול ליצור שתי מולקולות מסווג AB, תוצרי התגובה, או ליצור מחדש את המולקולות  $A_2$  ו- $B_2$ , מגיבים.

בעקבות הבדיקה שעשינו בין סוגי ההתנגשויות, נוסף עוד פרט חשוב לרעיון המרכזי של תאוריית ההתנגשויות: כדי שתתרחש תגובה בין חומרים, המולקולות שלהם חייבות להתנגש זו בזו בתנשיות אנרגטית ( $E_a > E$ ).

### פרופיל תגובה

את שינוי האנרגיה הפנימית (אנרגיה פוטנציאלית) המתרכשים עם התקדמות התגובה ניתן לתאר על ידי עקומה הנקראת "פרופיל התגובה". נתיחס תחילת לתגובה אנdotרמית. כפי שלמדתם בפרק "מעברי אנרגיה בתגובה כימיות" תגובה אנdotרמית היא תגובה המאפשרת בעלייה באנרגיה הפנימית של המערכת, כלומר המצב האנרגטי של המגיבים נזוק מזה של התוצרים. פניכם עוקמה המתארת תגובה אנdotרמית:

#### גרף ב.4. פרופיל תגובה אנdotרמית

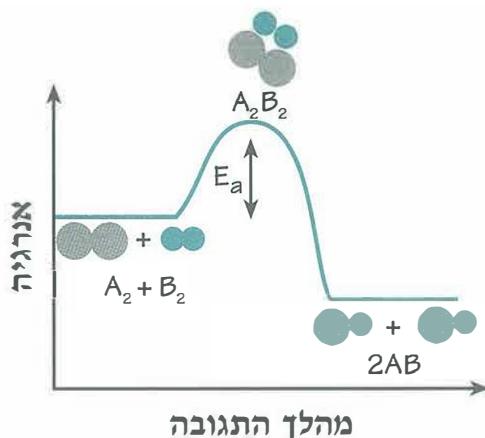


בעוקמה ניתן לראות שהמצב האנרגטי של התצמיד המשופעל גבוה מזה של המגיבים. כפי שמסומן בעוקמה, אנרגיית השפועל,  $E_a$  היא ההפרש בין המצב האנרגטי של התצמיד המשופעל לבין המצב האנרגטי של המגיבים. ניתן להתייחס לאנרגיית השפועל כל "מחסום האנרגיה" של התגובה.

עתה נתיחס לתגובה אקסותרמית. כפי שלמדתם בפרק "מעברי אנרגיה בתגובה כימיות" תגובה אקסותרמית היא תגובה המאפשרת בירידה באנרגיה הפנימית של המערכת, כלומר המצב

האנרגטי של המגיבים גבוה מזה של התוצרים. מן הרואי לציין שגם במקרה זה המכוב האנרגטי של היצמיד המשופעל יהיה גבוה מזה של המגיבים. העקומה המתארת תגובה אקסוטרמיית תראה כך:

#### גרף ב5. פרופיל תגובה אקסוטרמיית



#### על מנת להרוויח צרייך להשקייע!

כדי לגרום לבURAה של גז הבישול בבית או של הדלק במכונית לא די בכך שהם יבואו במאע עם החמצן שבאוויר, קודם כל עלינו להציג אותן! מדובר בתגובות אקסוטרמיות אלו אשר משמשות אותנו כtagבות הפלוטות חום, דורשות מאתנו השקעת אנרגיה? הסיבה לכך היא אנרגיית השפעול של התגובה. האנרגיה הראשונית שאחננו מספקים נדרשת כדי לאפשר למספר מולקולות מגיבים "לעבור את מחסום האנרגיה", ליצור תצמידים משופעים ולהפוך למולקולות תוצרים. בהמשך התהליך החום הנפלט מהתגובה של המגיבים (אותן מולקולות ש"עברו את המחסום") מספק את האנרגיה הדרושה למולקולות מגיבים נוספות כדי ליצור תצמידים משופעים, ומרגע זה ואילך התגובה מקיימת את עצמה.

לכד...  
לכד...

#### אכליים אלחוטיים

נתונות שתי tagבות המתרחשות באותו טמפרטורה, האחת בעלת אנרגיית שפעול גבוהה יחסית והשנייה בעלת אנרגיית שפעול נמוכה יחסית.

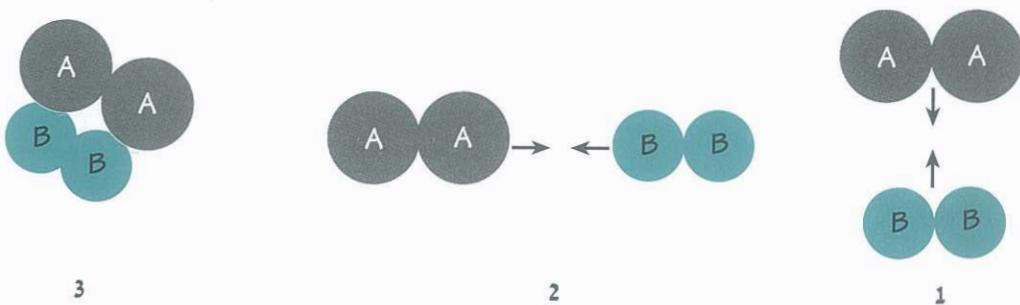
- 1) איזו מבין התגובות נתקיים, לדעיכם, בקצב איטי יותר ומדוע?
- 2) האם תהיה השפעה לעובדה שהtagובה היא אנdotרמיית או אקסוטרמיית? נמקו.



## הגורם המרחב

נמצא כי בתגובה דו- מולקולרית קצב התגובה התאורטי, המוחושב על פי מספר ההתנגשויות האנרגטיות, גבוה מקצב התגובה הנמדד בניסויים. מהו הפרט החסר הפעם? מהו הגורם הנוסף המשפיע על קצב התגובה?

הפער בין הקצב התאורטי לקצב הנמדד נובע מכך שביחס שמתבסס על תאוריית ההתנגשויות לא נלקח בחשבון **כיוון ההתנגשויות** במרחב. מסתבר שבנוסח על כך שלזוג המולקולות המתנגשות דרישה אנרגיית שפעול מסויימת על ההתנגשות גם בכיוון המתאים מבחינה מרחבית ליצירת הקשרים החדשים. ננסה להמחיש זאת באמצעות האירוסים הבאים. באירוס מס' 1 ו-2 מתוארות התנגשויות בין מולקולות  $A_2$  ו- $B_2$ . באירוס מס' 3 מתואר התצמיד המשופעל המתאים לקבלת התוצרים. ניתן לראות שرك ההתנגשויות המתוארת באירוס מס' 1 מתבצע בכיוון הנכון לקבלת התוצרים.



כדי לציין, שעד עתה עסקנו במולקולות דו-אטומיות שהן מולקולות פשוטות יחסית. ככל שהмолקולות של המגיבים גדלות ומורכבות יותר, ההסתברות שהתנגשויות תתרחש בכיוון המתאים קטנה יותר. לכן קצב התגובה בין מולקולות מורכבות הוא הרבה יותר נמוך מהקצב שבו מתרחשות התנגשויות עם אנרגיה מסוימת. יצא מכך שעליינו לשוב ולעדכן את הרעיון המרכזי של תאוריית ההתנגשויות:

**כדי שתתרחש תגובה בין חומרים, המולקולות שלהם חייבות להתנגשزو בזו התנגשויות אנרגטיות ובכיוון המתאים מבחינה מרחבית.**

התנגשויות אנרגטיות ובכיוון המתאים מבחינה מרחבית נקראת **"התנגשויות פורייה"**.

## תגובה בתמיisha

עד כאן הצגנו את תאוריית ההתנגשויות לגבי תגובה המתרחשת במצב צבירה גז, אך אותנו מעניינות בעיקר תגובהות המתרחשות ביצורים חיים. ידוע לנו תגובהות ביצורים חיים מתרחשות בתמיisha מימית. מתוורת השאלה האם העקרונות המתיארים לתגובה במצב גז, שהוא מצב פשוט יחסית, יהיו תקפים גם לגבי תגובה בתמיisha, שהיא מצב מורכב יותר? בתגובהות בתמיisha יש לציין כמה היבטים ייחודיים:

- (1) מולקولات מומס אחת מתנגשת במולקولات ממס רבות, עד שהיא "פוגשת" במולקولات מומס אחרות שאתה היא יכולה ליצור תצמיד משופע ולהיחוף למולקولات של תוצרים.
- (2) במרבית המקרים הממס אינם משתתף בתגובה עצמה. ועם זאת אין להתייחס אליו כאל מרכיב לגמרי לא פעיל, מאחר שבין מולקولات הממס פועלים כוחות בין- מולקולריים.
- (3) בתמיסות מהולות מולקولات המומס נמצאות בתוך מעטפת של מולקولات ממס, עובדה זו משפיעה השפעה ניכרת על יכולת התנועה של מולקولات המומס.
- (4) כאשר מתרחש "פגש" בין שתי מולקولات מגיבים המצויות בתמיסה, הן שווות זמן רב יחסית זו לצד זו בגלל מעטפת הממס המקיפה אותן. גם אם המפגש הראשוני בין המולקولات לא הניב תוצרים (בגלל הגורם המרחבי, למשל), עדין קיים סיכוי למפגש "מושלח" יותר בינהן.由此可推知，在碰撞時，如果兩分子之間的距離過近，則會受到排斥力的作用，這就是所谓的「碰撞排斥」。

### אנו לא...



התיחסו להיבטים הייחודיים באשר לתגובות המתרחשות בתמיסה וצייןו לגבי כל אחד מהם, האם הוא יכול לגרום להאצת קצב התגובה או להאטת קצב התגובה. נמקו את קביעותיכם.

בין ארבעת הגורמים שמנינו ישנים גורמים המאיצים את קצב התגובה ואחרים המאיצים אותה. ואנכם, כאשר נחקרו תגובות היקولات להתרחש גם במצב גז וגם בתמיסה, התברר כי אין הבדל ניכר בין מספר התגובהיות הפוריות בתמיסה ובガ. המשקנה המתבקשת היא שתוארויה ההתגובהיות מתארת בקרוב טוב גם את הדינמיקה של תגובות המתרחשות בתמיסה בגלל קיאו הדדי של התופעות המאיצות והמאיצות את התגובה.

## 2ב. הסבר הממצאים הניסויים בעזרת תאוריית התגובהיות

נחוור לשאלת שפתחנו בה: מדוע ריכוז המגיבים והטפרטורה שבה תגובה מתרחשת משפיעים על קצב התגובה? תאוריית התגובהיות נתנה בידינו מסגרת רעיונית שבאמצעותה נוכל להסביר את ממצאי הניסויים שערכנו.

### השפעת ריכוז המגיבים על קצב תגובה

בפעילות מס' 3 רأיתם שהעלאת ריכוז אחד המגיבים, נתרן תיו-גופרתי, גרמה לעליית קצב התגובה. בעקבות ניסוי זה וניסויים דומים אחרים ניסחנו מסקנה כללית לגבי השפעת ריכוז

המגיבים על הקצב של תגובה:

**רוב התגבותות הכימיות מתרחשות בקצב מהיר יותר מאשר מעלים את ריכוז המגיבים.**

העלאת ריכוז המגיבים משמעותה שבכל יחידת נפח יש יותר מולקולות, ולכן הסיכוי להתנגשות בין המולקולות גדול. כאשר יש יותר התנגשויות, תהינה יותר התנגשויות פוריות. ברור, אם כן, שכאשר עולה הריכוז של המגיבים, יותר מולקולות יכולות להיפגע למולקולות אחרות ביחסית זמן, ועל כן קצב התגובה עולה.

עתה גם יש בידינו כלים להתמודד עם השאלה שאותה העלו בדיון על מידת קצב התגובה. השאלה הייתה מודיע קצב התגובה משתנה עם הזמן. הקצב, כאמור, מהיר ביותר בתחלת התגובה, והוא הולך וירד במהלך הזמן. עם התקדמות התגובה ריכוז המגיבים פוחת, עובדה זו גורמת לירידה בסיכוי להתנגשויות פוריות, וכך קצב התגובה יורד אף הוא.

### השפעת הטמפרטורה על קצב תגובה

בפעילות מס' 4 ראייתם שלילית הטמפרטורה גרמה להגברת קצב התגובה. בעקבות ניסוי זה וניסויים דומים אחרים ניסחנו מסקנה כללית לגבי השפעת הטמפרטורה על הקצב של תגובה:

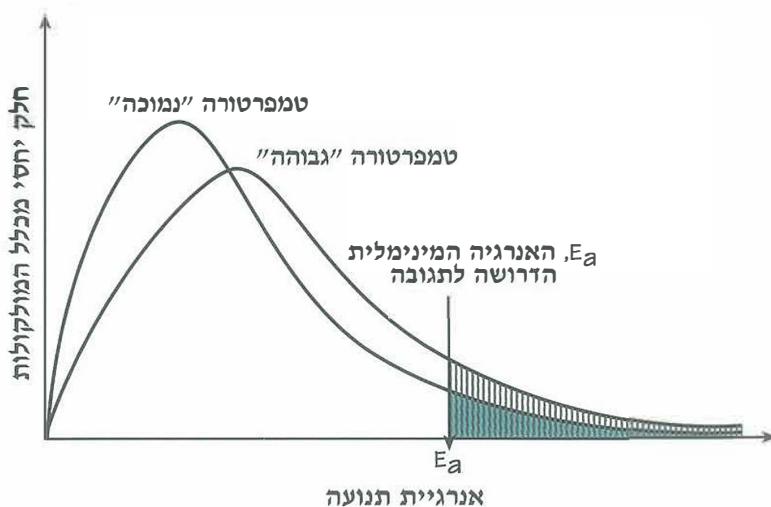
**תגובה כימיות מתרחשות בקצב מהיר יותר מאשר מעלים את הטמפרטורה  
שבה הן מתרחשות.**

אזכור עלייה בטמפרטורה מבטאת עלייה במחירות המומוצעת של המולקולות. כאשר המולקולות נעות מהר יותר, הן יכולות להתנגש לעיתים קרובות יותר. כתוצאה לכך תהינה בסופו של דבר יותר התנגשויות פוריות, יותר מולקולות תיהפכו למולקולות אחרות ביחסית זמן, ועל כן קצב התגובה עולה.

אך אין זה כל הסיפור. הטמפרטורה גם מגדילה את החלק היחסי של המולקולות בעלות אנרגיות תנועה שווה לאנרגיות השפיעול או גדול ממנה. ראיינו שערכיו אנרגיות התנועה של מולקולות במדגם של גז מתפלגים הנקראט "התפלגות מקסול-בולצמן" והתפלגות זו משתנה עם השתנות הטמפרטורה. באյור הבא ניתן לראות את התפלגות אנרגיות התנועה של מולקולות במדגם גז בשתי טמפרטורות שונות. בטמפרטורה הגבוהה לחלק גדול יותר מהמולקולות יש אנרגיות תנועה שווה לאנרגיות השפיעול או גבוהה ממנה, لكن בטמפרטורה הגבוהה יותר בכל רגע נתון תהינה יותר התנגשויות אנרגטיות, יותר מולקולות יצרו תכמים משופעים, וממילא קצב התגובה יהיה גבוה יותר.

גרף ב6.

### תלות התפלגות ערכי אנרגיית התנועה של מולקולות במצב גז בטמפרטורה



חלק יחסי מכלל המולקולות עם  $E \geq E_a$  בתגובה בטמפרטורה "נמוכה"

חלק יחסי מכלל המולקולות עם  $E \geq E_a$  בתגובה בטמפרטורה "גבוהה"

...אנו לא

מהם שני ההבדלים העיקריים בין שתי העקרונות המתוארכות לעיל ? מהי המשמעות של כל אחד מהם?



**לסבירו**, לטמפרטורה יש השפעה כפולה על קצב התגובה: עליה במספר הכלול של ההתנגשויות ועליה בחלוקת היחסית האנרגטיות מסך כל ההתנגשויות.

# 3 זרזים



## פעילות מס' 5: השפעת זרץ על הקצב של תגובה



**המטרה:** בניסוי זה תעקבו אחר קצב תגובה הפירוק של מי-חמצן בנסיבות תחומות שונות.  
ניסוח תגובה הפירוק הוא זה:



### חומרים:

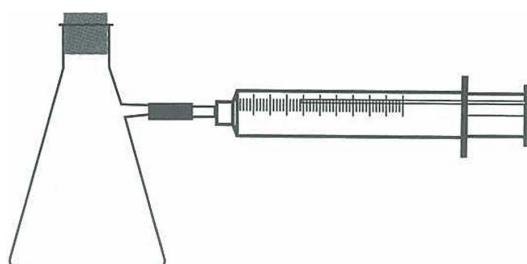
- ✓ תמיישה טריהה של מי-חמצן 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$
- ✓ ניקל חמצני  $\text{NiO}$
- ✓ מנגן דו-חמצני  $\text{MnO}_2$
- ✓ אבץ חמצני  $\text{ZnO}$

### כליים:

- ✓ 4 ארלנמיירים של 250 מ"ל
- ✓ פקק
- ✓ מארק
- ✓ צינור גומי
- ✓ משורה של 50 מ"ל
- ✓ פיפטה של 10 מ"ל
- ✓ שעון עצר

### ועכשו למבצעה:

- 1) הרכיבו את המערכת כמתואר באירור שלפניכם:



- 2) שקוו מנות בננות 1 ג' של ניקל חמצני, מנגן דו-חמצני ואבץ חמצני.
- 3) מגו 50 מ"ל מים לאarlנמייר והוסיפו 2 מ"ל של תמיישה מי-חמצן.
- 4) הוסיפו לאarlנמייר את מנת הניקל החמצני שהכנתם, פקקו אותו במחירות והפעילו את שעון העצר.

- 5) מזו אט נפח החמצן המცבר במרוחקים של 15 שניות, עד לשיאו התגובה.
- 6) חזרו על הניסוי עם התחמות הנותרות (שלבים 3-5).
- 7) חזרו על הניסוי פעם נוספת ללא הוספה תחמות.

#### **סיכום:**

- 1) סרטטו לכל אחת מהתגובה גוף המציג את נפח החמצן שנוצר ביחס לאמן.
- 2) א. דרגו את התחמות שבהן השתמשתם על פי מידת השפעתן על קצב התגובה.
- ב. איזו מבין התחמות שבדקתם היא היעילה ביותר לזרז תגובה פירוק מי-חמצן?

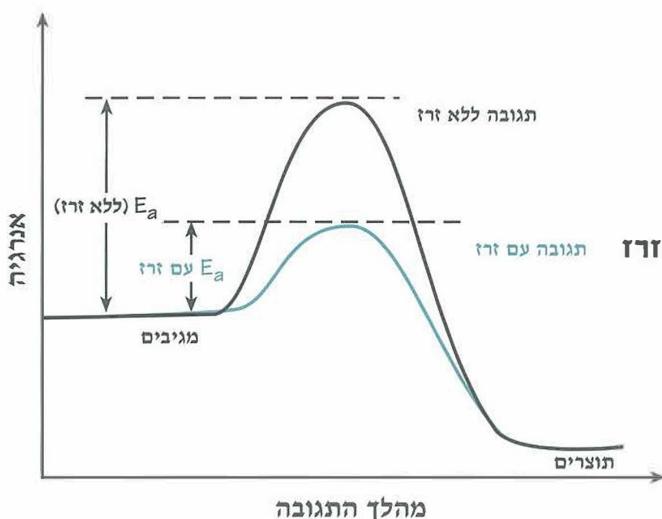
כפי שראיתם בניסוי, הוספה התחמות מנגן דו-חמצני הגבירה באופן ניכר את קצב תגובה הפירוק של מי-חמצן. תמייתת מי-חמצן ניתנת לאחסון בטמפרטורת החדר במשך זמן ממושך, אך אם יוסף לה מנגן דו-חמצני היא תתפרק במהירות למים! אם תtabנוו שנית בכל התגובה שלאליו הוסף המנגן הדו-חמצני (האבקה השחורה), תופתעו בגלות שהיא עדין שם. בניסוי מבוקר נבדק ונמצא שמסת האבקה שווה בתחילת התגובה ובסיומה. בתגובה הפירוק של מי-חמצן שימושו המנגן הדו-חמצני ושאר התחמות כריזים.

## **3א. מהו זרז?**

זרז (בלועזית – קטלייטור) הוא חומר המפעיל תגובה כימית בלי שהוא עצמו עובר שינוי כימי קבוע. לכן, כפי שאתם יכולים להתרשם, החומר המשמש כזרז בתגובהינו "מתבזבז" במהלך, לפיכך מולקולאה אחת של זרז יכולה להתפרק למולקולות המגיבים שוב ושוב. לכן מעשית דרישות כמוות קטנות יחסית של זרז כדי להפעיל תגובה קטלייטית (תגובה בנסיבות זרז). זרז הוא הגורם השלישי המשפיע על הקצב של תגובה שנבחן אותו בערךת ואוריית ההתגשויות.

## **3ב. כיצד משפיעה נוכחותו של זרז על קצב תגובה?**

בשלב ראשון של תגובה קטלייטית מולקולות המגיבים נקשרות אל חלקיקי הזרז, ונוצר תצמיד משופעל הכלול את הזרז. בהמשך, התצמיד המשופעל מתפרק ונוצרות מולקולות של תוצריים. התצמיד המשופעל כולל את הזרז יציב יותר מהתצמיד ה"רגיל". במילים אחרות – מצבו האנרגטי של התצמיד המשופעל המתkeletal בנסיבות זרז נמוך מזה של התצמיד המשופעל "הריגיל". ככלומר אנרגיית השפעול לצירת תצמיד משופעל בנסיבות זרז נמוכה מאנרגיית השפעול של אותה תגובה המתרכשת בהיעדר זרז, ומחסום האנרגיה של התגובה נמוך יותר. בגרף ב-7 ניתן לראות את ההבדל בין הפרופילים של שתי התגובות, זו המתרכשת בהיעדר זרז ואלו המתרכשת בנסיבותו.



גרף ב.7.

**פרוfil של תגובה עם זרז  
לעומת PROFILE של תגובה ללא זרז**

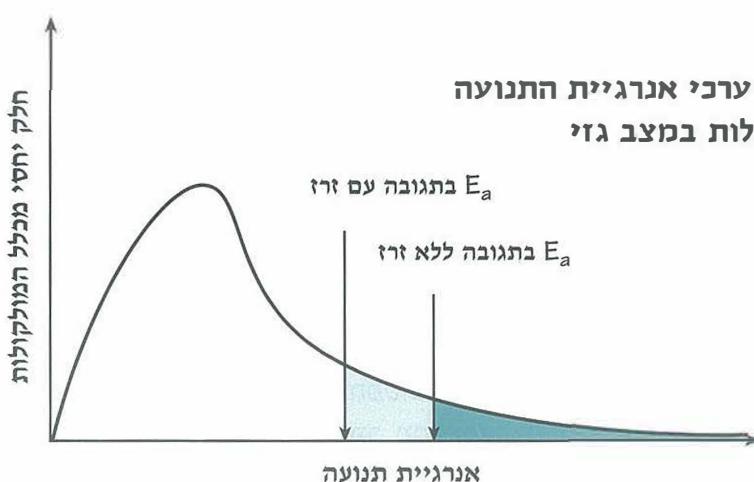
שים לב:

nocחות זרז לא מושפעה על המצב האנרגטי של התוצרים או המגיבים, רק המצביע האנרגטי של הatzmid המשופעל משתנה.



זהו משנה את מהלך התגובה. במהלך החדש של התגובה בשלב הראשון יש אנרגיית שפועל נמוכה יותר מאשר של השלב המקורי במהלך המוקורי של התגובה. כתוצאה לכך לגבי אותה טמפרטורה יותר מולקולות יכולות לעבור את "מחסום האנרגיה". למה הדבר דומה? לaimon בקפיצה לגובה שבו הנמיכו את הרף. במצב החדש יותר אטლיטים יכולים לעבור בהצלחה את המתחסום.

אם נחזור לעקוות מקסולו-בולצמן, המתארת את התפלגות אנרגיית התנועה של המולקולות (בטמפרטורה מסוימת), נוכל לראות שבתגובה קטליתית חלק גדול יותר של מולקולות מכלל המולקולות יש אנרגיה שערכה שווה לאנרגיית השפועל או גובהו ממנו, זאת אומרת שעלה חלון של ההתנגשויות האנרגטיות מכלל ההתנגשויות, וכך גם קצב התגובה עולה.



גרף ב.8.

**התפלגות ערכי אנרגיית התנועה  
של מולקולות במצב גזי**

חלוקת יחסית מכלל המולקולות עם  $E \geq E_a$  בתגובה ללא זרז

חלוקת יחסית מכלל המולקולות עם  $E \geq E_a$  בתגובה עם זרז

## קטליזה הומוגנית וקטליזה הטרוגנית

מבחןנים בין שני סוגים של תగבות קטלניות:

**1) קטליזה הומוגנית** – מתרחשת כאשר המגיבים והזרז נמצאים באותו מצב צבירה בתערובת אחת (בתמיסת נוזלית או איזית). קטליזה הומוגנית נפוצה ביצורים חיים שבהם מרבית התגובהות מתרחשות בתמיסה, כפי שנראה בהמשך כשלמדו על אנזים.

**2) קטליזה הטרוגנית** – מתרחשת כאשר המגיבים והזרז נמצאים במצב צבירה שונים. התגובה מתבצעת על פני שטחו של זרז במצב מוצק הבא ב מגע עם המגיבים הנמצאים במצב צבירה גז או נוזלי. קטליזה הטרוגנית משמשת בתהליכי תעשייתיים רבים.



מתרכחות באוויר התפרקויות חממיות, וכתוצאה מהן מולקולות חנקן מתפרקות והופכות לבסוף לחומצה חנקתית.

כמויות 많은 גזיות דרשות להאכלת אוכלוסיית העולם ההולכת ונדרה כמוות אלו גזילות יותר מהיבול החקלאי שהיה מתබטסם, אילו היו מתבשטים רק על אספקת חנקן טبعית לקרקע. כדי להגבר מושגתו את היבולים עליינו להוסיף לקרקע דשנים חנקניים. האמונה, המשמשת כחומר גלם עיקרי לתעשיית הדשנים החנקניים, נוצרת מהתרכבות הייסודות מימן וחנקן בתגובה המתווארת בניסוח הבא:



ושוב קיימים קושי "לקבע" את החנקן. הקושי נובע מכך שمولקולת החנקן נחשבת "אדישה" במילוי בקשר המושלש החזק בין אטומי החנקן שבה. כדי להחליש את הקשר החזק זהה נדרשת אנרגיה שפועל גבואה במילוי, וכן גם בתנאי טמפרטורה ולחץ>K<sub>crit</sub> קיצוניים התגובה איטית למדוי, וכי לא ניתן נדרש זמן. וזה נמצא על ידי הכימאי היהודי-גרמני פריץ הבר (Fritz Haber) בעת ה Helvetica להמצאת העולם הראשונה. הבר מצא שברזל יכול לשמש כארז ולהיאץ את התגובה שבה נוצרת האמונה ובכך לאפשר ייצור אמונה בקנה מידה גדול. תהליך זה נקרא על שמו – "תהליך הבר".

תהליך הבר מהו זה? דוגמה היסטורית מעניינת להשפעה המורכבת של הכימיה על חיינו. המנוע העיקרי בעת פיתוח התהליך היה ייצור חומר נפץ למלחמה, ואילו כיום הוא משמש לתעשיית הדשנים שהודאות להם גדלים החקלאיים בעולם וונגע רעב. בדוגמה זו יש מושום התגשמותה של הנבואה:

"וכתתו חרבותם לאותם וחניתותיהם למאמרות" (ישעיהו ב', ז')

### יצור מרגרינה

דוגמה אחרת לשימוש בזרז בתעשייה לקויה מתחשיית המזון. מרגרינה מיוצרת משמנים צמחיים תוך שימוש בニquel או בפלטינה כזרזים. שמנים צמחיים נזליים מכילים חומצות שומניות בלתי רזיות. כאשר מ羅וים את הקשרים הכהולים בחומצות השומניות (על ידי סיפוח של מים), השמן הנזלי הופך לשומן מוצק והוא המרגירינה. ניתן גם לקבוע את דרגת הקושי של המרגירינה על ידי בקרת תנובת הסיפוח.

### כמיר קטלי ודלק נטול עופרת

זרזים מתקנים חיוניים לא רק בתעשייה, יש להם גם תפקיד חשוב בשימירה על איכות הסביבה. זיהום אויר בערים הגדלות נגרם מפליטת גזים רעלים מהמכונות הרבות הנעות בהן. מהמכונית נפלטים תערובת של פחמייננס שלא עברו שרפה, פחמן חד-חמצני (CO) ותחומצות של חנקן שסימונן הכללי הוא  $\text{O}_x\text{O}_2$  (בינהן  $\text{O}_2$ , CO). כדי למנוע את זיהום

האויר חשוב לסלק גזים רעילים אלו לפני שהם נפלטים לאוויר, וזה תפקידו של הממיר הקטלייטי.

لمמיר הקטלייטי, המורכב במפלטי מכוניות חדשות יש פעולה כפולה: מצד אחד חמצון הפחמיינים והפחמן החד-חמצני לפחמן דו-חמצני ואדי מים, ומצד שני>Create תחומות הנקן לחנקן מולקולרי. אחת הביעות שעמדו לפני מפתחי הממיר הקטלייטי הייתה מציאות אריזים שהיו עילים בשני התהליכי השוניים. לעומת זאת היה הצורך שאריזים יפעלו בטוויה רחבה של טמפרטורות, זאת מושם שבעית פליטת הגזים הקיימת במשך כל זמן פעולה המנווע, חמורה במיוחד כאשר מתניעים את המכונית, והטמפרטורה של הגזים הנפלטים נמוכה יחסית. הפתרון שנמצא לביעות אלו הוא שימוש במערכת אריזים ה כוללת תחומות של מתקנות מעבר ושל מתקנות אzielות כמו רודים ופלטינה. ראוי לציין, שמתוכות אzielות אלו יקרוות מאוד, מהrin יקר יותר מאשר הבדיקה לשימוש בהן, למורות מהrin הגבוה, היא יעילותן המרשימה של המתקנות: זמן המגע בין הזריזים המוצקים לגזי הפליטה הוא קצר משנייה, ובמשך זמן קצר זה הם מצליחים להקטין באופן משמעותי את פליטת הגזים הרעלים (ירידה ב-96% בפחמיינים וב-50% וב-76% ב- $\text{NO}_x$ ).

בעה אחרת, המתעוררת במכוניות שהן מורכב ממיר קטלייטי היא השימוש בבנזין המכיל עופרת. תפקידה של תרכובת העופרת המוספת לבנזין הוא למנוע הצתה מוקדמות במנוע (תרכובת העופרת מעלה את מספר האוקטאן של הדלק). אך לעופרת השפעה שלילית על הממיר הקטלייטי. חלקיקי העופרת נקשרים אל חלקיקי הזריזים ובכך הם חוסמים את ה"אתרים הקטלייטיים" מהווים נקודות קישור למולקולות המגיבים וכתוכאה מכח העופרת "מרעילה" את הזריזים, ובגלל ה"הרעה" יורדת יעילותם של הזריזים. על כן במכוניות החדשנות שהן מותקן ממיר קטלייטי יש להשתמש בבנזין נטול עופרת. לשימוש זה יש תועלות נוספת והיא עצום איזהו האויר הנגרם על ידי שחרור תרכובות עופרת ממוכניות, תרכובות אלו רעלות הן לאנשים והן לבני חיים.

## אנזימים



אחת התגליות המדעיות החשובות ביותר במאה זו היא זאת: לרוב התגבורות הכימיות המתרחשות ביצורים חיים דרושים זרים. **הזרזים המעורבים בתהליכי ביולוגיים נקראים אנזימים.**

### פעילות מספר 6: השפעת אנזים על תגובה הפירוק של מי-חמצן



**המטרה:** בניסוי זה תשוו בין הפעולות של איזורן לפעולות של אנזים (איזו ביולוגן) בתגובה הפירוק של מי-חמצן.

#### חומרים:

- ✓ תמייטה טריהה של מי-חמצן 3%  $H_2O_2$
- ✓ אבקת מגן דו-חמצני  $MnO_2$
- ✓ פיסת כבד טרי

#### כליים:

- ✓ 2 מבחנות
- ✓ משורה של 10 מ"ל
- ✓ ספטולה
- ✓ טפטפת
- ✓ מעמד מבחנות

#### ועבשו לעבודה:

- 1) סמננו מבחנה אחת באוט "מ" (מגן דו-חמצני) ו מבחנה שנייה באוט "כ" (כבד) והעמידו אותן במעמד מבחנות.
- 2) מצאו לכל אחת מה מבחנות 1 מ"ל של תמייטה מי-חמצן.
- 3) הוסיפו למבחנה המסומנת באוט "מ" מעט מגן דו-חמצני.
- 4) הוסיפו למבחנה המסומנת באוט "כ" פיסת קטנה של כבד.

#### לסיכום:

האם הבחנותם בהבדל בקצב התגובה בשתי המבחנות? אם כן, באיזו מהן קצב התגובה היה מהיר יותר?



המרכיב בכבד אשר האיז את התגובה הוא אנזים הנקרא קטולז והוא מצוי ברוב היצורים חיים, כולל בגופנו. פירוק מי-חמצן הוא תהליך ביולוגי חשוב. מי-חמצן הוא חומר הנוצר בתוצאת לוואי של מספר תגובהות בתאים חיים, ופעילותו עלולה לגרום נזק פיזיולוגי חמוץ. לכן יש חשיבות לפרק מי-חמצן מיד כשם נזירים, לפני שיספיקו לגרום נזק כלשהו. זה תפקידו של הקטולז המצוי בכמות גדולה בכבד ובדם של יונקים, בעליים, לשמורים בחידוקים ועוד. יתרון שנטקלתם בפעריות הקטולז כאשר השתמשתם במי-חמצן לחיטוי פצע. הביעות שיצאו מהפצע הן תוצאה של אותה תגובה אנזימטית שבה צפיתם בניסוי.

568 1910

א. מהו אונזיות? 4

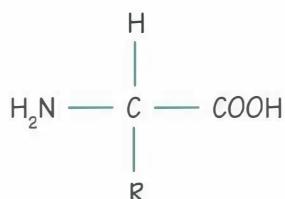
בנתאים של יצורים חיים מתרחשות תగובות כימיות רבות. התגובות צריכות להתבצע בקצב מתאים. מרבית התגובות ביצורים החיים לא היו מתרחשות כלל אם החומרים המגבים היו רק מעורבים ייחדיו. אנו כבר יודעים שבמיעודה ניתן להאי תגובה על ידי העלאת ריכוז המגבים או על ידי העלאת הטמפרטורה שבה היא מתרחשת. אולם בגוף החיה אפשרויות אלו מוגבלות למדי, מאחר שמותקימת בו שמירה על סביבה פנימית קבועה (בלועזית – הומואוסטאזיס). מסיבה זו ריכוז החומרים והטמפרטורה בגוף החיה קבועים פחות או יותר. בהתאם חיים האנדים מורידים את אנרגיית השפועל של התגובות ובכךאפשרים את קיומן של התגובות בקצב מתאים למרות התנאים המתונים השוררים בתאים

בגוף האדם האנאיים מעורבים בתגובהות חוץ-תאיות למשל הידROLיזה של עמילן לסוכרים במערכת העיכול, ובתגובהות תוך-תאיות למשל סינטזה של שומנים וסוכרים, שכפול DNA וסינטזה של חלבונים. הכרנו שתי תוכנות המאפיינות איזמים: האחת – יכולתם להגבר את קצב התגובה, והשנייה – הם אינם "מתbezזים" במהלך התגובה. תוכנות אלו מאפיינות גם את האיזמים הביוולוגיים – האנאיים – אך לאנאיים יש תוכנות אופייניות אחרות שאין לרוב האיזמים. אנאיים **יעילים** הרבה יותר מאשר איזמים אחרים. מחקרים הראו שאנאיים מגברים את הקצב של תגובות ב-7-14 סדרי גודל!!! דוגמה להבדל בין אנאים לאיזמים אחרים ראיינו בתגובה הפירוק של מי-חמצן שהווצה בפעולות מס' 6.

אנזימים הם לא רק זראים ייעילים מאוד, הם גם מאוד **יחודיים** (specific). הם ייחודיים גם לגבי המגיב שעליו הם פועלים וגם לגבי התגובה שאוותה הם מזראים. מולקולות המגיב שעליה פועל האנזים בתגובה אণימטית נקראת **מצע** (substrate). אנזים מסוים פועל, בדרך כלל, על סוג אחד של מצע בתגובה אחת בלבד. לכן לכל תגובה המתרחשת ביצורים חיים קיים אנזים ייחודי. קיימים, אם כן, מאות סוגים של אנזימים. כדי להבין את היעילות ואת היחידות של האנזימים علينا להכיר תחילה את המבנה המולקולרי שלהם.

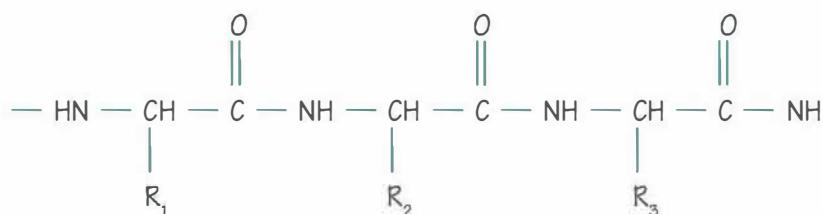
## 4. ב. המבנה המולקולרי של האנזימים

כמעט כל האנזימים הידועים הם מולקولات חלבון. לימודי הבiology ידוע לנו, שבני הבניין של החלבונים הם החומצות האמינו. מולקולה של חומצה אמינית מורכבת מארבעה חלקים שאליהם קשורים קבוצה אמינית,  $\text{NH}_2$ , קבוצה קרבוקסילית,  $\text{COOH}$ , אטום מימן וקבוצה צדדיות, שאחתה נוהגת לסמן ב- $\text{R}$ . לכל סוג של חומצה אמינית יש קבוצה צדדיות שונה.



מבנה כללי של חומצה אמינית

החומצות האמינו קשורות זו לזו בקשרים קוולנטיים. הקשרים נוצרים בין הפחמן הקרבוקסילי של חומצה אמינית אחת לבין החנקן האמינאי של חומצה אמינית שנייה. הקשרים אלו נקראים **קשרים פפטידיים**. השרשרת של החומצות האmino מורכבת, אם כך, מחלק חואר (הנקרא *שלד*) ומקבוצות צדדיות משתנות.



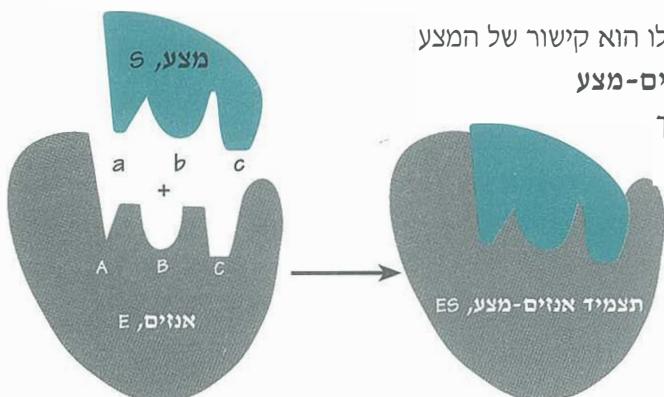
$\text{R}$  = שרשרת צדדיות

לחלבון המצויה בסביבתו הטבעית (או בסביבה בעלת תנאים זהים לה) יש מבנה מרוחבי מוגדר המכונה "המבנה המרוחבי הטבעי של החלבון". המבנה המרוחבי הטבעי של החלבון נקבע על פי רצף החומצות האmino בשרשרת, או ליתר דיוק על ידי הקבוצות הצדדיות שלהן, והוא מתאפשר במפיטולים ומקייפולים של השרשרת. המבנה המרוחבי הטבעי של החלבון מיוצג על ידי קשרים בין חלקים שונים של השרשרת: קשרים קוולנטיים, קשרים יוניים, קשרי מימן וקשרי זר-זר-ולס. חלבונים נבדלים זה מזה בהרכבת החומצות האmino, ברצף שלהן ובמספרן הכללי וכותזאה מכנים גם במבנה המרוחבי הטבעי שלהם. מספר החומצות האmino נע בין 120 לחומצות amino בмолקولات של חלבונים קטנים עד למעלת 10,000 חומצות amino בмолקولات של חלבונים גדולים.

## האתר הפעיל

פעילות הזרז של אנזים מרכזת באזור הנקרא **אתר פעיל** (active site). האתר הפעיל של האנזים תופס נפח קטן בלבד מנגביו הכלל של האנזים ללא תלות בגודלו של האנזים. האתר הפעיל בנייתו מספר קטן בלבד של קבוצות צדדיות שאין מצויות בהכרח ברכף על פני השרשראת, אלא שהקייפול של השרשראת מבנה המרחבי הטבעי קירב אותו זו לאו. למעשה, מרבית החומצות האמיניות באנזים אין נמצאות כלל בפגע עם המצע. האתר הפעיל של האנזים אינו נקודה, קו או משטח, אלא אזור בעל מבנה מרחבי מורכב.

תנאי מוקדם לפעלותו של אנזים על המצע שלו הוא קישור של המצע לאתר הפעיל באנזים לייצור **תצמיד אנזים-מצע** (Enzyme-Substrate complex, ES). לשם כך יש צורך בהתאמה מרחבית והתאמה כימית בין האתר הפעיל לבין המצע.



**התאמה המרחבית** מتبטאת בכך שהצורה המרחבית של המצע משלימה את הצורה המרחבית של האתר הפעיל, כפי שנניתן לראות באיר.

בעבר נגגו לדמות את ההתאמה המרחבית בין המצע לאתר הפעיל של האנזים ל"מפתח המתאים לחור המנעול". על פי גישה זו ההתאמה היא קשיחה, כלומר: בין המצע לאתר הפעיל יש התאמה מוחלטת. אולם מחקרים מאוחרים יותר העלו שהאתרים הפעילים של אנזימים רבים אינם קשיחים. צורת האתרים הפעילים באנזימים אלה משתנה בעת קישור המצע. האתר הפעיל משתנה ו"לבש צורה" המשלימה את זו של המצע תוך כדי תהליך הקישור. תהליך זה של "היכרות דינמית" נקרא התאמהמושרית.

**התאמה הכימית** מتبטאת בכך שהקבוצות הצדדיות הנמצאות באתר הפעיל יכולות ליצור קשרים עם קבוצות מתאימות במצע. קבוצותצדדיות אלו משמשות מעשה נקודות אחזקה של האנזים במצע שלו. הקשרים בין האנזים למצע הם בדרך כלל קשרים חלשים יחסית כמו קשרים יוניים, קשרי מימן או קשרי ון-דר-ולס ורק לעיתים רוחקות קשרים קוולנטיים. נחזר לאיר שלמעלה ונណיגים באמצעותם אפשרות להתאמה כימית.

A באתר הפעיל יכול לייצג קבוצה צדדית נשאת מטען חיובי -a במצע יכול לייצג קבוצה הנושאת מטען שלילי. בין שתי הקבוצות יכול להיווצר קשר יוני.

B באתר הפעיל יכול לייצג קבוצה צדדית שבה/atoms מימן הקשור לחמצן או לחנקן -b במצע יכול לייצג/atoms חמצן או חנקן. בין המימן לזוג האלקטרונים הלא קשור של/atoms החמצן או החנקן יכול להיווצר קשר מימן.

C ו- C יכולות לייצג קבוצות הידרופוביות באתר הפעיל ובמצע בהתאמה, וביןיהם יכולים להיווצר קשרי ון-דר-ולס.

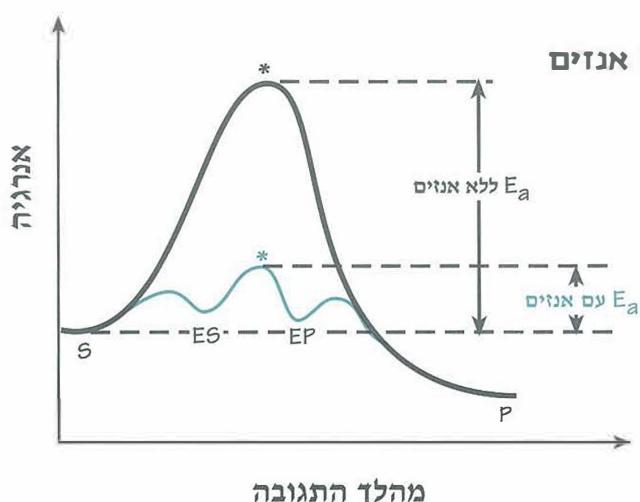
יעילותם הגובה של אנזימים מוסברת על ידי יכולתם להוריד באופן דרמטי את אנרגיית השפיעול של תגובה המתרחשת בנוכחותם. תרומה משמעותית לירידה באנרגיית השפיעול מתקבלת מיצירת קשרים לא קולונטיים (קשרים יוניים, קשרי מימן וקשרי און-דר-ולס) בין האנזים למשען. כפי שראינו, קשרים אלו הם שטחניים לאנזים את ההתאמה הייחודית שלו למשען. אך מתרברר שהקשרים הללו קולונטיים המיטביים נוצרים בין האנזים לתצמיד המשופעל שהוא מבצע המעבר של התגובה. מכאן, ההתאמה המרחיבית וההתאמה הכימית המיטביות אינן בין האתר הפעיל והמשען כי אם בין האתר הפעיל והתצמיד המשופעל. בנוכחות האנזים נוצר תצמיד משופעל יציב יותר מהתצמיד ה"רגיל" הנוצר בהיעדר אנזים.

באנזימים רבים קיימות באתר הפעיל כבוצות שמסוגלות ליצור זמני קשרים קולונטיים עם המשען, בנוסף על הקשרור הלא קולונטי שתיארנו. כבוצות אלו נקראות כבוצות קטלטיביות, והקשרירה שליהן למצע מפעילה אותו לקראת התגובה. בדרך זו האנזים מספק מהלך תגובה שונה. במהלך התגובה אנרגיית שפיעול נמוכה יחסית למHALק ה"רגיל".

בכל מקרה לתגובה המתרחשת בנוכחות אנזים יש אנרגיית שפיעול נמוכה הרבה יותר מאשר של התגובה המתרחשת בהיעדרו. את ההבדל בין תגובה המתרחשת בנוכחות אנזים לבין תגובה המתרחשת בהיעדרו ניתן לראות באירור הבא המציג את פרופילי שתי התגובות.

#### גרף ב.9.

**פרופיל של תגובה עם אנזים  
לעומת פרופיל של תגובה ללא אנזים**



פרופיל התגובה גם מתאר בפיורוט את מהלך התגובה האנזימטית. בשלב הראשון נוצר תצמיד אנזים-משען (ES), לאחר מכן מתקבל התצמיד המשופעל של התגובה (משמעותו בגרף ב-\*) בהמשך נוצר תצמיד אנזים-תוצר (EP) שמתפרק לבסוף לקבלת תוצרי חופשיים (ק). מבחינה עקרונית פרופיל של תגובה בנוכחות אנזים דומה לפרופיל של תגובה בנוכחות רוז (גרף ב7 בעמוד 100).

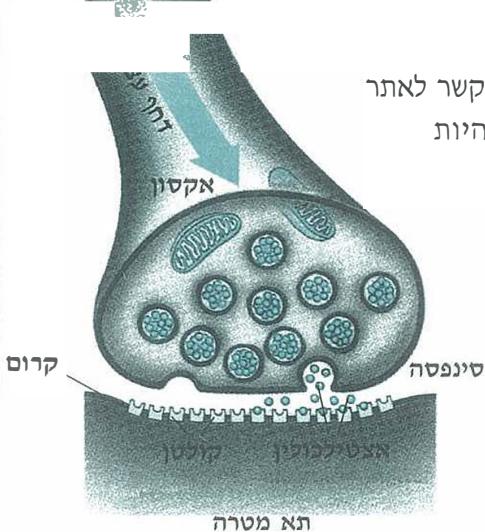
**לסיכום** ראוי להציג, שהיחודיות והיעילות של אנזים נקבעות על ידי סוג הקבוצות הצדדיות המרכיבות את האתר הפעיל ומיקומן במרחב.

...הה...  
...ה...  
...ה...  
...ה...

## עיכוב אנזימים

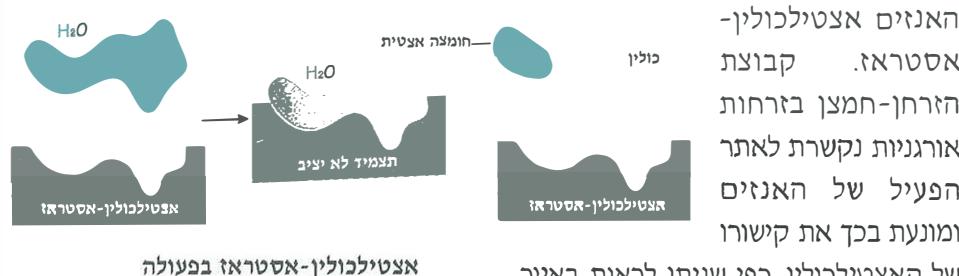
ישנם מקרים שבהם מלבד המצע יכולות להיקשר לאתר הפעיל באנזים גם מולקולות אחרות. היו שמדוברות הלו אינן זהות למצע הייחודי, האנזים אינו מצליח לפעול עליהם. מולקולה שנקשרת לאתר הפעיל אך אינה עוברת את התגובה פועלת כמעכב של פעילות האנזים, משום שהיא מונעת את קישורו של המצע. בדרך זו פועלות תרופות רבות, אך גם רעלים רבים.

דוגמה למעכבי אנזימים הם הזרחות האורגניות המוכרות כ"גיז עצבים". חומרים רעלים אלו פועלים על ידי קישור



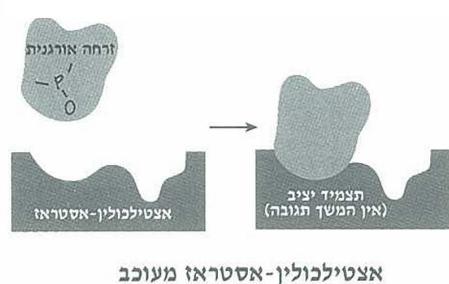
לאתר הפעיל של האנזים אצטילקולין-אסטרואז שմזרז את החידROLיזה של האצטילקולין. אצטילקולין מעביר אותן כימי בין תא העצב לתא המטרה שלו (תא עצב אחר, תא בבלוטה או תא שריר). האצטילקולין משתחרר מהתא העצב אל המרווה שבין תא העצב לבין תא המטרה, מרוחת הנקרא **סינפסה**. לאחר מכן האצטילקולין מגיע אל תא המטרה, נקשר לקולtan (רצפטור) שנמצא על פני תא המטרה וגורם להפעלו.

מיד לאחר העברת אותן על ידי האצטילקולין יש לסלקו מהסינפסה כדי שהקולtan יהיה פניו לקבלת אותן הבא. הסילוק הזה נעשה באמצעות הידROLיזה המזרזת, כאמור על ידי



האנזים אצטילקולין-אסטרואז. קבוצת הזרchan-חמן בזרחות אורגניות נקשרת לאתר הפעיל של האנזים ומונעת בכך את קישורו

של האצטילקולין, כפי שניתן לראות באיוור. כשאדם נחשף לגזי העצבים הללו, האנזים אצטילקולין-אסטרואז נחסם ואין פירוק של אצטילקולין. האצטילקולין הלא מפורק נשאר במרווה שבין תא העצב לבין תא המטרה וגורם לగירוי יתר של בלוטות, שרירים ואייררים. לבו של האדם הנפגע מתחילה לפעום בלי בקרה ("חלב מפרפר") והוא מת במהירות.



## השפעת הטמפרטורה על פעילותו של אנזים

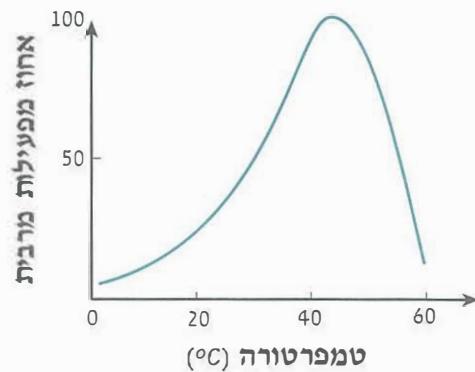
פעילותו של כל אנזים מושפעת מהטמפרטורה שבה הוא נמצא. גרפ' בו מתראר את שיעור הפעילות של אנזים (אחוז פעילות מרבית) בטמפרטורות שונות. יש לציין שהتلות של פעילות האנזים בטמפרטורה משתנה מעט מאנזים ומיצור אחד לשני, אך למורות זאת העקומה מציגה באופן כללי את השפעת הטמפרטורה על פעילות אנזימים.

כפי שניתן לראות בעקומה, פעילותו של אנזים עולה בה坦מדה עם עליית הטמפרטורה, כמו במרחביה התגובה הימית (אזכור, קצב תגובה מוכפל, בקירוב, עם כל עלייה ב- $10^{\circ}\text{C}$ ). אך מעבר לטמפרטורה מסוימת (בשבירות  $44^{\circ}\text{C}$ ) יורדת פעילותו של האנזים רידודה עד שהוא נפסקת לגמרי. כיצד ניתן להסביר רידודה זו?

מתברר שהאנזים פועל רק כאשר הוא נמצא במבנה המרחבי הטבעי שלו. כאשר הטמפרטורה עולה, נתקדים הקשרים החלשים המשמרים את המבנה המרחבי הטבעי של האנזים. איבוד המבנה המרחבי הטבעי של חלבון, ובכלל זה של אנזים,

נקרא **דנטורציה** (denaturation). באנזים שאיבד את המבנה המרחבי הטבעי שלו הקבוצות הצדדיות שהיו באתר הפעיל כבר אין קרובות זו זו, האנזים מאבד את יכולתו לקשר את המצע וכתוצאה לכך גם את יכולתו לארז את התגובה. לכל אנזים יש **טמפרטורה מיטבית** (אופטימלית) לעמירותו, זו הטמפרטורה הגבוהה ביותר שבה עדיין מתקיים המבנה המרחבי הטבעי של האנזים במקבץ זה נמצא האנזים "בשיא כושרו". הטמפרטורה המיטבית של אנזימים רבים הפעילים בגוף האדם היא  $37^{\circ}\text{C}$ .

**גרף בו. השפעת הטמפרטורה על פעילותו של אנזים**



### יצורים הומוטרמיים ויצורים פוקילוטרמיים

האנזימים בגוף האדם אינם含有ים החלים בטמפרטורה של הסביבה. בני אדם, כמו גם יונקים אחרים וכן עופות, הם הומוטרמיים, כלומר נשמרות בהם טמפרטורת גוף קבועה, פחות או יותר, כל הזמן. טמפרטורת גופם של יונקים נעה סביב  $37^{\circ}\text{C}$ , גם כשהטמפרטורה של הסביבה נמוכה יותר או גבוהה יותר. בעלי חיים הומוטרמיים מנצלים את החום המשחרר בתהליכי פירוק המזון שלהם לשימירה על טמפרטורת גוף קבועה. מסיבה זו יכולים יצורים אלו להיות פעילים בטמפרטורות סביבה שונות (עד גבול מסוים, כמובן). אך הם פנויים מרבית היצורים החיים. יצורים חיים שאינם משתייכים לפחותות היונקים או העופות הם פוקילוטרמיים, אלו הם יצורים שתemperatureת הגוף שלהם

...על...

דומה לאו של הסבירה שבה הם נמצאים ומשתנה עמה. במאז אוור קר חילוף החומרים (המטבוליזם) של היצורים הללו איטי מאוד, משום שהטמפרטורה הנמוכה גורמת להאטת הפעולות של האנזימים האחראים על קצב התגבות המטבוליות. יצורים פוקילותרמיים כמו נחשים, צפרדעים וחרקים איטיים מאוד בחורף, אבל רק בקצב כאשר הטמפרטורה עולה, הם פעילים הרבה יותר.



## כליון צעדי!

ביולוגים מצאו שיטה מעניינת לקביעת הטמפרטורה: לאחר שמספר הצרכים שהצריך ממשיע בדקה תלוי בטמפרטורה (כל שהטמפרטורה גבוהה יותר, הוא ממשיע יותר לצרכים) ניתן לחשב את הטמפרטורה על פי הנוסחה הבאה:

$$t = \frac{5A + 3}{9}$$

כאשר  $A$  הוא מספר הצרכים בדקה.

הבעיה היא שהנוסחה מתאימה רק לסוג מסוים של צרכים, לכן אם ברצונכם להשתמש בשיטה, כיילו צרכים תחילת:

## שימור מזון

השפעת הטמפרטורה על פעילות של אנזימים מיושמת בתעשייה המזון. חידקים ומיקרואורגניזמים אחרים יכולים לגרום לקלקל של המזון. מהנדסי המזון פיתחו מגון של שיטות למלחמה בחידקים ולשמירה על המזון מפניהם. אחת השיטות, העלתת הלחץ האוסmotyi של המזון, נזכرت בפרק "מים". בשיטות שימור אחרות נאמרים מהנדסי המזון במידע על הגורמים המשפיעים על פעילותם של אנזימים החיים לתפקיד ולהתרבות של החידקים כדי להיאבק בהם.

שימורי בשר, ירקות ודגים יכולים להישמר זמן רב על המדף בלי להתקלקל, היוות שבמהלך הכנתם הם עברו תהליך של עיקור. מטרת תהליך העיקור הנעשה באמצעות חימום לטמפרטורה של  $121^{\circ}\text{C}$  בלחץ של 1.5 אטמוספרות, היא להרוג את החידקים שבמזון על ידי דנטורציה של החלבונים שלהם.

במוצרי חלב מטפלים על ידי תהליך הנקרא פיסטור. פיסטור נעשה על ידי חימום החלב לטמפרטורה שבין  $60^{\circ}\text{C}$  ל- $100^{\circ}\text{C}$  (בהתאם לטמפרטורה נקבע משך הזמן החימום) ולאחר מכן קירור מהיר ל- $10^{\circ}\text{C}$ . בתהליך הפיסטור מושמדים חידקים גורמי מחללה (פטוגנים), אך החלבוני החלב אינם נפגעים, ולכן הפיסטור אינו פוגם באיכותו ובטעמו של החלב. היהות שהטיפול הורג רק חלק מהחידקים, יש לאחסן חלב מפוסטר במקדר וגם כך הוא מחייב לאחר זמן מה.

שיטת אחרת לשימור מזון משתמשים בה יום-יום היא קירור, החזקת מוצר מזון בטמפרטורה שנעה בין  $-10^{\circ}\text{C}$  ל- $-15^{\circ}\text{C}$ . הקירור אינו גורם להרס של החידקים, אך הוא מאט

את הפעילות האנימטיבית שלהם, ולכן שיטה זו טובה רק לימים ממספר. גם במקדר מתקלקל המזון לאחר שבוע-שבועיים. אולם בהקפאה, בטמפרטורות של  $10^{\circ}\text{C}$  עד  $18^{\circ}\text{C}$ , הפעולות האנימטיביות של החידקים היא אפסית, ולכן ניתן בדרך זו לשמור מאונות זמן ממושך.

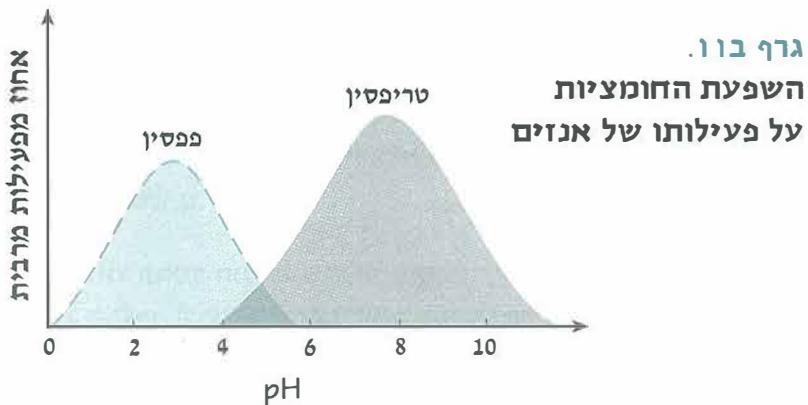
## השפעת החומציות על פעילותו של אנזים

כמו כל חלבון, מרבית האנזימים רגשים למידת החומציות של הסביבה שבה הם נמצאים בגל השפעת חומציות הסביבה על חלק מהקבוצות הצדדיות במולקולות האנזים.

כפי שנלמד בפרק **בסיסים וחומצוט**, מידת החומציות של תמיisha נקבעת על פי ריכוז יוני הhidרוניום ( $\text{aq}^+\text{H}_0$ ) שבא. את מידת החומציות מבטאים בסולם ערכים הנקרא סולם  $\text{pH}$ . טווח הערכים בסולם זה נע בין 0 ל-14.  $\text{pH}=7$  נח呼 ניטרלי זה, אגב,  $\text{pH}$  של מים מזוקקים.  $\text{pH}$  נמוך מ-7 נח呼 חומצי והוא געשה חומצי יותר ככל שערכו יורד.  $\text{pH}$  גבוה מ-7 נח呼 בסיסי והוא געשה בסיסי יותר ככל שערכו עולה. הערכה: הערכים מתייחסים לטמפרטורה של  $25^{\circ}\text{C}$ .



כל אנזים יש טווח של ערcis  $\text{pH}$  המתאים לפעולתו ובתוך טווח זה מצוי ה- $\text{pH}$  **המיידי** שבו פעילות האנזים מרבית. ערci  $\text{pH}$  אלו שונים מאנזים לאנזים. פפסין וטריפסין הם שני אנזים שפעולתם דומה – עיקול חלבוניים, אבל טווחי הפעולות שלהם כמעט ואינם חופפים (ראו עקומות בהמשך). פפסין הוא אנזים הפועל בקייבת, שבה הסביבה היא חומזית מאוד ( $\text{pH}=2$ ), ואילו טריפסין פועל בימי הדק, שם התנאים ניטרליים או בסיסיים במקצת.



כאשר ה- $\text{pH}$  של הסביבה חורג מטווח ה- $\text{pH}$  המתאים לפעולות האנזים, ניתקים חלק מהקשרים החלשים המחזיקים את המבנה המרחבי הטבעי של האנזים. המבנה המרחבי הטבעי של האנזים נהרס והאנזים עובר דנטורציה. מבנה האתר הפעיל משתנה, וכתוכזאה מכך נפגעות ההתאמה המרחבית והכימית בין המצע, ופעילותו של האנזים יורדת ירידת ממשוערת.



## 5. תהליכי הפיכים

עד כה תיארנו התפתחות של תגובה בכיוון אחד בלבד – מגיבים לтворאים. עתה הגיע הזמן "ליצור לתמונה" גם את התגובה בכיוון ההפוך – מтворאים למגיבים ולדעת בקצב של התהליך כולו. בambilים אחרות, אנו מעוניינים בניתוח של תהליכי הפיכים במונחים של תאוריית ההתנגשות.

### 5א. דינמיקה של תהליכי הפיכים

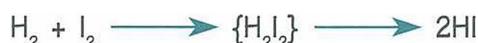
נחזר לTAGOVAה שכך הארכה בפרק זה, התגובה בין מימן יוד גאים שניסוחה הוא:



אם ניסוח זה של TAGOVAה מתאר את "התמונה" כולה, היה צפוי שלאחר פרק זמן ארוך מספיק היד והמים היו נעלמים, ובמקומם היו מוצאים בכל רק את תוצר התגובה – מימן יוד גאי. אך הממצאים הניסויים שהתקבלו בבדיקה מערכת או מצבים על מצב שונה. בעבר זמן רב מתחילת התגובה עדין נמצא בכל התגובה בתוך מימן יוד, התוציאר, גם מימן יוד, המגיבים. גם אם נחזר ונבדוק את אותה מערכת תגובה לאחר פרק זמן נוסף, התוצאות תחזורנה על עצמן, זאת אומרת, ככל יהיו נוכחים בו זמינות גם מגיבים וגם תוצריים ובריכוזים שאינם משתנים עם הזמן.

#### "התרכיש המולקולרי"

למדנו שבמהלך התגובה מולקולות המגיבים,  $\text{H}_2$  ו- $\text{I}_2$ , מתנגשות זו זו. כאשר מתרחשת התנגשות בעלת אנרגיה מספקת, כלומר התנגשות ארגנטית, מתקבל תצמיד משופע. אם ההתנגשות מתרחשת בכיוון הנכוון, זאת אומרת ההתנגשות פורייה, התצמיד המשופע  $\{\text{I}_2\text{H}\}$  שמתקבל יכול להתפרק בדרך שתיתן את תוצרי התגובה, מולקולותIH, כפי שניתן לראות בניסוח הבא:



הערה: ניסוח זה מתייחס לשתי מולקולות מגיבים בודדות, ולכן אין משמעות לסימון מצב הצבירה.

**חשוב לזכור** שהצמיד המשופע הנוצר עשוי להתפרק גם בדרך שתיתן חזרה את מולקולות המגיבים.

עתה נראה שהתנגשויות אפשריות לא רק בין מולקולות המגיבים אלא גם בין מולקולות התוצריים. עם התקדמות התגובה נוצרות מולקולות של תוצריים, IH, וגם הן נעות בכל התגובה. תוך כדי תנועתן הן מתנגשות בדפנות הכליל וכן במולקולות האחרות הנמצאות בו. מפעם לפעם מולקולה תוצר אחת עשויה להתנגש במולקולה תוצר אחרת. עתה "התרכיש" המוכר יכול לחזור על עצמו. אם למולקולות התוצר המתנגשות יש אנרגיה מספקת והן מתנגשות בכיוון הנכוון, ייווצר התצמיד המשופע  $\{\text{I}_2\text{H}\}$ . וכך מגע החידוש: **הצמיד המתקבל הוא אותו תצמיד שהתקבל בתנגשונות בין מולקולות המגיבים.**

התצמיד המשופעל שהתקבל יכול, כפי שכבר רأינו, להתפרק ולתת את מולקולות המגיבים. ניתן לנשח את התגובה בדרך הבאה:



ובן שגם במקרה זה התצמיד המשופעל שנוצר יכול גם להתפרק חזקה ולתת את מולקולות התוצרים.

התגובה שבה מגיבים הופכים לתוצרים נקראת "התגובה הישירה", ואילו התגובה שבה תוצרים הופכים למגיבים נקראת "התגובה ההיפוכה". שתי התגובות, הן הישירה והן ההיפוכה, עוברות דרך אותו תצמיד משופעל.

### שימוש לבי



המנוחים מגיבים ותוצרים, שהיו עד כה חד-משמעותיים, אינם כאלה כשבועסקים בתהליכי הפיכים. זאת מושם שהחומרים שישמעו כתוצרים הם, למעשה, המגיבים בתגובה ההיפוכה. ואילו החומרים שישמעו כмагיבים הם התוצרים בתגובה ההיפוכה. כדי למנוע אי בהירות זו מקובל לסמן מגיבים ותוצרים על פי המצב החתלתי של המערכת: מגיבים הם אלו שריכוזם ההתחלתי גבוה יחסית והוא הולך ופוחת עם הזמן (הם יופיעו בನיסוח התגובה באגן השמאלי) ואילו תוצרים הם אלו שריכוזם ההתחלתי נמוך יחסית או אפסי והוא הולך ועולה עם הזמן (הם יופיעו בניסוח התגובה באגן הימני).

בדומה לתגובה הייצור והפרוק של מימן יודוי שנען עוד תגבות כימיות רבות שהן תגבות הפיכות. תגבות הפיכות אין מתרחשות "עד תום", כמובן, המגיבים אינם הופכים בשלמות לתוצרים. מרגע שמתabolicים תוצרים, יש סיכוי שהם ישבו ויהפכו למגיבים בתגובה ההיפוכה. מכאן נובע שמדובר שהתקבלו התוצרים ואילך מתקימים במערכת תוצרים ומגיבים זה לצד זה.

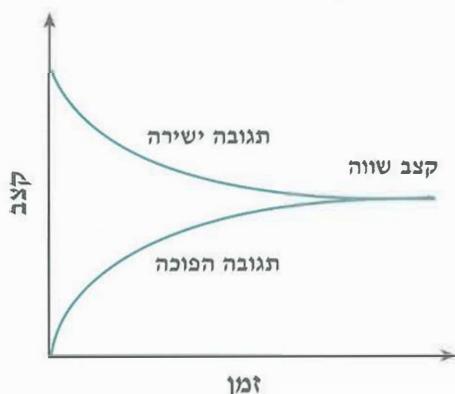
## 5ב. מצב שיווי-משקל

פרק "שיווי-משקל בתגבות כימיות" למדתם שניתנו להבחן בהתקדמות של תגובה הפיכה כל זמן שיש עליה באנתרופיה הכוללת של היקום (מערכת + סביבה). ברגע שהאנתרופיה מגיעה לערכה המרבי, משתרך במערכת מצב של שיווי-משקל. אנו חווים לעסוק במצב שיווי-משקל מנוקדת המבט של הנושא הנדון בפרק זה והוא ניתוח קצב התגובה.

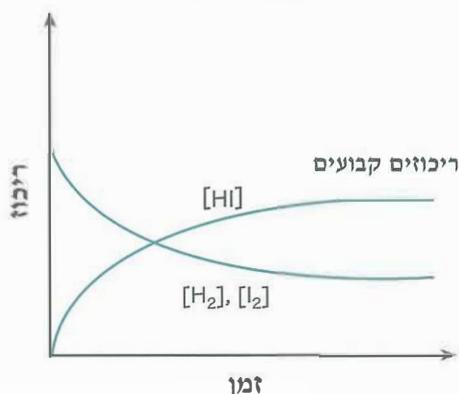
כמו בכל תגובה כימית קצב התגובה הישירה וקצב התגובה ההיפוכה תלויים ברכויי החומרים (магיבים או תוצרים בהתאם). כאמור, ככל שריכוז החומרים גבוה יותר, גם קצב התגובה מהיר יותר שהרי ריכוז גבוה מגדיל את סיכוי ההתנגשות בין המולקולות. כאשר מתחילה מתערובת של  $\text{I}_2$  ו- $\{\text{I}_{\text{2}}\text{H}\}$ , מתקיים תחילת התוצר, ( $\text{I}_{\text{2}}\text{H}$ ), בקצב גובה יחסית, מכיוון שריכוז המגיבים גבוה של  $\text{I}_2$  ו- $\{\text{I}_{\text{2}}\text{H}\}$ , כלומר מולקולות המגיבים רבות. ככל שהתגובה מתקדמת, ריכוז המגיבים יורץ, וכן יורץ גם קצב התגובה הישירה. מצד שני, בתחלת התגובה ריכוז התוצרים הוא אפס, ולכן לא

התרחשת כלל התגובה ההפוכה (קצב אפס), שhari אין מולקולותIH שתתנשנה זו בזו. מרגע שנוצרים תוצרים, מתחילה להתרחש גם התגובה ההפוכה. עם חלוף הזמן, עולה ריכוז התוצרים, ההתנשויות בין מולקולות תוצר מתרבות, ובעקבות זאת גובר גם קצב התגובה ההפוכה. בנקודהzeitן מסויימת (בריכוזים מסוימים של MI, IOD ומיומן IOD) ישתו קצב התגובה הישירה וקצב התגובה ההפוכה. הקצב שבו נוצר התוצר, IH, משתווה לקצב שבו הוא מתפרק חזרה למגיבים, H<sub>2</sub> ו-I<sub>2</sub>. מרגע זה ואילך ריכוז המגיבים והתוצרים יישארו קבועים, ומתקיים מצב שמנציח את עצמו. הריכוזים קבועים מבטיחים שקצבות שתי התגובות לא ישתנו ולכן גם יישארו שווים. מצב המערכת מבחן ריכוזי המרכיבים שלה וקצבות התגובה מתואר בשני הגרפים הבאים:

**גרף ב-13. שינוי בקצבות התגובה  
הישירה וה תגובה ההפוכה ביחס לזמן**



**גרף ב-14. שינוי בריכוזי המגיבים  
והתוצרים במהלך התגובה הפוכה**



שים לב!

קצבות התגובה שוות, ואילו הריכוזים קבועים, אך לא בהכרח שווים.



**המצב שבו ריכוזי המגיבים והתוצרים קבועים נקרא מצב שיווי-משקל.**

הערה: מצב שיווי-משקל כפי שהגדכנו אותו יכול להיות מושג רק במערכת סגורה. מערכת סגורה היא מערכת שבה אין איבוד של חומרים לסביבה ואין תוספת של חומרים ממנה. לעומת זאת, מערכת פתוחה היא מערכת המאפשרת לחומרים לצאת ממנה או להכנס לתוכה. מערכת פתוחה, שבה משתנים כל הזמן ריכוז החומרים, לא תוכל להגיע במצב של שיווי-משקל.

**אנו שם...**

חזרו לגרף ב- (עמ' 81) המתאר את השינוי בكمויות המגיבים והתוצרים במהלך תגובה. השוו בינו לבן גרף ב-14. ציינו מה הבדל בין שני הגרפים ומהו נובע הבדל זה.



## 5ג. מאפייני שיווי-משקל

מערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל מאופיינת מצד אחד בקביעות בתכונות החיצונית ומצד אחר בдинמיות של מצב שיווי-המשקל.

### הקביעות בתכונות החיצונית:

כאמור, מרגע שמערכת מגיעה במצב שיווי-משקל ריכוזיהם של כל מרכיבי המערכת, התוצרים והמגיבים, נשארים קבועים. בגל הקביעות בריכוזי המרכיבים נשארות קבועות גם כל התכונות החיצונית (התכונות המקרוסקופיות) הנראות לעין או הניתנות למדידה של המערכת. תכונות חיצונית הן תכונות כמו צבע, אק' ומוליכות חשמלית. הסיבה לקביעות בתכונות אלו ברורה מалаיה, אלו תכונות הנמצאות ביחס ישיר לריכוזי החומרים שבמערכת.

### הдинמיות של מצב שיווי-משקל

הקביעות בתכונות החיצונית של מערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל עלולה לגרום רושם מוטעה שמדובר שיווי-משקל הוא מצב סטטי. אך בrama המיקרוסקופית מצב שיווי-משקל אינו מצב סטטי, כי אם מצב דינמי. שתי התגבותות ההפוכות אינן נעצרות, אך הן מתרחשות בקצב שווה.

ניתן להוכיח שמערכת בשווי-משקל היא מערכת דינמית על ידי שימוש בחומר "מסומן" רדיואקטיבית. נתיחס שוב לתגובה היוצרות של מימן יוד מימיון ומיוד: לאחר שהתגובה של  $(g_1 H_2)$  או  $(g_2 H)$  הגיעו ל';";
 $\text{H}_2(g_1)$  או  $\text{H}(g_2)$ . כמות עיראה או אינה מערערת את מצב שיווי-המשקל, אך היא ניתנת למעקב של יוד ( $(g_1 \text{I})$  או  $(g_2 \text{I})$ ). כאשר נבדוק את המערכת בעבר זמן, נמצא "סימון" רדיואקטיבי במולקולות התוצר, וה. כאשר נעקוב אחר החומר "מסומן", נמצא גם שריכוז המימן היהודי "מסומן" עולה עד לנקודה שבה משתווה אחוז האיזוטופ הרדיואקטיבי בידי ובמיון היהודי. החלופין הללו, בין היהודי "ריגיל" לבין היהודי "מסומן", מצבים על כך שתשתי התגבותות ההפוכות ממשיכות להתרחש גם לאחר שהמערכת הגיעו במצב של שיווי-משקל.

## 5ד. קבוע שיווי-משקל

כפי שלמדתם, במצב שיווי-משקל יש קביעות מסוימת הבאה לידי ביטוי כמותי במנה קבועה של מכפלת ריכוזי התוצרים ומכפלת ריכוזי המגיבים. אם נתיחס לתגובה כללית שניסוחה המאוזן הוא זה:



המנה המופיע להלן נותנת, במצב שיווי-משקל, ערך קבוע האופייני לתגובה. הקבוע נקרא קבוע שיווי-משקל והוא מסומן ב-A.

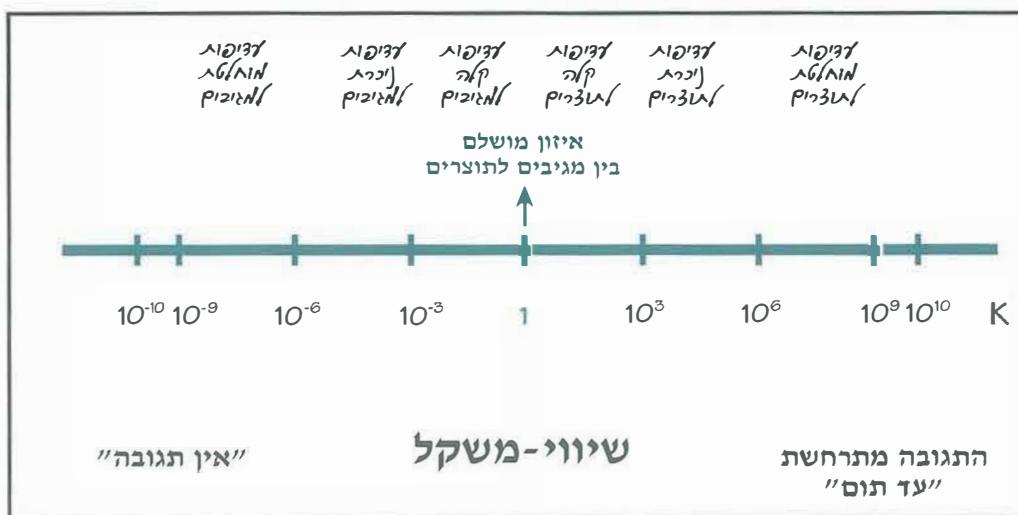
$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

הסוגרים המרובעים מציננים ריכוז מולרי, ואילו  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ו- $d$  המופיעים כמעריכים של החזקות הם המקדמים בניסוח המאוזן של התגובה.  
ערךו של  $K$  קבוע כל עוד הטמפרטורה קבועה.

### מה נוכל ללמידה מגודלו של קבוע שיווי-משקל?

מערכו של קבוע שיווי-משקל נתן להסיק מהי הכמות היחסית של התוצריים שיתתקבו בתגובה מסויימת (בטמפרטורה מסוימת) לאחר שהושג שיווי-משקל. בambilים אחרים, ערכו של הקבוע מצביע על מידת התרחשותה בפועל של התגובה הישירה. אם ערכו של  $K$  גבוה יחסית (מעל  $10^3$ ), הדבר מצביע על כך שההתגובה הישירה "עדיפה", זאת אומרת שבמצב שיווי-משקל יש יותר תוצריים ממניגבים. לעומת זאת, כאשר ערכו של  $K$  נמוך יחסית (פחות מ- $10^{-3}$ ), התגובה ההופוכה היא התגובה ה"מועדפת", זאת אומרת שבמצב שיווי-משקל יש יותר מניגבים מתוצריים. ואילו כאשר ערכו של  $K$  נע בין  $10^{-3}$  לבין  $10^3$ , אין תגובה "מועדפת" וכמוות התוצריים והמניגבים במצב שיווי-משקל דומות.

מה קורה במצביים **קייצוניים**, כאשר ערכו  $K$  גבוהים או נמוכים במיוחד? האם עדין ניתן לתאר את המערכת כמערכת במצב שיווי-משקל:  
אם ערכו של  $K$  נמצא מעל  $10^{10}$ , מוקובל לנחות את התגובה הישירה לתגובה המתרחשת "עד תום", ובמערכת יימצאו למעשה רק תוצריים. אם ערכו של  $K$  נמצא מתחת ל- $10^{-10}$ , מוקובל לומר שההתגובה הישירה אינה מתרחשת ובמערכת יימצאו למעשה מניגבים בלבד. בשני המקרים הקיצוניים הללו לא מותקיים מצב של שיווי-משקל, מצב שבו נמצאים, כפי שלמדנו, אלו לצד אלו מניגבים ותוצריים. האior הבא מסכם באופן גרפי מה ניתן ללמידה מגודלו של קבוע שיווי-משקל על מידת התרחשות התגובה (הישירה) ועל היחס בין ריכוזי המניגבים ורכיבוי התוצריים במערכת.



הערה: ההשוואה בין ערלים שונים של קבועי שווי-משקל תקפה רק כאשר מדובר בתגבות מסוימות טיפוס מבחינת המקדים בניסוח המאוזן:  $D^p + aA \rightleftharpoons cC + aB$ , משום שהמקדים הם המעריכים של החזקות בביוטי של קבוע שווי-משקל.

### מה לא נוכל למדוד מגודלו של קבוע שווי-משקל?

כאמור, קבוע שווי-משקל של תגובה מצין את מידת התראשתה של התגובה. הוא אינו מספק כל מידע על כצב התגובה. A מספר לנו באיזה מידה, ולא באיזה כצב, התגובה מתקדמת. למעשה, מידת התראשתה של התגובה וקצב התגובה אינם תלויים זה בזה. לדוגמה, הפיכת גופרית דו-חמצנית וחמצן לגופרית תלת-חמצנית ב- $450^{\circ}\text{C}$  מתרחשת באיטיות רבה, אך כמעט בשלמות (A גבוהה). לעומת זאת, הפיכת חנקן חד-חמצני לחנקן דו-חמצני באותה טמפרטורה מתרחשת בקצב מהיר, אך רק באופן חלקי (A בעל ערך בינוני).

## 5ה. הפרעות במצב שווי-משקל

ראינו ש מצב שווי-משקל הוא מצב דינמי שבו שתי התגבות הֆוכות ממשיכות להתראש, אך הן מתרחשות בקצב שווה. שווי-משקל הוא במאותו מצב רגיש לשינויים, בשל היוטו מצב של אייזון בין הקצב של שתי התגבות הֆוכות. אם יחול שינוי בתנאי התגובה (כמו שינוי בריכוזים או בלחץ), השינוי יכול לעורם להפרת האיזון בין התגבות הֆוכות וכטוצאה לכך להפרת מצב שווי-משקל. שינוי בתנאי התגובה הגורם להפרת שווי-משקל נקרא הפרעה. הדיוון בהפרעות הנגרמות למערכת הנמצאת בשווי-משקל יתמקד בשינויים בריכוזים. תחילת ניטוק במקרה הפשט יחסית שבו חל שינוי בריכוזו של אחד ממרכיבי המערכת, ולאחר מכן גם במקרה מורכב יותר שבו חל שינוי בריכוזיהם של כמה מרכיבי המערכת. דרך אגב, כאשר משנים את הריכוזים במערכת הנמצאת בשווי-משקל על ידי הוספת חומרים אליה או הוצאה חומרים ממנה, המערכת הופכת ממיניה למיניה פתוחה.

### שינויי בריכוזו של אחד ממרכיבי המערכת (בTEMPerature קבועה)

לדוגמה נבחן את תגובת הפיקת האמונייה ונניח שהמערכת הגיעו למצב שווי-משקל (בTEMPerature מסוימת):



מה יקרה אם לאחר שהמערכת הגיעו למצב שווי-משקל, מוסיפים לה, למשל, גז מימן? שווי-משקל מופר משום שריכוז אחד המרכיבים, המימן, השתנה. מרגע זה **הרכיבים כבר אינם קבועים**. נשאלת השאלה מה מתרחש במערכת בעקבות הפרעה זו? כדי לנתח את המצב החדש של המערכת ניעזר שוב ב"תאוריות ההתנגשויות". לפי תאוריות ההתנגשויות קצב התגובה תלוי ברכיב החומרים המגיבים. עליה בריכוז החומרים המגיבים גורמת לעלייה בקצב התגובה. במקרה שלנו מרגע שעלה ריכוז המימן, גובר הסיכוי להתנגשויות בין מולקולות המימן למולקולות החנקן,

ולכן קצב התגובה הישירה גובר. קצב התגובה הישירה עולה עתה על קצב התגובה ההופוכה. מרגע זה גם **קצבות התגובה אינס שוים**. מצד שני, הקצב המוגבר של התגובה הישירה, יוצרת האמונה, גורם לעלייה ברכיוה. העלייה ברכיוו האמונה תוביל לעלייה הדרגתית בקצב התגובה ההופוכה, פירוק האמונה. לבסוף ישתו הקצבים של שתי התגובהות הפוכות, וקצב שיווי-משקל יושג בשנית. ריכוזי המימן, החנקן והאמונה במצב שוויי-המשקל השני שונים מריכוזיהם במצב שוויי-המשקל הראשון. למרות זאת, שני המ מצבים מאופינים על ידי אותו קבוע שוויי-משקל. אמנים הערכיהם של המונה והמכנה המוצבים בביטוי קבוע שוויי-משקל השתנו, אך המנה נשארת קבועה. כפי שציינו, ערכו של קבוע שוויי-משקל של תגובה מסוימת משתנה רק כאשר הטמפרטורה משתנה.

לצד תושפע אותה מערכת תגובה, הפקת האמונה, משינוי אחר שייגרם לה: הוצאה ג' אמונה? גם במקרה זה שוויי-משקל מופר משום שריכוז אחד ממרכיבי המערכת, האמונה, השתנה. מרגע זה **הרכיבים כבר אינם קבועים**. מה קורה במערכת בעקבות ההפרעה? הפעם חלה ירידה ברכיוו אחד החומרים, האמונה. על פי תאוריית התתנשויות, ירידה ברכיוו חומר מסוים גורמת לירידה בקצב התגובה שהוא משתף בה. במקרה שלנו ירידה בקצב התגובה ההופוכה. קצב התגובה ההופוכה נזק עתה בין מולקולות אמונה והיא תוביל לירידה בקצב התגובה ההפוכה. קצב התגובה השתנה נזק עתה מקצב התגובה הישירה. בשלב זה **קצבות התגובה אינס שוים**. הקצב הנזק יחסית של התגובה ההופוכה, פירוק האמונה, יוביל לירידה ברכיוו המגיבים – המימן והחנקן. הירידה ברכיוו החומר תוביל לירידה הדרגתית בקצב התגובה הישירה, יוצרת האמונה. גם הפעם ישתו לבסוף הקצבים של שתי התגובהות הפוכות, וושג מצב שוויי-משקל בעל אותו קבוע שוויי-משקל.

לסיום: באופן כללי, אם משנים את ריכוזו של אחד ממרכיבי המערכת הנמצאת במצב שוויי-משקל, המערכת מגיבה על ידי שינוי מקביל בקצב התגובה. כאשר מוסף חומר למערכת, עולה קצב התגובה שהוא משתף בה, העלייה בקצב התגובה מובילה לבסוף לירידה ברכיוו החומר שהוסיף. לעומת זאת, כאשר מוצא חומר, יוריד קצב התגובה שהוא משתף בה, הירידה בקצב התגובה מובילה לבסוף לעלייה ברכיוו החומר שהוציא.

לאוthon מסקנה הגיע בשנת 1885 הימיאי הצרפתני הנרי לה-שטליה (Henri Le Chatelier) על סמק'  
ממצאים ניסויים שערך. מסקנתו מוכרת כ"עקרון לה-שטליה" שניסוחו: **אם מערכת הנמצאת במצב שוויי-משקל מופרעת על ידי שינוי בתנאי התגובה, יתרחשו בה תהליכים שיבטלו את השינוי שנגרם עד לקבלת מצב שוויי-משקל חדש.**

### הפרעה משתלמת

בתהליכי תעשייתיים הגיעו המגיעה לשוויי-משקל היא תגובה בעייתית. התעשייהן משקיע חומרי גלם (מגיבים), אך לא מפיק מהם את מלאו התוצרת, זהן, כਮובן, הפסד כספי. האם ניתן לגרום למערכת התגובה להגבר את תפוקתה? מתברר שניתן. כל מה שצריך לעשות הוא "להפריע" למערכת ולמנוע ממנה להגיע במצב של שוויי-משקל.

באיו זרך כדי "להפריע" למערכת? באופן כללי אנו מעוניינים בהגברת התגובה הישירה.



...על כל...

זאת ניתן להשג על ידי העלאת ריכוז המגבים או על ידי הורדת ריכוז התוצרים. בתהליך התעשייתי לייצור האמונייה, המוכר כ"תהליך הבר", מפרים את שיווי-משקלה של המערכת על ידי שילוב של שני האמצעים הנ"ל. תוצר התגובה, א' האמונייה, מסולק באופן רצוף מערכות התגובה על ידי קירור והפיכת האמונייה לנוזלית. ובמקביל כל הזמן מושרים למערכת התגובה חומריו מוצר, מימן וחנקן גזים (חדים או מוחזרים). בדרך זו מעלים את כמות האמונייה באופן משמעותי ותורמים לכך ליכולת של תהליך ייצור האמונייה.

## פעריות מס' 7: השפעת שינוי הריבוזום על מצב שיווי-משקל



**המטרה:** בניסוי זה תבדקו את ההשפעה של שינוי בריכובים שונים של מערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל. בכל פעם שתבקשו לשנות ריכוז של מרכיב אחד ולעקבו אחר השפעת השינוי שבייצעתם על המערכת. המעקב יעשה על ידי התבוננות בשינויי הצבע החלים בתמיisha. מערכת התגובה היא:



**חומרים:**

- ✓ כוס כימית של 100 מ"ל
- ✓ תמיisha מימית של אשלגן תיו-ציאני 0.001M
- ✓ תמיisha מימית של ברזל-חנקתי  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  0.02M
- ✓ אשלגן תיו-ציאני מוצק  $\text{KSCN}$
- ✓ אשלגן מימן-זרחתי מוצק  $\text{K}_2\text{HPO}_4$

### ועבשו לעבודה:

- 1) מזוגו לתוך כוס כימית 50 מ"ל של תמיisha אשלגן תיו-ציאני  $\text{KSCN}$ . רשמו מהו צבע התמיisha.
- 2) הוסיפו לתמיisha הנ"ל 2-3 טיפות של תמיisha ברזל-חנקתי  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ . רשמו מה היה צבע התמיisha שהוספה וכן מהו צבע התמיisha שהתקבלה.
- 3) מספרו 4 מבחנות וחלקו את התמיisha שהכנתם לאربع המבחנות הממוספרות.
- 4) מבחנה מס' 1 – תהוווה מבחנת ביקורת שתשוו אליה את הצבע שתתקבלו בכל אחת מה מבחנות האחרות.
- 5) ל מבחנה מס' 2 – הוסיפו מס' 4 טיפות של תמיisha ברזל-חנקתי  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ , רשמו את ציפויותיכם.
- 6) ל מבחנה מס' 3 – הוסיפו גביש של אשלגן תיו-ציאני  $\text{KSCN}$ , רשמו את ציפויותיכם.
- 7) ל מבחנה מס' 4 – הוסיפו גביש אשלגן מימן-זרחתי  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , רשמו את ציפויותיכם.
- (היוון  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^- \rightarrow \text{FeSCN}^{2+}$  מגיב עם יוני  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  לייצור יון קומפלקס מסיס וחסר צבע).

**לסיכום:**

הסבירו ברמה המולקולרית (על פי תאוריות ההתנגשויות) את ההשפעה של כל אחת מהפעולות שביצעתם על מצב שיווי-המשקל.

**שינויי ברכיביהם של מספר מרכיבים במערכת (בטמפרטורה קבועה)**

כפי שלמדנו, שינוי ברכיבו של אחד ממרכיבי המערכת גורם להפרעה במצב שיווי-משקל. בניסוי שערכם אף יכולתם לצפות בשינויים שהתרחשו מרגע ההפרעה ועד שהושג שוב שיווי-משקל, לפי שינוי ה张數 שחלו במערכת. אך כיצד תושפע מערכת הנמצאת בשיווי-משקל, אם משנים בה את הרכיבים של כמה מרכיבים? כאן המצב מורכב יותר. אם השינויים שחלו פועלים באותו כיוון, כמו למשל הוספת שני מגיבים או הוספת מגיב אחד ובמקביל הוצאה תוצר, עדין נוכל לנתח את השפעת ההפרעה על המערכת על פי תאוריות ההתנגשויות. אך אם שינוי הרכיבים אינם פועלים באותו כיוון, כמו למשל הוספת מגיב אחד ובה בעת הוצאה מגיב שני, תאוריות ההתנגשויות לא תוכל לספק תשובה חד משמעית, ואנו נאלץ למצוא פתרון אחר. במקרה זה ניתן השפעת השינויים על המערכת יי'עשה בדרך של חישוב, כפי שנפרט להלן.

נציב בנוסחת הקבוע את ריכוז החומרים המתאימים לרוגע שבו נעשה השינוי. לערך המתkeletal נקרא **מנת התגובה** ונסמן אותו ב- $Q$ . ניתוח מצב המערכת מתבסס על השוואת ערכו של  $Q$  לערכו של קבוע שיווי-משקל  $A$ . אם ערכו של  $Q$  שווה לערכו של  $A$ , מעיד הדבר שהמערכת עדין נמצאת בשיווי-משקל למגוון שינויים שחלו בה. לעומת זאת, אם ערכו של  $Q$  שונה מערךו של  $A$ , מעיד הדבר שהשינויים שנעשו מהווים הפרעה לשיווי-משקל.

ומה יקרה במערכת בעקבות ההפרעה? הדבר תלוי ביחס בין  $Q$  ל- $A$ . אם  $Q < A$ , משמעות הדבר היא שמנת התגובה היא בעלת ערך מספרי נמוך מדי, זאת אומרת שריכוזי התוצרים (המוניה) נמוכים מדי. כדי שבערכת יושג שוב שיווי-משקל, צריכה להתגבר התגובה הישירה, כלומר קצב התגובה הישירה יעלה על קצב התגובה הפוכה. אם, לעומת זאת,  $Q > A$  משמעות הדבר היא שמנת התגובה היא בעלת ערך מספרי גבוה מדי, כלומר ריכוזי התוצרים גבוהים מדי. כדי שבערכת יושג שוב שיווי-משקל, צריכה להתגבר התגובה הפוכה. הפעם קצב התגובה הפוכה יעלה על קצב התגובה הישירה.

ניתן לסכם בקצרה את מצב המערכת מרגע הפרת שיווי-המשקל ועד להשגתו מחדש:

כאשר  $A < Q$ , המערכת "נותה ימינה" לכיוון התוצרים.

כאשר  $A = Q$ , המערכת נמצאת בשיווי-משקל ואין לה כל "נטיה להשתנות".

כאשר  $A > Q$ , המערכת "נותה שמאליה" לכיוון המגיבים.

**שינוי לחץ במערכת גזית הנמצאת במצב שיווי-משקל (בטמפרטורה קבועה)**

עד עתה עסקנו בהפרעות למערכת הנמצאת בשיווי-משקל שנגרמו על ידי שינויי הרכיבים בלבד. כאשר מדובר בתמייסות נזילות זהו סוג ההפרעה היחיד שיכול להתறח. אך אם תערובת התגובה כוללת חומרים במצב צבירה גז, יש לקחת בחשבון סוג הפרעה נוסף שיכול להתறח והוא שינוי בלחץ. נסקר בקצרה גם אפשרות זו.

כשעוסקים בשינוי לחץ הנגרמים למרכזת תגובה שמרליביה הם גאים יש להבחן בין שני מצבים: המצב הראשון – שינוי בלחץ שלא גורר שינוי בנפח הכליל, והמצב השני – שינוי בלחץ שמשנה את נפח הכליל.

מצב מהסוג הראשון הוא, למשל, מקרה שבו מוסיפים לכל התרבות בעל נפח קבוע את אחד מרכיבי המערכת. הוספה זו מגדילה את החלץ החלקי של מרכיב זה (לחץ חלקו של ג' מוגדר כתרומתו היחסית של אותו ג' לחץ הכללי). שינוי זה שוקל נגד שינוי ברכיביו של המרכיב המשוים. ניתוח מצב המערכת יכול, על כן, להיעשות על פי תאוריות ההתנגשויות.

מצבים מהסוג השני חלים כאשר מעלים את הלחץ הכלול הפועל על המערכת ובכך מקטינים את נפח כל התגובה, כתוצאה לכך כל מרכיבי המערכת נדחים. וכן להיפך, כאשר מורידים את הלחץ הכלול הפועל על המערכת ובכך מגדילים את נפח כל התגובה, וכל מרכיבי המערכת מתפשטים. במקרים אלו נגרם באופן עקיף שינוי ברכיבים. אך יש לשים לב לעובדה מעניינת והיא: כאשר משתנה נפח הכליל, משתנים הריכוזים של **כל** מרכיבי המערכת. וכשהמצב מורכב, כפי שהוא במקרה הנוכחי, ניתן מכך המערכת **יעשה על פי הזרק החישובית** (השווות ערכיו Q ו-1-K).

**הובלת חמץ על ידי המוגלוין**

הכרת ההתקנות של מערכת שוויון-משקלת מופר חיונית בהבנת הדרך שבה מתאפשרת אספקת חמצן לכל חלקו גוף האדם. החים שלו ושל יצורים אחרים תלויים באספקה קבועה של חמצן ובמעבר תקין שלו לכל חלקו הגוף. אדם ובבוגרי חוליות אחרים החמצן מועבר באמצעות הדם. אך כפי שלמדתם בפרק "מיים", מסיסותנו של חמצן במים נמוכה, ולכן חמצן שיתמוסס ישירות בנוזלי הדם לא יוכל לספק את צורכי הגוף. בדם חוליתנים בעיה זו באח על פתרונה בכך שמרבית החמצן נישא בדם על ידי חלבון ייחודי הנקרא המוגולובין. המוגולובין אינו מפואר בנוזלי הדם, אלא מרכז בתאי הדם האדומים והוא הצבען (פיגמנט) המקנה לדם את צבעו האדום.

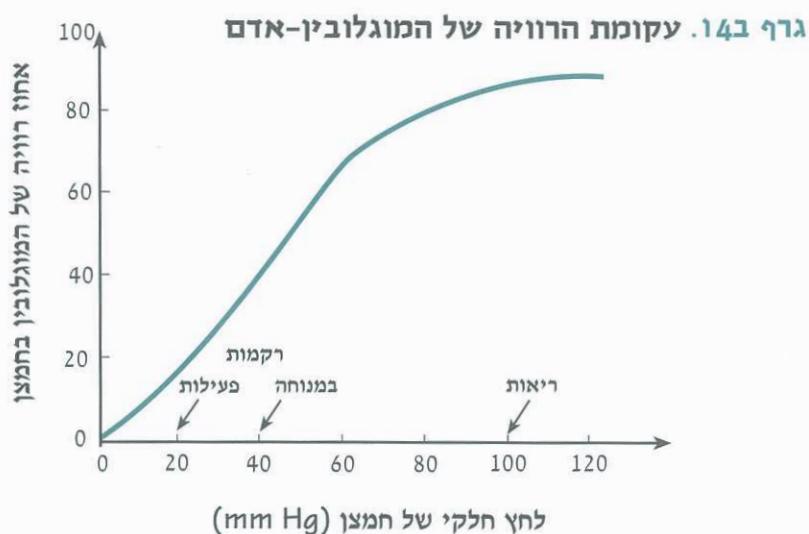
מולקולות המוגולBIN היא מולקולה יחסית (מסה מולרית:  $64,500g$ ) דמיית כדור, המורכבת מארבע שרשרות פוליפפטידיות המוחזקות יחד על ידי קשרים לא קולוניטיים. כל אחת מהשרשות מכילה גם קבוצת עוז לא חלבונית הנקראת הם (Heme). במרקaza של כל קבוצת הם מצוי אטום ברזל. אטום ברזל זה הוא אתר הקישור למולקולות חמצן. מולקולות המוגולBIN אחת יכולה, אם כן, לקשור ארבע מולקולות חמצן. מולקולות המוגולBIN שקשירה חמצן נקראת אוקסימוגולBIN. קישור החמצן למוגולBIN הינו תהליך הפיק, שנitinן לסדרמו על ידי הנזירים הברא.



צבעו של האוקסימוגלובין שונה מצבעו של המוגלובין, צבעו של הראשון אדום-בahir, ואילו צבעו של השני אדום-סגול. זו הסיבה להבדל בצבעם של דם עורקי לעומת דם וורידים. בשעה שבוצעו של הדם העורקי ה"עשיר" בחמצן נותה לאדום, צבעו של הדם הוורידי ה"עני" בחמצן נותה ל Sang.

למולקולת המוגולובין יש, כאמור, יכולת לקשור ולשחרר חמצן. הפיקות התהיליך עונה על צרכיו החיוניים של היצור החי: קליטת חמצן במקום שבו הוא מצוי בשפע ושחררו במקום שבו הוא חסר. מולקולת המוגולובין קושרת חמצן בリアות ומשחררת אותו ברקמות.

**כיצד בדיק זה קורה?** אחיזה המוגולובין הקשור לחמצן (צורת האוקסימוגולובין) תלוי ביחס החלקי של החמצן שלו אליו הוא חושף, ומתואר על ידי עקומת הרויה של המוגולובין המציגה את אחיזה הרויה של המוגולוביון בלחצים חלקיים שונים של חמצן. להלן מופיעה עקומת הרויה של המוגולוביון-אדם.



העוקמה מתארת את התלות של אחוז הרויה של המוגולוביון בחמצן (ציר ה- $y$ ) ביחס החלקי של החמצן ( $\text{p}_\text{O}_2 \text{ mm}$ ) אליו הוא חושף (ציר ה- $x$ ). ככל שהלחץ החלקי של החמצן גבוה יותר, הנטייה של המוגולוביון לקשור חמצן גודלה יותר, ואחיזה הרויה של המוגולוביון בחמצן גבוהה יותר, ולהיפך ככל שהלחץ החלקי של חמצן נמוך יותר, הנטייה של המוגולוביון לקשור חמצן קטנה יותר, ואחיזה הרויה של המוגולוביון בחמצן נמוך יותר.

### זרימת הדם כהפרעה לשינוי-משקל

עוקמת הרויה היא אוסף של נקודות שכל אחת מהן מייצגת מצב שיווי-משקל בלחץ חלק מסויים של חמצן. בכל מצב שיווי-משקל קבוע שיווי-המשקל זהה. הלחץ החלקי של החמצן מכתיב את החלוקה בין המוגולוביון "חופשי" ( $\text{A}\text{H}$ ) לבין המוגולוביון "קשר" ( $\text{Hb}^{\text{40}} \text{ mmHg}$ ) הנקרא, כאמור, אוקסימוגולוביון. ראוי לציין שהמספר הכלול של מולקולות המוגולוביון בדם ("קשר" וה"חופשי") קבוע. זרימת הדם מהויה, למעשה, הפרעה לשינוי-משקל, לאחר שהיא גורמת לשינוי בלחץ החלקי של החמצן אליו חושף המוגולוביון. זו הפרעת לחץ השcoleה להפרעה על ידי שינוי ברכיבו של מרכיב אחד במערכת.

הבה "נזרום" עם הדם... ונעקב אחר מולקולות ההמוגולובין במעברן מהריאות אל שאר חלקי הגוף.

בריאות החלץ החמצן הוא  $94\text{mmHg}$ . כפי שניתן לראות בעוקמה, בחלץ חלקי זה 100% מההמוגולובין רווי בחמצן [כלומר כל ההמוגולובין נמצא בצורה אוקסימוגולוביון]. נמשיך "לזרום" ... כאשר האוקסימוגולוביון מגיע לאזור הרקמות, הוא נחשף לחלץ חלקי נמוך יותר של חמצן, בסביבות  $40\text{mmHg}$  (במנוחה). لكن מתרכשת התגובה המובילת לפירוקו להמוגולובין ולהחמצן. התוצאה היא שברקמות אחוז הרויה של המוגולובין בחמצן נמוך יחסית לה שבריאות. וכן ניתן לראות בעוקמה, שבחלץ חלקי של החמצן סבב הרקמות רק 68% מההמוגולוביון רווי בחמצן.

מה קורה במחלץ **פעילות גופנית**? במהלך פעילות גופנית הדרישה המוגברת של חמצן גורמת לכך שהחלץ חלקי שלו סבב השירים יורד עוד יותר ומגיע לרמה של  $90\text{mmHg}$  ואף יותר. במצב זה יותר אוקסימוגולוביון מתפרק להמוגולובין ולהחמצן, וכך אחוז הרויה של המוגולוביון יורד עוד יותר. בעוקמה ניתן לראות שבתנאים אלו אכן רק 25% מההמוגולוביון רווי בחמצן.

### **הוספת זרז למערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל**

הбиוטי של קבוע שיווי-משקל כולל רק את החומרים המופיעים בניסוח המאוזן של התגובה. האוזן, כאמור, אינו מופיע בניסוח התגובה. לכן אין להתפלא שאין לו כל השפעה על מצב שיווי-המשקל. ניסויים הוכחו שאוזן מגביר את קצב שתי התגובות, הן הישירה והן הההפכה. לכן אם מוסיפים אוזן למערכת הנמצאת במצב שיווי-משקל, תהיה עליה דומה בקצב של שתי התגובות ובסך הכל לא תהיה השפעה על הרכיב המערכת. במילים אחרות: **הוספת זרז למערכת הנמצאת בשיווי-משקל אינה מהווה הפרעה לשיווי-משקל**.

מה היה קורה אם היינו מוסיפים את האוזן למערכת לפני שהושג בה שיווי-משקל? במקרה זה היינו מבחינים בהבדל אחד בלבד: שיווי-המשקל היה מושג בתוך פרק זמן קצר יותר. אך גם במקרה זה אין לזרז השפעה על הרכיב המערכת בשיווי-משקל.

## מבט מסכם על תהליכיים הפיכיים

לאחר שהכרתם את מצב שיווי-משקל שני היבטיו: הראשון – הרכב המערכת במצב שיווי-משקל, והשני – הזמן הדרוש להשתתת שיווי-משקל, רצוי שנעשה הבחנה ברורה בין שני ההיבטים הנפרדים האלה.

כפי שראינו, הרכב המערכת במצב שיווי-משקל מוביל בצהורה כמותית באמצעות קבוע שיווי-משקל גודלו של קבוע שיווי-משקל מלמד על אחזו התוצרים במערכת במצב שיווי-משקל. ככל שאחיזו התוצרים המתkeletal גבוהה יותר, מעיד הדבר שמידת הספונטניות של התגובה הישירה גבוהה יותר. במילים אחרות, העלייה באנטרופיה של היקום (מערכת + סביבה) המתרחשת עם התקדמות התגובה הישירהגדולה יותר. מעתנים אלה שהזכרנו: קבוע שיווי-משקל, מידת הספונטניות של התהיליך והעליה באנטרופיה של היקום מတאים היבט אחד של תגובה כימית – **ההיבט התרמודינמי** שליה. במקביל ובצורה בלתי תליה יש לתגובה כימית גם היבט אחר – **ההיבט הקינטי** שליה. ההיבט הקינטי עוסק בקצב תגובה, ומשתנה המשמעותי היחיד לעניין זה הוא אנרגיית השפעול של התגובה. שימוש לב: הפרק "שוווי-משקל בתגובות כימיות" מתמקד בהיבט התרמודינמי של תגובה, ואילו הפרק הזה "דינמיקה של תגובות" מתמקד בהיבט הקינטי שליה.

מאחר שני היבטים של תגובה – ההיבט התרמודינמי וההיבט הקינטי – נפרדים ובלתי תלויים זה זהה, תגובה מסוימת יכולה להיות ספונטנית מאוד ובה בעת איטית מאוד. ספונטניות מאוד, כי בעבר מגיבים לתוצרים יש עלייה ניכרת באנטרופיה של היקום, ואיטית מאוד, משומש בדרך בין המגיבים לתוצרים יש לעבור דרך תצמיד משופע בעל אנרגיה גבוהה במיוחד. נוכל לתאר מצב זה בקיצור ולומר שעל אף שתגובה מועדף מבחינה תרמודינמית היא מעוכבת מבחינה קינטית. בעניין זה ניתן להבין מדוין זו, הגורם לירידה באנרגיית השפעול של תגובה, מגביר את הקצב של תגובה המעוכבת מבחינה קינטית, ואין לו שום השפעה על הרכב המערכת בשוויון-משקל. כדי להמחיש את העובדה שתגובה המועדף מבחינה תרמודינמית יכולה להתעכב מסיבות קינטיות, נתיחס לדוגמה הלקחה מתוך אחר למורי, תחום האמונה הדתית. לאדם מאמין ברור שהמשיח יבוא, אבל לא ידוע לו מתי הוא יבוא, ואף על פי שיתמהמה הוא מתחכה לו בכל יום שיבוא...

הדגשנו את העצמאות של שני היבטים של תגובה כימית – ההיבט התרמודינמי וההיבט הקינטי – מבחינה זו שככל אחד מהם מושפע מגורמים אחרים. יחד עם זאת יש לומר שקיימות היררכיה בין שני היבטים הללו. רק לאחר שהתרמודינמיקה "מאשרת" שתגובה מסוימת אפשרית אפשרית (ספרונטנית), ניתן יהיה לזרז את מהלכה במידת הצורך. אך אין שום אפשרות לזרז תגובה אם היא נחשבת בלתי אפשרית (לא ספרונטנית). בהשאלה ניתן לומר שהתרמודינמיקה בוחנת אם "פרויקט" הוא אפשרי, ורק לאחר שנמצא ש"פרויקט" מסוים אפשרי, הקינטיקה מתקצת אותו ובכך קובעת, למעשה, את קצב התקדמותו.

## שאלות לסיכון פרק ב

(1) על פי תאוריית ההתנשויות, העלאת ריכוז המגיבים בתגובה כימית מעלה את קצב התגובה משום ש:

- א. חלוקן של ההתנשויות הפוריות עולה.
  - ב. התדריות של ההתנשויות עולה.
  - ג. אנרגיית התנועה המומצת עולה.
  - ד. אנרגיית השפועל יורדת.
- نמקו.

(2) איך מבין המשפטים הבאים נכון לגבי תגובה כימית:

- א. העלאת הריכוז של המגיבים מורידה את הסיכוי להתנשויות.
- ב. בכל פעם שמולקולות המגיבים מותנשות מתרחשת תגובה.
- ג. זו מעלה את מחסום אנרגיית השפועל של התגובה.
- ד. העלאת הטמפרטורה מעלה את הסיכוי להתנשויות פוריות.

(3) הראו כיצד מולקולות של  $O_2$  ו- $NO$  עושות להתנש באופן שיביא ליצירת מולקולות של  $O_2$  ו- $ONO$ . כיצד הן עושות להתנש באופן שאינו יוצר תגובה?

(4) הסבירו על פי תאוריית ההתנשויות את התלות הכפולה של קצב התגובה בטמפרטורה.

(5) תארו ברמה המולקולרית מה קורה לשמרידים את הטמפרטורה של מערכת תגובה.

(6) בלימודינו עסקנו בשלושת הגורמים העיקריים המשפיעים על קצב תגובה כימית: ריכוז המגיבים, הטמפרטורה בה מתרחשת התגובה וכן חותמו של זו. גורם נוסף המשפיע על קצב של תגובה, שבו לא עסקנו, הוא שטח הפנים של המגיבים (הבדל משמעותית בשטח הפנים בא לידי ביטוי, למשל, בשימוש בחומר בצורת גוש לעומת אותו חומר מפורר לאבקה). הסבירו כיצד משפיע גורם זה על קצב התגובה.

(7) בקטליה הומווגנית –

- א. התגובה מתרחשת בתמיסה מיונית.
- ב. המגיבים חייבים לבוא ב מגע עם שטח הפנים של הזרז.
- ג. הזרז והמגיבים אינם באותו מצב צבירה.
- ד. הזרז חייב להיות באותו מצב צבירה של המגיבים.

8) איזה מהמשפטים הבאים לגבי אנים אינם נכון?

א. האנים עורר להפוך את חומר המוצא לתוצר.

ב. האנים "מכיר" את המצע באמצעות התאמאה מבנית בינם.

ג. האנים מייצב את הتصمיל המשופעל של התגובה.

ד. האנים מתרפרק במהלך התגובה אותה הוא מארז.

(שאלת זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות ביולוגיה תשמ"ט 1989, 5 יחידות לימוד).

9) לפני ארבעה היגדים על אנים. איזה מהם נכון?

א. האנים מורייד את ארגנית השפעול של התגובה כלפי התוצרים.

ב. האנים משנה את שיווי-המשקל של התגובה כלפי התוצרים.

ג. האנים משתנה במהלך התגובה האנומלית.

ד. פעילות האנים תלויה בטמפרטורה של הסביבה.

(שאלת זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות ביוכימיה תשנ"ה 1995, 2 יחידות לימוד).

10) ה-H<sub>k</sub> המיטבי של אנים הוא:

א. ה-H<sub>k</sub> בו מצוי האנים.

ב.  $T = H_k$ .

ג. ה-H<sub>k</sub> שבו מהירות פעילות האנים היא מקסימלית.

ד. ה-H<sub>k</sub> שבו ריכוז המצע הוא מקסימלי.

(שאלת זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות ביוכימיה תשנ"ד 1994, 2 יחידות לימוד).

11) כאשר מתרחחים רקמה חייה האנים שבתוכה מפסיקים לפעול. הסיבה לכך היא ש:

א. אנים פועלים רק בתאים חיים.

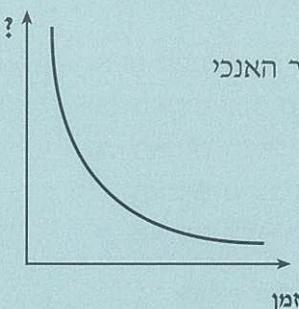
ב. העלייה במוריות התנוועה של מולקולות המצע אינה מאפשרת לאנים לפעול.

ג. המבנה המרחבי של האנים משתנה.

ד. כיווני התגבות האנומליות מתחפכים.

נקו.

(שאלת זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות ביולוגיה תשנ"ב 1992, 5 יחידות לימוד).



12) איך מבין האפשרויות הבאות מתאימה ביותר להגדרת חיצר האנכי בתיאור גרפי של תגובה אנטימיטית?

- ריכוז האנדים.
- ריכוז המצע.
- ריכוז התוצר.
- אף אחד מללה.

( שאלה זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות בביולוגיה תשמ"ו 1986, 5 יחידות לימוד).

13) קירור מאט קלקלן מזון על ידי כך שהוא –

- הורס אנטים בתאי חידוקים.
- גורם לפלסומוליזה של תא חידוקים.
- מוריד את קצב פעילות האנטים בתאי חידוקים.
- מנמיך את אנרגיית השפעול של תגובות כימיות.

نמקו.

( שאלה זו מבוססת על שאלת מבחינת בגרות בביולוגיה תשמ"ג 1983, 5 יחידות לימוד).

14) תמייסות מהולות (בערך 3%) של מי-חמצן יציבות לאורך זמן (ביחוד אם מוסף להן חומר מייצב). לעומת זאת, כאשר תמייסה או נשפכת על חתך פתוח או על פצע, מי-החמצן מתפרקים במהירות תוך שחרור חמצן וייצור מים. איך תסבירו עובדות אלה?

15) לאנטים רגשות גבוהה לטמפרטורה. פעילות האנטים עולה בדרך כלל לערך מסוים ולאחר מכן יורדת ונפסקת.

א. הסבירו מדוע בטמפרטורות נמוכות האנטים כמעט פועל ומדוע פעילותו עולה בהדרגה.

ב. הסבירו מדוע פעילותו של האנטים יורדת עם עלייה הטמפרטורה מעלה לערך מסוים.

ג. הסבירו מהי נקודת האופטימום של העקומה ( מבחינת המבנה המרחבי של האנטים).

16) תמציות אণזים הוכנו משתי תרבותות של חיידקים, החיים בטבע במיעינות שונים. תמצית אחת כונתה – תמצית א' והשנייה כונתה – תמצית ב'. את התמציות הוסיף בכמות שווה ל מבחנות, שכל אחת מהן הכילה 3 מ"ל מים ו-3 ג"ר תפוחי אדמה, חתולים לחטיכות קטנות מאוד. הוספת התמציות גרמה להופעת קץ. כמות הקץ הוערכה וסומנה בדרך הבאה:

אין קץ: -  
קץ בכמות קטנה: +  
קץ בכמות רבה: ++

הטיפולים השונים והתוצאות מסוכמים בטבלה הבאה:

מספר מבחן										תנאים ב מבחנה
8	7	6	5	4	3	2	1	תמצית אणזים		
ב'	ב'	ב'	ב'	ב'	ב'	לא	לא	תמצית מורתה	תפוחי אדמה	אין קץ
יש	יש	יש	יש	יש	יש	יש	יש	טמפרטורה		
30°C	60°C	30°C	30°C	60°C	60°C	60°C	60°C			
++	+	-	+	++	-	-	-			תוצאה: כמות הקץ

- א. תארו את תוצאות הניסוי (לא הסבר).  
 ב. ציינו שני עדויות לכך שהקטן הוא תוצאה של פעילות אণימטיבית.  
 ג. מה ניתן ללמוד מהנתונים על בית-הגידול הטבעי של כל אחת מהתרבויות? הסבירו.  
 ד. מהו התפקיד של תפוחי האדמה במרקם הניסוי? איזו מבחנה מהוויה בקרה לכך?

(שאלת זו מבוססת על שאלה מבחנית בגרות בביולוגיה תשמ"ו 1986, 5 יחידות לימוד).

- 17) במערכת הנמצאת בשווי-משקל
- א. הריכוזים של המגיבים והתוצריים שווים.  
 ב. הקצב של התגובה הישירה והקצב של התגובה ההיפוכה שווים.  
 ג. לא מתרחשת כל תגובה.  
 ד. ריכוזי המגיבים והתוצריים תמיד שונים.

18) ארבעת הגזים  $O_2$ ,  $NO$ ,  $O_2$  ו- $NH_3$  הוכנסו לכלי התגובה ונתנו למערכת להגעה לשיווי-משקל.

nisioth ha-togoba be-shiyyo-resh-kelel:  $(g)O_2(g) + 5O(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 4NH_3(g)$

בשלב זה נעשו במערכת מספר שינויים. התיאחסו לכל שינוי בנפרד וקבעו מה תהיה השפעתו (ירידה, עלייה או אין שינוי) על הגדל המצוין בעמודה השלישי. הטמפרטורה והנפח קבועים בכל המקרים.

מספר הפרעה	השיעור	הגודל	השינוי
	הוספת $NO$	כמות $O_2$	1
	הוספת $O_2$	כמות $NO$	2
	הקטנת $O_2$	כמות $NO$	3
	הקטנת $NH_3$	כמות $O_2$	4
	$K_c$	הקטנת $NH_3$	5
	הקטנת $NO$	כמות $NH_3$	6
	הוספת $NH_3$	כמות $O_2$	7

19) השתמשו בתאוריות ההתנגשויות על מנת להסביר מדוע משקאות מוגאים הופכים ללא מוגאים כאשר המכל שבו הם מוחזקים נשאר פתוח?

20-21. ה�言ה הניתנה מונען כוונתי לא רק על ה�言ה

20) קצב נשימתו של אדם כאשר הוא נמצא על הר, מהיר מקצב נשימתו כאשר הוא נמצא על חוף הים. הסיבה לכך היא:

- \*א. בהרים הלחץ החלקי של החמצן באוויר נמוך יותר.
- ב. בהרים קצב הלב איטי יותר.
- ג. בהרים הלחץ האטמוספרי גבוהה יותר.
- ד. בהרים טמפרטורת הגוף נמוכה יותר.

שאלה זו מבוססת על שאלה מבחינה בגרות ביולוגיה תשנ"א 1991, 3+5 ייחדות לימוד).

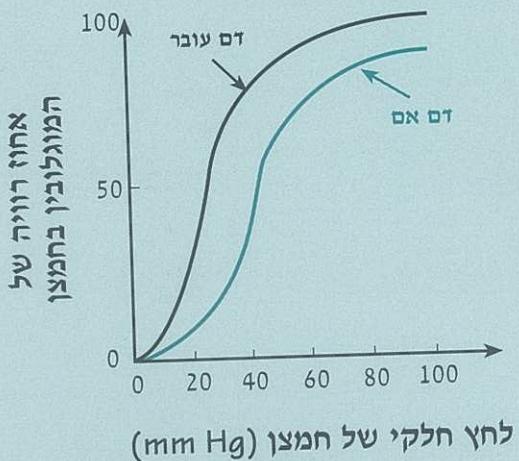
21) אצל אדם הסובל מאנמיה יש מחסור במוגולובין בדם. משום כך אצל אדם זה:

- \*א. יהיו קשיי נשימה בעיקר במקומות גבוהים.
- ב. יהיו קשיי נשימה בעיקר במקומות נמוכים.
- ג. תעלה טמפרטורת הגוף.
- ד. תפחית מסת הגוף.

שאלה זו מבוססת על שאלה מבחינה בגרות ביולוגיה תשמ"ח 1988, 5 ייחדות לימוד).

## שאלות רשות

(22) מצאו כי עקומה הרויה של המוגולובין שונה אצל נשים הרות ועובדיהן (להלן הגרף).  
לעובד יש המוגולובין F בעוד לאם יש המוגולובין A.



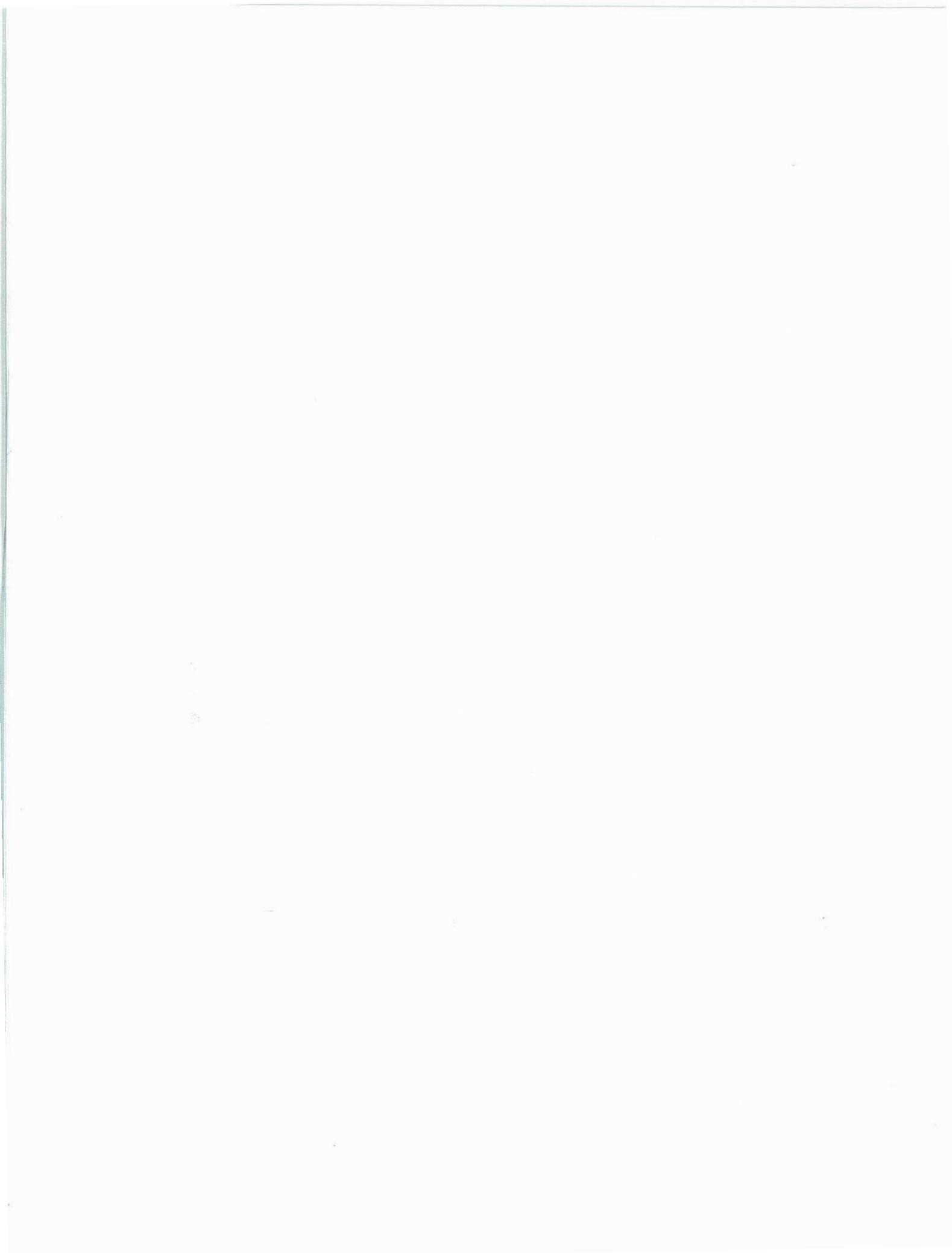
- א. לאיזה המוגולובין זיקה גודלה יותר לחמצן בתנאים פיזיולוגיים?  
 ב. מהי חשיבות של האיקוט השונות לחמצן של המוגולובין העובי וההמוגולובין של האם?

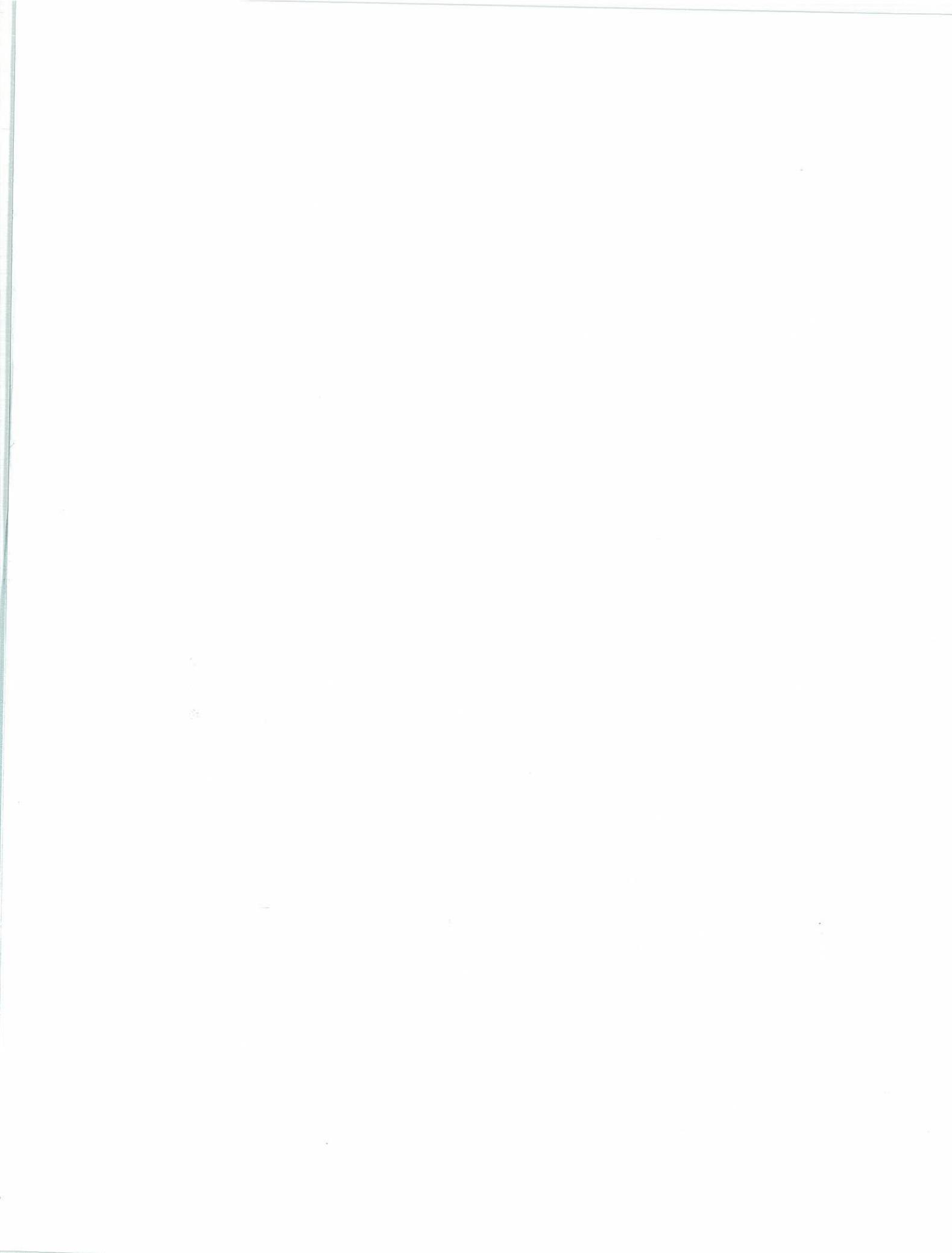
(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחןית בגרות ביוכימיה תשנ"ב 1992, 2 יחידות לימוד).

(23) הרעלת CO נגרמת כתוצאה מצמיד בין המוגולובין, נשא החמצן בدم, ל-CO. תצמיד זה חזק פי 200 מהתצמיד הנוצר בין המוגולובין לחמצן. לעומת זאת מתקשה על החמצן להתחזרות ב-CO וכתוצאה לכך נפגעת הובלתו לתאים. כאשר יותר מדי המוגולובין קשור ל-CO נגרם מוות בחרанק. התגובה המתארת בהרעלת CO היא:



מה יהיה הטיפול ההיגייני לאדם הסובל מהרעלת CO?





# •**תואמָנָה**

## פרק ג':

### •**ביסיסים וחומצות**



### •**ביסיסים וחומצות**

- ❶ הגדרה של ביסיסים וחומצות
- ❷ תמישות מימיות של ביסיסים וחומצות
- ❸ דרגת החומציות של תמישות מימיות
- ❹ תగובת סתייה ❺ תמישות בופר

## על הכר ועל החמוֹץ

הקדמה

בסיסים וחומצות הם שתי קבוצות של חומרים הקשורות זו לזה ומעורבות במנון של תהליכים כימיים. בסיסים וחומצות משתתפים בתהליכי המתרחשים בגוףם של יצורים חיים, בתהליכים סביבתיים ובתהליכים המתרחשים במעבדה ובתעשייה. גם בחיה יום יום אנו נתקלים בהם לא אחת: מאכלים ומשקאות רבים מכילים חומצות, ואילו חומרי ניקוי רבים הם בסיסיים.

חומצות הן בעלות טעם חמוץ ומכאן גם מקור שמן. לפירות הדר טעם חמוץ, כי הם עשירים בחומצת לימון. הלימון הוא העשיר ביותר בחומצת לימון וכן גם החומוֹץ ביותר, אחרי האשלולית ולבסוף התפוֹז. תמיישה מימית של חומצת חמוץ, המוכרת לנו כחומוֹץ בשימוש הביתי, היא המקנה את הטעם החומוֹץ לרטבים שונים המכילים אותה. על אף שלכל התמימות המימיות של החומצות יש טעם חמוץ אופייני, אסור להשתמש בחוש הטעם כדי לעמוד על טיבו של חומר בלתי מוכר. חומצות רבות משמשים בהן במעבדה, כמו חומצה מימן כלורית וחומצה גופרית, הן חומצות חזקות העולות לצרוב ולהrosis את הרקמות הריריות ואת העור, אם טועמים או נושמים אותן נוגעים בהן. גם חומצת לימון וחומצת חמוץ, שהן חומצות חלשות, עלולות להזיק כשהן ביריכו גבוהה.



לבסיסים, לעומת זאת, יש בדרך כלל טעם מר, וכך כמעט ולא ניתקל בהם במוצריו מזון. סודה לשתייה ובקת אפייה הן דוגמאות לתוספי מזון בסיסיים מוכבלים, אך אין לנו נוהגים לאכול אותן כמותן שנן. תכונה בולטת אחרת של בסיסים היא שהם חקלקים מגע כמו סבון, הסיבה לכך היא שבבסיסים מגיבים עם שמנים שבעור ובתגובה זו נוצר סבון. בסיסים כמו אמונייה ונתրן הידרוקסידי (סודה קאוסטית) משמשים אותנו בניקוי הבית. אך גם כאן נדרשת זהירות, אסור לטועם בסיסים או לגעת בהם. בסיסים חזקים, כמו חומצות חזקות, עלולים לצרוב ולהrosis את הרקמות הריריות ואת העור, וכך יש להקפיד וללבוש כפפות כאשר משתמשים בחומרי ניקוי המכילים בסיסים חזקים, ולאוורר היטב אתאזור העבוזה.



רבית התגבות הכימיות ביצורים חיים מתרכחות ברמה מיטבית בסביבה שאינה בסיסית או חומזית במידה ניכרת. יצורים חיים רגושים לשינויים בדרגת החומציות של הסביבה הפנימית שלהם ובמידה פחותה יותר הם רגושים גם לשינויים בדרגת החומציות של הסביבה החיצונית שלהם.

mdi يوم נוצרות בגוף האדם כמיות גדלות של חומצה בעקבות תהליך הנשימה ותהליכי פירוק המזון במערכת העיכול. למורות זאת נשמרת דרגת דרגת חומציות כמעט קבועה של הסביבה הפנימית של הגוף. שמיירה על דרגת חומציות כמעט קבועה נעשית על ידי פעילות מושלבת של מערכות המרכזיות עודפי חומצה או בסיס (מערכות בופר), ויסות קצב הנשימה ופעולות הכלויות.

בניגוד לרובית התגובה בגוף, המתרחשות בסביבה שאינה בסיסית או חומcit במידה ניכרת, עיכול מזון בקיבה מתרחש בסביבה חומcitת מאוד. לאחר כניסה מזון לקיבת מפרישה דופן הקיבה חומcitת מימן כሎירת הגורמת לכך שהתמייה בקיבה היא חומcitת.

יצורים החיים במים יפגעו ואפיו יموתו אם דרגת החומcitות של הסביבה שלהם תשתנה שנייה כיוזני, אם כי יש הבדל בתנאים המתאימים לצורות השונות. פטריות וחידקים יכולים לחיות בתמיסות חומcitות, אך לא בתמיסות בסיסיות, ואילו יצורים החיים בים מותאמים לחיות בסביבה חיצונית מעט בסיסית, כמו זו של מי-ים.

מרבית הצמחים גדלים היטב על קרקע שאינה בסיסית או חומcitת, אך ישנים מספר מיני צמחים שיוכלו להתקיים גם בקרקע חומcitת מאוד.

תחום אחר שבו מעורבים בסיסים וחומcitות קשור לאיכות הסביבה. גשם חומcit גורם לאיום חמוץ של הסביבה. מי גשם הם חומciים במקצת בכלל וכוחותה של החומצה הפחותית הנוצרת מתגובה בין מי-גשם ובין הפחמן הדוז-חמצני המצוי באוויר. הגשם הופך חומci עוד יותר כאשר מתוספות למים תחומיות של גופרית וחנקן הנפלטות מתחנות כוח, מפעלים וממכוניות. גשם חומci פוגע בעירות, מעכב את צמיחתם של יבולים חקלאים וגורם לפגעה בדגים שבאגמים, וכל זאת בשל רגשיהם של יצורים חיים לדרגת החומcitות של סביבתם. כמו כן גורם הגשם החומci לבליית פני השטח של בניני אבן ולהתפוררות של פסלי שיש. מניעת הייזרחות גשם חומci היא בעיה מורכבת ממשום שאויר, ואויר מזוהם בכלל זה, אינו יודע גבולות מדיניים... וכך קורה שגשם חומci עלול להופיע אפילו קילומטרים מקור האיזום.

### בתחלת הפרק

נדיר ברמה המולקולרית אלו חומרים נחברים בסיסים  
ואלו חומרים נחברים חומcitות לפי תפישת ברונסטד-לאורי. בהמשך נתמקד בתמיסות  
מיניות ונלמד להבחין בין בסיסים חזקים לבין בסיסים חלשים ובין חומcitות חזקות לבין  
חומcitות חלשיות. נזכיר את סולם ה-A<sub>k</sub> כמדד נוח לביטוי דרגת החומcitות של תמיסות  
מיניות. נלמד מהי תגובת סטירה ולבסוף נעסוק בתמיסות בופר, וננתח כיצד בתמיסות  
אליה השינויים ב-A<sub>k</sub> מתווגים למרות הוספה של חומכה או בסיס אליהן.

# הגדירה של בסיסים וחומצות

1

## פעריות מס' 1: זיהוי בסיסים וחומצות במעבדה



**המטרה:** בניסוי זה תמיינו חומרים ביולוגיים ומעבדתיים לבסיסים, לחומצות ולהומרים ניטרליים (שאיןם בסיסים ואיןם חומצות).

### כליים:

- |  |   |
|--|---|
| <b>חומרים:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ תמיסה מימית של מימן כלורי <math>\text{MnO}_2</math> ו-<math>\text{HCl}</math> (חומצה)</li> <li>✓ תמיסה מימית של נתרן הידרוקסידי <math>\text{NaOH}</math> (בסיס)</li> <li>✓ חומר ניקוי (חומר לנקיון כללי, חומר לניקוי תנורים, אקונומיקה)</li> <li>✓ שבתוoco מיים מזוקקים (חומץ, מיץ לימון, יין, מיצים מקופסאות שימושיים)</li> <li>✓ מוצרי מאון (חומץ, מיץ לימון, יין, מיצים מקופסאות שימושיים)</li> <li>✓ תמיסה מימית של סוכר ברכיך 5%</li> <li>✓ תמיסה מימית של מלח <math>\text{NaCl}</math> ברכיך 5%</li> <li>✓ נייר لكمוס אדום</li> <li>✓ נייר لكمוס כחול</li> <li>✓ תמיסת פנולפטלאין</li> <li>✓ סרט מגנטים</li> </ul> | <b>כליים:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ מבחנות</li> <li>✓ מקל אוככית</li> <li>✓ בקבוק שטיפה</li> <li>✓ מטריקס</li> <li>✓ מטריקס אדום</li> <li>✓ מטריקס כחול</li> <li>✓ סרט מגנטים</li> </ul> |
|--|---|

### ועבשו לעובדה:

#### א. מיוון בעזרת נייר لكمוס

- (1) רשמו את שמות החומרים על המבחנות.
- (2) מלאו כל מבחנה בחומר המתאים עד  $2/3$  מגובהה.
- (3) טבלו מקל אוככית נקי במבחן הריאונה והרטיבו בערתו פיסחה של נייר لكمוס אדום. רשמו את הצבע המתתקבל.
- (4) חזרו על סעיף 3 לגבי כל אחד מהחומרים. זכרו לשטוף את מקל האוככית בין חומר לחומר.
- (5) חזרו על התהליך עם נייר لكمוס הכחול ורשמו את הצבע המתתקבל לגבי כל אחד מהחומרים.

#### ב. מיוון בעזרת תמיסת פנולפטלאין

- (1) חזרו על סעיפים 1 ו-2 של חלק א'.
- (2) טפטו לכל מבחנה שתי טיפות פנולפטלאין ורשמו את תוצאותיכם.

- ג. מיוון בעזרת מתכת פעילה, מגנזיום
- 1) חזרו על סעיפים 1-2 של חלק א'.
  - 2) הוסיפו לכל מבחנה סרט מגנזיום (באורך של כ-2 ס"מ) ורשמו את תוצאותיכם.

### לסייעם

- 1) רכאו את התוצאות שקבלתם בטבלה שתכיל את המידע הבא: צבע נייר لكمוס אדום בnockחות החומר הנבדק, צבע נייר لكمוס כחול ב Knockחות החומר הנבדק, צבע התמיisha הנבדק ב Knockחות פנולפטלאין, תגובה עם מגנזיום.
- 2) האם נייר הלקמוס האדום / הכהול מראה צבע שונה בסביבה חומצית ובסביבה בסיסית? ציינו Aiיה צבע נייר הלקמוס.
- 3) ערכו רשימות נפרדות של חומרים שתפקידו כביסים, כחומצות ובחומרים ניטרליים על פי צבע נייר הלקמוס.
- 4) האם הפנולפטלאין מראה צבע שונה בסביבה חומצית ובסביבה בסיסית? ציינו Aiיה צבע מתקבל בכל מקרה.
- 5) האם תוצאות מיוון החומרים על פי צבעם ב Knockחות פנולפטלאין זהות למיוון שביצעתם בעזרת נייר הלקמוס?
- 6) האם אפשר להזות חומרים ניטרליים בעזרת פנולפטלאין? איך מזהים חומרים כאלה בעזרת נייר لكمוס?
- 7) האם המגנזיום מראה פעילות שונה בסביבה חומצית ובסביבה בסיסית? פרטו.
- 8) האם תוצאות המיוון על פי תגובה עם מגנזיום זהות לתוצאות המיוניים הקודמים?
- 9) האם ניתן להזות חומרים ניטרליים בעזרת המגנזיום?



## 1. הגדרה ביצועית של בסיסים וחומצות

בסיסים וחומצות הם חומרים הניתנים לאיהוי באמצעות בדיקות מעבדתיות פשוטות יחסית, כפי שראיתם בפעילות מס' 1. הבדיקה המעבדתית ה"קלאסית" המשמשת לאיהוי בסיסים וחומצות היא בדיקת השפעתם על חומרים הנקראים אינדיקטוריים. בפעולות שביצעתם השתמשתם בשני אינדיקטורים – لكمוס ופנולפטלאין. **אינדיקטור**, או בעברית **סמן**, הוא חומר צבע המראה צבע אופייני ב Knockחות תמיisha מימית של בסיס וצבע אופייני אחר ב Knockחות תמיisha של חומצה. באמצעות תכונה זו הם מוצבים באופןבולט מי הוא מי. כאשר מוסיפים מיצ לימון לכוס תה, נתקלים בתופעה דומה. גם במקרה יש חומר צבע היכול לשמש כאינדיקטור והוספת מיצ לימון המכיל חומצת לימון גורמת לשינוי צבעו. הבדיקה הנוסף שה坦נסית בה משמשת לאיהוי חומצות בלבד והיא הוספת מתכת פעילה, כמו מגנזיום, לתמיisha מימית של חומצה. מיד לאחר הוספת המתכת התמיisha מבועעת – תופעה המעידת על שחזור של גז אשר ניתן להזותו כאו מימן. תכונות אלו מאפשרות לנוכח הגדרה ביצועית של בסיסים וחומצות, לדוגמה, בסיסים הם חומרים המשנים את צבעו של נייר لكمוס אדום לכחול.

## אנו לא... ...אנו לא...

נסחו הגדרות ביצועיות לבסיסים ולחומצות על סמך התופעות שצפיתם בהן בפעילויות מספר 1.



בלימודי הכימיה אין אנו מסתפקים בהגדירה ביצועית של חומרים. לא די בכך שאנו מסוגלים לסתוג חומרים על פי התופעות המאפייניות שלהם. אנו מעוניינים גם לדעת ברמה המולקולרית את תוצאות הסיווג שערךנו. במקרה שלנו אנו מփשים מהו האפיון המולקולרי המשותף לכל החומרים שהתנהגו כחומצות, ככלומר אנו מעוניינים בהגדירה ברמה המולקולרית של בסיסים ולחומצות.

## ב. הגדרה מולקולרית של בסיסים ולחומצות

במרוצת השנים נوشטו הגדרות שונות לבסיסים ולחומצות, אך ההגדרות השימושיות ביותר עברנו הן אלו שניתנו, בנפרד, על ידי שני כימאים: הדני ג'והנס ברונסטד (Johannes Brønsted) והאנגלי תומס לורי (Thomas Lowry) בשנת 1923. **הגדרות ברונסטד-לאורי** לבסיסים ולחומצות הן אלו:

**בסיס הוא חומר המסוגל לקלוט פרוטון (יון מין, <sup>+</sup>H) מהומר אחר.  
לחומצה היא חומר המסוגל לאבד פרוטון (יון מין, <sup>-</sup>H) לחומר אחר.**

בהגדרות אלה בולט המאפיין המרכזי בתפישתם של ברונסטד ולאורי והוא ההבדל בין בסיס לחומצה. כדי שצורך מולקולה או יון של חומר יפעל כבסיס, זאת אומרת יקלוט פרוטון, חייב להימצא בסביבתו צורן של לחומצה שיabd את הפרוטון הזה, ולהיפך – כדי שצורך של חומר יפעל כחומצה, זאת אומרת יabd פרוטון, חייב להימצא בסביבתו צורן של בסיס שימושו אליו את הפרוטון הזה.

מאפיין נוסף בתפישת ברונסטד-לאורי הרاء לדגשתו הוא **תפקידי הפעיל של הבסיס**. אף צורן של לחומצה לא יתן פרוטון "בהתקנדבות". צורוני הבסיס צריכים למשוך אליהם את הפרוטונים. אם כוח המשיכה החשמלי שצורוני הבסיס מפעילים על הפרוטונים יהיה חזק דיו, הפרוטונים יינתקו מצורוני החומצה ויעברו אל צורוני הבסיס ובין הבסיס לחומצה תתרחש תגובה.

## ג. תגובה בסיס-לחומצה על פי ברונסטד-לאורי

תגובה בסיס-לחומצה על פי הגדרת ברונסטד-לאורי היא אפוא תגובה שבה עובר פרוטון מצורן של חומר אחד (המשמש לחומצה) לצורן של חומר אחר (המשמש בסיס).

הניסוח הבא מציג בהכללה תגובה בין בסיס לחומצה כלשהם:



### חומרה בסיס

כפי שניתן לראות בניסוח הנ"ל, החומרה מצוינת כ-AH כאשר A מייצג אטום או קבוצת אטומים כליהם הקשרים לאטום מיון. במהלך התגובה הקשר בין A ל-H ניתק תוך חלקה לא שווה של אלקטרוני הקשר, ואטום המיין משתחרר כיוון מימן, זאת אומרת, פרוטון. עוד ניתן לראות בניסוח הנ"ל, שנוסחת הבסיס מצוינת באופן פשוטי כ-B; כאשר המאפיין היחיד שלו הוא הימצאותו של זוג אלקטרוניים לא קושר. זוג אלקטרוניים זה מהוות תשתית לחבר שעתיד להיעזר בין הבסיס לבין הפרוטון העובר ללא אלקטרוניים.

## אכראי אקס...



1) איזה מבין הצורונים הבאים לא יכול להיחשב כצורון של חומרה על פי הגדרת ברוננסטד-לאורי?

- (א) HCl      (ב)  $\text{H}_2\text{O}$       (ג)  $\text{O}_3^+$       (ד)  $\text{NH}_4^+$       (ה)  $\text{BF}_3$

2) איזה מבין הצורונים הבאים לא יכול להיחשב כצורון של בסיס על פי הגדרת ברוננסטד-לאורי?

- (א)  $\text{CO}_3^{2-}$       (ב)  $\text{CH}_4$       (ג)  $\text{OH}^-$       (ד)  $\text{O}_2$       (ה)  $\text{NH}_3$

הזכירנו קודם את תפקידו הפעיל של הבסיס במשיכת הפרוטון אליו, משיכה זו תתקיים באופן טבעי, אם צורוני הבסיס יהיו בעלי מטען שלילי (מטען ממש או מטען חלק). על מאפיין זה של הבסיס ניתן יהיה לעמוד ביתר פירוט בדוגמאות המופיעות בהמשך.

### בסיס וחומרה צמודים

עד כאן התייחסנו רק לאגן אחד בניסוח הכללי של תגובה בסיס-חומרה – אגן המגיבים. התבוננות באגן התוצרים של אותו ניסוח חשפת משמעות חדשה בתפישת ברוננסטד-לאורי לגבי תגובה בסיס-חומרה והיא: **בתגובה בין בסיס לחומרה נוצרים חומרה ובסיס אחרים**. כיצד זה קורה? נזקוק אחר מהלך התגובה וכן נוכל להבין את תוצואתה. כאשר צורון של בסיס B: קולט פרוטון, הוא הופך לצורון מטיפוס  $\text{BH}^+$ . צורון זה מתאים לאפיון של חומרה. במקביל, כאשר צורון של חומרה AH מאבד פרוטון, הוא הופך לצורון  $\text{A}^-$ ; המתאים לאפיון של בסיס (דוגמאות לכך מופיעות בעמודים הבאים). מכאן יוצא, שבמיצגת התגובה מצויים בפועל שני צמודים של בסיס וחומרה. הצמד הראשון כולל את הבסיס "המקור" ואת מה שנוצר ממנו לאחר שקלט פרוטון, שכינויו "**החומרה הצמודה של הבסיס**". הצמד השני כולל את החומרה "המקורית" ואת מה שנוצר ממנו לאחר שאיבדה פרוטון שכינויו "**הבסיס הצמוד**" של החומרה.

נכתוב שנית את הניסוח הכללי של תגובה בסיס-חומצה, תוך ציון הצדדים הנ"ל:

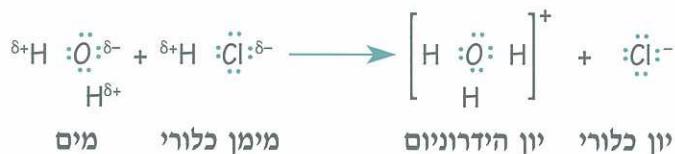


### דוגמאות לתגובה בסיס-חומצה

כדי להבין טוב יותר את הגדרות ברונסטד-לאורי לבסיסים ולחומצות נבחן כמה דוגמאות של תגובה בסיס-חומצה.

#### דוגמה ראשונה: תגובה בין מימן כלורי גז לבין מים

כאשר מבעבאים גז מימן כלורי לתוך כלי עם מים, הגז מתמוסס במים ומתקבלת תמיisha המוליכה לשמל. המשקנה המתבקש היא זאת: בתמיisha נוכחים יוניים. מי הם היוניים? כיצד הם נוצרו? התשובה לשאלות אלה מתחברת כאשר מנתחים את נוסחאות המבנה של מולקולות החומרים שהגיבו:



אטום החמצן שבמולקולת המים הוא בעל מטען חלקי שלילי ושני זוגות אלקטرونים לא קשורים. אטום החמצן מושך אליו את אטום המימן בעל המטען החלקי החיוויי שבמולקולה הקוטבית של מימן כלורי. כתוצאה ממשיכה זו אטום המימן מתרחק מתרחק מclcורו שהוא קשור אליו ומתקרב אל אחד מזוגות האלקטרונים הלא קשורים של החמצן. לבסוף, אטום המימן עובר כיוון מימן ונקשר אל מולקולת המים, ומותיר אחריו יון שלילי של כלור.

להלן ניסוח התהיליך לגבי צורונים רבים:



כפי שניתן לראות, ניסוח התהיליך מתאים לניסוח הכללי של תגובה בסיס-חומצה שהוא:



על פי הגדרת ברונסטד-לאורי, בתגובה בין מימן כלורי לבין מים פועלו מולקולות המים כבסיס – הן קלטו פרוטונים, ואילו מולקולות המימן הכלורי פועלו כחומצה – הן איבדו פרוטונים. בתגובה נוצרו יוני הידרוניים, שהם החומצה הצמודה של המים, יוני כלור, שהם הבסיס הצמוד של החומצה המימן כלורי.

#### שימוש לבן

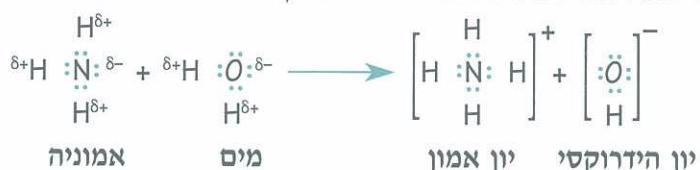
התמוססות הגז מימן כלורי במים שונה מהתהיליך התמוססות של חומרים יוניים ומולקולרים שלמדנו עליהם בפרק "מים". למדנו שהומרים יוניים מתמוססים במים עקב היופצות משיכת חשמלית בין הIONS לבין החלקיקים המנוגדים



במולקולות המים. כמו כן למיננו שחומרים מולקולריים מותמוססים במים, אם ביכלתם ליצור קשרי מימן עם מולקולות המים. הפעם תהליך ההתחמיסות מורכב יותר והוא כולל תגובה בסיס-חומצה בין המים למינן לכלי שבמהלכה נוצרים יוניים ועם מולקולות המים יוצרות קשרים דומים לקשרים הנוצרים בהמסת חומרים יוניים.

### דוגמה שנייה: תגובה בין אמוניית גזית לבין מים

כאשר מביעבים א אמונייה לתוך כלי המכיל מים, הגז מותמוסס במים ומתקבלת תמיישה המוליכה השם. ושוב המשקנה המתבקשת היא שהחומרים הגיעו ביניהם תוך יצירת יוניים. כדי לעמוד על טיבם של היוניים שנוצרו בתגובה זו, נשמש בשיטה שבה נקבעו במקרה הקודם, זאת אומרת: ננחת את נוסחאות המבנה של מולקולות החומרים שהגיבו.



אטום החנקן שבמולקולת האמונייה הוא בעל מטען חלקית שלילי ואוג אלקטرونים לא קשור. אטום החנקן מושך אליו את אחד מאטומי המימן של מולקולת המים הקוטבית. אטום המימן שבמולקולת המים הוא, כידוע, בעל מטען חלקית חיובי. כתוצאה ממשיכה זו אטום המימן מתרחק מאטום החנקן שהוא קשור אליו ומתקרב אל זוג האלקטרונים הלא קשור של אטום החנקן. לבסוף, אטום המימן עובר כיוון מימן ונקשר אל מולקולת האמונייה ומותר אחוריו יון הידרוקסי. להלן ניסוח התהליך לגבי צורנים רבים:



על פי הגדרת ברונסטד-לאורי, מולקולות האמונייה פועלו כבסיס – הן קלטו פרוטונים, ואילו מולקולות המים פועלו כחומצה – הן איבדו פרוטונים. בתגובה נוצרו יוני אמוני, שם החומצה הצמודה של אמונייה, ויוני הידרוקסי, שם הבסיס הצמוד של מים.

### שימוש לו!

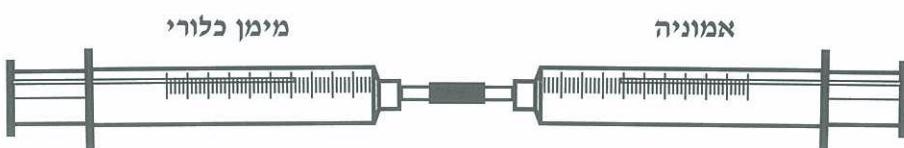
גם התחמיסות הגז אמונייה במים כוללת תגובה בסיס-חומצה בין המים לאמונייה וייצור יוניים שМОולקולות המים יוצרות עם קשרים. אך כפי שנראה בהמשך, התגובה בין המים לאמונייה היא תגובה שאינה מתרחשת עד תום. לכן במערכת מצויות גם מולקולות אמונייה שיוצרות קשרי מימן עם מולקולות המים.



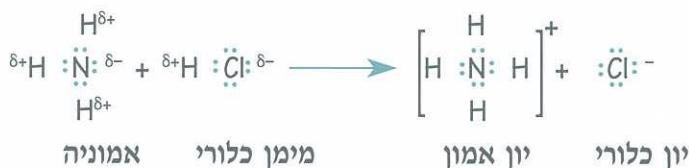
### דוגמה שלישית: תגובה בין הגזים אמונייה ומימן כלורי

מושגת מערכת המורכבת משני מזרקים, אחד מכיל גז אמונייה והשני – גז מימן כלורי, כפי שמתואר באирור הבא. כאשר פותחים את הסגר שבין שני המזרקים, דוחפים את הבוכנות

ומאפשרים לשני הגזים להתערבב זה בזה, נפח הגזים שבמערכת יורד ירידת ניכרת ובצינור המחבר את שני המזרקים מופיע מוצק לבן.



מה התרחש כאן? מהו המוצק שנוצר? כריגל, אנו מתחפשים תשובה לשאלות באמצעות אמצעות ניתוח נוסחאות המבנה של החומרים שהגיבו ביניהם.



אטום החנקן שב מולקולת האمونיה הוא בעל מטען חלקי שלילי וזוג אלקטرونים לא קשור. אטום החנקן מושך אליו את אטום המימן בעל המטען החלקי החיבובי שב מולקולת הקוטבית של מימן כלורי. כתוצאה ממשיכה זו, אטום המימן מתרחק מאטום ה כלור שהוא קשור אליו ומתקרב אל זוג האלקטרונים הלא קשור של אטום החנקן. לבסוף, אטום המימן עובר כיוון מימן ונקשר אל מולקולת האمونיה ומוציא אחריו יון כלור.

להלן ניסוח התהליך לגבי צורונים רבים:



בתגובה זו מולקולות האamonיה פועלו כבסיס ומולקולות המימן ה כלורי פועלו כחומצה, והמוצק הלבן שהתקבל הוא התרכובות היוניתית אмонium כלורי התגבשה מיוניון אמוניון שם החומצה הצמודה של אamonיה וינוי כלור שם הבסיס הצמוד של החומצה המימן כלוריות.



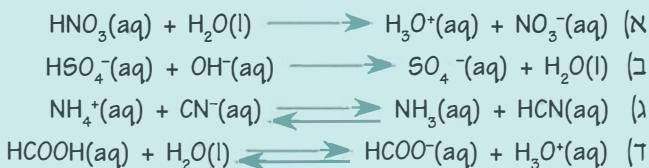
ענן לבן של  $\text{NH}_4\text{Cl}$  נוצר גם כאשר בקבוקים (לא אטומים) המכילים תמייסות מרוכזות של  $\text{NH}_3(aq)$  ו-  $\text{HCl}(aq)$  עומדים זה לצד זה.

בדיקה חוארת של שלוש הדוגמאות שניתחנו מראה שתגובה בסיס-חומצה, על פי ברונסטד-לאורי, מתיחסת להעברת פרוטון בכל מצב צבירה שהוא. אין היא מוגבלת לתגובה המתרחשת בתמייהה מיונית. למעשה של דבר, תגובה זו אינה מוגבלת לתמייסות דזוקא. הגדרת ברונסטד-לאורי מותאמת גם לתגובה המתרחשת, כמו בדוגמיה השלישית שלנו, במצב הגז.

## אכטואקס...



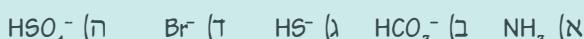
- 1) סמןו בכל אחד מהנוסחים הבאים את הבסיס והחומרה הצמוד באגף המגיבים ואת החומרה הצמודה והבסיס הצמוד באגף התוצרים:



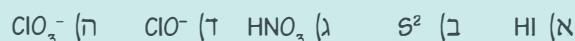
- 2) כתבו את הנוסחה של הבסיס הצמוד לכל אחת מהחומרות הבאות:



- 3) כתבו את הנוסחה של החומרה הצמודה לכל אחד מהבסיסים הבאים:



- 4) כתבו את הנוסחה של "בן הזוג" הצמוד של הבסיס או של החומרה הבאים:



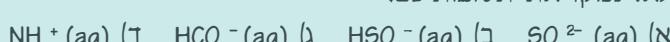
## חומראים אמפיקטרוטיים

התבוננות בשלוש הדוגמאות שניתנו להביאו אותנו למסקנה הבאה: **המושגים בסיס וחומרה אינם מושגים מוחלטים, אלא מושגים יחסיים.** ישנים חומראים שתפקידו במרקם מסוימים כבסיסים, ובמרקם אחרים – כחומר שאותו הם מגיבים. מולקולות המים פועלו כבסיס בדוגמה הראשונה (כלפי מולקולות המימן הכהורי) ואילו בדוגמה השנייה, מולקולות המים פועלו כחומרה (כלפי מולקולות האמונייה). חומראים, כמו המים, יכולים לתקן הן כבסיסים והן כחומרות מכונים **חומראים אמפיקטרוטיים**.

## אכטואקס...



- 1) אילו מהיונים הבאים מייצגים חומראים היכולים להיחשב לאמפיקטרוטיים ואילו לא? נמקו את תשובותיכם.



- 2) יוני  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  מייצגים חומר אמפיקטרוטי.

א) רשמו את ניסוח התחליך בו יוני  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  מתפרקדים כבסיס ב- $\text{H}_2\text{O}$ .

ב) רשמו את ניסוח התחליך בו יוני  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  מתפרקדים כחומרה ב- $\text{H}_2\text{O}$ .

ג) מהי החומרה הצמודה של  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}(\text{aq})$  ומהו הבסיס הצמוד שלו?

3) בתגובה בין נתרן הידריד לבין מים שניסוחה נטו (ללא היונים המשקיפים) הוא:



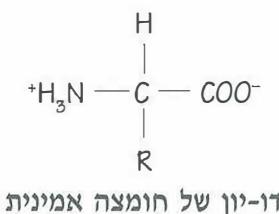
האם מולקולות המים פועלו כבסיס או כחומר חם? הסבירו את תשובתכם.

### ה貌י האמפיקרטוי של החומצות האמיניות

חומצות אמיניות הן אבני הבניין של חלבונים. על אף שבטע קיימות חומצות אמיניות רבות, כל החלבונים בטבע, מלבד ההיידרים הקזומיים ביוור ועד אלו של האדם, מורכבים מאותן עשרים חומצות אמיניות. לכל החומצות האמיניות מבנה משותף. ככל קבוצה אמינית, קבוצה קרבוקסילית ואטום הקשורים לאטום הפחמן המרכזי. החומצות האמיניות נבדלות זו מזו בקבוצה הצדדית שלהן, שנוהג לסמן אותה באות R, הקשורה אף היא לאטום הפחמן המרכזי.



מאחר שהחומצות האמיניות כוללות גם קבוצה קרבוקסילית שהיא קבוצה חומזית וגם קבוצה אמינית שהיא קבוצה בסיסית, החומצות האמיניות הן בעלות אופי אמפיקרטוי. נسألת השאלה האם מתקיימת תגובה בסיס-חומר חומצת בין הקבוצות האמיניות לקבוצות הקרבוקסיליות והתשובה – תגובה כאו אכן מתרכשת. הקבוצה האמינית,  $\text{H}_2\text{N}^+$ , מתפרקת כחומר חומצת ומאבdet פרוטון. כתוצאה לכך משתנה המבנה של החומצה האמינית לצורה של דו-יון.



משמעות ציון, שגם בצורה הדו-יון החומצה האמינית לא איבדה את אופיה האמפיקרטוי, אלא שהפעם הקבוצה  $\text{H}_3\text{N}^+$  – שהיא למעשה החומצה הצמודה של הבסיס האמינאי, מתפרקת לחומצת, ואילו הקבוצה  $\text{COO}^-$  – שהיא הבסיס הצמוד של החומצה הקרבוקסילית, מתפרקת כבסיס.

לעדי...

שתי תוכנות של החומצות האמיניות מעידות על האופי הדו-יוני שלهن: האחת – המיסיות של חומצות אמיניות במים ובממסים קוטביים אחרים גבוהה יותר מסיסותן בממסים לא קוטביים. המיסיות הגדולה במים ובממסים קוטביים אחרים מושברת על ידי קיום כוחות משיכה חשמליים בין הקבוצות הטעניות בחומצה האמינית, הנמצאת בתמייה בצורה המיננט, לבין הקטבים של מולקולות הממס. מסיות זו גבוהה מהמיסיות הצפוייה, אילו הכוחות הבין מולקולריים בין החומצות האמיניות לבין מולקולות המים היו קשיים מימן בלבד, כמו אלה המתאפשרים, כאשר החומצה האמינית נמצאת בצורה הלא מיננטה. התוכנה השנייה – נקודות ההיתוך של החומצות האמיניות גבוהות הרבה יותר מנקודות ההיתוך של תרכובות פחמן אחרות בעלות מסה מולרית דומה, שפועלים בינהן רק כוחות בין מולקולריים (סוג קשי ו-דר-ולס וקשי מימן). למשל: חומצה פרופאנואית,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ , (מסה מולרית 74 ג'/מול) היא נזול בטemptורת החדר. לעומת זאת חומצה האמינית פשוטה ביותר, גליקין, שהקבוצה הצדדית שלה היא מימן (בעל מסה מולרית של 57 ג'/מול) היא מזעק הניתך רק ב- $-25^{\circ}\text{C}$ !<sup>28</sup> את נקודות ההיתוך הגבוהות של החומצות האמיניות ניתן להסביר בקיים כוחות משיכה חשמליים בין המטען המנוגדים של הקבוצות האמיניות לקרבוקסיליות במולקולות שכנות של חומצות אמיניות. קשיים אלו מזיכרים את הקשרים המחזיקים גביש של  $\text{NaCl}$ . אילו החומצות האמיניות היו מתגשות בצורה הלא מיננטה, היו צפויות נקודות ההיתוך רבות יותר.

### בסיסים וחומצות רב-פרוטיים

הגדרנו בסיס כחומר המסוגל לקלוט פרוטון והגדרנו חומצה כחומר המסוגל לאבד פרוטון. מתרבר שישנים בסיסים המסוגלים לקלוט יותר מפרוטון אחד. למשל: הבסיס סיידן הידרוקסידי,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , מסוגל לקלוט שני פרוטונים. בדומה לכך ישנן גם חומצות המסוגלות לאבד יותר מפרוטון אחד, למשל: החומצה הגפרטיטית,  $\text{H}_2\text{SiO}_4$ , מסוגלת לאבד שני פרוטונים, ואילו החומצה האורחותית,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , מסוגלת בתנאים המתאימים לאבד שלושה פרוטונים. בסיסים וחומצות כאלה מכונים **בסיסים וחומצות רב-פרוטיים**.

*אכלי לך...*



1) איזה מבין הצורונים הבאים מייצג חומר היכל להיחשב לחומצה רב-פרוטיטית?

A)  $\text{H}_2\text{CO}_3$  B)  $\text{HCO}_3^-$  C)  $\text{HCN}$  D)  $\text{HOCl}$  H)  $\text{H}_2\text{CO}_3^-$

2) איזה מבין הצורונים הבאים מייצג חומר היכל להיחשב לבסיס רב-פרוטיטי?

A)  $\text{NH}_3$  B)  $\text{HCO}_3^-$  C)  $\text{KOH}$  D)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  H)  $\text{LiOH}$

## תמייסות מימיות של בסיסים וחומצות



למדנו שתגובה בסיס-חומרה על פי תפישת ברונסטד-לאורי היא תגובה שבה מתרחשת העברת פרוטון מהומר המשמש כחומר החומרה בבסיס. העברת הפרוטון יכולה להתרחש בכל מצב צבירה שהוא, ואין היא מוגבלת לתגובות המתרחשות בתמייהה בכלל ובתמייהה מימית בפרט. למרות זאת, לאחר שהתגובה הכימיות ביצורים חיים מתרחשות בתמייהה מימית, יש לנו עניין מיוחד ביחס תפישת ברונסטד-לאורי לגבי תגובה בסיס-חומרה לתגובות המתרחשות בסביבה מימית.

### 2א. תגובה בסיס-חומרה בתמייהה מימית

כשבסיסים בסיס כלשהו: B במים, מתרחשת תגובה שבמהלכה עובר פרוטון מהמים אל הבסיס. ניסוח התהליך נראה כך:



צורוני הבסיס שקלטו פרוטונים הפכו ליוני  $(\text{aq})^+\text{BH}$ , ואילו מולקולות המים שאייבדו פרוטונים הפכו ליוני הידרוקסי,  $(\text{aq})^-\text{OH}$ . כפי שניתן לראות, במקרה זה המים **תפקדו כחומרה**. אם לוקחים מגוון של בסיסים וממיסים אותם במים, מקבלים מגוון של יוניים מהטיפוס  $\text{BH}^+$  מלווה תמיד באותם יוני הידרוקסי, שהם הבסיס הצמוד של מים.

לעומת זאת, כשהבסיסים חומרה כלשיי HA במים, שב מתרחשת תגובה, אלא **שהפעם המים מתפקדים כבסיס**. פרוטון עובר מהחומרה אל המים. הניסוח של תהליך זה נראה כך:



צורוני החומרה שאייבדו פרוטונים הפכו ליוני  $(\text{aq})^-\text{A}$ , ואילו מולקולות המים שקלטו פרוטונים הפכו ליוני הידרוניום,  $(\text{aq})^+\text{H}_3\text{O}$ . אם לוקחים מגוון של חומרות וממיסים אותן במים, מקבלים מגוון של יוניים מהטיפוס  $\text{A}^-$  מלווה תמיד באותם יוני הידרוניום, שהם החומרה הצמודה של מים.

אם כך, ניתן לאפיין **תמייסות מימיות של בסיסים וחותמצות** באופן הבא:

תמייסה מימית בסיסית היא תמייסה המכילה יוני הידרוקסי,  $(\text{aq})^-\text{OH}$   
תמייסה מימית חומצית היא תמייסה המכילה יוני הידרוניום,  $(\text{aq})^+\text{H}_3\text{O}$

## פעריות מס' 2: מוליכות חשמלית של תמייסות מימיות של בסיסים וחומצות



**המטרה:** בניסוי זה תשוו את מידת המוליכות החשמלית של תמייסות מימיות של בסיסים שונים, על פי עוצמת האור המתקבלת במד-מוליכות.

### חומרים:

- ✓ 80 מ"ל תמייסת נתרן הידרוקסידי 1M  $\text{NaOH(aq)}$
- ✓ 5 כוסות כימיות של 100 מ"ל  $\text{NH}_3(\text{aq})$  1M
- ✓ בקבוק שטיפה שבתוכו מים מזוקקים  $\text{NaHCO}_3(\text{aq})$  1M
- ✓ 80 מ"ל תמייסת נתרן מימן פחמתי 1M  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$

### ועכשו ל עבודה:

- 1) רשמו על ארבע כוסות את שמות החומרים הנבדקים ושמרו כוס אחת לביקורת.
- 2) מלאו את הכוסות בחומרים בהתאם.
- 3) بما לדעתכם צריך למלא את כוס הביקורת? מלאו אותה.
- 4) טבלו את האלקטרודות של מד-המוליכות באחת התמייסות ורשמו את תצפיהם.
- 5) שטפו היטב את האלקטרודות במים מזוקקים.
- 6) חזרו על סעיפים 4 ו-5 עם שאר התמייסות.

### لسיכום:

- 1) רכזו את תוצאתיכם בטבלה.
- 2) הציעו דרך לוודא שהחומרים שבדקתם בניסוי אכן היו בסיסים.
- 3) מהי תכולת כוס הביקורת? מדוע יש צורך בכוס ביקורת?
- 4) רשמו את הבסיסים לפי סדר יורד של מוליכות חשמלית.
- 5) מה ניתן להסיק מהשוני במוליכות החשמלית של התמייסות המימיות של הבסיסים שבדקתם?
- 6) האם ניתן להשתמש במד מוליכות גס לדירוג מוליכות חשמלית של חומצות? אם לא – הסבירו מדוע, ואם כן – תכננו וביצעו ניסוי מתאים לדירוג החומצות הבאות: חומצה מימן כלורית  $\text{HClO}_4$ , חומצת לימון  $\text{H}_3\text{O}_7\text{O}_7$ , חומצה אסקורבית  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  (ויטמין C).

### אלקטרוליטים חזקים וחלשים

בפעריות מס' 2 ראיינו שככל התמייסות המימיות של הבסיסים וחומצות שנבדקו הוליכו חשמל, אך לא באותה מידת. חלק מהתמייסות הוליכו היטב חשמל וגרמו לנורה לדלوك באור בהיר. חלק אחר של התמייסות הוליכו חשמל רק במידה מועטה, ולכן הן גרמו לנורה לדלוק באור צהבהב חלש. העובדה שהתמייסות הוליכו חשמל מצביעה על נוכחותם של יונים בכל התמייסות שנבדקו.

השני ב מידת המוליכות מלמד על הבדלים בריצויים של יוניים אלו. בתמיסות שהוליכו חשמל היטב (אלקטROLיטים חזקים) יש ריכוז גבוה יחסית של יוניים, ובתמיסות שלא הוליכו חשמל היטב (אלקטROLיטים חלשים) יש ריכוז נמוך יחסית של יוניים.

מאחר שראש נלקחו תמייסות שוות ריכוז של בסיסים וחומצות, התוצאה מלמדת על שוני שנוצר במהלך התגובה בין הבסיסים והחומצות למים. במקרים אחרים, לאחר שהבסיסים השונים הומסו במים, נתגלה הבדל בכושר של הבסיסים לקלוט פרוטוניים מ מולקולות המים ולהפוך ליוני ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}_3\text{O}$ . באופן דומה, לאחר שהחומצות השונות הומסו במים, נתגלה הבדל בכושר של החומצות לאבד פרוטוניים למולקולות מים ולהפוך ליוני ( $\text{aq}^-$ ) $\text{H}_3\text{O}$ . לדוגמה, תמייסת נתרן הידרוקסידי, ( $\text{aq}^-$ ) $\text{NaOH}$ , ותמייסת החומצה המימן קלורייט, ( $\text{aq}^-$ ) $\text{HCl}$ , הוליכו חשמל היטב. מכאן ניתן להסיק שכאשר המיסו אותם במים, כל אחד מהם התפרק/הפק ליוניים בשלמות (או כמעט בשלמות). לעומת זאת, תמייסת אמונייה, ( $\text{aq}^-$ ) $\text{NH}_3$ , ותמייסת חומצה אסקורבית (ויטמין C), הוליכו חשמל רק במידה מועטה. מכאן ניתן להסיק שכאשר המיסו אותו במים, כל אחת מהן הפכה ליוניים רק באופן חלקי. גם בתמייסת האמונייה וגם בתמייסת החומצה האסקורבית רוב המולקולות נשארו בצורן המולקולרי שאינה תורמת, כמובן, למוליכות החשמלית של התמייסה.

## ב. חוזק של בסיסים וחומצות

אנו יכולים, אם כך, לסווג בסיסים כחזקים או כחלשים וכן לחזקות כחזקות או כחלשות, על פי מידת תגובתם עם מים לצירת היוניים המתאיםים. בסיסים חזקים הם אלו שמגיבים עם מים בשלמות (או כמעט בשלמות) לצירת ריכוז גבוה יחסית של יוני הידרוקסידי, ( $\text{aq}^-$ ) $\text{H}_3\text{O}$  (ובמקביל ריכוז נמוך יחסית של יוני ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}$ ). דוגמה לבסיס חזק הוא נתרן הידרוקסידי. בסיסים חלשים הם אלו שמגיבים עם מים רק במידה מועטה לצירת ריכוז נמוך יחסית של יוני הידרוקסידי, ( $\text{aq}^-$ ) $\text{H}_3\text{O}$  (ובמקביל ריכוז נמוך יחסית של יוני ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}$ ). דוגמה לבסיס חלש היא האמונייה.

בדומה לכך גם החומצות מסווגות כחזקות או כחלשות. חומצות חזקות הן אלה שмагיבות עם מים בשלמות (או כמעט בשלמות) לצירת ריכוז גבוה יחסית של יוני הידרוניום, ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}_3\text{O}^+$  (ובמקביל ריכוז גובה יחסית של יוני ( $\text{aq}^-$ ) $\text{A}$ ). דוגמה לחומרה חזקה היא החומצה המימן קלורייט. חומצות חלשות הן אלה שmagיבות עם מים רק במידה מועטה ויצירות ריכוז נמוך יחסית של יוני הידרוניום, ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}_3\text{O}^+$  (ובמקביל ריכוז נמוך יחסית של יוני ( $\text{aq}^-$ ) $\text{A}$ ). חומצה אסקורבית היא דוגמה לחומרה חלה.

כאן המקום לציין, שהשווואה יותר מדויקת מבחינה כמותנית של חוזק חומצות ובסיסים נעשית באמצעות מדידת ריכוז יוני ( $\text{aq}^+$ ) $\text{H}_3\text{O}^+$ , ותרגומים לסלולם ערכיהם הנקרא "טולם H $\ddot{\text{K}}$ ". על כך נלמד בקורס בהמשך.

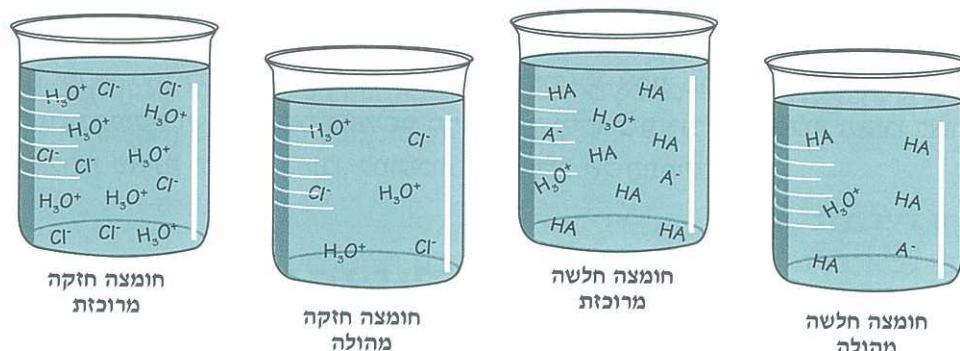
רכזין פלא...  
...פלא רצין

חזרו לתוצאות פעילות מס' 2 ודרגו את כל הבסיסים והחומצות שבדקתם על פי חואם.



שימו לב!

חשוב להבחין בין בסיס מרווח לבסיס חזק. ריכוז מתויחס לכמות הבסיס במלולים בנפח נתון של תמיישה. חזוק מתויחס לכושר לקלוט פרוטונים ממים. בסיס חזק, כמו נתון הידרוקסידי או בריום חמצני, יכול להיות מרווח (לדוגמא, ברכיז W2) או מהול (לדוגמא, ברכיז W01). בכלל מקרה, הבסיס יהיה מיון בשלמות או כמעט בשלמות, ולכן הוא בסיס חזק. ההבחנה בין חומצה מרווחה לחומצה חזקה דומה להבחנה בין בסיס מרווח לבסיס חזק. כמות המומצת לעומת בשורה לאבד פרוטונים לממים.



הערה: האירועים מועדים להמחשה בלבד ואין לראות בהם תיאור כמותי מדויק.

## הבחנה בין חזק לריכוז פעילות מס' 3:



**המטרה:** בניסוי זה תבדקו כיצד משפייע שינוי ריכוז החומצה על תוכנותיה. הבדיקה מיעשה על חומצת חזה – חומצה מימן כלורית, והו על חומצת חלה – חומצת חומץ.

חומריהם:

- 50 מ"ל תמיסת חומצה מיימן כלורית 2M ✓  
 50 מ"ל תמיסת חומצה מיימן כלורית 1M ✓  
 50 מ"ל תמיסת חומצה מיימן כלורית 0.1M ✓  
 50 מ"ל תמיסת חומצת חומץ 2M ✓  
 50 מ"ל תמיסת חומצת חומץ 1M ✓  
 50 מ"ל תמיסת חומצת חומץ 0.1M ✓  
 6 סרטי מגניזום באורך שווה ✓

רליה:

- ✓ 6 כוסות כימיות של 100 מ"ל
  - ✓ מקל זכוכית
  - ✓ בקבוק שטיפה שבתווך מים מים
  - ✓ נייר HK
  - ✓ מד-מוליכות
  - ✓ שעון עץ

**ועבשו לעובדה:**

- 1) סדרו 6 כוסות כימיות על נייר לבן בשתי שורות. רשמו על הנייר ליד כל כוס את שם החומצה ואת ריכוזה.
- 2) מזוgo לכל כוס 50 מ"ל מהתמיסה המתאימה.
- 3) קבעו את ה-ה-ה-ק של כל תמיisha: טבלו מילק זוכנית נקי בתמיסה והרטיבו בערתו נייר אק, השוו את הצבע המתתקבל לטולם של האינדיktור. רשמו את הערכים שהתקבלו בטבלת התוצאות. זכרו לשטוף את מילק הזוכנית בין בדיקה לבדיקה.
- 4) בדקו בעורת מד-مولיכות את מידת המוליכות של שש התמיסות הנ"ל. רשמו את התוצאות בטבלת התוצאות. הקפידו לשטוף את האלקטרודות במים מזוקקים בין בדיקה לבדיקה.
- 5) הכניסו לכל אחת מהכוסות סרט מגנזיום ומדדו את משך הזמן החולף עד להיעלמותו.

**لسיכום:**

- 1) תארו את השפעת ריכוז החומצה על: א. ערכיה-ה-ה-ק  
ב. מידת המוליכות החשמלית  
ג. קצב התגובה עם המגנזיום
- 2) הסבירו את התוצאות שתיארתם בסעיפים ב'-ג' במנוחים של ריכוז יוני הhidronium בתמיסה.  


## **2ג. שיווי-משקל בתמיסות מימיות של בסיסים וחומצות חלשים**

כשהגדכנו תגובת בסיס-חומצה על פי תפישת ברונסטד-לאורי, אמרנו שבתגובה בין בסיס לחומצה נוצרים חומצה ובסיס אחרים. קרנו להם חומצה ובסיס "צמודים". עתה, כשאנו עוסקים בתגובה בסיס-חומצה המתרחשת בתמיסה מימית, אנו יכולים לראות שאלה מתכונת חזרת על עצמה: הבסיס וחומצת מגיבים ביניהם ויוצרים את החומצה והבסיס הצמודים. כאן עשוות להתעורר כמה שאלות: האם החומצה והבסיס הצמודים שנוצרו מגיבים ביניהם ויוצרים שוב את הבסיס וחומצת ה"מקוריים"? האם קיבל מערכת שנעה הלו ושוב בין התגובה היישירה שנוטנת תוצרים בין התגובה ההופוכה המשוחררת את המגיבים? האם יושג, בסופה של דבר, שיווי-משקל בין שני התהליכים הפוכים? התשובה לכל השאלות הללו היא במרקם רבים חיובית, אך היא דורשת לימוד מפורט יותר ובכך נעסק בקטע שלפנינו.

מאחר שמעורכת התגובה היא בעצם תערובת של שני בסיסים ושתי חומצות, ניתן להתייחס לתגובה בכללותה כאל תחרות בין שני הבסיסים על קליטת פרוטונים, או כאל תחרות בין שתי החומצות על איבוד פרוטונים. כמו בכל תחרות, סביר להניח שיהיה "מנצח" ויהיה "פסיד". אנו כבר יודעים, שבבסיסים נבדלים זה מזו בקשרם לקלוט פרוטונים, וחומצות נבדלות זו מזו בקשרן לאבד פרוטונים. אם כן, נוכל להגעת למסקנה ההגונית שההתוצאה של "התחרות" בין שני הבסיסים ובין שתי החומצות תהיה תליה בחזק היחסי שלהם.

### ניתוח המיצבים האפשריים:

#### בסיסים חזקים

כשבางם המגיבים מופיע בסיס חזק כמו בריום חמצני,  $\text{BaO}$ , התגובה הישירה מתרכשת למשהו בשלהות. היונים החמצניים קולטים פרוטונים ממולקולות המים לצירת יוני  $\text{OH}^-$ . התהליך ההפוך שבו יוני  $\text{OH}^-$  קולטים פרוטונים ושבים והופכים למולקולות מים אינו מתרכש מעשייה. כתוצאה לכך הריכוז של היונים החמצניים בתמיסה שווה לאפס. מכאן, שהבסיס הצמוד "הפסיד" בתחרות. במצב של שווי-משקל המערכת נוטה למגריי "לטובת התוצרים", ובניסוח התהליך יופיע רק חז אחד, החז של התגובה הישירה.



*אכליים...*



- 1) צירו נסחאות יציג אלקטרוניות של כל הצורוניות המשתתפים בתהליך הנ"ל.
- 2) הסבירו מדוע במקרה זה מכל יון חמצני מתקבלים שני יוני הידרוקסי בוגיגוד לניסוח הכללי של תגובה בסיס במים שבה מתקבל יון הידרוקסי אחד בלבד.
- 3) מהי החומרה הצמודה ומהו הבסיס הצמוד בתגובה זו?

בטבלה הבאה מוצגים הבסיסים חזקים ביותר:

#### טבלה גו. "מקום בצלמת" – הבסיסים חזקים ביותר (במימן)

סוג הבסיס	דוגמאות
תחומוצת מתכתית	$\text{BaO}, \text{CaO}, \text{Na}_2\text{O}$
הידרוקסיד מתכתי	$\text{NaOH}, \text{KOH}, \text{Ba}(\text{OH})_2$
אמיד מתכתי	$\text{KNH}_2, \text{Ca}(\text{NH}_2)_2$
ניטריד מתכתי	$\text{Na}_3\text{N}$
הידריד מתכתי	$\text{NaH}, \text{CaH}_2$

כפי שנitin לראות, בטבלה מוצגים סוגים שונים של בסיסים חזקים. הסוג הראשון הוא תחומוצות מתכתיות. המכנה המשותף של כל התרכובות השיעיות לסוג זה הוא שבכלן מצוי היון החמצני  $\text{O}^{2-}$ , שהוא הצורן הפעיל בתגובה בסיס-חומרה. הסוג השני הוא הידרוקסידים מתכתיים שבכלם מצוי היון  $\text{OH}^-$  שהוא הצורן הפעיל. הסוג השלישי – אמידים מתכתיים שבהם מצוי האניאון  $\text{NH}_2^-$  , הסוג הרביעי – ניטרידים מתכתיים שבהם מצוי האניאון  $\text{N}^-$ , והסוג החמישי – הידרידים מתכתיים שבהם מצוי האניאון  $\text{H}^-$ . כל האניאונים שהוזכרו מושכים בחזקה פרוטונים, ולכן תרכובות שבחן מצויים אניאונים אלה נחבות לבסיסים חזקים.

על פי רוב זהות הקטיון המתכתי אינה חשובה, משום שהקטיון אינו הczרין הפעיל בתגובה בסיס-חומרה. יוצאים מן הכלל תחומיות והידרוקסידים מתכתיים שהם חומרים קשי תמס כמו  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe(OH)}_3$  ו- $\text{Mg(OH)}_2$ . תרכובות אלו לא יכולות להיחשב לבסיסים חזקים במים, כי בתמיסותיהם המימיות מוצאים ריכוזים נמוכים של  $\text{-OH}$ . במקרים אלו הקטיונים השפיעו על אופיו של החומר, וכן יש להתחשב בהם.

### בסיסים חלשים

מרבית הבסיסים שבהם אנו נתקלים בחיי יומ-יום נחוצים לבסיסים חלשים. לדוגמה כשמימיים אמונייה במים, או כשמוסיפים למים תרכובת המכליה יוניים פחמתיים,  $\text{CO}_3^{2-}$ , התגובה הישירה מתרחשת במידה מועטה. הבסיס הצמוד שבמערכת התגובה – יוני הידרוקסי – חזק יותר מהבסיס ה"מקור", ולכן מרגע שהוא נוצר, התגובה ההופוכה מתרחשת במידה ניכרת. בתרחות בין שני הבסיסים יוני הידרוקסי "מנצחים". במצב של שווי-משקל המערכת נוטה "לטובת המגיבים". הפעם יופיע בניסוח התהיליך חז כפול המציג התרכשות שתי תגובות – הישירה וההפוכה. החץ של התגובה ההופוכה ארוך יותר והוא מבטא את הנטייה הכוללת של התהילך לכיוון המגיבים. ניסוח התהיליך לגבי אמונייה הוא:



ניסוח התהיליך לגבי הイון הפחמתי הוא:



### חומצות חזקות

כשבאಗ' המגיבים מופיעה חזקה כמו החומצה המימן כלורית,  $\text{HCl}$ , התגובה הישירה מתרחשת, למעשה, בשלמות. החומצה מאבדת פרוטונים למולקולות המים לייצור יוני ( $\text{aq}$ )  $\text{H}_3\text{O}^+$ . ריכוז החומצה הבלתי מינונת בתמיסה קרוב מאוד לאפס. במצב של שווי-משקל המערכת נוטה למגרי "לטובת התוצרים". ושוב בניסוח התהיליך יופיע רק חז אחד, החץ של התגובה הישירה:



בטבלה הבאה מוצגות החומצות החזקות ביותר:

### טבלה ג'. "מקום בצורת" – החומצות החזקות ביותר (במים)

שם החומצה	נוסחה
חומצה על כלוריתית	$\text{HClO}_4$
חומצה גפרתית (במעבר ל- $\text{HSO}_4^-$ )	$\text{H}_2\text{SO}_4$
חומצה מימן יודית	$\text{HI}$
חומצה מימן כלורית	$\text{HCl}$
חומצה מימן ברומית	$\text{HBr}$
חומצה חנקניתית	$\text{HNO}_3$

המולקולות של תרכובות אלו מאבדות פרוטונים בຄלות יחסית, וכך התרכובות הללו נחשות לחומצות חזקות.

## חומצות חלשות

כפי שראינו קודם בדיאון על הבסיסים, מתרבר שגם מרבית החומצות שבהן אנו נתקלים בחיה-יום נחשות לחומצות חלשות. לדוגמה, חומצת חומץ המצויה בחומץ וכן בין מקולקל, או החומצה האסקורבית המצויה בפירות הדר, הן חומצות חלשות. כשחומצת חומץ, למשל, מתומססת במים, התגובה הישירה מתרחשת רק במידה מועטה. החומצה הצמודה לממערכת התגובה – יוני הידרונום – חזקה יותר מהחומצה ה"מקורית". לכן מרגע שהוא נוצרה, התגובה החופוכה מתרחשת במידה ניכרת. בתחרות בין שתי החומצות יוני הידרונום "מנצחים". בכך של שיווי-משקל המערכת נוטה "לטובת המגיבים". ושוב, כמו במקרה של הבסיסים החלשים, בನיסוח התהיליך יופיע חז כפול המציג התורחותות שתי תגובה – הישירה וההופוכה. החז של התגובה ההופוכה ארוך יותר ומבטא את הנטייה הכלולת של התהיליך לכיוון המגיבים. ניסוח התהיליך לגבי חומצת חומץ (הנקראת גם חומצה אתאנואית) הוא:



*לכליים...*

נסחו את תהליך העברת הפרוטון לגבי חומצת אסקורבית שנוסחתה המולקולרית  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ . אל תשחחו לתת ביטוי לעובדה שהחומצת האסקורבית היא חומצה חלשה. כמו כן קחו בחשבון שחומצת אסקורבית היא חומצה חד-פרוטית.



### לסיכום:

ראינו שיש מספר מצומצם של בסיסים וחומצות הנחשבים חזקים במיוחד ותגובתם עם מים מתרחשת, למעשה, בנסיבות. במקרים ספורים אלה לא מתקיים שיווי-משקל במערכות התגובה. בכל שאר המקרים, והם הרוב, הבסיסים והחומצות נחسبים חלשים, ותגובתם עם מים היא תהליך הפיק. במקרים אלה מתקיים במערכות שיווי-משקל.

## קבועי שיווי-משקל של בסיסים וחומצות חלשים

כמו כל מערכת הנמצאת בשיווי-משקל, כך גם מערכת התגובה של בסיס או חומצה חלשים במים ניתנת לאפיקון על ידי **קבוע שיווי-משקל**. כפי שלמדנו, ערכו של קבוע שיווי-משקל מצביע על מידת התורחותה של התגובה הישירה, זאת אומרת על היחס בין ריכוזי התוצרים והמגיבים במערכות לשוחש שיווי-משקל.

אם נתיחס לבסיס חלש כלשהו, א; ניסוח תגובה שיווי-משקל של העברת פרוטון ממים הוא:



קבוע שיווי-משקל לתגובה זו מסומן כ- $K_b$  (א מציין בסיס) והוא מחושב על ידי הביטוי:

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+(\text{aq})][\text{OH}^-(\text{aq})]}{[\text{B(aq)}]}$$

שימו לב!

ערךו של  $[\text{OH}^-]$  בתמיסה מיונית נחשב קבוע ולכן אינו מופיע במכפלת המגיבים.



בטבלה הבאה מופיעים קבועי שיווי-המשקל של כמה בסיסים חלשים.

### טבלה ג'. קבועי בסיסים

הבסיס	$K_b$ (ב- $25^\circ\text{C}$ )
$\text{PO}_4^{3-}$	$2.3 \cdot 10^{-2}$
$\text{CO}_3^{2-}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$
$\text{NH}_3$	$1.8 \cdot 10^{-5}$
$\text{HPO}_4^{2-}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$
$\text{HCO}_3^-$	$2.2 \cdot 10^{-8}$
$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$5.6 \cdot 10^{-10}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$1.3 \cdot 10^{-12}$
$\text{SO}_4^{2-}$	$1.0 \cdot 10^{-12}$

מה ניתן למדוד מערכיו הקבועים המופיעים בטבלה?

כאשר המונה בביטוי של קבוע שיווי-משקל גדול יחסית והמכנה קטן יחסית, ערכו של הקבוע גדול. ערכו של קבוע שיווי-משקל מבטא את מידת התרחשותה של התגובה היישירה. במקרה שלנו ערכו של  $K_b$  מבטא את כושרו של הבסיס לקלוט פרוטון. אך אם נתעמק בטבלה הנ"ל, נראה שהוא מספקת לנו מידע נוסף "בין השורות". לא רק מהו החזק של כל בסיס בפני עצמו, אלא גם מהו היחס ביןו לבין שאר הבסיסים המופיעים בה. היכן? ההסבר הוא פשוט: כל הבסיסים המופיעים בטבלה הגיבו עם אותה חומצה – מולקולות מים – וגרמו לצירוף אותו בסיס צמוד – יוני הידרוקסי. נובע לכך שככל הבסיסים "התחררו" נגד אותו צמד. لكن התוצאות שהתקבלו בכל "התחרויות" – הלא הם ערכי  $K_b$  – מדרגות באופן טבעי את כל הבסיסים החלשים שהשתתפו בהן. הבסיס המופיע בראש הטבלה הוא חזק מכולם, ואילו הבסיס המופיע בתחום הטבלה הוא חלש מכולם. ובהכללה: **ככל ש- $K_b$  גדול יותר, ככלור חזקה שלילית קטנה יותר, הבסיס חזק יותר.**

עתה נعبر "לטפל" בחומצות החלשות. אם נתיחס לחומצה חלה כלשיה  $\text{HA}$ , ניסוח תגובה שיווי-משקל של העברת פרוטון למים הוא:



קבוע שיווי-משקל לתגובה זו מסומן  $\text{K}_a$  (א מציין חומצה) והוא מחושב על ידי הביטוי:

$$\text{K}_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(aq) \cdot \text{A}^-(aq)]}{[\text{HA(aq)}]}$$

**שימוש לבן!**

גם הפעם  $[(\text{H}_2\text{O})]$  אינו מופיע במכפלת המגבאים לאחר שערכו נחשב קבוע.



בטבלה הבאה מופיעים קבועי שיווי-המשקל של כמה חומצות חלשות.

#### טבלה ג'. קבועי חומצות

החומרה	$\text{K}_a$ (ב- $25^\circ\text{C}$ )
$\text{HSO}_4^-$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7.9 \cdot 10^{-3}$
$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4.5 \cdot 10^{-7}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$6.2 \cdot 10^{-8}$
$\text{NH}_4^+$	$5.6 \cdot 10^{-10}$
$\text{HCO}_3^-$	$4.8 \cdot 10^{-11}$
$\text{HPO}_4^{2-}$	$4.4 \cdot 10^{-13}$

ערכו של  $\text{K}_a$  מבטא את כושרה של החומרה לאבד פרוטון. כל החומצות המופיעות בטבלה הגיבו עם אותו בסיס – מולקולות מים – וגרמו לייצירת אותה חומרה צמודה – יוני הידרוניים. لكن ערכי  $\text{K}_a$  מודרגים את כל החומצות החלשות שהשתתפו בתגובה עם מים. החומרה המופיעה בראש הטבלה היא החזקה מכולן, ואילו החומרה המופיעה בתחתית הטבלה היא החלה מכולן. ובהכללה: ככל ש- $\text{K}_a$  גדול יותר, החומרה חזקה יותר.

...אכלי אסם

עיינו שנית בשתי הטבלאות, או של קבועי הבסיסים וזו של קבועי החומצות. התוכלו להצביע על קשר בין הבסיסים ובין החומצות המופיעים בהן? אם כן, מהו הקשר ביניהם?



מאחר שהחומצות המופיעות בטבלה השנייה הן בעצם החומצות הצמודות של הבסיסים המופיעים בטבלה הראשונה, ניתן ליצור טבלה משותפת שתכלול את שתי הקבוצות ביחד. אך לשם כך علينا לערוך שניי מסויים: להפוך את סדר הופעת החומצות שבטבלה השנייה, כך שכל חומצה תופיע באותה שורה של הבסיס המתאים לה.

התוצאה של שילוב שתי הטבלאות מופיעה בטבלה הבאה:

**טבלה ג'. קבוצי בסיסים וחומצות צמודים (ב- $25^{\circ}\text{C}$ )**

עליה בחזוק הבסיס	הבסיס	$K_b$	החומרה הצמודה	$K_a$	עליה בחזוק החומרה
	$\text{PO}_4^{3-}$	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$\text{HPO}_4^{2-}$	$4.4 \cdot 10^{-13}$	
	$\text{CO}_3^{2-}$	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$\text{HCO}_3^-$	$4.8 \cdot 10^{-11}$	
	$\text{NH}_3$	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$\text{NH}_4^+$	$5.6 \cdot 10^{-10}$	
	$\text{HPO}_4^{2-}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$6.2 \cdot 10^{-8}$	
	$\text{HCO}_3^-$	$2.2 \cdot 10^{-8}$	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4.5 \cdot 10^{-7}$	
	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$5.6 \cdot 10^{-10}$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$	
	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$1.3 \cdot 10^{-12}$	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7.9 \cdot 10^{-3}$	
	$\text{SO}_4^{2-}$	$1.0 \cdot 10^{-12}$	$\text{HSO}_4^-$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	

### אנו לך...



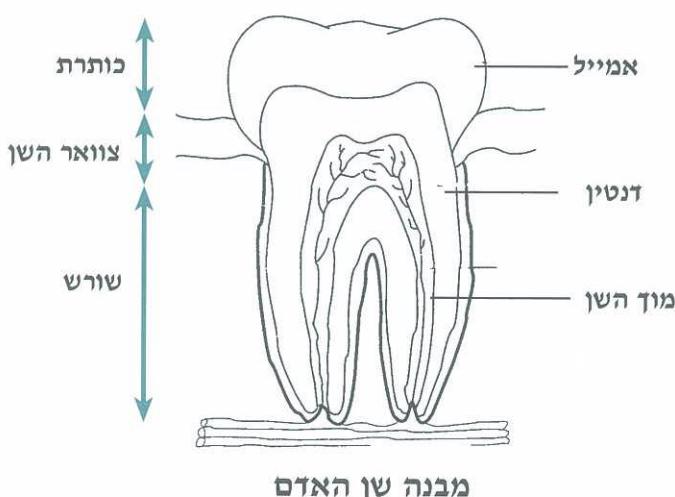
- 1) נניחו מסקנה כללית לגבי חואקם היחסי של הבסיסים והחומרה הצמודות להם על סמך סדר הופעתם של הבסיסים וחומרות בטבלה המשותפת.
  - 2) א) התירחו לחומרה הרוב-פרוטית  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . מצאו בטבלה את שלושת הצורונים החומציים הנגזרים ממנה  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ודרגו אותם לפי חואקם. התוכלו להציג הסביר לדירוג שמצאתם? מהו ההסביר?
  - ב) חזרו על השאלה הקודמת לגבי החומרה הרוב-פרוטית  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . האם הדירוג של הצורונים החומציים מכך את הדירוג המקורי? אם כן, נניחו הכללה לגבי חואקם היחסי של צורונים הנגזרים מאותה חומרה.
  - 3) אילו מבין הצורונים מופיעים הם בטבלה הבסיסים והן בטבלה החומרות? מדוע?
  - 4) הכפילו את ערכי  $K_b$  ו- $K_a$  של כל אחד מצמדיו הבסיס-חומרה שבטבלה. מה קיבלתם?
- הערה: את המשמעות של התוצאה שקיבלתם תוכלו למצוא בקטע 3ב. "קבוע היינון של מים".

...על...

## חומצות וכאב שיניים

הורם בשיניים הם בעיה כאובה המוכרת לרובנו. הם נגרמים על ידי מחלת העששת וקשורים ברמת החומצות שבחלל הפה. כדי להבין מהי מחלת העששת, כיצד היא פוגעת בשן ומה הקשר שלה לרמת החומצות בפה עליינו להכיר תחילת את **מבנה השן**. לכל שן יש חלק בולט מהחניכיים הנקרא כוורת, חלק הקבוע בתוך החניכיים הנקרא שורש, וחלק המחבר ביניהם הנקרא צוואר השן.

השן מורכבת מכמה שכבות, השכבה החיצונית של הכוורת נקראת **אמיל**, או בעברית:



זוגית השן. האAMIL הוא החומר הקשה ביותר בגוף האדם, והוא מורכב ברובו ממינרל הנקרא סידן הידרוקסיט אפטיט הערוזן בגבישים צפופים. השכבה הפנימית יותר של השן נקראת דנטין, או שנהב, והוא רקמה דמוית עצם. הדנטין מורכב מסידן הידרוקסיט אפטיט ומתרכבותות פחמן, בעיקר קולגן. הסידן הידרוקסיט אפטיט בדנטין ערוץ בצורה של תעלות חוליות שבמרכזן נמצא תרכובת הפחמן, וכך הדנטין רק יותר מהAMIL. הדנטין יוצר את הקירות מעוק השן שהוא רקמת חיבור דיליה המכילת כלי דם, ליפה ועצבים. דרך מעוק השן נעשית האנט השן, וממנו עוברים גירויים מהשן אל מערכת העצבים המרכזית.

העששת נגרמת על ידי פעילותם של חיידקים אනארוביים מסטויים (בעיקר סטרפטוקוקוס מוטאנס, Streptococcus Mutans) הנמצאים בפה וגורמים להרס של הרקמות הקשות של השן. החיידקים הללו מסוגלים להתישב על פני השן וליצור שכבה דביקה הנקראת רובד דנטלי. הרובד הדנטלי מליל, פרט לחידקים, גם פטריות, נגיפים, שריריות מזון ומרכיבים שונים של הרוק. הרובד הדנטלי נוטה להצטרף בחריצים של השן ובמרוחים שבין השיניים, משום שאזורים אלו "מונגים" חסית מפני שטיפה וצחצחות. החיידקים האנארוביים מפיקים אנרגיה על ידי פירוק חוממיות בתהליך תסיסה. בתהליך זה, בניגוד לתהליך הנשימה התאית, אין פירוק מלא של הפחמיות למים ולפחמן דו-חמצני. הפחמיות מפורקות רק באופן חלקי, ותוכרי הפירוק הם פחמן דו-חמצני ותרכובות פחמן. תרכובות הפחמן העיקריות הנוצרת בפה היא חומצת לב והיא נוצרת כתוצאה פירוק של סוכרא, סוכר מאכל. ריכוזים גבוהים של חומצות [חומצת לב וחומצות אחרות המתקבלות בפירוק של חוממיות אחרות] ברובד הדנטלי גורמים נזק חמור לרקמות הקשות של השן, וכן נפגעות שכבות האAMIL והדנטין.

במצב נורמלי רמת החומציות של הרובד הדנטלי נשמרת ניטרלית, כלומר לא בסיסית ולא חומצית, על ידי פעילות הרוק. המצב בפה משתנה לאחר ארוחה הכוללת כמויות גדולות של סוכר. כפי שראינו, פירוק הסוכר על ידי החידקים שברובד הדנטלי גורם לצירוף חומציות. כיצד פוגעות החומציות בשן? הן מפרקות את הסידן הידרוקסידי אפטיט. כאשר הסידן הידרוקסידי אפטיט בא במגע עם חומצת, הוא מגיב עמה וונצרים מלחים מסיסים, לפי הניסוח הבא:



המלחים הללו מתמוססים ברוק המגיע אל השן ונשפפים יחד אتن. האמייל של השן נמצא במגע ישיר עם הרובד הדנטלי, ולכן הוא הראשון להיפגע. אם הנזק לאמייל הוא קל, תיתכן הסטיידות חדשה של האזור שנפגע על ידי הסידן שברוק. אך אם השינויים נחשפות לחומצת זמן ממושך, נוצר חור באמייל, ודרכו יכולים החידקים לחזור לשכבות הפנימיות יותר. כאשר החור מגע לדנטין, הרק יותר, הוא גדל במהירות. כאשר החידקים מגעים למוֹן השן, הם גורמים שם לדלקת הגורמת, בין השאר, להחץ על העצבים שבמוך המתבטא בכאב שניינים חזק.

הדרך הטובה ביותר לא להיקלע למצב המכאי זה הוא למנוע מלכתחילה את העששת. מניעת העששת היא אחד האתגרים החשובים ביום של מזע רפואי השניים. כדי למנוע את העששת יש לטפל ב-4 גורמים: בחידקים, בהרכבת המזון, בזמן הזמן שהשן חשופה לחומצה ובהרכבת השן.

הדרך הראשונה למניעת העששת היא סילוק החידקים מעלה פני השינויים. סילוק החידקים נעשה על ידי צחצוח נכון וمتמיד של השינויים בمبرשת, ניקוי בחות דנטלי המסלק את הרובד הדנטלי של המרוחחים שבין השינויים שעליהם המברשת אינה יכולה להגיע ולבסוף שטיפת הפה.

הדרך השנייה היא שינוי הרכבת המזון. אדם שלא ירבה באכילת מזון מתוק, יקטין משמעותית את סכנת העששת כי הוא מפחית את מצע המזון לחידקים. אכילה של מזונות קשים יחסית תביא אף היא להפחחתה מקרים העששת, משום שהלעיסה מגירה את בלוטות הרוק להפריש רוק, והרוק הוא המגן הטבעי מפני העששת. הרוק מסוגל לנטרל לפחות חלק מהחומציות הנוצרות על ידי החידקים וכן מכך הוא מכיל חומרים אנטי בקטריאליים המעכבים את התפתחות החידקים בפה.

הדרך השלישית היא קיצור פרקי הזמן שבהם השינויים חשופות לחומצויות. אם השינויים חשופות במשך כל היום לחומצת קשה להילחם בעששת, אך אם הן חשופות לפרקי זמן קצרים בלבד הנזק ניתן לתיקון. לכן צריך להגביל את מספר הפעמים ביום שבחן אוכלים או שותים מזון מתוק. רצוי לאכול מזון מתוק רק פעמיים עד שלוש ביום ורק בארוחות עצמן. והרי תמיד הוזהרתם שלא לאכול חטייפים בין הארוחות...

הדרך הרביעית למניעת העששת היא חיזוק **מבנה השן** מפגעה מוחמצות. ניתן לעשות זאת על ידי אספקת יוני פלאור לשן. ניתן לספק יוני פלאור לשן על ידי שימוש במשחות שניים ובמי-פה הcoliים יוני פלאור, על ידי מריחת השינויים במשחה המכילה יוני פלאור (פעולה המבוצעת על ידי רופא השינויים) וכן על ידי שתילת מים המכילים יוני פלאור. רשוויות מקומיות רבות נוהגות להוסיף למים ריכוזים נמוכים של מלחי פלאור ומסיעות בכך במלחמה למניעת העששת. יוני הפלואור מחליפים את יוני ההיידרוקסי בהידרוקסי-אפטיט, ומתקיים החומר סידן פלאורו אפטיט שנוסחתנו –  $\text{Ca}_6(\text{CO}_3)_4\text{F}_2$ . המינרל "המוחלף" זהה עמיד יותר בפני תקיפה על ידי חומצות, משום שיוני פלאור הם **בסיסים חלשים** יותר מיוני ההיידרוקסי, ולכן מגיבים במידה מועטה יותר עם חוממצות ובדרך זו מופחתת הפגעה בركמות הקשות של השן.

תהליך זה של החלפת יוני ההיידרוקסי ביוני פלאור אפשרי רק בחלק החיצוני של האמייל. לכן אספקת יוני פלאור חשובה במיוחד לגבי ילדים בשלב שבו השינויים שלהם נמצאות בתהליכי הבניה. אם באמן בנית השן יהיה בה אחוז גובה של סידן פלאורו אפטיט, חלק ניכר יותר של השן יהיה עמיד בפני פגעה על ידי חוממצות. עם זאת, חשוב לציין שיוני פלאור ברכיבים גבוהים מדי עלולים לגרום לכטמים על השינויים, ואפילו להיות רעילים. בעשורים הבאים האחרונות חלה ירידת משמעותית במקרים העששת, הן הודות לעלייה במודעות לחשיבות של שמירה על ניקיון הפה והן הודות לתוספת יוני הפלואור למי השתייה ולמשחות השינויים.

## אכלי אסף...

- 1) מזוע אצל בעלי חיים כמעט ואין בעיה של עששת?
- 2) מזוע, לדעתכם, נחשבת העששת למחלת "מודרנית" הנפוצה בעיקר ב-200  
שנתיים האחרונות?



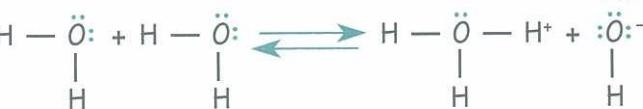
## דרגת החומציות של תמייסות מייניות



### 3א. היינון העצמי של מים

בלימודינו עד כה רأינו שמים הם חומר אמפירוטי, ככלור הם יכולים לתקוף חן כבסיס וחן כחומר, על פי החומר שהם מגיבים אותו. כשמימיים מצויים במים, מתרחשת העברת פרוטון מהחומרה אל המים, לעומת זאת כשמימיים בסיס במים, מתרחשת העברת פרוטון מהמים אל הבסיס. מכיוון שכן, מעוניין לראות מה קורה בין מולקולות מים טהורם לבין עצמן. מתברר, שבhiveדר חומצה או בסיס אחרים מתרחשת העברת פרוטון בין מולקולות מים אחת המתפקדת כחומרה לבין מולקולות מים אחרת המתפקדת כבסיס. כתוצאה לכך נוצרים יונן הידרוניים ויאן הידרוקסי, כפי שניתן לראות בניסוחים הבאים:

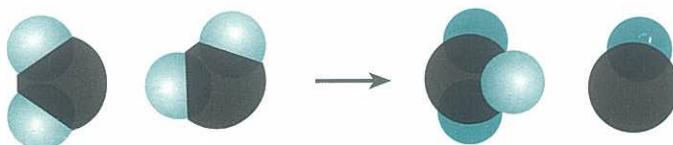
בין שתי מולקולות



בין מולקולות רבות



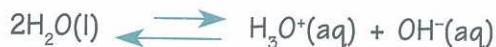
בסיס צמוד חומצה צמודה בסיס



מולקולות המים העבירו בינהן פרוטונים ותווך כדי כך הפכו ליאנים, لكن נקרא תהליך זה **תהליכי היינון עצמי**. קיומו של תהליכי היינון העצמי של מים הוכח לפני שנים רבות על ידי פרדריך קוהלרاؤש (Friedrich Kohlrausch 1840-1910). הוא מצא שגם לאחר טיהור קפדי של מים, הם עדיין מוליכים חשמל, אם כי במידה מועטה ביותר. הסיבה לכך היא שאפיילו במים הטהורים ביותר מצויים יונים – יוני הידרוניים ויאן הידרוקסי – שנוצרו בתהליכי היינון העצמי, אך, כאמור, ריכוזיהם נמוכים ביותר. אם כן, כשהורגנו לומר: "מים מזוקקים אינם מוליכים חשמל", מן הראוי היה לסייע את האמרה ההחלטית שלנו ולומר בזורה זהירה יותר: "בממשי המדידה שלנו לא נתגלתה כל מוליכות חשמלית של המים". עכשו ברור, שאילו היוינו משתמשים במכשירים רגילים במידה מספקת, היוינו יכולים לגלוות את המוליכות החשמלית הזעומה של המים. כדי לתת מושג על סדרי הגודל שבהם מדובר, נציין שرك כשתי מולקולות מותוך מיליארד מולקולות מים מיאננות בכל רגע נתון!

## ב. קבוע היינון של מים, $K_w$

תגובה היינון העצמי של מים, המנוסחת לעיל, היא תהליך הפיך. ההיפיכות מיוצגת על ידי חץ כפול בין המגיבים לתוצריהם. אם ניקח בחשבון שמים הם גם בסיס חלש וגם חומצה חלה, יהיה קל להבין מדוע תגובה המים עם עצם אינה מתרכשת בשלמות, אלא היא תגובה המגיעה לשיווי-משקל. כשנוסף לתיאור המצב גם את התוצרים, יוני הידרונים ויוני הידרוקסי, נוכל גם לדעת לאן נוטה המערכת כשהיא במצב של שיווי-משקל. לאחר שיווי הידרונים הם חומצה הרבה יותר חזקה ממים, ויוני הידרוקסי הם בסיס הרבה יותר חזק ממים, הרי שבמצב של שיווי-משקל המערכת נוטה נתיחה ברורה "לטובת המגיבים". כשרוצים להבליט עובדה זו, מנסחים את התגובה ההיפיכה תוך שימוש בחצים בעלי אורך שונה. במקרה שלנו קיבל את הניסוח הבא:



מדידות שנעשו בניסויים מראות שבכל ליטר של מים טהורים בטמפרטורת החדר ( $25^\circ\text{C}$ ) מצוים או  $10^{-14}$  מולרים של יוני הידרונים ואלה כמות של יוני הידרוקסי. זאת אומרת שריכוזי הIONS הם:

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{OH}^-(\text{aq})] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

אך כמות קטנה מאוד.

כמו בכל מערכת בשיווי-משקל כך גם לגבי המערכת שלנו ניתן לנתח ביטוי קבוע שיווי-משקל המתאים לתגובה. הביטוי הוא:

$$K_w = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \cdot \text{OH}^-(\text{aq})]}{[\text{H}_2\text{O}(\text{l})]^2}$$

אחר שرك כמות זעירה ביותר של מולקולות מים עברו יונון, ניתן להזניח אותן מספרית, יחסית לכמות המים הגדולה. אם כך, ניתן להתייחס לריכוז המים,  $[\text{H}_2\text{O}(\text{l})]$ , כל נตอน בעל ערך קבוע. אם נכפול את ערכו של הקבוע  $K$  בערכו הקבוע של ריכוז המים ברייבור,  $[\text{H}_2\text{O}(\text{l})]$ , נקבל קבוע שיווי-משקל חדש. הקבוע החדש נקרא  $K_w$ , כש-W מצבין water.

$$K_w = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \cdot \text{OH}^-(\text{aq})]}{[\text{H}_2\text{O}(\text{l})]^2} \cdot [\text{H}_2\text{O}(\text{l})]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \cdot \text{OH}^-(\text{aq})]$$

### $K_w$ הוא קבוע היינון של מים

כדי לחשב את ערכו של קבוע היינון של מים علينا להציב בביטוי הנ"ל את ריכוזי שיווי-משקל של יוני הידרונים ויוני הידרוקסי הידועים לנו. לפיכך ערכו של קבוע היינון של מים ב- $25^\circ\text{C}$  הוא:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] \cdot [\text{OH}^-(\text{aq})] = 1 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 1 \cdot 10^{-14} \text{ mole}^2/\text{L}^2$$

שימוש לבי:

ערך של  $K_w$  תלוי, כאמור, בטמפרטורה. לאחר שתגובה הידרואזון העצמי של מים היא תגובה אנדרומית, ערכו של הקבוע עולה כשהטמפרטורה עולה. בטליה הbara מוצגים לדוגמה כמה ערכים:



### טבלה ג'. קבוע הידרואזון של מים

$K_w$ (mole <sup>2</sup> /L <sup>2</sup> )	טמפרטורה (°C)
$0.29 \cdot 10^{-14}$	10
$1.01 \cdot 10^{-14}$	25
$2.5 \cdot 10^{-14}$	37
$5.48 \cdot 10^{-14}$	50

## ג'. ריכוז יוני הידרוניום בתמיסות מימיות של חומצות ובסיסים

עד כאן תיארנו מים טהורים שבהם נוכחים יוני הידרוניום,  $\text{O}_\text{H}^+$ , ויוני הידרוקסי- $\text{OH}$ , כתוצאה מתגובה הידרואזון העצמי של המים בלבד. מעניין לנתח מה קורה כאשר מוסיפים למים חומצה או בסיס.

### הוספת חומצה

תגובה הידרואזון העצמי של המים,  $\text{H}_2\text{O}(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{O}\text{H}_2(aq)$ , היא תגובה הנמצאת בשיווי-משקל. אם כך, המכפלה של ריכוזי הイונים  $[\text{H}_3\text{O}^+(aq)] \cdot [\text{OH}^-(aq)]$  חייבת להיות שווה ל- $K_w$ .

כאשר מוסיפים חומצה למים, מתרחשת העברת פרוטון מהחומרה אל המים ומקבלים יוני הידרוניום, ומאותו רגע  $M^- \cdot 10^{-7} > [\text{H}_3\text{O}^+(aq)]$ . תוספת זו של יוני הידרוניום מהווה הפרעה לשיווי-המשקל הנ"ל. בגלל העלייה ב- $[\text{H}_3\text{O}^+(aq)]$  קצבו שתי התגובות – הישראל וההփוכה – כבר אינם שוויים. התגובה ההփוכה מתארחת בקצב מוגבר, עד שמכפלת ריכוזי הイונים  $[\text{H}_3\text{O}^+(aq)] \cdot [\text{OH}^-(aq)]$  מתאימה שוב לערך הקבוע  $K_w$ . כישוג שוב שיווי-משקל נזוכה לדעת שירד ריכוז יוני הידרוקסי יחסית לרכיבים ברגע הוספת החומרה, אם כי עדין  $M^- \cdot 10^{-7} < [\text{H}_3\text{O}^+(aq)]$ . מכאן יוצא שהוספת חומרה לא רק מעלה את  $[\text{H}_3\text{O}^+(aq)]$ , אלא בו זמנית גם מורידה את  $[\text{OH}^-(aq)]$ .

### הוספת בסיס

ובדומה לכך, כאשר מוסיפים בסיס למים, מתרחשת העברת פרוטון מהמים אל הבסיס ומתקבלים יוני הידרוקסי. ומאותו רגע,  $M^- \cdot 10^{-7} > [\text{H}_3\text{O}^-(aq)]$ . תוספת זו של יוני הידרוקסי מהווה הפרעה לשיווי-המשקל הנ"ל. העלייה ב- $[\text{H}_3\text{O}^-(aq)]$  גורמת להגברות התגובה ההיפוכה, עד שמכפלת ריכוזי הイונים

מתאימה שוב לערך הקבוע  $K_w$ . לכשישג שוב שיווי-משקל, ניוכח לדעת שירד ריכוז יוני ההידרוניםים יחסית לרכיבים במים טהורים  $M^{-1} < [H_3O^+(aq)]$  וכן ירד ריכוז יוני הhidroxysi יחסית לרכיבים ברגע הוספת הבסיס, אם כי עדין  $M^{-1} > [OH^-(aq)]$ . יוצא אם כך, שהוספת בסיס לא רק מעלה את  $[OH^-]$ , אלא בו זמנית גם מורידה את  $[H_3O^+(aq)]$ .

### לסיכום:

הערך  $1 \cdot 10^{-14}$  של  $K_w$  מיושם לכל תמייה מימית הנמצאת בשיווי-משקל בטמפרטורה של  $25^\circ C$  ללא תלות ברכיבים של כל אחד מהיונים  $(aq) H_3O^+$  ו  $(aq) OH^-$ .

להלן שתי דוגמאות ואior להמחשת רעיון התלות ההדדית בין ריכוז יוני ההידרונים לבין ריכוז יוני הhidroxysi בתמייה מימית:

- **דוגמה ראשונה:** נתונה תמייה  $(aq) HCl$  בריכוז  $0.1 M$ .

מהחר שהחומר המימן כלוריית היא חומצה חזקה, היא עוברת יונון מלא במים.

$$\text{אם כך: } M^{-1} = 10^{-1} = [H_3O^+(aq)] = 0.1 M$$

נחשב את ריכוז יוני הhidroxysi בתמייה זו:

$$K_w = [H_3O^+(aq)] \cdot [OH^-(aq)] = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$10^{-1} \cdot [OH^-(aq)] = 10^{-14}$$

$$[OH^-(aq)] = \frac{10^{-14}}{10^{-1}}$$

$$[OH^-(aq)] = 10^{-13} M$$

- **דוגמה שנייה:** נתונה תמייה  $(aq) NaOH$  בריכוז  $0.01 M$ .

הפעם מדובר בסיס חזק ואז הוא מיוני באופן מלא במים.

$$\text{אם כך: } M^{-2} = 0.01 M = [OH^-(aq)]$$

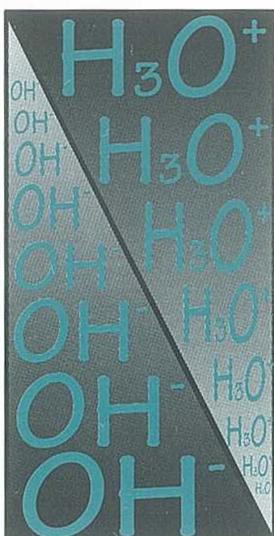
נחשב את ריכוז יוני ההידרונים בתמייה זו:

$$K_w = [H_3O^+(aq)] \cdot [OH^-(aq)] = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$[H_3O^+(aq)] \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$[H_3O^+(aq)] = \frac{10^{-14}}{10^{-2}}$$

$$[H_3O^+(aq)] = 10^{-12} M$$



מיצ' גאר טבעי מօרכב ברובו ממים. ריכוז יוני ההידרונים ב Miz' גאר טבעי הוא  $M^{-1} \cdot 10^{-14}$ . מהו ריכוז יוני hidroxysi ב Miz' גאר?

...מִזְגָּעַ



הנition התאורטי והчисובים המספריים עוזרים לנו לנתח את ההכללות הבאות:

**במים טהורים**

$$\text{ריכוז יוני הידרונים שווה לרכיב יוני הידרוקסי: } [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

בתמיסת מימית חומצית:  $10^{-7} \text{ M} < [\text{OH}^-] < 1 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] > [\text{OH}^-(\text{aq})]$$

ולכן ריכוז יוני הידרונים גבוה מריכוז יוני הידרוקסי.

בתמיסת מימית בסיסית:  $1 \cdot 10^{-7} \text{ M} < [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] < 10^{-7} \text{ M}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] < [\text{OH}^-(\text{aq})]$$

ולכן ריכוז יוני הידרונים נמוך מריכוז יוני הידרוקסי.

**שימוש לב:**



מהחר שבמים טהורים יש ריכוזים שווים של יוני הידרונים ויוני הידרוקסי, מים טהורים אינם חומצאים ואינם בסיסיים, אלא נחשבים לניטרליים.

## 3. סולם החומציות, pH

התמיסות המימיות של חומצות ובסיסים שאנו נתקלים בהן במעבדה ובחיי היום-יום משתמשות על פני טווח רחב יותר של ריכוזים של יוני הידרונים ויוני הידרוקסי. בדרך כלל, הריכוזים של יוני הידרונים או של יוני הידרוקסי לא עלולים על אן, אבל, כפי שראינו בדוגמאות המספריות, הם יכולים להיות נמוכים עד כדי  $10^{-13} \text{ M}$ , ואפילו נמוכים יותר. השימוש בערכיהם אלה יוצר סרבול ואי נוחות מרובים. כדי לפשט את הדין בדרגת החומציות והבסיסיות של תמייסות מימיות הציע הביווכמאי הדני سورנסן (Sørensen) בשנת 1909 את סולם ה-H<sub>p</sub>. סולם ה-H<sub>p</sub> הוא סולם ערכים שנע בדרך כלל בין ۰ ל-۱۴. מה הקשר בין ריכוז יוני הידרונים בתמיסת מימית לבין ה-H<sub>p</sub> של התמיסה? ובכן, ה-H<sub>p</sub> מוגדר כ:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]$$

אם נהפוך את נקודות המבט שלנו, נוכל לתאר את אותה פונקציה גם בדרך אחרת והיא:

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = 10^{-\text{pH}}$$

על בסיס הגדרות אלה ניתן לנתח את ההכללות הבאות:

בטמפרטורה של 25°C

בתמיסת מימית ניטרלית  $\text{pH} = 7$

בתמיסת מימית חומצית  $\text{pH} < 7$

בתמיסת מימית בסיסית  $\text{pH} > 7$

*אנו גוזאך...*

### דוגמאות לחישוב pH



כדי להמחיש את הכלולות שלעיל, נציג ארבע דוגמאות לחישוב pH על סמך ריכוז יוני הידרונים בתמיסה. מטיעמי נוחות נשתמש בהגדרה השנייה לחישוב pH שהיא:

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = 10^{-\text{pH}}$$

- **דוגמה ראשונה:** מים טהורים – תמיסה ניטרלית:

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = 10^{-7} \text{ M}$$

$$10^{-7} = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{ומכאן pH של מים טהורים הוא: } 7 = \text{pH}$$

- **דוגמה שנייה:** תמיסה חומצית בעלת ריכוז 0.001 M של יוני הידרונים:

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = 0.001 \text{ M}$$

$$\text{ה-pH של התמיסה הוא: } 3 = \text{pH}$$

- **דוגמה שלישיית:** תמיסה חומצית בעלת ריכוז 0.01 M של יוני הידרונים:

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = 0.01 \text{ M}$$

$$\text{ה-pH של התמיסה הוא: } 2 = \text{pH}$$

- **דוגמה רביעית:** תמיסה בסיסית בעלת ריכוז 0.0001 M של יוני הידרוקסן:

$$[\text{OH}^-](aq) = 0.0001 \text{ M}$$

כדי לחשב את pH של תמיסה זו נחשב תחילת את ריכוז יוני הידרונים שבה:

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) \cdot [\text{OH}^-](aq) = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = \frac{10^{-14}}{10^{-4}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+](aq) = 10^{-10} \text{ M}$$

ועכשיו נחשב את pH:

$$\text{ה-pH של התמיסה הוא: } 10 = \text{pH}$$

פירוט מלא של הקשר בין ריכוז יוני הידרונים בתמיסה לבין pH שלה מופיע בהמשך באילור

"סולם החומציות, pH" (עמוד 169).

## אכליים וטף...

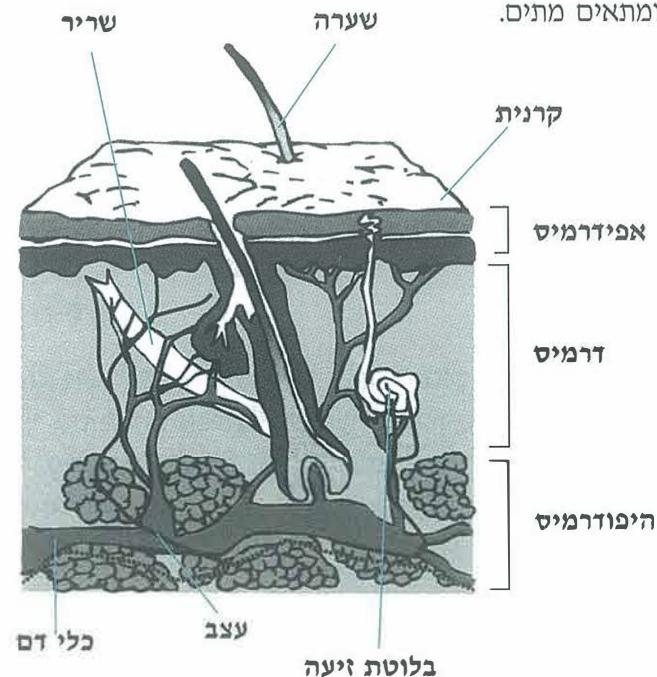


- 1) ריכא יוני הידרוניום בעגבניה " ממוצעת" הוא בערך  $M01.000.0$ . מהו ה-הק של העגבניה?
- 2) ה-הק של אמונה ביתית טיפוסית הוא 11.  
 א) מהו הערך של  $[\text{aq}]^+ \text{H}_3$  המתאים?  
 ב) מה ערכו של  $[\text{aq}]^- \text{H}0$  באמונה ביתית? פרטו את חישוביכם.

## ה-הק של העור

השכבה החיצונית של העור היא בעלתHQ חומצית. שמירה על HQ זה חיונית לתפקוד התקין של העור.

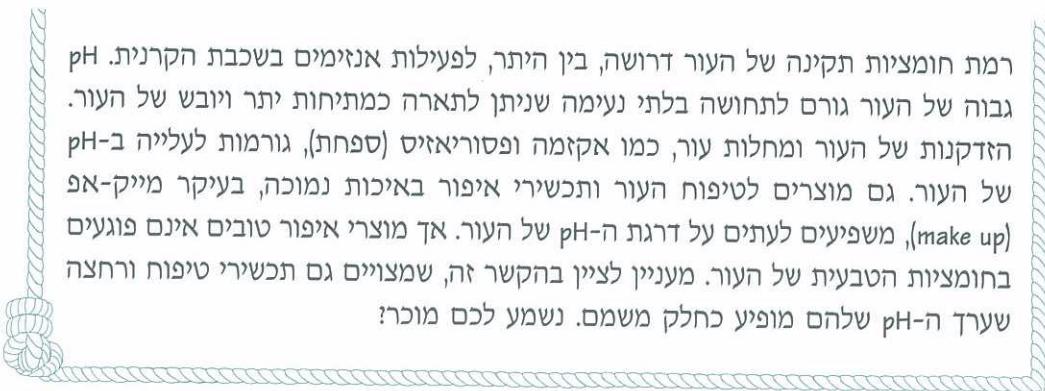
לעור יש שתי שכבות: שכבה חיצונית דקה, אפיזדרמייס, ושכבה פנימית עבה יותר, דרמייס. השכבה החיצונית של האפיזדרמיס נקראת קרנית והיא מורכבת בעיקר מקרטין – חלבון סיבי – וממתאים מתים.



הקרנית, שהיא למשמעותה השכבה החיצונית של הגוף, היא חומצית (פרט לקרנית באזורי בית החחי והמפשעה). החומציות נובעת מהפרשה של חומצות שונות על פני העור, בעיקר, בעיקר חומצת חלב. החומציות של העור באזורים שונים של הגוף שונה והוא נעה בין 4 ל-9.5.

ה-הק של העור...

רמת חומציות תקינה של העור דרישה, בין היתר, לפעילות אנזימים בשכבות הקרנית. אך גבוח של העור גורם לתהוcharה בלתי נעימה שניתן לתארה כתמייחות יתר ויבש של העור. הזדקות של העור ומחלות עור, כמו אקזמה ופסורייזיס (ספחת), גורמות לעלייה ב-H<sub>Ac</sub> של העור. גם מוצרים לטיפוח העור ותכשיiri איפור באיכות נמוכה, בעיקר מיק-אף (make up), משפיעים לעיתים על דרגת ה-H<sub>Ac</sub> של העור. אך מוצרי איפור טובים אינם פוגעים בחומציות הטבעית של העור. מעוניין לציין בהקשר זה, שמצוים גם תכשיiri טיפוח ורחצה שערך ה-H<sub>Ac</sub> שלהם מופיע כחלק ממשם. נשמע לכם מוכרי?



## הלאה גו...go...



روحיה של תעשיית הקוסמטיקה הם גדולים ביותר. הצרכן מוצף בכמות אדירה של תכשירים, והשיקולים המנחים אותו בבחירה של תקשר קוסמטי מתבססים, בדרך כלל, על תחשוה אישית ועל ניסיון. מחקרים מראים שהתחשוה האישית לגבי העור מטעה, لكن הגדרו מבדינים כמה מבדים להערכת מצב העור, שהעיקריים שבהם הם אלה: H<sub>Ac</sub>, לחות ולחותת המבדים הללו, וכן ניתן להתאים תכשירים לטיפוח העור על פי מצבו האמיתי. הסרט "شكرا החן"<sup>\*</sup> מציג את המבדים להערכת המצב האמיתי של העור ואת המכשור המודד אותם.

\* הסרט "شكرا החן" נמנה על סדרת "מה בכימיה". הסדרה "מה בכימיה" הופקה באוניברסיטה העברית בירושלים על ידי המרכז האוניברסיטאי למולטימדיה בשיתוף עם המרכז להוראת המדעים.

## תכונות של סולם ה-H<sub>Ac</sub>

מההגדרה השנייה לחישוב H<sub>Ac</sub>,  $H_{Ac} = \frac{10}{[aq]^{0.5}}$ , נוכל להסיק שהקשר בין  $[aq]^{0.5}$  לבין ה-H<sub>Ac</sub> הוא גם נגדי, לאחר שסימנים הפוכים, וגם מערכיכי כיוון שה-H<sub>Ac</sub> מתייחס לריכוז המולרי של יוני הידרונים כחזקה. מהעובדת שהקשר נגדי נובע שעל אף שה-H<sub>Ac</sub> הוא סולם של חומציות, הרוי שככל שהתחמיסה נעשית יותר חומזית ו- $[aq]^{0.5}$  עולה, ה-H<sub>Ac</sub> יורך, ולהיפך – כשהתחמיסה הופכת יותר בסיסית ו- $[aq]^{0.5}$  יורך, ה-H<sub>Ac</sub> עולה. מהעובדת שהקשר מערכיכי נובע שככל שנינו ביחידת H<sub>Ac</sub>ichert מיצג שניי פי 10 ב- $[aq]^{0.5}$ , זאת אומרת, שינוי פי 10 בדרגת החומציות. לדוגמה, כשה-H<sub>Ac</sub> יורך ב-2 יחידות, למשל מ-3=H<sub>Ac</sub> ל-1=H<sub>Ac</sub>, החומציות עולה פי 100, וכשה-H<sub>Ac</sub> עולה ב-3 יחידות, למשל מ-7=H<sub>Ac</sub> ל-10=H<sub>Ac</sub>, החומציות יורדת פי 1000!

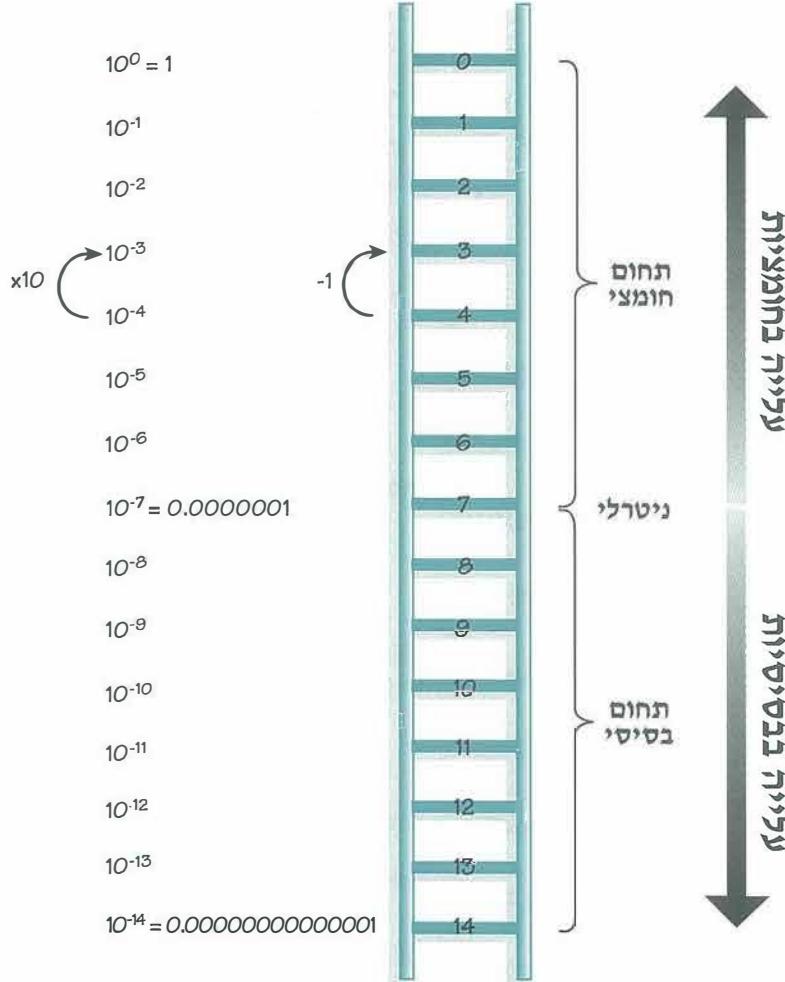
האיור הבא ממחיש גרפית את הקשר בין  $[aq]^{0.5}$  וה-H<sub>Ac</sub> ודרגת החומציות (וחביסיות) של תמיisha:

### סולם החומציות, $\text{H}^+$

$[\text{OH}^-(\text{aq})]$

$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]$

$\text{pH}$



#### שימוש לבו:

באירור ניתן לראות בבירור ששינוי ביחידת  $\text{H}^+$  אחת מייצג שינוי פי 10 ברכיב יוני ההידרוניום. כמו כן, ניתן לראות שירידה ב- $\text{H}^+$  מייצגת עלייה בחומציות ולהיפך.



*אכלי טף...*

- (1) הוציאו לאירור את ערבי  $[\text{OH}^-(\text{aq})]$  המתאימים לכל  $\text{H}^+$ .
- (2) מה יותר חומצויدم אדם ( $\text{H}^+$  בטווח 7.35-7.45) או מי-ים ( $\text{H}^+$  בטווח 8.1-8.3? נמקו.

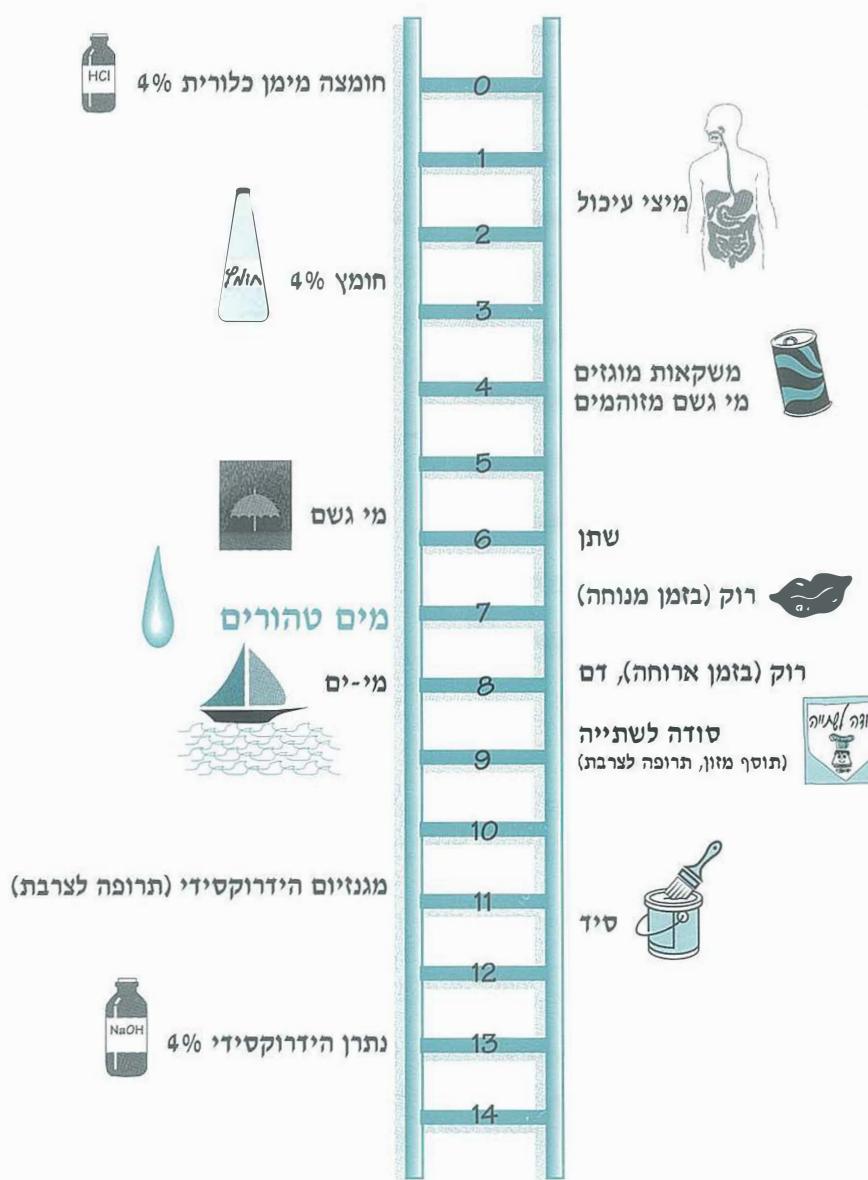


ושוב... **שיםו לב!**



באирו מופיע הטוווח הרגיל של ערכי  $\text{H}^+$  שהוא 0-14. הנקה האחד,  $\text{O-H}^+$ , מתאים לחומצה חזקה, למשל תמיסה מיימית של חומצה מימן כלורית ברכזו  $M_1$ . הנקה השני,  $\text{H-OH}^+$ , מתאים לבסיס חזק, למשל תמיסה מיימית של נתרן הידרוקסידי ברכזו  $M_2$ . עם זאת, ראוי לציין שעל פי הגדרתו, סולם ה- $\text{H}^+$  מאפשר קבלת ערכיים מחוץ לטוווח של 0-14, אם כי אנו נתקלים בערכיים אלו לעיתים רחוקות. לגבי הנקה האחד של הסולם, תמיסות מיימות של חומצות חזקות שריכוזיהם גבוהים על  $M_1$  יתנו ערכי  $\text{H}^+$  שליליים. לגבי הנקה השני של הסולם, תמיסות מיימות של בסיסים חזקים שריכוזיהם גבוהים על  $M_2$  יתנו ערכי  $\text{H}^+$  גבוהים מ-14.

באירו שלפניכם מופיעים ערכי ה- $\text{H}^+$  המקורבים של כמה תמיסות מיימות שכיחות, בחולן כבר נפגשנו ובאחרות עוד ניפגש...



הערה: לגבי חלק מההתמיסות  
מדובר בטוווח של ערכי  $\text{H}^+$

**שימוש לבן**

באирו ניתן לראות שתמיישה מימית של חומצת חומץ (חומץ) ברכז 4% פחות חומצית מתמיישה מימית של חומצה מימן כLOORית באותו ריכוז. תוצאות דומות אמורות היו להתקבל בפעולות מספר 3. חוזרו לתוצאות הפעולות ובדקו האם כך הם פנוי הדברים.

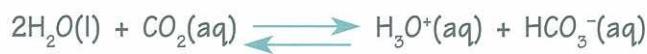
**הערה "אקלוגית":** הסוכנות האנגלית להגנה סביבתית מגדרה פסולת כמאכלת אם ה-H<sub>2</sub>K שלה נמוך מ-3.0 (חומיçi מאוד) או גבוהה מ-5.20 (בסיסי מאוד).

**מדידת H<sub>2</sub>K**

ראינו שניתן לחשב את ה-H<sub>2</sub>K של תמיישה על פי ריכוז יוני הידרונים שבה, אך קיימת גם דרך אחרת למציאת ה-H<sub>2</sub>K של תמיישה – על ידי מדידה ישירה שלו. אם ברצוננו לדעת ערכי H<sub>2</sub>K מקרים של תמיישות מימיות שונות, שיטת המדידה המתאימה היא שימוש בתערובת של אינדיקטורים הנקראת "אינדיקטור אוניברסלי". תערובת זו נותנת מגוון של צבעים בנוכחות תמיישות מימיות בעלות ערכי H<sub>2</sub>K שונים. במקרים אחרים, הצבע המתתקבל מלמד על ערך ה-H<sub>2</sub>K המתאים לתמיישה הנבדקת. לעומת זאת אם ברצוננו לעירך מדידה מדויקת של ערכי H<sub>2</sub>K של תמיישות מימיות, השיטה המתאימה לכך היא שימוש במד-H<sub>2</sub>K [meter H<sub>2</sub>K]. מכשיר זה הוא מד-מתח מיוחד המחבר לצמדALKטרודות אשר טובלים אותן בתמיישה הנבדקת. המתח הנמדד תלוי ב-[aq]<sub>CO<sub>2</sub></sub><sup>+</sup>, ליתר דיוק, המתח הנמדד מתכונתי (פרופורציונלי) ל-H<sub>2</sub>K. לאחר שימושים את המכשיר ניתן לקרוא ממנו ישירות את ה-H<sub>2</sub>K של התמיישה. מרבית המכשירים מסוג זה נוטנים ערכיהם בדרגת דיוק של 0.1 יחידות H<sub>2</sub>K.

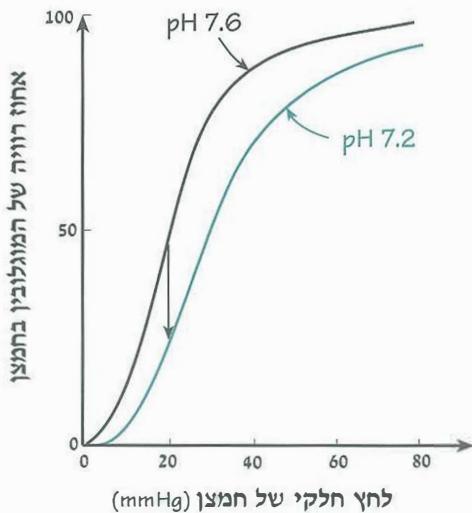
**אפקט בוהר**

ל-H<sub>2</sub>K של הדם ולרכיב ה-CO<sub>2</sub> המומס בדם יש השפעה על האיזיקה של המוגולובין לחמצן וכחוצאה מכך על מידת העברת החמצן לרקמות. CO<sub>2</sub> שנוצר ברקמות וועובר לדם מגיב עם מים בתגובה המאורצת על ידי האנזים אנהיידראז פרומטי ובמהלכה נוצרים יוני הידרונים:



ירידה ב-H<sub>2</sub>K של הדם באזורי הרקמות בגל התגובה הנ"ל או בגלל עלייה ברכיבן של חומציות אחרות הנוצרות על ידי הרקמות מקטינה את האיזיקה של המוגולובין לחמצן. הקטינות האיזיקה מתחבطة בתזוזה ימינה של עיקומות הרווחה של המוגולובין, שימושוותה שחרור רב יותר של חמצן בלחץ חלקי נתון של חמצן.

לכלה...



**גרף גו.**  
**השפעת ה-Hk  
על עקומה הרויה  
של המוגולוביון אדם**

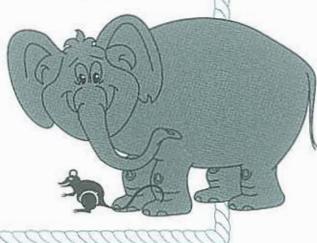
כפי שניתן לראות בעוקמה, ירידה ב-Hk מ-7.6 ל-7.2 גורמת לשחרור מוגבר של חמצן על ידי המוגולוביון. הירידה באחוז הרוינו של המוגולוביון בחמצן כתוצאה מהירידה ב-Hk מסומנת בעוקמה הנ"ל בacz.

מן הראי לציין, שעלייה בריכוז  $\text{CO}_2$  מקטינה את האיזקה של המוגולוביון לחמצן גם כשה-Hk נשמר קבוע. השפעת ה-Hk ורכיב  $\text{CO}_2$  על זיקת המוגולוביון לחמצן נקראת "אפקט בוחר", על שמו של החוקר כריסטיאן בוחר (Christian Bohr) שגילה אותה בשנת 1904. בעוקמה

ניתן לראות שככל שהלחץ החלקי של החמצן נמוך יותר, אפקט בוחר ממשמעותי יותר. לאפקט בוחר יש יתרון פיזיולוגי: הוא מאפשר העברת ייעלה של חמצן לרקמות הפעילות, כמו שרירים. ברקמות אלו הפעולות המטבולית היא הגבואה ביותר בגוף, ולכן צירכת החמצן שלhon היא הגבואה ביותר, וכותזאה מכל הלחץ החלקי של החמצן בהן הוא הנמוך ביותר בגוף. בغالל הפעולות המטבולית הגבואה ברקמות אלו גם פליטת  $\text{CO}_2$  וחומצות על ידן היא הגבואה ביותר בגוף. בשל אפקט בוחר האיזקה של המוגולוביון לחמצן ברקמות הפעולות היא הנמוכה ביותר בגוף, ולכן שחרור החמצן בהן הוא הגדול ביותר בגוף.

**כיצד גורמות הירידה ב-Hk והעליה בריכוז  $\text{CO}_2$  לירידה בזיקה של המוגולוביון לחמצן?**  
כפי שנלמד בפרק "חלבונים – מבנה ותפקיד", פרוטונים ( $\text{H}^+$ ) ו- $\text{CO}_2$  נקשרים למוגולוביון באמצעות קשרים מיווי הידרוניים. כתוצאה עליה בריכוז  $\text{CO}_2$  המומס בدم  $\text{CO}_2$  נקשר לקצחות האמיניות של שרשרת המרכיבות את מולקולת המוגולוביון. הקשר של כל אחד מהగורמים הללו מוביל לשינוי במבנה המרחבי של המוגולוביון וכותזאה מכל לירידה באיזקה שלו לחמצן.

אפקט בוחר אינו שווה בכל היונקים, הוא תלוי בגודלו של היונק, למשל: האפקט גדול יותר בעכבר מאשר בפיל. יש לכך חשיבות בהעברת החמצן לרקמות של בעלי חיים קטנים שקצב המטבוליזם שלהם, יחסי למסת גופם, גבוה מזה של בעלי חיים גדולים.



## פעריות מס' 4: סולם H<sub>2</sub>



**המטרה:** בניסוי זה תכינו תמיסת אינדיקטור אוניברסלי, תבנו סולם H<sub>2</sub>, תבדקו את הסולם שקיבלתם בערתת אינדיקטור מסחרי ולבסוף תשתמשו באינדיקטור שהכנתם לדרוג חומציות של מוצרי מאון וחומרי ניקוי.

### חומרים:

חומרים:	כליים:
תמייסת חומצת חומץ 0.1M $\text{CH}_3\text{COOH}$	סכין ✓
2 כוסות כימיות של 250 מ"ל ✓ תמייסת נתרן מימן פחמתי (סודה לשתייה) 0.1M $\text{NaHCO}_3$	פלטת חיים ✓
תמייסת חומצת חלב 0.1M $\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_2$	טפטפת ✓
תמייסת חומצה פורמיטית 0.1M $\text{HCOOH}$	16 מבחנות ✓
תמייסת נתרן הידרוקסידי 0.1M $\text{NaOH}$	מקל זוכחות ✓
תמייסת אשלגן הידרוקסידי 0.1M KOH	בקבוק שטיפה המכיל מים ✓
תמייסת חומצה מימן כלורית 0.1M HCl	מזוקקים ✓
100 ג' קרוב אדום	
מים מזוקקים ✓	
מוצרי מאון *	
חומרני ניקוי *	

\* רצוי להשתמש באוטם חומרים שהשתמשו בפעילות מס' 1.

### ועבשו ל עבודה:

א. הכנת תמיסת אינדיקטור מכروب אדום

(1) חתכו את הכרוב האדום בערתת סכין לרצועות דקotas וקצרות.

(2) הכניסו את חתיכות הכרוב האדום לכוס כימית של 250 מ"ל והוסיפו 100 מ"ל מים מזוקקים.

(3) הניחו את הכווס על פלטת חיים, הביאו לרטיחה באיטיות.

(4) המשיכו בחימום עד לקבלת נוזל בעל גוון כהה.

(5) שפכו את הנוזל לכוס כימית אחרת.

ב. תמיסות בכל גווני הקשת – בניית סולם H<sub>2</sub>

(1) סמננו שבע מבחנות על פי רשימת החומרים הנבדקים ואחת כמבחן ביקורת.

(2) מזגו לכל מבחנה את החומר המתאים (עד שליש מנפחה) ולמבחן הביקורת מזגו מים מזוקקים.

(3) הוסיפו לכל מבחנה כמה טיפות של האינדיקטור שהכנתם בחלק א'.

(4) סדרו את המבחנות לפי סדר הצבעים הבא: אדום, סגול, כחול, יירוק ולבסוף צהוב.

#### ג. אימות סולם החומציות בעזרת נייר HK מסחרי

- 1) קחו שמונה מבחנות נקיות ויבשות. סמןו אותן על פי רשימת החומרים הנבדקים ושמרו אחת לביקורת.
  - 2) מלאו את המבחנות בחומרים המתאים.
  - 3) חתכו 8 רצועות של נייר H<sub>2</sub>K. טבלו מקל זוכבית נקי בכל אחת מה מבחנות והרטיבו בערתו רצועת נייר H<sub>2</sub>K. זכרו לשטוף את מקל הזוכבית בין בדיקה לבדיקה.
  - 4) מצאו את ערך ה-H<sub>2</sub>K של כל תמיisha שבדקתם על פי הסולם של האינדיקטור ורשמו אותו.
  - 5) השוו את הסדר שקיבלתם בחלק ב' של הפעילות עם התוצאות שקיבלתם בערחת נייר ה-H<sub>2</sub>K.

#### ד. דירוג תמייסות של בסיסים וחומצות

- 1)** בדקו מוצרי מזון וחומרי ניקוי (רצוי להשתמש באוטם חומרים שהשתמשתם בפעילות מספר 1) בעזרת תמיסת האינדיקטור שהכנתם (מי כרוב).

**2)** דרגו את החומרים שבדקתם על פי סדר עולה של ה.ק.

פעריות רשות:

דרגת החומציות של הקרקע קובעת את סוג הגידולים המתאימים בגודל בה. ניתן לבדוק את דרגת החומציות של האדמה בסביבתכם באופן הבא: אוספים כ-1/4 כוס עם אדמה. מעבירים את האדמה למשפך שבו נייר סינון. שופכים על האדמה כוס מים מזוקקים רותחים. אוספים את הסינון לתוך כוס נקייה ולאחר מכן לטמפרטורת החדר בודקים את ערך pH שלו.

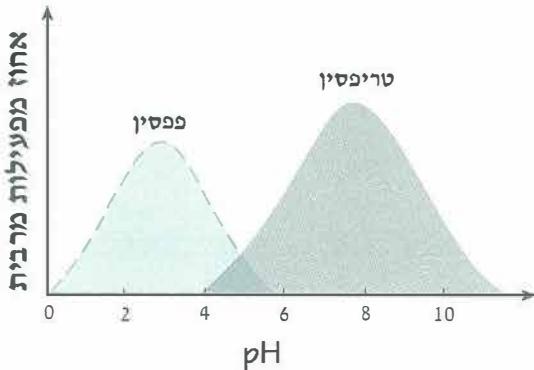
### **חומריות שונה לאורך מערכת העיבול**

ה-הק לאורך מערכת העיכול אינו אחיד. יש אזורים במערכת העיכול שבהם ה-הק מאד חומציז ובהחרים ניטרלי או קצט בסיסי. לשוני ב-ה-הק יש השפעה על הפעולות של האנזימים השונים המשתתפים בשלבים השונים של הפרוק הכימי של המזון. בפרק "דינמיקה של תגבות" רأינו שפעולותם של אנזימים – הזראים הביוולוגיים המאפשרים התרכחותות תגבות בთא החי בקצב המתאים – מושפעת במידה רבה מה-ה-הק של הסביבה שם נמצאים בה. לכל אנזים יש ה-הק שבו פעילותו מרבית, ה-הק זה מכונה ה-ה-הק המיטבי (אופטימלי) של האנזים. ב-ה-הק גבוה מה-ה-הק המיטבי או נמוך ממנו פעילות האנזים יורדת ירידת חדה. لأنזימים שונים יש ערכי ה-הק מיטביים שונים. האזורים הבאים מעցים את התלות של פעילות האנזימים פפסין וטריפסין ב-ה-הק.

ԵՐԵՎԱՆ

## גרף גב. השפעת ה-H<sub>c</sub> על פעילותם של אנזימים

ה-H<sub>c</sub> המיטבי של אנזים תואם, לרוב, את ה-H<sub>c</sub> של הסביבה שבה האנזים נמצא ופועל באופן טבעי. בדוגמה שלנו ה-H<sub>c</sub> המיטבי של פפסין, האנזים העיקרי שoczן פירוק חלבונים בקיבה, הוא 1.6 ואכן ה-H<sub>c</sub> של מיצי הקיבה נع בין 1 ל-2. ה-H<sub>c</sub> המיטבי של טריפסין, אנזים המופרש על ידי הלבלב ומזרץ את המשך פירוק

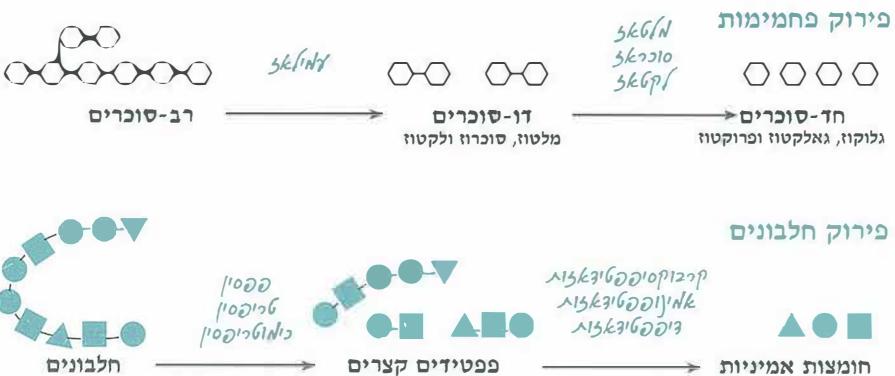


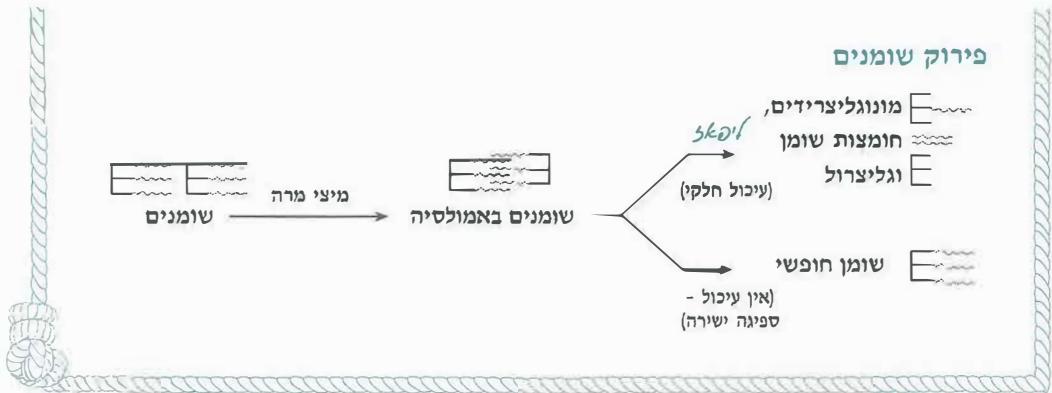
החלבונים בתריסרין ובמי הדק, הוא 7.7, וה-H<sub>c</sub> השורר בתריסרין נע סביב 7.

נחזר למערכת העיכול. המזון שאנו אוכלים מורכב מפחמיות, מחלבונים ומשומנים. חומרים אלו בנויים ממקרומולקולות שתאי הגוף האדם אינם יכולים לנצל אותן כפי שהן. תפקידה של מערכת העיכול, אם כך, היא לפרק את המקרומולקולות שבמזון לבניין של הגוף. אבני הבניין עוברותzm מהאזור הדם ומובלות אל כל תא הגוף. התאים מסוגלים קלוט את אבני הבניין ולנצל אותם בתהליכי המטבוליזם השונים.

מערכת העיכול מבצעת 6 פעולות: **הובלת המזון לאורך מסלול הפירוק**, **פירוק מכאני** של המזון – חיתוכו לפיסות קטנות יותר, **פירוק כימי** של רכיבי המזון לבניין של הגוף, **זרם הדם** ידי אנזימים ו**ספיגת** של אבני הבניין על ידי תאumi המעי משם הם מועברים אל כל תא הגוף, **ובאמצעות**ו אל כל תא הגוף, ולבסוף מערכת העיכול מבצעת **ספיגת** חזרת של מים ו**הפרשת** פסולות. השונות ב-H<sub>c</sub> לאורך מערכת העיכול משפיעה בעיקר על הפירוק הכימי של המזון ולכן נתמך בו. האירור הבא מציג בצורה סכמטית את שלבי הפירוק הכימי המתבצע על ידי אנזימים שונים לאורך מערכת העיכול.

### שלבי הפירוק הכימי של המזון





רוב המזון שאנו אוכלים הוא חומץ, ולמרות זאת ה-H<sub>Ac</sub> השורר בפה הוא קרוב לניטרלי (7.0-6.8). זאת מושם שהרוק המופרש מבולוטות הרוק מכיל, בין השאר, יוני המנטרליים את החומצות שבמזון. הרוק מכיל גם עמידה שהוא אגיזם המפרק רב-סוכרים. ה-H<sub>Ac</sub> המיטבי לפעולות עמידה הוא 7.0-6.8 כמו זה של הרוק.

מהפה עובר המזון דרך הוושט אל הקיבה. בקיבה ה-H<sub>Ac</sub> חומצוי במיוחד, והוא נע בין 1 ל-2. זהו למעשה ה-H<sub>Ac</sub> הנמוך ביותר בגוף. הגורם ל-H<sub>Ac</sub> הנמוך הוא חומצהimin כלורית המופרשת מבולוטות ברירית הקיבה. הבולוטות מפרישות גם את האנזימים פפסין וליפאז הקיבה, המפרקים חלבונים וশומנים בהתקאה. כפי שראינו, ה-H<sub>Ac</sub> המיטבי לפעולות של פפסין הוא 1.6, אך קרוב ל-H<sub>Ac</sub> השורר בקיבה. לעומת זאת, טווח ה-H<sub>Ac</sub> המיטבי לפעולות של ליפאז הקיבה הוא 4-7, וכך בקיבה החומצית יותר פעולות נומכה יחסית.

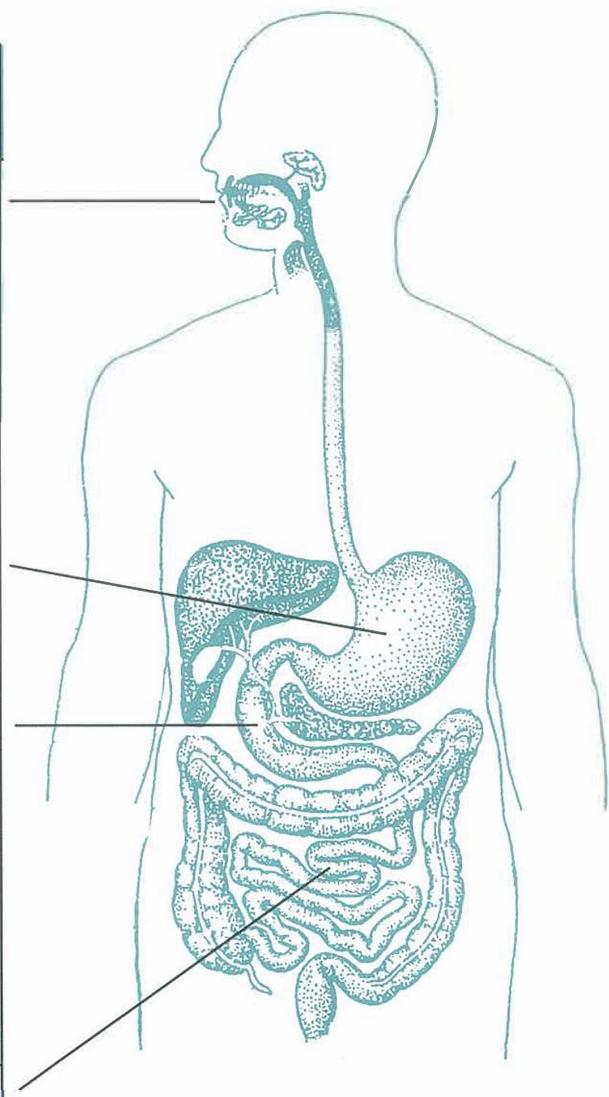
מהקיבה עובר המזון המועכל חלקי לתריסרין, החלק הקדמי של המעי הדק. אל התריסרין נשפך נוזל המופרש על ידי הלבלב המכיל אנזימים שונים (מפרק חלבונים, שומנים וסוכרים, ראו פירוט בטבלה שבמ附註) ורכיב גובה של יוני  $\text{CO}_3^{2-}$  המנטרלים את החומצות שבמזון ושמרים על H<sub>Ac</sub> ניטרלי או קצת בסיסי בתריסרין. ה-H<sub>Ac</sub> המיטבי לפעולות של האנזימים המופזרים על ידי הלבלב נע סביב 7.0 והוא קרוב לאח השורר בתריסרין.

בלוטות הנמצאות בהמשך המעי הדק מפרישות אנזימים נוספים (מפרק חלבונים, שומנים וסוכרים, ראו פירוט בטבלה) וריר בסיסי השומר על H<sub>Ac</sub> ניטרלי לאורך המעי. גם ה-H<sub>Ac</sub> המיטבי לפעולות של האנזימים המופזרים על ידי הבלוטות ברירית המעי נע סביב 7.0, שבו ה-H<sub>Ac</sub> קרוב לאח השורר בחלל המעי.

בטבלה הבאה מוצגים החלקים השונים של מערכת העיכול של אדם שבהם נעשה הפירוק הכימי של המזון, ה-H<sub>Ac</sub> של כל חלק, האנזימים הפועלים בו ומקור הפרשנות.

טבלה ג. גןזימים לאורך מערכת העיכול

הבלוטה המפרישה	האנזים	החלק במערכת העיכול וה-pH שלו
בלוטות הרוק	עמילאז	פה pH 6.8-7.0
בלוטות רירית הקיבה	פפסין (בנוכחות חומצה מלחית)	קיבה pH 1.0-2.0
לבלב	טריפסין, כימוטריפסין וקרבוקסיפפטידאזות ליפאז (בנוכחות מיצי מרחה* שמופרשים על ידי הכלב) עמילאז	תריסריון pH 7.0
בלוטות רירית המעי	אמינו-ופפטידאזות, קרבוקסיפפטידאזות, דיפפטידאזות ליפאז מלטаз, סוכראז, לקטאז	מעי דק pH 7.0



\* על פעולתם של מלחי המרחה למדתם בפרק "תרכובות הפחמן".

הפרשת האנאיים והנואלים אל החלקים השונים במערכת העיכול אינה רצופה, כי אם מבוקרת על ידי מגנון משוב. ההפרשה בכל חלק נעשית כאשר מזון מגע אליו, אם כי לעיתים גם מחשבה על מזון מעוררת הפרשות. המשוב מופעל גם על ידי המערכת העצבית וגם על ידי המערכת ההורמונלית.

### אכליים או לא...

- 
- 1) מה לדעתכם קורה לעמילא המופרש ברוק כאשר הוא מגיע עם המזון לקיבתו?  
 ב) מה קורה לפסין כאשר הוא מגיע לתריסריו?  
 ג) מה קורה ליפאץ הקיבה כאשר הוא מגיע עם המזון לתריסריו?  
 ד) מדוע אנויי העיכול המופזרים על ידי הלבלב יכולים להמשיך לפעול גם כשהמזון עובר למעי הדק?
- 2) סכמו מהו ה-Hק בכל אחד מחלקייה של מערכת העיכול (פה, קיבה, תריסריו ומעי הדק) וכייד הוא נשמר.

### הפרקון יולג...



הסרט "הפרקון בכימיה" מתוך הסדרה "עולם הכימיה" עוסק בסיסים ובחומצות. הסרט פותח במינון הקליני של בסיסים ובחומצות: טעם, תגובות אופייניות ושינוי צבעם של חומרי צבע (אנדייקטורים) ממוקור צמחי בנווכות בסיסים ובחומצות. בהמשך מוסברת ההבחנה בין בחומצות חזקות לחומצות חלשיות וכן ההבחנה בין בסיסים חזקים לבסיסים חלשים. לאחר מכן מוגמת החשיבות התעשייתית של בחומצות ובסיסים וההשפעה הסביבתית של גשם חמוץ. כמו כן מוצגת הגדרת ברונסטד-לאורי לבסיסים ולחומצות ומוסבר תפקידם החשוב של המים בכימיה של בסיסים ובחומצות. לבסוף מוגדר ה-Hק ומושבר היישום המשי של מושג זה.

\* הסרט "הפרקון בכימיה" הוא הסרט השישה-עשר בסדרה "עולם הכימיה". סדרה זו היא חלק מסדרות הטלקורס של פרויקט אננברג והופקה באוניברסיטת מרילנד בשיתוף עם מרכז הסרטים החינוכיים. המהדרה העברית הוכנה על ידי האוניברסיטה הפתוחה.



## tagobat satira

### 4א. מאפייני tagobat satira

כאשר מעורבים תמייסה מימית בסיסית עם תמייסה מימית חומצית, מתרחשת tagobat satira מיידית ביןיהן, משחרר חום ומתקובלים כתוצרים מים ומלח. התכונות שאפיינו כל אחת מהתמייסות האלה בנפרד, כמו שינוי צבעו של אינדיktור, נעלמות. במילims אחרות, תכונות התמייסה הבסיסית ותכונות התמייסה החומצית סותרות או מנטרלות אלו את אלו. לכן tagobat satira זו נקראת tagobat satira או tagobat natural. כדי לקבל תמונה ברורה יותר של tagobat satira נסקור כמה דוגמאות מייצגות.

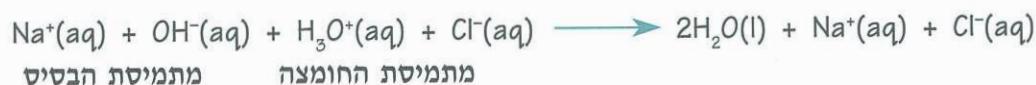
**דוגמא ראשונה:** ערוב של תמייסה מימית של נתרן הידרוקסידי עם תמייסה מימית של חומצה מימן כלורי. נבחן תחילת את הרכבה של כל אחת מתמייסות המגיבים. כשמימייסים נתרן הידרוקסידי במים, התרכובת הイונית מתפרקת לイוני נפרדים – יוני נתרן ויוני הידרוקסי – כפי שניתן להראות בניסוח הבא:



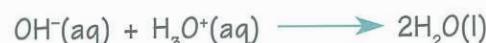
כשמימייסים מימן כלורי במים, מתרחשת tagobat בסיס-חומצאה בין המימן הכלורי לבין המים ונוצרים יוני הידרונוים ויוני כלור, כפי שניתן להראות בניסוח הבא:



עתה, כסבירו לנו אלו יוני נוכחים בשתי התמייסות, נוכל להבין מה קורה בעט הערבוב של התמייסות. בעקבות הערבוב מתרחשת tagobat בסיס-חומצאה בין יוני הידרונוים לבין יוני הידרוקסי. פרוטונים עוברים מיוני ההידרונוים ליוני הידרוקסי. ניסוח התגובה ייראה כך:



ואמנם, כפי שציינו קודם, תוצריו התגובה הם מים ומלח. במקרה זה המלח הוא נתרן כלורי. לאחר שינוי הנתרן ויוני הכלור לא עברו כל שינוי במהלך התגובה, ניתן להתייחס אליהם כאל "יוני משקיפים" ולנסח ניסוח נטו לתגובה בלבדיהם. הניסוח נטו של tagobat satira יהיה:



**סיכום:** תמייסה מימית שהכילה יוני הידרוקסי (תמייסה בסיסית) ותמייסה מימית שהכילה יוני הידרונוים (תמייסה חומצית) הפכו במהלך התגובה למים, והתקבלה תמייסה ניטרלית, וכן התרחשה satira.

**דוגמה שנייה:** ערבוב של תמישה מימית של אשלגן הידרוקסידי עם תמישה מימית של חומצה חנקתית.

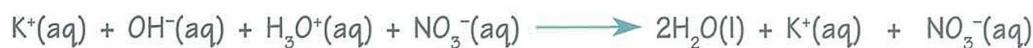
נבדוק תחילה את הרכבה של כל אחת מתמיסות המגיבים. כשמmisים אשלגן הידרוקסידי במים, התרכובת היונית מתפרקת ליוני אשלגן ויוני הידרוקסי. ניסוח התגובה הוא:



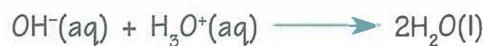
כששמmisים חומצה חנקתית במים, מתרחשת תגובה בסיס-חומצה בין החומצה החנקתית לבין המים, נוצרים יוני הידרונים ויוניים חנקתיים, כפי שניתן לראות בניסוח הבא:



וכשל היונים הנ"ל באים ב מגע אלו עם אלו, מתרחשת תגובה הסטירה, שניסוחה ייראה כך:



שוב קיבלנו מים ומלח, אלא שבמקרה זה המלח הוא אשלגן חנקתי. כמו בניסוח התגובה הקודמת, גם בניסוח הנוכחי מופיעים "יוניים משקיפים". הפעם אלו יוני אשלגן והיוניים החנקתיים. אם כך, ניתן לנתח ניסוח נטו לתגובה בعلוייהם. הניסוח נטו של תגובה הסטירה יהיה:



## אכזין לאקס...



1) כתבו ניסוח כולל של תגובה הסטירה המתרחשת בכל אחד מהמקרים הבאים:

א) ערבוב של תמישה מימית של ברום הידרוקסידי,  $\text{Ba(OH)}_2$ , עם תמישה מימית של חומצה מימן כלורית.

ב) ערבוב של תמישה מימית של נתרן הידרוקסידי עם תמישה מימית של חומצה גפרתית,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

2) כתבו את שמות המלחים שקיבלתם בכל אחת מהתגובהות הנ"ל.

3) כתבו ניסוח נטו לכל אחת מתגובהות הסטירה.

כפי שיכלתם לראות בכל הדוגמאות שהציגנו, תגובהות הסטירה בין תמישה מימית בסיסית לבין תמישה מימית חומצית הסתכמו בפועל במעבר פרוטוניים מיוני הידרונים ליוני הידרוקסי תוך יצירת מולקולות מים. כך קרה שקיבלנו ניסוח נטו שוחרר על עצמו בכל המקרים. חיזוק מספרי לתופעה זו של תגובה אחת שחווארת על עצמה בכל המקרים ניתן לקבל כאשר מודדים את האנרגיה המשתחררת בכל תגובה. שימושים רבים סטירה בין תמישות שונות של בסיסים וחומצות,

מקבלים תמיד את אותו ערך של אנרגיה בלי תלות במחאות הבסיס ו/או החומצה שהשתתפה בתגובה. ההסתגלות היחידה היא שהתרמיות תהינה מהולות, כך שלא תתקיים השפעה הדדיות בין היונים.

### תגובה הסתירה – הפטرون היעיל לצרבת

...על כל...

ה-H<sub>2</sub> של מיצי הקיבה הוא חומציז מאוד, לאחר שהם מיכלים ריכוז גבוה של חומצה מימן כלורית, ו-HCl, שהוא ידוע חומוצה חזקה. ה-HCl החומציז בקיבה דרוש לעיכול המזון, ובעיקר פעילותו של פפסין, אנזים מפרק חלבוניים. כניסה של מזון לקיבת, ואפילו מראה או ריח של מזון, מגירה תאים בדופן הקיבה להפריש מיצי קיבה. התאים בדופן הקיבה עצמה מוגנים מפני החומצה החזקה באמצעות שכבות ריר עבה בעלת H<sub>2</sub> בסיסי. הצרבת נגרמת כאשר נואלים חומציזים עולים מהקיבת אל הוושט. החומצה החזקה פוגעת בדופן הוושט שאינה מוגנת מפנים וגורמת לכאב. במצב נורמלי שירט טבעי מונע את מעבר החופשי של חומצה מהקיבת אל הוושט. אזנות עתירי שומן, משקאות מוגזים, אלכוהול ו夷ישון עלולים להחlijש את השירט ולאפשר מעבר חומציז מהקיבת אל הוושט. נשים רבות חשות צרבת בתקופת ההריון, זאת מושם שההורמון אסטרוגן, שרמתו גובהה בתקופת ההריון גורם אף הוא להחלשת השירט.

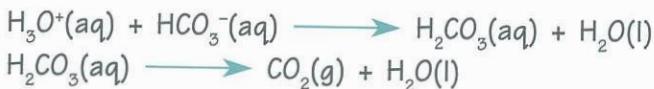
מה ניתן לעשות כדי להקל על כאבי הצרבת? ניתן להשתמש בסוגים שונים של תרופות סותריות חומציז (antacids). תרופות סותריות חומציז מכילות מיכליות בסיסים חלשים או בסיסים בעלי מסיסות נמוכה במים. תרופות להקלת צרבת מיכליות מרכיב בסיסי אחד או יותר. התפקיד של סותרי חומציז אינו להפוך את נזלי הקיבה לניטרליים, כי אז היה מעוכב תחוליך העיכול בקיבה, ותאי דופן הקיבה היו מגיבים בהצפת הקיבה בחומציז. התפקיד של סותרי חומציז הוא לסתור די חומציז כדי להקל על הכאב אך בלי לפגוע בפעולות התקינה של הקיבה. שימו לב! אם ה-H<sub>2</sub> של הקיבה לפני נטילת התרופה הוא 1, והתרופה מנטרלת 90% מהחומציז בקיבה, ה-H<sub>2</sub> של הקיבה עולה רק ביחס אחת ל-2-H<sub>2</sub>.

**טבלה ג8. סותרי חומציז בשימוש מסחרי**



שם החומר	נוסחה
מגניזיום פחמתי	MgCO <sub>3</sub>
סידן פחמתי	CaCO <sub>3</sub>
натרין מימן פחמתי (סודה לשתייה)	NaHCO <sub>3</sub>
מגניזיום הידרוקסידי	Mg(OH) <sub>2</sub>
מגניזיום חמצני	MgO

ההשלטה באיזה סוטר חומצה להשתמש מובססת על המרכיבים הפעילים שבתרכופה. לכל חומר פעיל יש יתרונות וחסרונות. סודה לשתייה היא סוטר החומצה הנפוץ ביותר. בתגובה בין סודה לשתייה לבין חומצה נוצרת בשלב ראשון חומצה פחמתית. חומצה זו אינה יציבה והוא מתפרקת תוך ייצור מים ופחמן דו-חמצני:



כפי שניתן לראות בניסוח, במהלך התגובה משתחרר  $\text{CO}_2$  במצב גז. זו הסיבה שלאחר השימוש בסודה לשתייה משחקים.

השימוש הנפוץ בסודה לשתייה נובע מהיותה זמינה, זולה ובנוסף לכך היא מסיפה, ולכן היא עילה תוך זמן קצר. החיסרונו שלה הוא בשימוש יתר היא עלולה לעבור למעי, להיספג בזרם הדם ולגרום לדם להפוך בסיסי מדי, מצב המכונה אלקלואיס. ההידרוקסיד והתחומצת שבittelha הם חומרים הרבה פחות מסיסים, ולכן הסיכון שייספגו בדם קטן יותר, אך גם יעלותם פחותה יותר. היעילות של סוטר חומצה ניתנת למדידה על ידי כמות החומצה שהוא סוטר. קצב הסטירה חשוב אף הוא, אך אין זה אומר שקצב מהיר הוא הקצב האידיאלי. סוטר. קצב הסטירה חשוב מתוון, משום שהוא מפחית את הסיכון שהקייבת תיצור עודף של הקצב המועדף הוא קצב מתוון, משום שהוא מפחית את הסיכון שהקייבת תיצור עודף של חומצה בתגובה לנוכחות סוטר החומצה. לתרופות השונות יש גם תופעות לוואי. סיון פחמות בטוח בכמותות קטנות, אבל שימוש תכוף בו עלול לגרום לעיצרות. לעומת זאת, שימוש בכמותות גדולות של תרופות המכילות מגנזיום עלול לגרום לששלול. מיסיבות אלו מכילות תרופות סוטרות חומצה מסויימות תערובת של כמה מרכיבים בסיסיים. גלולות של סוטרי חומצה מכילות גם חומרי מלין, כמו עמילן או סוכר, המכנים לולאה את צורתה הגדולה. חומרים אלו גם ממ坦נים את הטעם התפל, ולעתים הטעם המר, של הבסיסים (זוכרים?).

### מדוע כדאי לשטוף ידיים במיין לימון לאחר שנוגעים בדג?

הريح הלא נעים האופייני לדגים מקורה באמינים שהם חומרים נדיפים המשחררים מזדים

ולאחר מותם. על פי הגדרת ברונסטד-לאורי, אמינים הם בסיסים.

כמו כל בסיס, בתגובה של אמין עם חומצה נוצר מלח. המלח

המתקיים אינו נדיף ובשל כך גם לא נודף ממנו ריח לא נעים. لكن מומלץ להוסיף לימון לדג לפני הבישול או האכילה וכן לשטוף ידיים במיין לימון אחריו שנוגעים בדגים. תגובת הסטירה בין האmins שבדג לבין חומצת הלימון שבylimון מונטרלת את ריחו הלא נעים של הדג. אגב, הריח האופייני של הים נובע אף הוא משחרור אמינים על ידי בעלי-חיים ימיים לאחר מותם.

የፌዴራል በፌዴራል ከፌዴራል

ԵՐԱԾՈՒՅԹ ՀՈ ԵՔ ՀՇԱՎ ԱՅ ԱՎԼԻՎՈ ՆԻ ԱՅ ԱՎԼԻՎՈ „ԱԼԻՎՈ“ Ի ԽԵՍ ՇՎԵՅ ԱԼԱ ՀԵ  
ՀԱԼԳԴՈՒՄ ԱԿՈ' ԱՎԼԱՄ ԱՎԻԵ ԵՎԱ-ԱՎԱԲ ՇՋՄ ԱԵՍ ԱԺԱԼԵԾ ՆԻ ԱՆՎԱՐԾ ԱՐՎԱՆ  
ԻԿ ԵՎԱ ՇՋԱԾ ԽՄ՝ ԵՐԱԾ ՀՎԵՐԵ ՍԱՎԱԼ ԱԵՍ ԱՅ ԱՎԼԻՎՈ ԿԵՐ ԱՎԼԻՎՈ ՄԵԾԾ  
ԻԿ ԱՎԻԵ ՇՋՄ ԱՎԼԱՄ ՑԽԱ ՀԱԴ ՀԽԱ ԱՎԻԵ ՇՎԵՐԵ ՍԱՎԱԼ ԿԱ ԿԵՐԵՄ ԻԿ ՄԱՏԱՆ ՆԻ  
ՍԱՎԱԼ ԱԵ ԱԼԵՎԾՈ ԱԿՈ' ԱՎԼԱՄ ԻՕ ՎԱՎԾ ԻԿ ԱՎԾԻ ԱԵՎԵՐԱ ՀԱԴ ԱԼԵԾ ՎԱԾԾ ՄԱՅ  
ԱՎԻԵ ՇՎԵՐԵ ՍԱՎԱԼ ՄԻՆ ՀԱԴ ԵՎԾ ԱՎՃԱՐ ՇԽԱՆ ԱՎԼԻՎՈ ՇՋՄ ԱՎԼԻՎՈ ՎԵՐԾ  
ՎԱԼԵՎԵՐԾ ՍԱՎԱԼԵԾ Վ/Ն ԱՆՎԱՐԾ ԱՎԻՎԵԾ ԱՋԾ ԽՄ ԻԿ ԱՎԻԵ ՇՋՄ ԱՎԼԱՄ ՀԱԴ ԱՎ  
ԱՎԵՐԵ ԱՎԼԱԼԵԾ ՍԱՎԱՆԱՄ ԵԾ ԱՅ ԱՎԼԻՎՈ ՀԱՐ ԱՎԼԻՎՈ ԱՎԼԱՄ ԻՕ ԱՎԻԵ ԱԵՍ  
ԵՎԾԾ ԱՎԼԵ ԻԿ ԵՎԾ ՎԵՐԵ ՍԱՎԱԼ ՄԱՅ ՄԻՆ ՀԱԴ ԿՐԾ ԱՎԼԱՄ ԻԵՍ ԵՐԱԾ ՀՎԵՐԵ ՍԱՎԱԼ  
ՍԱՎԱԼ ԱՎՎԵՐԵ ԱԿՈ ԽԾ ՀՆ ԱՎԼԱՎՈ ԵՎԻԳ ԵՎԾ ԵՎԻՎՈ ԽԾ ԽՎԵՐԾ ԵՎԾԾ ԱՎԼԻՎՈ



## ԱՐԵՎԻ ՃՎՆԸ ՃՎՆՈՒՄ

...Pnrf 62

Ա-01.1 < [(թթ). $O^{\circ}H]$  լև-Hd ազ աւս բալ պ-լ' բակօ ող պլառալ գետս սցմէր՝  
աւս բալ պ-լ' ոն շնու սպրւ որ բիլ ազ ար սելլիցօ պլառ սպաքը առ մարմ  
որ բիլ ազ ար սելլիցօ պլառ սպաքը առ բակօ ա-01.1 < [(թթ).HO] լև-Hd ազ  
„բիլ սելլիցօ“ պլառս պաքը զն լուս բակօ (լ ≠ Hd) ոն շնու սպրւ  
բիլ ընսօ բակօ ար ար պարօ առ լոցօ ԾՆԱԼ ԽՄ առ ար առ ող պար  
ալլս ազ ար սելլիցօ և սելլիցօ (ՏԱՑՂ զն ալլս ազ ար ար) պատ սպաքս լու  
ցրւու յնու ԾՆԱԼ ԾՐԼԵՅՕ բակօ ար ար լուսը՝ լուսակալ ար ար սպաքը զն  
ա-01.1 = [(թթ).HO] = [(թթ). $O^{\circ}H]$  բակօ լու պլառալ գետս սցնու.



100

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԽՎԱՐԱԿԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՆՐԱՊԵՏԱԿԱՆ ՎԵՐԱՎՐԱՄ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՆՐԱՊԵՏԱԿԱՆ ՎԵՐԱՎՐԱՄ



**⚡ Ե ԱՎԵՏԱ ԱՎԱՐԱ, ԹՎ ՄՐՎԵՄ ՃՎԵԼՄ**

### • היוצרות מלח קשה תמס

כדי להמחיש את פרטיו התהיליך נתאר את התגובה בין תמיisha מימית של ברוים הידרוקסידי לבין תמיisha מימית של חומצה גפרתית. כאמור תחילת את הרכבה של כל אחת מתמייסות המגיבים. בהמסת ברוים הידרוקסידי במים מותקבים יוני ברוים ויוני הידרוקסי, כפי שניתן לראות בניסוח הבא:



כשיצרים תמיisha מימית של חומצה גפרתית, מותקבים יוני הידרוניום ויוניים גפרתיים. את זאת ניתן לראות בניסוח הבא:



וכשתני התמייסות מעורבות יחד, מתרחשות שתי תגובות במקביל: סטיירה ושיקוע.



יוני הידרוניום ויוני הידרוקסי יצרו את מולקולות המים (הפעם בכמות כפולת) ויוני הברוים יחד עם היוניים הגפרתיים יצרו את המלח קשה התמס – ברוים גפרתי.

### ...אכלי אקס...



נסחו את התשובות המתרכשות כאשר מערבבים תמיisha מימית של ברוים הידרוקסידי עם תמיisha מימית של חומצה זרחתית,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . תנו דעתכם לכך שהמלח ברוים זרחתי,  $\text{Ba}_3(\text{SO}_4)_2$ , הוא מלח שאינו מסיס במים.

### • היוצרות מלח בעל אופי חומציז או בסיסיז

קטגוריה זו של תשובות סטיירה נחלקת לשניים:

- 1) תגובה סטיירה בין בסיס חלש לבין חומצה חזקה. בתגובה זו מותקבל קטיון חומציז.
- 2) תגובה סטיירה בין בסיס חזק לבין חומצה חלה. בתגובה זו מותקבל אניון בסיסיז.

ננתן דוגמה אחת מכל סוג:

1) דוגמה לתגובה בין בסיס חלש לבין חומצה חזקה היא, למשל, התגובה בין תמיisha מימית של אמונייה לבין תמיisha מימית של חומצה מימן כלורית. תמיisha מימית של אמונייה היא מערכת שמתקיים בה שיווי-המשקל הבא:



תמיisha מימית של חומצה מימן כלורית היא תמיisha שבה נוכחים יוני הידרוניום ויוני כלור, לפי הניסוח הבא:



הוספת חומצה חזקה לבסיס חלש משפיעה על מצב שיווי-המסקל של הבסיס החלש וגורמת לתגובה להתרחש בשלמות, כלומר, נטיה מוחלטת לכיוון התוצרים. כך יוצא, שבערבוב שתי התמיסות מקבלים את הצורונים הבאים:  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{NH}_4^+(\text{aq})$ . בין יוני הידרוקסלי לבין יוני הידרונוים מתרכשת סטירה ומתקבלים, כרגע, מים. ועכשו לחידוש: יון האмонיום שנותר במערכת הוא, למעשה, החומצה הצמודה של בסיס חלש – אמונייה – וככזה הוא חזק יחסית. יון האמון הוא חומצה חזקה יותר ממים, ולכן מוגיב עמו בתגובה בסיס-חומצה. ניסוח התגובה הוא:



מהניסוח הנ"ל נובע שבתום תגובה הסטירה מצויים במערכת יוני הידרונוים, ולכן התמיסה המתקבלת היא חומצת בעלת  $\text{pH} < 7$ .

(2) דוגמה לתגובה סטירה בין בסיס חזק לבין חומצה חלהה היא, למשל, התגובה בין תמיסה מיימית של נתרן הידרוקסידי לבין תמיסה מיימית של חומצת חומץ. נתרן הידרוקסידי במים מפורק למגרמי ליאונים, לפי הניסוח:



תמיסה מיימית של חומצת חומץ היא מערכת שמתקיים בה שיווי-המסקל הבא:



בדומה לדוגמה הקודם, הוספת הבסיס חזק לחומצה החלשה משפיעה על מצב שיווי-המסקל של החומצה וגורמת לתגובה להתרחש בשלמות, כלומר, נטיה מוחלטת לכיוון התוצרים. במקרים אחרים, בערבוב שתי התמיסות מקבלים את הצורונים הבאים:  $\text{Na}^+(\text{aq}), \text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$ . גם הפעם מתרכשת סטירה ומתקבלים מים, אך אין זה כל "סיפור". יון האתאנואט שנותר במערכת הוא הבסיס הצמוד של חומצה חלהה – חומצת חומץ (חומצה אתאנואית) – וככזה הוא חזק יחסית. יון האתאנואט הוא בסיס חזק יותר ממים, ולכן מוגיב עמו בתגובה בסיס-חומצה. ניסוח התגובה הוא:



ומה קיבלנו הפעם? תמיסה מיימית המכילה יוני הידרוקסידי, זאת אומרת שבתום תגובה הסטירה מתקבלת תמיסה בסיסית בעלת  $\text{pH} > 7$ .

...אכלי טעם

הסבירו מדוע בתגובה סטירה המתרחשת בין בסיס חזק לבין חומצה חזקה מתקבל מלך הנחשב לניטרלי.



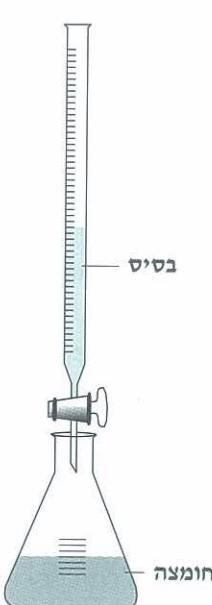
כדי "לסגור מעגל" חזרו לדוגמאות של תגובת הסתירה שהופיעו בסעיף 4א'. אם תעשו כן, תיווכחו לדעת שבכלן מדובר בתגובה בין בסיס חזק לבין חומצה חזקה, ולכן התקבלה תמיisha ניטרלית בעלת  $\text{pH}=7$ .



## 4ג. טיטרציה

אחד השיטות השימושיות ביותר בכימיה אנליטית נקראת טיטרציה. טיטרציה היא תהליך מעבדתי שבו מוסיפים באופן הדרגי ומדוד נפח של תמיisha חומר בריכוז ידוע לתמיisha של חומרים על שאט ריכוזה מעוניינים לדעת. בין שני החומרים מתרכשת תגובה, יחס המולאים בין החומרים על פי הניסוח המאוזן הוא חישוב הריכוז הנעלם על סמך הריכוז הידוע. בטיטרציה של חומצה-בסיס מוסיפים בסיס לחומצה או חומצה לבסיס והתגובה מתרכשת ביןיהם היא, כמובן, תגובה סטירה.

### תיאור מהלך הטיטרציה



נניח שבידנו מודגם של תמיisha חומצית לריכוזה אינו ידוע, התמיisha יכולה להיות מי גשם החשודים כחומצאים או טבליות אספירין מומסת במים שהמרכיב הפעיל בה הוא חומצה אצטיל-סליצילית, או תמיisha של ויטמין C שהמרכיב הפעיל בה הוא חומצה אסקorbית וכיוצא באלה... מה עליינו לעשות כדי לדעת את ריכוזה של התמיisha? לוקחים נפח מדוד מודגם התמיisha החומצית, מעבירים אותו לאrlenמייר ולתוכו מוסיפים באמצעות בירטה\* תמיisha של בסיס בריכוז ידוע, כפי שניתן לראות באIOR. עם הוספת הבסיס מתרכשת תגובה סטירה בין יוני הידרונים שמצויים באrlenמייר ליוני הידרוקסי שהוספו להם. התהליך נמשך ונמשך כל עוד באrlenמייר נוכחים יוני הידרונים.

בנוקודה מסוימת יוני הידרוקסי שהוספו סותרים את כל יוני הידרונים שהיו בתמיisha, במלils אחריות התרכשה סטירה מלאה. נקודה זו נקראת **הנקודת האקוויולנטית של הטיטרציה**. נקודה אקוויולנטית פירושה הנקודת שבה מצויות כמות שקולות (בלועזית - אקוויולנטיות) של יוני הידרונים ויוני הידרוקסי. וכך אכן יודעים שהגענו לנקודה האקוויולנטית? ובכן, הדרך הנוחה והפשוטה ביותר ביוטר היא לבצע את הטיטרציה בnockחות אינדיקטור, שיראה שינוי צבע ברגע שתמיisha שהייתה חומצית תהפוך לניטרלית. למעשה, נדרש כמהות עודפת עיראה של בסיס כדי Lagerom לשינוי צבעו

\* בירטה: כלי זכוכית לצורתו צינור שעליו מסומנות שנותות ובתחתיתו ברז המאפשר הזרמה הדרגתית של נפח רצוי של תמיisha (מופיע באIOR הנ"ל).

של האינדיקטור. כך יוצא, שהטיטרציה מאופיינת בעצם על ידי שני מעצבים: האחד נקרא הנקודה האקוויולנטית – הנקודה התוארכית שבה מתרחשת סטירה מלאה בין הבסיס לחומצה, והשני נקרא נקודת הסיום – הנקודה שבה האינדיקטור מראה בפועל שינוי צבע, ועל פי שינוי זה אנו יודעים שהטיטרציה הסתיימה. כדי שקריאת הנפה שנפיק מהטיטרציה תהיה מדויקת ככל האפשר, יש לבחור אינדיקטור באופן כזה שנקודת הסיום שהוא יראה קרובה ביותר לנקודת האקוויולנטית. בדף זו הפרש בnP חלים בין שתי הנקודות יהיה זניח.

אפשרות אחרת למקבב אחר מHALC טיטרציה הוא לעקוב אחר השינויים החלים ב-H<sub>A</sub> של התמישה. במקרה שבו אנו עוסקים ב-H<sub>A</sub> התחלתי של התמישה הוא חומצى. ההוספה הדרגתית של תמישת הבסיס גורמת לעלייה הדרגתית ב-H<sub>A</sub> של התמישה. אך כשמתקרבים לנקודת האקוויולנטית כל מפנה: הוספה של טיפולות בודדות של תמישת הבסיס גורמת לעלייה ב-H<sub>A</sub> במספר ייחודיים אחרים, ניכרת "קפיצה" חדה ב-H<sub>A</sub>. השינוי החד זהה בערכו של ה-H<sub>A</sub> של התמישה מאפשר לנו לאחות את שלב סיום הטיטרציה.

## אנו עושים...



### האם בנקודת האקוויולנטית התמישה היא בעלת 7=H<sub>A</sub>?

לאו דווקא. כאמור, הנקודה האקוויולנטית היא הנקודה שבה מתרחשת סטירה מלאה. זאת אומרת שבתמישה נוכחים רק מלח ומים. נובע מכך, שה-H<sub>A</sub> בנקודת האקוויולנטית הוא, למעשה,  $\text{H}_A = \text{H}_\text{A}$  של תמישת המלח שנוצר. כפי שראינו ב-[אנו עושים...](#) תגבות מיוחדות, המלח המתקיים יכול להיות ניטרלי, חומצى או בסיסי. כשמתבצעת טיטרציה של סטירה חזקה על ידי בסיס חזק, תמישת המלח המתקבלת ניטרלית וה-H<sub>A</sub> בנקודת האקוויולנטית הוא 7. כשמתבצעת טיטרציה של חומצה חזקה על ידי בסיס חלש (כמו במקרה של תמישת מימית של חומצה מימן כלורית ותמישה מימית של אמונייה), המלח המתקיים הוא בעל אופי חומצى ו-H<sub>A</sub> של התמישה בנקודת האקוויולנטית נמוך מ-7. ואילו כשמתבצעת טיטרציה של בסיס חזק על ידי חומצה חלה (כמו במקרה של תמישת מימית של נתרן הידרוקסידי ותמישה מימית של חומצת חומצן), המלח המתקיים הוא בעל אופי בסיסי וה-H<sub>A</sub> של התמישה בנקודת האקוויולנטית גבוהה מ-7.

### שימוש לבי:

העובדת שהנקודה האקוויולנטית בטיטרציית חומצה-בסיס יכולה להיות שונה מ-7 = H<sub>A</sub> צריכה להילך בחשבון בבחירה האינדיקטור המתאים לסימון סיום הטיטרציה.



## לאחר הטיערציה – החישוב

כדי לסתור 50 מ"ל של תמיסת HCl נדרשו 60 מ"ל של תמיסת NaOH ברכז M<sub>1</sub>. נחשב מהו הרכז המולרי של תמיסת החומצה.

**שלב א:** חישוב מספר המולרים של יוני הידרוקסי שנדרשו לשטירה מלאה. הנוסחה לחישוב ריכוז מולרי היא, כידוע:

$$C = \frac{n}{V}$$

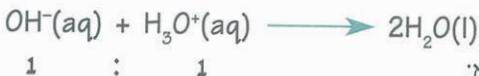
כאשר C מייצג את הרכז המולרי, n מייצג את מספר המולרים של המומס ו-V מייצג את נפח התמיסה (בליטרים).

אם נארגן את הנוסחה לפי החישוב המבוקש, נקבל:  $V \cdot C = n$

במקרה שלפנינו:  $n$  הוא מספר המולרים של OH<sup>-</sup>, C הרכז של OH<sup>-</sup> בתמיסה, V הוא נפח תמיסת הבסיס (בליטרים). נציב את הנתונים ונקבל:

$$n(OH^-) = \frac{1\text{mol}}{L} \cdot 0.060\text{L} = 0.06\text{mol}$$

**שלב ב:** מציאת מספר המולרים של יוני הידרוניים שהיו בתמיסת החומציה. הניסוח נטו של תהליך השטירה הוא:



יחס המולרים בין יוני הידרוקסי ליוני הידרוניים הוא:  
מהניסיונות הנ"ל לומדים שבשתירה מלאה מספר המולרים של יוני הידרוניים ויוני הידרוקסי שווים, ולכן:

$$n(H_3O^+) = n(OH^-) = 0.06 \text{ mol}$$

**שלב ג:** חישוב ריכוז יוני הידרוניים בתמיסת החומצה  
נציב בנוסחה לחישוב הרכז המולרי את מספר המולרים של יוני הידרוניים והנפח של תמיסת החומצה:

$$C = \frac{0.06\text{mol}}{0.050\text{L}} = 1.2\text{M}$$

מסקנה: ריכוז התמיסת המימית של החומצה הוא M<sub>2</sub>=1.2.  
הערה: לאחר שהריעון שעומד מאחורי החישוב הובהר, ניתן לקצר את החישוב לצורה הבאה:  
אחר ש-

$$n(OH^-) = n(H_3O^+)$$

ניתן להציב ישירות

$$C \cdot V(OH^-) = C \cdot V(H_3O^+)$$

וכך בכל פעם שיש שלושה נתונים, ניתן למצוא את הריבועי.

## אנו לך...



- 1) כמה ליטרים של תמיסת מימית של  $\text{NaOH}$  בריכוז 0.1M נדרשים כדי לסתרו:
- 1 ליטר של תמיסת מימית של  $\text{HCl}$  בריכוז 0.1M?
  - 0.5 ליטר של תמיסת מימית של  $\text{HCl}$  בריכוז 0.2M?
  - 3 ליטר של תמיסת מימית של  $\text{HCl}$  בריכוז 0.01M?
- 2) 20 מ"ל של תמיסת מימית של  $\text{SO}_4^{2-}$ , בריכוז 2M סותרים 100 מ"ל תמיסת מימית של  $\text{NaOH}$ . מהו הריכוז של תמיסת ה- $\text{NaOH}$ ?
- הערה: יש לזכור בחשבון ש  $\text{H}_2\text{SO}_4$  היא חומצה רב-פרוטית ומכל מול של  $\text{H}_2\text{SO}_4$  מתקבלים שני מול של  $\text{H}^+$ . לאחר החישוב כרגיל.

## פעילות מספר 5: תגوبת סטירה



**המטרה:** בניסוי זה תערכו שתי תגופות סטירה: הראשונה – בין סידן הידרוקסידי לבין חומצת חומץ שתיעשה באופן איקוטי, והשנייה – בין אספירין לבין הידרוקסידי שתיעשה באופן כמותי.

### חומרים:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| ✓ 20 מ"ל חומץ ביתי (חומצת חומץ, 5% $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) | ✓ כוס כימית של 100 מ"ל           |
| ✓ סידן הידרוקסידי מוצק, $\text{Ca}(\text{OH})_2$              | ✓ משורה של 25 מ"ל                |
| ✓ מים מזוקקים   | ✓ כפית פלסטיק קטנה               |
|   | ✓ נייר $\text{H}\ddot{\text{A}}$ |
|   | ✓ מקל זכוכית                     |

### מבצעיו ל עבודה:

#### א. תגوبת סטירה בין סידן הידרוקסידי לבין חומצת חומץ

- 1) מזרזו 20 מ"ל חומץ ביתי בעורת המשורה ושפכו אותם לכוס הכימית.
- 2) מזרזו 20 מ"ל מים מזוקקים בעורת המשורה, העבירו אותם לכוס וערבבו בעורת מיל זכוכית.
- 3) קבעו את ה- $\text{H}\ddot{\text{A}}$  של התמיסה שהתקבלה בעורת נייר  $\text{H}\ddot{\text{A}}$  ורשמו את התוצאה.
- 4) הוסיפו חצי כפית סידן הידרוקסידי לתמיסת החומץ שבכוס. ערבבו בעורת מיל הזכוכית, עד שכל הסידן הידרוקסידי יתמוסס.
- 5) קבעו את ה- $\text{H}\ddot{\text{A}}$  של התמיסה שהתקבלה בעורת נייר  $\text{H}\ddot{\text{A}}$  ורשמו את התוצאה.
- 6) חוזרו על סעיפים 4 ו-5 עד שלא תבוחנו בשינוי נוסף ב- $\text{H}\ddot{\text{A}}$ .

### **ב. טירציה של אספירין**

המרכיב הפעיל באספירין הוא חומצה אצטיל סליצילית. חומצה זו יודעה כחומר משכך כאבים ומוריד חום והוא מצוייה גם בתרופות אחרות לשיכוך כאבים. לקביעת כמות החומצה האצטיל סליצילית באספירין, או בתרופה אחרת, ניתן לבצע טירציה.

#### **כליים:**

- ✓ מכתח ועלי
- ✓ 2 טבליות אספירין (לא בופר)
- ✓ 100 מ"ל תמיסת נתרן הידרוקסידי 1M NaOH
- ✓ פנולפתלאין
- ✓ מים מזוקקים
- ✓ מחזיק בירוטות
- ✓ ארלנמייר של 250 מ"ל
- ✓ משפך קטן

#### **ועבשו לעובדה:**

- 1) כתשו את הטבלית בעארת מכתח ועלי והעבירו את הטבלית הכתושה לארלנמייר.
- 2) שטפו את שרירות התרופה בעארת כמויות מדוימות של מים מזוקקים והעבירו אותם לארלנמייר. הקפידו שהנפח הסופי של המים שהשתמשתם בהם לשטיפות לא יעלה על 50 מ"ל. אם השתמשתם בנפח קטן יותר של מים, השלימו אותו ל-50 מ"ל.
- הערה: אם המסה אינה מושלמת אל דאגה, שכן החומרים שלא התמוססו אינם המרכיב הפעיל, אלא חומרי מילוי של התרופה.
- 3) קחו בירטה יבשה ונקייה, שטפו אותה בתמיסת נתרן הידרוקסידי, שפכו את תמיסת השטיפה ומלאו את הבירטה מחדש בתמיסת נתרן הידרוקסידי. שימו לב שאין בועת אויר כלואת לאורך הבירטה.
- 4) הוסיפו 5 טיפות של האינדיקטור פנולפתלאין לארלנמייר המכיל את תמיסת התרופה. ערבו את התמיסה בתנועה סיבובית.
- 5) טרוו את התמיסה תוך ערבות מתמיד עד להופעת גוון וורוד יציב בארלנמייר. רשמו את נפח הבסיס שנזקקתם לסתירת החומצה. זה יהיה נקודת הסיום של הטירציה.
- 6) כדי לאשר את תוצאותם ערכו טירציה נוספת עם טבלית האספירין השנייה. הפעם כשאתם יודעים את נפח הבסיס שהשתמשם בו בטיטור הקודם, אפשר להוסיף להוסף את רובו בבת אחת, ורק את 2 המ"ל האחרונים של הבסיס יש להוסיף בザירות טיפה אחר טיפה, עד אשר הצבע והורוד של האינדיקטור יהיה יציב. רשמו את נקודת הסיום. אם אתם מתלבטים לגבי נקודת הסיום המדויקת, חזרו על התהליך פעמיinus.

#### **סיכום:**

- חלק א': 1) נסחו את תגובת הסטירה המתרכשת בין חומצת חומץ לבין סידן הידרוקסידי.  
 2) תארו מה קרה לא-ה-ה-בקבוק כל הוספה של סידן הידרוקסידי. הסבירו את ה-ה-ה-בקבוק שהתקבל בכל שלב.

ԱՎԵՐԵԼ ՏՎԱԿԻ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՇՈՒՐՈՒՅՆ

ՀԱՅԵՐ ԲՈՒԺ ԱՅ ԱՎԱԼԻՆՆ ՔԻՆ ՀԱՅԵՐ ԵԽԱ ԱԿԵՐՆ ԲԳ ԱՅ ԱՎԱԼԻՆՆ ԲԳ ԱԿԵՐՆ



UNCLCLCL CL «LNCL:

Digitized by srujanika@gmail.com

ԱՆՁԵՐԻ ԽԱՐԱ ՀՀԱՐԱԿԻ ԲՈՒՋԵ ԱՆԴՐԱՌ ԱՆ ԱՌԱՅԻ

- 4) Առաջ առաջ պատճենը սերմակ գերհայի (բառը ակնկալեալ:  $O^9H^6$ ) բացէւք  
պալլ: Պատճեն արակ-գերհայի և՛ն պատճեն ԱԼ-ԵԱԼԻԿ:

5) Առաջ առաջ պատճենը սերմակ գերհայի բակչո շնչու պահպան:  $\lambda + c = n$

## אנו גוזאך...



### השפעת ה-H<sub>2</sub>K על הרכב האינדיקטור

עתה יש ביכולתנו להבין כיצד ה-H<sub>2</sub>K של תמייטה משפיע על היחס המוטבי בין שני חצורים של האינדיקטור – המולקולרי והאנוני – ועל ידי כך קובע את צבע התמייטה שהאינדיקטור שرؤי בה. נסח שנית את תגבורת שיווי-המשקל של האינדיקטור במים וננתח את השפעת ה-H<sub>2</sub>K כהפרעה לשיווי-משקל זה.



בסביבה חומצית ריכוז יוני הידרונים גבוה יחסית, והדבר גורם להתגברות התגובה ההופוכה. כשהתגובה ההופוכה מתגברת [aq]<sup>-</sup>HIn[>>]aq, התמייטה מקבלת את "צבע החומצית" של האינדיקטור.

לעומת זאת, בסביבה בסיסית ריכוז יוני הידרוכטי גבוה יחסית וריכוז יוני הידרונים נמוך יחסית. הדבר גורם להתגברות התגובה היירה. כשמתגברת התגובה היירה [aq]HIn[>>]aq<sup>-</sup>HIn, התמייטה מקבלת את "צבע הבסיסי" של האינדיקטור. אנחנו, כ"צופים מbehזע", רואים את צבע התמייטה וממנו מסיקים על ה-H<sub>2</sub>K שגרם לו.

בטבלה הבאה מופיעות דוגמאות של כמה אינדיקטורים ושינוי הצבע האופייני להם. כמו כן, מופיע טווח ה-H<sub>2</sub>K שבו כל השינוי בצבע (מה שהואvr כ"אזור הדמדומים" של האינדיקטור).

### טבלה ג'. שינוי צבע של אינדיקטורים

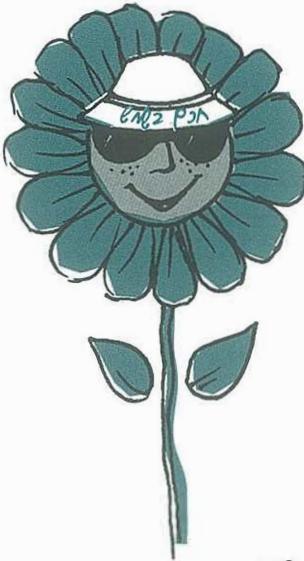
האינדיקטור	צבע האינדיקטור בצורתו החומצית	צבע האינדיקטור בצורתו הבסיסית	טווח ה-H <sub>2</sub> K של השינוי בצבע
מתיל אורגני	אדום	צהוב	3.2-4.4
מתיל אדום	אדום	צהוב	4.8-6.0
ברומוטימול כחול	כחול	צהוב	6.0-7.6
לקמוס	אדום	כחול	5.0-8.0
פנולפתלאין	חסר צבע	ורוד	8.2-10.0
אליזירין	אדום	סגול	11.0-12.4

כפי שנitinן לראות בטבלה, לכל אינדיקטור יש טווח H<sub>2</sub>K אחר שבו הוא משנה את צבעו. טווח ה-H<sub>2</sub>K שבו האינדיקטור משנה את צבעו ייחודי לו, משומש שהוא תוצאה של החזקתו של חומרה, זאת אומרת תוצאה של קבוע החומרה שלו, K. הייחודיות זו של כל אינדיקטור נלקחת בחשבון בעת בחירת האינדיקטור המתאים ביותר לקביעת סימנה של טיטרציית חומרה-בסיס. האינדיקטור המתאים ביותר לקביעת סימנה של טיטרציה הוא זה שטווח ה-H<sub>2</sub>K שבו הוא משנה את צבעו קרוב ככל האפשר לערך ה-H<sub>2</sub>K של המלח הנוצר בתהליך הסטירה.



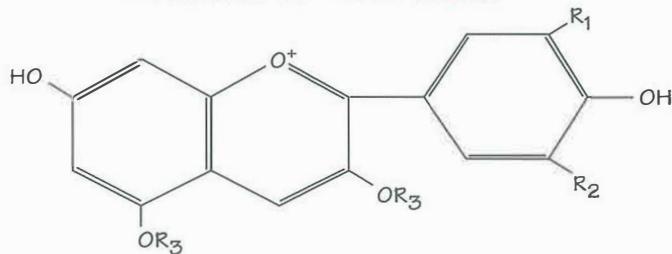
...עליכם

## מדוע מיצי כרוב יכול לשמש כאינדיקטור לבסיס-חומרה?



מיצוי של כרוב אדום או של עלי כותרת של פרחים שונים כמו: פיטוניות, אמנון ותמר, ורד והיביסקוס יכול לשמש אינדיקטור לבסיסים וחומצות. הפרחים הללו מכילים בחוליות שלהם חומרי צבע הנקראים **אנטוציאנים**. האנטוציאנים מknים צבע לעלי כותרת של פרחי גן ובר, לעלים, לשורשים ולפקעות. הם גם מknים מסך הגנה טבעי מפני קרינה אולטרה סגולית לחalker הצמח החשופים לשמש. אנטוציאנים היא קבוצה של תרכובות טבעיות פשוטות יחסית ומשמעותם במים שבען נע מטורוד ועד כחול. לכולם מבנה כללי משותף המתוואר באյור הבא:

### המבנה הכללי של האנטוציאנים



$$R_{1,2} = OH \text{ או } H \quad R_3 = OH \text{ או } glucose$$

כל סוג של אנטוציאני מכיל צירוף שונה של קבוצות A. כל צירוף מknה צבע ייחודי, וכך לכל סוג של אנטוציאני יש צבע אחר.

## מדוע חומרי הצבע הללו יכולים לשמש כאינדיקטורים ל-H<sub>2</sub>K?

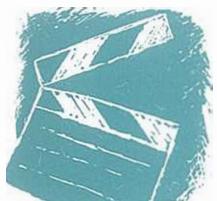
הצבע של מרבית סוגי האנטוציאנים משתנה בהתאם ל-H<sub>2</sub>K של התמייסה מהם נמצאים בה. בטבע נמצאים האנטוציאנים בחוליות של התא, ולכן הצביע שלהם נקבע על פי ה-H<sub>2</sub>K של הנוזלים שבחלולית. אך בבדיקה ישתנה הצביע של האנטוציאנים שמקורו ממוקור צמחים ככלוחו בהתאם ל-H<sub>2</sub>K של התמייסה שבבדיקה. מיצוי של מיצי כרוב אדום נוח במיוחד לשימוש כאינדיקטור לבסיס ולחומרה בעיקר בשל קשת הצבעים הרחבה שניתן לקבל ממנו כתוצאה מסווני H<sub>2</sub>K וכן בשל העובדה שניתן להשיגו בקלות.

## דבר אלי בצלבאים



הhortenzie הוא שיח בעל אשכולות פרחים מרהייבים. לפרחים של שיח ההортזיה יש צבעים שונים, לעיתים הם אדומים-ורודים ולעתים הם כחולים. מה קובע את צבעם של הפרחים? מתרברר שהצבע נקבע על פי ה-ה-ק של הקרקע שהשיח גדל בה. לשיח שגדל בקרקע בסיסית או ניטרלית יהיו פרחים אדומים, ואילו לשיח הגדל בקרקע מאוד חומזית יהיו פרחים כחולים. כיצד משפיע ה-ה-ק של הקרקע על צבעם של הפרחים? במוחל התאים שבעל הכותרת מומס אנטוטציינין שכפי שלמדנו הוא משנה את צבעו על פי ה-ה-ק של התמיisha שהוא נמצא בה. ה-ה-ק של הקרקע משפיע על ה-ה-ק של מוחל התאים ובדרך זו משפיע גם על צבעם של הפרחים.

## הכלא והגלו...



הסרט "צבע"<sup>\*</sup> מתוך הסדרה "עולם הכימיה" עוסק בין היתר באינדיקטוריים. יותר ממאה שנה כבר משתמשים באינדיקטוריים לאנליה כימית. הסרט נראה מציל בבריכת שחיה שקובע את חומציות מי הבריכה על ידי שימוש באינדיקטור והשוואת הצבע המתתקבל לערכת תמייסות מוכנה, הצבע של כל תמיישה בערוכה אופייני לדרגת החומציות שלה. שיטה פשוטה זו, שלביצועה לא נדרש כל ניסיון, היא עיליה למדי וושוויה להיות מדוקת להפליא. לאחר מכן מודגמים שנייני הצבע של בתמייסות של אינדיקטוריים שונים לאחר שזרוקים לתוךן קרחת (ביש,  $\text{CaCO}_3$ ), (שכתוצאה מהתמוססות במים מתקבלת חומצה חממתית). מהניסי זהה תוכלו להבין כיצד מכנימים את ערכת התמייסות להשוואה שהבחן השתמש המציג לקביעת דרגת החומציות של מי הבריכה.

\* הסרט "צבע" הוא הסרט השני בסדרה "עולם הכימיה". הסדרה "עולם הכימיה" היא חלק מסדרות הטלקורס של פרויקט אנברג והופקה באוניברסיטת מילנד בשיתוף עם מרכז הסרטים החינוכיים. המהדורה העברית הוכנה על ידי האוניברסיטה הפתוחה.

## 5 תמייסות בופר

### פעילות מס' 6: בופר בפעולה



**המטרה:** בניסוי זה תמדו את שינויי ה- $\text{HCl}$  הנגרמים למיים מזוקקים, לתמייסת הנקראט תמייסת בופר ולתמייסת המכללה "אלקה-אלצר", כאשר מוסיפים להם בהדרגה חומצה או בסיס.

#### חומרים:

✓ 100 מ"ל תמייסת מימית של חומצה מימן כלורית  
1M HCl

✓ 100 מ"ל תמייסת מימית של נתרן הידרוקסידי  
1M NaOH

✓ תמייסת בופר שהרכבה: 30 מ"ל חומצת חומץ  
(חומצה אتانואית)  $0.2\text{M}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  + 70 מ"ל נתרן  
אתאנואט  $1\text{M}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$

✓ 2 טבליות של אלקה-אלצר

✓ מים מזוקקים

✓ מקלוני  $\text{H}_2$  או אינדיקטור אוניברסלי

#### כליים:

✓ 2 בירוטות של 25 מ"ל

✓ 2 מחזיקי בירוטות

✓ 6 ארלנמיירים של 250 מ"ל

✓ 2 משפכים קטנים

✓ מים מזוקקים

✓ 2 פיפטות של 50 מ"ל

#### ועבשו לעבודה:

1) מלאו בירטה בתמייסת חומצה מימן כלורית.

2) מדדו בערטת פיפטה 50 מ"ל מים מזוקקים והעבירו אותם לאarlנמייר. מדדו את ה- $\text{HCl}$  ורשמו את התוצאה.

3) שימו לב: ערך ה- $\text{pH}$  של המים המזוקקים יכול להיות שונה מ-7, אם יש בהם עקבות של אי נקיונות.

4) טפטפו טיפה אחת מתמייסת החומצה המימן כלורית לתוכהarlנמייר, ערבו בתנועה סיבובית את התמייסה. מדדו את ה- $\text{pH}$  ורשמו את התוצאה.

5) מדדו בערטת פיפטה 50 מ"ל מתמייסת הבופר והעבירו אותה לarlנמייר שני. מדדו את ה- $\text{pH}$  ורשמו את התוצאה.

6) טפטפו טיפה אחת מתמייסת החומצה המימן כלורית לתוכהarlנמייר השני, ערבו בתנועה סיבובית את התמייסה. מדדו את ה- $\text{pH}$  ורשמו את התוצאה.

7) הוסיפו תמייסת חומצה מימן כלורית מהירטה לarlנמייר המכיל את תמייסת הבופר במנוגת

- הרשומות בהמשך. שימו לב: לאחר כל הוספה עליהם לערבע בתנועה סיבובית את התמיסה, למדוד את ה-הק ולרשום את התוצאה. מנות החומצה שעליים להוספי: 0.5 מ"ל, 1 מ"ל, 1.5 מ"ל, 2 מ"ל, 5 מ"ל ו-10 מ"ל.
- (7) מלאו את הבירטה השנייה בתמיסת נתרן הידרוקסידי.
  - (8) חזרו על המהלך המתואר בסעיפים 2-6, הפעם השתמשו בתמיסת נתרן הידרוקסידי במקומות בתמיסת החומצה המימן קלורית.
  - (9) מדזו בערתת פיטה 50 מ"ל מים מזוקקים והעבironו אותם לאrlenmir החמייש. הכנסו למים טבליות אחת של אלקה-אלצ'ר, הקפידו להמתין עד שכל הטבליות תתמוססו במים. מדזו את ה-הק ורשמו את התוצאה.
  - (10) טפטפו טיפה אחת מתמיסת החומצה המימן קלורית לתוך Tamisat האלקה-אלצ'ר, ערבו בתנועה סיבובית את התמיסה. מדזו את ה-הק ורשמו את התוצאה.
  - (11) הוסיפו Tamisat חומצה מימן קלורית מהבירטה לאrlenmir המכיל את Tamisat האלקה-אלצ'ר, במנות הרשומות בהמשך. שימו לב: לאחר כל הוספה עליהם לערבע בתנועה סיבובית את התמיסה, למדוד את ה-הק ולרשום את התוצאה. מנות החומצה שעליים להוספי: 0.5 מ"ל, 1 מ"ל, 1.5 מ"ל, 2 מ"ל, 5 מ"ל ו-10 מ"ל.
  - (12) חזרו על המהלך המתואר בסעיפים 11-9, הפעם השתמשו בתמיסת נתרן הידרוקסידי במקומות בתמיסת החומצה המימן קלורית.

#### סיכום:

- (1) כיצד השפעה הוספת טיפת חומצה על ה-הק של החומרים הבאים: א. מים מזוקקים ב. Tamisat בופר ג. Tamisat אלקה-אלצ'ר.
- (2) תארו את השפעת ההוספה החזרגתית של החומצה לתמיסת הבופר ולtamisat אלקה-אלצ'ר.
- (3) כיצד השפעה הוספת טיפת בסיס על ה-הק של החומרים הבאים: א. מים מזוקקים ב. Tamisat בופר ג. Tamisat אלקה-אלצ'ר.
- (4) תארו את השפעת ההוספה החזרגתית של הבסיס לתמיסת הבופר ולtamisat אלקה-אלצ'ר.
- (5) הגדרו את התכונה המאפיינית Tamisat בופר בעקבות ההבדלים שצפיתם, כאשר הוספות חומצה או בסיס למים מזוקקים לעומת הוספות Tamisat בופר?
- (6) האם Tamisat אלקה-אלצ'ר יכולה להיחשב Tamisat בופר על פי הגדרותכם בסעיף הקודם? נמקו.
- (7) התוכלו להסביר ממה נובע ההבדל בין השפעת הוספת חומצה או בסיס על ה-הק של מים מזוקקים לעומת השפעתם על ה-הק של Tamisat הבופר?



רמז: התיחסו לרכיב Tamisat הבופר כפי שהוא מופיע ברשימת החומרים.

## 5 א. מיתון שינויים ב-ה-ק

מים מזוקקים רגשים מאוד לשינויים ב-ה-ק. הוספת של כמויות זעירות של חומצות או בסיסים משנים את ה-ה-ק שלהם בכמה ייחיות. על תופעה זו יכולתם לעמוד בפעולות מספר 6. לעומת המים המזוקקים, ישן Tamisot מימיות הנקרואות Tamisot בופר (או בקיצור בופרים), אשר

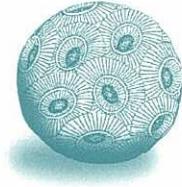
ממתנות Shinoyim ב-H<sub>2</sub>K הנגרמים בעקבות הוספה של כמות קטנית יחסית של חומצה או בסיס. גם בתופעה זו צפיתם בפעולות מס' 6. לדוגמה, הוספה 0.02 מולרים של HCl לתמיסת בופר המורכבת מלחומצת חומץ (חומצה אתאנואית) ונתן אתאנואט משנה את ה-H<sub>2</sub>K של התמיסה מ-4.74 ל-4.70, זאת ירידה ב-0.04 יחידות H<sub>2</sub>K בלבד. הוספה 0.02 מולרים של NaOH לתמיסת אותו הבופר, משנה את ה-H<sub>2</sub>K של התמיסה מ-4.74 ל-4.8, זאת עלייה ב-0.06 יחידות H<sub>2</sub>K בלבד. כפי שניתן לראות, בשני המקרים תמיסת הבופר מתחנה את השינויים ב-H<sub>2</sub>K.

היכולת לממן שינויים ב-H<sub>2</sub>K הופכת תמיסות בופר לחיונית. חיוניותן של תמיסות בופר בולטות במיוחד במערכות ביולוגיות. גם האדם הוא דוגמה חשובה לתוך מימי מרכיב שבו נשמר ה-



H<sub>2</sub>K בסביבות 7.4 הודות לפועלותן של כמה מערכות בופר. כמעט בכל הנسبות שינוי ב-0.5-0.7 יחידות בלבד ב-H<sub>2</sub>K של הדם הוא קטלני! ועל כך נרחב ב-[질ה](#) המופיע בהמשך.

באופן דומה יצורים החיים בים עלולים להיפגע ואף למות אם ה-H<sub>2</sub>K של מי-הים ישנה שינוי ניכר. ה-H<sub>2</sub>K של מי-הים נע בטווות ערכים צר שהוא 8.3-8.1. גם כאן ה-H<sub>2</sub>K נשמר



הודות לכך שבמי-ים מצויות כמה מערכות בופר.

תמיסות בופר שימושים רבים במעבדה, ברפואה ובתעשייה, נזכיר כמה מהם. במעבדה משתמשים בבופרים כשרוצים להכין Tamisah בעלת H<sub>2</sub>K ידוע וקבוע, למשל: בעת ביצוע תשובות בתמיסת מימית שבוחן לריכוז יוני הידרונים יכול להיות השפעה על מהלך התגובה או על הקצב שלה ובכלל זה על תהליכי אנטימיטים. כמו כן, משתמשים בתמיסות בופר בעת כילוף מושגים הרגיסטרים לריכוז יוני הידרונים, לדוגמה מד-H<sub>2</sub>K. ברפואה משתמשים בהם בהכנות זרייקות תוך-ורידיות שלא תגרוננה לטסיטה מערך ה-H<sub>2</sub>K הנורמלי של הדם. בתעשייה – תהליכי ביוטכנולוגיים – כמו תהליכי תסיסה – ערכים להתרחש בתמיסות בופר, שכן שינויים קטנים ב-H<sub>2</sub>K עלולים לגרום למותם של היוצרים המבצעים את התסיסה.

## 5. הרכבה של תמיסת בופר

תמיסות בופר ממתנות Shinoyim ב-H<sub>2</sub>K הצפויים בעקבות הוספה של בסיס או חומצה, לאחר שהן כוללות צורון חומצי היכול לסתור יוני הידרוקסי וצורון בסיסי היכול לסתור יוני הידרונים. מובן שאין זה רצוי שתתרחש תגובת סטיריה "פנימית" בין הצורון החומצי והצורון הבסיסי של תמיסת הבופר עצמה. כדי שכל הדרישות האלה תتمלאה, על תמיסת הבופר להיות מורכבת מלחומצה חלה ומחביס חצמוד שלה או מבסיס חלש ומהחומרה הצמודה שלה. דוגמאות של בופרים שכיחים הן הזוגות הבאים:

חומצה פחמתית	$\text{HCO}_3^-$	יון מימן פחמתי	$\text{HCO}_3^-$
יון דו-מיימן זרחתי	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$	יון מימן זרחתי	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$
חומצה אתאנואית	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	יון אתאנואט	$\text{CH}_3\text{COO}^-$
אמוניה	$\text{NH}_4^+$	יון אמוניום	$\text{NH}_4^+$

ניתן להכין תמיסת בופר על ידי הוספה מדוודה של בסיס חזק לתמיסת מימית של חומצה חלה או על ידי הוספה מדוודה של חומצה חזקה לתמיסת מימית של בסיס חלש. בשני המקרים הכמות היחסיות של הבסיס והחומרה עריכות לגרום לכך שתתרחש סטיריה חלקית בלבד, כך שייוותרו

במערכת שני הצורנים, החומצוי והבסיסי, למשל: כאשר יש חומצה חלשה שמוסיפים לה בסיס חזק, צריך הבסיס לסתור רק כמחצית מהחומצה, וכך מקבל תמיסה הכוללת הן את החומצה החלשה (שלא נסתרה) והן את הבסיס הצמוד שלה (שהוא אחד מתוצרי הסטירה) בכמותות שימושיות. לחילופין, ניתן "לדלג" על שלב הסטירה ולהוסיף ישירות לחומצה החלשה את אחד ממלחיה, לדוגמה: להוסיף נתרן אטאנואט,  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}$ , לחומצה אטאנואית,  $\text{HOOC-C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ . באופן דומה ניתן להוסיף ישירות לבסיס חלש את אחד ממלחיו כמו אمونי כלורי,  $\text{Cl}_4\text{NH}$ , לאמונייה,  $\text{NH}_3$ .

## 5.g. כיצד פועל בופר?

כדי להבין כיצד פועל בופר נתיחס לבופר שהרכבו חומצה חלשה, שננסמן אותה באופן כללי  $\text{C-HA}$ , ואחד ממלחיה  $\text{MA}$ , כאשר  $\text{M}$  יכול להיות  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  או קטיון אחר. בתמיסה זו מתקיים שיווי-משקל של העברת פרוטון בין החומצה  $\text{HA}$  למים שניסוחו:



מכיוון שמדובר בחומצה חלשה, בשיווי-משקל נוטה המערכת "לטובת המגיבים", כפי שמסומן בניסוח הנ"ל. במקרים אחרים, בתמיסה מצויות מולקולות של  $\text{HA}$  בריכוז גבוהה יחסית. במקרה של מים מתקיים גם תחליך התהמיסות של המלח במים שניסוחו:



בתהליך זה המלח התפרק לגמרי ליונים נפרדים, זאת אומרת שבתמיסה מצויים יוני  $\text{-A}$  בריכוך גבוהה יחסית. בסיכוןו של דבר, **תמיסת הבופר כוללת ריכוזים גבוהים יחסית** הן של החומצה  $\text{HA}$  והן של הבסיס הצמוד שלה  $\text{-A}^-$ .

אם מוסיפים לתמיסה זו כמות קטנה של חומצה, חלה עלייה בריכוך יוני הידרוניים. עליה זו מהווה הפרעה לשיווי-המשקל. בעקבות ההפרעה תתגבר התגובה ההיפוכה, ככלומר יוני הידרוניים יגיבו עם יוני  $\text{-A}^-$  וייצרו מולקולות של  $\text{HA}$ . כל עוד הבופר מכיל כמות מספקת של יוני  $\text{-A}^-$ , כמעט כל יוני הידרוניים שנוסףו לתמיסה יגיבו כך שריכוך יוני הידרוניים כמעט ולא ישתנה, וגם ה- $\text{-H}$  של התמייסה כמעט ולא ישתנה.

לעומת זאת אם מוסיפים לתמיסת הבופר כמות קטנה של בסיס, חלה עלייה בריכוך יוני הידרוקסי. יוני הידרוקסי יגיבו עם יוני הידרוניים שבתמיסה וייצרו מולקולות מים. כתוצאה לכך ריכוך יוני הידרוניים בבופר ירד. שוב נגרמה הפרעה לשיווי-משקל, אלא שהפעם בעקבות ההפרעה תתגבר התגובה הישרה, ככלומר, מולקולות של  $\text{HA}$  יעבירו פרוטונים למולקולות של מים וריכוך יוני הידרוניים עלה. כל עוד הבופר מכיל כמות מספקת של  $\text{A}^-$ , ישוב ריכוך יוני הידרוניים כמעט עד לערכו המקורי, כך שה- $\text{-H}$  של התמייסה כמעט ולא ישתנה.

בצורה זו בתמיסת בופר מתרחשים שינויים מתונים ב- $\text{-H}$ , שינויים אלו קטנים מalfa הצפויים בעקבות הוספת החומצה או הבסיס לתמיסה. כאן המקום לצוין, שבופרים מסוימים שינוי  $\text{-H}$  בשני המיטונים ביעילות מרבית, כאשר ריכוך  $\text{A}^-$  ו- $\text{-A}$  שוויים בקרוב.

## אנו אחים...

הסבירו במנוחים של הפרעה לשינוי-משקל, כיצד פועל בופר שהרכבו בסיס חלש והחומרה הצמודה שלו למתון שינויים ב-Hק בכל אחד מהמרקם הבאים:  
א) הוספת חומרה ב) הוספת בסיס.



## 5ד. מאפיינים של בופר

לכל בופר שני מאפיינים עיקריים: הקיבול של הבופר וה-Hק של הבופר. הקיבול של בופר מצין את הנקודות במולדים של יוני הידרוניים או יוני הידרוקסי שיש להוסיף לתמיסת הבופר, כדי שהוא יהיה ישתנה ביחידת אחת. נתון זה מלמד אותנו מהי הנקודות של החומרה או הבסיס שנינן להוסיף לבופרטרם הוא יאבך את כושרו למטען שינויים ב-Hק, ככל שקיבול הבופר גבוה יותר, הוא יכול לקלוט כמויות גדולות יותר של חומרה או בסיס, בלי שהוא ישתנה שינוי ניכר. למעשה, קיבול הבופר תלוי בנקודות במולדים של החומרה והבסיס הצמוד שמהם הוא הוקן. ה-Hק של בופר תלוי בערכו של קבוע המרכיבה את הבופר,  $A_{aq}$ , וביחס הריאזים בין החומרה לבין הבסיס הצמוד הכלליים בבודף,  $[A_{aq}] / [A_{aq}H]$ . באופן דומה, כשהבופר מורכב מבסיס חלש, ה-Hק של הבופר תלוי בערכו של קבוע הבסיס של הבופר,  $A_{aq}$ , וביחס הריאזים בין הבסיס לחומרה הצמודה שלו  $[A_{aq}] / [B_{aq}]$ .

"בופר לפי חזננה" או איך מוצאים בופר מתאים לדרישות המערכת?

במקרים רבים מעוניינים בבודף שישמור על Hק רצוי ומוגדר של Tamishe ובו זמינות יפעל ביעילות מרבית לשני הциונים, זאת אומרת: ה-Hק בהוספה של חומרה והן בהוספה של בסיס. במקרים אלו יש למצוא זוג של חומרה חלה, AH, והבסיס הצמוד שלה, A, שב-Hק הרצוי ריכוזיהם שווים בקירוב. זה יקרה אם נבחר בבודף קבוע החומרה,  $A_{aq}$ , של המרכיב החומרתי שלו שווה בקירוב לריכוז יוני הידרוניים ב-Hק הרצוי. אם לדוגמה נרצה בופר שישמור על Hק קרוב ל-5, נוכל לבחור בופר שהמרכיב החומרתי שלו הוא חומרה אטאנואית קבועה שלה הוא  $10^{-5} \times 1.8$ .

### בופרים ביצורים חיים

מרבית היוצרים החיים רגושים לשינויים ב-Hק של הסביבה הפנימית שלהם, הנזלים התווך תאיים ומחוץ לתאים. הריגשות של מערכות חיוט לשינויים ב-Hק נובעת מהשפעתו של ה-Hק על המטען של חלק מהקבוצות הצדדיות בחלבונים ובמולקולות ביולוגיות אחרות, וכתוואה מכך על המבנה ועל התפקוד שלהם. ה-Hק משפיע על פעילותם של אנזימים, על החיבור בין תתי-יחידות של חלבונים, על התכונות של קרום התא וכן על הלחץ האוסmotי של המזררים השונים בגוף. אם כך, ברורה החשיבות של שמירה על ה-Hק של הנזלים

...לכדר...

התוך תאים והחוץ תאים ביצורים חיים בתחום עורcis צר. הדם הוא הדוגמה הבולטת ביותר לחסיבות השמירה על pH קבוע, פחות או יותר. pH הנורמלי שלدم האדם נע בין 7.35 ל-7.45, זאת אומרת pH בסיסי במקצת. אדם עלול למות, אם pH שלדם שלו ירד מתחת ל-7 או יעלה מעל 7.8. pH שלדם נשמר בתחום הערכיהם הצר, אף על פי שכמויות גדולות של חומצה מגיעות לדם כל יום. מרבית החומצה בדם מוקורה ב- $\text{CO}_2$  שהתאים פולטים בחמצון של גליקוז בשימנה התאית. חלק מה- $\text{CO}_2$  מגיב עם המים ונוצרת חומצה חומתית, שהיא חומצה חלה (ניסוח התהיליך מופיע בהמשך). חומצות אחרות, ביניהן חומצה זרחיתית וחומצת חלב, מגיעות לדם בעקבות תהליך העיכול של המזון. ליצורים חיים יש מגנונים לויסות השינויים ב-pH של הסביבה הפנימית שלהם. בגוף האדם ובגוף של יצורים עילאיים אחרים פועלות שלוש מערכות לשימירה על pH קבוע, פחות או יותר, שלדם ושל נזלי הגוף האחרים: **מערכות בופר**, **מערכות הנשימה והכבדות**. מערכות בופר הן "קו ההגנה" הראשון מפני שינוי pH, הן פועלות בתוך שניות, שינוי קצב הנשימה והעומק שלה מפצים על שינוי pH בתוך דקotas ספורות, ואילו פעולות הכליות משפיעות על pH בטוח זמן של שניות עד ימים. אנו נתמקד במערכות הבופר.

### מערכות הבופר בגוף האדם

שלוש מערכות בופר עיקריות פועלות בגוף האדם: המערכת האורתית, המערכת הפחמתית וחלבוניים. לכל אחת מהמערכות יש חשיבות בשימירה על pH במדור אחר של הגוף. **המערכת הזרחיתית** היא מערכת בופר הפעולה בcitoplasma של התאים ובשתן. המרכיבים שלה הם יונן דו-מיין זרחתי,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , המשמש כחומצה חלה ויאנו מימן זרחתי,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , הבסיס הצמוד שלה:



כאשר pH יורד, כלומר ריכוז יוני הידרוגנים עולה, שיווי-המשקל הנ"ל מופר. בעקבות ההפרעה מתגבר התגובה ההופוכה. יוני מימן זרחתי, הבסיס הצמוד, יקלטו פרוטונים מיוני הידרוגנים תוך יצירת מולקולות מים ויוני דו-מיין זרחתי. כתוצאה לכך כמעט לא יכול שינוי pH של התמיסה.

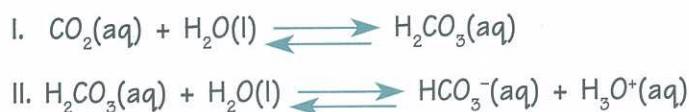
ירידה ב- pH

עליה ב- pH

כאשר pH עולה, כלומר ריכוז יוני הידרוגנים יורדת, שיווי-המשקל הנ"ל מופר. יוני דו-מיין זרחתי יגיבו עם מים וייצורו יוני מימן זרחתי ויוני הידרוגנים. שוב כמעט ואין שינוי pH של התמיסה.

היחס בין יוני המימן זרחתי לבין יוני הדו-מיין זרחתי הוא 1:1.6, לטובת יוני הדו-מיין זרחתי. מאחר שאין הבדל ניכר בין ריכוזי שני הצורנים, הבסיסי והחומייני, מערכת הבופר האז מסוגלת להתמודד במידה דומה עם ירידת או עליה ב-pH.

**המערכת הפחמתית** היא מערכת בופר הפעלתה הן בנזלים החוץ תאימים והן בנזלים התוך תאימים, והיא חשובה במיוחד בדם בגלל הקשר שלה עם מערכת הנשימה. היא מורכבת מחומצה פחמתית,  $\text{CO}_2$ , ו מהבסיסים הצמוד יון מימן פחמתי,  $\text{HCO}_3^-$  (ביקרובונאט). החומצה הפחמתית נוצרת בתגובה בין  $\text{CO}_2$  ומים (שינוי-משקל I), תגובה המזורעת על ידי האנזם אנהיידריז פחמתי, כפי שראינו ב-[דף קלאי](#)... אפקט בוורה. הイון מימן פחמתי נוצר בתגובה בין חומצה פחמתית ומים (שינוי-משקל II).



כאשר ה- $\text{H}_3\text{O}^+$  יורץ, ככלומר ריכוז יוני הhidrogenium עולה, שינוי-משקל II מופר. בעקבות ההפרעה מתגברת התגובה ההיפוכית. יוני מימן פחמתי, הבסיס הצמוד, יקלטו פרוטונים מיוני hidrogenium תוך יצירת מולקולות מים ומולקולות של חומצה פחמתית. כתוצאה לכך כמעט לא יכול שינוי ב- $\text{H}_3\text{O}^+$  של התמייסה.

ירידה ב-  $\text{H}_3\text{O}^+$

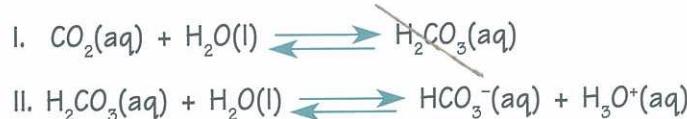
עלייה ב-  $\text{H}_3\text{O}^+$

המערכת מסוגלת להתמודד גם עם עלייה ב- $\text{H}_3\text{O}^+$ . כאשר ה- $\text{H}_3\text{O}^+$  עולה, ככלומר ריכוז יוני hidrogenium יורץ, שינוי-משקל II מופר. הפעם בעקבות ההפרעה מתגברת התגובה הישירה. החומצה הפחמתית תגיב עם מים ליצור יוני מימן-פחמתי ויוני hidrogenium. ושוב כמעט שאין שינוי ב- $\text{H}_3\text{O}^+$  של התמייסה.

היחס בין החומצה הפחמתית ליוני מימן פחמתי הוא 20:1, לטובת יוני מימן פחמתי. לפער זהה בריכוזים בין שני הצורונים המרכיבים את מערכת הבופר יש השלכה על תפקודו של הבופר. למערכת בופר כזו יש יכולת גבוהה יחסית להתמודד עם ירידת ב- $\text{H}_3\text{O}^+$  ויכולת נמוכה יחסית להתמודד עם עלייה ב- $\text{H}_3\text{O}^+$ .

#### קשר בין המערכת הפחמתית ומערכת הנשימה

מערכת הנשימה תומכת במערכת הפחמתית, ופעולתה משמרת את היחס הרצוי בין יוני מימן פחמתי לבין החומצה הפחמתית. מערכת הנשימה משפיעה על ריכוז  $\text{CO}_2$  המומס בדם על ידי שינוי הקצב והעומק של הנשימה. ה- $\text{CO}_2$  שנוצר בתאים נפלט לפולסמה וחלקו הוופך לחומצה פחמתית. החומצה הפחמתית מגיבה באופן חלקי עם מים, ונוצרים יוני מימן פחמתי ויוני hidrogenium. ננסח שנית את שני התהליכים:



הפעם ננתה כיצד מושפעת המערכת המשולבת זו משינויים ברכיב  $\text{CO}_2$  המומס. כאשר  $\text{CO}_2$  נפלט מהרकמות, שיווי-משקל ו- נוטה לכיוון יצירת יוני מימן פחמתית וחומצת, וכתוצאה מכך שיווי-משקל ו- נוטה לכיוון יצירת יוני מימן פחמתית ויוני הידרוניום. לעומת זאת, במהלך הסילוק של  $\text{CO}_2$  על ידי הריאות שיווי-משקל ו- נוטה לכיוון יצירת  $\text{CO}_2$  מומס ושיווי-משקל ו- לכיוון יצירת חומצת פחמתית. אצל אדם בריא קצב פליטת  $\text{CO}_2$  על ידי הריאות מבוקר, כך שהיא זהה לקצב פליטת  $\text{CO}_2$  מהרകמות, ובדרך זו מנענעת הנסיבות של יוני הידרוניום במהלך העברת  $\text{CO}_2$ .

קצב פליטת  $\text{CO}_2$  על ידי הריאות תלוי למעשה בקצב ובעומק של הנשימה. מרכז הנשימה, הממוקם בגזע הגוף, הוא זה שמושות את הקצב והעומק של הנשימה על ידי ויסות פעולות שריריה הנשימה. במוח קיימים כמורצפטורים (תאי עצב הרגיסטים לשינויים כימיים) הרגיסטים לריכוזי  $\text{CO}_2$  ו-  $\text{H}^+$  בנזולים הסובבים אותם. הכמורצפטורים מעבירים אותן למרכז הנשימה וגורמים לשינויים בקצב ובעומק הנשימה. באופן רגיל הנשימה מבוקרת על ידי ריכוזי  $\text{CO}_2$  ו-  $\text{H}^+$  בدم ובנזול הגוף. עלייה בריכוזי  $\text{CO}_2$  ו-  $\text{H}^+$ , ככלمر ירידת ב-הק, גורמת לכמורצפטורים במוח להעיבר אותן להגברת הקצב והעומק של הנשימה, מצב הנקרא אעורור-יתר (hyperventilation). אעורור-יתר מוביל לסילוק גדול יותר של  $\text{CO}_2$  מהדם. הוא מהווה הפרעה לשיווי-משקל ו- מוביל להתגברות התגובה ההפוכה: פירוק חומצת פחמתית ויצירת  $\text{CO}_2$ . פירוק החומצת הפחמתית מהווה הפרעה לשיווי-משקל ו- מוביל להתגברות התגובה ההפוכה: יצירת חומצת פחמתית וירידה בריכוז יוני  $\text{H}^+$ , ככלmr עלייה ב-הק בחזרה לערכים הנורמליים שלו.

באופן הפוך – ירידת בריכוזי  $\text{CO}_2$  ו-  $\text{H}^+$  (עליה ב-הק) גורמת לדיכוי מרכז הנשימה ולקצב נשימה איטי יותר. המצב שבו קצב הנשימה איטי יותר נקרא תת-אורור (hypoventilation). כתוצאה מתת-אורור מצטבר בדם  $\text{CO}_2$ , ושיווי-משקל ו- נוטה לכיוון של יצירת יוני הידרוניום – עלייה בריכוז יוני  $\text{H}^+$  ככלmr ירידת ב-הק בחזרה לערכים הנורמליים שלו.

על אף שתפקידו העיקרי של מערכת הנשימה הוא אספקת חמצן, נשימה בקצב נורמלי מבוקרת למעשה על ידי החלץ החלקי של  $\text{CO}_2$  וה-הק, ולא על ידי החלץ החלקי של החמצן. באבי העורקים ובעורקים המובילים דם לראש קיימים כמורצפטורים הרגיסטים לשינויים בריכוז החמצן. רק כאשר החלץ החלקי של החמצן יורד מתחת ל-  $60\text{ mmHg}$  ה-הק ה 모르צפטורים מעבירים אותן למרכז הנשימה. מערכת הנשימה שומרת על לחץ חלקי גובה של חמצן שמספיק לרווח את ההמוגלובין, גם אם האורור יהיה מחצית מהנורמלי. לעומת זאת, השלחץ החלקי של החמצן אינו גורם הבקרה העיקרי של מערכת הנשימה יש יתרון מבחינה פיזיולוגית. היה ששלחץ החלקי של  $\text{CO}_2$  נמוך יותר מאשר של חמצן, שינויים קטנים יחסית בו הם משמעותיים יותר, ולכן הבקרה עיליה יותר.



יש שחיננים המנצלים לעיתים את העבודות הללו באופן שעלול לסקן אותם. לפני תחרותם גורמים לאוורור-יתר באמצעות נשימות רבות ועמוקות כדי להגבר את היכולת שלהם לעזר את הנשימה במהלך התחרות. אוורור-יתר מורד את החלק החלקי של ה- $\text{CO}_2$ , כך שעובר פרק זמן ארוך עד שמרכו הנשימה מגורה. הסנה טמונה בעובדה שבפרק הזמן זה החלץ

החלקי של החמצן עלול לרדת מתחת ל- $49\text{ mmHg}$  בשל הרגשות המועטה של מרכז הנשימה למחסור בחמצן, והשין עלול לאבד את הכרתו ולטבע.

החלבונים מהווים את מערכת הבופר השלישית. על תפוקוד החלבונים כבופרים נלמד בפרק "חלבונים – מבנה ותפקוד".

## אכלי אקס...



- 1) מה קורה ל-ה-ק של מים או פלסמה, כאשר הם קולטים  $\text{CO}_2$ ?
  - 2) היכן תעפו ל-ה-ק גובה יותר, בدم האורם בעורקים או באזה החואר מהগפיים אל הלב?
  - 3) אוורור-יתר, היפרונטילציה, מתרחש לרוב כאשר אדם מפוזד. איך משפיע מצב זה על ריאו  $\text{CO}_2$  בדם? איך הוא משפיע על ה-ה-ק של הדם?
  - 4) רופאים נהגים לתת לאדם הנמצא במצב של אוורור יתר לנשום לתוך שקית, נסו לשער כיצד הנשימה לתוך שקית יכולה לסייע לאדם?
  - 5) מודיע, לדעתכם, אדם יכול לעזור את הנשימה שלו למשך זמן מוגבל בלבד?
  - 6) במצב של דום לב מפסיק הלב לפעום, אורם הדם נעצר, אך התגובה התאיות ממשיכות להתרחש. במצב זה מזירקים הרופאים תמייסט  $\text{NaHCO}_3$  ישר לתוך שריר הלב של החולה. מה יכולה להיות ההשפעה של דום לב על ה-ה-ק של הדם? מודיע! איך הזרקה מבטלת את ההשפעה זו?
  - 7) קליפה של ביצת תרגנולות מורכבת בעיקר מסידן פחמתי,  $\text{CaCO}_3$ . המקור העיקרי של פחמן בקליפה הוא  $\text{CO}_2$  מהזרם. בבייצים המוטלות בקץ הקליפה ذקה מאוד והיא נשברת בקלות. החקלאים פתרו את הבעיה על ידי השקיה התרוגנולות במיז-סודה, מים רזויים ב- $\text{CO}_2$ .
  - א. מה גורם לקליפה להיות ذקה?
  - ב. כיצד מי-הסודה מקטינים בעיה זו?
- חשוב לציין שתרגנולות אינן מזיאות כדי לクリ את עצמן הן מתנשפות בקצב מהיר

## שאלות לסיכון פרק ג'

- (1) "חומר לא יכול להתקיים בהיעדר בסיס". האם קביעה זו נכונה או לא? נמקו את תשובה לכם.
- (2) כתבו ניסוחים מאוננים של התהליכים המראים שינוי אוקסילט ( $\text{aq}-\text{O}_2\text{C}_4\text{H}$ ) יכולם לתפקיד חומר חומר וכאן כבסיס במים.
- (3) בחרו מרובעת המונחים הבאים – חזק, חלש, מרווח, מהול – את השניים המתאימים לתיאור:  
 א. תמיסה מימית של  $\text{HO}$  בריכוז 10 M  
 ב. תמיסה מימית של  $\text{ClH}$  בריכוז 0.3 M
- (4) לאחר ש- $\text{Mg}(\text{OH})_2$  לא מתמוסס היטב במים, הוא אינו יכול להיחשב כבסיס חזק. האם היגד נכון או לא נכון? נמקו את תשובה לכם.
- (5) תמיסה מימית של מומס לא ידוע נבדקה באמצעות נייר لكمוס ואבחנה כחומר חומר. התמיסה מוליכה חשמל במידה מועטה בהשוואה לתמיסת  $\text{NaCl}$  בעלת אותו ריכוז. אייזו מהתרכובות הבאות יכולה להתאים לתיאור המומס הלא ידוע:  
 $\text{KOH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{KClO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$
- (6) א. מה פירוש המונח "יינון עצמי"?  
 ב. הסבירו מדוע מים טהורים נחביבים למוליך גרוע של חשמל.  
 ג. נאמר לכם שתמיסה מימית נתונה היא כחומר חומר. מה פירושה של קביעה זו?
- (7) התייחסו לכל אחת מהתרכובות הבאות וקבעו האם היא כחומר חומר, בסיסית או ניטרלית.  
 א.  $\text{M}\cdot\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = 1.0 \cdot 10^{-7}$   
 ב.  $\text{M}\cdot\text{OH}^-(\text{aq})] = 5.0 \cdot 10^{-7}$   
 ג.  $\text{M}\cdot\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = 0.008$   
 ד.  $\text{M}\cdot\text{OH}^-(\text{aq})] = 0.0004$
- (8) שתי תמיסות מימיות מכילות 1% של חומר חומר. לתמיסת אחת  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ואילו לתמיסת השניה  $\text{H}_3\text{O}^+$ . אייזו מהתרכובות מכילה את החומר החזקה יותר?

9) חבר הכנסת הכין נאום "חוצב להבות" שבו הוא טען ברגש שהמדיניות בנושא איכות הסביבה צריכה לחזור לכך שה-H<sub>2</sub>K של הגוף ירד עד לאפס! לו אתה עוזרו הפרלמנטרי של הח"כ הנכבד, איזה מזכיר היהת מכין לו בנושא סולם ה-H<sub>2</sub>K?

10) לאחר פעילות גופנית ממוצעת שחרור החמצן בשירים עולה. הסבירו את המנגנון האחראי לכך.

11) מהי ההשפעה הקפולה של CO<sub>2</sub> על האזקה של המוגלובין לחמצן?

20/12/16 מניין ואגדת גזע ומיון ואגדת.

12) מעבר של חמצן מהמוגלובין למיאוגלובין יהיה מהיר יותר:

- א. ככל שה-H<sub>2</sub>K ולהז H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> יגדל.
- ב. ככל שה-H<sub>2</sub>K ולהז H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> יקטנו.
- ג. ככל שריכוז ה-(aq) H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> ולהז H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> יגדל.
- ד. ככל שריכוז ה-(aq) H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> ולהז H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> יקטנו.

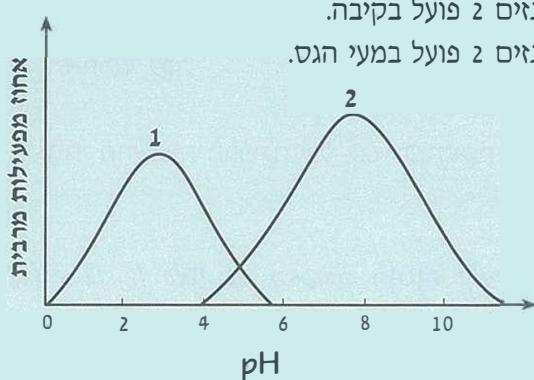
13) איזה מהגורמים הבאים גורם להגדלת האזקה של המוגלובין לחמצן?

- א. ריכוז יוני (aq) H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> גבוה.
- ב. ריכוז CO<sub>2</sub> גבוה.
- ג. קשר חלקי של החמצן.
- ד. ה-H<sub>2</sub>K של התמיסחה יורד.

(שאלת זו מבוססת על שאלה מבחינת בגרות בביוכימיה תשנ"ב 1992, 2 יחידות לימוד).

14) בגרפים שלמטה מתוארת הפעולות של שני אנזימי עיקול בرمות pH שונות. היכן פועלם אנזימים אלה?

- א. אנזים 1 פועל בקיבה, ואנזים 2 פועל במעי הדק.
- ב. אנזים 1 פועל במעי הגס, ואנזים 2 פועל במעי הדק.
- ג. אנזים 1 פועל במעי הדק, ואנזים 2 פועל בקיבה.
- ד. אנזים 1 פועל במעי הדק, ואנזים 2 פועל במעי הגס.



(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחןת בגרות בביולוגיה תשמ"ט 1989, 3 ייחדות לימוד).

15) במערכת העיקול של הינוקים מרבית האנזימים מפסיקים לפעול כאשר הם עוברים מקטע אחד של מערכת העיקול לקטע אחר. מדוע?

- א. למצעים שונים דרישים אנזימים שונים.
- ב. אנזימים רגשים מאוד לשינוי טמפרטורה.
- ג. אנזימים רבים פועלים רק בתחום pH צר למדי.
- ד. קליטת תוצרי העיקול נסתיימה.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחןת בגרות בביולוגיה תש"מ 1980, 3 ייחדות לימוד).

16) כשהמאזן עובר מהקיבלה אל המעי במערכת העיקול של יונקים, נפסקת פעולה של האנזים פפסין. הסיבה לכך היא ש-

- א. בכל קטע נעלמים חומרי מזון שונים.
- ב. אנזים זה רגish לשינוי טמפרטורה.
- ג. אנזים זה רגish לשינוי pH.
- ד. עיקול החלבונים מסתיים בקיבלה.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחןת בגרות בביולוגיה תשמ"ד 1984, 3 ייחדות לימוד).

17) זהו את המלח הנוצר בכל אחת מתגובהות הסטיריה הבאות:

- א. חומצה אטאנואית שנסתרה על ידי תמישה מימית של אשלגן הידרוקסידי.
- ב. סיידן הידרוקסידי מוצע שהומס בתמישה מימית של חומצה מימן יודית.
- ג. תמישה מימית של אמונייה שנסתרה על ידי תמישה מימית של מימן ברומי.

(18) רשמו ניסוחים מאוזנים לתגובה הסטיריה המתרחשת בין (aq) HCl המצוי בקיבה לבין כל אחת מהתרכובות הבאות המצוויות בנוגדי חומצה שכחיתם:

- א.  $Mg(OH)_2(s)$
- ב.  $MgCO_3(s)$
- ג.  $CaCO_3(s)$

הערה: השמיטו את "היוונים המשקיפים" ורשמו ניסוחי תגובה סטיריה נטו.

(19) לחומצה טרטרית,  $C_4H_9O_6$ , שני מינמים חומצאים. חומצה זו מצויה לעיתים קרובות בין ושוקעת מהתמצה כשהין מתישן. תמיסה המכילה ריכוז בלתי ידוע של החומצה הנ"ל טוטרה (מלשון טיטרציה) בעזרת תמיסת  $NaOH$ . לסתירת שני המינמים החומצאים המצוים ב-40 מ"ל מתmisת החומצה הטרטרית, נדרשו 20 מ"ל של תמיסת  $NaOH$  ברכזו 0.2M.

- כתבו ניסוח מאוזן לתגובה הסטיריה נטו.
- חשבו את הריכוז המולרי של תמיסת החומצה הטרטרית.

(20) כאשר תמיסת מימית חומצת מגיבה עם תמיסת מימית בסיסית עשויה להתקבל תמיסת מימית ניטרלית. התוכלו לקבל תמיסת מימית ניטרלית על ידי ערבות הכמות המתאימות של:

- א. חומץ וסודה לשתייה.
- ב. מיצ' של מלפפונים חמוצים ומי-סודה.
- ג. מי-ים ותרחיף של "חלב מגנואה" (מגנזיום הידרוקסידי).

(21) א.חשבו את הריכוז המולרי של תמיסת המכילה 55.0575 מולרים של  $CaOH$  ב-400 מ"ל תמיסה.  
 ב. כמה מולרים של  $NaOH$  מצויים ב-35 מ"ל של תמיסת חומצה חנקנית ברכזו 3.5?  
 ג. כמה מיליליטרים של תמיסת  $HOAc$  ברכזו 1.5 דרושים על מנת לספק 0.25 מולרים של  $HOAc$ ?

(22) בידכם 1 ליטר של תמיסת  $NaOH$  ברכזו 5.0. לצורך ביצוע ניסוי קלשוו אתם זכוכים ל-200 מ"ל של תמיסת  $NaOH$  ברכזו 1.0. כיצד תכינו את התמיסה המבוקשת?

(23) תארו כיצד תכינו 500 מ"ל של תמיסת סוכרוז  $C_{12}H_{22}O_{11}$  ברכזו 0.1 כשבידכם 2 ליטר של תמיסת סוכרוז ברכזו 1.5.

(24) רובנו יודעים מה קורה לכוס תה שמוציאפים לה מיץ לימון. בדקו מה קורה לכוס תה

משמעותיים לה סודה לשתייה. התוכלו להסביר את תכפיטכם במונחים של שינוי צבע של אינדיקטור בנסיבות בסיס/חומצה.

25) הסבירו מדוע תערובת של  $\text{aq}(\text{aq})\text{HCl}$  ושל  $\text{NaHCO}_3$  אינה מתפרקת כבופר, ואילו התערובת  $\text{H}_2\text{CO}_3$  מتفكקת כבופר.

- 26) הגורם העיקרי המוסת את קצב הנשימה אצל יונקים הוא:  
 א. החלץ החלקי של החמצן בריאות.  
 ב. כמות האדרנלין בדם.  
 ג. החלץ החלקי של הפחמן הדו-חמצני בדם.  
 ד. כמות הסוכר בכבד.  
 נמקו.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחנית בגרות בביולוגיה תשנ"א 1991, 5+5 יחידות לימוד).

- 27) בזמן מאכץ גופני עולה קצב הנשימה. הגורם הישיר לכך הוא שזמן מאכץ:  
 א. עולה רמת החמצן בדם.  
 ב. יורדת רמת החמצן בדם.  
 ג. עולה רמת הפחמן הדו-חמצני ( $\text{CO}_2$ ) בדם.  
 ד. יורדת רמת הפחמן הדו-חמצני ( $\text{CO}_2$ ) בדם.  
 נמקו.

(שאלה זו מבוססת על שאלה מבחנית בגרות בביולוגיה תשנ"ג 1993, 5+5 יחידות לימוד).

28) תארו בקצרה את המנגנון האחראי לשינוי בקצב הנשימה ובעומק הנשימה בזמן פעילות גופנית מאומצת.

29) הסבירו את התפקיד של מערכת הנשימה בברית איזון חומצה-בסיס.

30) הסבירו כיצד קווצר-נשימה ודום לב מובילים לחוסר איזון חומצה-בסיס.

הספר "תגבורות בפועלה" הוא הראשון בסדרת הספרים "כימיה בתחוםי החיים". סדרה זו נכתבה עבור הוראת התוכנית "כימיה לומדי ביולוגיה". בספר שלושה פרקים:

◀ **כימיה של תגבורות** - עוסק בכוחות הפועלים בין מולקולות המים והשפעתם על התכונות הייחודיות של המים. מים הם התווך שבו מתרחשות מרבית התגבורות ביצורים חיים.

◀ **דינמייקה של תגבורות** - עוסק בקצב של התגבורות ובגורמים המשפיעים עליו ובכללם אנזימים - הזרזים הביולוגיים - שבלעדיהם לא היו מתרחשות התגבורות כימיות ביצורים חיים. בקצב המתאים.

◀ **ביסיסים וחומצות** - עוסק בשתי קבוצות של חומרים הקשורות זו בזו והמעורבות בתגבורות המתרחשות ביצורים חיים וכן בסביבה, בمعدה ו בתעשייה. בפרק נפיר גם תמיינות גופר המנתנות שניים ב-H<sub>2</sub>K, תופעה חששива ניכרת במיוחד במערכות ביולוגיות.

הנושאים והמושגים הכלולים בספר נבחרו כך שיודגס הקשר בין הבסיס הכימי לבין התופעות הביולוגיות הנלמדות. בכל תחום נעשה שימוש להציג את הצד היישומי הרלוונטי של הכימיה בתחוםי הביולוגיה, הבiotכנולוגיה והתשפיה.

התוכנית "כימיה לומדי ביולוגיה" מיועדת לתלמידים המתמחים ביולוגיה (5 י"ל), לאור התפיטה שלימוד הכימיה מהווים בסיס תוכני חשוב ללימודיה. בין מטרות התוכנית:

- היברות עם הצללים המרכזים של הפימיה - מבנה, תגבורות בין חומרים, מחזוריות ואנרגיה - והבנת קשרי הגומלין ביניהם.
- היכרות עם תגבורות כימיות, תכונות של חומרים וכן עם האמצעים שנדרן לשימוש בהם כדי לקבוע את התכונות הללו.

• הבנת היישום של תגבורות כימיות בתחוםי החיים ומרכזיות הכימיה בהסגר תהליכיים ביולוגיים.

• זיהעת וטיפולן בפיזיומיקרואקופי להסביר תכונות מקרוסkopיות.