

---

# כימיה

---

# בשרות הסיעודי

---

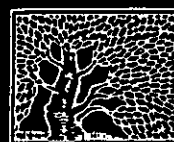
יהודית דורי



חלק שני

---

מהדורה ניסויית



---

המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

---

---

# כימיה

---

# בשרות הסיעודי

---

יהודית דורי

חלק שני

---

מהדורה ניסויית



המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

---

# CHEMISTRY FOR NURSING SCHOOLS

Yehudit Dori

עיצוב השער: רחל בוקשפן  
צילומים: רותי פרישברג  
הדפסה: רחל נמרודי  
גרפיקה: פולינה קרביץ  
עריכה במחשב: יהודית ודובי דורי

יעוץ מדעי:  
ד"ר רות בן-צבי  
ד"ר אבי הופשטיין  
גב' יהודית זילברשטיין  
פרופ' ירון כהן  
ד"ר ורה מבדלר  
פרופ' דוד סמואל  
מכון ויצמן למדע, רחובות.  
ד"ר נאוה בן-צבי

האוניברסיטה העברית, ירושלים.



כל הזכויות שמורות  
מכון ויצמן למדע

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם,  
לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט  
בכל דרך או בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני  
או אחר - כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.  
שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה  
אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

נדפס בישראל

מהדורה מתוקנת תשמ"ח - 1987

# תוכן העניינים

|     |                                      |       |
|-----|--------------------------------------|-------|
| 71  | פרק חמישי: חומצות ובסיסים            | 5.0   |
| 71  | חומצות                               | 5.1   |
| 74  | בסיסים                               | 5.2   |
| 76  | אינדיקטורים                          | 5.2.1 |
| 78  | הידרוקסידים                          | 5.2.2 |
| 77  | תגובת חומצה-בסיס                     | 5.3   |
| 78  | תגובת סתירה                          | 5.4   |
| 80  | pH                                   | 5.5   |
| 86  | רשימת מושגים                         | 5.6   |
| 86  | שאלות לפרק החמישי                    | 5.7   |
|     |                                      |       |
| 89  | פרק ששי: שיווי משקל חומצה-בסיס בכליה | 6.0   |
| 89  | שיווי משקל                           | 6.1   |
| 89  | מערכת קרח-מים                        | 6.1.1 |
| 90  | אידיוי הכוהל                         | 6.1.2 |
| 91  | מערכת של יצירת מימן יודי             | 6.1.3 |
| 95  | שיווי משקל בתגובות חומצה-בסיס        | 6.2   |
| 95  | חומצות חזקות והלשות                  | 6.2.1 |
| 98  | בסיסים חזקים וחלשים                  | 6.2.2 |
| 100 | הבופר                                | 6.3   |
| 102 | הכליה - מכנה ותפקוד                  | 6.4   |
| 103 | הכליה - גורם מסייע בשמירה על pH קבוע | 6.5   |
| 105 | רשימת מושגים                         | 6.6   |
| 106 | שאלות לפרק הששי                      | 6.7   |
|     |                                      |       |
| 111 | פרק שביעי: כימיה של תרכובות הפחמן    | 7.0   |
| 111 | כוהלים                               | 7.1   |
| 111 | איזומריה בכוהלים                     | 7.1.1 |
| 114 | סוגי כוהלים                          | 7.1.2 |
| 115 | חימצון כוהלים                        | 7.2   |
| 115 | חימצון כוהל ראשוני                   | 7.2.1 |
| 118 | חימצון כוהל שניוני                   | 7.2.2 |
| 119 | כוחות בין-מולקולריים                 | 7.3   |
| 119 | אלדהידים וקשרי נן-דר-ולס             | 7.3.1 |
| 119 | מים, כוהלים וקשרי מימן               | 7.3.2 |
| 121 | מטיסות במים                          | 7.3.3 |
| 121 | חומצות בעלות חשיבות רפואית           | 7.4   |
| 122 | חומצות ותפקידן בחימצון הסוכר בגוף    | 7.4.1 |
| 123 | חומצה סליצילית                       | 7.4.2 |
| 123 | חומצות שומניות                       | 7.4.3 |
| 124 | אסטרים                               | 7.5   |
| 125 | אסטרים - תרופות נגד כאבים            | 7.5.1 |
| 126 | שמנים ושומנים                        | 7.5.2 |
| 127 | הסבון ואופן פעולתו                   | 7.5.3 |
| 128 | אמינים וחומצות אמיניות               | 7.6   |
| 128 | אמינים                               | 7.6.1 |
| 130 | חומצות אמיניות                       | 7.6.2 |
| 133 | חלבונים                              | 7.7   |
| 137 | סיכום                                | 7.8   |
| 138 | רשימת מושגים                         | 7.9   |
| 139 | שאלות לפרק השביעי                    | 7.10  |

|     |       |                           |     |
|-----|-------|---------------------------|-----|
| 145 | ..... | ולסיכום...                | 8.0 |
| 145 | ..... | הפרעות לשיווי משקל        | 8.1 |
| 146 | ..... | גזים בדם                  | 8.2 |
| 149 | ..... | בססת                      | 8.3 |
| 150 | ..... | הפרעות מטבוליות ונשימתיות | 8.4 |
| 151 | ..... | רשימת מושגים              | 8.5 |
| 152 | ..... | נספח א' - רשימת היסודות   | 8.6 |
| 154 | ..... | נספח ב' - מערכה מחזורית   | 8.7 |

# פרק חמישי: חומצות ובסיסים

\*\*\*\*\*

## אירוע רפואי:

ילדה בת 5 שנים הגיעה לבית חולים עם חום  $39.9^{\circ}\text{C}$ , הקאות תכופות, שלשול מימי וירי בתכיפות של 10-20 פעם ביום. לפי תיאור ההורים החלו התופעות הקליניות כיום לאחר ביקור בבקעת הירדן ושתיית מים מברז באיזור זה. התופעות היו קלות בתחילה, אבל כעבור 24 שעות החריף המצב. הילדה סבלה מחולשה, היתה נמצב של צחיחות ויובש, לכן הוחלט על אישפוז תוך טיפול בעירוי נוזלים.

## אבחנה וטיפול ראשוני:

השלשול וההקאות גרמו עקב זיהום מקור המים על-ידי חיידקים כגון: קולי (E. coli) שיגלה (shigella) או סלמונלה (Salmonella). במקרה שתואר בתרבית צואה נתגלה חיידק השיגלה הגורם לדלקת כמעט הגס. המחלה נקראת shigellosis או בצורה כללית יותר דיזנטריה. כמו בכל שלשול, הטיפול היה מתן נוזלים בכמות מספקת, תוך הפסקת הכלכלה דרך הפה כדי לאפשר "מנוחה" למערכת העיכול. כמוכן, החולה כודדה מחולים אחרים כדי למנוע התפשטות המחלה.

לאחר הטיפול הראשוני בוצעה אנליזת דם בה נתגלה  $\text{pH} = 6.5$  וריכוז יון  $\text{HCO}_3^-$  בדם  $18\text{mmol/liter}$ .

\*\*\*\*\*

עדיין לא למדנו מהו pH ומה תפקידו של יון הביקרבונט,  $\text{HCO}_3^-$ .

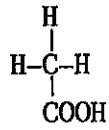
כדי להבין נתונים אלו ולשער מהי האבחנה ומהו הטיפול המעמיק יותר שניתן לחולה, נחוצים לנו מושגים חדשים, המתבססים על הנושא חומצות ובסיסים.

## 5.1 חומצות

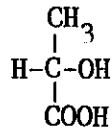
כח"י יום יום אנו נתקלים בחומצות מסוגים שונים. כמה דוגמאות, בליווי נוסחאות המכנה שלהן, מובאות בעמוד הבא.



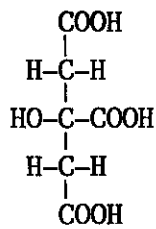
1. חומצה מלחית - תמיסה מימית של מימן כלורי.  
מופיעה כחומר ניקוי ונמצאת במיצי הקיבה.



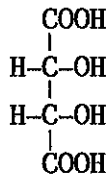
2. חומץ - תמיסה מימית של חומצה אצטית (lactic acid).



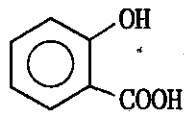
3. חלב - מכיל חומצת חלב (lactic acid).



4. לימון - מכיל חומצה ציטרית (citric acid).



5. יין - מכיל חומצה טטרית (tartaric acid).



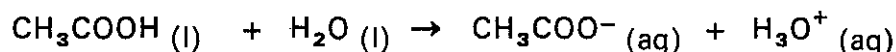
6. אספירין - תרופה הנוצרת מחומצה סליצילית\* (salicylic acid).

נקראת טבעת כגזנית ועליה תלמד מאוחר יותר.



יהטבעת

בכל תרכובות הפחמן, הקבוצה המקנה את תכונת החומציות היא הקבוצה הקרבוקסילית (ענין שוב בפרק ב' עמ' 22). מכאן, ש- $H^+$  מקורו אך ורק באטום המימן שבקבוצה הקרבוקסילית\*. נתאר זאת עבור חומצה אצטית:



\*\*\*\*\*

החומצות שצוינו במסגרת מוכרות לנו מחיי יום יום, אולם חומצות יכולות גם להזיק. חומצה כלורית,  $HCl$ : חומצה גופרתית,  $H_2SO_4$ : חומצה חנקתית,  $HNO_3$ : וחומצה אצטית,  $CH_3COOH$ : בעיקר כשהן בריכוז גבוה, גורמות לכוויות במקומות שנחשפו אליהן. מאידך, חומרים אלו משמשים כחומרי ניקוי וחיטוי מצוינים. לכן, כעבודה עם חומצות אלו יש לחבוש כפפות גומי או פוליתן, לחבוש משקפי מגן ולהקפיד שלא להתיז את החומצות, במיוחד, לכיוון העיניים. אם כבר קתה כווייה, יש לשטוף את המקום במים קרים ועם תמיסת נתרן ביקרבונט,  $NaHCO_3$ .

\*\*\*\*\*

### 5.1 תרגיל

מה המשותף לכל החומצות ?

פתרון

החומצות מסוגלות למסור  $H^+$ ; כאשר החומצות מתמוססות במים,

$H^+$  זה יכול להקלט על ידי מולקולות מים ליצירת יוני הידרוניום,  $H_3O^+$ .

### 5.2 תרגיל

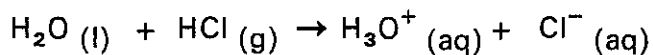
בדוק כמה קבוצות קרבוקסיליות מכילה מולקולה אחת של החומצות 3, 4, 5

שהופיעו במסגרת שבעמוד הקודם.

סמן בכל מקרה איזה אטום מימן ישמש

ליצירת יון הידרוניום,  $H_3O^+$ .

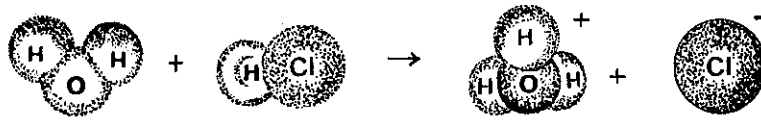
תגובת מימן כלורי עם מים היא דוגמה למסירת  $H^+$  ממולקולות החומצה אל מולקולות המים:



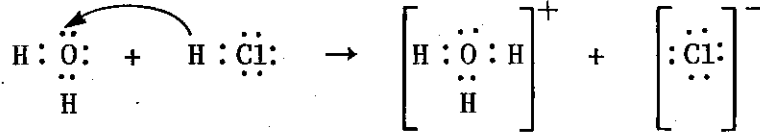
\*כזכור, מכיל אטום המימן פרוטון בגרעין ואלקטרון מחוצה לו. מכאן  $H^+$  חסר אלקטרונים, מסמל את גרעין אטום המימן - את הפרוטון, הנמסר ממולקולת החומצה למולקולת המים.



על-ידי מודלים מרחביים ניתן לתאר את התגובה בין זוג מולקולות:



ובאמצעות נוסחאות ייצוג אלקטרוניות כך:



ניתן לראות כי  $\text{H}^+$  עובר ממולקולת מימן כלורי אל מולקולת המים. תמיסת מימן כלורי נקראת חומצה כלורית או חומצה מלחית.

נסכם: כאשר חומצה מגיבה עם מים עובר  $\text{H}^+$  מחומר אחד לשני ונוצר יון הידרוניום.

לכן, המרכיב האופייני לתמיסה חומצית הוא יון הידרוניום  $\text{H}_3\text{O}^+$  (aq).

## 5.2 בסיסים

בחיי יום יום אנו פוגשים גם בבסיסים. להלן מספר דוגמאות:

| השימוש  | נוסחת המומס                       | השם המדעי של המומס                           | השם המסחרי            |
|---|-----------------------------------|--|-----------------------|
| חומר לניקוי חלונות<br>מרכיב של אבקת אפיה                  | $\text{NH}_3$<br>$\text{NaHCO}_3$ | אמוניה<br>נתרן מימן פחמתי<br>(נתרן ביקרבונט) | אמונית<br>סודה לשתייה |
| מרכיב של אבקת כביסה                                       | $\text{Na}_2\text{CO}_3$          | נתרן פחמתי<br>(נתרן קרבונטי)                 | סודה לכביסה           |
| חומר לניקוי תנורים, כיורים<br>ואסלות ולפתיחת סתימות בצנרת | $\text{NaOH}$                     | נתרן הידרוקסידי                              | סודה קאוסטית          |

טבלה 5.1: בסיסים בשימוש יום-יומי

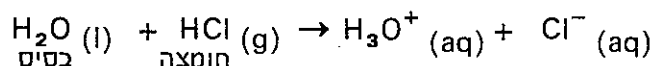
### תרגיל 5.3

בכל הדוגמאות של החומצות ציינו את העברת  $H^+$  מחומר אחד לשני. מיהו החומר הקולט  $H^+$ ?

#### פתרון

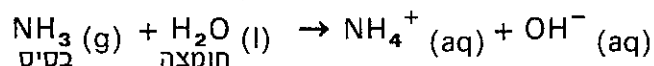
זהו הבסיס. בסיס הוא חומר הקולט  $H^+$ .

נחזור לתגובת מימן כלורי עם המים:



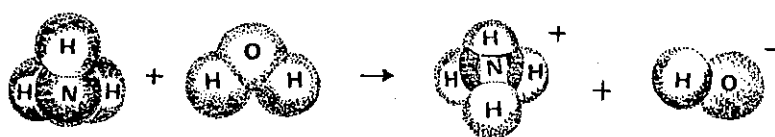
מולקולות המים בתגובה זו קלטו  $H^+$ .

נתבונן בתגובת אמוניה עם המים:

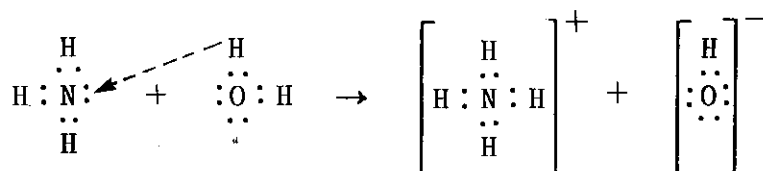


בתגובת האמוניה עם המים נוצרו יוני אמון ויוני הידרוקסיד.

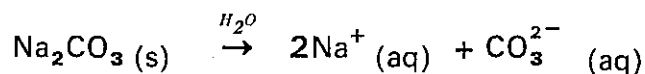
ניתן לתאר את התגובה בין זוג מולקולות בעזרת מודלים מרחביים:



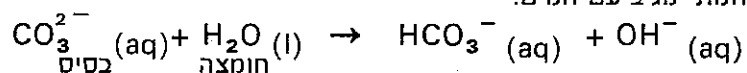
כמו כן, באמצעות מסחאות ייצוג אלקטרוניות:



ניתן לראות כי  $H^+$  עובר הפעם דווקא ממולקולות המים אל מולקולות האמוניה. באופן דומה נוכל להסביר כיצד נתן פחמתי,  $Na_2CO_3$ , מועיל כבסיס. נתון פחמתי מתמוסס במים:



בנוסף לכך היון הפחמתי מגיב עם המים:



גם כאן עוברים  $H^+$  ממולקולות המים אל היונים הפחמתיים  $CO_3^{2-}$  הקולטים אותו תוך יצירת יוני ביקרבונט,  $HCO_3^-$  יוני הידרוקסיד.



תרגיל 5.5:

רשום עבור כל אחד מההידרוקסידים KOH, Ba(OH)<sub>2</sub> את התהליך בו נוצרת תמיסה בסיסית. כמה מול יוני ההידרוקסיד מתקבלים בתמיסה המימית ממול של כל אחד מההידרוקסידים הנתונים?

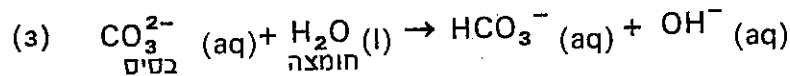
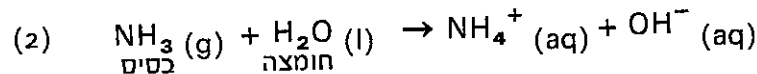
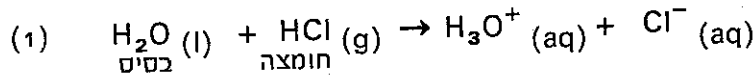
\*\*\*\*\*

תמיסת נתרן הידרוקסידי ותמיסות בסיסיות אחרות בריכוז גבוה, פעולתן הרסנית לרקמות הגוף. הן יכולות להמיס חלבונים ושומנים ולכן משמשות לניקוי כירורגים, תנורים ואסלות או לפתיחת סתימות. כעבודה עם תמיסות אלו יש לנקוט באותם כללי זהירות שצוינו בעמ' 73 בהקשר לעבודה עם חומצות בריכוז גבוה.

\*\*\*\*\*

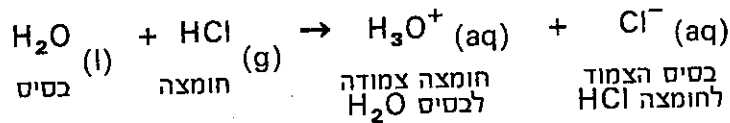
5.3 תגובת חומצה-בסיס

עד כה רשמנו מספר תגובות של בסיסים וחומצות עם המים. נשוב לתגובות אלו:

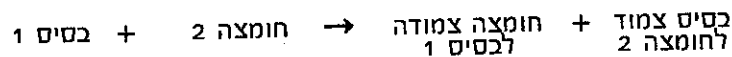


בכל התגובות ציינו לגבי המגיבים מיהי החומצה ומיהו הבסיס. בניסוח 1 המים היוו בסיס ואילו בניסוחים 2 ו-3 המים היוו חומצה. אם נבדוק כעת גם את התוצרים, נמצא ביניהם את יוני H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ויוני OH<sup>-</sup> המאפיינים חומצה ובסיס ובגדלים ממולקולות המים ב-H<sup>+</sup> בלבד. צמד חלקיקים, לדוגמה: H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> - H<sub>2</sub>O, OH<sup>-</sup> קרויים צמד חומצה-בסיס או חומצה ובסיס מצומדים.

נחזור לניסוח 1:



או:



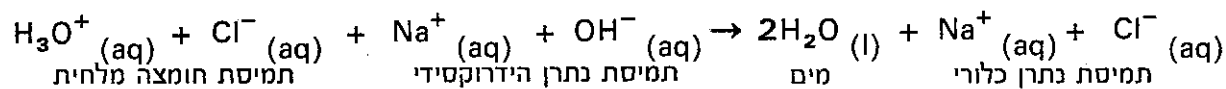
נכל לבדוק זאת שוב בניסוח 2: יון האמון מהווה חומצה (מסוגל להעביר H<sup>+</sup>) והוא חומצה צמודה לכסיס האמוניה. יון ההידרוקסיד מהווה בסיס (מסוגל לקלוט H<sup>+</sup>) והוא הבסיס הצמוד לחומצה מים.

נסכם: חומצה מגיבה עם בסיס ומתקבלים החומצה והבסיס המצומדים. תופעה כזו קרויה תגובת חומצה-בסיס.

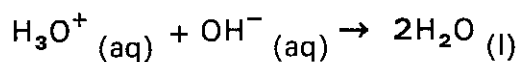
**תרגיל 5.6:**  
הראה כי גם בניסוח 3 קיימים צמידים; מהם ?

### 5.4 תגובת סתירה

בפסקאות הקודמות תארנו תגובת מים עם חומצה ליצירת תמיסה חומצית וכן תגובת מים עם בסיס ליצירת תמיסה בסיסית. מה יקרה אם נערבב תמיסה חומצית עם תמיסה בסיסית? ננסה את התהליך הכולל, המתרחש בין תמיסת חומצה מלחית ותמיסת נתרן הידרוקסידי:



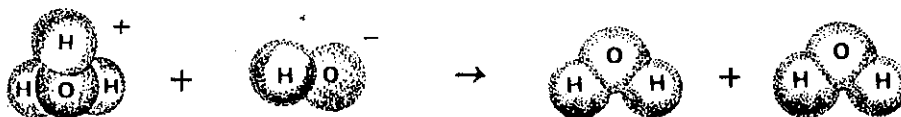
התגובה גטו תהיה:



יוצא איפוא, כי על כל יון הידרוניום, המגיב עם יון הידרוקסידי נוצרות שתי מולקולות מים. לתגובה זו אנו קוראים תגובת סתירה. זהו מקרה פרטי של תגובת חומצה-בסיס.

יוני הנתרן ויוני הכלור לא נרשמו בתהליך הנטו מאחר והם יונים מלווים.

ניתן לתאר את תגובת הסתירה, המתרחשת בין יון  $\text{H}_3\text{O}^+$  לבין יון  $\text{OH}^-$ , גם באמצעות מודלים מרחביים:



**תרגיל 5.7:**  
זהה בתגובת הסתירה שתוארה לעיל, מי פועל כחומצה ומי פועל כבסיס. זהה את החומצה והבסיס המצומדים.

\*\*\*\*\*

קיימים מספר חומרים המשמשים כתרופות הסותרות עודף חומצות כדם או כקיבה, (antiacids) וניתנים לחולי אולקוס או לחולי חמצת (acidosis):

אלומג - אלומיניום הידרוקסידי,  $Al(OH)_3$ ; ניתן לחולי אולקוס ולאנשים הסובלים מצרבת. חסרונו - גורם לעצירות.

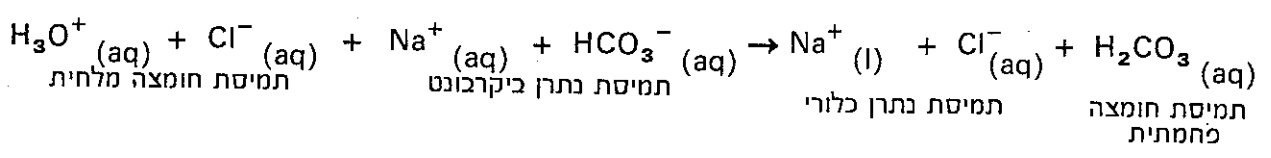
אלקזולצר (סודה לשתייה) - נטרן ביקרבונט,  $NaHCO_3$ ; תמיסתו משמשת במקרים של חומציות גבוהה כדם או כקיבה.

חלב מגנזיה - מגנזיום הידרוקסידי,  $Mg(OH)_2$ ; משמש כסותר חומצות וכחומר משלשל.

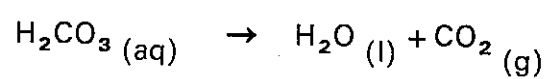
לעיתים משתמשים בתערובת  $Al(OH)_3, Mg(OH)_2$  הקרויה מלוקס (Mallox) כדי להקטין את תופעות הלוואי במערכת העיכול.

\*\*\*\*\*

מהו התהליך המתרחש כאשר נטרן ביקרבונט סותר עודפי חומצה כלורית בקיבה ?



תמיסת חומצה פחמתית עשויה להתפרק למים וכחמן דו-חמצני על-פי הניסוח הבא:



**תרגיל 5.8:**

נסח את תהליכי הסתירה של חומצה מלחית על-ידי תערובת 'מלוקס' (mallox) - מגנזיום הידרוקסידי ואלומיניום הידרוקסידי.

ניתן לבצע תגובת סתירה באופן הדרגתי, כמתואר בצויר 5.1. בתחילת התהליך ניקח נפח נתון של תמיסת חומצה מלחית ובה מספר טיפות אינדיקטור. לתמיסה זו נוסיף מנות קטנות של תמיסת נטרן הידרוקסידי. יוני הידרוקסיד יגיבו עם יוני הידרוניום, ריכוז יוני הידרוניום יקטן בתמיסה. כאשר מספר המולים של יוני הידרוקסיד שהוספנו, ישתווה למספר המולים של יוני הידרוניום שנכחו בתחילת התגובה, נבחין בשינוי צבע האינדיקטור. תתרחש סתירה מלאה של החומצה על-ידי הבסיס ותתקבל תמיסה ניטרלית.

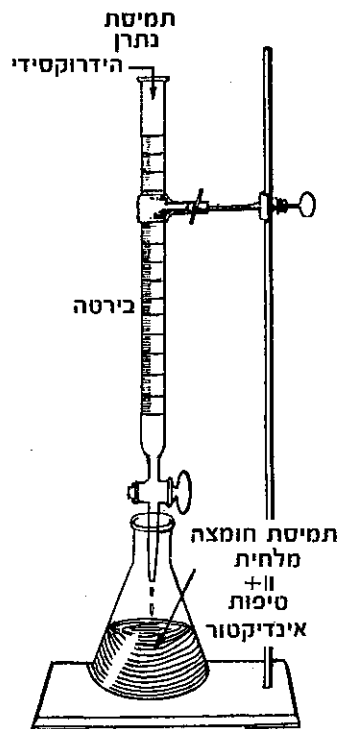
מהי תמיסה ניטרלית ?

כדי להשיב לשאלה זו אנו זקוקים לנתון מסך.

נמצא כי במים ובתמיסות מימיות (בטמפרטורה של 25°C) מכפלת ריכוזי יוני הידרוניום ויוני הידרוקסיד שווה תמיד ל- $10^{-14}$ :

$$[H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$$

הסוגריים המרוכבים באים להביע ריכוז מולרי.



ציור 5.1: תגובת סתירה בין תמיסת חומצה מלחית לבין תמיסת נתרן הידרוקסידי

תמיסה ניטרלית מוגדרת כתמיסה בה ריכוז יוני ההידרוניום שווה לריכוז יוני ההידרוקסיד ולכן:

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}$$

מים טהורים גם הם ניטרליים ולכן גם בהם ריכוזי יוני ההידרוניום וההידרוקסיד שווים.

אם נמיס חומצה במים, ריכוז יוני ההידרוניום ילך ויגדל. כדי לשמור על מכפלת ריכוזים קבועה חייב ריכוז יוני ההידרוקסיד לקטון. מכאן:

$$[H_3O^+] > 10^{-7}$$

$$[OH^-] < 10^{-7}$$

לעומת זאת, אם נמיס בסיס במים, ריכוז יוני ההידרוקסיד ילך ויגדל וריכוז יוני ההידרוניום ילך ויקטן. מכאן:

$$[H_3O^+] < 10^{-7}$$

$$[OH^-] > 10^{-7}$$

## pH 5.5

הכימאים חיפשו מדד נוח לתיאור ריכוז יוני ההידרוניום במים,

בתמיסה חומצית או בסיסית. לשם כך הגדירו הכימאים את המושג pH.

pH של תמיסה הוגדר כ"מינוס לוג ריכוז ה- $H^+$ " שבתמיסה:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

למעשה  $\text{H}^+$  אינו קיים בודד בתמיסה אלא תמיד קשור למולקולת מים, קרי  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

כאשר הכימאים הגדירו pH עובדה זו לא היתה ידועה ולכן בספרות וגם כאן נכתב  $[\text{H}^+]$  כשמתכוונים ל-  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ .

להלן מספר דוגמאות:

$$[\text{H}^+] = 0.1\text{M} = 10^{-1}\text{M} \quad \text{pH} = 1$$

$$[\text{H}^+] = 0.01\text{M} = 10^{-2}\text{M} \quad \text{pH} = 2$$

$$[\text{H}^+] = 0.0000001\text{M} = 10^{-7}\text{M} \quad \text{pH} = 7$$

$$[\text{H}^+] = 0.0000000001\text{M} = 10^{-10}\text{M} \quad \text{pH} = 10$$

מדוגמאות אלו תוכל לראות כי ה-pH הוא למעשה מעריך החזקה בהיפוך סימן, של ריכוז  $\text{H}^+$ , קרי של ריכוז יוני  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

#### תרגיל 5.9:

- מהו ה-pH בתמיסה בה  $[\text{H}^+] = 10^{-4}\text{M}$  ?
- מהו ה-pH בתמיסה בה  $[\text{H}^+] = 10^{-9}\text{M}$  ?

#### תרגיל 5.10:

בספרות נתון pH ממוצע של מיץ קיבה כ-1.5. pH.

מהו תחום הריכוזים המתאים ל-pH זה ?

#### פתרון

מהדוגמאות שהובאו לעיל נסיק כי:

$$\text{pH} = 2 > \text{pH} = 1.5 > \text{pH} = 1$$

$$10^{-2}\text{M} < [\text{H}^+] < 10^{-1}\text{M}$$



ערכי pH תקינים עבור נוזלי גוף

| ה-pH הממוצע | הנוזל       |
|-------------|-------------|
| 1.5         | מיץ קיבה    |
| 6.0         | שחן         |
| 6.5         | דוק         |
| 7.4         | דם          |
| 7.4         | דמעות       |
| 7.9         | מיץ פנקריאס |
| 8.2         | מיץ מרה     |

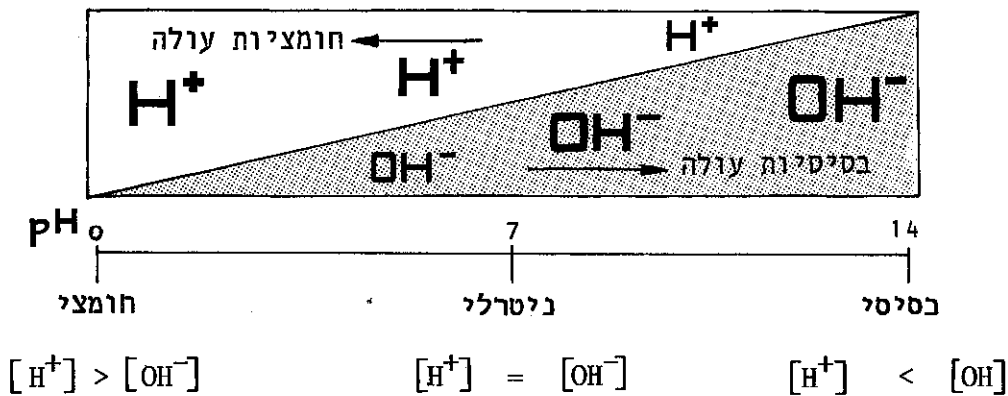
סקלת pH המצויה בשימוש יומיומי משתרעת על התחום של 0 עד 14.

התחום 0-7 הוא התחום החומצי בו ריכוז  $H^+(aq)$  גדול מריכוז יוני ההידרוקסיד,  $OH^-(aq)$ .

התחום 7-14 הוא התחום הבסיסי בו ריכוז יוני ההידרוקסיד,  $OH^-(aq)$  גדול מריכוז  $H^+(aq)$ .

כאשר ה-  $pH = 7$ , התמיסה ניטרלית, בה ריכוז יוני  $OH^-(aq)$  שווה לריכוז  $H^+(aq)$ .

התבונן בציר 5.2 המסכם את הדיון הב"ל.



ציר 5.2: תלות בין ריכוז  $H^+$  לריכוז  $OH^-$  בתמיסה מימית

נרחיב את הדיון על pH בתמיסות בסיסיות.

מה פירוש  $pH = 8$  ?

על-פי הגדרת ה-pH:  $[H^+] = 10^{-8} M$

זה לא המידע היחיד שניתן להסיק מכאן.

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}, \text{מזכור,}$$

$$10^{-8} \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

לכן:

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-8}} = 10^{-6}$$

ריכוז יוני הידרוקסיד הוא  $10^{-6}\text{M}$ .

אכן ריכוז יוני הידרוקסיד בתמיסה בסיסית זו:

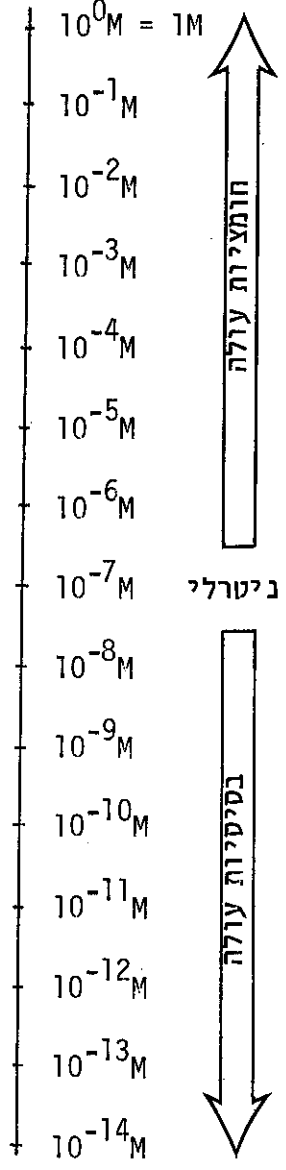
(א) גבוה יותר מריכוז  $\text{H}^+$

(ב) גבוה מ-  $10^{-7}\text{M}$ , כמתואר בציר 5.2.

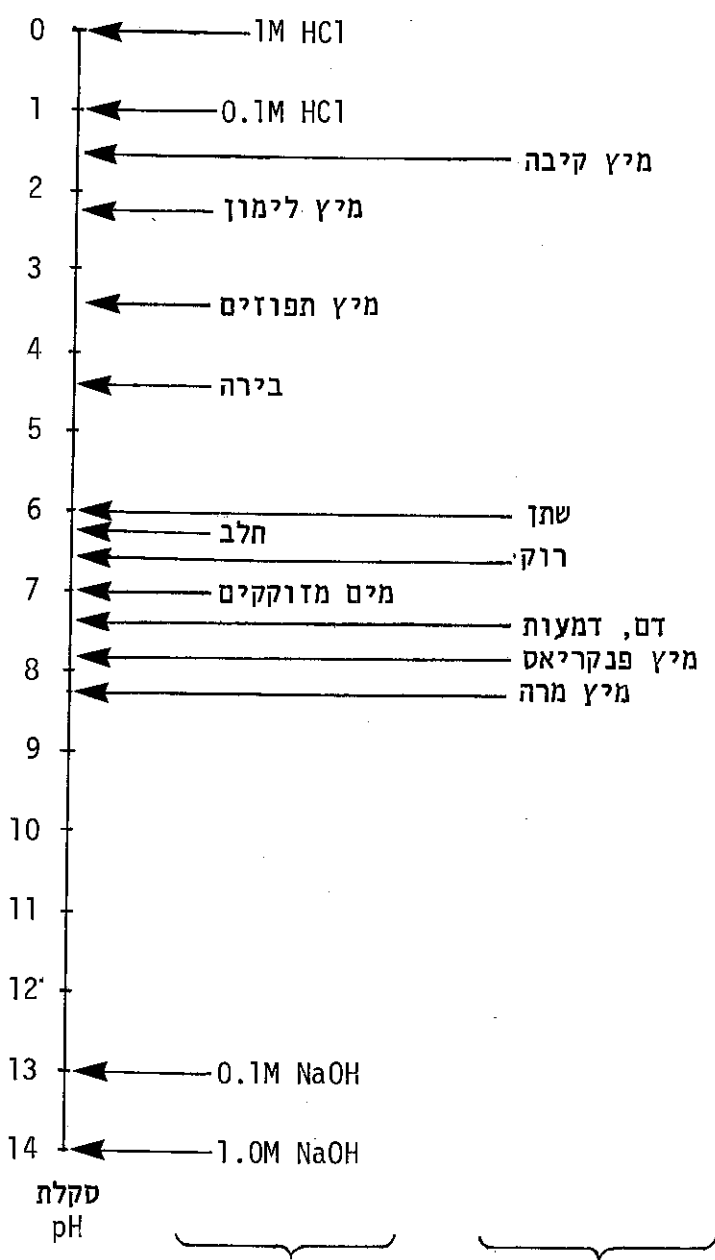
המסגרת המופיעה בעמוד הבא מסכמת את נושא ה-pH.

שים לבו כאשר החומציות עולה ה-pH יורד; כאשר החומציות יורדת ה-pH עולה.

סקלת  
[H<sup>+</sup>]

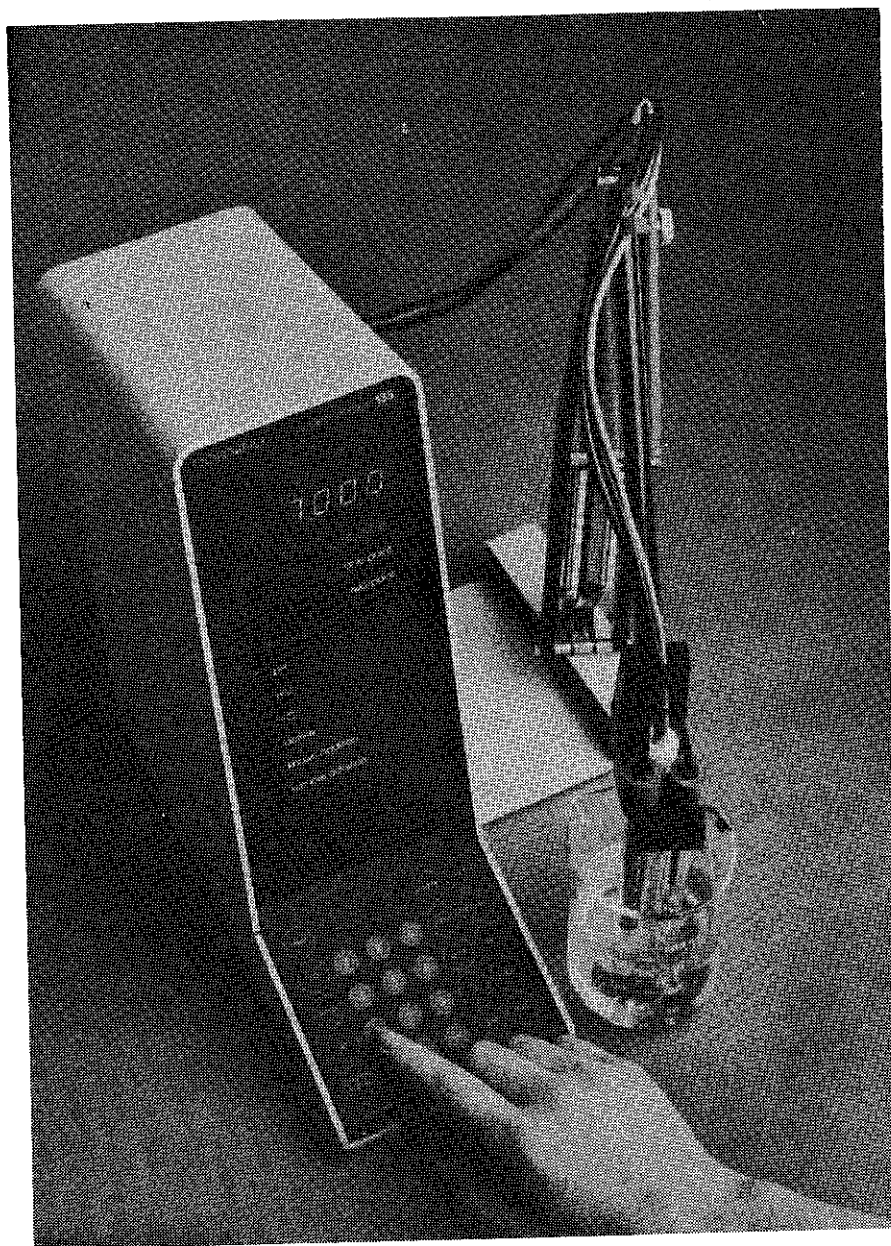


סקלת  
pH



חומרים המוכרים לנו      נוזלי הגוף

במעבדות מחקר ובבתי חולים נהוג למדוד pH בעזרת נייר pH או בעזרת מכשיר הקרוי pH-מטר. נייר pH הוא נייר אשר נטבל בתערובת של אינדיקטורים. כל אינדיקטור משנה את צבעו ב-pH אחר, כך שבכל pH מתקבל על הנייר צבע שונה. המכשיר pH-מטר משמש לקביעה מהירה ומדויקת של pH תמיסות שונות כמו גם pH הדם והשתן. המכשיר מכיל אלקטרודה סטנדרטית המכילת לפי תמיסה בעלת pH ידוע. האלקטרודה מוכנסת לדגימת הדם או השתן וה-pH המתאים נרשם על המכשיר, כמתואר בציור 5.3.



ציור 5.3: מכשיר pH מטר (pH - meter).

כאן המקום לשוב לאירוע בו פתחנו את הפרק.

\*\*\*\*\*

אנליזת הדם של הילדה הראתה pH 6.5, בזכור ה-pH הממוצע של הדם הוא 7.4. מכאן, שהילדה סובלת ממצב של חומציות יתר הקרוי חמצת (acidosis) - ירידת pH מתחת לנורמה הפיסיולוגית, מצב הנגרם עקב עליית רמת החומצות בדם. במקרים בהם התופעה נגרמת עקב איבוד נוזלים ממערכת העיכול מכנים אותה חמצת מטבולית.

לאחר האבחנה כי זוהי חמצת מטבולית ניתנת תמיסת נתרן ביקרבונט,  $NaHCO_3$ , דרך הוריד, לניטרול החומציות.

במקרים דומים, של זיהום במערכת העיכול, איבוד נוזלים וחמצת מטבולית על האחות להקפיד על מספר כללים:

1. מאחר והיציאות הן בדרך כלל תכופות ובלתי נשלטות אפילו אם לחולים אלה אין בדרך כלל בעיה של שליטה על פעילות המעיין, יש להקפיד יותר מהרגיל על נקייון המיטה והאיזור סביב החולה; יש להקפיד על נטילת ידיים בחומר חיסוי (אנטיספטי) ככל פעם שנסתיים הטיפול כחולה זה; כל זה בא למנוע העברת החיידק (במקרה זה השיגלה) על-ידי האחות לחולים אחרים והתפרצות מגיפות.
2. עיקר הטיפול מבוסס על שמירה על משק המים בגוף על-ידי מתן נוזלים דרך הפה או הזלפתם דרך הוריד. תפקיד הנוזלים הניתנים בכמות רבה הוא לפצות על איבוד הנוזלים דרך הצואה. (נילדים קיים איבוד של 100-1000 מ"ל ביום). יש להפסיק כלכלה, דבר הגורם להפסקת השלשול תוך 48 שעות; יש להוסיף סוכרים ואלקטרוליטים לעירווי הנוזלים כי הם חיוניים לפעילות תקינה של כל המערכות בגוף.
3. יש לחזור באופן הדרגתי לכלכלה רגילה (תחילה מזון מרוסק המכיל חלבונים) תוך הפסקת העירווי.

חשוב לזכור כי: מתן נוזלים שאינם מכילים את כל המלחים, והמכילים חלק מהמלחים בכמות העולה על הנדרש, עלול לגרום להצטברות מים בגוף (בצקת) ואי הפרשתם בכליות. לכן יש לערוך בדיקות שוטפות של רמת האלקטרוליטים בדם, ושל pH הדם כדי לראות האם החמצת התאונה והאם ניתן להפסיק מתן הביקרבונט.

\*\*\*\*\*

עד כאן חמצת מטבולית והטיפול בה באופן איכותי. בהמשך נלמד כיצד הבופרים מסייעים בשמירה על pH קבוע של מזלי הגוף.

## 5.6 רשימת מושגים

חומצה, בסיס, חומצה ובסיס מצומדים  
 תמיסה חומצית, תמיסה בסיסית, תמיסה ניטרלית  
 יון הידרוניום,  $H^+$ , יון הידרוקסיד  
 אינדיקטור  
 תגובת חומצה-בסיס, תגובת סתירה  
 חמצת מטבולית  
 pH, נייר pH, pH - מטר  
 pH בתמיסה חומצית, בסיסית וניטרלית

## 5.7 שאלות לפרק החמישי

1. חומצה סטארית,  $C_{17}H_{35}COOH$ , היא חומצה שומנית. המלח נתרן סטארי מתקבל בתגובת סתירה בין החומצה ונתרן הידרוקסיד.
  - א. בהנחה שלחומצה הסטארית שרשרת פחמימנית כלתי מסועפת, מהי נוסחת המבנה שלה ?
  - ב. סמן איזה אטום מימן במולקולת החומצה משמש ליצירת יון הידרוניום.
  - ג. רשום ניסוח תגובת הסתירה.

2. בבדיקת pH השתן של חולה התקבל  $\text{pH} = 6.5$ .

א. מהו תחום הריכוזים של  $\text{H}^+$  המתאים ל- $\text{pH}$  זה ?

I.  $10^{-4}\text{M} - 10^{-5}\text{M}$

II.  $10^{-5}\text{M} - 10^{-6}\text{M}$

III.  $10^{-6}\text{M} - 10^{-7}\text{M}$

IV.  $10^{-7}\text{M} - 10^{-8}\text{M}$

ב. האם זוהי תמיסה חומצית, בסיסית או ניטרלית ?

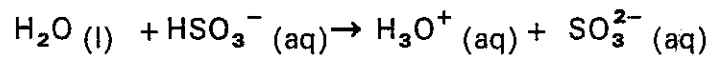
3. תרחיף המלח בריום גופרתי משמש בצילומי רנטגן של מערכת העיכול.

א. היעזר בטבלת היונים ורשום מהי נוסחת המלח.

ב. מהי החומצה ומהו הבסיס שכתגובתם ניתן ליצור מלח זה ?

ג. רשום ניסוח תהליך הסתירה, בהתחשב בעובדה כי בריום גופרתי הוא קשה תמס.

4. הסבר מדוע ניתן לסווג את התהליכים הבאים כתגובת חומצה-בסיס:



5. לפיך ריכוז  $\text{H}^+$  של חומרים המצויים בכל מטבח:

א. מיץ לימון  $[\text{H}^+] = 7 \times 10^{-3}\text{M}$

ב. קפה  $[\text{H}^+] = 3 \times 10^{-6}\text{M}$

ג. חלב  $[\text{H}^+] = 6 \times 10^{-7}\text{M}$

מהו תחום ה- $\text{pH}$  של כל אחד מהחומרים הללו ?

בחר בין תחומי ה- $\text{pH}$  הנתונים:

I. בין  $\text{pH} = 2$  ל-  $\text{pH} = 3$

II. בין  $\text{pH} = 3$  ל-  $\text{pH} = 4$

III. בין  $\text{pH} = 4$  ל-  $\text{pH} = 5$

IV. בין  $\text{pH} = 5$  ל-  $\text{pH} = 6$

V. בין  $\text{pH} = 6$  ל-  $\text{pH} = 7$

VI. בין  $\text{pH} = 7$  ל-  $\text{pH} = 8$

6. נתונה תמיסה של נתרן הידרוקסיד,  $0.1M NaOH$ .

- א. מהו ריכוז יוני הידרוקסיד בתמיסה ?
- ב. מהו ריכוז  $H^+$  בתמיסה ?
- ג. מהו ה-pH ?
- ד. האם התמיסה היא חומצית, ניטרלית או בסיסית ? נמק עפ"י חישוביך בשלושת הסעיפים הקודמים.

7. חולה סכרת הגיע לבית חולים לאישפוז ובבדיקת pH הדם שלו התקבל  $pH = 7.2$ .

- א. מהו תחום הריכוזים של  $H^+$  המתאים ל-pH זה ?
- ב. האם לחולה זה pH דם תקין ? הסבר.
- ג. מהו המונח הרפואי המשמש לתיאור מצב דמו של החולה ?
- ד. אם נתייחס לדמו של החולה כאל תמיסה, האם זוהי תמיסה חומצית, בסיסית, או ניטרלית ?

8. מעבדת מחקר מבצעת בדיקות בעזרת נייר pH, המותן את הצבעים הבאים:

| pH | צבע        |
|----|------------|
| 4  | אדום       |
| 5  | אורנג'     |
| 6  | צהוב       |
| 7  | ירוק       |
| 8  | כחול-ירקרק |
| 9  | כחול       |

מה יהיו הצבעים שיתקבלו בבדיקות של התמיסות שהופיעו בשאלות 2, 5, 7 ?

# פרק ששי: שיווי משקל חומצה-בסיס בכליה

\*\*\*\*\*

## אירוע רפואי:

חולה הגיע לבית החולים עם עוויתות קשות ונשימות מהירות; בכדיקות מעבדה נמצא כי ריכוז השתנן (urea) בדמו הוא 200 מ"ג אחוז ו-pH הדם הוא 7.2. החולה סבל מאי ספיקת כליות - כליותיו גפגעו עקב זיהום ממושך.

## ניתוח האירוע

מצב של אי ספיקה כליתית הוא מצב בו הכליות אינן מתפקדות כראוי. מצב זה יכול להיות כרוני עקב זיהום חיידקי ממושך הפוגע בכליות (כמתואר במקרה לעיל), או מאורע חד וחריף הנגרם כתוצאה מתאונת דרכים או מהרעלות שונות. עם הירידה בתפקודי הכליות מתרחשות הפרעות הבאות: צבירת נוזלים בגוף, ירידה ב-pH הדם, הצטברות חומרי פסולת חנקניים בדם כגון שתנן ועוד.

\*\*\*\*\*

בפרק זה נדון בכליה ובתפקידיה. נלמד מה חלקה של הכליה במאזן חומצי-בסיסי ומדוע קיים הבדל בין ה-pH של הדם לזה של השתן. לצורך זה עלינו להכיר תחילה את המושג שיווי משקל.

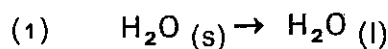
## 6.1 שיווי משקל

### 6.1.1 מערכת קרח-מים

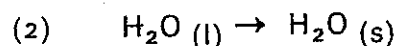
לפניך תיאור של ניסוי: מספר קוביות קרח הושמו בכלי זכוכית סגור והונחו במיכל בו שררה טמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  (ראה פרק א' עמ' 7). בתחילה הופיעו מעט מים (נוזל) בתחתית הכלי. בהמשך קוביות הקרח הלכו וקטנו ואילו כמות המים הלכה וגדלה. אולם, לא כל הקרח ניתך.

מה התרחש במערכת זו ?

בתחילת הניסוי היה מבנה המוצק - קרח, מסודר. בתהליך ההיתוך חלה התרופכות הסדר והתגברות תנועתן של המולקולות. תגובת ההיתוך של הקרח נרשמת כדלהלן:



בהמשך חל תהליך הפוך לתהליך ההיתוך - תהליך קפיאת המים. חלה החלשות בתנועתן של חלק מהמולקולות והן שבו למצב המסודר השורר במוצק. תגובת קפיאת המים נרשמת באופן הבא:



כעבור פרק זמן שני התהליכים ההיתוך (1) - הישיר והקיפאון (2) - ההפוך מתרחשים בו זמנית.

כיצד נסביר את העובדה כי לא כל הקרח ניתך ?



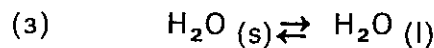
בתחילת תהליך ההיתוך מספר המולקולות המצויות בתנועה (נוזל) הוא קטן יחסית. כמשך הזמן מספרן עולה ועל כן גדל הסיכוי לתהליך ההפוך (2). תהליך זה מתרחש עד אשר מספר המולקולות העוברות ממוצק לנוזל שווה למספר המולקולות העוברות מנוזל למוצק. מהירות תגובה מוגדרת כמספר המגיבים או התוצרים ליחידת זמן.

במערכת שלנו מספר המולים של קרח הניתכים ביחידת זמן שווה למספר המולים של מים הקופאים ביחידת זמן, כלומר מהירות ההיתוך שווה למהירות קפיאת המים. זהו מצב שבו הגיעה המערכת לשיווי משקל.

כיצד נרשום את ניסוח התהליך במערכת קרח-מים שהגיעה לשיווי משקל ?

במערכת נתונה העשויה להגיע לשיווי משקל, שני התהליכים, הישיר וההפוך יכולים להתרחש בו זמנית; לכן נרשם הניסוח בעזרת שני חיצים.

במערכת קרח-מים ירשם התהליך כך:

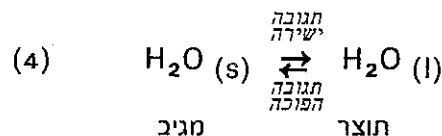


מאחר וכל הזמן עוברות מולקולות ממוצק לנוזל ומנוזל למוצק, אנו מתארים את המצב כשיווי משקל דינמי.

שים לב, כי ניתן להתייחס לתהליך ממגיב לתוצר ומתוצר למגיב. מאחר ובתהליך ההיתוך (1) הקרח הוא המגיב והמים הם התוצר ובתהליך הקפאון (2) המים הם המגיב והקרח הוא התוצר, עלינו לקבוע למי נקרא "מגיב" ולמי נקרא "תוצר".

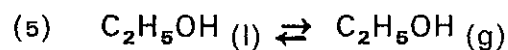
המגיב הוא החומר שכמותו פוחתת והנרשם בצד שמאל של הניסוח ואילו החומר, שכמותו עולה והנרשם בצד ימין הוא התוצר.

כמו כן ניתן לציין כי התגובה המתרחשת ממגיבים לתוצרים היא התגובה הישירה, ואילו התגובה המתרחשת מתוצרים אל מגיבים היא התגובה ההפוכה. נסכם זאת בניסוח:



## 6.1.2 איזוי הכוהל

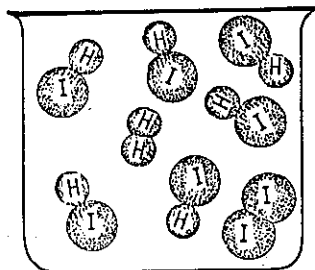
נתבונן בדוגמה נוספת: נשים אתאנול (כוהל רפואי) בכלי, הוא יתחיל להתאדות (עובדה שנוכל לחוש בריח) ובהמשך הזמן חלק מהאדים עשוי להתעבות. אם נשאיר את הכלי פתוח, חלק מהמולקולות העוזבות את המצב הנוזלי תעזובנה גם את הכלי, ולכן יפחת מספרן של אלו שיחזרו ויתעבו. כתוצאה מכך יתאדה עוד ועוד כוהל נוזלי עד שהכלי ייבש. מכאן החשיבות הרבה הטמונה בסגירה הרמטית של כלים בהם נתונים חומרים נדיפים, כגון: כוהל ואתר. לעומת זאת, אם נשאיר את הכלי סגור, המערכת תגיע למצב של שיווי משקל והתהליך ירשם כך:



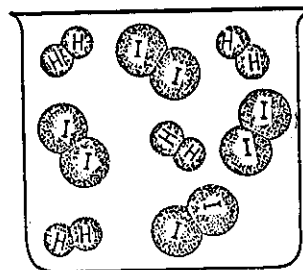
שיווי משקל מתקיים אך ורק במערכת סגורה מערכת סגורה היא מערכת שאינה מחליפה חומר עם הסביבה. חומר אינו נכנס ואינו יוצא ממנה.

### 6.1.3 מערכת של יצירת מימן יודי

נתבונן בדוגמה נוספת\*, שבה מתרחש תהליך כימי: שני יסודות גזיים הניבו ביניהם ליצירת תרכובת גזית. לכלי סגור הוכנסו מולקולות מימן - גז חסר צבע,  $H_2(g)$ , ומולקולות יוד - גז שצבעו סגול,  $I_2(g)$  (ציור 6.1-א). מולקולות המימן והיוד הניבו ביניהן ליצירת מולקולות מימן יודי,  $HI(g)$  (ציור 6.1-ב), כתוצאה מכך צבע היוד הסגול, התכהר במשך התגובה.



ב. יצירת מימן יודי

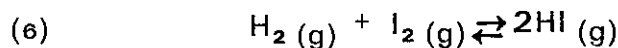


א. גזים: מימן ויוד

ציור 6.1: יצירת מימן יודי ממימן ויוד

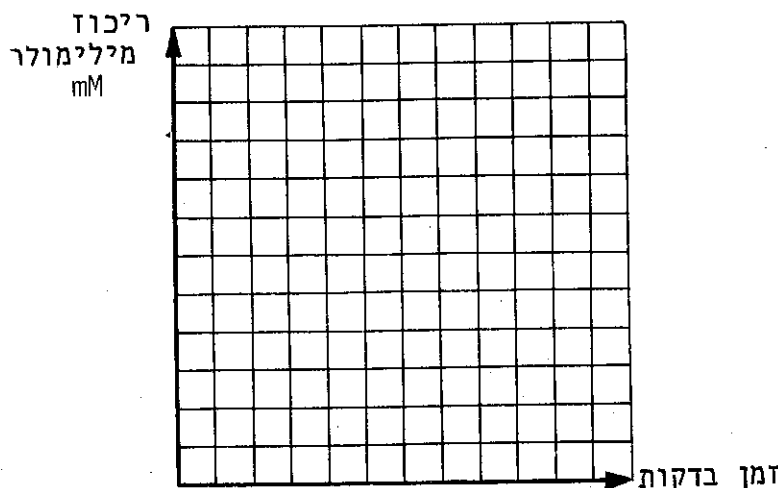
לאחר 35 דקות לא ניתן היה להבחין בכל שינוי בצבע היוד. מן הקביעות בעוצמת הצבע ניתן להסיק כי לא חל יותר שינוי בריכוזי החומרים, כלומר השתרר מצב של שיווי משקל.

במצב זה מתרחשות שתי התגובות ההפוכות במהירויות שוות, כלומר מספר המולים הנוצרים של מימן יודי זהה למספר המולים המתפרקים חזרה ליסודות מימן ויוד. ניתן לתאר את המערכת בניסוח תהליך (6):



כאשר עורכים אותו ניסוי באופן כמותי ניתן להציג את השתנות ריכוזי המגיבים והתוצרים הן בטבלה והן בגרף.

ציר ה-x יהיה הזמן בדקות וציר ה-y יהיה הריכוז במילימולר (ציור 6.2-א).



ציור 6.2-א: צירים לתיאור מערכת המגיבה לשיווי משקל

יעל-פי: שיווי משקל כימי מאת איטה כהן בהוצאת המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

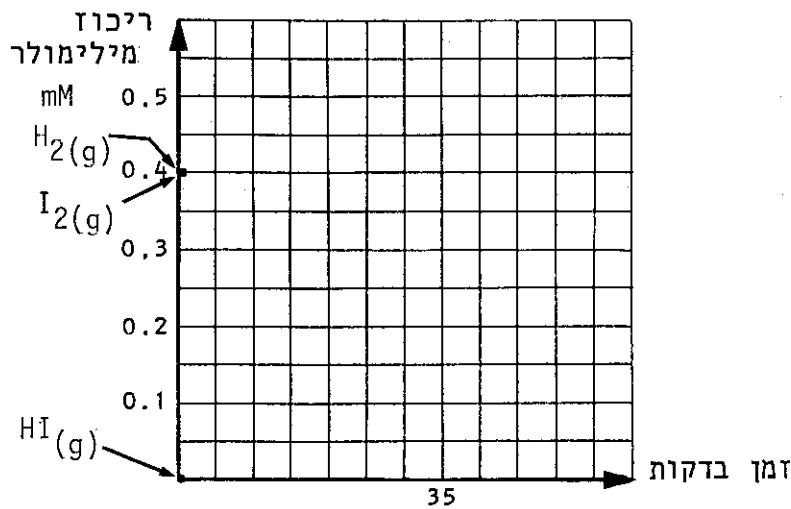
לכלי שנפחו 1 ליטר הוכנסו 0.4 מילימול מימן ו-0.4 מילימול יוד. בתחילת התגובה ריכוז המימן יודי (התוצר) הוא אפס.

ציב נתונים אלו בטבלה 6.1-א:

| $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ |     |   | הניסוח המאוזן  |
|---|-----|---|--|
| 0.4   | 0.4 | 0 | ריכוזים* התחלתיים<br>השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל<br>הריכוזים בשווי-משקל |

טבלה 6.1-א: מערכת יצירת מימן יודי

עתה נסמן גרף את הריכוזים ההתחלתיים של המגיבים ושל התוצרים (ציור 6.2-ב).



ציור 6.2-ב: ריכוזים התחלתיים במערכת יצירת מימן יודי

בתום 35 דקות נמצאו בכלי 0.1 מילימול יוד.

מה השינוי שחל בכמות היוז בכלי ?

מספר המילימולים קטן ב-0.3, לכן ציב בעמודה האמצעית 0.3-.

יחסי המולים מימן : יוד הם 1 : 1, לכן, אם הגיבו 0.3 מילימול  $I_2$ , הגיבו גם 0.3 מילימול  $H_2$ .

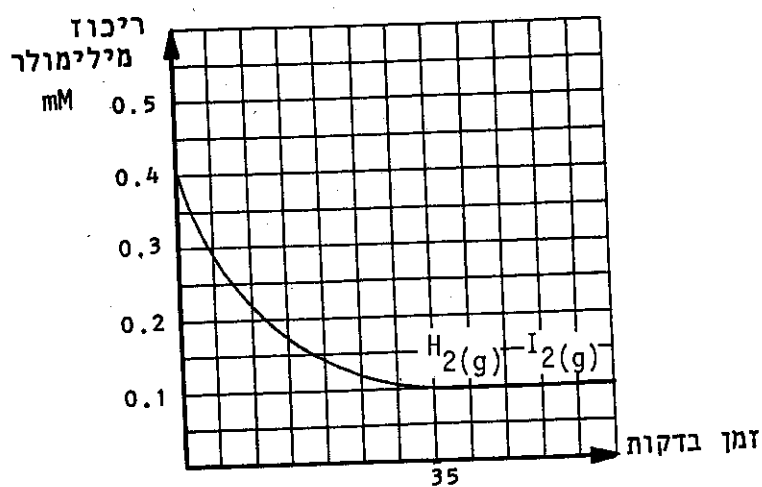
ציב זאת בטבלה 6.1-ב:

| $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ |      |   | הניסוח המאוזן                    |
|---|------|---|----------------------------------|
| 0.4   | 0.4  | 0 | ריכוזים* התחלתיים                |
| -0.3  | -0.3 |   | השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל |
| 0.1   | 0.1  |   | הריכוזים בשווי-משקל              |

טבלה 6.1-ב: מערכת יצירת מימן יודי.

הריכוזים נמדדים במילימולר, mM

הירידה ההדרגתית בריכוזם של המגיבים  $H_2(g)$  ו- $I_2(g)$  מתוארת בהצגה הגרפית באמצעות עקומה יורדת (ציור 6.3-א).



ציור 6.3-א: גרף המתאר את שינוי ריכוז המגיבים  $H_2(g)$ ,  $I_2(g)$

כמה מילימולים של מימן יודי נוצרו במערכת?  
כדי לענות על שאלה זו נשוב לתגובה בין מימן יוד. יחסי המולים יוד : מימן יודי הם 1 : 2. מה פרושו של יחס זה?

על כל מול של  $I_2(g)$  שהגיב עם מול של  $H_2(g)$  נוצרו 2 מול של  $HI(g)$ .  
בניסוי שתואר לעיל הגיבו 0.3 מילימול  $I_2$  עם 0.3 מילימול  $H_2$ , מכאן נובע כי נוצרו 0.6 מילימול  $HI(g)$ .  
בתחילת הניסוי לא היה כלל במערכת מימן יודי,  $HI(g)$  ולכן מאחר ונוצרו בכלי, שנפחו 1 ליטר, 0.6 מילימול מימן יודי ריכוז המימן יודי בשיווי משקל הוא 0.6 מילימולר.

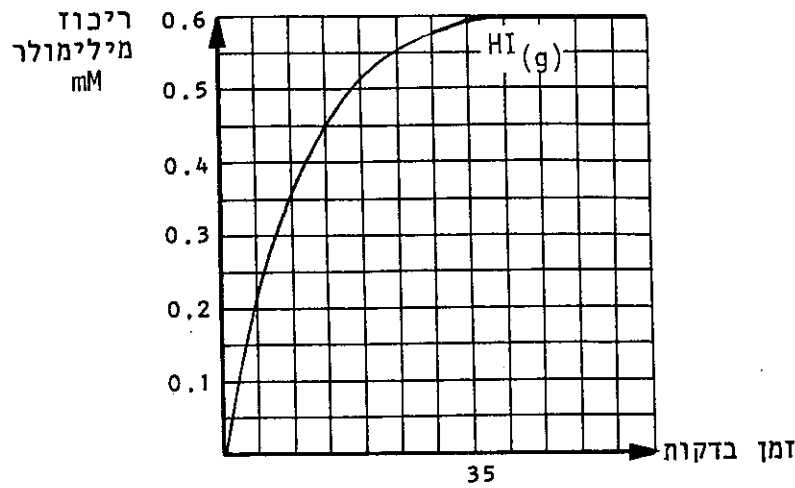
צביע כל זאת בטבלה 6.1-ב:

| $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ |      |      | הניסוח המאוזן                    |
|---|------|------|----------------------------------|
| 0.4   | 0.4  | 0    | ריכוזים* התחלתיים                |
| -0.3  | -0.3 | +0.6 | השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל |
| 0.1   | 0.1  | 0.6  | הריכוזים בשווי-משקל              |

טבלה 6.1-ב: מערכת יצירת מימן יודי

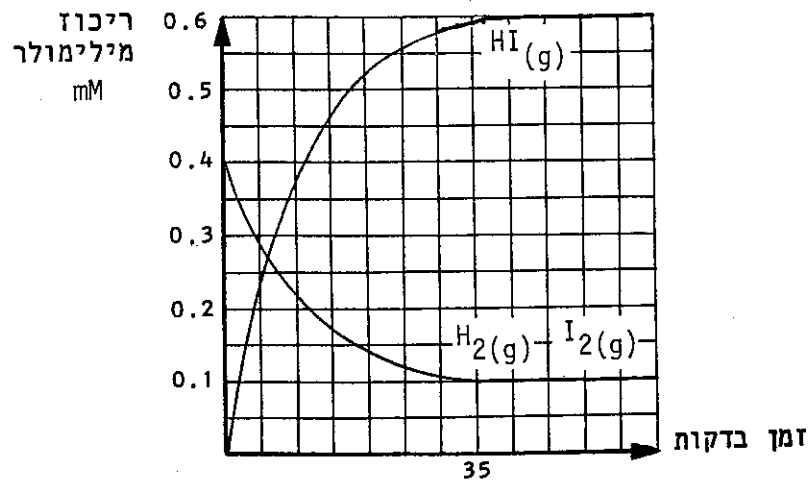
\*הריכוזים נמדדים במילימולר, mM

העליה ההדרגתית בריכוז של התוצר, HI(g), מתוארת בהצגה גרפית באמצעות עקומה עולה (ציור 6.3-ב).



ציור 6.3-ב: גרף היווצרות התוצר HI(g)

כעת ניתן לתאר את המעקב אחר המערכת כולה (ציור 6.3-ג).



ציור 6.3-ג: גרף המתאר את מערכת יצירת מימן יודי

מדוע בשתי העקומות הקו מקביל לציר ה-x אחרי 35 דקות ?

במצב של שיווי משקל, מאחר והתגובות הישירה וההפוכה מתרחשות בו זמנית באותה מהירות מתקבל קו מקביל לציר ה-x (plateau) גם בעקומה העולה וגם בעקומה היורדת.

מה מאפיין מצב של שיווי משקל ?

לא ניתן להבחין בשינוי נראה לעין במערכת.

כלומר לא חל שינוי בתכונות המאקרוסקופיות - התכונות הניתנות למדידה, כגון: צבע, ריכוז, pH, מוליכות, לחץ ועוד

משלש הדוגמאות בהן עסקנו, התהליכים ההפוכים התרחשו במצבי הצבירה: מוצק, נוזל וגז. במעבדה, בתגובה בין חומרים המומסים בתמיסה מימית (יונים או מולקולות) מהווה התמיסה מערכת סגורה משום שהיונים או המולקולות אינם עוזבים כמות משמעותית את המערכת בזמן הניסוי.

תגובות המתרחשות בגוף האדם מתבצעות, ברוב המקרים, בתמיסות מימיות. נדון בתהליכי חומצה-בסיס, המתרחשים בגוף, כדוגמה לתהליכי שיווי משקל בתמיסות מימיות.

## 6.2 שיווי משקל בתגובות חומצה-בסיס

### 6.2.1 חומצות חזקות וחלשות

במעבדה הכינו שתי תמיסות שוות ריכוז:

חומצה כלורית,  $0.1\text{M HCl}$ , וחומצה אצטית,  $0.1\text{M CH}_3\text{COOH}$ .

בעזרת מכשיר pH-מטר מדדו את pH התמיסות.

עבור תמיסת  $0.1\text{M HCl}$ , התקבל  $\text{pH} = 1$ , עבור תמיסת  $0.1\text{M CH}_3\text{COOH}$ , התקבל  $\text{pH} = 3$ .

כיצד נוכל להסביר תוצאות ניסויים אלו?

על-פי הגדרת ה-pH (פרק ה' עמ' 80):

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\log_{10}[\text{H}_3\text{O}^+]$$

מהנתון  $\text{pH} = 1$  עבור חומצה כלורית,  $0.1\text{M HCl}$ , נובע כי:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-1}\text{M} = 0.1\text{M}$$

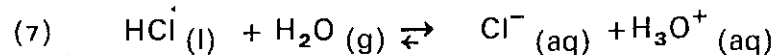
קבלנו ריכוז יוני ההידרוניום שווה לריכוז החומצה הכלורית.

לעומת זאת, מהנתון  $\text{pH} = 3$  עבור חומצה אצטית,  $0.1\text{M CH}_3\text{COOH}$ , נובע:

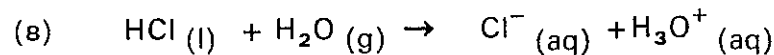
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3}\text{M} = 0.001\text{M}$$

בתמיסה זו ריכוז יוני ההידרוניום קטן בהרבה מריכוז החומצה האצטית.

הבדל בריכוז יוני ההידרוניום בין שתי התמיסות נובע מכך שבתגובת מימן כלורי עם המים התקבלו כמעט 100% יוני ההידרוניום ויוני כלוריד; לכן יכולנו לרשום את ניסוח התהליך באופן הבא:



לשם פשטות נהוג לרשום חץ אחד בלבד, המציין את העובדה כי במערכת זאת קיים ריכוז ניכר של יוני ההידרוניום ויוני כלוריד.



אולם, בתמיסה המימית של חומצה אצטית ריכוז יוני ההידרוניום ויוני אצטט הוא נמוך ביותר, למרות שריכוז החומצות זהה בשני המקרים. הסיבה נעוצה בכך שהתגובה ההפוכה (מיונים חזרה ליצירת מולקולות) מתרחשת במידה ניכרת ולכן נרשם הניסוח כך:



חומצות שתגובותיהן עם המים מתרחשות עד תום, כך שמתקבלים מירב יוני ההידרוניום האפשריים, נקראות חומצות חזקות. דוגמה: חומצה כלורית (ניסוח (8)).

תגובה המתרחשת עד תום אינה תגובה המגיעה למצב של שינוי משקל.

חומצות שתגובותיהן עם המים הן תהליכים הפיכים ורק חלק מיוני ההידרוניום האפשריים נוכחים בתמיסה, נקראות חומצות חלשות. דוגמה: חומצה אצטית (ניסוח (9)). דוגמאות נוספות ראה טבלה 6.2 הדנה בחוזק יחסי של חומצות.

חומצה אורגנית, המכילה קבוצה קרבוקסילית, היא בדרך כלל חומצה חלשה. בתמיסה בריכוז  $0.1\text{M}$  של חומצה חלשה ה- $\text{pH}$  יהיה גבוה מ-1.

ככל שהחומצה חזקה יותר היא תגרום לנוכחות גבוהה יותר של יוני ההידרוניום בתמיסה המימית ולכן ל- $\text{pH}$  נמוך יותר.

### 6.1 תרגיל

חומץ, מיץ לימון וחלב חמוץ, טעמים חמוץ.

אלו תכונות משותפות נוספות תצפה למצוא בחומרים הנ"ל ?

### 6.2 תרגיל

1. מה נכון לגבי מוליכות תמיסת  $0.1\text{M HCl}$  ?  
טובה מאוד/בינונית/חלשה (מחק את המיותר).

2. מה נכון לגבי מוליכות תמיסת  $0.1\text{M CH}_3\text{COOH}$  ?  
טובה מאוד/בינונית/חלשה (מחק את המיותר).

| חוזק יחסי של<br>החומצה   | בסיס חומצה מצומדים                          |   | חוזק יחסי של<br>הבסיס המצומד |
|--|---|---|------------------------------|
|  | החומצה                                      | הבסיס המצומד                                |                              |
| <p>מאד חזקה</p> <p>↓</p> <p>חזקה</p> <p>↓</p> <p>חלשה</p> <p>↓</p> <p>↓</p> <p>↓</p> <p>↓</p> <p>מאד<br/>חלשה</p> <p>↓</p> | HCl   | Cl <sup>-</sup>                             | ↑<br>מאד<br>חלש              |
|  | HNO <sub>3</sub>                            | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | ↑                            |
|  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>              | HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>               | ↑                            |
|  | H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>               | H <sub>2</sub> O                            | ↑                            |
|  | HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>               | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | ↑                            |
|  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>              | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | ↑                            |
|  | HF  | F <sup>-</sup>                              | ↑                            |
|  | CH <sub>3</sub> COOH                        | CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>            | ↑                            |
|  | H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>              | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>               | ↑                            |
|  | H <sub>2</sub> S                            | HS <sup>-</sup>                             | ↑                            |
|  | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | ↑                            |
|  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                | NH <sub>3</sub>                             | ח ל ש                        |
|  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>               | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | ↑                            |
|  | HS <sup>-</sup>                             | S <sup>2-</sup>                             | ח ז ק                        |
|  | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>               | ↑                            |
|  | H <sub>2</sub> O                            | OH <sup>-</sup>                             | ↑                            |
| OH <sup>-</sup>  | O <sup>2-</sup>                             | מאד חזק                                     |                              |

טבלה 6.2: חוזק יחסי של חומצות והבסיסים המצומדים\* המתאימים

\*קרא שוב בפרק ה'עמ' 77.



## 6.2.2 בסיסים חזקים וחלשים

האם בבסיסים קיימת תופעה דומה לזו שבחומצות ?

נבדוק את ערכי ה-pH של מספר תמיסות (טבלה 6.3):

| ה-pH | היונים והמולקולות הנוכחים בתמיסה   | ריכוז המומס | המומס                          |
|------|--|-------------|--------------------------------|
| 13   | $\text{Na}^+_{(aq)} \cdot \text{OH}^-_{(aq)}$  | 0.1 M       | $\text{NaOH}_{(s)}$            |
| 11.7 | $\text{Na}^+_{(aq)} \cdot \text{CO}_3^{2-}_{(aq)}$<br>$\text{HCO}_3^-_{(aq)} \cdot \text{OH}^-_{(aq)}$ | 0.1 M       | $\text{Na}_2\text{CO}_3_{(s)}$ |
| 11.1 | $\text{NH}_4^+_{(aq)} \cdot \text{OH}^-_{(aq)}$<br>$\text{NH}_3_{(aq)}$                                | 0.1 M       | $\text{NH}_3_{(g)}$            |
| 9.7  | $\text{HCO}_3^-_{(aq)} \cdot \text{Na}^+_{(aq)}$<br>$\text{OH}^-_{(aq)}$                               | 0.1 M       | $\text{NaHCO}_3_{(s)}$         |

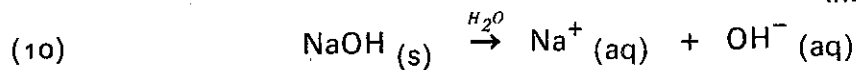
טבלה 6.3: תכונות מספר בסיסים

כיצד נסביר את הנתונים בטבלה ?

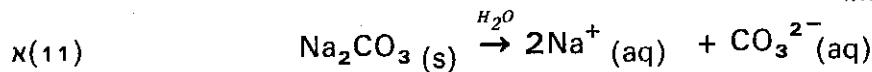
נרשום את התהליכים המתאימים (לשם רענון קרא בפרק ה' עמ' 103-99).

עבור המומסים בשתי התמיסות הראשונות בטבלה:

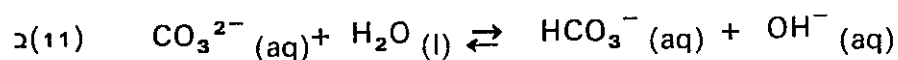
תהליך המסה:



תהליך המסה:



תהליך שיווי משקל חומצה-בסיס:



ניסויים אלו מסבירים כי כל אחת מהתמיסות מכילה יוני הידרוקסיד, כלומר היא בסיסית ולכן ערכי ה-pH גבוהים מ-7.

כדומה לחומצות גם בכיסיים ניתן להגדיר בסיס חזק ובסיס חלש (ראה טבלה 6.2). ככל שהבסיס חזק יותר ריכוז יוני ההידרוקסיד בתמיסה מימית גבוה יותר ולכן ה-pH המתקבל גבוה יותר (קרוז יותר ל-14).

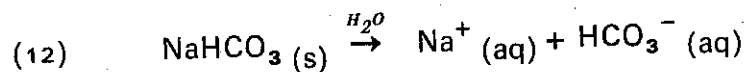
### תרגיל 6.3

כדי לרפא צרבת שהיא תוצאה מעודף חומצה במיץ הקיבה, שותים תמיסת נתרן ביקרבונט,  $\text{NaHCO}_3$ . מיד אחרי כן החולה משהק.

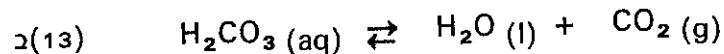
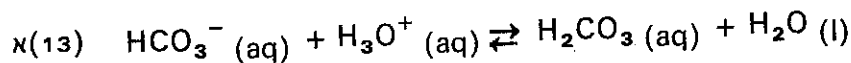
1. מהו התהליך המתרחש בעת הכנת תמיסת נתרן ביקרבונט?
2. מה הקשר בין השיהוק ובין פעילות הביקרבונט?

**פתרון:**

1. ניסוח תהליך המסת נתרן ביקרבונט:



2. ניסוח התהליכים המתרחשים בנוף עם לקיחת התרופה כנגד צרבת:



השיהוק מאפשר שיחרור מהיר של עודף הגז פחמן דו-חמצני שמקורו בפירוק החומצה הפחמתית (תהליך 13 ב). החומצה היא תוצר תהליך הסתירה (13 א), שהתרחש בין עודף יוני ההידרוניום, שמקורם בקיבה והגורמים לצרבת לבין יוני הביקרבונט, שהחולה קיבל כתרופה.

### תרגיל 6.4

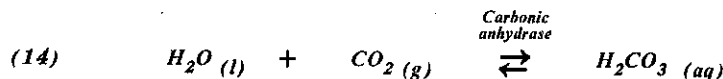
1. מצא בניסוחי התהליכים 11 ב ו-13 א מי פועל כחומצה ומי פועל כבסיס, גם במגיבים וגם בתוצרים.
2. מניין את ארבעת הבסיסים המופיעים בטבלה 6.3 על-פי חוזקם.

\*\*\*\*\*

הפעילות התקינה של הגוף תלויה בפעילות תקינה של התאים כתנאי pH וטמפרטורה מתונים. פעילות תקינה זו מתרחשת בסיועם של מאות ואף אלפים של אנזימים המצויים בכל תא.

האנזימים הם ורזים ביולוגיים ה"מפקחים" על פעילות התאים החיים.

דוגמה: תהליך יצירת חומצה פחמתית ממים ופחמן דו-חמצני (תהליך 14) מזורז פי  $10^7$  (עשרה מיליון) ע"י אנזים הקרוי קרבוניק אנהידרוז בהשוואה לאותו תהליך המתרחש בהעדר האנזים. (זהו תהליך הפוך לתהליך המתואר בניסוח 13 ב).



האנזימים הם חלבונים והם נתונים להשפעות של חום ו-pH. שינוי גדול מדי, מעבר לתחום האופטימלי, עלול לפגום ביעילות האנזימים עד כדי הפסקת פעילות התאים.

ערך תקין של pH הדם נע בתחום 7.35-7.45. אם חלה סטייה קלה מתחום צר זה נגרמות הפרעות חמורות בפעילות התקינה של הגוף. סטיות גדולות יותר עלולות להסתיים במוות.

לשם שמירה על pH קבוע מצויים בנוזלי הגוף מספר בופרים. מהו בופר ?

\*\*\*\*\*

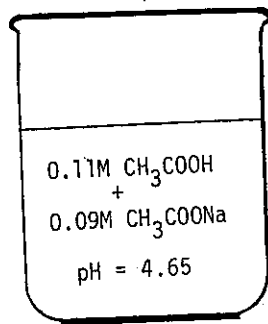
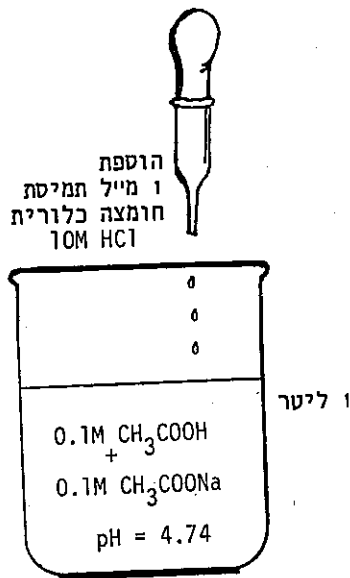
### 6.3 הבופר

תמיסת בופר מורכבת מחומצה חלשה\* והבסיס המצומד המתאים. יתרונה טמון בכושרה לכלום שינויים ב-pH. חומרים שונים המומסים במים עשויים לשנות את ריכוז יוני ההידרוניום באופן קיצוני. אותם חומרים, כשהם מתווספים לתמיסת בופר, מגיבים עם החומצה או עם הבסיס המצומד ועל-ידי כך נסתרים.

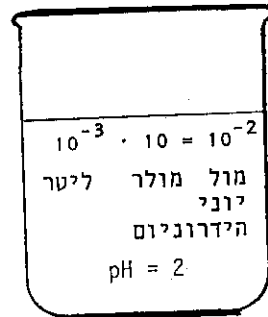
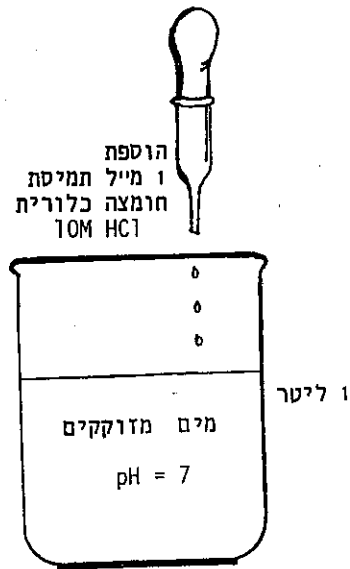
בציור 6.4-א מתואר ניסוי בו הוסיפו 1 מ"ל תמיסת חומצה כלורית מרוכזת ל-1 ליטר מים מזוקקים. עקב כך מספו יוני ההידרוניום רבים, שגרמו לשינוי ב-pH המים מ-7 ל-2, כלומר השינוי ב-pH הוא 5- !

בציור 6.4-ב מתואר ניסוי דומה, אלא שהפעם הוסיפו 1 מ"ל חומצה כלורית מרוכזת ל-1 ליטר תמיסת בופר "אצטטי". הבסיס המצומד, היון האצטטי,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , סתר את רוב יוני ההידרוניום שנוספו לתמיסה. עקב כך השינוי ב-pH התמיסה הוא 0.09- ! הבופר בלם שינויים קיצוניים ב-pH !

\*קיימת גם תמיסת בופר המורכבת מבסיס חלש והחומצה המצומדת.



השינוי ב-pH הוא -0.09



השינוי ב-pH הוא -5

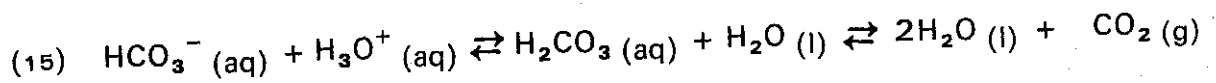
ציור 6.4-ב: הוספת חומצה מרוכזת ל"בופר אצטטי"

ציור 6.4-א: הוספת חומצה מרוכזת למים מזוקקים

מערכת הבופר העיקרית המצויה בדם היא החומצה הפחמתית (חומצה חלשה) והבסיס המצומד לה הינו מימן פחמתי (ביקרבוט), כאשר היון הנפוץ ביותר המלווה אותו הוא יון נתרן.

כיצד פועל הבופר ה"פחמתי"  $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$  ?

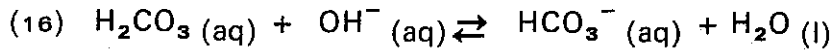
הוספת יוני הידרוניום למערכת תפעל על היון מימן פחמתי כדלהלן:



היון מימן פחמתי מגיב עם יוני ההידרוניום ליצירת חומצה פחמתית ומים, כך שהרוכב הגדול של יוני ההידרוניום נסתר ועקב כך ריכוז יוני ההידרוניום קטן בהרבה.

החומצה הפחמתית נוטה להתפרק לפחמן דו חמצני ומים, כך שבמערכת "פתוחה" הפחמן הדו חמצני ישתחרר כגז. בגוף הריאות מהוות מערכת פתוחה והפחמן הדו חמצני נפלט באוויר הנשוף וכך מקטין את ריכוז החומצה הפחמתית בדם.

הוספת יוני הידרוקסיד למערכת תפעל על חומצה פחמתית כדלהלן:



החומצה הפחמתית הגיבה עם יון הידרוקסיד כך שנוצר יון מימן פחמתי ומים. במקרה זה הגיבו יוני ההידרוקסיד ונעלמו; כלומר, הבורר מסוגל לסתור גם חומצה וגם בסיס שנוספו וכך שומר על pH קבוע.

מערכות בופר קיימות בכליה ועל כך נרחיב את הדין.

## 6.4 הכליה - מבנה ותפקוד

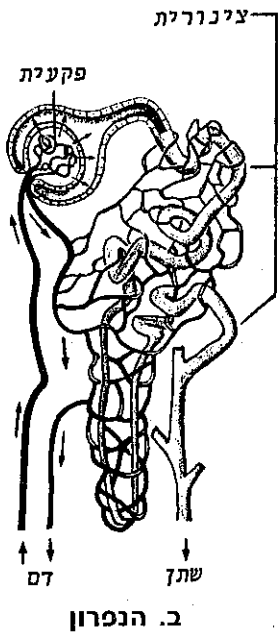
\*\*\*\*\*

**הכליות** (ציור 6.5 א) הן זוג איברים, הממוקמים כאיזור המותניים, משני צידי עמוד השרדה. כליות האדם כוללות כ-2,400,000 **נפרונים** (nephrons) (ציור 6.5 ב), הבגויים מצינוריות המוקפות בכלי דם רבים ועפופים. פלסמת הדם מסתננת אל קצהו העליון של הנפרון - הפקעית, והתסנין זורם לאורכו. הרכב התסנין דומה להרכב פלסמת הדם, פרט לחלבונים שאינם מצויים בו כמעט, בגלל תהליך סינון המתבצע בפקעית הנפרון. **הסינון** הוא סלקטיבי על-פי הפתחים בדופן הפקעית. מולקולות שקוטרן גדול מקוטר הפתחים - חלבונים למשל, לא יסתננו.

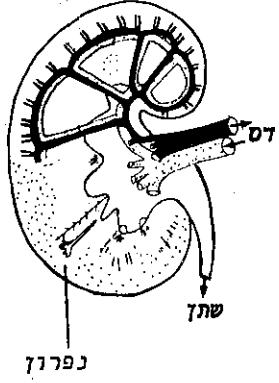
התסנין הראשוני הוא תמיסה מימית, המכילה אלקטרוליטים, גלוקוז וכן שתנן בריכוז נמוך. הרכבו של התסנין משתנה במהלך זרימתו בנפרון, עקב ספיגה של מרבית המים. בסופו של דבר, יוצא מן הכליות נוזל הקרוי שתן (urine) שהוא תמיסה מימית, המכילה שתנן בריכוז גבוה, וכן כמויות קטנות יחסית של אלקטרוליטים\*. הכליה משמשת הן כאיבר הפרשה והן כאיבר **הומאוסטטי** - איבר השומר על יציבות הסביבה הפנימית של הגוף.

הכליות ממלאות תפקיד רב חשיבות בתהליכי הויסות הבאים:

1. הפרשת שתן המכיל ריכוז גבוה של חומרי פסולת מטבוליים.
2. ויסות כמות המים לצורך שמירה על נפח קבוע של נוזלי הגוף.
3. ויסות רמת האלקטרוליטים בגוף.
4. ניטרול עודפי יוני הידרוניום בפלסמה וע"י כך שמירה על pH קבוע בנוזלי הגוף.



ב. הנפרון



א. הכליה

ציור 6.5: מבנה הכליה והנפרון

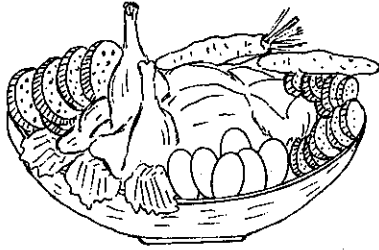
\*על האלקטרוליטים וריכוזם בשתן קרא שוב בפרק ד' עמ' 69.

\*\*\*\*\*

## 6.5 הכליה - גורם מסייע בשמירה על pH קבוע

המזון, שאנו אוכלים עובר תהליכי פירוק בגופנו כמספר מעגלים מטבוליים, חלקם לצורך הספקת אנרגיה וחלקם לשם סינתזת חומרים חרשים הנחוצים לתאים.

במטבוליזם של אבות המזון השונים נוצרים יום 50 עד 100 מילימול חומצות יותר מאשר בסיסים.



מהו מקור החומצות?

חלבונים, פוספוליפידים וחומצות גרעין מספקים לגוף חומצה זרחתית, חומצות אמיניות מסויימות, חומצת שתן ועוד.

ירקות ופירות מספקים לגוף חומצה גופרתית וזרחתית ואילו הפחמימות מתפרקות לחומצות אורגניות כגון: חומצה אצטואצטית, חומצה פירובית וחומצה לקטית; בתהליכי פירוק אלו נוצר גם פחמן דו-חמצני העשוי ליצור את החומצה הפחמתית (תהליך 14). חלק מהחומצות הללו נספגות מהמעיים אל הפלסמה ומשם מועברות לכליה. שם מגוטרלות רוב החומצות על ידי הבופרים או נפרשות בשתן.

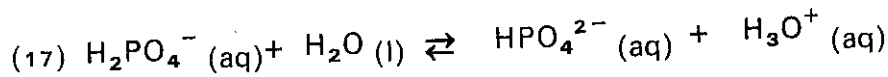
כיצד "מסלקת" הכליה עודפי חומצות או עודף יוני הידרוניום מהגוף?

פעולה זו היא איטית ומבוצעת בעזרת מספר מנגנונים.

אנו נתרכז בהיבט אחד בלבד - הבופר ה"זרחתי".

מערכת הבופר ה"זרחתי"  $H_2PO_4^- / HPO_4^{2-}$  פועלת בעיקר בנוזל התוך-תאי ובכליות\*.

תגובת שיווי המשקל המתרחשת בין היון דו-מימן זרחתי לבין מים מתוארת בניסוח הבא:

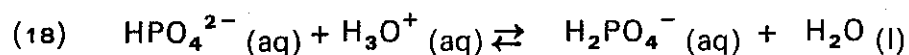


החומצות הנספגות מהמעיים אל הפלסמה ומשם לכליות מפרישות עודף יוני הידרוניום. דבר זה עלול לגרום לירידה תלולה ב-pH של השתן. אולם, הבופר ה"זרחתי" המצוי בנוזלי צימוריות הכליה ובשתן, פועל לניטרול עודף יוני ההידרוניום.

ריכוז היונים חד מימן זרחתי,  $HPO_4^{2-}$ , גבוה פי חמש מריכוז יוני דו-מימן זרחתי,  $H_2PO_4^-$ . החומצה מהווה כ-17% בלבד מהמומסים ואילו היתר הם הבסיס המצומד. הרכב זה מאפשר טווח פעולה רחב יותר בתחום החומצי: כשיוני ההידרוניום שמקורם במזון המעוכל, מופרשים בנוזלי הצימוריות קיים ריכוז גבוה יותר של הבסיס המצומד היכול לסתור אותם. החומצה  $H_2PO_4^-$  נמצאת בריכוז נמוך יותר ויכולה לסתור פחות יוני הידרוקסיד.

\*קרא בפרק ד' - נספח, עמ' 66 אודות ההבדלים בריכוז היון חד-מימן זרחתי בנוזל התוך-תאי למול ריכוזו בנוזל התוך-תאי.

התהליך המתרחש עם עודף יוני ההידרוניום הוא:



יוני ההידרוניום נסתר על-ידי יוני חד-מימן זרחתי - הבסיס המצומד. יש לציין, שלמרות זאת חלה ירידה ב-pH השתן יחסית ל-pH הדם כי לא כל יוני ההידרוניום נסותרים. התופעה קרויה מנגנון התמצת השתן ואם חל שיבוש במנגנון הנ"ל מרבית יוני ההידרוניום לא ינטרלו בכליות אלא "יספגו" בפלסמה, לאחר זמן יעלה pH השתן ואילו pH הדם ירד.

### תרגיל 6.5

1. בניסוחי תהליכים (17), (18) ציין מי פועל כחומצה ומי פועל כבסיס במגיבים ובתוצרים.
2. נסח תהליך המתאר את פעולת הבופר ה"זרחתי" בנוכחות יוני הידרוקסיד, קרי, בסיס.

למערכת ההפרשה באמצעות הכליות והשתן תפקיד חשוב בשמירה על pH הדם והשתן, אולם גם למערכת הנשימה והריאות חלק נכבד בשמירה על הומאוסטזיס בגוף.

כדי להבין את הקשר בין נשימה, פחמן דו-חמצני ושמירה על pH קבוע עלינו לדון בגזים המצויים בדם ובהפרעות למערכות המצויות בשיווי משקל, ועל כך בפרק המסכם את הספר.

לסיום הפרק נשוב לאירוע בו פתחנו.

החולה הכלייתי סבל משתי תופעות:

1. אורמיה - Uremia - שתן דם. זהו מצב הנגרם עקב פגיעה כליתית, המונעת הפרשת שתנן בשתן, ועקב כך נגרמת עליית ריכוז השתנן בדם. מצב זה גורם לעוויתות ולעירפול הכרה ואף למוות.
2. חמצת מטבולית - תופעה מאוחרת יותר (מופיעה כעשרה ימים לאחר הפסקת הטיפול הכלייתי), הנגרמת עקב אי יכולת הכליה להפריש ולנטרל את עודפי החומצות, המצטברים בגוף בכל יום. כתוצאה מכך חלה עלייה ב-pH של השתן וירידה ב-pH של הדם.

כדי לאפשר לחולה זה להמשיך לחיות, ניתן לפעול בשתי שיטות:

- התערבות כירורגית, כגון השתלת כליה.
- שימוש בכליה מלאכותית.

עיקרון הפעולה בכליה המלאכותית הוא שימוש בצינור עשוי קרום חדיר למחצה, המצוי בתוך גזל הדיאליזה, שהרכבו דומה מאוד לפלסמה של אדם בריא.

זרם קבוע של דם מהחולה עובר בתוך צינור הדיאליזה, וכל חומרי הפסולת, המצויים בדם החולה כריכוז גבוה מאשר בגזל הדיאליזה, יעברו דיפוסיה מהדם דרך הקרום החדיר למחצה אל גזל הדיאליזה. באופן זה מוציאים מהדם את עודפי המלחים, המים והשתנן. בדרך-כלל מחובר החולה לכליה מלאכותית פעם עד שלוש פעמים בשבוע למשך מספר שעות.

נציין כי שימוש בכליה המלאכותית יעיל גם למטרה של הוצאת רעלים שונים במקרים של התאבדויות או של בליעה בשוגג של תרופות (בעיקר על-ידי ילדים).

## 6.6 רשימת מושגים

שיווי משקל

מהירות תגובה, תגובה ישירה והפוכה

מערכת סגורה

גרף, עקומה עולה, עקומה יורדת

חומצה חזקה, חומצה חלשה

בסיס חזק, בסיס חלש

בופר

כליה, נפרון, איבר הומאוסטטי

ספיגה, סינון, אי ספיקת כליות

בופר "אצטטי", בופר "פחמתי", בופר "זרחתי"

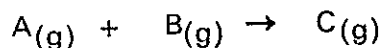
מנגנון החמצת השתן

אורמיה, כליה מלאכותית

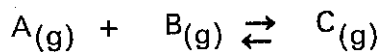


## 6.7 שאלות לפרק הששי

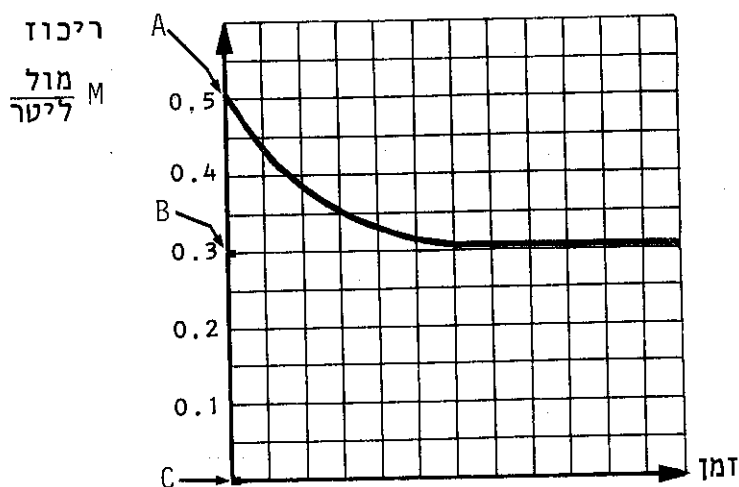
1. התגובה:



הגיעה לאחר זמן מסוים לשיוי משקל, שאותו ננסח על-ידי הוספת החץ ההפוך:



החומרים  $A(g)$  ו- $B(g)$  הוכנסו לכלי התגובה בריכוזים של  $0.5M$  ו- $0.3M$  בהתאמה. היה מעקב אחר ריכוזו של חומר  $A$ , וההצגה הגרפית הבאה מסכמת את המידע:



ניתן להציג את הנתונים הנוגעים למערכת זו, גם ברישום בטבלה המסכמת, באופן הבא:

| $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$ |      |      | הניסוח המאוזן                    |
|---------------------------------------|------|------|----------------------------------|
| 0.5                                   | 0.3  | 0    | ריכוזים* התחלתיים                |
| ----                                  | -0.2 | +0.2 | השינוי בריכוז עד להשגת שווי-משקל |
| ----                                  | 0.1  | ---- | הריכוזים בשווי-משקל              |

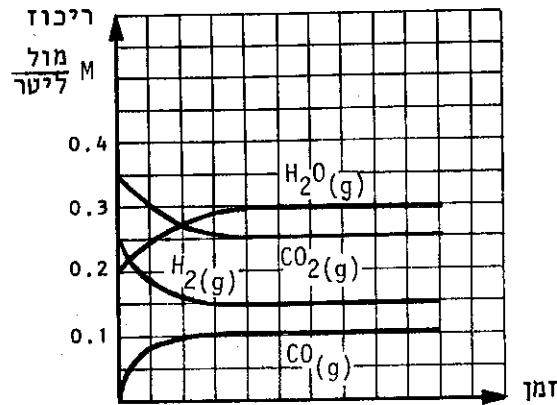
א. כמה מול של חומר  $A$  הגיבו עם  $0.2$  מול של חומר  $B$  בכל ליטר של המערכת?

ב. השלם את הטבלה.

ג. השלם בגרף את השתנות ריכוזם של  $B(g)$  ו- $C(g)$  עם הזמן.

\*הריכוזים נמדדים במולר,  $M$ .

2. ההצגה הגרפית הבאה מתארת מעקב אחר תגובה מסויימת.



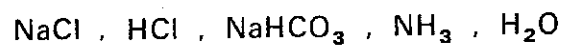
א. מהם המגיבים ומהם התוצרים ?

ב. הכן טבלה מסכמת עבור נתוני המערכת (העזר בטבלה שהופיעה בשאלה 1).

3. התבונן בטבלה הבאה:

| החומר | מצב צבירה בטמפרטורת החדר | תגובה עם נייר לקמוס כחול | תגובה עם נייר לקמוס אדום | מוליכות חשמלית בתמיסה |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| A     | גז                       | מאדים                    | -                        | גבוהה                 |
| B     | גז                       | -                        | מכחיל                    | נמוכה                 |
| C     | מוצק                     | -                        | מכחיל                    | גבוהה                 |
| D     | נוזל                     | -                        | -                        | נמוכה מאוד            |
| E     | מוצק                     | -                        | -                        | גבוהה                 |

לפניך רשימת חומרים:



התאם חומר לאות בטבלה והסבר את שיקולך.

4. אחות קיבלה סדרה של תמיסות וקבעה את ה-pH של כל אחת מהן בעזרת מקלון (stick) המכיל עליו נייר אינדיקטור. להלן התוצאות.

|         |     |     |     |     |     |     |    |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| התמיסה: | א   | ב   | ג   | ד   | ה   | ו   | ז  |
| ה-pH:   | 1.5 | 3.4 | 6.5 | 7.4 | 8.2 | 9.7 | 11 |

א. אילו הן התמיסות החומציות ואילו הבסיסיות ?

ב. דרג את התמיסות החומציות על-פי חוזקן ואת התמיסות הבסיסיות על-פי חוזקן.

ג. מי מהתמיסות יכולה להיות נוזל גוף ? איזה סוג של נוזל ?

8. ד. עבור התמיסות שאינן נוזלי גוף נסה לשער איזה מומס מבין החומרים שהוזכרו בפרק יתן את ה-pH המתאים, בתמיסה בריכוז 0.1M.  
ה. אילו מהחומרים הבאים יורידו את ה-pH של תמיסה ב' ?  
1) הוספת NaOH  
2) הוספת HCl  
3) הוספת מים (מיהול)  
נמק את קביעתך !

ו. אילו מהחומרים הבאים יעלו את ה-pH של חומר ד' ?  
1) הוספת חומצה אצטית - חומץ למאכל  
2) הוספת סודה לשתייה - נתרן מימן פחמתי  
3) הוספת מיץ תפוזים  
נמק את קביעתך !

5. בכדיקת איסוף שתן במשך יממה נמצא 1.5 גרם חלבון. האחות חשדה כי החולה סובל מפרוטאוריה (חלבון בשתן) מאחר וזכרה כי הערך התקין ביממה, בשתן הוא זניח.

מה לדעתך יכולה להיות הסיבה להימצאות החלבון בשתן ?

6. בתאונת דרכים נפגעו שתי כליותיו של אדם. האדם מת תוך זמן קצר. אילו מהתופעות הבאות עשויות להיות הסיבה למותו ?

א. יצירת שתן

ב. עודף שתן בגוף

ג. איבוד מוגזם של נוזלים

ד. ירידה דרסטית ב-pH הדם

נמק !

7. אבנים בכליות הן אחת מהבעיות השכיחות בארצנו. אבני הכליות נוצרות בעיקר עקב שקיעת מלחי סידן אוקסלט. שקיעת המלחים עשויה לנבוע מנתיבת שתן בכמות קטנה מהנורמה ביממה (1.8-2.0 ליטר).

א. נסח תהליך שיקוע נטו ליצירת מלח סידן אוקסלט (היעזר בטבלת היונים).

ב. מדוע שכיחה בעיה זו בארצנו ועל מה תמליץ לילדים ולמבוגרים על מנת למנוע בעיה זו ?

8. לפיך טבלה הכוללת את הרכב האלקטרוליטים של נוזל דיאליזה.

| האלקטרוליטים ביחידות השונות |                          |                          |                          |                          |                               | mg% | המומס              |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----|--------------------|
| meq/liter                   |                          |                          |                          |                          |                               |     |                    |
| Na <sup>+</sup>             | K <sup>+</sup>           | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup>         | Cl <sup>-</sup>          | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |     |                    |
| 97                          |                          |                          |                          | 97                       |                               | 570 | NaCl               |
| <input type="checkbox"/>    |                          |                          |                          |                          | 36                            | 300 | NaHCO <sub>3</sub> |
|                             | <input type="checkbox"/> |                          |                          | <input type="checkbox"/> |                               | 30  | KCl                |
|                             |                          | 5                        |                          | <input type="checkbox"/> |                               | 28  | CaCl <sub>2</sub>  |
|                             |                          |                          | 1.5                      | 1.5                      |                               | 7.5 | MgCl <sub>2</sub>  |
| <input type="checkbox"/>    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 107.5                    | 36                            |     | סה"כ               |

א. השלם את המשבצות הריקות  (עבור מ-mg% ל-liter meq).

ב. כמה שונה נוזל הדיאליזה מנוזל הפלסמה ?

9. חולה בצרבת קיבל מרשם מרופא ובו נרשם כי עליו ליטול כדור של 1 גרם אלומג Al(OH)<sub>3</sub> בתום כל ארוחה.

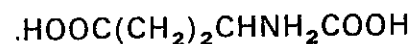
החולה התבלבל וכלע שני כדורי אלומג; קיימת סכנה שהבסיסיות של דמו תעלה. שיווי המשקל של הבוכר ה"כחמתי" הקיים בדם מגן נגד סכנה זו.

א. הסבר מי ממרכיבי הבוכר "יפעל" במקרה זה וכיצד ?

ב. נסח תהליך המסת האלומג בנוזלי הגוף.

ג. נסח תהליך ניטרול עודף יוני ההידרוקסיד ע"י הבוכר ה"כחמתי".

10. בתאי הצמריות ככליה נוצרת אמוניה מהחומצה האמינית חומצה גלוטמית:

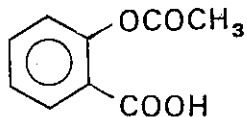


האמוניה שהשתחררה מתרכבת עם יוני ההידרוניום ליצירת יוני אמון הנפרשים אח"כ בשתן יחד עם יון כלוריד כיון מלווה.

א. צייר נוסחת מבנה של חומצה גלוטמית וסמן מהיכן משתחררת האמוניה.

ב. התהליך של יצירת יון אמון משמש כדרך נוספת ל"ניטרול" עודף יוני ההידרוניום בכליה. נסח אותו

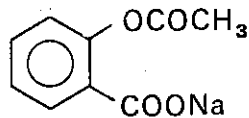
11. חולה הובהל לחדר מיון לאחר לקיחת מנת יתר של אספירין.



נסחת האספירין היא:

pH דמו של החולה היה 7.2.

- א. האם הדם הפך יותר חומצי או יותר בסיסי?
- ב. האם זוהי חמצת או בססת?
- ג. איזו קבוצה פונקציונאלית באספירין גורמת לתופעה שצוינה לעיל?
- ד. מהו הטיפול הראשוני המומלץ לחולה זה?
- ה. כאשר חולה לוקח מנה קטנה של אספירין, יוני הביקרבונט המצויים בדם, מונעים סכנה זו, הסבר ונסח תהליך.
- ו. מהו היתרון בשימוש במלח במקום באספירין?



12. א. באדם בריא נפח התסנין ביממה הוא 180 ליטר. נפח השתן המופרש ביממה הוא רק 1.8 ליטר. המים מהווים את הרוב הן בתסנין והן בשתן. חשב מה % המים שנספג מהתסנין חזרה לדם.
- ב. חומרים רבים המצויים בפלסמה ומגיעים לכליה עוברים סינון לאורך הנפרונים. בבדיקת שתן מסתבר כי ריכוזם של חלק מחומרים אלו בשתן, נמוך יחסית לפלסמה ולתסנין ואילו חלק אחר אינו נמצא כלל בשתן.

טבלת השוואה בין ריכוזי מספר חומרים בפלסמה ובשתן

| החומר     | יחידת הריכוז | בפלסמה | בשתן |
|-----------|--------------|--------|------|
| גלוקוז    | mg%          | 100    | 0    |
| יוני נתרן | meq/liter    | 150    | 150  |
| שתן       | mg%          | 15     | 900  |
| קראטינין  | mg%          | 1      | 150  |

- מימצאים אלו מעידים על קיום תהליך הקרוי ספיגה חוזרת (reabsorption) ובו נספגים חומרים מהתסנין אל הנוזל הבין-תאי ומשם חזרה לדם. הספיגה החוזרת מתבצעת או בתהליכי העברה פסיביים כגון במקרה של מים, שתן ויון כלוריד או בתהליכי העברה אקטיביים כגון במקרה של יוני נתרן וגלוקוז (ראה פרק ג' עמ' 38 העברה פסיבית ואקטיבית).
- 1) מדוע ריכוז השתן והקריאטינין בשתן עלה יחסית לריכוזו בפלסמה ואילו ריכוז הגלוקוז ירד? (היעזר בטבלה ובנתון שבסעיף א.).
- 2) כיצד תסביר את העובדה שציינו לעיל, כי יוני הנתרן עוברים תהליך ספיגה חוזרת ובכל זאת ריכוזם בפלסמה זהה לריכוזם בשתן?

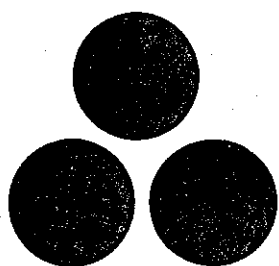
# פרק שביעי: כימיה של תרכובות הפחמן

\*\*\*\*\*

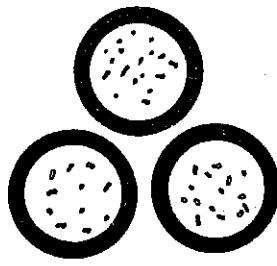
כבתי חולים, כזכור, משתמשים באתאנול,  $C_2H_5OH$ , ב"הרטכות" (alcohol sponge) לשם הורדת חום גוף החולה. אתאנול מרוח על עור החולה מתאדה במהירות תוך ניצול חום הגוף לשם גיתוק הכוחות הבין מולקולריים באתאנול. גם אמבטיית מים יכולה להוריד את חום הגוף אך באיטיות רבה יותר לכן במקרים שחום הגוף עולה מעל  $39.5^{\circ}C$  נהוג להשתמש בהרטכות אתאנול.

כבית החולים נהוג להשתמש בשם "אלכוהול", כאשר הכוונה לאתאנול, כחומר חיטוי (antiseptic). אתאנול הורס מבנה מרחבי של חלבון - דנטורציה (denaturation). כאשר שופכים אתאנול טהור, על תא חיידק (ציור 7.1-א) הוא חודר לתא החיידק דרך דופן התא וגורם לקרישת חלבונים בסמוך לדופן. נוצרת טבעת של חלבונים שנקרשו (כמתואר בציור 7.1-ב), המונעת חדירת האתאנול לתוך פנים התא והקרישה נעצרת. תא החיידק נבנס לתרדמה אך אינו מת, ובתנאים מתאימים הוא יכול לשוב ולפעול.

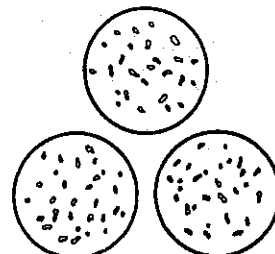
לכן, משתמשים באתאנול 70 אחוז. מיהול האתאנול מאפשר חדירה איטית יותר אל כל התא לפני שהקרישה מתחילה באיזור הטבעת. אחר מתרחשת קרישה של כל חלבוני התא והחיידק מת (ציור 7.1-ג).



ג. תאי חיידקים אחרי שימוש באתאנול 70 אחוז



ב. תאי חיידקים אחרי שימוש באתאנול טהור



א. תאי חיידקים לפני שימוש באתאנול

ציור 7.1: השפעת השימוש באתאנול על תאי החיידקים

\*\*\*\*\*

## 7.1 כוהלים

בפרק השני הכרנו מספר תרכובות פחמן, כדוגמת הפחמימים מתאן,  $CH_4$ , ובוטאן,  $C_4H_{10}$ . בפרק החמישי פגשנו בחומצות - תרכובות פחמן, המכילות קבוצה קרבוקסילית, כגון חומצה אצטית,  $CH_3COOH$ , חומצה לקטית,  $CH_3CHOHCOOH$ , ועוד. בפרק זה נכיר דוגמאות נוספות כגון כוהלים - תרכובות פחמן, אשר אל אחד מאטומי הפחמן קשורה הקבוצה ההידרוקסילית, קבוצת  $-OH$ .

### 7.1.1 איזומריה בכוהלים

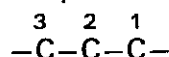
תכונות החומר נקבעות הן על ידי ארכו וצורתו של השלד הפחמימי והן על ידי קבוצת האטומים, הקשורות אל השלד והנקראות קבוצות פונקציונליות. בהמשך הפרק ניווכח, כי התכונות המשותפות לכוהלים נובעות מהקבוצה הפונקציונלית הזוהי. נוסחותיהם ונוסחות מבנה של כוהלים אחדים מסוכמות בטבלה 7.1.

| שם הכוהל   | נוסחה                            | צורת שונות של נוסחות מבנה  | מודל ממלא מרחב |
|------------|----------------------------------|--|----------------|
| מתאנול     | CH <sub>3</sub> OH               | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$   |                |
| אתאנול     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | $\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \\   \   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \   \\ \text{H} \ \text{H} \end{array}$  |                |
| 1-פרופאנול | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | $\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \\   \   \   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \   \   \\ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \end{array}$         |                |
| 2-פרופאנול | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} \ \text{O} \ \text{H} \\   \   \   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \   \   \\ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \end{array}$ |                |

טבלה 7.1: נוסחות ונוסחות מבנה של כוהלים אחדים

עיון בטבלה 7.1, מראה, כי האתאנול שונה מן המתאנול בכך, שהשלד שלו מכיל שני אטומי פחמן, לעומת אטום פחמן אחד בשלד המתאנול.

השלד של הפרופאנול מכיל שלושה אטומי פחמן. אם נתבונן בנוסחות המבנה של פרופאנול, נוכח כי קיימות שתי נוסחות מבנה לנוסחה מולקולרית זהה. התזוזה במיקום הקבוצה הפונקציונלית גרמה ליצירת תרכובת שונה ולה תכונות חדשות. נמספר את אטומי הפחמן בשלד:



לכן, קראנו לתרכובת הראשונה 1-פרופאנול ולתרכובת השנייה 2-פרופאנול. נהוג להתחיל את המיספור של אטומי הפחמן בשרשרת, מהקצה הקרוב ביותר לקבוצה הפונקציונלית, אי לכך לא קיים איזומר המכונה 3-פרופאנול (כי הוא זהה לאיזומר 1-פרופאנול). כאשר קיימות שתיים או יותר נוסחות מבנה שונות עבור אותה נוסחה מולקולרית, התרכובות המתאימות קרויות איזומרים. 1-פרופאנול ו-2-פרופאנול הם איזומרים.

לכל הכוהלים ניתן לרשום נוסחה כללית: ROH. האות R מסמלת קבוצת אטומים כגון CH<sub>3</sub> - קבוצה מתילית, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> - קבוצה אתילית, C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> - קבוצה פרופילית, וכך הלאה. צורת כתיבה זו מעידה על החשיבות, המיוחסת לקבוצה הפונקציונלית.

שורת תרכובות בעלות נוסחה כללית זהה והתנהגות כימית דומה נקראת שורה הומולוגית.

עבור השורה הומולוגית של הכוהלים, ניתן לרשום נוסחה כללית: C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>OH. בנוסחה זו ניתן להציב מספר כלשהו של אטומי פחמן, ולקבל את נוסחת הכהל המתאים.

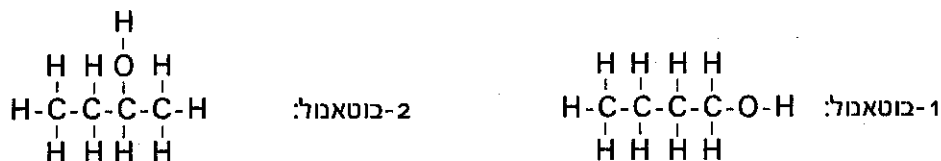
תרגיל 7.1:

במולקולת הכוהל - בוטאנול 4 אטומי פחמן.

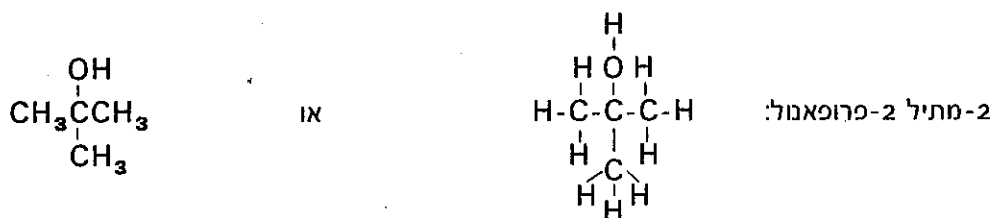
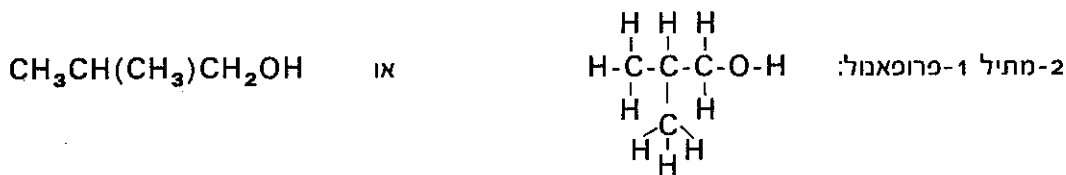
1. מהי נוסחת הבוטאנול ?
2. מהן נוסחות המבנה שניתן לרשום לבוטאנול ?
3. האם מספר האיזומרים של בוטאנול זהה לשל פרופאנול, אם לא מהי לדעתך הסיבה לכך ?

פתרון:

1. לשם מציאת נוסחתו של בוטאנול נציב  $n=4$  בנוסחה הכללית של כוהלים ונקבל:  $C_4H_9OH$ .
2. נרשום את נוסחות המבנה של בוטאנול:



1-בוטאנול,  $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$  ו-2בוטאנול,  $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$  הם איזומרים, שנוצרו עקב שינוי מקום הקבוצה ההידרוקסילית (כמו בדוגמה של פרופאנול). אולם, ניתן לקבל איזומרים נוספים על ידי שינוי אורך השלד. נקצר את השלד לשלושה אטומי פחמן, ואל אחד מאטומי הפחמן נסיף קבוצה מתילית  $CH_3$ .



3. מכאן נובע כי לבוטאנול 4 איזומרים.

מספר האיזומרים של בוטאנול גדול משל פרופאנול בגלל המספר הגדול יותר של אטומי הפחמן במולקולה.



## 7.1.2 סוגי כוהלים

נתבונן באטום הפחמן, אליו קשורה הקבוצה  $-OH$ .  
 התזוזה במיקום הקבוצה ההידרוקסילית גורמת ליצירת שלושה סוגי כוהלים:

1. כוהל ראשוני - הקבוצה ההידרוקסילית קשורה אל אטום פחמן, אליו קשורה קבוצת R אחת ושני אטומי מימן. מתאבול, אתאבול, 1-פרופאנול ו-1-בוטאנול הם כוהלים ראשוניים.

נוסחה של כוהל ראשוני:



2.

2. כוהל שניוני - הקבוצה ההידרוקסילית קשורה אל אטום פחמן, אליו קשורות שתי קבוצות R ואטום מימן אחד בלבד. 2-פרופאנול, 2-בוטאנול הם כוהלים שניוניים.

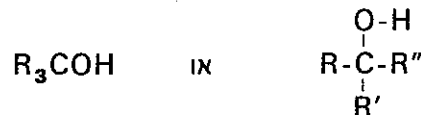
נוסחה כללית של כוהל שניוני:



R' ו R מסמלים קבוצות אטומים כגון: מתיל, אתיל, פרופיל.

3. כוהל שלישוני - הקבוצה ההידרוקסילית קשורה אל אטום פחמן, אליו קשורות שלוש קבוצות R. 2-מתיל-2-פרופאנול הוא כוהל שלישוני.

נוסחה כללית של כוהל שלישוני:



### תרגיל 7.2:

כמולקולת הפנטאנול 5 אטומי פחמן.

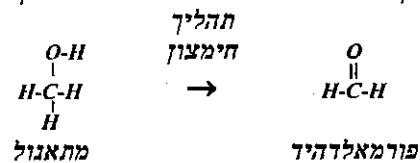
1. מהו ה-R בפנטאנול?
2. לפנטאנול 8 איזומרים: 4 מתוכם הם כוהלים ראשוניים, 3 הם כוהלים שניוניים ואחד בלבד שלישוני. צייר נוסחות מבנה לאיזומרים של פנטאנול.
3. כנה האיזומרים בשם.
4. ציין עבור כל אחד מהאיזומרים של פנטאנול, האם הוא כוהל ראשוני, שניוני או שלישוני.

## 7.2 חימצון כוהלים

### 7.2.1 חימצון כוהל ראשוני

שנים רבות היתה ידועה השפעתם הרעילה של כוהלים בעלי מולקולות קטנות, כגון מתאנול ואתאנול. מתאנול רעיל במיוחד ואף בכמויות מינוריות יכול לגרום לעיוורון או למוות. עיכול המתאנול גורם תחילה לדיכוי קל במערכת העצבים, אחרי 12 עד 24 שעות מופיעה בפיתאומיות חמצת מטבולית קשה יחד עם טישטוש הראיה. הגזק לראיה לעיתים זמני, אולם לעיתים הוא הופך לעיוורון קבוע.

העיכוב בהופעת סימני ההרעלה עורר את המחשבה כי יתכן, שתוצר מטבולי של המתאנול הוא הגורם להרס הרטינה בעין ועצב הראיה ולא המתאנול עצמו. כיום ידוע, כי התוצר המטבולי של תהליך חימצון המתאנול הוא פורמאלדהיד. החימצון מתבצע בכבד בנוכחות אנזימים ולהלן ניסוחו:



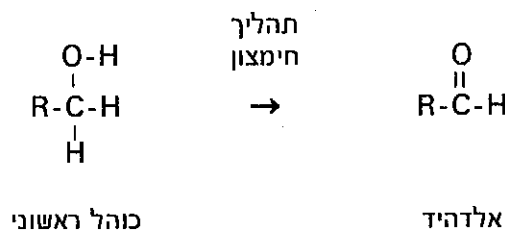
פורמאלדהיד,  $\text{HCHO}$ , הינו רעיל ביותר! תמיסתו מוכרת לכל מי שניקד במעבדה ביולוגית כ"פורמלין". תמיסה בעלת ריח חריף וצורב. רעילות הפורמאלדהיד לאדם, נובעת ממספר גורמים:

1. החומר מגיב עם קבוצות פונקציונליות של חלבונים תא רבים ושונים, ובכך מפריע לפעולתם התקינה.
2. החומר הורס פעילות אנזימים, על ידי הצמדה וקרישה (coagulation) של חלבונים בתאים וברקמות, ומכך נובעת יעילותו כחומר משמר של דגימות אנטומיות.
3. החומר חודר בקלות למוח, בגלל גודלן הקטן של המולקולות, ושם הוא גורם נזק בלתי הפיך לחלבונים ולאנזימים.
4. תוצר החמצון של פורמאלדהיד - חומצה פורמית,  $\text{HCOOH}$ , גורם לחמצת מטבולית קשה.

בנוף האדם וגם במעבדה, מתרחשים תהליכים בהם קבוצה פונקציונלית אחת הופכת לקבוצה פונקציונלית אחרת.

בדוגמה המתוארת במסגרת לעיל, הקבוצה ההידרוקסילית  $\text{-OH}$  הפכה לקבוצה קרבונלית  $\text{-C=O}$ .

בשלב ראשון של חימצון כוהל ראשוני מתקבל אלדהיד, כמתואר בניסוח התהליך הבא:

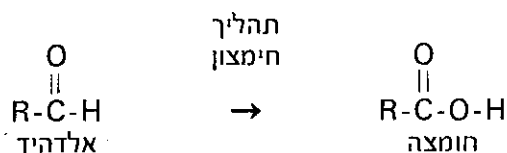


הקבוצה הפונקציונלית המאפינת את האלדהידים היא קבוצה קרבונלית  $\text{-C=O}$ . באלדהידים, אל אטום הפחמן של הקבוצה הקרבונלית, קשור אטום מימן.

ניתן לראות, כי בתהליך החימצון גדל מספר הקשרים אל אטומי החמצן במולקולה, בד בבד קטן מספר הקשרים אל אטומי המימן.

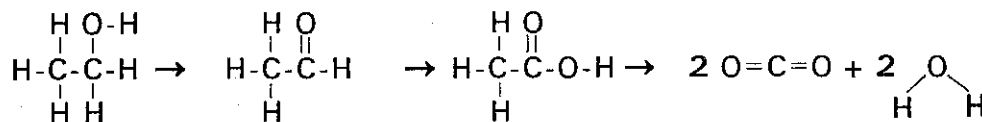
כשלב השני האלדהיד יכול לעבור חימצון נוסף, לקבלת חומצה, בעלת הקבוצה המונקציונלית  $\text{-COOH}$ , קבוצה קרבוקסילית.

ניסוח כללי של שלב החימצון השני ירשם כך:



### תרגיל 7.3:

לפניך תרשים המתאר את החימצון בשלבים של אתאנול עד לקבלת פחמן דו חמצני ומים.



הראה כי בכל אחד מהשלבים הנ"ל מספר הקשרים אל אטומי החמצן גדל ו/או מספר הקשרים אל אטומי המימן קטן.

### תרגיל 7.4:

מהו האלדהיד המתקבל בשלב ראשון של חימצון הכוהל 1-פרופאנול ?

בדומה לחימצון אתאנול, כך גם בכוחלים נוספים, תוצרי השלב האחרון של תהליך החימצון הם פחמן דו חמצני ומים.

\*\*\*\*\*

לאתאנול, בניגוד למתאנול, יש גם יתרונות מעטים לצד החסרונות הרבים. לדוגמה, כריכוזים נמוכים של אתאנול בדם, הוא גורם הנאה ומשרה עליזות, ככתוב בתהילים קי"ד 15 - "יין ישמח לבב אנוש".

אולם, כריכוז הגבוה מ-0.1% בדם, גורם האתאנול לזמן תגובה איטי, אדישות, נמנום, הילוך כושל, דיבור עילג, ראייה כפולה עד כדי שינה כבירה.

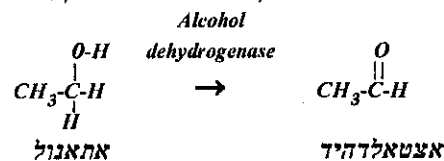
כריכוז הגבוה מ-0.4% בדם, האתאנול גורם לאובדן ההכרה, הפרעות בזרימת הדם, ירידה בטמפרטורת הגוף ואף למוות.

מסיסות האתאנול במים וגודלן הקטן של המולקולות, מאפשר את ניידות האתאנול בתמיסות מימיות. עקב כך קיימת ספיגה מהירה של האתאנול דרך מערכת העיכול אל הדם. פירוש הדבר, כי אדם השותה יין חש בהשפעה מהירה של האתאנול עקב המטבוליזם המהיר שהוא עובר.

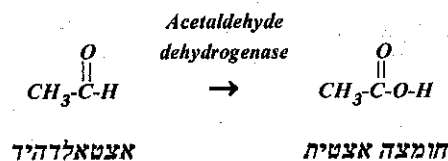
מטבוליזם האתאנול

שלושה תהליכים מטבוליים עובר האתאנול לאחר ספיגתו.

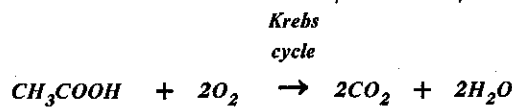
1. אתאנול המגיע לכבד עם זרם הדם עובר תהליך חימצון לקבלת אצטאלדהיד, כנוכחות האנזים אלכוהול דהידרוגנז (כזכור, האנזים תפקידו לזרוז את התהליך).



2. אצטאלדהיד, בשלב שני, עובר תהליך חימצון לקבלת חומצה אצטית, כנוכחות האנזים אצטאלדהיד דהידרוגנז.



3. החומצה האצטית עוברת חימצון ומתקבלים פחמן דו תמצני ומים, כמעגל מטבולי הקרוי מעגל קרבס, שאחד מתפקידיו הוא לספק אנרגיה לגוף.



חומצה אצטית

מחקרים הראו כי אצטאלדהיד אחראי לרוב התופעות הנובעות משתיה לשוכרה. אצטאלדהיד יכול לגרום לכאבי ראש, אי נוחות במערכת העיכול, טשטוש וכו'. כטיפול באלכוהוליסטים, מנצלים תופעות אלו, בנתינת תרופה הקרויה אנטאבז (Antabuse). תרופה זו מעכבת את פעילותו של האנזים אלדהיד דהידרוגנז ועקב כך קצב פירוק האצטאלדהיד מואט, רמתו בגוף עולה והתופעות של טשטוש ואובדן שליטה מופיעות תוך זמן קצר מאד. אלכוהוליסט הלוקח תרופה זו בקביעות אינו חש דבר, במידה ואינו שותה, אולם אם יצרוך אלכוהול יחוש פרפורים, התארמות ואף איבוד הכרה, דבר שימנע ממנו את הרצון לשתות בעתיד.

\*\*\*\*\*

7.2.2 חימצון כוהל שניוני

כשלב הראשון, תוצר החימצון של כוהל שניוני הוא קטון. הקבוצה הפונקציונלית המאפיינת את הקטונים היא קבוצה קרבונילית, C=O, הקשורה אל שתי קבוצות R. ניתן לתאר תהליך זה בעזרת נוסחאות כלליות:



בחימצון הכוהל השניוני, 2-פרופאנול מתקבל הקטון 2-פרופאנול המוכר בשמו המסחרי - אצטון, CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>. שים לב! הנוסחה המולקולרית C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O מייצגת את האיזומרים: פרופאנול 2-פרופאנול (אצטון). שהם האלדהיד והקטון המתאימים.

בדומה לחימצון כוהל ראשוני, תוצרי השלב השני והאחרון של תהליך חימצון הכוהל השניוני, הם פחמן דו חמצני ומים.

\*\*\*\*\*

אצטון הוא אחד הממיסים האורגניים הנפוצים ביותר, נמס במים בכל היחסים ומשמש להסרת לאק מהציפורניים.

ערב מלחמת העולם הראשונה, פיתח ד"ר חיים ויצמן תהליך חסיסה, בו צמילן מפורק בעזרת חיידק קלוסטרידיום אצטובוטיליקום ויצמן (*Clostridium acetobutylicum Weizmanni*), לתערובת תוצרים: 60% בוטאנול, 30% אצטון ו 10% אתאנול. תגלית זו נעשתה חשובה כשפרצה המלחמה. התברר, כי טיפול באצטון בתערובת אבק שריפה גורם לחומר הנפץ לבצור תוך פליטה מיזערית של עשן (אבק שריפה ללא עשן איפשר להחביא את מקור הירי).

אצטון הוא אחד מתוצרי העיכול המצטבר בחולי סכרת לא מטופלים, כך שניתן למוצאו בשתן ואף להריחו באוויר הנשוף של חולים אלו.

\*\*\*\*\*

תרגיל 7.5:

הנוסחה המולקולרית C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O, מייצגת את תוצרי החימצון של 1-בוטאנול ו-2-בוטאנול. רשום נוסחות מכנה לכל אחד משני האיזומרים הללו.

## 7.3 כוחות בין-מולקולריים

### 7.3.1 אלדהידים וקשרי ון-דר-ולס

נוסחות ותכונות של אלדהידים אחדים מסוכמות בטבלה 7.2.

| נקודת רתיחה °C | נוסחת מבנה   | נוסחה מולקולרית                | שם האלדהיד            |
|----------------|--|--------------------------------|-----------------------|
| -21            | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$             | $\text{CH}_2\text{O}$          | פורמאלדהיד<br>(מתאנל) |
| 21             | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \end{array}$          | $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ | אצטאלדהיד<br>(אתאנל)  |
| 49             | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{C}-\text{H} \end{array}$ | $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ | פרופאנל               |
| 76             | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C}_3\text{H}_7-\text{C}-\text{H} \end{array}$ | $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ | בוטאנל                |

טבלה 7.2: נוסחות ותכונות של אלדהידים אחדים

טבלה 7.2 ניתן לראות, כי נקודת הרתיחה של החומרים עולה ככל שהשלב הפחמימי, R, ארוך יותר. רק שני האלדהידים הראשונים הם גזים בטמפרטורת החדר. העובדה, שחומר מולקולרי עשוי להמצא לא רק במצב צבירה גזי, אלא גם במצב צבירה נוזלי, מעידה על קיומם של כוחות משיכה בין המולקולות. כוחות משיכה אלו קרויים **כוחות ון-דר-ולס** והם נובעים מהתנועה המתמדת של האלקטרונים הקושרים במולקולה. כוחות המשיכה, הפועלים בין המולקולות הקטנות, חלשים יותר והם הולכים ומתחזקים ככל שהמולקולות גדלות. העליה בנקודת הרתיחה עם העליה באורך השרשרת - עליה במספר האטומים במולקולה, מוסברת באמצעות קיום כוחות ון-דר-ולס.

### 7.3.2 מים, כוהלים וקשרי מימן

מתאן,  $\text{CH}_4$ , רותח ב $161^{\circ}\text{C}$ . פורמאלדהיד,  $\text{HCHO}$ , רותח ב $21^{\circ}\text{C}$  ואילו מים, שלהם מולקולות בנות 3 אטומים בלבד, רותחים ב $100^{\circ}\text{C}$ . ממה נובע השוני הרב בין נקודת הרתיחה של המים לבין נקודות הרתיחה של המתאן והפורמאלדהיד?

ההסבר לעליה בנקודת הרתיחה עם עליה באורך השרשרת עקב קיומם של קשרי ון-דר-ולס, איננו מספק מענה לשאלה זו.

כזכור, לאטום מימן אלקטרון אחד בלבד והוא יוצר קשר קוולנטי אחד. היות והקשר הקוולנטי הוא קוטבי, זוג האלקטרונים הקושר נמשך יותר אל האטום בעל האלקטרושליליות הגבוהה יותר. במים הקשר O-H מאד קוטבי ולכן זוג האלקטרונים הקושר קרוב מאד אל אטום החמצן. ואילו, אטום המימן "מרוקן" חלקית מאלקטרונים ועליו מטען חיובי חלקי. במחקרים נמצא, כי אטום מימן הקשור אל אטום חמצן, חנקן, או פלואור (N, O, F) וה"מרוקן" חלקית מאלקטרונים נמשך אל זוג האלקטרונים הבלתי קושר של O, F או N (הטעון מטען שלילי חלקי) במולקולה השכנה. קשרים בין מולקולריים מסוג זה קרויים **קשרי מימן**.

בקשרים בין מולקולריים מסוג זה, מהווה אטום המימן "גשר" בין כל זוג מולקולות. בכל אחת מהמולקולות הללו אטום המימן קשור אל אטום בעל אלקטרושליליות גבוהה וזוגות אלקטרונים בלתי קושרים. נקודת הרתיחה הנכונה יחסית של המים מוסברת באמצעות קיום קשרי מימן.

עתה, נתבונן בנקודות הרתיחה של הכוהלים. מטוחותיהם ותכונותיהם של כוהלים אחדים מסוכמות בטבלה 7.3.

| שם הכוהל   | נוסחה                             | נקודת רתיחה °C | מסיסות במים  |
|------------|-----------------------------------|----------------|--------------|
| מתאנול     | CH <sub>3</sub> OH                | 65             | בכל היחסים   |
| אתאנול     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH  | 78             | בכל היחסים   |
| 1-פרופאנול | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH  | 97             | בכל היחסים   |
| 1-בוטאנול  | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH  | 118            | 7.9 גרם אחוז |
| 1-פנטאנול  | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH | 138            | 2.3 גרם אחוז |

טבלה 7.3: תכונות של כוהלים אחדים

ניתן להתייחס אל מולקולות הכוהל כאל מולקולות מים בהן הוחלף H ב-R. גם כאן, כפי שמצאנו באלדהידים, עליה באורכו של R משפיעה על העליה בנקודת הרתיחה, אולם, בכוהלים קיימים קשרי מימן נוסף לקשרי ון-דר-ולס. כפי שקיימים קשרי מימן בין מולקולות המים, קיימים קשרי מימן בין מולקולות הכוהל, בין לבין עצמן. גם במולקולות הכוהלים, מהווה אטום המימן "גשר" בין שתי מולקולות שבכל אחת מהן אטום בעל אלקטרושליליות גבוהה וזוג אלקטרונים בלתי קושר.

ניתן להכליל ולומר, בין מולקולות הכוהלים פועלים כוחות בין מולקולריים: קשרי מימן, בין קבוצות ה-HO, וכוחות ון-דר-ולס, בין הקבוצות האלקיליות, R. ואילו בין מולקולות האלדהידים והקטונים, בינם לבין עצמם פועלים כוחות ון-דר-ולס בלבד. עבור מולקולות בגודל זהה, מקובל להציג את החוזק היחסי של הכוחות הפועלים בתוך ובין המולקולות באופן הבא:



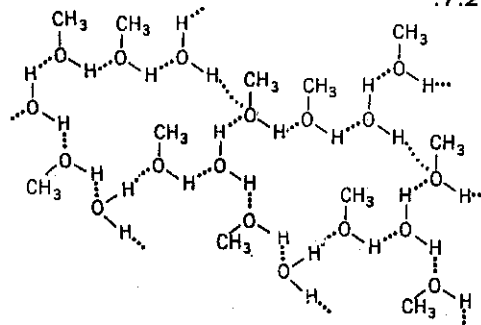
### תרגיל 7.6:

אתרים, שנוסחתם הכללית R-O-R', הם איזומרים של הכוהלים, שנוסחתם הכללית היא R-O-H. לדוגמה, הנוסחה המולקולרית C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, מייצגת דו-מתיל אתר, בעל נוסחת המבנה CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub>. נקודת הרתיחה של דו-מתיל אתר היא: 34.6°C.

הסבר ממה נובע ההבדל בנקודת הרתיחה של דו-מתיל אתר ושל אתאנול.

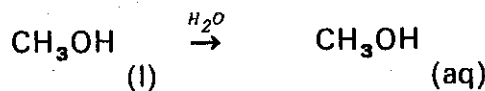
### 7.3.3 מסיסות במים

הנתונים בטבלה 7.3 מראים כי הכוהלים מתאנול, אתאנול ופרופאנול מסיסים במים בכל יחס שהוא. בעת המסת הכוהל במים, מולקולות הכוהל חודרות בין מולקולות המים. במקום קשרי מימן בין מולקולות מים למולקולות מים אחרות ובין מולקולות כוהל למולקולות כוהל אחרות, נוצרים קשרי מימן חדשים בין מולקולות המים לבין מולקולות הכוהל. בתמיסת כוהל במים נמצאות מולקולות הכוהל מוקפות במולקולות מים ו"מוחזקות" יחד בקשרי מימן, כמתואר בציור 7.2.



ציור 7.2: קיום קשרי מימן בתמיסת מתאנול במים

ניסוח תהליך המסת המתאנול במים ירשם באופן הבא:



אם ניקח כמות כוהל גדולה וכמות מים קטנה יותר, תפקידי הממס והמומס יתחלפו: ברמה מולקולרית, ניתן לאמר, מולקולות המים חודרות בין מולקולות הכוהל ויוצרות קשרי מימן חדשים.

שלושת הכוהלים הראשונים בטבלה 7.3: מתאנול, אתאנול ופרופאנול, זהים בתכונות המסיסות שלהם. אולם, ככל שהשרשרת R תלך ותגדל, מסיסות הכוהל במים תלך ותפחת. מכאן נובע, כי קיומה של שרשרת פחמימנית (שבה יותר משלושה אטומי פחמן) מפריע לתהליך ההמסה.

תופעה זו ניתן להסביר בעזרת התיחסות אל מולקולת כוהל, ROH, כמורכבת משני חלקים: קבוצת ה-OH מהווה חלק הידרופילי - "אוהב" מים; והשרשרת R מהווה חלק הידרופובי - "שונא" מים. כאשר החלק ההידרופובי קטן יחסית - עד שלושה אטומי פחמן, השפעתו קטנה והשפעת החלק ההידרופילי גדולה - הכוהל מסיס במים. לעומת זאת, כאשר החלק ההידרופובי גדל (מספר אטומי הפחמן גדול משלושה) השפעתו הולכת וגדלה ומסיסות החומר במים קטנה.

#### תרגיל 7.7:

בתרגיל 7.6 ציינו כי נקודת הרתיחה של דו-מתיל אתר נמוכה מנקודת הרתיחה של אתאנול. נמצא כי מסיסות דו-מתיל אתר דומה לזו של אתאנול. הסבר.

### 7.4 חומצות בעלות חשיבות רפואית

בפרק ה' הכרנו מספר חומצות אורגניות ובפרק זה ציינו כי בחימצון אלדהיד מתקבלת חומצה. ניתן לרשום נוסחה כללית עבור חומצה אורגנית: RCOOH. לכל החומצות האורגניות קבוצה קרבוקסילית אחת. לפחות והיא המקור ליוני ההידרוניום, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, בתמיסה מימית של החומצה. כזכור (קרא שוב בפרק ו' עמ' 96), רוב החומצות האורגניות הן חומצות חלשות, בתמיסתן המימית נוכחים רק חלק מיוני ההידרוניום האפשריים.



בחומצות האורגניות, נוכל להבחין בתכונות מסיסות במים, הדומות לאלו שצינו לגבי הכוהלים, עקב יצירת מימן עם המים. ארבע החומצות הראשונות, בעלות שלד של אחד עד ארבע אטומי פחמן בהתאמה: HCOOH, CH<sub>3</sub>COOH, פחפיונית, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COOH ובוטירית, C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>COOH, מתמוססות במים. החלק ההידרופילי בעל השפעה גדולה יותר מאשר החלק ההידרופובי. אולם, מסיסותן של חומצות שלד ארוך יותר, פוחתת בהדרגה עקב הגידול בהשפעת החלק ההידרופובי.

### תרגיל 7.8:

החומצות האורגניות מכילות, לעיתים, קבוצות פונקציונליות בנוסף לקבוצה הקרבוקסילית האופיינית.

לפיכך שלוש דוגמאות של חומצות אורגניות המצויות במזון:

חומצה לקטית - המצויה בחלב חמוץ ובשמנת, CH<sub>3</sub>CHOHCOOH, קרויה בעברית חומצת חלב,

חומצה טרטריית - מצויה בענבים, HOOCCHOHCHOHCOOH,

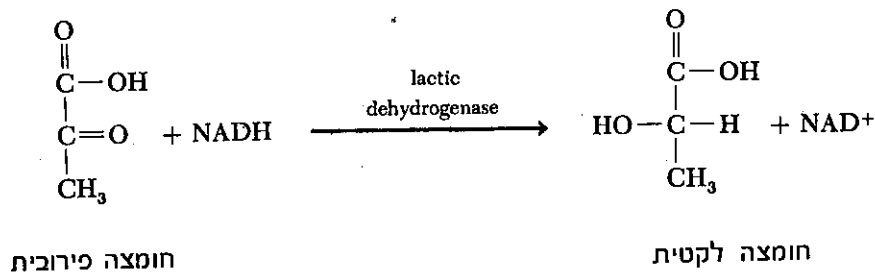
חומצה ציטרית - מצויה בפרי ההדר, HOOCCH<sub>2</sub>COHCOOHCH<sub>2</sub>COOH, קרויה בעברית חומצת לימון.

1. צייר מסחות מבנה (מפורטות יותר) לחומצות הנ"ל וציין מהן הקבוצות הפונקציונליות המסות המצויות בהן.
2. מדוע לדעתך, קרויות החומצות הנ"ל הידרוקסי חומצות ?
3. האם לדעתך החומצות הללו מסיסות היטב במים ? הסבר.

### 7.4.1 חומצות ותפקידן בחימצון הסוכר בגוף

חומצה פירובית, CH<sub>3</sub>COCOOH, נוצרת בתהליך חימצון רב שלבי של הגלוקוז, בנוכחות כמות מספקת חמצן - תנאים אירוביים. כאשר כמות החמצן קטנה - תנאים אנאירוביים, כגון בעת פעילות גופנית מאומצת בעיות נשימתיות, מתקבלת חומצה לקטית, CH<sub>3</sub>CHOHCOOH. תהליך הפיכת חומצה פירובית לחומצה לקטית הוא תהליך חיזור המתבצע בנוכחות אנזים לקטיק דהידרוגנז וחומר מחזר (קו-אנזים) הקרוי NADH.

ניסוח תהליך חיזור חומצה פירובית, המתרחש בתנאים אנאירוביים:



שים לב ! למדנו כי:

בתהליך חימצון גדל מספר הקשרים אל אטומי החמצן במולקולה, בד בבד קטן מספר הקשרים אל אטומי המימן. אולם, בתהליך החיזור ניתן להבחין כי קטן מספר הקשרים אל אטומי החמצן במולקולה, בד בבד גדל מספר הקשרים אל אטומי המימן. בחימצון כוהל שניוני מתקבל קטון ואילו כאן חיזור קטון נתן כוהל שניוני.

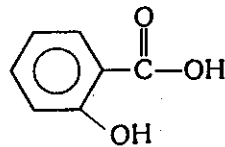
## 7.4.2 חומצה סליצילית

בפרק זה הכרנו עד עתה כוהלים, אלדהידים, קטונים, אתרים וחומצות אורגניות - כולן תרכובות המכילות אטום חמצן אחד לפחות ושולד פחמימני פתוח. עם זאת, רבות מתרכובות הפחמן המצויות בגופנו, מורכבות משרשרות סגורות. בפרק ה' הזכרנו את החומצה הסליצילית, המכילה טבעת בנזנית,  $C_6H_6$ , אך לא הסברנו מהו מבנה הטבעת הבנזנית.

נמצא כי, בטבעת הבנזנית כל אטום פחמן יוצר שלושה קשרים קוולנטים יחידים: האחד לאטום המימן והשניים לאטומי פחמן שכנים. באופן כזה נשאר על כל אטום פחמן אלקטרון אחד בודד ובמולקולה כולה - ששה אלקטרונים. ששת האלקטרונים הללו נמשכים בעת ובעונה אחת אל ששת אטומי הפחמן שבטבעת, תופעה המסומלת באמצעות העיגול, כפי שמראה נוסחת המבנה שלהלן:



החומצה הסליצילית מכילה טבעת בנזנית, קבוצה קרבוקסילית וקבוצה הידרוקסילית, כמתואר בנוסחת המבנה:



## 7.4.3 חומצות שומניות

חומצות אורגניות בעלות שרשרת פחמימנית ארוכה (16 או 18 אטומי פחמן במולקולה, הן התרכובות השכיחות) קרויות חומצות שומניות (ראה דוגמה בפרק ה' שאלה 1). קיימים שני סוגים:

1. חומצות שומניות רוויות - R של החומצה הוא שרשרת בעלת קשרים קוולנטים יחידים בלבד.
2. חומצות שומניות בלתי-רוויות - R של החומצה הוא שרשרת המכילה קשרים קוולנטים כפולים.

### תרגיל 7.9:

להלן מספר דוגמאות של חומצות שומניות:

חומצה פלמיטית -  $C_{16}H_{31}COOH$ .

חומצה סטיארית -  $C_{17}H_{35}COOH$ .

חומצה אולאית -  $C_{17}H_{33}COOH$ .

חומצה לימאולאית -  $C_{17}H_{31}COOH$ .

1. ציין כמה קשרים כפולים מצויים (אם בכלל) בשרשרת של כל אחת מהחומצות הנ"ל.
2. החומצות הללו אינן מסיסות היטב במים. הסבר.

### תרגיל 7.9:

להלן מספר דוגמאות של חומצות שומניות:

חומצה פלמיטית -  $C_{16}H_{31}COOH$

חומצה סטיארית -  $C_{17}H_{35}COOH$

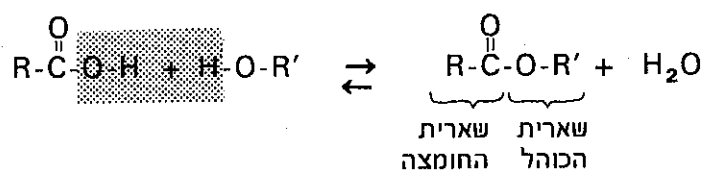
חומצה אולאית -  $C_{17}H_{33}COOH$

חומצה לימאולאית -  $C_{17}H_{31}COOH$

1. ציין כמה קשרים כפולים מצויים (אם בכלל) בשרשרת של כל אחת מהחומצות הנ"ל.
2. החומצות הללו אינן מסיסות היטב במים. הסבר.

### 7.5 אסטרים

חומצה אורגנית מגיבה עם כוהל תוך יצירת תרכובת חדשה הקרויה אסטר, בעלת נוסחה כללית:  $RCOOR'$ . התהליך מתרחש, כאשר שתי הקבוצות הפונקציונליות הקבוצה הקרבוקסילית,  $COOH$ , שמקורה בחומצה והקבוצה ההידרוכסילית,  $OH$ , שמקורה בכוהל מגיבות תוך שחרור מולקולת מים. המים המשתחררים מקורם בקבוצת ההידרוקסיל של החומצה ובמימן של הכוהל, כפי שניתן לראות בניסוח הבא של תהליך האיסטור (esterification):

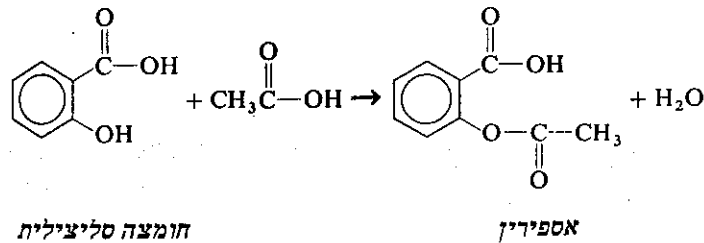


יש לציין כי, תהליך האיסטור הוא תהליך המצוי בשיווי משקל.

לאסטרים רבים ריחות ו/או טעמים נעימים, כאשר ריכוזם אינו גבוה מדי. בתעשית בשמים ומזון משתמשים באסטרים להוספת ריחות של פרחים כגון יסמין, או פירות כגון אגס, אפרסק וכו'.

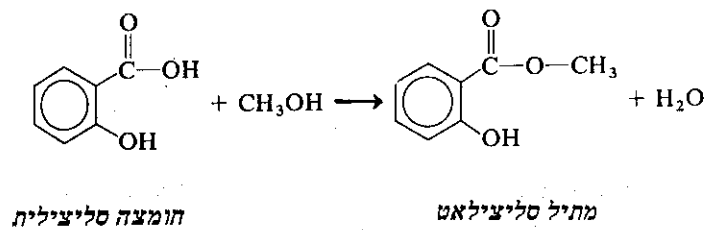
\*\*\*\*\*

**אספירין** - תרופה לשיכוך כאבים ולהורדת חום, ניתנת להכנה במעבדה בתהליך איסטור המתרחש בין חומצה סליצילית לחומצה אצטית.  
להלן ניסוח תהליך האיסטור לקבלת אצטיל חומצה סליצילית - אספירין:



*Oil of Wintergreen*, מתיל סליצילאט - הוא שמן המשמש להקלת כאבי שרירים. שמן זה דומה במבנהו לאספירין, אלא שהמגיבים הם חומצה סליצילית ומתאנול.

להלן ניסוח תהליך האיסטור לקבלת מתיל סליצילאט:



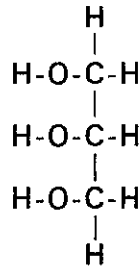
\*\*\*\*\*

**תרגיל 7.10:**

כמה שונה תפקיד החומצה הסליצילית בתהליך האיסטור ליצירת אספירין, מתפקיד חומצה זו בתהליך האיסטור לקבלת מתיל סליצילאט?

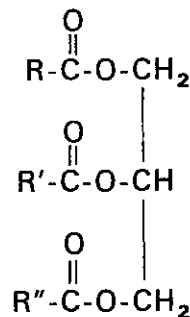
## 7.5.2 שמנים ושומנים

שמנים ושומנים הם אסטרים של חומצות שומניות ושל התלת כוהל גליצרול,  $C_3H_8O_3$  שבוססת המבנה שלו מתוארת להלן:



מאחר ומולקולת הגליצרול מכילה שלוש קבוצות הידרוקסיליות, היא מסוגלת להגיב עם שלוש קבוצות קרבוקסיליות, לקבלת תלת - אסטר.

להלן נוסחה כללית המתארת את מבנה השומן או השמן:



שמנים ושומנים הם תלת אסטרים של גליצרול, הנבדלים זה מזה בסוג החומצות השומניות. השומנים מקורם בבעלי חיים והם מכילים % גבוה של שרשרות רוויות, שמקורן בחומצות השומניות. השומנים מוצקים בטמפרטורת החדר, לדוגמה שומן עופות או בקר.

השמנים מקורם בצמחים והם מכילים % גבוה יותר של שרשרות בלתי רוויות - מכילות מספר גדול יחסית של קשרים כפולים. השמנים הם נוזלים בטמפרטורת החדר, לדוגמה שמן כתבה או שמן זית.

\*\*\*\*\*

שומנים מהווים חומר דלק של הגוף, מאחר ומהם מתקבלת הרבה יותר אנרגיה מאשר מהסוכרים או החלבונים. הם משמשים כמאגר אנרגיה וכאמצעי הגנה לאיברים פנימיים מפני איבוד חום ושוק מכאני. הם מקיפים את האיברים הפנימיים כדי לשמרם במקומם, לספוג זעזועים ולשמור על חום הגוף.

\*\*\*\*\*

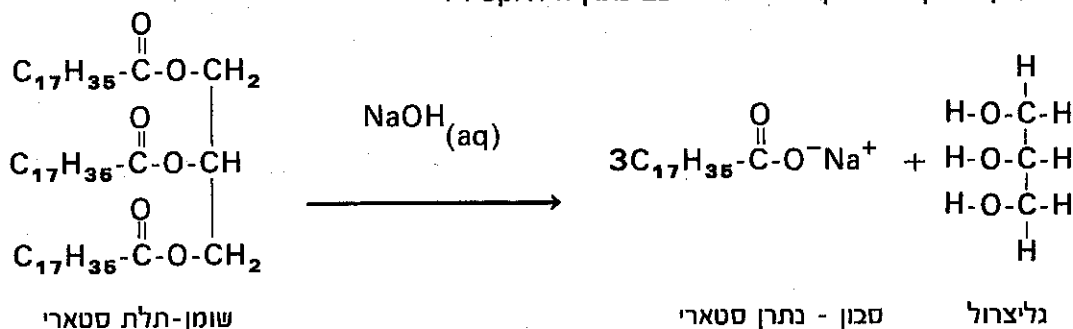
תרגיל 7.11:

העזר בדוגמאות של חומצות שומניות, שהופיעו בתרגיל 7.9:

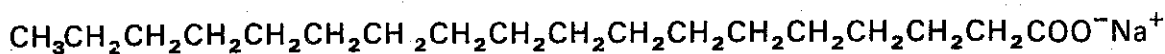
1. רשום נוסחת מבנה של מולקולת שומן ומולקולת שמן.
2. האם לדעתך מסיסים השומנים ו/או השמנים במים. הסבר.

7.5.3 הסבון ואופן פעולתו

התהליך המעבדתי של סבון מתרחש בתמיסה מימית, כאשר שומן מגיב עם בסיס חזק כגון NaOH או KOH, והתוצרים הם גליצרול ומלח של חומצה שומנית - סבון. ניסוח תהליך סיכון של שומן תלת סטארי עם נתרן הידרוקסידי:

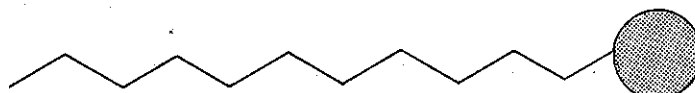


סבון הנוצר מהבסיס נתרן הידרוקסידי הוא סבון מוצק, אולם אם התהליך מתרחש בנוכחות הבסיס אשלגן הידרוקסידי מתקבל סבון נוזלי. פעילות הסבון כחומר ניקוי נובעת ממבנהו. נתבונן במבנה הסבון נתרן סטארי:



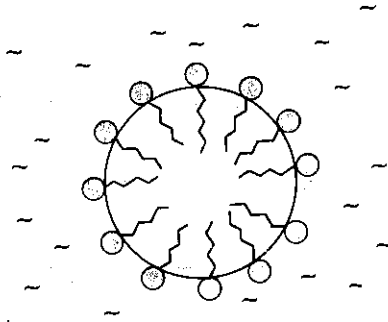
השרשרת הפחמימנית הארוכה היא הידרופובית, בעוד הקצה  $\text{COO}^- \text{Na}^+$ , המיוצג ע"י עגול, מהווה קצה הידרופילי.

נהוג לסמל את מולקולת הסבון כך:



החלק הקוטבי - ההידרופילי      החלק הבלתי קוטבי - הידרופובי

אם מוסיפים סבון לתערובת של מים ושמן ואח"כ מנערים את התערובת בחוזקה, הקטע ההידרופובי של הסבון יתמוסס בשמן ואילו הקצה ההידרופילי יתמוסס במים. הקצה  $\text{COO}^- \text{Na}^+$  של מולקולת הסבון, מצוי במים ויוני הנתרן יכולים לנוע.



ציור 7.3: הסבון כחומר ניקוי

שים לב, לטיפת השמן מטען שלילי מאחר והקצה השלילי של הסבון צמוד אליה. המטען השלילי של טיפת השמן הזו דוחה את כל יתר טיפות השמן, שאף להן מטען שלילי. כך, גורם הסבון לליכרוך השומני להפרד לטיפות קטנות ולהשטף בזרם המים.

## 7.6 אמינים וחומצות אמיניות

### 7.6.1 אמינים

אמינים - הם תרכובות פחמן, אשר אל אחד מאטומי הפחמן קשורה הקבוצה האמינית, קבוצת  $\text{-NH}_2$ . קיימים שלושה סוגי אמינים: ראשוני, שניוני ושלישוני.

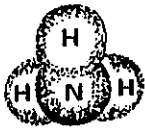
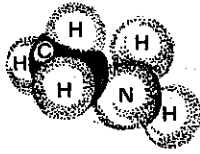
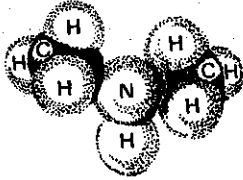
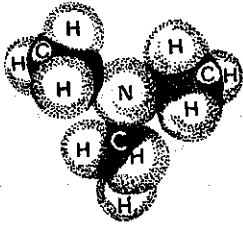
אמין ראשוני - ניתן להתייחס אל אמין ראשוני כאל מולקולת אמוניה בה הוחלף אטום מימן אחד בקבוצה אלקילית, R.  
אמין שניוני - ניתן להתייחס אל אמין שניוני כאל מולקולת אמוניה בה הוחלפו שני אטומי מימן בשתי קבוצות אלקיליות ואילו כאמין שלישוני הוחלפו שלושה אטומי מימן בשלוש קבוצות אלקיליות.

בטבלה 7.4 (המופיעה בעמוד הבא) מוצגות מספר דוגמאות של אמינים.

לאור הדמיון בין מולקולת האמוניה ומולקולות האמינים, כפי שניתן לראות מהתכונות בטבלה 7.4, ניתן לצפות לדמיון גם בתכונותיהם. ואכן, התכונה החשובה של האמינים היא בסיסיותם, בדומה לאמוניה.

בפרק ה' הגדרנו בסיסים כחומרים המסוגלים לקלוט  $\text{H}^+$ . האמוניה והאמינים מסוגלים לקלוט  $\text{H}^+$  בגלל זוג האלקטרונים הבלתי קושר של אטום החנקן.

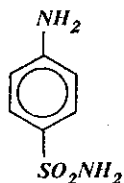
תכונה נוספת המשותפת לאמינים ולאמוניה היא היכולת ליצור קשרי מימן. בין מולקולות האמינים הראשוניים והשניוניים נוצרים קשרי מימן. תכונה זו משפיעה על נקודת הרתיחה של אמינים ועל מסיסותם במים של אמינים בעלי מסה מולרית נמוכה. בדומה לכוהלים ולחומצות אורגניות, ככל שהקבוצות האלקיליות, R, ארוכות יותר, כך תיקטן מסיסות האמינים (גיזול בחלק ההידרופובי גורם להקטנת השפעת החלק ההידרופילי).

| מודל ממלא מרחב   | דוגמה  |               | נוסחה כללית           | סוג האמין    |
|--|--|---------------|-----------------------|--------------|
|  | נוסחת המבנה  | השם           |                       |              |
|   | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ \vdots \end{array}$   | אמוניה        | $\text{NH}_3$         |              |
|   | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{N}-\text{H} \\   \quad \vdots \\ \text{H} \end{array}$ | מתיל אמין     | $\text{RNH}_2$        | אמין ראשוני  |
|   | $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\ddot{\text{N}}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{H} \end{array}$  | די מתיל אמין  | $\text{R}_2\text{NH}$ | אמין שניוני  |
|  | $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\ddot{\text{N}}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$   | טרי מתיל אמין | $\text{R}_3\text{N}$  | אמין שלישוני |

טבלה 7.4: נוסחות ונוסחות מבנה של אמינים אחדים



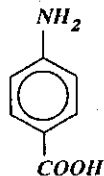
בשנת 1934 התגלה, כי תומר צבע - פרונטוזיל (Prontosil) יעיל כנגד זיהומים בקטיריאלים. שנה אח"כ, דווח כי החלק הפעיל במולקולת הפרונטוזיל הוא סולפוניל אמיד. תרופה זו הוכחה כיעילה כנגד שלשולים, דלקות ריאות וזיהומים בקטיריאלים נוספים. מאוחר יותר פותחו וסוגתו נגזרות נוספות של סולפוניל אמיד ובהלן משתמשים עד היום והם קרויים "סולפה". נוסחת המבנה של סולפוניל אמיד היא:



במלחמת העולם השנייה נעשה שימוש נרחב בסולפה בעיקר, כחיילים פצועים וכך ניצלו לכבות. אולם, התברר כי יש לתרופה תופעות לוואי חלקן חולפות, כגון: טישטוש ואיבוד הכרה וחלקן מתמשכות, כגון אנמיה ונזק כיליתי.

כיום, נוהגים להשתמש בסולפה בעיקר לזיהומים בדרכי השתן, מאחר והיא נספגת בכליה ומפורשת באמצעות השתן.

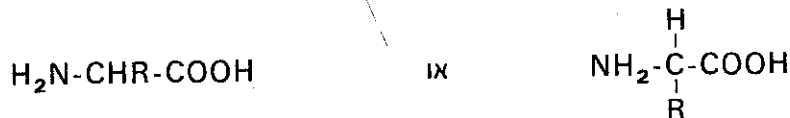
חשיבות נוספת נודעת לסולפה. גילויה והשימוש המוקדם בתרופה זו סייע בהבנת מנגנון פעולת התרופה. נתגלה כי, כתאי החיידקים גוצרת חומצה פולית החיונית מאד לחיידקים. בחלק מהסינתזה של החומצה הפולית (Folic acid) נחוצה התרכובת פרה - אמינו - חומצה בנוזאית (בקיצור קרויה פאבה - PABA) שנוסחת המבנה שלה מתוארת להלן:



מהשוואת נוסחת המבנה של סולפוניל אמיד ושל PABA ניתן לראות בבירור את הדימיון הרב במבנה שתי התרכובות הנ"ל. נמצא כי החיידק משתמש בסולפוניל אמיד במקום ב-PABA בניסיונו לסנתז חומצה פולית. היות ולא מתאפשרת סינתזה זו החיידק מת. מנגנון פעולה כזה קרוי עיכוב תחרותי. מאחר והאדם קולט חומצה פולית ממזונו ואיגו מסנתז אותה, רק החיידק נפגע.

## 7.6.2 חומצות אמיניות

כפיסקה זו נדון בהשפעת שתי קבוצות פונקציונליות על תכונות התרכובת בה הן מופיעות. כחומצות אמיניות מצויה קבוצה קרבוקסילית, המאפיינת חומצות אורגניות, וקבוצה אמינית, המאפיינת בסיסים. ניתן לרשום להן נוסחה כללית:



לשם דיוק, עלינו לציין כי נוסחה כללית זו אינה מתארת נכונה את מבנה החומצות האמיניות,

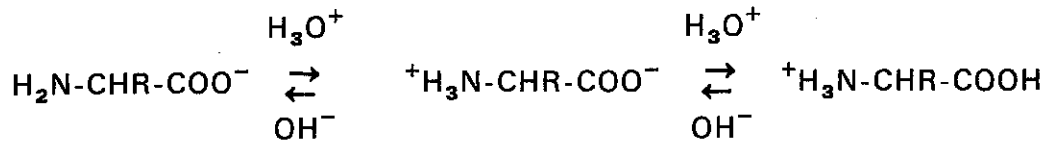
הקיימות למעשה כדו-יון:  ${}^+\text{H}_3\text{N}-\text{CHR}-\text{COO}^-$

החומצות האמיניות פועלות גם כחומצות וגם כבסיסים.

בעת הוספת חומצה אל חומצה אמינית הופך הדו יון לקטיון:  ${}^+\text{H}_3\text{N}-\text{CHR}-\text{COOH}$

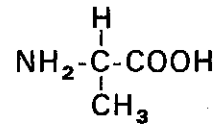
בעת הוספת בסיס אל חומצה אמינית הופך הדו יון לאניון:  $\text{H}_2\text{N}-\text{CHR}-\text{COO}^-$ .

ניתן לרשום זאת באמצעות הניסוח הבא:



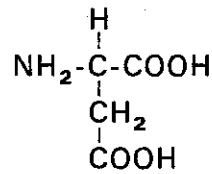
ההבדל בין חומצה אמינית אחת לרעותה הוא ב-R (לשם משטות ברשום נוסחאות מולקולריות). החומצה האמינית הפשוטה ביותר היא גליצין:  $\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ .

דוגמה נוספת היא האלנין בה  $\text{R}=\text{CH}_3$ . מתקבלת נוסחת המבנה הבאה:

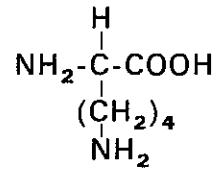


קיימות כ-20 חומצות אמיניות אשר ניתן לסווגם על פי הקבוצות השונות, R:

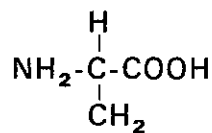
קבוצה חומצית, קבוצה בסיסית, קבוצה קוטבית - הידרופילית וקבוצה הידרופובית. להלן מספר דוגמאות:



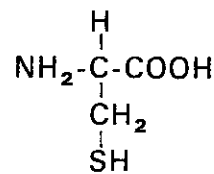
חומצה אספרטית



ליזין

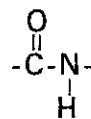


פניל אלנין

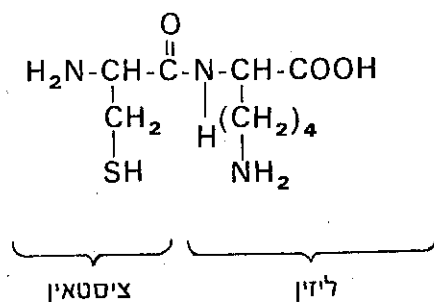


ציסטאין

כפי שלמדנו בפרק ב', בתגובה בין הקבוצה הקרבוקסילית של מולקולת חומצה אמינית אחת לבין הקבוצה האמינית של מולקולת חומצה אמינית אחרת נוצר הקשר הפפטידי:



כאשר שתי חומצות אמיניות מגיבות ביניהן, בתנאים מתאימים (אזים, pH וכו'), נוצר די-פפטיד, שבו קיים קשר פפטידי אחד. להלן די-פפטיד הבנוי מליזין וציסטאין:



כאשר שלש חומצות אמיניות מגיבות ביניהן נוצר טרי-פפטיד, בו קיימים שני קשרים פפטידים.

### תרגיל 7.12:

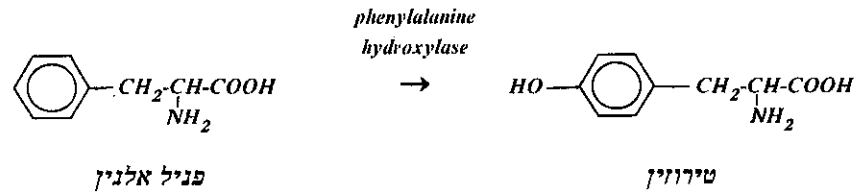
התבונן בדומאות של החומצות האמיניות שהופיעו בפיסקה זו:

1. ציין מהו סיווג קבוצות ה-R השונות.
2. רשום נוסחת מבנה של טרי-פפטיד.

\*\*\*\*\*

ידוע, זה מכבר, על קיום מחלות תורשתיות רבות, בהן קיימת הפרעה במטבוליזם של החומצות האמיניות. דוגמה למחלה כזו היא פניל קטונוריה - PKU.

האנזים פניל אלנין הידרוקסילז מזרוז את התגובה בה קבוצה הידרוקסילית מתווספת אל הטבעת הבנזנית. התהליך מתואר בניסוח הבא:



הגורם למחלה PKU הוא חוסר באנזים פניל אלנין הידרוקסילז, ההופך את החומצה האמינית פניל אלנין לטירוזין. עקב כך חלה הצטברות פניל אלנין בדם והרמה של החומצה האמינית, הגבוהה בהרבה מהנורמה, גורמת לפיגור שכלי קשה, נטיה לפריחה בעור ואף לדילול הפיגמנט בעור. הסיבה לחוסר צבע בעור ואף באישון העין נובעת מהעדר מלנין, שאף הוא אחד התוצרים במטבוליזם של הפניל אלנין.

כנתי חולים מבוצעת כיום, כדיקה של רמת הפניל אלנין בדם לרוב התינוקות הנולדים. אם מתברר כי הילוד סובל מהמחלה, מיד ניתנת לו דיאטה סינתטית דלה בפניל אלנין וכך נמנע הפיגור השכלי (לפחות באופן חלקי).

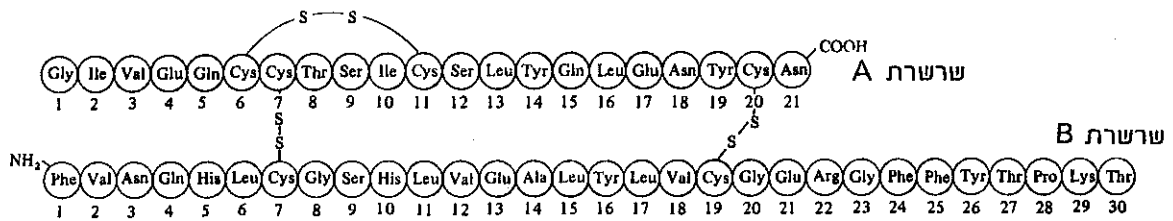
\*\*\*\*\*

## 7.7 חלבונים

חלבון הוא למעשה פוליפפטיד (רב-פפטיד), בו קשורות החומצות האמיניות זו לזו בקשרים פפטידיים.

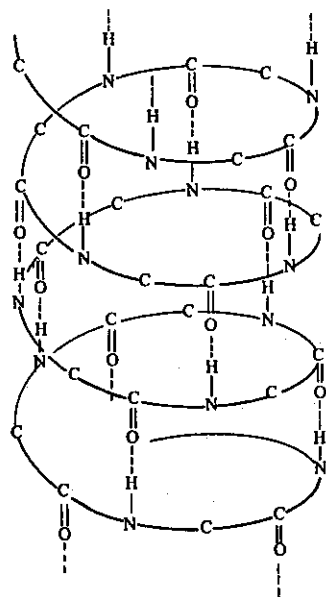
המבנה המרחבי של החלבון - ניתן לתיאור כמורכב ממבנים פשוטים יותר:

מבנה ראשוני של חלבון נקבע ע"י המספר, הסוג והרצף של החומצות האמיניות. חומצות אמיניות אלו קשורות זו אל זו בקשרים פפטידיים. בצויר 7.4 מתואר באופן סכמטי המבנה הראשוני של אינסולין האדם, הכולל שרשרת A - בעלת 21 חומצות אמיניות ושרשרת B - בעלת 30 חומצות אמיניות. מקובל לסמן את החומצות האמיניות בקיצור ע"י 3 אותיות, כגון: Gly מסמל גליצין, Ile מסמל איזולוצין, Val מסמל ואלין, Glu מסמל חומצה גלוטאמית וכן הלאה.



צויר 7.4: רצף חומצות אמיניות באינסולין האדם

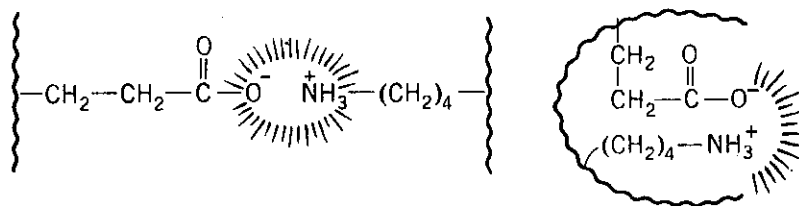
מבנה שניוני של חלבון - הסיידור המרחבי הנוצר כאשר החומצות האמיניות יוצרות פיתול סלילי, עקב קיום קשרי מימן בין אטומי H של קבוצת  $\text{-NH}_2$  בחומצה אמינית אחת לבין אטומי O של קבוצת  $\text{-COOH}$  בחומצה אמינית שניה. מבנה של סליל הנפוץ ביותר קרוי  $\alpha$  helix כל סבוב בסליל מכיל בממוצע 3.6 חומצות אמיניות. בציור 7.5 מתואר באופן סכמטי מבנה של סליל מסוג  $\alpha$  helix.



ציור 7.5:  $\alpha$  helix - מבנה שניוני של חלבון

מבנה שלישוני של חלבון - הסיידור המרחבי הנותן לחלבון את הפעילות הביולוגית הספציפית. קיימים מספר סוגים של קשרים המייצבים את המבנה השלישוני של החלבון:

“גשרי מלח” - נוצרים כתוצאה מכוחות משיכה חשמליים בין קבוצות טעומות מסטן חיובי לבין קבוצות טעומות מסטן שלילי בחלבון, כמתואר באופן סכמטי בציור 7.6. דוגמה לקבוצות טעומות הן השרשרות הצדדיות בחומצות האמיניות ליזין ואספרטית.



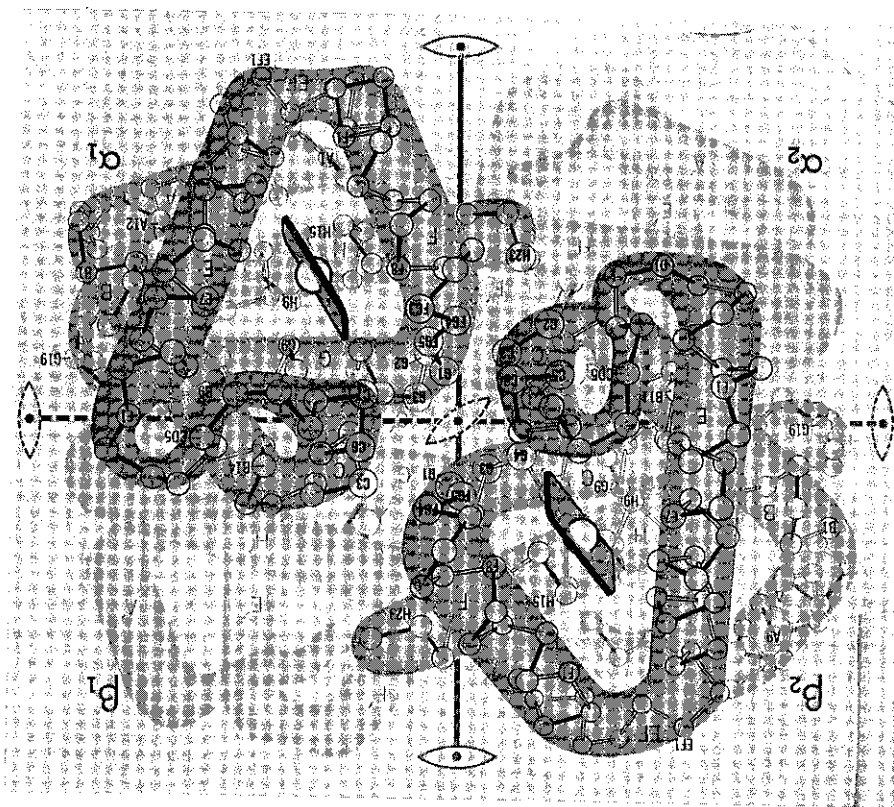
ציור 7.6: “גשרי מלח” בין חומצות אמיניות בחלבון

קשרי מימן - נוצרים בין קבוצות שונות בפיתולים, בנוסף לקשרי המימן שבמבנה השניוני.

קשרים די-סולפידיים - נוצרים בין קבוצות  $\text{-SH}$  של חומצות אמיניות ציסטאין, המצויות בחלקים שונים של הסליל. הקשר הדי-סולפידי נוצר תוך יציאת שני אטומי מימנים ויצירת קשר  $\text{S-S}$  (ראה ציור 7.4).

אינטראקציות הידרופיליות - הידרופוביות - קבוצות R לא קוטביות "מקופלות בתוך החלבון" ואילו קבוצות R קוטביות פונת כלפי "חוץ", אל התמיסה המימית ליצירת קשרי מימן נוספים עם מולקולות המים.

מבנה רביעוני של חלבון קיים רק בחלבונים הבנויים ממספר שרשרות פוליפפטידיות, כל אחת בעלת מבנה ראשוני, שניוני ושלישוני משלה, המצטרפות יחד ליצירת מבנה אחד מסוגך ומורכב יותר. דוגמה לחלבון בעל מבנה רביעוני הוא ההמוגלובין בעל 4 תת-יחידות, שתי שרשרות  $\alpha$  ושתי שרשרות  $\beta$ , הן מקופלות באופן שנוצרים כיסים עבור קבוצת ה-Fe. (על ההמוגלובין וקבוצת ההם קרא שוב בפרק ג' עמ' 44-43). המבנה הרביעוני של ההמוגלובין מתואר בציור 7.7.



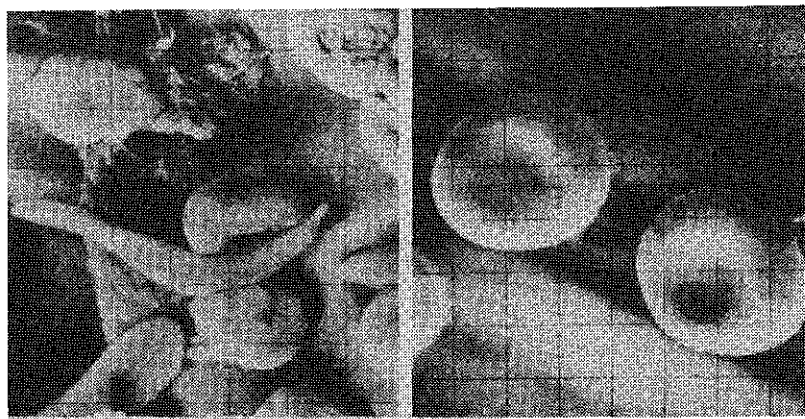
ציור 7.7: מולקולת ההמוגלובין\*

\*ברשותה האדיבה של הוצאת א. לוי-אפשטיין-מורן

\*\*\*\*\*

המחלה המולקולרית הראשונה נתגלתה ב-1945 על ידי לינוס פאולינג, חתן פרס נובל פעמיים. המחלה המכונה אנמיה חרמשית (sickle cell anemia), היא דוגמה למחלה גנטית העוברת בתורשה והנפוצה במרכז אפריקה ובמערבה.

מקור המחלה בחילוף חומצה אמינית אחת! בשרשרת  $\beta$  כמקום חומצה גלוטאמית מופיעה ואלין. החילוף משפיע על תפקודו של ההמוגלובין כמוכיל החמצן בדם וכן על צורת תאי הדם האדומים המקבלים צורה חרמשית ולא עגולה כשל תאי דם נורמליים. תאי הדם החרמשיים נלכדים בכלי הדם הקטנים, זרימת הדם נפגעת והדבר גורם נזק לאיברים רבים, בעיקר לעצמות ולכליות. התאים החרמשיים שבידים יותר מתאים נורמליים, נתונים להמוליזה ואורך חייהם קצר יותר משל התאים הנורמליים. תאי דם אדומים חרמשיים מתוארים בציור 7.8-א ואילו תאי דם אדומים נורמליים מתוארים בציור 7.8-ב.



א. תאי דם אדומים חרמשיים ב. תאי דם אדומים נורמליים

ציור 7.8: תאי דם אדומים\*

המחלה אנמיה חרמשית היא דוגמה לכך ששינויים ברמה מולקולרית, אף שבאופן כמותי הם קטנים, ניתנים לאבחנה בעין באמצעות שינוי במבנה התאים וכן באמצעות תופעות של חוסר דם וקשיי נשימה.

\*מתוך "מולקולות במערכות חיות", תכנית IAC

\*\*\*\*\*

## 7.8 סיכום

בפרק הכרנו קבוצות פונקציונליות רבות הנחוצות להבנת תהליכי החיים. בטבלה הבאה מסוכמות הקבוצות הפונקציונליות העיקריות, בהן דנו בפרק.

| דוגמה של תרכובת   |                        | התרכובת המכילה את הקבוצה הפונקציונלית  |              | הקבוצה הפונקציונלית                                       |                                |
|---|------------------------|--|--------------|---|--------------------------------|
| נוסחה   | שם המקובל בחיי יום יום | נוסחה  | שם           | נוסחה   | שם                             |
| $C_2H_5OH$  | אתאנול                 | $R-O-H$  | כוהל         | $-OH$   | קבוצה הדרוקסילית               |
| $CH_2O$   | פורמאלדהיד             | $\begin{array}{c} O \\    \\ R-C-H \end{array}$  | אלדהיד       | $\begin{array}{c} O \\    \\ -C- \end{array}$             | קבוצה קרבונילית                |
| $CH_3COCH_3$  | אצטון                  | $\begin{array}{c} O \\    \\ R-C-R \end{array}$  | קטון         |   |                                |
| $CH_3COOH$  | חומצה אצטית            | $\begin{array}{c} O \\    \\ R-C-O-H \end{array}$  | חומצה        | $\begin{array}{c} O \\    \\ -C-OH \end{array}$           | קבוצה קרבוקסילית               |
| $CH_3COOCH_3$   | מתיל אצטט              | $\begin{array}{c} O \\    \\ R-C-O-R \end{array}$  | אסטר         | $\begin{array}{c} O \\    \\ -C-O- \end{array}$           | קשר אסטרי                      |
| $CH_3NH_2$  | מתיל אמין              | $R-NH_2$   | אמין         | $-NH_2$   | קבוצה אמינית                   |
| $\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-COOH \\   \\ NH_2 \end{array}$  | גליצין                 | $\begin{array}{c} H \\   \\ R-C-COOH \\   \\ NH_2 \end{array}$   | חומצה אמינית |   | קבוצה אמינית וקבוצה קרבוקסילית |
| $\begin{array}{c} H & O \\   &    \\ NCH & CNCHCOOH \\   &   \\ H & H \\   &   \\ CH_3 & CH_2 \\ &   \\ & COOH \end{array}$ | חומצה אספרטית-אלנין    | $\begin{array}{c} H & O & H & O \\   &    &   &    \\ H_2N-C & -C- & N-C & -C-OH \\   & &   &   \\ R' & & H & R \end{array}$ | די פפטיד     | $\begin{array}{c} O \\    \\ -C-N- \\   \\ H \end{array}$ | קשר פפטידי                     |

טבלה 7.5: קבוצות פונקציונליות הנחוצות להבנת תהליכי החיים

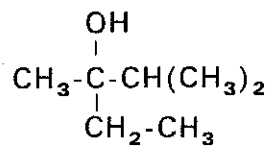
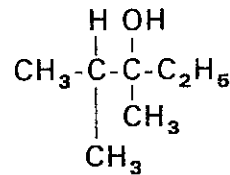
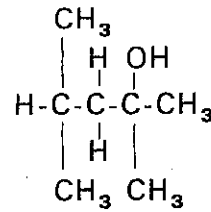
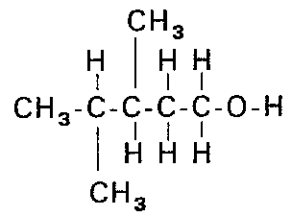


## 7.9 רשימת מושגים

כוהל, קבוצה הידרוקסילית  
איזומרים  
שורה הומולוגית  
כוהל ראשוני, כוהל שניוני, כוהל שלישוני  
אלדהיד, קטון, קבוצה קרבונלית  
חומצה, קבוצה קרבוקסילית  
תהליך חימצון, תהליך חיזור  
כוחות ון-דר-ולס, קשרי מימן, מסיסות במים  
תנאים אירוביים, תנאים אנאירוביים  
טבעת בגזנית, חומצה סליצילית  
חומצות שומניות רוויות ובלתי רוויות  
תהליך איסטור, אסטר  
שמנים ושומנים  
תהליך סיבון, סבון  
אמינים, קבוצה אמינית  
אמין ראשוני, אמינין שניוני, אמין שלישוני  
חומצות אמיניות, דו-יון  
קשר כפטידי, די כפטיד, חלבון  
מבנה ראשוני, שניוני, שלישוני של חלבון  
"גשרי מלח", קשרים די-סולפידיים, אינטראקציות הידרופיליות - הידרופוביות  
מבנה רביעוני של חלבון  
עיכוב תחרותי  
פביל קטונוריה - PKU, אנמיה חרמשית

## 7.10 שאלות לפרק השביעי

1. לפיך מספר חומרים בעלי נוסחה מולקולרית זהה  $C_7H_{15}OH$ .

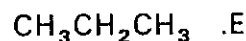
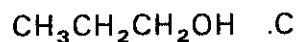
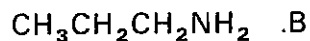
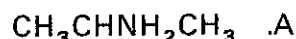


- א. מי מהחומרים זהה לחומר C ?  
 ב. מי מהחומרים אם בכלל הוא:  
 (1) כוהל ראשוני ?  
 (2) כוהל שניוני ?  
 (3) כוהל שלישוני ?  
 ג. מי מהחומרים הוא 2,4 די מתיל 2 פנטאנול ?  
 ד. מי מהחומרים יכול לעבור חימצון ליצירת אלדהיד ?  
 ה. מי מהחומרים יכול לעבור חימצון לשם קבלת חומצה אורגנית בעלת מספר זהה של אטומי פחמן ?  
 מהי החומצה המתקבלת בתהליך חימצון זה ?

2. א. רשום נוסחות מבנה שונות עבור הנוסחה המולקולרית  $C_4H_{10}$ .  
 ב. כמה איזומרים הצלחת למצוא ?  
 ג. נהוג לכנות את האיזומר בעל השרשרת הישרה בשם n-בוטאן. כיצד תכנה את שאר האיזומרים ?

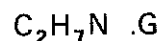
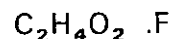
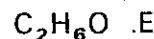
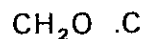
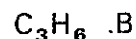
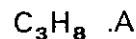
3. חימצון מלא של כוהלים יכול להתרחש במהירות בתהליך בעירה או בשלבים במספר תהליכי חימצון. בנוף, התהליך מתרחש באופן מבוקר, מכוהל ראשוני עד לקבלת פחמן דו חמצני ומים. רשום באופן סכמטי את תהליכי החימצון בשלבים עבור 1 פרופאנול. כנה את התוצרים בשמות.

4. לפיך נוסחתייהן של חמש תרכובות מולקולריות:



- א. קבע אילו מבין התרכובות מייצגות איזומרים ?  
 ב. באילו מבין התרכובות קיימים קשרי מימן בין המולקולות ?  
 ג. באילו מבין התרכובות קיימים קשרי ון דר וולס, בלבד, בין המוקולות.  
 ד. התרכובת C מתמוססת במים אך תמיסתה המימית אינה מוליכה זרם חשמלי. נסח את תהליך ההמסה.  
 ה. התרכובת B מתמוססת אך היא במים אך תמיסתה המימית מוליכה זרם ו"נצבעת" לורוד עם האינדיקטור פנול פטלאין.  
 רשום ניסוח תהליך ההמסה של תרכובת B במים והסבר את התכונות של התמיסה במונחים של כסיס-חומצה.  
 ו. מי מהחומרים אם בכלל הוא:  
 (1) אמין ראשוני ?  
 (2) אמין שניוני ?  
 (3) אמין שלישוני ?

5. רשום נוסחות מכנה של המולקולות הבאות:

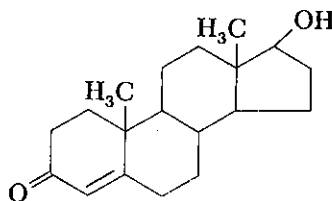


- ב. לאילו מבין הנוסחות המולקולריות ניתן למצוא שני איזומרים, לפחות ?  
 ג. לאילו מבין תרכובות הפחמן הנ"ל אין קבוצות פונקציונליות ?  
 ד. עבור תרכובות הפחמן בעלות קבוצות פונקציונליות, ענה על השאלות הבאות:  
 (1) מהי הקבוצה הפונקציונלית ?  
 (2) כנה תרכובת בשם ו  
 (3) ציין עבור כל אחת מהתרכובות האם היא מסיסה במים.

6. באיזו מבין התרכובות הבאות קיימים קשרי מימן בין המולקולות ?

- א.  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$
- ב.  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
- ג.  $\text{CH}_3\text{CHO}$
- ד.  $\text{HCOOH}$
- ה.  $(\text{CH}_3)_2\text{O}$

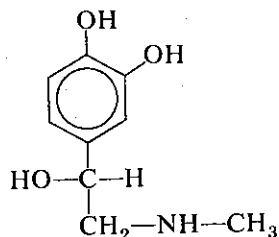
7. לפיך נוסחת מבנה של הורמון המין הגברי טסטוסטרון, testosterone.



- א. מהי הנוסחה המולקולרית של טסטוסטרון ? (זכור, כל קודקוד של טבעת מסמל אטום פחמן).
- ב. מהן הקבוצות הפונקציונליות בטסטוסטרון ? הקף אותן בעיגול וכנה אותן בשם.
- ג. האם לדעתך זהות ארבעת הטבעות ? אם לא, ציין מהו השוני ביניהן.
- ד. האם לדעתך טסטוסטרון הוא חומר הידרופילי או הידרופובי ? נמק.

8. הורמון אפינפרין, epinephrine בעל השפעות רבות, בין היתר מרגיע ומשחרר את שרירי הסמפונות ולכן משמש כטיפול בחולי אסטמה וקדחת השחת.

נוסחת המבנה של אפינפרין היא:



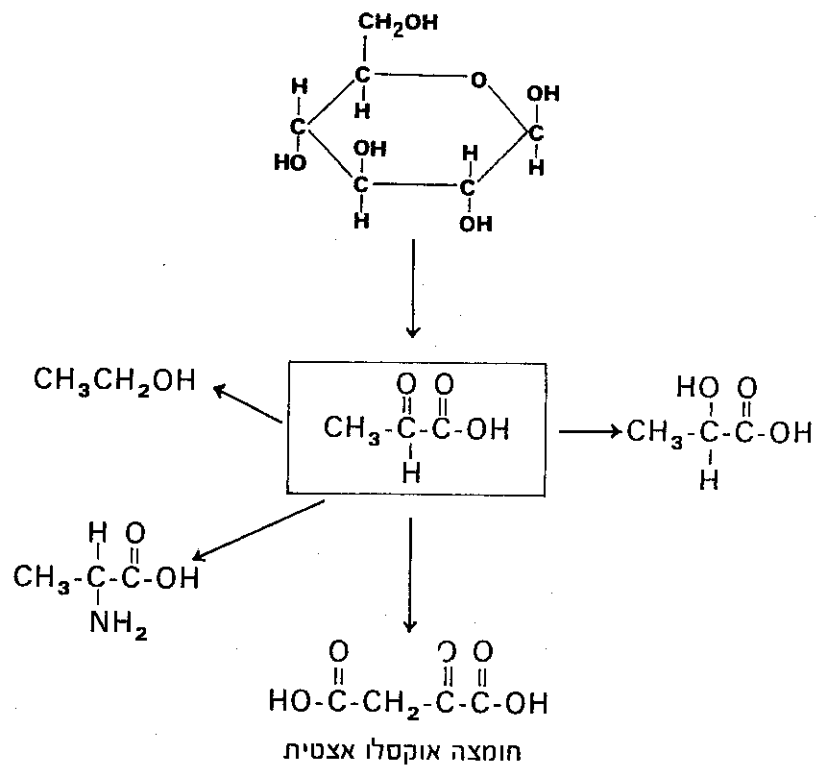
- א. מהי הנוסחה המולקולרית של אפינפרין ?
- ב. מהן הקבוצות האופייניות באפינפרין ?
- ג. האם אפינפרין יתמוסס היטב במים ? הסבר.
- ד. אפינפרין נוצר בנוף מההורמון נוראפינפרין norepinephrine, שאף הוא ממלא תפקיד חשוב במערכת העצבים ובמוח. ההבדל בין שני ההורמונים הוא, שאפינפרין הוא אמין שניוני, ונוראפינפרין הוא אמין ראשוני. בנוראפינפרין המתיל הוחלף באטום מימן. צייר את נוסחת המבנה של נוראפינפרין.

9. נתון החומר A- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , ממנו רוצים להכין את החומר B- $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ , ללא שימוש בתרכובות פחמן נוספות.

מהו הסדר הנכון לביצוע התהליכים ? (בחר בתשובה הנכונה ביותר).

- א. חימצון בלבד.
- ב. איסטור בלבד.
- ג. חימצון של חלק מן החומר A ואחרי כן איסטור.
- ד. איסטור של חלק מן החומר A ואחרי כן חימצון.

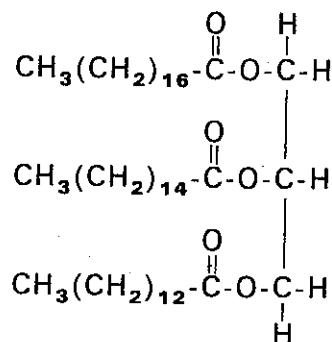
10. לפניך מספר מסלולים מטבוליים אפשריים לחומר מוצא המצוי במסגרת: גלוקוז



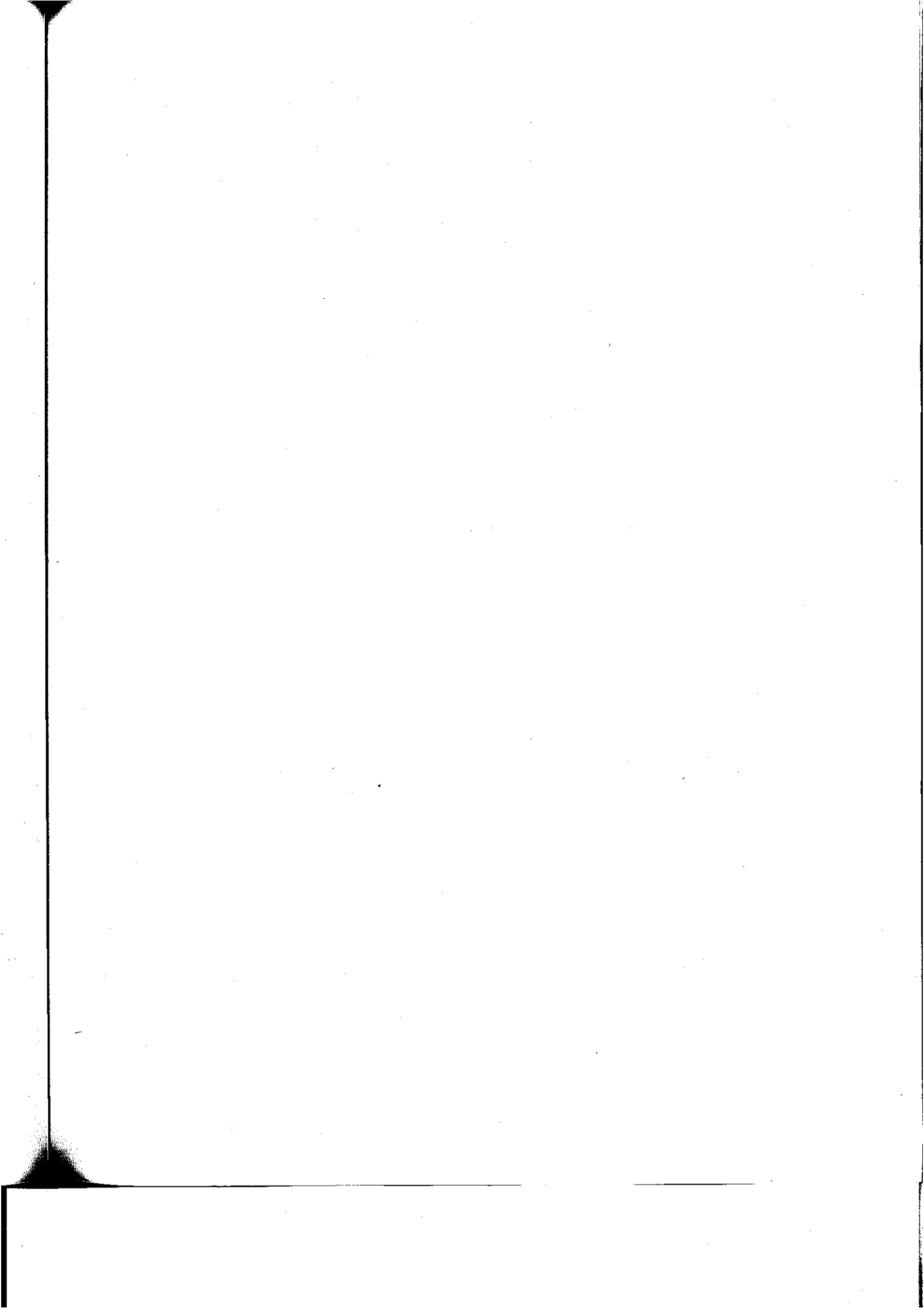
- א. סמן בתרשים את החומצות, ו/או הכהלים.
- ב. מי היא החומצה האמינית?
- ג. ציין באילו מהמסלולים החיצים מסמלים תהליכי חמצון או חיזור?
- ד. התאם לכל נוסחה שם מהרשימה שלהלן:  
אתאנול, חומצה פירובית, חומצה לקטית, אלנין.

11. במרה, השומנים עוברים הידרוליזה - פירוק ע"י מים, במכחות אנזים הקרוי ליפאז, lipase. תוצרי ההידרוליזה של השומנים הם גליצרול והחומצות השומניות.

נסח את תהליך ההידרוליזה של השומן הבא:







# ולסיכום...

\*\*\*\*\*

## אירוע רפואי

"ביקרבונטו" קרא הרופא, שעסק בהחייאת פצוע קשה כתוצאה מתאונת דרכים. הפצוע, שאיבר דם רב וסבל מדום לב, הונשם וקיבל עיסוי לב. בו זמנית, חובר לידו של הפצוע צינור ערוי תוך ורידי דרכו קיבל תמיסת סליין (0.9% NaCl, Saline). הוראת הרופא "ביקרבונטו" באה כדי להזכיר לאחות להוסיף אמפולה של תמיסת גתרן ביקרבונט (44 meq NaHCO<sub>3</sub>) דרך צינור הערוי.

## ניתוח האירוע

מדיניות הטיפול בהחייאה כוללת בשלב הראשון כיצוע הנשמה והחזרת פעילות מחזור הדם אם על-ידי החזרת פעולת הלב (מכת אגרוף, הלם חשמלי) ואם על-ידי עיסוי לב. בשלב השני מזריקים תמיסת ערוי - תמיסת סליין יחד עם תמיסה של גתרן ביקרבונט. כמו כן, יש להקפיד על אוורור נשימתי, כדי לאפשר למטופל לפלוט פחמן דו-חמצני, CO<sub>2</sub>, מיד כשנשימתו חוזרת. תמונת ההלם בכלל, ודום הלב בפרט, מלווה בתופעות הבאות:

א. חמצת מטבולית, הנגרמת כתוצאה מהצטברות חומצה לקטית בתהליך נשימה ללא חמצן, O<sub>2</sub>.

ב. חמצת נשימתית, הנגרמת כתוצאה מהצטברות פחמן דו חמצני, CO<sub>2</sub>, שאינו נפלט כאשר המטופל אינו נושם.

תמיסת גתרן ביקרבונט ניתנת כמגמה לגטרל את עודף החומצות הללו בדם.

\*\*\*\*\*

בעת קריאת האירוע הרפואי הנ"ל בתחילת הקורס לכימיה צצו ועלו שאלות רבות:

- מהי תמיסת סליין ומהי תמיסת גתרן ביקרבונט ?
- מהי המטרה של צירוף שתי התמיסות יחד ?
- מה הקשר בין אוורור נשימתי לבין מצבו של החולה ?
- מהי חומצה, ומה ההבדל בין חמצת מטבולית לבין חמצת נשימתית ?
- מהי משמעותם של הסימולים הכימיים כגון: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaCl, ושל יחידות ריכוז כגון: 0.9%, 44 meq ?

עתה, הסימולים הכימיים, יחידות הריכוז ומרבית המושגים כבר מוכרים וברורים. נותר מספר מועט של מושגים בלתי ברורים: אוורור נשימתי וחמצת נשימתית, הקשורים למושג הפרעות לשיווי משקל, אותם נסביר להלן.

## 8.1 הפרעות לשיווי משקל

כשיווי משקל נמצאים כל המרכיבים בריכוז קבוע, כתוצאה מהשתוות מהירויות שתי התגובות ההפוכות (חזור וקרא כפרק הששי עמ' 89-90). כל גורם אשר מפר את השיווין במהירויות מהווה הפרעה לשיווי משקל. אם אחת משתי התגובות ההפוכות מתרחשת במהירות גבוהה יותר מהשנייה, ניתן יהיה להבחין בשיוויים בריכוזי החומרים שבמערכת.

כיצד נבחין האם שינוי מסוים מהווה הפרעה לשיווי משקל ?



תכונות הניתנות למדידה כגון: צבע, ריכוז, pH ועוד, אשר סייעו לאבחן כי הושג מצב של שיווי משקל, יסייעו לנו הפעם לאבחן כי היתה הפרעה. עקב שינוי בריכוזי החומרים ישתנו הצבע ו/או ה-pH.

מה מתרחש במערכת עקב ההפרעה ?

בסוף המאה ה-19, הציע המדען לה-שטלייה עקרון הזן בהפרעות למערכת הנמצאת בשיווי משקל כגון: שיווי ריכוז, שינוי לחץ ו/או שינוי טמפרטורה. עפ"י עקרון לה-שטלייה, ככל הפרעה לשיווי משקל תגיב המערכת באופן, שתגובה זו תקטין את ההפרעה שנעשתה במערכת, עד שיושג שיווי משקל חדש.

למעשה, בפרק הששי, כאשר דנו בהוספת יוני הידרוניום או יוני הידרוקסיד למערכת הבופר הפחמתי או הזרחתי (עמ' 104-101), עסקנו בהפרעות למצב של שיווי משקל. מערכות הבופר בגוף מצויות בשיווי משקל, והוספת חומצה או בסיס למערכות אלו, מהוות הפרעה לשיווי משקל. ניסוחי התהליכים 15-18 בפרק הששי מתארים את תגובת מערכות הבופר על מנת להקטין את ההפרעות הללו.

## 8.2 גזים בדם

החמצן והפחמן הדו חמצני המצויים בדם קרויים גזי הדם. מדידתם - אנליזת גזי הדם, מאפשרת לאחות, לאח ולרופא לעקוב במדויק אחר מצב נשימתו של החולה. זהו מבחן החיוני לכל חולה במחלה קריטית, אשר מצבו עלול להשתנות מרגע לרגע, שכן אז איבחון וריפוי מהירים הם שאלת חיים ומוות.

אנליזת גזי הדם כוללת, בין היתר, את המדדים:  $P_{CO_2}$ ,  $P_{O_2}$ .

הסימולים  $P_{CO_2}$  ו-  $P_{O_2}$  מביעים לחץ חלקי של חמצן ופחמן דו חמצני, בהתאמה, ומצויים ביחס ישר לריכוז הגזים באוויר.

לדוגמה, לחץ האוויר בחדר הוא כ"כ 760 מ"מ כספית (או 1 אטמוספירה). אם ריכוז החמצן באוויר החדר הוא 21%, אזי הלחץ החלקי של החמצן בחדר הוא 159 מ"מ כספית ( $760 \times 21/100 = 159$ ).

הערכים הנורמליים של גזי הדם הם:  $P_{O_2} = 75-100$  מ"מ כספית ו-  $P_{CO_2} = 35-45$  מ"מ כספית.

כמו כן, בודקים גם את המדדים:  $[HCO_3^-]$  ו-pH, מאחר וקיים קשר הדוק בין גזי הדם לבין המאזן החומצי-בסיסי של המטופל, כפי שיוסבר בהמשך.

הערכים הנורמליים של שני המדדים הללו הם:  $[HCO_3^-] = 24-27mM$  ו-  $pH = 7.35-7.45$ .

ארכעת המדדים הנ"ל, נקבעים במעבדה (באמצעות מכשור ממוחשב) עבור דגימת דם עורקי של המטופל.

בעזרת ארכעת המדדים הללו, ניתן להבחין בשינויים בנשימתו של החולה ובחילוף החומרים בגופו. אח או אחות המטפלים בחולים ביחידה לטיפול נמרץ או בכנים, חייבים להיות מסוגלים להכין את תוצאות האנליזה, כדי שיוכלו להכין אמצעי טיפול באותם ולהשתמש בהם בשעת הצורך. השינויים הללו מהווים במרבית המקרים הפרעות למצב של שיווי משקל והמערכות בגוף יפעלו להקטנת ההפרעה. נתבונן במספר דוגמאות.

\*\*\*\*\*

אחת השיטות לנטילת דם עורקי לאנליזת גזי דם

השגת דגימת דם עורקי עבור אנליזת גזי הדם.

ציוד:

מטליות ספוגות חומר חיטוי

מזרק 5 מ"ל

מחט - קוטר 20

ספוגים סטריליים

הפריין (heparin) - חומר המונע קרישה

דף בדיקות - עבור המעבדה

מדבקה - עליה רשומים שם החולה, התאריך ושם המתלקה

מיכל ובו קרח

השיטה:

**מטרה**

**פעולה**

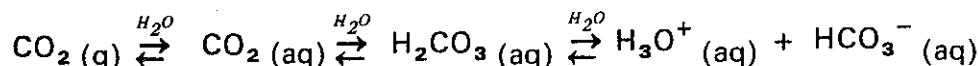
- |  |   |
|--|---|
| <p>למנוע כאב וחרדה העלולים לגרום לחולה אוורור יתר. עקב כך יחול שינוי זמני בגזי הדם. כמו כן, למנוע קרישת דם.</p> <p>לכסות את פנים הגליל בהפריין.</p> <p>למנוע נעדרוכב הרגימה באוויר החדר ועקב כך, נשוי לחול שינוי בלחץ גזי הדם.</p> <p>למנוע טעויות והחלפת בדיקה אחת באחרת.</p> <p>למנוע את שקיעת כדוריות הדם האדומות.</p> <p>למנוע המשך פעילות האנזימים.</p> | <p>1. להסביר את הפעולה לחולה ולעודד אותו.</p> <p>2. להכניס הפריין למזרק. להוציא כמות קטנה של הפריין, למשוך את הבוכנה עד לקצה הגליל ולהוציא את ההפריין מהמזרק.</p> <p>3. לאחר הוצאת הרגימה, יש לשים מכסה פלסטי על המחט ולכופף אותה.</p> <p>4. להדניק את המדבקה המזהה על הגליל.</p> <p>5. לסובב בעדינות את המזרק בין כפות הידיים.</p> <p>6. לשים את המזרק במיכל הקרח ולשלוח מיד למעבדה.</p> |
|--|---|

נקודות מיוחדות לזכירה

1. השתדלני לשמור שהחולה יהיה רגוע ונינוח.
2. רשמני בפתק המעבדה את חומו של החולה ואת כמות החמצן שקיבל.
3. אל תאפשרני לאוויר להיכנס למזרק לאחר שהדם נשאב לתוכו.
4. לחצני בחוזקה על הנקב, כדי למנוע שטף דם.

\*\*\*\*\*

הפצוה, בו עסק האירוע (עמ' 145), לא נשמ' לפני קבלת הטיפול ולכן לא פלט CO<sub>2</sub>. הלחץ החלקי P<sub>CO<sub>2</sub></sub> גדל וזהו מצב המהווה הפרעה לתהליך המצוי בשיווי משקל (קרא שוב עמ' 102-100). מאחר והבופר הפחמתי מצוי בשיווי משקל עם CO<sub>2</sub> באוויר התוך ריאתי, ניתן לרשום את ניסוחי התהליכים הבאים:



על מנת להקטין את ההפרעה - העליה בלחץ החלקי P<sub>CO<sub>2</sub></sub>, מתרחשת התגובה הישירה של יצירת החומצה הפחמתית, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (aq), במהירות גדולה יותר וריכוז החומצה הפחמתית עולה.

העליה בריכוז החומצה הפחמתית מהוה אף היא הפרעה למערכת של יצירת יוני ההידרוניום ויוני הביקרבוט, המצויה בשיווי משקל. כדי להקטין את ההפרעה עולה ריכוז יוני ההידרוניום.

מכאן נובע כי, העליה בלחץ החלקי של ה-CO<sub>2</sub> באוויר התוך ריאתי, גורמת לעליה בריכוז יוני ההידרוניום בדם, ולירידה ב-pH הדם, מצב הקרוי חמצת.

מאחר וההפרעה - עליה ב-P<sub>CO<sub>2</sub></sub>, גובעת מבעיה הקשורה במערכת הנשימה, במקרה שתואר לעיל - הפסקת הנשימה, זוהי חמצת נשימתית (respiratory acidosis).

\*\*\*\*\*

כד"כ, במקרים בהם אדם מצוי במאמץ גופני מוגבר, אין הספקה סדירה של חמצן לדם ולתאים - תנאים אנאירוביים (קרא שוב עמ' 122). כתנאים אלו חלה יצירה מוגברת של חומצה לקטית, CH<sub>3</sub>CHOHCOOH, הנאגרת בשרירים. כאשר נוצרות כמויות גדולות של חומצה לקטית, הן מופרשות לזרם הדם וגורמות לעליה חמורה בריכוז יוני ההידרוניום בדם.

מערכת הבופר הפחמתי פועלת להקטנת השינויים בריכוז יוני ההידרוניום, וכך גם להקטנת השינוי ב-pH הדם. כתגובה על יצירת עודפי חומצה לקטית, מתרחשות נשימות מוגברות (hyperventilation), אשר להן שתי מטרות:

1. הן מחזירות לגוף חלק מהחמצן הנדרש לחימצון החומצה הלקטית לחומצה פירובית. החומצה הפירובית עוברת למסלולים מטבוליים נוספים\*, אינה נאגרת כחומצה ולכן לא משפיעה על pH הדם.

2. העליה ברמת החומצה הלקטית מעלה את ריכוז יוני ההידרוניום בדם, וזוהי הפרעה למערכת הבופר הפחמתי המצויה בשיווי המשקל. לכן, התגובה ההפוכה תתרחש במהירות גדולה יותר, תיווצר יותר חומצה פחמתית וזו תגרום ליצירת CO<sub>2</sub> ברמה גבוהה, כדי להקטין את ההפרעה. עודף הפחמן הדו חמצני ממריץ את מרכז הנשימה במוח\*\* וגורם לאדם לנשום בקצב מוגבר. הנשימות המוגברות גורמות לסילוק מוגבר של ה-CO<sub>2</sub> עד אשר רמת ה-CO<sub>2</sub> חוזרת לרמה תקינה והמערכת של הבופר הפחמתי שבה למצב של שיווי משקל חדש.

\*המסלולים המטבוליים הללו נלמדים בקורס לביוכימיה.

\*\*מרכז הנשימה במוח (respiratory center) - קבוצת תאי עצב הממוקמים במוח ומווסתים את פעולת שרירי הנשימה.

\*\*\*\*\*

בפרק החמישי והששי למדנו על חמצת מטבולית, שנגרמה עקב איבוד נוזלים ממערכת העיכול או עקב אי תיפקוד כליתי. מצבו של פצוע תאונת הדרכים היה מורכב. מלבד החמצת הנשימתית, הפסקת הנשימה גרמה להצטברות חומצה לקטית, אך מנעה מהבופר הפחמתי את היכולת לנטרל עודפים של יוני ההידרוניום ע"י נשימות מוגברות. לכן, הצטברות החומצה הלקטית גרמה גם לחמצת מטבולית.

הטיפול בפצוע כלל הנשמה והחזרת פעולת הלב. אולם, לא היה די בכך למניעת החמצת. מטרת ההזרקה של תמיסת הנתרן ביקרבונט הינה להעלות את ריכוז יוני הביקרבונט בדם, דבר המהווה הפרעה למצב שיווי משקל של הבוכר הפחמתי. התגובה ההפוכה תתרחש במהירות רבה יותר, תעלה את רמת החומצה הפחמתית,  $H_2CO_3(aq)$ , עקב כך יקטן ריכוז יוני ההידרוניום, ויעלה ה- $P_{CO_2}$ .

מכאן נובעת החשיבות של האוורור הנשימתי - תהליך הנשיפה והשאיפה. מומלץ על כן לאוורר את החדר כדי שרמת ה- $CO_2$  באוויר, אותו הפצוע נושם, תהיה נמוכה ככל האפשר. כך יוכל הפצוע לפלוט את עודף הפחמן הדו חמצני שהצטבר, בשעה שנשימתו פסקה.

המקרה הנ"ל אינו מקרה יחיד בו קיימות הפרעות מורכבות של המאזן החומצי-בסיסי.

על כן, כדי להקל באבחנה בודקים את ארבעת המדדים  $P_{CO_2}$ ,  $P_{O_2}$ , pH,  $[HCO_3^-]$  ומבצעים את המדידות לעיתים קרובות, כאשר החולה מצוי במצבים קריטיים.

### 8.3 בססת

עד עתה, דנו בהפרעות למצב של שיווי משקל, הגורמות לחמצת. אולם, קיימים גם מצבים בהם הפרעות גורמות לעליה ב-pH הדם מעל לערכים הגורמליים, מצב הקרוי בססת.

דומה לחמצת, גם את מצבי הבססת ניתן למיין לכססת מטבולית ול**כססת נשימתית**.

בססת מטבולית (metabolic alkalosis) - עליה ב-pH הדם עקב אובדן  $H_3O^+$ , נגרמת ע"י אחת מהבעיות המטבוליות הבאות:

1. הקאות ממושכות הגורמות לאובדן חומצה כלורית, HCl, מהקיבה,
2. לקיחת מנת יתר של נתרן ביקרבונט או כל חומר אחר סותר חומצות (הניתן לחולי אולקוס), או
3. טיפול בחומרים משתנים (הניתנים להוצאת מוזלים).

**הסימפטומים:** נשימה איטית (hypoventilation) - ירידה באוורור הנשימתי.

ירידה בריכוז יוני ההידרוניום בדם, משפיעה על מרכז הנשימה והריאות פולטות פחות פחמן דו חמצני. חלה הצטברות של פחמן דו חמצני בדם, עליה ב- $P_{CO_2}$  (הפרעה למצב שיווי משקל). עקב כך חלה עליה ברמת יוני ההידרוניום בדם (הקטנת ההפרעה) וה- pH חוזר לשיעורו הנורמלי.

**הטיפול:** ערוי תוך ורידי של סליין עם אשלגן כלורי (במקרים של איבוד אלקטרוליטים בהקאות) או ערוי של תמיסה איזוטונית - אמוניום כלורי,  $NH_4Cl$ .

בססת נשימתית (respiratory alkalosis) - עליה ב-pH הדם עקב אובדן  $H_3O^+$ , נגרמת ע"י אוורור נשימתי מוגבר בלתי רצוני:

1. כתוצאה מהיסטריה או בכי ממושך,
2. כתוצאה מחום גבוה מאד, או
3. עקב דלקת קרום המוח.

**הטיפול:** מתנים לחולה לנשום לתוך שקית ניר, כלומר לנשום את האוויר הנשוף שלו עצמו, ריכוז ה- $CO_2$  באוויר הנשוף עולה וה-  $P_{CO_2}$  בדם עולה. בד בבד, יש לטפל בגורם הראשוני, שגורם לבססת.

## 8.4 הפרעות מטבוליות ונשימתיות

בטבלה 8.1 נסכם את השינויים האופייניים ב-pH הדם, ב- $P_{CO_2}$ , וב- $[HCO_3^-]$ , בהפרעות מטבוליות ונשימתיות.

| ההפרעה       | pH     | $P_{CO_2}$ | $[HCO_3^-]$ |
|--------------|--------|------------|-------------|
| חמצת מטבולית | יורד ↓ | יורד ↓     | יורד ↓      |
| בססת מטבולית | עולה ↑ | עולה ↑     | עולה ↑      |
| חמצת נשימתית | יורד ↓ | עולה ↑     | עולה ↑      |
| בססת נשימתית | עולה ↑ | יורד ↓     | יורד ↓      |

טבלה 8.1: מדדים אופייניים בהפרעות מטבוליות ונשימתיות

### תרגיל 8.1

חולה בן 21 עם סכרת נעורים (juvenile diabetes), הובא לבית החולים במצב של עילפון. הוא מקבל אינסולין באופן קבוע כדי למנוע הימצאות גלוקוז בשתן - גלוקוזוריה.

בבדיקה מעבדתית של הדם נמצא  $pH=6.8$ ,  $10$  מ"מ כספית  $P_{CO_2}$ .

בבדיקת שתן נמצאו גופי קטון, אצטון, חומצה אצטואצטית וחומצה  $\beta$  - הידרוקסי בוטירית.

1. מהי האבחנה? נמק.
2. מהי הסיבה להפרת המאזן החומצי-בסיסי וכיצד ניתן לאזנו?

### פתרון:

1. החולה סבל בנוסף לסכרת, גם מחמצת מטבולית. ההזחה לקיום חמצת מטבולית - ירידה ב-pH הדם ובלחץ החלקי של פחמן דו חמצני (עיין שוב בטבלה 8.1).

2. המאזן החומצי-בסיסי הופר בגלל הצטברות גופי הקטון "החומציים" בדם. הבופר הפחמתי "ניסה" להקטין את ההפרעה - עודף יוני הידרוניום, ע"י יצירת עודפי חומצה פחמתית,  $H_2CO_3(aq)$ , ועקב כך גם יצירה מוגברת של פחמן דו חמצני. הדבר גרם לנשימות מוגברות ושיחרור מוגבר של  $CO_2$ . לכן לאחר זמן מה ירד ה- $P_{CO_2}$ .

הטיפול בחמצת יכול ערוי של תמיסת סליין יחד עם תמיסת  $NaHCO_3$ . בד בבד יש ל"אזן" את הסכרת ולבדוק את מאזן האלקטרוליטים בדם. מאחר וגם הכליות מסייעות לשמירה על pH קבוע, יתכן כי יגרם איבוד של יוני אשלגן דרך הפרשות השתן. במקרה ובבדיקת הדם ימצא מחסור ביוני אשלגן - היפוקלמיה (hypokalemia), יש להוסיף KCl לתמיסת הערוי.

## 8.2 תרגיל

אשה בת 32, יומיים לאחר ניתוח כריתה של בלוטות לימפה, היתה חרדה לעתידה והתלוננה על הזעת יתר ונשימות מהירות. בבדיקת הדם התקבלו התוצאות הבאות:

$$pH=7.54, P_{CO_2} = 32 \text{ מ"מ כספית}, [HCO_3^-] = 20 \text{ mM}$$

1. מהי האבחנה? נמק.
2. מהי הסיבה להפרת המאזן החומצי-בסיסי וכיצד ניתן לאזנו?

## 8.5 רשימת מושגים

אורזר נשימתי, חמצת נשימתית, נשימות מוגברות  
הפרעות לשיווי משקל, עקרון לה-שטלייה  
גזי הדם,  $P_{CO_2}$ ,  $P_{O_2}$   
כססת, כססת מטבולית, כססת נשימתית  
גלוקוזוריה, היפוקלמיה

8.6 נספח א' - רשימת היסודות

| מספר אטומי | סמל | היסוד      |
|------------|-----|------------|
| 79         | Au  | זהב        |
| 15         | P   | זרחן       |
| 8          | O   | חמצן       |
| 7          | N   | חנקן       |
| 22         | Ti  | טיטניום    |
| 43         | Tc  | טיכנטיום   |
| 52         | Te  | טלור       |
| 73         | Ta  | טנטלום     |
| 65         | Tb  | טרביום     |
| 53         | I   | יוד        |
| 96         | Cm  | כוריום     |
| 17         | Cl  | כלור       |
| 47         | Ag  | כסף        |
| 80         | Hg  | כספית      |
| 24         | Cr  | כרום       |
| 71         | Lu  | לוטציום    |
| 103        | Lr  | לורציום    |
| 3          | Li  | ליתיום     |
| 57         | La  | לנתן       |
| 12         | Mg  | מגנזיום    |
| 42         | Mo  | מוליבדן    |
| 1          | H   | מימן       |
| 25         | Mn  | מנגן       |
| 101        | Md  | מנדלציום   |
| 102        | No  | נובליום    |
| 29         | Cu  | נחושת      |
| 41         | Nb  | ניאוביום   |
| 60         | Nd  | ניאודימיום |
| 10         | Ne  | ניאון      |
| 28         | Ni  | ניקל       |
| 93         | Np  | נפטוניום   |
| 11         | Na  | נתרן       |
| 38         | Sr  | סטרונציום  |
| 20         | Ca  | סידן       |
| 34         | Se  | סלן        |
| 62         | Sm  | סמריום     |

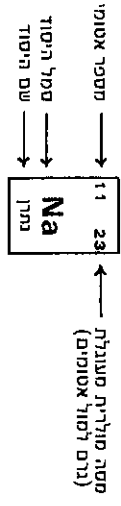
| מספר אטומי | סמל         | היסוד            |
|------------|-------------|------------------|
| 30         | Zn          | אבץ              |
| 76         | Os          | אוסמיום          |
| 92         | U           | אורניום          |
| 99         | Es          | אינשטיניום       |
| 70         | Yb          | איטרביום         |
| 39         | Y           | איטריום          |
| 49         | In          | אינדיום          |
| 63         | Eu          | אירופיום         |
| 77         | Ir          | אירידיום         |
| 13         | Al          | אלומיניום        |
| 95         | Am          | אמריציום         |
| 51         | Sb          | אנטימון          |
| 85         | At          | אסטטין           |
| 89         | Ac          | אקטיניום         |
| 68         | Er          | ארביום           |
| 18         | Ar          | ארגון            |
| 33         | As          | ארסן             |
| 19         | K           | אשלגן            |
| 56         | Ba          | בריום            |
| 50         | Sn          | בדיל             |
| 5          | B           | בור              |
| 83         | Bi          | ביסמוט           |
| 35         | Br          | ברום             |
| 26         | Fe          | ברזל             |
| 4          | Be          | בריליום          |
| 97         | Bk          | ברקליום          |
| 64         | Gd          | גדוליניום        |
| 16         | S           | גפרית            |
| 31         | Ga          | גליום            |
| 32         | Ge          | גרמניום          |
| 66         | Dy          | דיספרוסיום       |
| 67         | Ho          | הולמיום          |
| 2          | He          | הליום            |
| 72         | Hf          | הפניום           |
| 74         | W (טונגסטן) | וולפרם (טונגסטן) |
| 23         | V           | ונדיום           |

| מספר<br>אטומי | סמל | היסוד      |
|---------------|-----|------------|
| 40            | Zr  | צירקוניום  |
| 48            | Cd  | קדמיום     |
| 27            | Co  | קובלט      |
| 98            | Cf  | קליפורניום |
| 54            | Xe  | קסנון      |
| 36            | Kr  | קריפטון    |
| 86            | Rn  | רדון       |
| 88            | Ra  | רדיום      |
| 37            | Rb  | רובידיום   |
| 45            | Rh  | רודיום     |
| 44            | Ru  | רוטניום    |
| 75            | Re  | רניום      |
| 69            | Tm  | תוליום     |
| 90            | Th  | תוריום     |
| 81            | Tl  | תליום      |

| מספר<br>אטומי | סמל | היסוד        |
|---------------|-----|--------------|
| 21            | Sc  | סקנדיום      |
| 82            | Pb  | עופרת        |
| 84            | Po  | פולוניום     |
| 6             | C   | פחמן         |
| 46            | Pb  | פלדיום       |
| 9             | F   | פלואור       |
| 94            | Pu  | פלוטוניום    |
| 78            | Pt  | פלטינה       |
| 91            | Pa  | פרוטאקטיניום |
| 61            | Pm  | פרומתיום     |
| 100           | Fm  | פרמיום       |
| 87            | Fr  | פרנציום      |
| 59            | Pr  | פרסיאודימיום |
| 14            | Si  | צורן         |
| 55            | Cs  | צזיום        |
| 58            | Ce  | צרום         |



# 8.7 בספח ב' - מערכת מחזורית



|                         |                           |                            |                             |                         |                          |                          |                          |                            |                             |                            |                               |                                 |                               |                             |                             |                            |                             |                            |                               |                               |                               |                              |                            |                            |                            |                             |                            |                              |                          |                             |                               |                            |                          |                            |                              |                                |                                |                              |                                 |                               |                              |                                |                               |                              |                              |                           |                            |                               |                            |                               |                            |                          |                             |                              |                             |                                |                              |                              |                               |                                |                             |                                |                                 |                                |                                 |                               |                               |                              |                                |                               |                               |                                |                              |                              |                               |                                |                              |                           |                             |                             |                            |                              |                             |                           |                         |                            |                           |                             |                           |                            |                           |                             |                              |                             |                            |                            |                               |                              |                            |                               |                             |                              |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1<br>H<br>1.008<br>מימן | 2<br>He<br>4.003<br>הליום | 3<br>Li<br>7.016<br>ליטיום | 4<br>Be<br>9.012<br>בריליום | 5<br>B<br>10.811<br>בור | 6<br>C<br>12.011<br>פחמן | 7<br>N<br>14.007<br>חנקן | 8<br>O<br>15.999<br>חמצן | 9<br>F<br>18.998<br>פלואור | 10<br>Ne<br>20.180<br>ניאון | 11<br>Na<br>22.990<br>נתרן | 12<br>Mg<br>24.305<br>מגנזיום | 13<br>Al<br>26.982<br>אלומיניום | 14<br>Si<br>28.086<br>סיליקום | 15<br>P<br>30.974<br>פוספור | 16<br>S<br>32.065<br>גופרית | 17<br>Cl<br>35.453<br>כלור | 18<br>Ar<br>39.948<br>ארגון | 19<br>K<br>39.098<br>קליום | 20<br>Ca<br>40.078<br>קalcium | 21<br>Sc<br>44.956<br>סקנדיום | 22<br>Ti<br>47.883<br>טננטיום | 23<br>V<br>50.942<br>וולפרום | 24<br>Cr<br>51.996<br>כרום | 25<br>Mn<br>54.938<br>מנגן | 26<br>Fe<br>55.845<br>ברזל | 27<br>Co<br>58.933<br>קובלט | 28<br>Ni<br>58.693<br>ניקל | 29<br>Cu<br>63.546<br>תחמושת | 30<br>Zn<br>65.38<br>צנק | 31<br>Ga<br>69.723<br>גליום | 32<br>Ge<br>72.630<br>גרמניום | 33<br>As<br>74.922<br>ארסן | 34<br>Se<br>78.96<br>סלן | 35<br>Br<br>79.904<br>ברום | 36<br>Kr<br>83.80<br>קריפטון | 37<br>Rb<br>85.468<br>רובידיום | 38<br>Sr<br>87.62<br>סטרונטיום | 39<br>Y<br>88.906<br>איטריום | 40<br>Zr<br>91.224<br>צירקוניום | 41<br>Nb<br>92.906<br>ניוביום | 42<br>Mo<br>95.94<br>מוליבדן | 43<br>Tc<br>98.906<br>טכניציום | 44<br>Ru<br>101.07<br>רוטניום | 45<br>Rh<br>102.91<br>רודיום | 46<br>Pd<br>106.42<br>פלדיום | 47<br>Ag<br>107.87<br>כסף | 48<br>Cd<br>112.41<br>קדום | 49<br>In<br>114.82<br>אינדיום | 50<br>Sn<br>118.71<br>בדיל | 51<br>Sb<br>121.76<br>אנטימון | 52<br>Te<br>127.60<br>טלור | 53<br>I<br>126.90<br>יוד | 54<br>Xe<br>131.29<br>קסנון | 55<br>Cs<br>132.91<br>צזריום | 56<br>Ba<br>137.33<br>בריום | 57<br>La<br>138.91<br>לאננתיום | 58<br>Ce<br>140.12<br>צ'ריום | 59<br>Pr<br>140.91<br>פרזיום | 60<br>Nd<br>144.24<br>נאנדיום | 61<br>Pm<br>144.91<br>פרמיתיום | 62<br>Sm<br>150.36<br>סמיום | 63<br>Eu<br>151.96<br>אירופיום | 64<br>Gd<br>157.25<br>גדוליניום | 65<br>Tb<br>158.93<br>תרביטיום | 66<br>Dy<br>162.50<br>דיספרזיום | 67<br>Ho<br>164.93<br>הולמיום | 68<br>Er<br>167.26<br>אירריום | 69<br>Tm<br>168.93<br>תומיום | 70<br>Yb<br>173.05<br>אייטריום | 71<br>Lu<br>174.97<br>לוטציום | 72<br>Hf<br>178.49<br>האפניום | 73<br>Ta<br>180.95<br>טאנגסטום | 74<br>W<br>183.85<br>וולפרום | 75<br>Re<br>186.21<br>ר'ניום | 76<br>Os<br>190.23<br>אוסטיום | 77<br>Ir<br>192.22<br>אירידיום | 78<br>Pt<br>195.08<br>פלטינה | 79<br>Au<br>196.97<br>זהב | 80<br>Hg<br>200.59<br>כספית | 81<br>Tl<br>204.38<br>תליום | 82<br>Pb<br>207.2<br>עופרת | 83<br>Bi<br>208.98<br>ביסמוט | 84<br>Po<br>209<br>פולוניום | 85<br>At<br>210<br>אסטטין | 86<br>Rn<br>222<br>רדון | 87<br>Fr<br>223<br>פרנציום | 88<br>Ra<br>226<br>ראדיום | 89<br>Ac<br>227<br>אקטיןיום | 90<br>Th<br>232<br>תוריום | 91<br>Pa<br>231<br>פרנציום | 92<br>U<br>238<br>אורניום | 93<br>Np<br>237<br>נפטוניום | 94<br>Pu<br>244<br>פלוטוניום | 95<br>Am<br>243<br>אמריציום | 96<br>Cm<br>247<br>קורניום | 97<br>Bk<br>247<br>ברקליום | 98<br>Cf<br>251<br>קליפורניום | 99<br>Es<br>252<br>אינסיגיום | 100<br>Fm<br>257<br>פרמיום | 101<br>Md<br>258<br>מנדליביום | 102<br>No<br>259<br>נובליום | 103<br>Lr<br>260<br>לורנציום |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|

|                              |                              |                               |                                |                             |                                |                                 |                                |                                 |                               |                               |                              |                                |                               |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 58<br>Ce<br>140.12<br>צ'ריום | 59<br>Pr<br>140.91<br>פרזיום | 60<br>Nd<br>144.24<br>נאנדיום | 61<br>Pm<br>144.91<br>פרמיתיום | 62<br>Sm<br>150.36<br>סמיום | 63<br>Eu<br>151.96<br>אירופיום | 64<br>Gd<br>157.25<br>גדוליניום | 65<br>Tb<br>158.93<br>תרביטיום | 66<br>Dy<br>162.50<br>דיספרזיום | 67<br>Ho<br>164.93<br>הולמיום | 68<br>Er<br>167.26<br>אירריום | 69<br>Tm<br>168.93<br>תומיום | 70<br>Yb<br>173.05<br>אייטריום | 71<br>Lu<br>174.97<br>לוטציום |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|

\* להלן שמות היסודות, אשר סמאת אורכם לא ניתן לרשום בתוך הטבלה:

- Pa      Unq      Utp      Uth  
 פראנציום      אורלנדיום      אורלנציום      אורלנטיום

