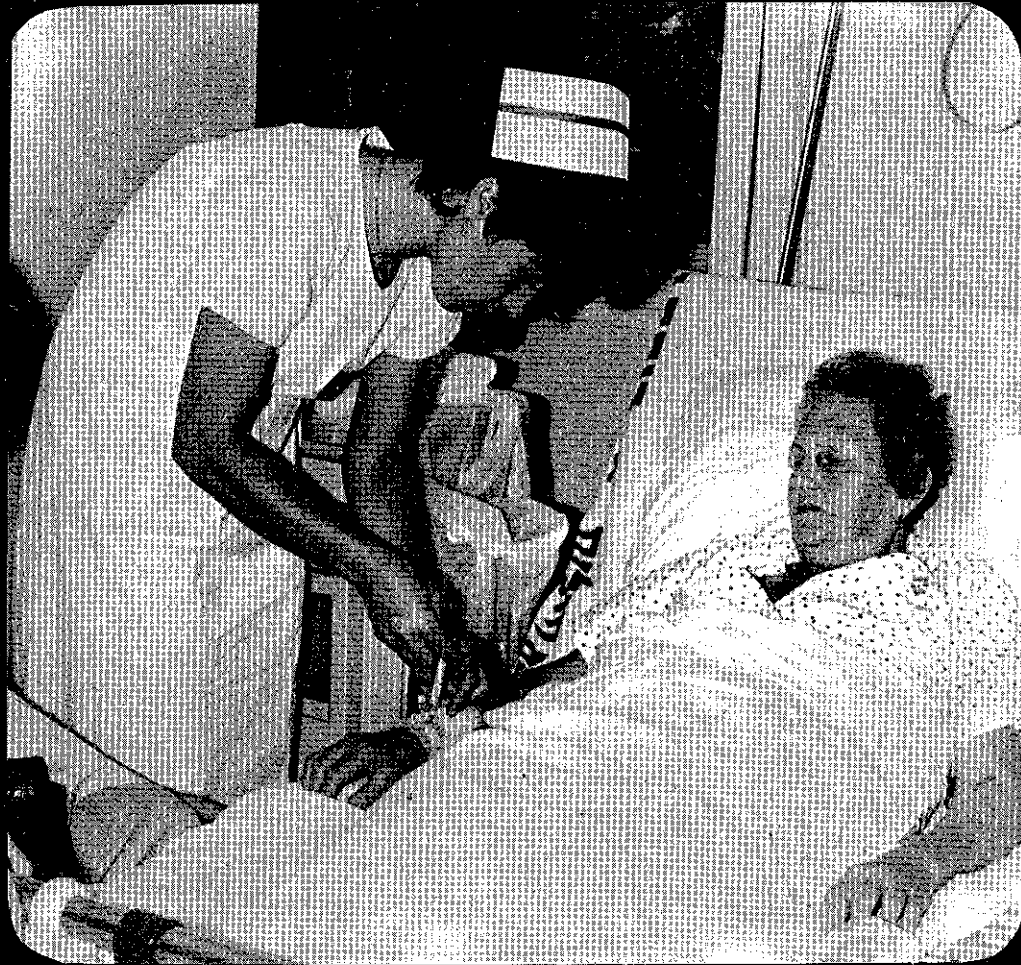

כימיה

בשרות הסייעודי

יהודית דורי



חלק ראשון

מהדורה ניסויית



המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

כימיה

בשרות הסיעודי

יהודית דורי

חלק ראשון

אטאטא אטאטא הינתיים

אטאטא אטאטא
אטאטא אטאטא

אטאטא אטאטא אטאטא

אטאטא אטאטא
אטאטא אטאטא

מהדורה ניסויית



המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

CHEMISTRY FOR NURSING SCHOOLS

Yehudit Dori

יעוץ מדעי:

ד"ר רות בן-צבי

ד"ר אבי הופשטיין

נכ' יהודית זילברשטיין

פרופ' ירון כהן

ד"ר ורה מנדלר

פרופ' דוד סמואל

מכון ויצמן למדע, רחובות.

ד"ר גאולה בן-צבי

האוניברסיטה העברית, ירושלים

עיצוב השער: רחל בוקשמן

צילומים: רותי פרישברג

הדפסה: רחל נמרודי

גרפיקה: מולינה קרביץ, נחמה בר

עריכה במחשב: יהודית ודובי דורי



כל הזכויות שמורות
מכון ויצמן למדע

נדפס בישראל
מהדורה מתוקנת תשמ"ז - 1986

פתח דבר

הקשר ההדוק בין הכימיה - מדע בסיסי, לבין מדעי הרפואה מומחש בשנים האחרונות באמצעות מתן פרטי נובל עבור תגליות בפיזיולוגיה וברפואה. בשנת 1988 ניתן פרס נובל בתחום זה לשני מדענים יהודיים: פרופ' ריטה לוי-מונטלציני באיטליה, עבור עבודתה המופלאה ורכת השנים על הפפטיד NGF (שרשרת של חומצות אמיניות), הגורם לצמיחת סיבי העצב, ולפרופ' סטנלי כהן מארה"ב, עבור עבודתו על פפטיד זה ועל הפפטיד EGF, הגורם לצמיחת תאי העור. מחקרים אלו מדגימים את העובדה, שהמנגנון העומד מאחורי תופעות בעלות חשיבות רפואית, מבוסס על מולקולות פשוטות יחסית, שאת המבנה שלהם ניתן להבין באמצעות הכימיה.

תגליות רבות נוספות, המבוססות על ידע בכימיה, צפויות בעתיד בתחומים הקשורים לבריאות האדם, לדרך פעולתן של תרופות ולשיטות חדשות ברפואת סרטן וברפואת מחלות לב ונפש.

ספר זה מהווה תוכנית לימודים חדשה: "כימיה בשרות הסייעודי". בכתיבת הספר שמה יהודית דורי דגש על הבנת הקשר בין הכימיה לבין מקצוע הסייעוד. אני תקווה שספר זה יתן בסיס איתן ללימודי הביוכימיה, הפיזיולוגיה ומדעי הבריאות.

פרופסור דוד סמואל
מנהל המרכז לחקר מערכת העצבים וההתנהגות
מכון ויצמן למדע

תודה לנימה עמית, לאתי אלגד ולמדריכות ביה"ס לסייעוד "אסף הרופא" על שאפשרו לי להכיר מקרוב את הבעיות הכרוכות בעבודת האחות ועזרו לי להכיר בחשיבות הקשר בין הכימיה והסייעוד.

תודה לד"ר אילנה זילבר מאוניברסיטת תל אביב, שנטלה חלק בכל שלבי הניסוי, ולכל המורים שליוו את הניסוי בשנת תשמ"ו.

תודה לאחות הראשית במשרד הבריאות, הגב' נורית בן-דב ולאחראית על תוכניות הלימודים בבתי הספר לסייעוד, הגב' ניצה באומן, על עידודן ועזרתן בפרוייקט זה.

תוכן העניינים

| | | |
|----|----------------------------------|-------|
| 1 | פרק ראשון: כימיה לאחיות - מדוע ? | 1.0 |
| 1 | מבוא | 1.1 |
| 2 | מטרות התכנית | 1.2 |
| 2 | מבנה החומר | 1.3 |
| 5 | כימיה של נשימה | 1.4 |
| 5 | מצבי צבירה | 1.5 |
| 7 | מעברים ממצב צבירה אחד למשנהו | 1.5.1 |
| 7 | המעבר ממוצק לנוזל | 1.5.2 |
| 8 | המעבר מנוזל לגז | 1.5.3 |
| 9 | סיכום | 1.6 |
| 10 | רשימת מושגים | 1.7 |
| 10 | שאלות לפרק הראשון | 1.8 |
| 11 | פרק שני: מולקולות בגוף האדם | 2.0 |
| 11 | מבנה האטום | 2.1 |
| 12 | המימן | 2.1.1 |
| 13 | החנקן | 2.1.2 |
| 13 | הערכות אלקטרוניים | 2.2 |
| 14 | קשר קוולנטי-שיתופי | 2.3 |
| 17 | פירוק המים | 2.4 |
| 18 | תרכובות הפחמן | 2.5 |
| 18 | שרשרות הפחמן | 2.5.1 |
| 18 | הקשר הכפול | 2.5.2 |
| 20 | החנקן | 2.6 |
| 20 | חנקן אטמוספרי | 2.6.1 |
| 21 | אמוניה | 2.6.2 |
| 21 | חומצות אמיניות | 2.6.3 |
| 23 | קשר קוולנטי קוטבי | 2.7 |
| 24 | סיכום | 2.8 |
| 26 | רשימת מושגים | 2.9 |
| 26 | שאלות לפרק השני | 2.10 |

| | | |
|----|---|--------|
| 28 | פרק שלישי: יונים בגוף האדם | 3.0 |
| 28 | תמיסות | 3.1 |
| 30 | יונים | 3.2 |
| 32 | המוצק היוני | 3.3 |
| 34 | קטיונים ואניונים בגוף האדם | 3.4 |
| 35 | תהליכים בתמיסות | 3.5 |
| 35 | המסת חומר יוני | 3.5.1 |
| 36 | דיפוסיה | 3.5.2 |
| 36 | אוסמוזה | 3.5.3 |
| 38 | משאבת יונים | 3.5.4 |
| 39 | היונים והטבלה המחזורית | 3.6 |
| 40 | האלקלים | 3.6.1 |
| 40 | האלקלים העפרוריים | 3.6.2 |
| 41 | ההלוננים | 3.6.3 |
| 43 | יסודות קורט | 3.6.4 |
| 44 | סיכום | 3.7 |
| 45 | רשימת מושגים | 3.8 |
| 45 | שאלות לפרק השלישי | 3.9 |
| 47 | פרק רביעי: מבט אל הכימיה הכמותית - בדיקות מעבדה | 4.0 |
| 47 | המול | 4.1 |
| 48 | המחשה באמצעות ברגים | 4.1.1 |
| 49 | חשיבה במונחים של מולים | 4.1.2 |
| 50 | מסה מולרית של אטומי יסודות | 4.2 |
| 52 | מסה מולרית של תרכובות | 4.3 |
| 54 | מילימול | 4.4 |
| 54 | כמה גלוקוז בדם ? | 4.5 |
| 55 | חוק שימור החומר | 4.6 |
| 55 | כמה קראטינין בשתן? | 4.7 |
| 56 | בדיקות מעבדה | 4.8 |
| 57 | ריכוז מולרי | 4.9 |
| 57 | הכנת תמיסות | 4.9.1 |
| 59 | מיהול התמיסות | 4.9.2 |
| 59 | רשימת מושגים | 4.10 |
| 60 | שאלות לפרק הרביעי | 4.11 |
| 63 | נספח לפרק הרביעי | 4.12 |
| 83 | מיליגרם אחוז | 4.12.1 |
| 85 | מיליאקויוולנט לליטר | 4.12.2 |
| 68 | סיכום לנספח | 4.13 |
| 68 | שאלות לנספח | 4.14 |

פרק ראשון: כימיה לאחיות - מדוע ?

"..הרופא לשכורי לב ומחנש לעצבותם..."
תהילים קמ"ג.

1.1 מבוא

אירוע רפואי

"ביקרבונטו" קרא הרופא, שעסק בהחייאת פצוע קשה כתוצאה מתאונת דרכים. הפצוע, שאיכד דס רכ וסכל מרוס לב, הונשם וקיבל עיסוי לב. בו זמנית, חובר לידו של הפצוע צינור ערוי תוך ורירי דרכו קיבל תמיסת סליין (0.9% NaCl, Saline). הוראת הרופא "ביקרבונטו" באה כדי להזכיר לאחות להוסיף אמפולה של תמיסת נתרן ביקרבונט (44 meq NaHCO₃) דרך צינור הערוי.

ניתוח האירוע

מדיניות הטיפול כחייאה כוללת כשלב הראשון כיצוע הנשמה והחזרת פעילות מחזור הדם אם על-ידי החזרת פעולת הלב (מכת אגרוף, הלם חשמלי) ואם על-ידי עיסוי לב. כשלב השני מזריקים תמיסת ערוי - תמיסת סליין יחד עם תמיסה של נתרן ביקרבונט. כמו כן, יש להקפיד על אוודור נשימתי, כדי לאפשר למטופל לפלוט פחמן דו-חמצני, CO₂, מיד כשנשימתו חוזרת. תמונת ההלם ככלל, ודום הלב כפרט, מלווה כתופעות הבאות:

א. חמצת מטבולית, הנגרמת כתוצאה מהצטברות חומצה לקטית כתהליך נשימה ללא חמצן, O₂.

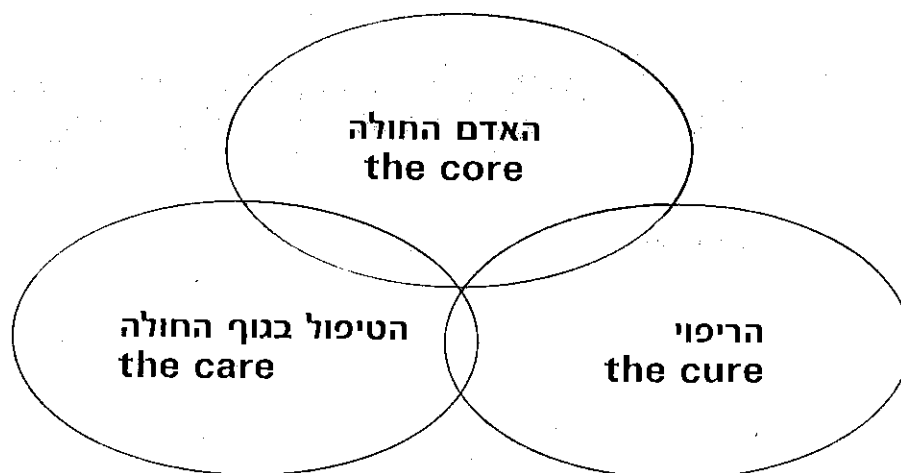
ב. חמצת נשימתית, הנגרמת כתוצאה מהצטברות פחמן דו חמצני, CO₂, שאינו נפלט כאשר המטופל אינו נושם.

תמיסת נתרן ביקרבונט ניתנת כמגמה לנטרל את עודף החומצות הללו בדם.

בעת קריאת האירוע הרפואי צצות ועולות שאלות רבות:

- מהי תמיסת סליין ומהי תמיסת נתרן ביקרבונט ?
- מהי המטרה של צירוף שתי התמיסות יחד ?
- מה הקשר בין אוודור נשימתי לבין מצבו של החולה ?
- מהי חומצה, ומה ההבדל בין חמצת מטבולית לבין חמצת נשימתית ?
- מהי משמעותם של הסימולים הבימיים כגון: O₂, CO₂, NaHCO₃, NaCl, ושל יחידות ריכוז כגון: 44 meq, 0.9%.

אח או אחות, העוסקים בטיפול סיעודי, נדרשים להבין את הרקע הכימי של מצב החולה ושל הטיפולים הכימיים לו. התשובות לשאלות שהועלו בעקבות האירוע הן חלק ממאגר הידע המבוסס על מקצוע הכימיה. התהליך הסיעודי מורכב משלושה תחומים בעלי חפיפה חלקית ביניהם, כמתואר בתרשים הבא: *



ציור 1.1: התהליך הסיעודי

הכימיה נחוצה לכל שלושת התחומים. האבחנה בין מצב בריאות וחולי נעשית במקרים רבים באמצעות בדיקות כימיות; הטיפול בתרופות מסוימות נבחר על-ידי הרופא והאחות בעזרת ידע בכימיה, המאפשר גם הבנת התהליכים המתרחשים בגוף עם לקיחת התרופות. גם המעקב אחר תהליך הריפוי נעשה באמצעות בדיקות המבוססות על תהליכים כימיים. האחות נמצאת זמן רב ליד החולה ועוקבת אחר מצבו; לפיכך, ככל שהידע וההבנה שלה בתחומי הכימיה מרובים יותר, כן יקל עליה לבחור בטיפול הסיעודי המתאים לאותו חולה.

1.2 מטרות התכנית

המטרות של תכנית לימודים זו הן:

1. הבנת חשיבותה של הכימיה לחיינו בכלל ולמדע הסיעוד בפרט.
2. הכרת החומרים הבונים את גופנו ואת התהליכים המתרחשים במצבי בריאות וחולי.
3. הכרת החומרים שבהם נתקלים ואשר בהם משתמשים במהלך העבודה בבית-החולים, כתרופות או כמזלי אינפוזיה.
4. לימוד סוגי הבדיקות המתבצעות בבית-החולים, הבנת משמעותן ואופן השימוש בהן לאיבחון מחלות ולריפויין.

בגלל היקפה של התכנית נביא מספר דוגמאות נבחרות באמצעותן נשתדל להגשים מטרות אלו.

1.3 מבנה החומר

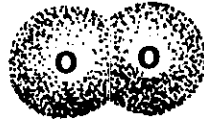
באירוע הרפואי שבו פתחנו את הפרק הופיעו מספר חומרים ביניהם תמיסת סליין ותמיסת נתרן ביקרבונט.

תמיסה מורכבת משני חומרים לפחות. תמיסת סליין מורכבת ממים, שהם הממס, ומנתרן כלורי (הקרוי גם מלח בישול), שהוא המומס. תמיסת נתרן ביקרבונט מורכבת ממים - הממס ומנתרן ביקרבונט (מוכר בכינוי המסחרי "סודה לשתייה") - המומס. בנושא התמיסות נדון בהרחבה בפרק השלישי, כעת נתרכז בכל חומר בנפרד.

יעל-פי: L.E. Hall|The Canadian Nurse, 60, 1964, p. 150

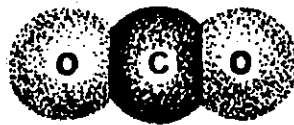
לפי התיאוריה המקובלת כיום, הקרויה תיאורית המבנה החלקיקי של החומר, כל החומרים כמייים מאטומים, שהם חלקיקים קטנים מכדי שנבחין בהם במיקרוסקופ המשוכלל ביותר, או מכדי שנוכל לשקלם במאזניים העדינים ביותר. בעת שהאטומים מתקשרים זה לזה, מתקבלים צברים הקרויים מולקולות*. נעזר במספר דוגמאות כדי להמחיש את המושגים החדשים: אטומים ומולקולות.

דוגמה א: חמצן, המצוי באוויר אותו אנו נושמים, מורכב ממולקולות, הדומות זו לזו. הכימאים מצאו, שכל שני אטומי חמצן קשורים זה לזה, כלומר החמצן מופיע במולקולות דו-אטומיות. סימולו של אטום החמצן הוא O. הנוסחה של מולקולת חמצן היא O₂. ניתן לתאר מולקולת חמצן באופן ציורי בעזרת מודל המתואר בציור הבא:



ציור 1.2: מודל של מולקולת החמצן, O₂

דוגמה ב: מולקולה של פחמן דו-חמצני, הנז אותו אנו פולטים בתום תהליך הנשימה, בנויה משני סוגי אטומים: פחמן וחמצן. הכימאים מצאו, כי כל מולקולת פחמן דו-חמצני בנויה משני אטומי חמצן, שכל אחד מהם קשור לאטום פחמן. סימולו של אטום פחמן הוא C, לפיכך נוסחת מולקולת פחמן דו-חמצני היא CO₂. הנוסחה מצביעה על סוג האטומים במולקולה ועל המספר היחסי של האטומים. יחס זה איננו משתנה במולקולות של חומר נתון - חוק ההרכב הקבוע. בציור הבא מתואר מודל של מולקולת פחמן דו-חמצני.



ציור 1.3: מודל של מולקולת פחמן דו חמצני, CO₂

דוגמה ג: החומר הנפוץ ביותר שאנו מכירים מחיי יום יום הוא המים. מולקולות המים בנויות מאטומי חמצן ומימן, באופן שכל אחד משני אטומי המימן קשור לאטום חמצן. סימולו של אטום מימן הוא H, ונוסחת מולקולת מים היא: H₂O. גם הרכבה של מולקולת המים קבוע; היחס הוא שני אטומי מימן לכל אטום חמצן. בציור הבא מתואר מודל של מולקולת מים.



ציור 1.4: מודל של מולקולת מים, H₂O

חומרים כמו החמצן, O₂, המכילים סוג אחד בלבד של אטומים, נקראים יסודות. הכימאים בדקו ומצאו כי יש בעולם כ-100 יסודות, חלקם נפוצים מאוד וחלקם נדירים; חלקם מצוי בטבע וחלקם מלאכותיים. רשימת יסודות ערוכה על-פי סדר הא"ב וסימולם הכימי של יסודות אלו נמצאת בסוף הספר. חומרים כגון פחמן דו-חמצני, CO₂, ומים, H₂O, המורכבים מיותר מסוג אחד של אטומים, נקראים תרכובות. היסודות, כגון H₂, O₂, N₂, והתרכובות, כגון CO₂, H₂O, CH₄, הם חומרים טהורים, מכיוון שהם מורכבים מסוג אחד של מולקולות בלבד.

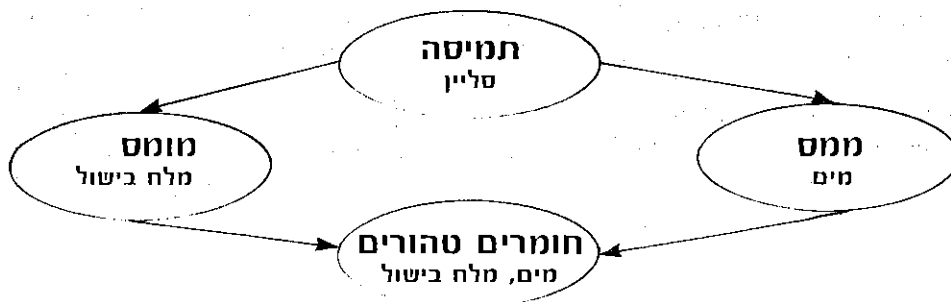
*נתרן כלורי ונתרן ביקרבונט בנויים מיונים. על מבנה חומרים מסוג זה נלמד בפרקים השלישי והחמישי.

הטבלה הבאה מתארת מספר דוגמאות של יסודות ושל תרכובות, וכוללת את סימולם הכימי ואת המודלים שלהם.

| שם | סימול | מודל |
|---------|---------------|--------------|
| יסודות | מימן | H_2 |
| | חמצן | O_2 |
| | חנקן | N_2 |
| תרכובות | פחמן דו-חמצני | CO_2 |
| | מים | H_2O |
| | מתאן | CH_4 |
| | אלבין | $C_3H_7O_2N$ |

טבלה 1.1: דוגמאות של יסודות ושל תרכובות

בציור הבא נמחיש את המושגים, שהופיעו עד כה, באמצעות מרכיבי תמיסת הסליין.



ציור 1.5: מרכיבי תמיסת הסליין

1.4 כימיה של נשימה

במשך כל חייו מולקולות נז נכנסות לגופנו בתהליך נשימה ויוצאות ממנו בתהליך נשיפה. בנוסף לפעילות רגילה זו, טיפולים רפואיים רבים, כגון החייאה בעזרת חמצן, תלויים בגזים.

מצב צבירה נזי הוא אחד ממצבי הצבירה של החומר. הנז מקבל את צורת הכלי בו הוא מאוחסן ומתפשט בכל נפח הכלי. עם זאת, ניתן לדחוס נז לנפח קטן, עובדה המנוצלת בכלוני חמצן או פחמן דו-חמצני. כדי להסביר את תכונות הגזים, פתחו המדענים מודל ברמה מולקולרית* לפי מודל זה, מולקולות הנז הן קטנות ומרוחקות מאוד זו מזו. מולקולות הנז מצויות בתנועה אקראית ומתמדת. הן מתנגשות תוך כדי תנועתן זו בזו ובקירות הכלי, בו הן נמצאות. דחיסת הנז מתאפשרת בגלל המרחק הרב בין המולקולות.

החמצן, אותו אנו נושמים, מובל על ידי הדם (דם עורקי) לרקמות ולתאים בגוף. הוא מגיב עם חומרי המזון שבתאים, תוך יצירת פחמן דו-חמצני ומים. בתהליך זה נפלטת אנרגיה. זהו תהליך "כעירה" (שריפה), האחראי לאספקת האנרגיה בגופנו.

הפחמן הדו-חמצני, הנוצר ברקמות כתוס הכעירה, מובל על-ידי הדם (דם ורידי) חזרה לריאות. ומשם הוא נפלט בתהליך הנשיפה. מצב בו הגוף אינו מקבל די חמצן - היפוקסיה (hypoxia) - הוא מצב, המתרחש אצל חולים כמחלות ריאות או אצל פגים, המצויים במצוקה נשימתית. בהיפוקסיה נהוג כיום להשתמש באוויר, המכיל חמצן בכמות גדולה מהרגיל יחד עם פחמן דו-חמצני. הפחמן הדו-חמצני גורם להגברת קצב הנשימה ועקב כך גם להגברת קצב אספקת החמצן לרקמות.

1.5 מצבי צבירה

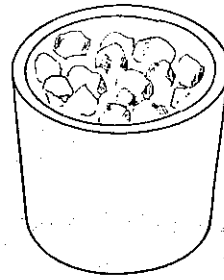
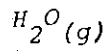
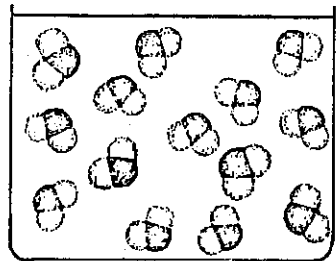
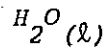
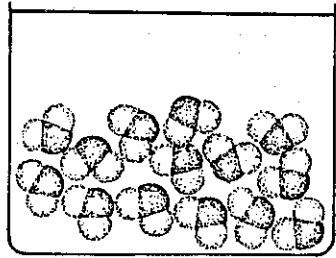
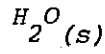
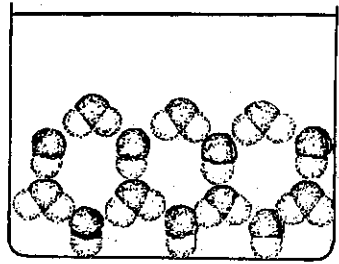
עד עתה דגו במספר נזים ובתכונותיהם, אך בעולם הסובב אותנו, עשוי החומר להמצא בשלושה מצבי צבירה: מוצק, נוזל וגז.

המים מוכרים לנו בשלושת מצבי הצבירה: מוצק - קרח, נוזל - מים וגז - אדי מים. בציר 1.6 מתוארים שלושת מצבי הצבירה של המים; בצד ימין - כפי שאנו פוגשים בהם בחיי היום יום ובצד שמאל הם מתוארים בעזרת מודלים - ברמה מולקולרית. בציר מופיעים הקיצורים הבאים: (s) מצוין מוצק (solid), (l) מצוין נוזל (liquid), ו-(g) מצוין גז (gas). בניגוד לגזים, נוזלים הם בעלי נפח קבוע. אין הם שומרים על צורה מוגדרת, אלא מקבלים את צורת הכלי בו הם נתונים.

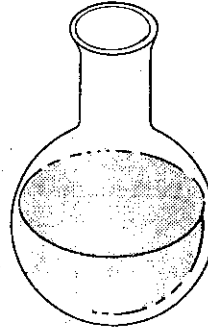
נהוג לתאר את הנוזל ברמה מולקולרית כמולקולות, הסמוכות זו לזו, ולכן הנוזל אינו ניתן לדחיסה. אתר, אצטון, כספית ומים הם דוגמאות לחומרים, שבטמפרטורת החדר הם נוזלים.

מוצקים הם בעלי נפח וצורה קבועים, אינם נוטים בדרך כלל לשנות את צורתם, וקשה לדחוס אותם. גם במוצק החלקיקים סמוכים זה לזה, והמבנה שלהם מסודר להפליא. סוכר, מלח בישול וזהב הם דוגמאות לחומרים שבטמפרטורת החדר הם מוצקים.

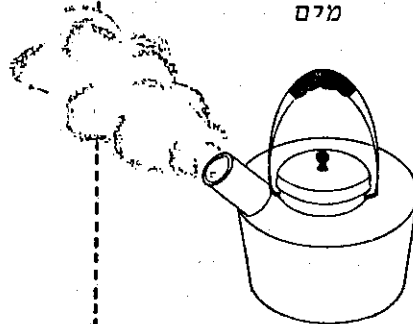
*רמה מולקולרית: חופעות, המוסכרות בעזרת חלקיקים, כגון מולקולות ואטומים. על חלקיקים גוספים, כגון יונים, נלמד בהמשך.



קרח



מים



אדי-מים

ציור 1.6: מצבי הצבירה של המים

לשם השוואה בין שלושת מצבי הצבירה, נתבונן בטבלה הבאה:

| גז | נוזל | מוצק | |
|----------------|------------------|-----------|--------|
| לא מוגדרת | תלויה בצורת הכלי | מוגדרת | צורה |
| תלוי בנפח הכלי | מוגדר | מוגדר | נפח |
| ניתן לדחיסה | בלתי דחיס | בלתי דחיס | דחיסות |

טבלה 1.2: תכונות מצבי הצבירה

1.5.1 מעברים ממצב צבירה אחד למשנהו

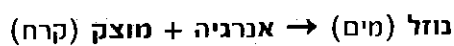
אחת הדרכים למעבר החומר ממצב צבירה אחד למשנהו היא קירור החומר או חימומו. נרחיב את הדין בנושא זה לגבי המים.



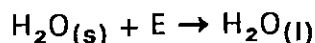
המעבר ממצב צבירה אחד למשנהו הוא הפיך, כלומר אם נחמם את המוצק (במקרה של המים עד 0°C), הוא יעבור תהליך של היתוך, ויהפוך לנוזל. אם נקרר את הנוזל, הוא יקפא, וישוב להיות מוצק. חימום נוסף של הנוזל (במקרה של המים - עד 100°C), יגרום לרתיחת הנוזל ולהפיכתו לגז*. קירור הגז יגרום לעיבוי האדים, כלומר לקבלת מים נוזלים.

1.5.2 המעבר ממוצק לנוזל

מבנה המוצק, הקרח, מסודר מאוד. מולקולות המים במוצק קרובות מאד זו לזו. אך על פי כן, בכל טמפרטורה ובכל מצב, הן נמצאות בתנועה מסוימת. כאשר מחממים קרח, כלומר מוסיפים לו אנרגיה בצורת חום, מתגברת תנועת המולקולות. בהמשך החימום מתגברת התנועה, עד אשר הסדר מתרופף, וחלק מן הקשרים הבין-מולקולריים נתק. ניתן לתאר את תהליך ההיתוך באמצעות הניסוח הבא:



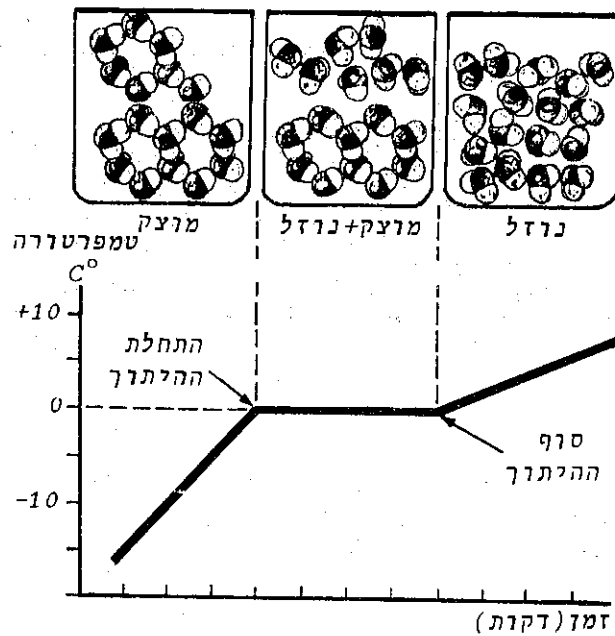
או, בשפת הכימאים:



למרות שבניסוח התהליך מופיעה הנוסחה של מולקולת מים אחת, עלינו להבין כי בכל ניסוח הכוונה למספר עצום של מולקולות.

עקומת ההיתוך של המים מתוארת בציר 1.7. נוכל לקבל עקומות דומות אם נתיך מוצקים נקיים אחרים, כדוגמת שתן (urea). העקומה מראה, כי בתחום מסויים נשארת הטמפרטורה קבועה, וכי אך על-פי, שאנו ממשיכים לחמם, ברגע שמתחיל להופיע הנוזל, נשארת הטמפרטורה קבועה, עד שכל המוצק הופך לנוזל. הטמפרטורה הקבועה מעידה על השקעת אנרגיה לשם החלשת הכוחות הבין-מולקולריים. טמפרטורה קבועה זו נקראת נקודת היתוך של המוצק. נקודת ההיתוך משמשת כאחד ממאפייני החומר הנקי, מכיוון שהטמפרטורה בה ניתן כל חומר נקי היא קבועה. כאמור, נקודת ההיתוך של המים היא 0°C .

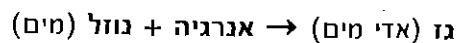
*קיימים חומרים, אשר בחימום מתפרקים ואחרים, המתרכבים עם החמצן שבאוויר.



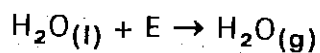
ציור 1.7: מעבר המים ממוצק לנוזל

1.5.3 המעבר מנוזל לגז

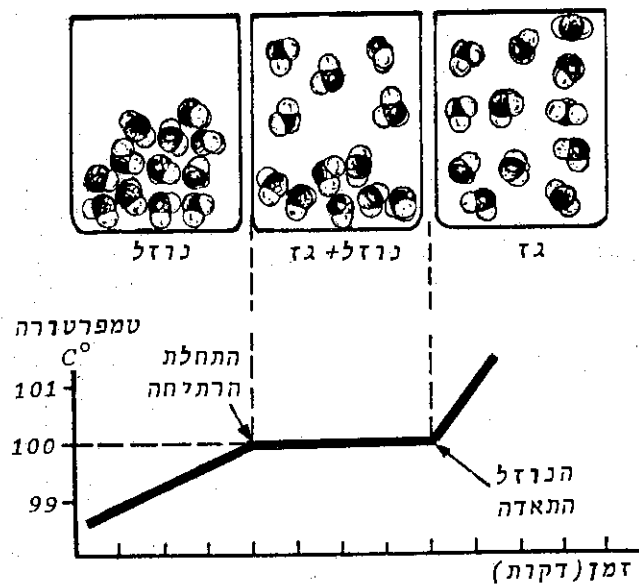
מוכל להמשיך ולחמם את מדגם המים שקיבלנו לאחר היתוך הקרח. הטמפרטורה עולה, מולקולות המים נעות עתה במהירות גדולה יותר, ובהגיע הטמפרטורה ל-100°C, מתחילים המים לרתוח. גם במקרה זה, נשאר הטמפרטורה קבועה כל עוד לא כל הנוזל הפך לגז. טמפרטורה זו נקראת נקודת רתיחה של הנוזל. התהליך מתואר בניסוח הבא:



או, בשפת הכימאים:



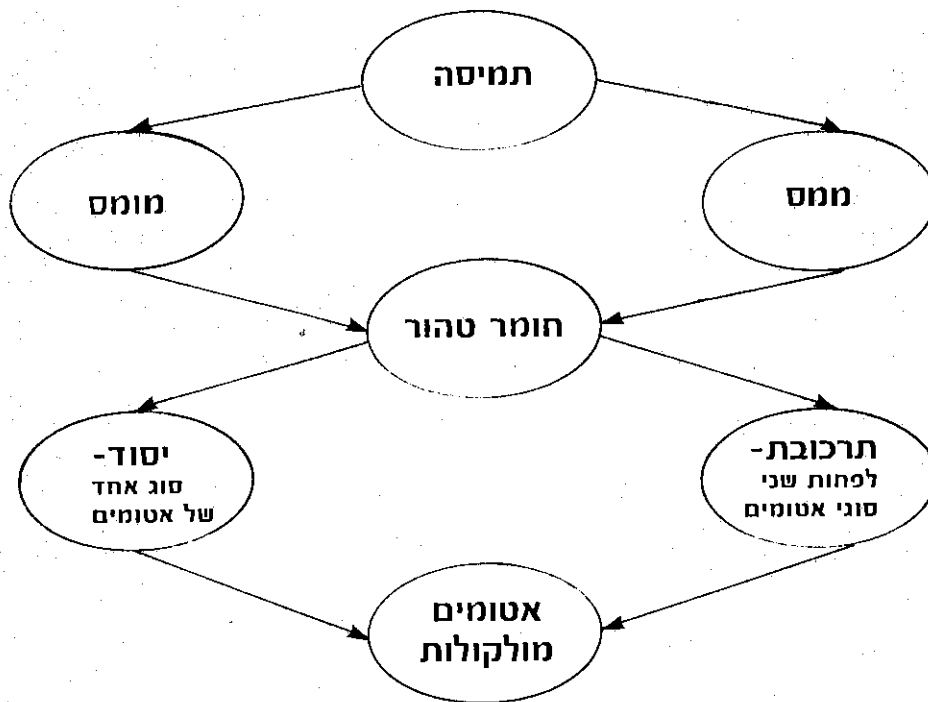
מכיר, כי הניסוח מציג מולקולה אחת, אך הכוונה היא למולקולות רבות. בנקודה, בה הטמפרטורה נשארת קבועה, גורם החימום לכיתוק הקשרים בין המולקולות, שלא נותקו במעבר ממוצק לנוזל. עיון בעקומה שבציור 1.8 מראה, כי בטמפרטורה של 100°C יש במערכת גם נוזל וגם גז (דבר זה נכון גם לגבי מוצק ונוזל ב-0°C). למעשה המעבר אינו חד כל כך, כפי שמתואר בציור. גם בטמפרטורות, הנמוכות מנקודת הרתיחה, ישנו אחוז מסוים של מולקולות, שהן בעלות אנרגיה גדולה במידה מספקת, כדי לגרום למעברן ממצב צבירה נוזלי למצב צבירה גזי. תהליך זה נקרא אידוי. שים לב, שכשלושת מצבי הצבירה, המולקולות נשארות "כשלמותן", כלומר, הן אינן מתפרקות לאטומים.



ציור 1.8: מעבר המים מנוזל לגז

1.6 סיכום

המושגים שהכרנו בפרק זה מסוכמים בסכימה הבאה:



ציור 1.9: סוגי חומרים והיחסים ביניהם

1.7 רשימת מושגים

אטום, מולקולה
סימול, נוסחה
חוק ההרכב הקבוע
יסוד, תרכובת, חומר טהור
תמיסה, ממס, מומס
מצבי צבירה: מוצק, נוזל, גז
תנועה אקראית
היפוקסיה
רמה מולקולרית
תהליך הפיך
נקודת רתיחה, נקודת קיפאון
תהליך היתוך, תהליך אידוי, תהליך עיבוי

1.8 שאלות לפירוק הראשון

- ציין שלושה חומרים, המוכרים לך מחיי היום יום בכל אחד ממצבי הצבירה: מוצק, נוזל, גז.
- סווג את כל אחד מהחומרים כיסוד או כתרכובת:
סוכר, $C_6H_{12}O_6(s)$
קרח יבש, $CO_2(s)$
זהב, $Au(s)$
שלג, $H_2O(s)$
יהלום, $C(s)$
חמצן, $O_2(g)$
אתאנול, $C_2H_5OH(l)$
- אילו מהחומרים הבאים: מרגרינה, גלידה, דיו, מים, נפתלין, עשוי להמצא ביותר ממצב צבירה אחד, בו זמנית, בטמפרטורת החדר?
- לפניך מספר נוסחות חומרים: C_3H_8 , CH_4 , NH_3 , H_2S .
 - האם חומרים אלו הם יסודות או תרכובות?
 - מה היחס בין סוגי האטומים השונים בכל אחד מן החומרים הנ"ל?
 - על איזה חוק הסתמכת בקביעתך בסעיף ב'?
- הוספת מספר קוביות קרח בטמפרטורה של $0^{\circ}C$ יעילה יותר לקירור משקה, מאשר הוספת כמות שווה של מים בטמפרטורה של $0^{\circ}C$. הסברו.
- המעבר נוזל-גז במים מתרחש גם בטמפרטורה, הנמוכה מטמפרטורת הרתיחה. תופעת האידוי ללא חימום ישיר מתרחשת ביתר שאת בנוזלים נדיפים מאוד, כגון כוהל, אצטון ואתר. נוזלים אלה נשמרים בכלים סגורים כדי למנוע את אידויים או התלקחותם. תכונה זו מנוצלת, כאשר רוצים לקרר חולה, שחום גופו גבוה במיוחד: מורחים את גופו בכוהל.
מה תצפה לראות על עור החולה, ומה ההסבר לכך ברמה מולקולרית?
- האוויר מורכב מ-78% חנקן, 20% חמצן, 0.03% פחמן דו חמצני, ועוד.
צייר עבור אוויר סכימה, הדומה לסכימה שבציור 1.9.

פרק שני: מולקולות בגוף האדם

בפרק הראשון למדנו מספר מושגים כגון אטום, מולקולה, יסוד ותרבות. הכרנו מספר חומרים, המורכבים ממולקולות; ביניהן נמצאות בנוף האדם המולקולות הבאות: חמצן, מים וכחמן דו-חמצני. בפרק זה נכיר מולקולות נוספות, ונלמד אילו אטומים בונים את המולקולות הנחוצות לקיום פעילות תקינה של הגוף. כדי להבין את מבנה המולקולות, נסקור תחילה את מבנה האטום.

2.1 מבנה האטום

האטום מורכב ממספר חלקיקים תת-אטומיים. הטבלה הבאה מפרטת את שלושת החלקיקים העיקריים ואת תכונותיהם.

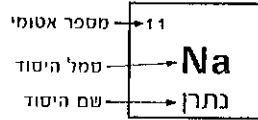
| שם החלקיק | הסימן | המטען | המסה היחסית |
|-----------|-------|----------|-------------|
| אלקטרון | e^- | שלילי, - | 1/1840 |
| פרוטון | p^+ | חיובי, + | 1 |
| ניוטرون | n | אין | 1 |

טבלה 2.1: החלקיקים התת-אטומיים העיקריים

הפרוטונים והניוטונים מרוכזים בנרעין האטום, ואילו האלקטרונים נעים באיזור, שמחוץ לנרעין. קיימים כוחות משיכה חשמליים בין הפרוטונים, שמטענם חיובי, (+), לבין האלקטרונים, שמטענם שלילי, (-). באטום ניטרלי מספר הפרוטונים שווה למספר האלקטרונים, ולכן סך כל המטען הוא אפס.

מספר הפרוטונים (או לחילופין, מספר האלקטרונים באטום ניטרלי) נקרא מספר אטומי. המספר האטומי הינו המאפיין החשוב ביותר של אטומי יסוד נתון. לכל יסוד מספר אטומי משלו, ולפיו מסודרים היסודות בטבלה המחזורית, ששלושת שורותיה הראשונות מופיעות להלן, בטבלה 2.2.

בטבלה מפורט עבור כל יסוד שמו, סימולו ומספרו האטומי, בהתאם לדוגמה שכראש הטבלה. אטומי היסודות מסומלים באמצעות אות אחת או שתיים (הראשונה אות גדולה והשנייה אות קטנה), שהן תחילת שמו של היסוד בלועזית. שים לב, שהסמל של יסוד כלשהו מסמן את האטום הבודד וכן את היסוד עצמו.

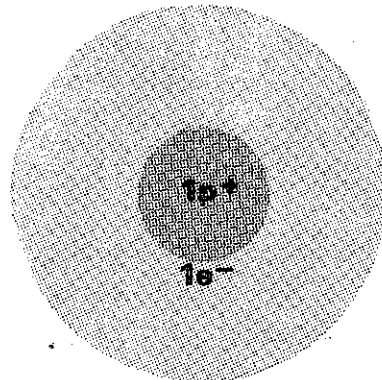


| | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1 H מימן | | | | | | | 2 He הליום |
| 3 Li ליתיום | 4 Be בריליום | 5 B בור | 6 C פחמן | 7 N חנקן | 8 O חמצן | 9 F פלואור | 10 Ne ניאון |
| 11 Na נתרן | 12 Mg מגנזיום | 13 Al אלומיניום | 14 Si צורן | 15 P זרחן | 16 S גפרית | 17 Cl כלור | 18 Ar ארגון |

טבלה 2.2: שלושת השורות הראשונות של הטבלה המחזורית

2.1.1 המימן

סימולו של המימן, H, נובע משמו הלועזי - Hydrogen. אטום המימן הינו האטום הכשוט ביותר, ומספרו האטומי 1. בהתאם למודל שתארנו, משמעותו של "מספר אטומי 1" הוא קיום פרוטון אחד בגרעין אטום המימן ואלקטרון אחד, הנע מחוץ לגרעין. לאטום המימן אין ניוטרונים. צורה פשטנית של תיאור אטום המימן ניתנת בצירוף הבא.

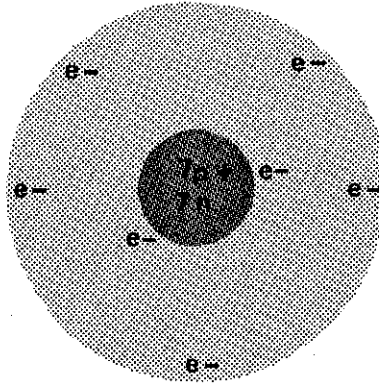


ציור 2.1: תיאור סכמטי של אטום מימן

במרכז ציור 2.1 מתואר גרעין האטום, והאלקטרון נע במרחב שסביבו. למעשה, האלקטרונים נעים בכנף עצום יחסית לכנף הגרעין, ולא ניתן לתאר זאת בצירוף. כדי להמחיש עובדה זו, נתאר לעצמנו, כי מימדי איצטדיון כדורגל מייצגים את מימדי האטום, ואילו נמלה, הנמצאת במרכז המגרש, מייצגת את הגרעין. האיצטדיון כולו מייצג את המרחב של תנועת האלקטרון סביב הגרעין.

2.1.2 החנקן

סימולו של החנקן, N, נובע משמו הלועזי - Nitrogen. מספרו האטומי, 7, מעיד על כך, שאטום החנקן מורכב מ-7 פרוטונים ומ-7 אלקטרונים. באטום החנקן יש 7 ניוטרונים. תיאור של אטום חנקן ניתן בצירוף הבא.



ציור 2.2: תיאור סכמטי של אטום חנקן

2.2 הערכות אלקטרוניים

כאמור, המספר האטומי מסמן, בין היתר, גם את מספר האלקטרוניים באטום ניטרלי של יסוד נתון. מניסויים שונים ומשיקולים תיאורטיים נמצא, כי האלקטרוניים נמצאים מסביב לנרעין האטום, ברמות אנרגיה, הקובעות את ריחוק האלקטרוניים מן הגרעין. ככל שהרמה האנרגטית, המיוחסת לאותו אלקטרון, גבוהה יותר, כך גדול יותר מרחקו מן הגרעין.

הרמה האנרגטית הנמוכה ביותר היא $n=1$, הרמה האנרגטית השניה - $n=2$, וכך הלאה. באמצעות רמות האנרגיה מתואר סידור האלקטרוניים של כל אטום ואטום. נתבונן בכמה דוגמאות, המתוארות בציור 2.3, בו כל אלקטרון מסומן על ידי נקודה.

| | | | | |
|-------|-----------|------------|-----------|------------|
| $n=2$ | | | | |
| $n=1$ | . | .. | .. | .. |
| | אטום מימן | אטום הליום | אטום חנקן | אטום ניאון |

ציור 2.3: הערכות אלקטרוניים באטומים של יסודות אחדים

הערכות האלקטרוניים של אטום המימן כוללת אך ורק אלקטרון אחד ברמת האנרגיה $n=1$. הערכות האלקטרוניים של אטום ההליום כוללת שני אלקטרוניים ברמת האנרגיה $n=1$. ההערכות של שבעת האלקטרוניים של אטום החנקן היא: שני אלקטרוניים ברמת האנרגיה $n=1$ וחמישה אלקטרוניים ברמת האנרגיה $n=2$. לאטום הניאון שני אלקטרוניים ברמה $n=1$ ושמונה אלקטרוניים ברמה $n=2$. נמצא, כי ברמת האנרגיה הראשונה יכולים להמצא לא יותר משני אלקטרוניים, וברמת האנרגיה השניה - לא יותר משמונה אלקטרוניים. הערכות האלקטרוניים של 18 היסודות הראשונים מתוארת בטבלה 2.3.

רמת אנרגיה

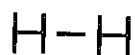
| | | | | | | | | |
|-----|--------------|---------------|-----------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | | | | | | | 2 |
| | H מימן | | | | | | | He הליום |
| n=1 | 1 | | | | | | | 2 |
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Li ליתיום | Be בריליום | B בור | C פחמן | N חנקן | O חמצן | F פלואור | Ne ניאון |
| n=1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| n=2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | Na נתרן | Mg מגנזיום | Al אלומיניום | Si צורן | P זרחן | S גופרית | Cl כלור | Ar ארגון |
| n=1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| n=2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| n=3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

טבלה 2.3: הערכות האלקטרוניים של 18 היסודות הראשונים בטבלה המחזורית

הליום וניאון הם יסודות מקבוצת הגזים האצילים. אטומי הגזים האצילים מופיעים כבודדים בטבע, ואינם נוטים להתרכב עם אטומים אחרים. כל יתר אטומי היסודות מסוגלים להתרכב עם אטומים אחרים של אותו יסוד או של יסודות אחרים. כך למשל, מולקולת מימן, H_2 , נוצרת מהתרכבות שני אטומי מימן זה עם זה; מולקולת מים, H_2O , מורכבת משני אטומי מימן ומאטום חמצן אחד; מולקולת פחמן-דו-חמצני, CO_2 , בנויה משני אטומי חמצן ומאטום פחמן אחד. מודלים מרחביים של מולקולות אלה מופיעות בטבלה 1.1.

2.3 קשר קוולנטי-שיתופי

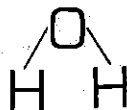
כיצד מתרכבים האטומים ליצירת מולקולות? נתבונן במולקולה הפשוטה ביותר, מולקולת המימן, H_2 . לכל אחד משני אטומי המימן במולקולה H_2 יש אלקטרון אחד. שני האטומים נקשרים זה לזה על ידי זוג משותף של אלקטרונים. מקורו של כל אחד מכני הזוג הוא באחד משני האטומים. שני אלקטרונים אלה (שמטענם שלילי) נמשכים בעת ובעונה אחת אל הגרעינים של שני אטומי המימן (שמטענם חיובי). כוחות משיכה אלו, המחזיקים את האטומים יחדיו במולקולה, מהווים את הקשר הקוולנטי או השיתופי. האלקטרונים המשותפים נמצאים רוב הזמן במרחק הבין גרעיני של האטומים במולקולה ונקראים אלקטרוני הקשר. ניתן לתאר את הקשר הקוולנטי כקו, ואז מולקולת המימן תרשם כך:



ציור 2.4: מולקולת המימן

במולקולה זו אטומית זו, ניתן להתייחס אל כל אטום, כאילו זוג אלקטרוני הקשר "שייך" לו, ובמצא ברמה $n=1$ שלו. על ידי שותפות עם האטום השני, כל אחד מאטומי המימן מניע להערכות אלקטרוניים, הזהה לזו של הליום.

קשר קוולנטי עשוי להיווצר גם בין אטומים של יסודות שונים. לדוגמה, כמולקולת המים, H_2O , קיים קשר קוולנטי אחד בין אטום החמצן לבין אטום מימן אחד, וקשר קוולנטי שני בין אותו אטום חמצן לבין אטום המימן השני. לאטום המימן אלקטרון אחד ברמה $n=1$. לאטום החמצן שמונה אלקטרונים בסך הכל (ראה טבלה 2.3): שני אלקטרונים ברמה הראשונה, הפנימית ($n=1$) וששה אלקטרונים ברמה השנייה, החיצונית ($n=2$). כאשר הקשרים הקוולנטיים כמולקולת המים מיוצגים באמצעות קווים, מתקבלת נוסחת מבנה. נוסחת המבנה של מולקולת מים מתוארת בציור הבא.



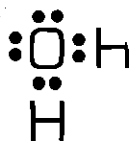
ציור 2.5: נוסחת מבנה של מולקולת המים

ביצירת קשרים לשם קבלת מולקולות אין מעורבים האלקטרונים הפנימיים, אלא רק האלקטרונים המצויים ברמה החיצונית, הגבוהה ביותר. הרמה החיצונית נקראת רמה ערכית. האלקטרונים המצויים ברמה הערכית קרויים אלקטרוני ערכיות. נהוג לסמן את אלקטרוני הערכיות באמצעות נוסחת ייצוג אלקטרוני, בה כל אלקטרון מתואר על-ידי נקודה. בטבלה הבאה מתוארות נוסחות ייצוג אלקטרוני עבור יסודות שלושת השורות הראשונות של הטבלה המחזורית.

| | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 H• מימן | 2 He•• הליום | | | | | | |
| 3 Li• ליתיום | 4 •Be• בריליום | 5 •B• בור | 6 •C• פחמן | 7 •N• חנקן | 8 •O• חמצן | 9 •F• פלואור | 10 •Ne• ניאון |
| 11 Na• נתרן | 12 •Mg• מגנזיום | 13 •Al• אלומיניום | 14 •Si• צורן | 15 •P• זרחן | 16 •S• גפרית | 17 •Cl• כלור | 18 •Ar• ארגון |

טבלה 2.4: נוסחות ייצוג אלקטרוני של יסודות שלושת השורות הראשונות בטבלה המחזורית

נדגיש, כי בצורת תיאור זו אין הכוונה, שהאלקטרונים מהווים נקודות קבועות במישור. זוהי רק דרך ייצוג נוחה, הבאה להמחיש את הערכות האלקטרוני באטומים השונים. נוסחות ייצוג אלקטרוני תסייענה לנו גם בתיאור מולקולות. בטבלה 1.1 תארנו מודל מרחבי של מולקולת מים ובציור 2.6 תארנו נוסחת מבנה של מולקולת המים. בציור הבא מתוארת מולקולת המים גם באמצעות נוסחת ייצוג אלקטרוני.



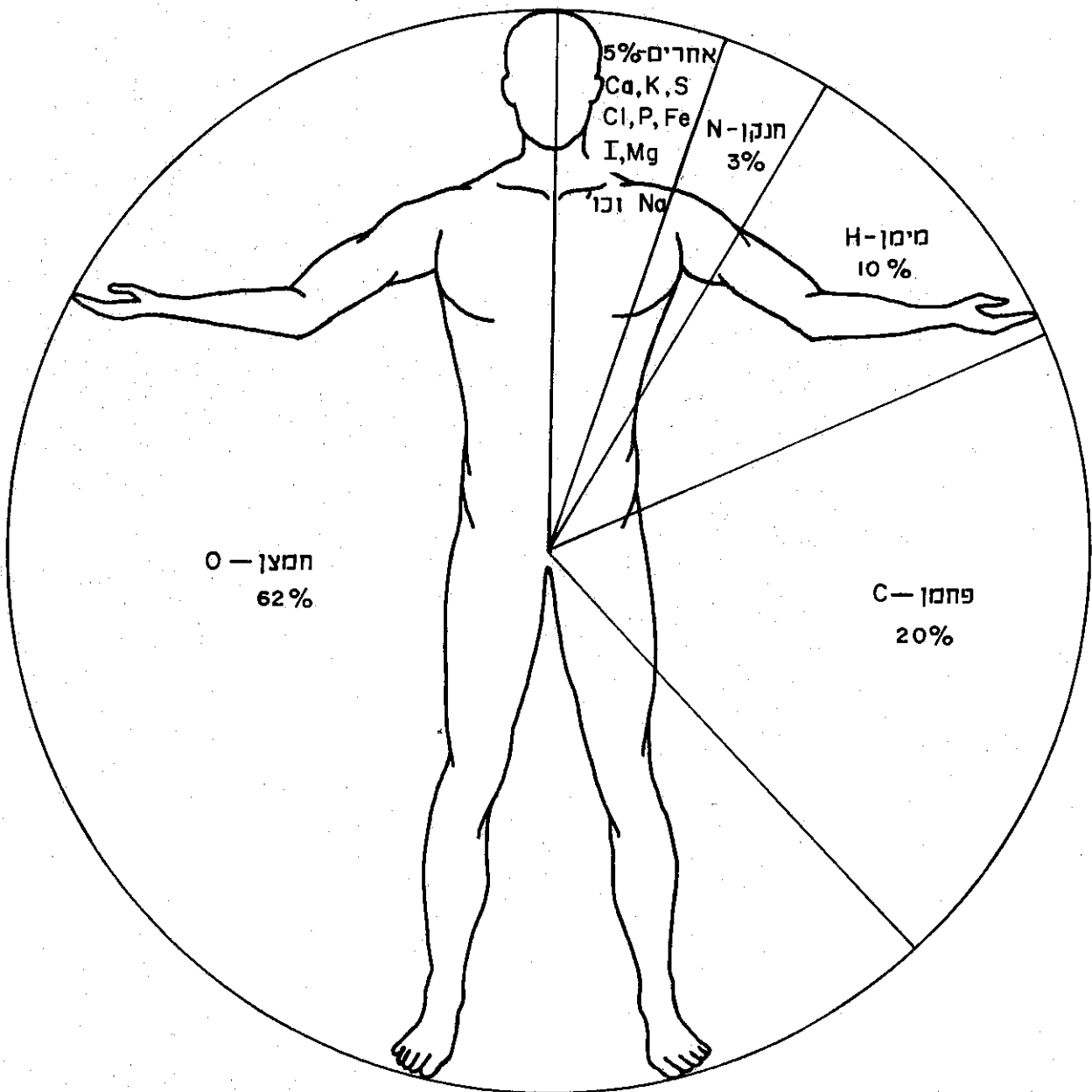
ציור 2.6: נוסחת ייצוג אלקטרוני של מולקולת המים

בין אטום החמצן לבין כל אחד משני אטומי המימן ואטום חמצן מצויר זוג האלקטרונים הקושרים. האלקטרונים המצויים ברמה הערכית, ואינם נוטלים חלק ביצירת קשרים נקראים אלקטרונים בלתי קושרים, וגם הם נעים בזונות במרחב סביב הגרעין. לחמצן, אם כן, ארבעה זוגות אלקטרוני, קרי, שמונה אלקטרוני ברמה הערכית. מצב זה נקרא אוקטט (שמיניה). זוהי גם הערכות האלקטרוני של ניאון, הגז האציל הקרוב לחמצן בטבלה המחזורית. הנטייה ליצור הערכות אלקטרוני של גז אציל סביב כל אטום ואטום באה לידי ביטוי ברוב הנדול של המולקולות.

היסודות בגוף האדם

ארכעת היסודות השכיחים ביותר בגוף האדם הינם מימן, חמצן, פחמן וחנקן. שני היסודות הראשונים מרכיבים את המים, שלושת היסודות הראשונים מרכיבים את שתי אבני הבניין הכימיות של גופנו: פחמימות ושומנים, וארכעתם כונים את החלבונים.

הציור הכא ממחיש את הכמויות היחסיות של היסודות, הבונים את גופנו, כאחוזים מהמסה הכללית (אך לא את מיקומם בגוף):



ציור 2.7: שכיחות היסודות בגוף האדם

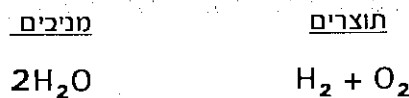
2.4 פירוק המים

שם המימן בלועזית הוא Hydrogen, כלומר "יוצר מים", ואכן, זוהי התרכובת החשובה ביותר בגופנו. המים מהווים כ-70% ממשקל גוף האדם, והם חיוניים לתהליכי העיכול, לקיום מחזור הדם והלימפה, לבקרה על טמפרטורת הגוף, ועוד.

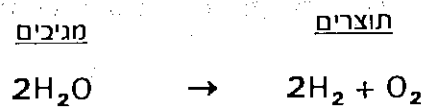
המים הם תרכובת, ולכן ניתנים לפירוק לישודות מימן וחמצן באמצעות זרם חשמלי. כיצד נוכל לתאר את פירוק המים בשפת הכימאים? נתאר את התהליך בניסוח כימי: מוסחות המגיבים נרשמות בצד שמאל של הניסוח, ואילו מוסחות התוצרים נרשמות בצידו הימני:



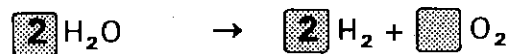
נוכל להבחין, כי כל סוגי האטומים המופיעים כמגיבים, מופיעים גם כתוצרים, אך מספרם אינו זהה. בתהליך כימי אטומים אינם "הולכים לאיבוד" ואינם נבראים מלא כלום. עובדה זו נקראת חוק שימור החומר. בהתאם לחוק זה, נכתוב ניסוח מאוזן, כלומר, ניסוח, שבו מספר האטומים מכל סוג זהה בתחילת תגובה ובסיומה. נבחן את מספר האטומים מכל סוג בכל צד של הניסוח, המתאר את פירוק המים. בעוד שקיימים בדיוק שני אטומי מימן בכל אחד משני צידי הניסוח, קיים רק אטום חמצן אחד בצד המגיבים, ולעומתו שני אטומי חמצן בצד התוצרים. לפיכך יש לרשום את הספרה 2 כמקדם לפני מוסחת המים:



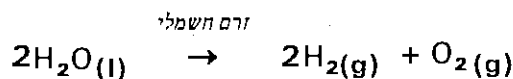
בשלב זה נבדוק שוב, האם מספר אטומי המימן בצד המגיבים זהה למספרם בצד התוצרים? בצד המגיבים ארבעה אטומי מימן, ואילו בתוצרים - שניים. אם נרשום את הספרה 2 כמקדם למוסחת היסוד מימן, נקבל את הניסוח המאוזן של התהליך, בו החץ מציין את כיוון התהליך מן המגיבים אל התוצרים.



שים לב, כי קיים הבדל בין ספרת המקדם, הנכתבת לשמאלה של הנוסחה הכימית, לבין הספרה, הרשומה לימין של סימול אטום כלשהו. בחלקו התחתון. הספרה הרשומה לימין של סימול האטום, כמו ב- O_2 או ב- H_2O , הינה חלק מן הנוסחה, המעידה על הרכב המולקולה. המספר מציין, כי במולקולת חמצן ישנם שני אטומי חמצן וכי במולקולת מים ישנם שני אטומי מימן. מספר זה הינו קבוע לכל סוג מולקולה, ואינו ניתן לשינוי. לעומת זאת, המקדם שמשמאל לנוסחה, מציין כמה מולקולות משתתפות בתגובה הנתונה, ועשוי להשתנות מתגובה לתגובה. שים לב, שמקדם 1 אינו נרשם. לדוגמה, פרוק של שתי מולקולות מים נותן שתי מולקולות מימן ומולקולת חמצן אחת:



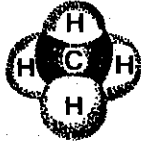
לקבלת מידע נוסף על התגובה יש לרשום גם את מצבי הצבירה של המגיבים והתוצרים. בדוגמה שלנו, מצב הצבירה של המגיבים הוא נוזל, ושל כל אחד מהתוצרים - גז. אם נרצה לציין, כי התהליך בוצע בעזרת זרם חשמלי, ירשם הדבר מעל לחץ. הניסוח המאוזן והסופי יראה כך:



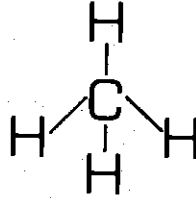
היסוד מימן מופיע בעיקר במים, אבל הוא מהווה מרכיב הכרחי בכל תרכובות הפחמן (למעט CO_2) ובכל תרכובות החנקן בגופנו, ועליהן נלמד בהמשך.

2.5 תרכובות הפחמן

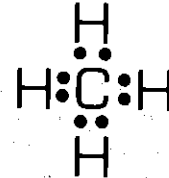
אטום הפחמן מסוגל ליצור ארבעה קשרים קוולנטיים. במילים אחרות, הפחמן הוא בעל יכולת קישור 4. כדי להבין את המקור ליכולת קישור זו של הפחמן, נתבונן בהערכות האלקטרוניים שלו ונראה, כי לפחמן 4 אלקטרוני ערכיות ברמה $n=2$ (טבלה 2.3). כדי להגיע לאוקטט, הוא יוצר ארבעה קשרים קוולנטיים עם אטומי פחמן נוספים או עם אטומים אחרים. כאשר אטום הפחמן נקשר אל ארבעה אטומי מימן, נוצרת מולקולת מתאן, CH_4 . CH_4 היא נוסחה מולקולרית, המתארת אך ורק את סוג האטומים המופיעים במולקולה ואת מספרם. כדי לברר את סידור האטומים במולקולה נחוצה נוסחת מבנה. בציור הבא מתוארת מולקולת המתאן כשלושה אופנים.



ג. מודל ממלא מרחב



ב. נוסחת מבנה

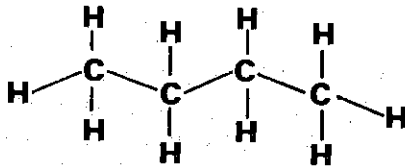


א. נוסחת ייצוג אלקטרוניים

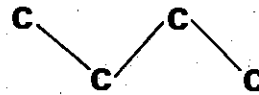
ציור 2.8: שלושה אופנים לתיאור מולקולת מתאן, CH_4

2.5.1 שרשרות הפחמן

ברוב התרכובות האורגניות שבגוף האדם, כגון פחמימות, שומנים וחלבונים, אטומי הפחמן מהווים את ה"שלד" כדוגמה לשלד פחמימני, נתבונן בגז בוטאן, המהווה אחד ממרכיבי הדלק לצריכה ביתית. נוסחתו המולקולרית היא C_4H_{10} , ונוסחת המבנה שלו מתוארת בציור 2.9-ב, בו ניתן לראות, כי אכן לכל אטום פחמן במולקולה יכולת קישור 4.



ב. נוסחת מבנה

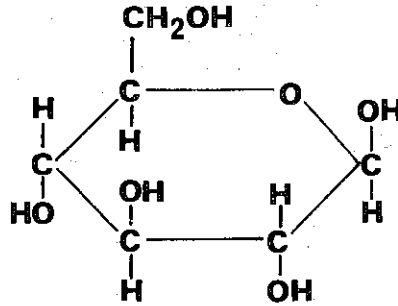


א. שלד פחמימני

ציור 2.9: מולקולת הבוטאן, C_4H_{10}

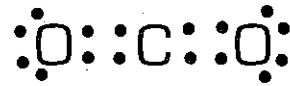
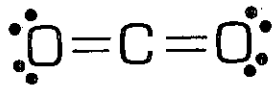
הגלוקוז

תרכובת הגלוקוז היא דוגמא לסוכר, שאותו אנו קולטים מהמזון והמספק אנרגיה לגופנו תוך כדי פירוקו. הנוסחה המולקולרית של מולקולת הגלוקוז היא $C_6H_{12}O_6$. מולקולת הגלוקוז היא טבעתית. הטבעת בנויה מחמישה אטומי פחמן ואטום חמצן אחד, אליהם קשורים אטומים נוספים, כמתואר בנוסחת המבנה הבאה:



2.5.2 הקשר הכפול

קשר כפול נוצר על-ידי שיתוף של שני זוגות אלקטרונים, זוג אחד מכל אטום, המשתתף בקשר. במולקולת פחמן דו חמצני, המתוארת בציור 2.10, ניתן לראות קשר כפול בין כל אחד מאטומי החמצן לבין אטום הפחמן. בנוסחת המבנה מסמלים קשר כפול על ידי שני קווים, כמתואר בציור 2.10-ב.



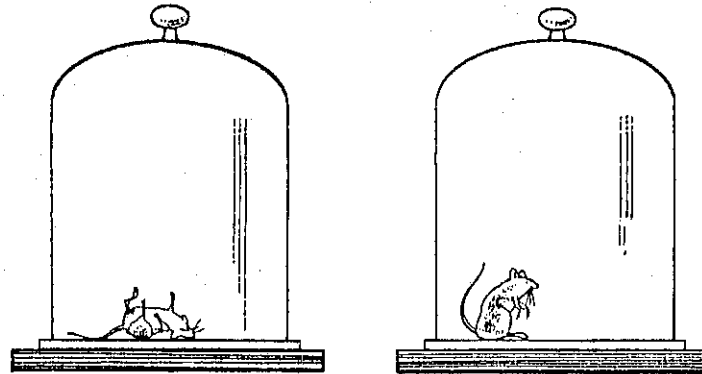
ג. מודל ממלא מרחב

ב. נוסחת מבנה

א. נוסחת ייצוג אלקטרונים

ציור 2.10: מולקולת פחמן דו חמצני, CO_2

קיומו של החנקן הוכח לראשונה בסוף המאה ה-18, כאשר שני מדענים, לכוזייה (Lavoisier) כצרפת ופריסטלי (Priestley) כאנגליה, הפרידו את האוויר לשני מרכיבים: חנקן וחמצן. ניסוי, הרומה לניסוי שערך פריסטלי, מתואר בציור שלהלן. העכבר, שהוכנס לכלוב זכוכית סגור, המכיל חמצן כלכר, חי ופעיל (ציור א-2.11), ואילו העכבר, שהוכנס לכלוב סגור, המכיל חנקן כלכר, מת כעבור זמן קצר (ציור ב-2.11). תכונת החנקן של היסוד הוא המקור לשמו "חנקן".



א. חמצן ב. חנקן
ציור 2.11: השפעת חמצן לעומת חנקן על עכבר

2.6.1 חנקן אטמוספרי

החנקן, המהווה כ-78% מנפח האוויר, מצוי בו כמולקולות דו-אטומיות, שנוסחתן N_2 . לפי טבלה 2.3 אטום החנקן הוא בעל 5 אלקטרונים ערכיות. כל אחד משני אטומי החנקן כמולקולה N_2 מניע להערכות אלקטרונים של 3 נז אציל על ידי יצירת 3 קשרים קוולנטיים ביניהם. זהו קשר משולש. יכולת הקישור של חנקן היא, אימא, 3. המולקולה N_2 מתוארת בציור הבא.



ג. מודל ממלא מרחב

ב. נוסחת מבנה

א. נוסחת ייצוג אלקטרונים

ציור 2.12: מולקולת חנקן, N_2

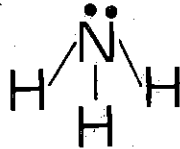
למרות הכמויות האדירות של החנקן באטמוספירה, אטפקת המזון של כל היצורים החיים מוגבלת. מעטים היצורים המסוגלים לקלוט את החנקן האטמוספרי, N_2 . החנקן חייב להיות קשור ליסודות אחרים, כרי שרוב הצמחים ובעלי החיים יוכלו לנצל. בתעשייה מייצרים אמוניה, NH_3 , מחנקן אטמוספרי וממימן. אמוניה ונגזרותיה משמשות כעיקר לתעשיית הרשנים.

2.6.2 אמוניה

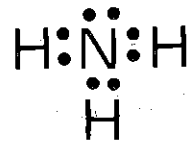
אמוניה, NH_3 , היא תוצר לוואי, המתקבל מפירוק חומצות אמיניות, הבונות את החלבון. מולקולת האמוניה מתוארת בציור הבא.



ג. מודל ממלא מרחב



ב. נוסחת מבנה



א. נוסחת ייצוג אלקטרוני

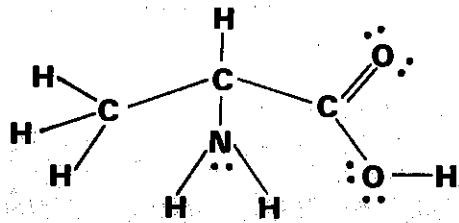
ציור 2.12: מולקולת אמוניה, NH_3

נוסחת ייצוג האלקטרוני של אמוניה מראה, כי מסביב לחנקן ארבעה זוגות אלקטרוני (אוקטט), שלושה מהם קושרים ואחד בלתי קושר.

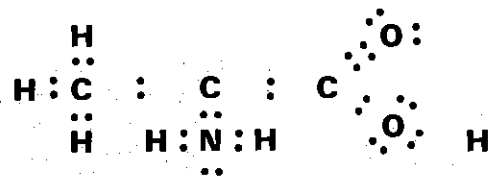
תרכובת האמוניה אינה מופיעה כמצבים נורמליים כדם האדם, מכיוון שהיא עוברת ניקוז בכבד, אולם אצל חולי כבד ניתן למצוא אמוניה כדם, והיא עלולה לגרום לנזק מוחי.

2.6.3 חומצות אמיניות

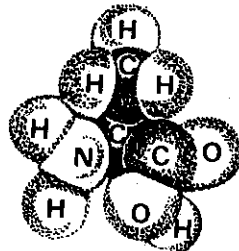
החנקן מהווה רק כ-3% ממסת גוף האדם, אך למרות זאת, הוא מופיע בכל החלבונים המרכיבים את התא החי. אבני הבנין של החלבונים הן החומצות האמיניות. ישנן כ-25 חומצות אמיניות שונות. אלנין היא אחת מן החומצות האמיניות. נוסחתו המולקולרית היא $C_3H_7O_2N$. מולקולת האלנין מתוארת בציור הבא.



ב. נוסחת מבנה



א. נוסחת ייצוג אלקטרוניים



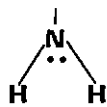
ג. מודל ממלא מרחב

ציור 2.13: מולקולת אלנין, $C_3H_7O_2N$

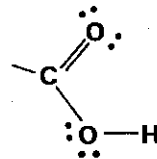
נוסחת המבנה של אלנין מתארת שלד פחמימני, הכולל 3 אטומי פחמן. כצפוי, גם כאן לכל אטום פחמן יכולת קישור 4, לכל אטום חנקן יכולת קישור 3, לכל אטום חמצן יכולת קישור 2 ולכל אטום מימן יכולת קישור 1.

לכל החומצות האמיניות שתי קבוצות אטומים משותפות, הקשורות לאטום פחמן מרכזי:

1. קבוצה קרבוקסילית, $COOH$, ובה לאטומי החמצן יכולת קישור 2: אטום חמצן אחד - קשר קוולנטי כפול אל אטום פחמן, אטום חמצן שני - שני קשרים קוולנטיים יחידים, אחד אל אותו אטום פחמן והאחר אל אטום מימן. קבוצה קרבוקסילית מתוארת בציור 2.14-א.
2. קבוצה אמינית, NH_2 , ובה לאטום החנקן יכולת קישור 3: שלושה קשרים יחידים, האחד לאטום הפחמן המרכזי ושנים לכל אחד משני אטומי המימן, כמתואר בציור 2.14-ב.



ב. קבוצה אמינית



א. קבוצה קרבוקסילית

ציור 2.14: הקבוצות המשותפות לכל החומצות האמיניות

הקשר הפפטידי, הקיים במולקולות של חלבון, נוצר כתגובה בין הקבוצה הקרבוקסילית של מולקולת חומצה אמינית אחת לבין הקבוצה האמינית של מולקולת חומצה אמינית אחרת.

2.7 קשר קוולנטי קוטבי

בסעיף 2.3 למדנו, כי בין שני אטומים זהים של יסודות, כגון מימן, H_2 , חמצן, O_2 , וחנקן, N_2 , נוצר קשר קוולנטי. לזוג או לזוגות האלקטרונים המשותפים, הנעים בחלל הבין גרעיני של האטומים, קראנו אלקטרוני הקשר. אולם פגשנו גם תרכובות, כגון מים, H_2O , ואמוניה, NH_3 , בהן נוצר קשר קוולנטי בין שני אטומים שונים. במקרים אלו נשאלת השאלה, האם היכולת היחסית של האטומים למשוך אליהם את האלקטרוני הקשר שווה או שונה? האם קיימים יסודות בעלי יכולת יחסית למשוך אליהם את האלקטרוני הקשר באופן חזק יותר מאשר יסודות אחרים?

נמצא כי אכן אטומים של יסודות, שונים זה מזה ביכולת היחסית למשוך אליהם את האלקטרוני הקשר, יכולת זו מבטאת בגודל הקרוי אלקטרושליליות. ערכי אלקטרושליליות של מספר יסודות מופיעים בטבלה הבאה.

| | |
|---|-----|
| 1 | H |
| | 2.1 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Li | Be | B | C | N | O | F |
| 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl |
| 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.5 | 3.0 |
| 19 | 20 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| K | Ca | Ga | Ge | As | Se | Br |
| 0.8 | 1.0 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.4 | 2.8 |

טבלה 2.6: ערכי אלקטרושליליות של יסודות ומגמת העליה בערכים אלו

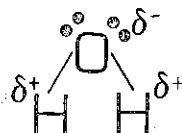
מגמת העליה בערכי האלקטרושליליות לאורך שורה, ואל ראש טור במערכת המחזורית מתוארת באמצעות החיצים, המסומנים מעל הטבלה ומימינה. על פי כווני החיצים ניתן לראות, כי היסוד האלקטרושלילי ביותר הוא פלואור. כלור, חמצן וחנקן גם הם בעלי אלקטרושליליות גבוהה.

במולקולות של יסודות, כגון H_2 , O_2 , N_2 , לשני האטומים, הקשורים בקשר קוולנטי, ערך אלקטרושליליות זהה, ולכן גרעיניהם של שני האטומים הללו מושכים את האלקטרוני הקשר במידה שווה.

מה קורה במולקולה של תרכובת, כגון H_2O , שבה לאטומים, הקשורים בקשר קוולנטי אלקטרושליליות שונה? הזוג הקושר ימשך אל אטום החמצן, שלו אלקטרושליליות גבוהה יותר מזו של אטומי המימן. במולקולה H_2O זוג האלקטרוני הקשר נמשך לאטום החמצן יותר מאשר אל אטומי המימן. לכן מוקנה לאטום החמצן מטען שלילי חלקי, בעוד שלאטומי המימן מוקנה מטען חיובי חלקי.

לקשר קוולנטי, הנוצר בין שני אטומים, שאינם שווים זה לזה באלקטרושליליות שלהם קוראים קשר קוולנטי קוטבי.

נהוג לסמן את המטען החלקי באות היוונית δ (דלתא), כמתואר בציור הבא.



ציור 2.15: הקשר הקוולנטי הקוטבי במולקולת המים

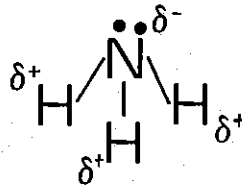
תרגיל 2.1

התבונן בטבלת ערכי האלקטרושליליות (טבלה 2.6) וציין:

1. האם על אטום החנקן במולקולת האמוניה יש מטען שלילי חלקי או חיובי חלקי?
2. האם הקשרים במולקולת האמוניה הם קוולנטיים קוטביים?

פתרון

1. לאטום החנקן אלקטרושליליות נכונה יותר מאשר לאטומי המימן (3.0 לעומת 2.1). לכן, על אטום החנקן יש מטען שלילי חלקי ועל כל אחד מאטומי המימן יש מטען חיובי חלקי, כמתואר בציור הבא.
2. מכיוון שקיים הפרש בערכי האלקטרושליליות, הקשרים בין אטומי המימן ואטום החנקן הם קוולנטיים קוטביים.



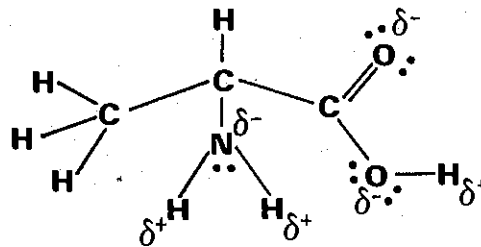
ציור 2.16: הקשר הקוולנטי הקוטבי במולקולת האמוניה

תרגיל 2.2

התבונן בציור 2.13-2.13 ובטבלת ערכי האלקטרושליליות (טבלה 2.6) וציין אילו מהקשרים במולקולת האלנין הם קשרים קוולנטיים קוטביים?

פתרון

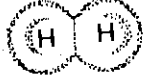
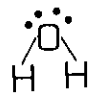
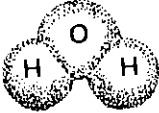
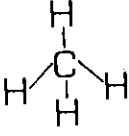
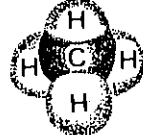
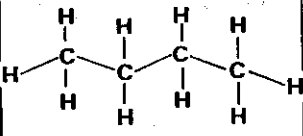
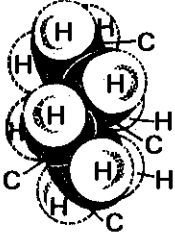


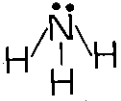
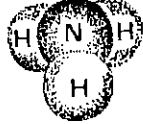
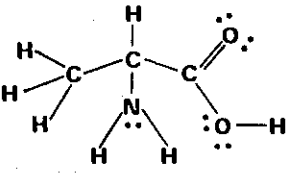
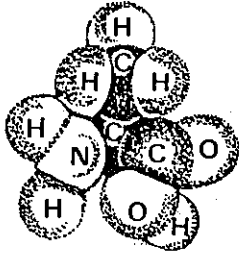
בציור הבא מתוארים הקשרים הקוולנטיים הקוטביים במולקולת האלנין:



ציור 2.17: הקשרים הקוולנטיים הקוטביים במולקולת האלנין

2.8 סיכום

בפרק תארנו מספר מולקולות ועסקנו בתרכובות של היסודות, המרכיבים 95% ממנו. המולקולות, שהכרנו בפרק זה, מוצגות בטבלה הבאה במספר אופנים.

| שם החומר | נוסחה מולקולרית | נוסחת מכנה | נוסחת ייצוג אלקטרוני | מודל מרחב |
|---------------|-----------------|--|--|---|
| מימן | H_2 | $H-H$ | $H:H$ |  |
| מים | H_2O |  | $\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{O} \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{H} \end{array}$ |  |
| מתאן | CH_4 |  | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \cdot \\ \text{C} \\ \cdot \\ \text{H} \\ \cdot \\ \text{H} \\ \cdot \\ \text{H} \end{array}$ |  |
| בוטאן | C_4H_{10} |  | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ |  |
| פחמן דו חמצני | CO_2 | $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ | $\text{O}::\text{C}::\text{O}$ |  |
| חנקן | N_2 | $\text{N}\equiv\text{N}$ | $\text{N}::\text{N}$ |  |
| אמוניה | NH_3 |  | $\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{N} \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{H} \end{array}$ |  |
| אלנין | $C_3H_7O_2N$ |  | $\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & & \text{O} & & \text{O} & \\ & \cdot & & \cdot & & \cdot & \\ \text{H} & \cdot & \text{C} & \cdot & \text{C} & \cdot & \text{C} \\ & & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{N} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ & & \cdot & & \cdot & & \cdot \end{array}$ |  |

טבלה 2.7: תיאור של מולקולות חשובות אחרות במספר אופנים

עד כאן עסקנו ביסודות, הבונים כ-95% מגופנו. מהם היסודות, המהווים את ה-5% הנותרים, כיצד הם מופיעים בגוף ומה תפקידם? בשאלה זו נדון כפרק הבא.

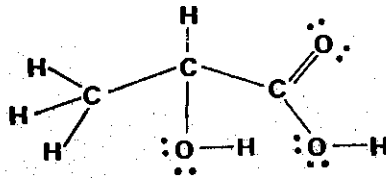
2.9 רשימת מושגים

חלקיקים תת-אטומיים: אלקטרונים, פרוטונים, ניוטרונים
מספר אטומי, טבלה מחזורית
רמות אנרגיה, רמה ערכית
הערכות אלקטרונים, אלקטרוני ערכיות
אלקטרוני הקשר, אלקטרונים בלתי קושרים
קשר קוולנטי-שיתופי, אוקטט
ניסוח מאוזן, חוק שימור החומר
נוסחה מולקולרית, נוסחת מבנה, נוסחת ייצוג אלקטרונים
יכולת קישור, קשר כפול, קשר משולש
אלקטרושליליות, קשר קוולנטי קוטבי

2.10 שאלות לפרק השני

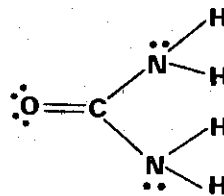
- א. עיין בטבלה המחזורית וחפש את היסודות הבאים: פלואור, נתרן, נופרית, אשלגן וסידן.
עבור כל אחד מהם רשום:
א. סימול כימי.
ב. מספר אטומי.
ג. מספר פרוטונים.
ד. מספר אלקטרונים באטום ניטרלי.
ה. הערכות אלקטרונים.
ו. מספרה של הרמה הערכית.
ז. מספר אלקטרוני ערכיות.
- ב. היסוד ארסן, As, מצוי בגוף בכמויות זעירות. בכמות רכה הארסן רעיל. פעילותו הרעילה נובעת, כנראה, מיכולתו להחליף את היסוד זרחן, P, בתרכובות ביוכימיות בגוף.
- 1) מצא את היסודות ארסן וזרחן בטבלה המחזורית.
 - 2) רשום מה מספר החלקיקים התת אטומיים של כל אחד משני היסודות הללו.
 - 3) בהנחה כי לארסן מספר אלקטרוני ערכיות, הזזה לזה של הזרחן, כמה אלקטרוני ערכיות יש לכל אחד מהיסודות הללו?
- ג. בדיקות שונות הראו, כי גוף האדם מכיל כ-60% מים.
א. רשום מה משקל גופך.
ב. חשב כמה ק"ג מים יש בגופך.
- ד. מולקולת החמצן היא דו אטומית. רשום:
א. נוסחה מולקולרית של חמצן.
ב. נוסחת ייצוג אלקטרונים.
ג. נוסחת מבנה.
ד. מהי יכולת הקישור של חמצן?
- ה. צריכת החנקן בעולם נמצאת בתהליך גידול, הן עקב העובדה, כי הביקוש לחלבונים במזון לאוכלוסיות העולם הוא עצום, והן בזכות הנחיצות של חנקן לתעשיית חומרי הנפץ והפלסטיקה. בתקופת מלחמת העולם הראשונה פנתה ממשלת גרמניה אל הכימאי פריץ הבר, כדי שימצא דרך לקשירת חנקן אטמוספרי באופן תעשייתי. הבר פיתח תהליך, הנקרא על שמו. בתהליך זה מתרכבות מולקולות חנקן מהאטמוספירה עם מולקולות מימן בלחץ גבוה ובטמפרטורה של כ-500°C, תוך שימוש בזרז. בתהליך הבר מופקת אמוניה, המשמשת כיום ליצור דשנים כימיים.
א. רשום נוסחה מתאימה לכל מגיב ולכל תוצר של תהליך הבר.
ב. רשום ניסוח מאוזן לתגובה.

6. גלוקוז עובר בגופנו תהליך פרוק ליצירת חומצת חלב (lactic acid), שנוסחת המבנה שלה מתוארת להלן:

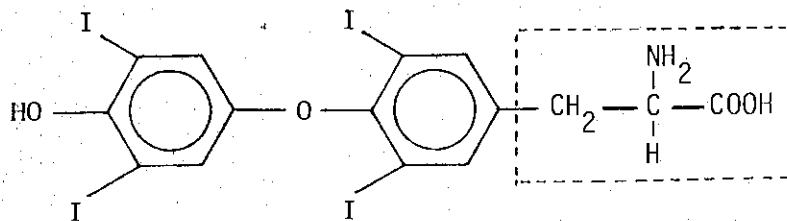


- סמן את השלד הפחמימני במולקולה של חומצת החלב.
- ציין על אילו אטומים במולקולה קיים מטען שלילי חלקי, ועל אילו אטומים מטען חיובי חלקי.
- מהם סוגי הקשרים המופיעים בתרכובת זו?
- מהי יכולת הקישור של אטומי המימן, החמצן והפחמן שבמולקולה?
- רשום נוסחה מולקולרית של חומצת החלב.
- בהסתמך על חוק שימור החומר, כמה מולקולות של חומצת חלב תתקבלנה ממולקולת גלוקוז אחת?

7. אחד מתוצרי העיכול של חלבוני החי הוא השתן (urea), היוצא מגופנו עם השתן. ניתן להכין חומר זה גם במעבדה. המגיבים בתהליך זה הם אמוניה ופחמן דו-חמצני, והתוצרים הם שתן ומים. נוסחת מבנה של השתן היא:



- רשום נוסחה מולקולרית מתאימה לכל מניב ולכל תוצר.
 - רשום ניסוח מאוזן לתהליך.
 - מהי יכולת הקישור של כל אחד מסוגי האטומים במולקולת השתן?
 - האם יכולת קישור זו מתיישבת עם הממצאים הקודמים שלך?
8. תרכובות היוד, המגיעות לגופנו עם המזון או השתיה, נספגות דרך המעיין בדם ונקלטות במהירות בכלוטת התריס (תירואיד). בלוטה זו, הנמצאת בחלק הקדמי התחתון של הצוואר, מפרידה הורמונים, כמו למשל תירוקסין (thyroxine), המכונה בקיצור T₄. (הסימול 4 בא להזכיר קיום ארבעה אטומי יוד כמולקולה). להלן נוסחת מבנה של מולקולת T₄:



התרכובת מכילה מספר קבוצות, שרק חלקן מוכרות לך. האם זיהית מהן הקבוצות המצויות בתוך הריבוע? אם כן, מדוע לדעתך מולקולה זו יכולה להיות חלק ממולקולת חלבון?

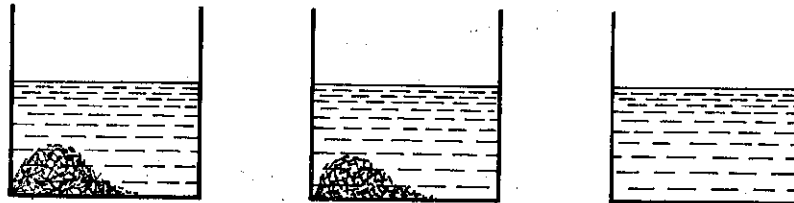
9. לפיך נוסחות של תרכובות אחדות: C_2H_5OH , C_3H_8 , CH_4 , PH_3 , H_2S , CS_2 , CO_2 . ציין באילו מן התרכובות קיימים קשרים קוולנטיים קוטביים. עבור תרכובות אלו צייר את נוסחות המבנה וציין עליהן את האטום או האטומים שלהם מטען חלקי חיובי או שלילי.

פרק שלישי: יונים בגוף האדם

בתום הפרק השני שאלנו את עצמנו מהם היסודות, המהווים את חמשת האחוזים של הרכב גופנו, שבהם עדיין לא דנו. כדי לענות על שאלה זו, נשוב ונתבונן בציור 2.7. יסודות אלו, המהווים 5%, הם: סידן, Ca, זרחן, P, אשלגן, K, כלור, Cl, גופרית, S, נתרן, Na, מגנזיום, Mg, ברזל, Fe. מתוך היסודות הללו גופרית וזרחן מצויים בחלבונים או במולקולות מורכבות אחרות ועליהן נדון מאוחר יותר. יתר היסודות אינם מופיעים בגופנו בתור מולקולות, אלא כיונים בתמיסה. כדי להבין את המושגים החדשים "תמיסה" ו"יונים", נתאר לעצמנו את הניסוי הבא.

3.1 תמיסות

לפנינו שלוש כוסות: האחת מכילה מים מזוקקים, השני מכילה מים, שלתוכם הוכנסה כפית סוכר והשלישית מכילה מים, שלתוכם הוכנסה כפית מלח בישול.



ג. מים עם מלח

ב. מים עם סוכר

א. מים מזוקקים

ציור 3.1: מים מזוקקים ותמיסות מימיות

החומר המצוי בכוס הראשונה הוא חומר טהור, כלומר תרכובת אחת, מים, בעלת הרכב קבוע: H_2O . לאחר המסת הסוכר והמלח, הכוס השנייה והכוס השלישית מכילות, כל אחת בנפרד, תערובת של שני חומרים. תערובת אחידה, בה לא ניתן להבחין (אף לא בעזרת מיקרוסקופ) בין מרכיבים שונים, נקראת תמיסה. כזכור, תמיסה מורכבת מממס, שהוא המרכיב העיקרי, וממומס. הממס הנפוץ ביותר הוא המים, אולם קיימים גם ממסים אחרים. סוגים אחדים של תמיסות מתוארים בטבלה 3.1.

| דוגמה | מצב צבירה של המומס | מצב צבירה של המומס |
|-----------|--------------------|--------------------|
| סוכר במים | נוזל | מוצק |
| כהל במים | נוזל | נוזל |
| חמצן במים | נוזל | גז |
| פלדה | מוצק | מוצק |
| אוויר | גז | גז |

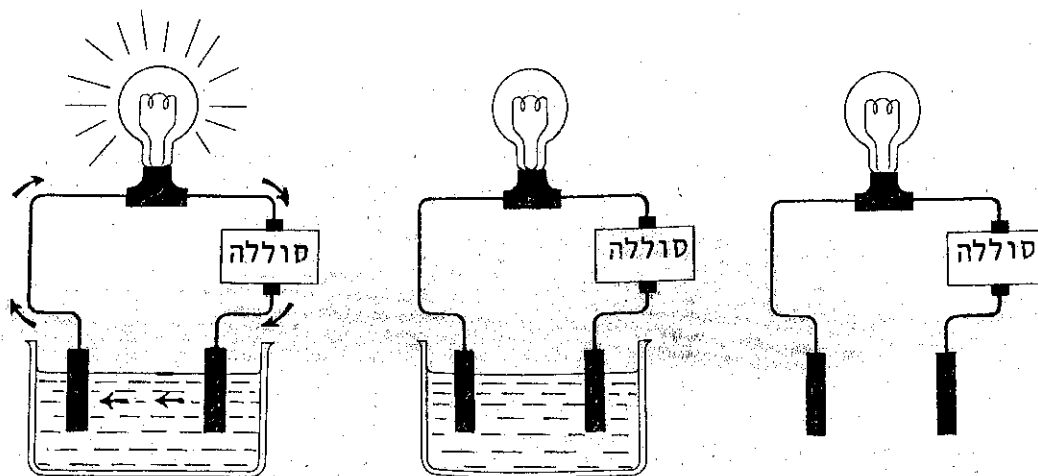
טבלה 3.1: סוגי תמיסות

ככית החולים כל נוזלי האינפוזיה הם תמיסות מימיות. סליין (Saline), לדוגמה, היא תמיסת מלח בישול במים. הניתנת לחולים במקרים של התייבשות. לעיתים, משתמשים בתמיסה זו להכנת נוזלי אינפוזיה נוספים המכילים חומרי הזנה כגון, גלוקוז או יונים חיוניים כגון, יוני מגנזיום או יוני סידן.



ציור 3.2: התמיסות משמשות את האחות כעבודתה.

בכל הכוסות שבציור 3.1 הנזול נראה זהה. כיצד, בכל זאת, נוכל להבחין בקלות בין תכולתן של שלושת הכוסות? נבנה מעגל חשמלי המכיל סוללה, נורה ושתי אלקטרודות, שהן מוטות גרפיט או מתכת, כעלי יכולת להוליך זרם חשמלי, כמתואר בציור 3.3-א. בציור 3.3-ב מתואר המעגל עם האלקטרודות בכוס מים מזוקקים. הנורה אינה דולקת. גם אם נכניס את האלקטרודות לכוס, המכילה תמיסת סוכר, הנורה לא תדלק. אם לעומת זאת, נכניס את האלקטרודות לכוס עם תמיסת מלח בישול, כמתואר בציור 3.3-ג, הנורה תדלק. עוצמת האור תלויה בכמות מלח הבישול, המומס במים. כדי לתת הסבר לתופעה, אנו מניחים, כי בתמיסה יש חלקיקים, הטעונים מטען חשמלי, חלקיקים אלו יכולים לבוע אל האלקטרודות, ובכך גורמים להעברת זרם חשמלי. חלקיקים טעונים אלו נקראים יונים. יונים שליליים נעים אל האלקטרודה החיובית, ויונים חיוביים נעים אל האלקטרודה השלילית. תכונת ההולכה של זרם חשמלי נקראת מוליכות חשמלית, והיא אופיינית לתמיסות יוניות. חומרים שתמיסותיהם המימיות מוליכות חשמל נקראים אלקטרוליטים. חומרים מולקולריים, כגון סוכר, שאינם יוצרים יונים בתמיסה, אינם מוליכים.



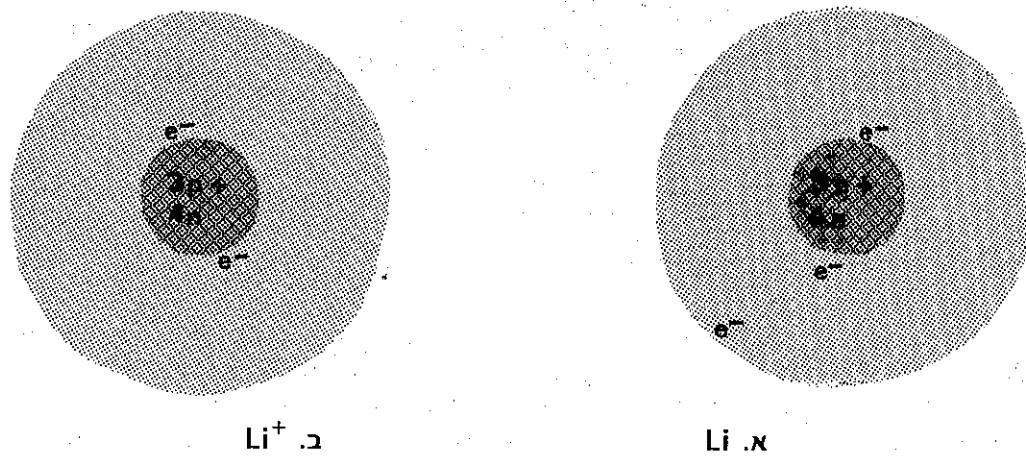
א. המעגל החשמלי ב. המעגל במים מזוקקים ג. המעגל בתמיסת מלח בישול

ציור 3.3: בדיקת מוליכותה של חמיסה באמצעות מעגל חשמלי

3.2 יונים

יונים הם אטומים או קבוצות אטומים טעוני מטען חשמלי. כפי שלמדנו בפרק השני, באטום ניטרלי קיים שוויון בין מספר הפרוטונים למספר האלקטרונים. כאשר שוויון זה מופר, האטום הופך ליון. נדון תחילה ביונים חד אטומיים.

יון חיובי נקרא קטיון. מספר האלקטרונים בקטיון קטן ממספר הפרוטונים. מצב זה נגרם עקב "הוצאת" אלקטרון אחד לפחות מן האטום הניטרלי. דוגמה: ליתיום, שסימולו Li ומספרו האטומי 3, יש 3 פרוטונים ו-4 ניוטרונים בגרעין האטום. שלושת האלקטרונים שלו נעים מחוץ לגרעין, כמתואר בציור 3.4-א.



ב. Li^+

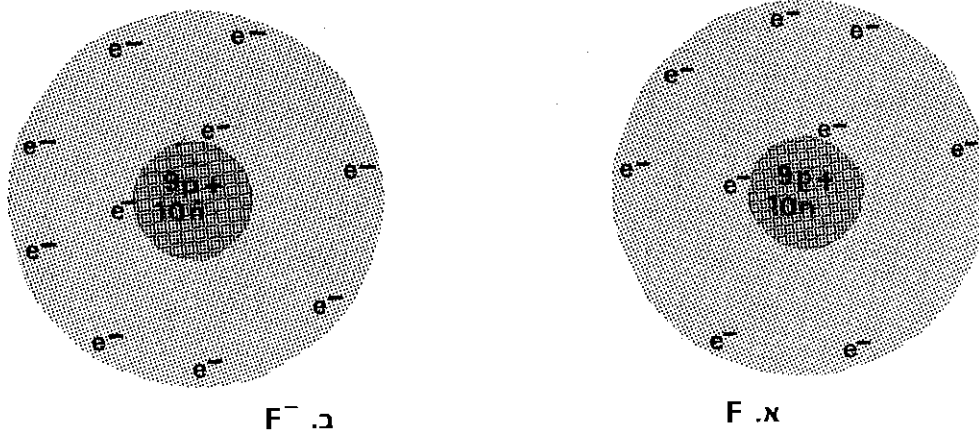
א. Li

ציור 3.4: אטום ליתיום ויון ליתיום

אטום ליתיום הופך ליון ליתיום, Li^+ , ע"י הוצאת אלקטרון ערכיות היחיד, הנמצא ברמה הערכית $n=2$ (ציור 3.4-ב). הפרוטונים נמצאים בגרעין האטום, ומספרם אינו יכול להשתנות בתגובות כימיות.

יון שלילי נקרא אניון. מספר האלקטרונים באניון גדול ממספר הפרוטונים. מצב זה נוצר כתוצאה מקליטת אלקטרון אחד לפחות על ידי האטום הניטרלי.

דוגמה: לפלואור, שסימולו F ושמשפרו האטומי 9, יש 9 פרוטונים ו-10 ניוטרונים בגרעין האטום. 9 אלקטרונים נעים מחוץ לגרעין (ציור 3.5-א).



ציור 3.5: אטום פלואור ויון פלואור

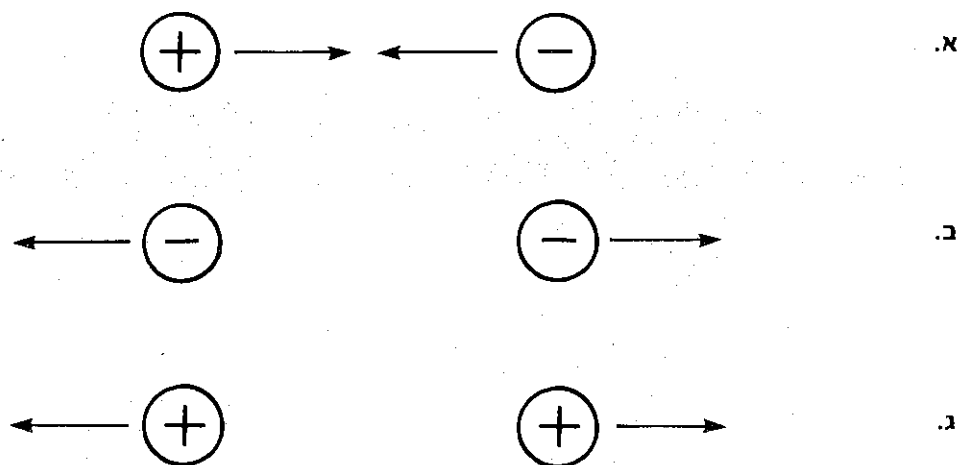
אטום פלואור הוכר ליון פלואור, או פלואוריד, F^- , על ידי קליטת אלקטרון אחד ברמה הערכית $n=2$ (ציור 3.5-ב). ביון הפלואור יש עתה שמונה אלקטרונים ברמה ערכית, כלומר, הוא הניע למצב של אוקטט.

מחקר של שנים ככל רחבי העולם הוכיח, שיון פלואוריד, F^- , חשוב לאדם, וכי ספיגתו בכמויות קטנות מכטיחה את התפתחותן של שיניים בריאות ואח עמידותן בפני רקבון (עששת). עורף יון פלואוריד, לעומת זאת, גורם לכתמים על זגוגית השן (הכתמת האמאיל).

פלואורידציה של המים (הוספת מלח של יון פלואוריד) כתנאים מכווקרים מקובלת כיום כמספר רב של ארצות, ובהן בישראל (כירושלים). מטרת הפלואורידציה היא הקטנת שיעור התחלואה בעששת בקרב האוכלוסייה, המשתמשת במים אלו לאורך כל שנות חייה. לא הוכחה לפעולה זו כל השפעה שלילית, פיסיוולוגית או פתולוגית. כאשר פלואורידציה של המים אינה מתאפשרת, ניתן להוסיף כמויות זעירות של מלח של יון פלואוריד למלח כישול או לספק לילדים טבליות של נתרן פלואורי יום יום כמשך שנות חייהם הראשונות (הטבליות נרחבות כיום במרפאות "שיפת חלב" בישראל). הגוף משתמש כפלואוריד, המסופק לו כהליך הפיתוח של רקמת השן הקשה, וחומר זה מקנה לשן עמידות בפני התקפת חיידקי העששת.

בודאי שמת לב, כי בקטע הקודם, כשדובר על אכיון פלואוריד ולא תמיד צויין מהו הקטיון המלווה אותו. הסיבה לכך היא, שהקטיון, במקרה הזה, אינו משתתף בתהליכים שתוארו. יון המצוי בתמיסה, אך אינו לוקח חלק בתגובה נקרא יון מלווה.

תפקידם של היונים המלווים הוא לאזן את המטענים בתמיסה. מתורת החשמל ידוע, כי מטענים שונים מושכים זה את זה, כמתואר בציור 3.6-א (על כך כבר למדת בפרק הקודם), ואילו מטענים זהים דוחים זה את זה, כמתואר בציור 3.6-ב ו-3.6-ג. אילו בתמיסה היו רק אניונים (ציור 3.6-ב) או רק קטיונים (ציור 3.6-ג), הם היו דוחים זה את זה. לעומת זאת, תמיסה המכילה גם יונים מלווים היא ניטרלית מבחינה חשמלית, ובתוכה מצויים יונים חיוביים ושיליים גם יחד.

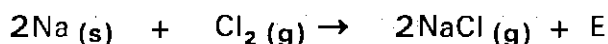


ציור 3.6: כוחות דחיה ומשיכה בין מטענים חשמליים

עד כה תארנו יונים בתמיסה מימית, אך מה קורה כאשר אותם היונים (החיוביים והשליליים) אינם מצויים בתמיסה מימית?

3.3 המוצק היוני

מלח בישול, המוכר לנו מחיי יום יום, הוא נתרן כלורי, NaCl. זוהי דוגמה של מוצק יוני. נתרן כלורי קיים בטבע בכמויות אדירות במרבצים ובמי ים. הוא מופק ממי הים על ידי אידוי המים בעזרת אנרגיית השמש. ניתן לקבלו במעבדה גם מתגובה בין נתרן מתכתי וגז הכלור, לפי הניסוח המאוזן הבא:



כתגובה משתחררת אנרגיה (המסומנת כאות E), ונוצר מוצק יוני, הבנוי מיוני נתרן, Na^+ ,

ומיוני כלור, Cl^- .

כדי להבין תהליך זה נתונות הערכויות האלקטרוניות של אטום הנתרן ושל אטום הכלור בציור הבא.

הערכות האלקטרוניות של נתרן היא כדלקמן:

| | | |
|-----|-------------|---|
| n=3 | • | אלקטרון אחד נמצא ברמת האנרגיה הגבוהה |
| n=2 | •• •• •• •• | 8 אלקטרונים נמצאים ברמת האנרגיה האמצעית |
| n=1 | •• | 2 אלקטרונים נמצאים ברמת האנרגיה הנמוכה |

הערכות האלקטרוניות של כלור היא כדלקמן:

| | | |
|-----|-------------|---|
| n=3 | •• •• •• • | 7 אלקטרונים נמצאים ברמת האנרגיה הגבוהה |
| n=2 | •• •• •• •• | 8 אלקטרונים נמצאים ברמת האנרגיה האמצעית |
| n=1 | •• | 2 אלקטרונים נמצאים ברמת האנרגיה הנמוכה |

ציור 3.7: הערכות אלקטרוניות של אטום נתרן ושל אטום כלור

לנתרן אלקטרון אחד ברמה הערכית ולכלור - שבעה אלקטרונים ברמה הערכית.

נתרן "מוטר" אלקטרונים לכלור, כלומר כל אטום נתרן "מוטר" אלקטרון ערכי אחד, וכל אטום כלור "מקבל" אלקטרון אחד, כך שכל אחד מהאטומים מביע לאוקטט. מכיוון שמאטום הנתרן יצא האלקטרון היחיד, שהיה ברמה $n=3$, הרמה הערכית המלאה היא עתה הרמה השנייה. הנתרן, שהיה בעל 11 פרוטונים ו-11 אלקטרונים, מותר עתה עם 11 פרוטונים ו-10 אלקטרונים, ומטענו החשמלי הוא:

$$+11 \quad -10 = +1$$

$$p^+ \quad e^-$$

אטום הנתרן הפך לקטיון עם הערכות אלקטרונים של הגז האציל ניאון.

הכלור, שהיה בעל 17 פרוטונים ו-17 אלקטרונים, הוא בעל 17 פרוטונים ו-18 אלקטרונים לכן מטענו החשמלי הוא:

$$+17 \quad -18 = -1$$

$$p^+ \quad e^-$$

אטום הכלור הפך לאניון עם הערכות אלקטרונים של הגז האציל ארגון.

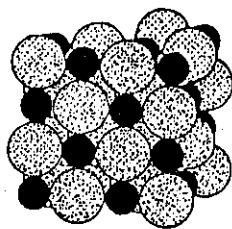
נטכם את ההערכות האלקטרונים של היונים הללו בציור הבא.



ציור 3.8: הערכות אלקטרונים של יון נתרן ושל יון כלור

כמלח הבישול, $NaCl$, כל אחד מקטיוני הנתרן נמשך אל אניוני הכלור המצויים סביבו וכל אחד מאניוני הכלור נמשך אל קטיוני הנתרן המצויים סביבו. במוצק היוני קיימים כוחות משיכה חשמליים (אלקטרוסטטיים) בין היונים החיוביים ליונים השליליים והנקראים קשר יוני. קשר יוני נוצר באשר מתכות, הממוקמות באזור השמאלי והמרכזי של הטבלה המחזורית, מגיבות עם אל-מתכות, הממוקמות באזור הימני של הטבלה המחזורית תוך העברת אלקטרונים ביניהם, ויצירת מוצק יוני.

דוגמה של המוצק היוני מלח בישול מתוארת בציור הבא.



● מייצג יון של כלור, Cl^-

● מייצג יון של נתרן, Na^+

ציור 3.9: מודל של נתרן כלורי, $NaCl$

3.4 קטיונים ואניונים בגוף האדם

אילו יסודות עשויים ליצור קטיונים ואילו יסודות עשויים ליצור אניונים? יונים חיוביים - קטיונים, מתקבלים ממתכות ואילו יונים שליליים - אניונים, מתקבלים מאל-מתכות. מיקום המתכות למול האל-מתכות במערכת המחזורית מסומן בטבלה הבאה.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | He | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 12 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 20 | 21 | | | | | | | | | | | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | | | |
| K | Ca | Sc | | | | | | | | | | | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | | | |
| 37 | 38 | 39 | | | | | | | | | | | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | | | | |
| Rb | Sr | Y | | | | | | | | | | | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | |
| 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | | | | | | | | | | | | |
| Fr | Ra | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | Ku | Ho | Unn | | | | | | | | | | | | |

טבלה 3.2: אזור המתכות (הבהיר) ואזור האל-מתכות (הכהה) במערכת המחזורית.

בטבלה 3.3 מפורטים יסודות, המופיעים בגופנו כיונים.

| שם היסוד | סימול היסוד | מספר אטומי | מספר הפרוטונים באטום | מספר האלקטרונים באטום | מספר האלקטרונים בין | סימול היון | סוג היון |
|----------|-------------|------------|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|----------|
| נתרן | Na | 11 | 11 | 11 | 10 | Na ⁺ | קטיון |
| אשלגן | K | 19 | 19 | 19 | 18 | K ⁺ | קטיון |
| מגנזיום | Mg | 12 | 12 | 12 | 10 | Mg ²⁺ | קטיון |
| סידן | Ca | 20 | 20 | 20 | 18 | Ca ²⁺ | קטיון |
| אבץ | Zn | 30 | 30 | 30 | 28 | Zn ²⁺ | קטיון |
| פלואור | F | 9 | 9 | 9 | 10 | F ⁻ | אניון |
| כלור | Cl | 17 | 17 | 17 | 18 | Cl ⁻ | אניון |
| יוד | I | 53 | 53 | 53 | 54 | I ⁻ | אניון |

טבלה 3.3: קטיונים ואניונים בגוף האדם

מתוך טבלה 3.2 וטבלה 3.3 נוכל להוכיח, כי יסודות מסוימים, המצויים בגופנו כקטיונים, כגון יון נתרן ויון אשלגן, מופיעים בטבלה המחזורית באזור השמאלי, ואילו יסודות אחרים, המצויים בגופנו כאניונים, כגון יון כלור, מופיעים בטבלה המחזורית באזור הימני.

3.5 תהליכים בתמיסות

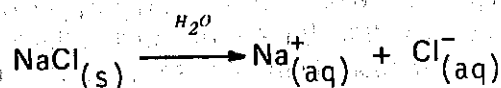
בתחילת הפרק צויין, כי היונים בנופנו נמצאים בתמיסה. מהן התמיסות שבגופנו?

כל נוזלי הגוף הם תמיסות מימיות בהן המים הם הממס. הם מצויים בשני מדורים עיקריים, שהגבול ביניהם הוא קרום התא:

1. נוזל תוך-תאי (intracellular fluid) מצוי בתוך התאים עצמם, ומהווה כ- 2/3 מכלל נוזלי הגוף.
2. נוזל חוץ-תאי (extracellular fluid) מצוי מחוץ לתאים, בין התאים וכתוך כלי הדם, ומהווה כ- 1/3 מכלל נוזלי הגוף. נהוג לחלק את הנוזל החוץ תאי למספר תת-מדורים: נוזל בין-תאי או בין-רקמתי (intercellular fluid), פלסמת הדם, נוזל מוח ושדרה, נוזל לימפה, נוזל תוך עיני, הפרשות עיכול ועוד.

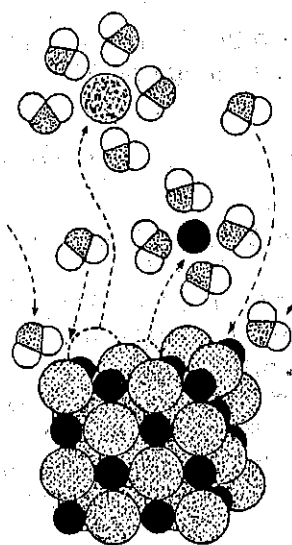
3.5.1 המסת חומר יוני

מה קורה כאשר מספר נרגרים של נתרן כלורי באים במגע עם רוק הפה? התהליך אינו שונה מהכנסת נתרן כלורי לכוס מים (ציור 3.1-ג). המסת מלח הבישול במים מתוארת באמצעות הניסוח הבא:



"aq" הוא קיצור של המילה "aqueous", שפרושו "בסביבה מימית".

המים נרשמים מעל החץ, משום שהם מהווים סביבה ליונים. בציור הבא מתוארת המסת מוצק יוני במים ברמה המולקולרית.



● מייצג יון של כלור, Cl^-

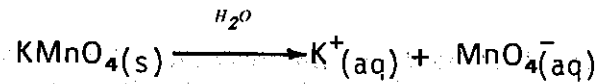
● מייצג יון של נתרן, Na^+

○ מייצג מולקולת מים, H_2O

ציור 3.10: המסת נתרן כלורי, NaCl , במים

3.5.2 דיפוסיה

גזים, נוזלים ומוצקים, הבאים במגע עם נוזל, נוטים למוע ולהתפשט בתוכו. תהליך זה הנקרא דיפוסיה (diffusion), או בעברית, פיעפוע. סיבת התרחשותו של תהליך זה נעוצה בתנועה האקראית של חלקיקי החומר. החלקיקים נעים ללא הרף לכל הכיוונים באי סדר ומתנגשים אלו באלו, ובתוך כך מתפזרים באופן אחיד (הומוגני) בחלל או בכלי. אם נשים גרגר קלי, $KMnO_4$, בכוס מים, הוא יתחיל להתמוסס:



נוכל לעקוב אחרי הפיעפוע של הצבע הסגול, האופייני ליון העל-מנגנתי, MnO_4^- .

בתחילת התהליך ריכוז* יוני הקלי גבוה במיוחד סביב הגרגר, ואפסי בנקודות רחוקים ממנו. זוהי תנועה על פי מפל ריכוזים - תנועת חלקיקים מריכוז גבוה אל ריכוז נמוך בחלקים שונים של התמיסה. כתוצאה ממפל הריכוזים נגרמת דיפוסיה, ממקום המצאו של גרגר הקלי אל שאר חלקי הכלי. זמן מה לאחר תחילתה דיפוסיה, קיים עדיין מפל ריכוזים בין האזורים השונים שבכלי, אך הוא קטן יותר. בסוף התהליך פיזור החלקיקים בכלי הוא אחיד, ומפל הריכוזים נעלם. יש לציין, כי גם אז תנועת החלקיקים אינה פוסקת.

דיפוסיה מתרחשת גם במעבר של גזים וחומרים מומסים דרך קרום חצי חדיר - בררני, כל עוד אין חלקיקי החומרים הללו גדולים מכדי לעבור ברווח, שבין מולקולות הקרום עצמו. קרום, המאפשר לחלקיקים מסוימים לעבור ולאחרים לא, נקרא קרום בררני או קרום חדיר למחצה. ישנם מספר נורמים, המשפיעים על מהירות הדיפוסיה: מפל הריכוזים, שטח הדיפוסיה, מרחק התנועה של החלקיקים, גודל החלקיקים והטמפרטורה. דיפוסיה המתבצעת דרך קרום התא תלויה, כמוכן, גם בעובי הקרום ובמהות החלקיקים העוברים דרכו, כלומר בחדירות הקרום.

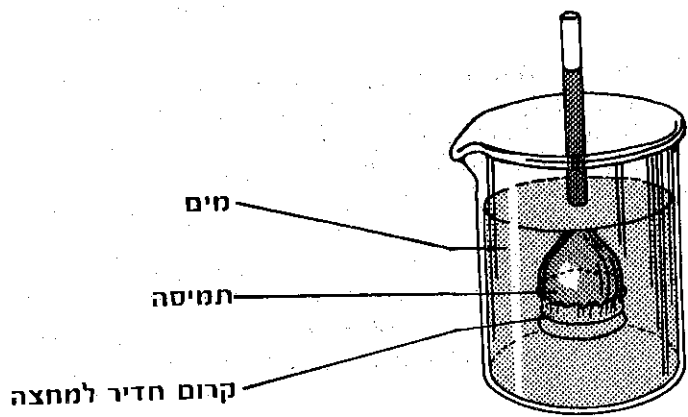
חומרים העשויים לעבור בקלות יחסית דרך קרום התאים הם מולקולות קטנות כגון חמצן, O_2 , פחמן דו-חמצני, CO_2 , מים, H_2O , ויונים כגון יון נתרן, Na^+ , יון אשלגן, K^+ ויון כלור, Cl^- .

3.5.3 אוסמוזה

חדירותו של קרום התא למים, לגזים ולמומסים שונים נובעת, כאמור, ממבנהו של הקרום ומגודל הנקבים שבו. אם מצידו האחד של הקרום מצויים חלקיקים גדולים יחסית, המומסים במים, כגון מולקולות של סוכר או חלבון, תימנע הדיפוסיה שלהם אל צידו השני. אי החדירות של הקרום למולקולות הסוכר או החלבון אינה מונעת את דיפוסית הממס - מולקולות המים עצמן - דרך הקרום. דיפוסיה של ממס (כגון מים) דרך קרום בעל חדירות חלקית קרויה אוסמוזה. אוסמוזה מתרחשת, כאשר בין שתי תמיסות בעלות ריכוזים שונים של מומסים כגון, גלוקוז או חלבון, מפריד קרום חדיר למחצה. אי חדירות הקרום לחלקיקים הגדולים של המומסים גורמת לכך שהממס נע, מהתמיסה בעלת הריכוז הגמור אל התמיסה בעלת הריכוז הגבוה. התמיסה המרוכזת נמהלת עקב הוספת הממס ואילו התמיסה המהולה "מאבדת" ממס והופכת מרוכזת יותר. אם תהליך האוסמוזה נמשך זמן רב למדי ריכוז שתי התמיסות משתווה.

עבור מולקולות קטנות או יונים קטנים, כדוגמת מים, יון נתרן או יון כלור, קרום בררני "אינו מהווה מכשול". לכן תנועתם של חלקיקים אלו מתנהלת לפי עקרונות הדיפוסיה, כלומר במגמה לבטל את מפל הריכוזים**. לא כך הדבר עבור מולקולות גדולות. ניתן לכתוב מערכת עם קרום בררני, שלא בגוף החי, כמתואר בניסוי הבא. לכוט שכצידו הבא, המכילה מים, הוכנס מיכל, שבקצהו העליון צינורית והמכוסה בתחתיתו בקרום חדיר למחצה. למיכל הוכנסה תמיסת סוכר מרוכזת. בתחילת הניסוי גובה התמיסה הוא כגובה המים בכוס. אילו חלקיקים ימועו דרך הקרום? לאיזה כיוון תהיה תנועת החלקיקים?

*ריכוז מוגדר ככמות מומס ליחידת נפח של תמיסה ויילמד בהרחבה בפרק הרביעי.
**יכתאים בגוף החי, החלקיקים נעים, לעיתים, בניגוד למפל הריכוזים מאחר ופועלים עליהם כוחות נוספים. על כך חקרא בסעיף הבא.



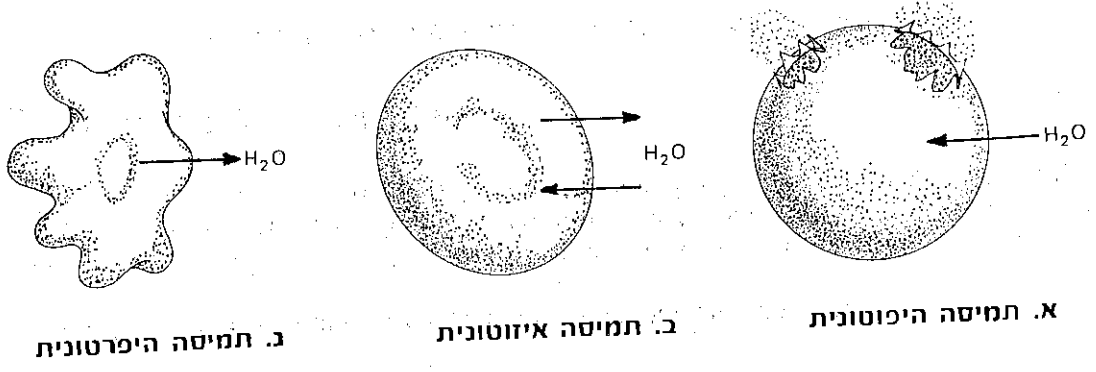
ציר 3.11: אוסמוזה דרך קרום בררני

מולקולות הסוכר אינן יכולות לעבור דרך הקרום, ולכן רק מולקולות המים עוברות מהכוס אל המיכל ומהולות את תמיסת הסוכר. המים שחודרים למיכל עולים בצינור ומפעילים לחץ (כוח ליחידת נפח), כפי שמפעיל כל עמוד של נוזל. תהליך זה הוא תהליך של אוסמוזה, והלחץ המופעל במהלכו קרוי לחץ אוסמוטי. ללחץ האוסמוטי חשיבות רבה בבקרה של מאזן נוזלים ואלקטרוליטים בגוף.

אם נתבונן במיקרוסקופ ברגימת דם, המבילה כדוריות דם אדומות, הנמצאת במים מזוקקים נוכל להבחין כי הכדוריות מתנפחות ומתפוצצות עקב חדירת מים בכמות מוגברת אל תוך הכדוריות. תהליך זה קרוי המוליזה (hemolysis). תמיסה אשר ריכוזה נמוך מהריכוז המצוי בתא (לחצה האוסמוטי נמוך מהלחץ האוסמוטי המצוי בתא) נקראת תמיסה היפוטונית. (היפו = תת, טונוס = מתח).

כדוריות דם אדומות כדגיימת דם נוספת, שתושם בתמיסה מימית מרוכזת של מלח כישול תתכווצנה עקב יציאת מים מהכדוריות אל התמיסה המרוכזת. תמיסה אשר ריכוזה גבוה מהריכוז המצוי בתא (לחצה האוסמוטי גבוה מהלחץ האוסמוטי המצוי בתא) נקראת תמיסה היפרטונית. (היפר = יתר).

מה יקרה לכדוריות דם אדומות כאשר תושמנה בתמיסת סליין?
 - דבר לא יתרחש! קצב יציאת המים מהכדוריות זהה לקצב חדירת המים אליהן, ולכן הכדוריות תשארנה ללא שינוי. תמיסה אשר ריכוזה שווה לריכוז המצוי בתא (לחצה האוסמוטי שווה ללחץ האוסמוטי המצוי בתא) נקראת תמיסה איזוטונית. (איזו = שווה). תמיסת סליין היא דוגמה לתמיסה איזוטונית.



ג. תמיסה היפרטונית

ב. תמיסה איזוטונית

א. תמיסה היפוטונית

ציר 3.12: אוסמוזה בתאי דם אדומים

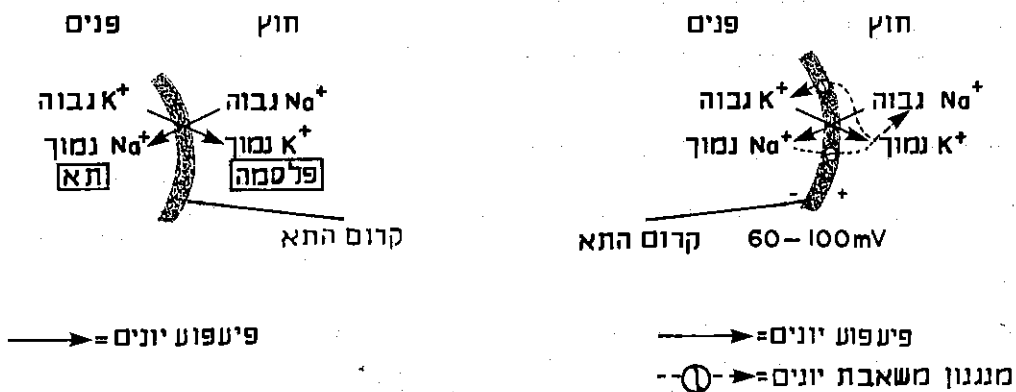
הקרומים העוטפים את נוזלי התאים הם קרומים בררניים. יוני נתרן, Na^+ , מצויים בגוף בעיקר בנוזל החוץ תאי, ויוני אשלגן, K^+ , מצויים בעיקר בנוזלים התוך-תאיים (בתאי הדם והרקמות ובמערכת העצבים). היונים הללו הם חלקיקים קטנים יחסית, ויכולים לעבור דרך ממברנות התאים - קרומי התאים, המבדילים בין נוזלי חוץ ופנים. בגלל מפל הריכוזים נצפה כי יונים מסוגים שונים ינועו מסביבה בעלת ריכוז גבוה לסביבה בעלת ריכוז נמוך עד להשוואת הריכוזים.

כיצד, אם כן, קורה שבתוך התא ריכוז יוני האשלגן גבוה ומחוצה לו נמוך, ואילו ריכוז יוני הנתרן גבוה מחוץ לתא ונמוך בתוכו? כיצד נשמר כגוף ההבדל בריכוז היונים בנוזלים השונים? תהליכי הדיפוזיה והאוסמוזה, בהם דנו עד עתה, הם תהליכים הנקראים תהליכי העברה סבילים (passive transport) ואינם צורכים אנרגיה. אולם בגוף קיימים גם תהליכי העברה פעילים (active transport) הצורכים אנרגיה והמסתייעים באנזימים.

משאכת יונים היא אחת הדוגמאות להעברה פעילה, המתבצעת בניגוד למפל הריכוזים. יוני הנתרן והאשלגן נלכדים באיזורים, בהם ריכוזם נמוך, ומועברים לאיזורים בהם ריכוזם גבוה על ידי האנזים נתרן-אשלגן ATPase.

יוני נתרן ואשלגן שומרים על לחץ אוסמוטי קבוע בנוזל החוץ-תאי והתוך-תאי. הם מווסתים תגובות של רקמות עצב ושריר הלב. ליון נתרן תפקידים רבים בנוזל החוץ-תאי, כיניהם סיוע בהובלת גלוקוז וחומצות אמיניות אל התא. ליון האשלגן תפקידים רבים בנוזל התוך-תאי. הוא נחוץ לתהליך אנזימטי של פרוק הגלוקוז. תפקידיה של משאכת היונים הם:

- א. להוציא החוצה יוני נתרן שחדרו לתא.
- ב. לשמור על רמה קבועה של יוני אשלגן בתאים.



ציר 3.13: מנגנוני פיעפוע ו"משאכת יונים" של מעבר קטיונים דרך קרומי התא.

3.6 היונים והטבלה המחזורית

יונים עשויים להיות פשוטים, כלומר אטום אחד בלבד, שעליו מטען (חיובי או שלילי), או מורכבים מיותר מאטום אחד. יון המורכב מאטום אחד בלבד, נקרא יון חד אטומי, יון המורכב מיותר מאטום אחד, נקרא יון רב אטומי. סכלת היונים (טבלה 3.4) מתארת את רוב היונים החד אטומיים והרב אטומיים הנפוצים.

התבונן בטבלת היונים ומצא את מיקומם של היונים בגוף האדם, שהופיעו בטבלה 3.3.

יאנזימים - זרזים כימיים של תהליכים המתרחשים בתא החי. כל האנזימים הם חלבונים.

טבלת יונים (חלקית)

סמל אטומי: 87
 קטן: Zn²⁺
 שם היון: זינק
 * מיונים בלבד
 יונים כהים
 בתלבושת נורמלית

C₂O₄²⁻
 אוקסליט
 CO₃²⁻
 כרמט
 HCO₃⁻
 מרק פחמני

H₃O⁺
 הידרוניום
 OH⁻
 הידרוקסיד

NH₄⁺
 אמוניום
 NO₂⁻
 ניטריט
 NO₃⁻
 ניטרייט

PO₄³⁻
 פוספייט
 HPO₄²⁻
 הידרופוספייט
 H₂PO₄⁻
 די-הידרו פוספייט

HS⁻
 הידרסולפיד
 SO₃²⁻
 סולפייט
 HSO₃⁻
 הידרוסולפייט
 HSO₄⁻
 הידרוסולפייט

CrO₄²⁻
 כרומוייט
 Cr₂O₇²⁻
 די-כרומוייט

MnO₄⁻
 פרמנגייט

ClO⁻
 הופקליוריט
 ClO₂⁻
 כלורייט
 ClO₃⁻
 כלורייט
 ClO₄⁻
 פרקלורייט

| | | | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | H ⁺ מפרוטון | | | | | | | | | |
| 3 | Li ⁺ ליטיום | | | | | | | | | |
| 4 | Be ²⁺ ביריום | | | | | | | | | |
| 11 | Na ⁺ נאטריום | | | | | | | | | |
| 12 | Mg ²⁺ מגנזיום | | | | | | | | | |
| 19 | K ⁺ קאליום | | | | | | | | | |
| 20 | Ca ²⁺ קלור | | | | | | | | | |
| 24 | Cr ³⁺ כרום III | | | | | | | | | |
| 25 | Mn ²⁺ מנגן II | | | | | | | | | |
| 26 | Fe ³⁺ ברזל III | | | | | | | | | |
| 26 | Fe ²⁺ ברזל II | | | | | | | | | |
| 29 | Cu ²⁺ נחושת II | | | | | | | | | |
| 29 | Cu ⁺ נחושת I | | | | | | | | | |
| 30 | Zn ²⁺ צ'ינק | | | | | | | | | |
| 47 | Ag ⁺ כסף | | | | | | | | | |
| 53 | I ⁻ ייוד | | | | | | | | | |
| 54 | Xe | | | | | | | | | |
| 55 | Cs ⁺ צזיום | | | | | | | | | |
| 56 | Ba ²⁺ בריום | | | | | | | | | |
| 57 | Rb ⁺ רובריום | | | | | | | | | |
| 37 | Rb ⁺ רובריום | | | | | | | | | |
| 38 | Sr ²⁺ סטרונטיום | | | | | | | | | |
| 58 | Zr | | | | | | | | | |
| 59 | Nb | | | | | | | | | |
| 60 | Mo | | | | | | | | | |
| 61 | Tc | | | | | | | | | |
| 62 | Ru | | | | | | | | | |
| 63 | Rh | | | | | | | | | |
| 64 | Pd | | | | | | | | | |
| 65 | Ag | | | | | | | | | |
| 66 | Cd | | | | | | | | | |
| 67 | In | | | | | | | | | |
| 68 | Sn | | | | | | | | | |
| 69 | Pb | | | | | | | | | |
| 70 | Tl | | | | | | | | | |
| 71 | Po | | | | | | | | | |
| 72 | Bi | | | | | | | | | |
| 73 | Po | | | | | | | | | |
| 74 | At | | | | | | | | | |
| 75 | Sb | | | | | | | | | |
| 76 | Te | | | | | | | | | |
| 77 | I | | | | | | | | | |
| 78 | Xe | | | | | | | | | |
| 79 | Br | | | | | | | | | |
| 80 | Kr | | | | | | | | | |
| 81 | Se | | | | | | | | | |
| 82 | Te | | | | | | | | | |
| 83 | Bi | | | | | | | | | |
| 84 | Po | | | | | | | | | |
| 85 | At | | | | | | | | | |
| 86 | Rn | | | | | | | | | |
| 87 | Fr | | | | | | | | | |
| 88 | Ra | | | | | | | | | |

3.6.1 האלקלים

יוני נתרן ויוני אשלגן הם בין הקטיונים החשובים ביותר, המצויים בנוזלי הגוף. היסודות נתרן ואשלגן מופיעים במערכת המחזורית בטור הראשון (זה מתחת לזה). כל היסודות, המופיעים בטור זה, נקראים אלקלים, והם מסווגים כמתכות. כפי שלמדת, האופיני לכל היסודות בטור זה הוא קיומו של אלקטרון ערכי אחד. לפיכך, היונים שלהם טעונים במטען חיובי (+1). קטיון הנתרן הוא אחד המרכיבים בתרכובות יוניות רבות. להלן מספר דוגמאות: נתרן כלורי, NaCl , נתרן הידרוקסיד, NaOH , נתרן מימן פחמתי, NaHCO_3 , ונתרן פחמתי, Na_2CO_3 .

היון ההידרוקסיד, OH^- , היון מימן פחמתי, HCO_3^- והיון הפחמתי, CO_3^{2-} הם דוגמאות של יונים רב אטומיים. היון ההידרוקסיד והיון מימן פחמתי הם יונים מורכבים הנושאים, כל אחד בנפרד, מטען שלילי אחד בלבד, ולכן הם מופיעים בתרכובות עם קטיון נתרן אחד. היון הפחמתי, לעומת זאת, טעון מטען שלילי כפול, ולכן הוא מופיע בתרכובת נתרן פחמתי, שצוינה לעיל, עם שני קטיוני נתרן, כך שהמטען הכולל של התרכובת הוא אפס.

3.6.2 האלקלים העפרוריים

שני יסודות נוספים, החשובים לבנינו של גוף האדם, הם מנזיום וסידן, שהוזכרו בתחילת הפרק ונם בטבלה 3.3. יסודות אלו הם ציביה של קבוצת יסודות, הנקראת אלקלים עפרוריים. האלקלים העפרוריים, כמו האלקלים, מסווגים כמתכות. הם מופיעים בטבלה המחזורית בטור השני, כלומר, הם בעלי שני אלקטרונים ערכיים. מכאן נובע, כי מטען יוני האלקלים העפרוריים הוא (+2): Ca^{2+} , Mg^{2+} .

מים המכילים יוני סידן ויוני מנזיום קרויים מים קשים. התכונה המאפיינת מים קשים היא יצירת משקע עם סבון והרס יכולתו של הסבון ליצור קצף במים. מסיבה זו משתמשים כיום לכביסה בדטרגנטים, שאינם יוצרים משקע בנוכחות מים קשים.

קטיוני Mg^{2+} מצויים בעיקר בנוזל התוך-תאי, והם חיוניים לפעולתם של אנזימים רבים, ביניהם לאלו, העוזרים לפירוק הגלוקוז. המגנזיום מצוי בכל מקורות המזון שאנו צורכים ובעיקר בצמחים ירוקים, המכילים כלורופיל (פיגמנט המקנה לצמח את צבעו הירוק). אדם, הניזון מדיאטה מעורבת רגילה, אינו עלול להחשף למצב של חוסר מגנזיום.

מצב של רמת יוני מגנזיום כדם, הנמוכה מהרגיל, קרוי היפומגנזמיה (*hypomagnesemia*). הדבר יכול לקרות לאחר ניתוח כמערכת העיכול והזנה ממושכת דרך הוריד, כאשר נוזלי האינפוזיה אינם מכילים Mg^{2+} . מצב כזה יכול להגרם גם כתוצאה משילשולים והקאות ממושכים, בעיקר אצל תינוקות. היפומגנזמיה עלולה לגרום לרעידות שרירים, להתכווצויות וללחץ דם גבוה.

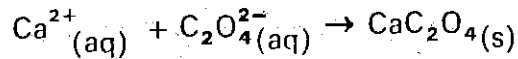
ירידת רמת המגנזיום כדם איטית כגלל קיום מאגר גדול של מגנזיום בעצמות. לכן כורקים שינויים כרמתו בעזרת קביעת כמות המגנזיום כשתן לאחר הזרקה מלחי מגנזיום לדם. כגוף, הסוכל מחוסר מגנזיום, ההפרשה דרך השתן תהיה קטנה בהרבה מן הכמות שהוזרקה.

קטיון הסידן מהווה מרכיב של מלחים רבים, חלקם הגדול תמרים קשי תמס - בלתי מסיסים במים. החשובים שבמלחים אלו הם:

1. CaCO_3 - סידן פחמתי, הבונה את אבן הניר, את השיש ואת אבן הקומקום.
2. Ca(OH)_2 - סידן הידרוקסיד, שמתמיסתו מכינים מי סיד צלולים. שים לב, סימול הסוגרים בא להדגיש כי היון הוא רב אטומי, והספרה 2 מציינת, כי היון המורכב מופיע פעמיים בתרכובת זו.

3. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ - סידן זרחתי, המצוי בעיקר במכרות הפוספטים ומשמש כדשן. בגוף הוא מרכיב של העצמות והשיניים.

4. CaC_2O_4 - סידן אוקסלטי, המשמש למניעה של קרישת דם. יון הסידן נחוץ לקרישת הדם. מאחר והוא מצוי תמיד בדם, דם הנלקח למבחנה נקרש במהירות. כדי למנוע קרישה זו נהוג להוסיף נתון אוקסלטי לדם טרי. התגובה היא בין יון הסידן שבדם לבין יון אוקסלט שהוסף ליצירת חומר קשה תמס - סידן אוקסלטי. להלן ניסוח התהליך:



מאחר וכמות יוני הסידן בדגימת דם היא זעירה, גם כמות המשקע של סידן אוקסלטי שנוצרת הינה כה קטנה, שלא נבחין בו.

הסידן מצוי בגופנו בעיקר בקטיון Ca^{2+} , והוא נחוץ לכנין העצמות והשיניים. כמותו בגוף הינה 1000-1200 גרם. 99% ממנו מצוי בעצמות ורק 1% ברקמות רכות ובנוזלי גוף.

מקורות יון הסידן כמזון הם חלב ותוצרתו, פירות, ירקות ומים קשים. רמת יון סידן נמוכה בדם, הקרויה היפוקלצמיה (hypocalcemia), עלולה להגרם בין היתר על ידי ירידה ברמת ויטמין D, העוזר לקליטתו. בהיפוקלצמיה יש נרידה חלקית של יון הסידן שבעצמות אל הרם, וכתוצאה מכך העצמות מתרככות ונוצרים עיוותים בשלד. מחלה זו נקראת רככת בילדים ואוסטיופורוזיס (Osteoporosis) בזקנים.

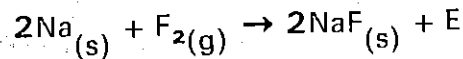
3.6.3 ההלוגנים

נתבונן שוב בטבלה 3.2 ונשווה אותה לטבלה 3.3. נוכל להבחין כי איזור האלמנטות (הכהיר) בטבלה 3.2 מתאים לרוב האניונים, המתוארים בטבלה 3.3. קבוצת האניונים, המשתתפת בכנין גופנו, שייכת לטור השביעי, ויסודות טור זה קרויים הלוגנים. ההלוגנים הם אלמנטות וכוללים: פלואור, F; כלור, Cl; ברום, Br; יוד, I. היסודות הללו מופיעים בטבע כמולקולות דו-אטומיות: I_2 , Br_2 , Cl_2 , F_2 .

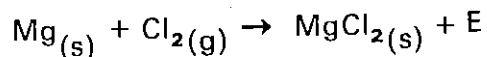
הברום הנקי, Br_2 , שצבעו חום והמצוי במצב נוזלי בטמפרטורת החדר, הינו מסוכן, כי הוא גורם לכוויות. אדי הברום דעילים מאד. הם פוגעים בעיניים ובגרון וגורמים לחנק. פרוש המילה ברום כיוונית הוא "מסריח". ברום וכלור משמשים כחומרי חיטוי נגד חיידקים, בעיקר בכריכות ובמאגרי מים.

יוני ההלוגנים מצויים בטבע כמלחים ומכאן שמם כיוונית: "הלוס" = מלח, "ן" = יוצר, כלומר "יוצרי מלחים". המאגר הגדול ביותר של יוני ההלוגנים הוא מי הים, מהם מפיקים בעיקר את המלח הנפוץ ביותר - מלח הבישול, NaCl.

מלחי ההלוגנים ניתנים להכנה במעבדה על ידי תגובה בין ההלוגנים ומתכות. לדוגמה, יצירת נתון פלואורי מתוארת בתגובה הבאה:

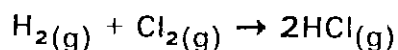


בתגובה משתחררת אנרגיה* ונוצר מוצק יוני, הבנוי מיוני נתון, הטעונים מטען חיובי, (+1), ומיוני פלואור, הטעונים מטען שלילי, (-1). נתון פלואורי מתמוסס במים בקלות ומוליך חשמל בתמיסה מימית. דוגמה נוספת לתגובת הלוגן עם מתכת היא:

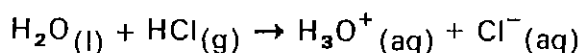


*ברור, כי כמות האנרגיה הנפלטת, אינה זהה ככל התגובות.

גם מגנזיום כלורי הוא חומר יוני, ותמיסתו המימית מוליכה חשמל. האיזונים של ההלוגנים קרויים הלידים, והם: F^- , Cl^- , Br^- ו- I^- . כאשר ההלוגנים מניבים עם גז מימן נוצר הנז מימן הלידי:

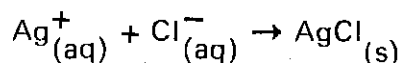


הגז מימן כלורי, $HCl(g)$, מגיב עם מים, והתמיסה המתקבלת היא חומצה כלורית, הקרויה גם חומצה מלחית:

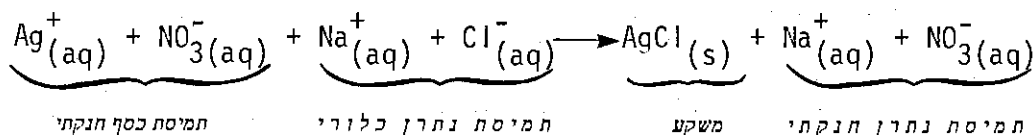


יון הכלוריד, Cl^- , מצוי בעיקר בנוזל החוץ-תאי, ומקורו לגוף הוא מלח הבישול. חשיבות היון Cl^- הינה גם כהיותו מרכיב החומצה המלחית, HCl , המצויה בקיבה. החומצה המלחית שומרת על רמת חומציות, המתאימה לפעילות אנזימי הקיבה. כגוף יתכן מצב של עודף חומצה מלחית בקיבה, דבר הגורם לכיב קיבה - אולקוס. קיים גם מצב, שבו דמת יוני הכלור בדם נמוכה מהרגיל - היפוכלורמיה (*hypochloremia*), הנגרם עקב הקאות, שלשולים ממושכים או הזעה מדוּכָה. כרוך כי יון Cl^- אינו מופרש לבדו, אלא תמיד בלווי של קטיון. במקרה של זיעה או דמעות, מופרשת למעשה תמיסת נתרן כלורי, מאחר והיון Na^+ הוא הקטיון העיקרי בנוזל החוץ-תאי.

נוכחות יון כלור במים ניתנת לבדיקה קלה בעזרת תמיסת כסף חנקתי, $AgNO_3$. לפי טבלת היונים נוכל לראות, כי התמיסה הזאת מכילה יוני כסף, Ag^+ , ויונים חנקתיים, NO_3^- . יוני הכסף מגיבים עם יוני הכלור ונוצר מלח קשה תמס לבן, כסף כלורי:

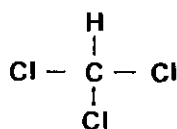


הניסוח הרשום הוא "ניסוח נטו", כלומר, ניסוח מצומצם. ניתן לרשום לתנוכה נם ניסוח מלא:

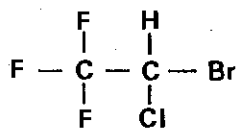


היונים המלווים, יון נתרן ויון חנקתי, מתרבים בתמיסה גם אחרי תגובת השיקוע, ולכן אינם מופיעים בניסוח נטו.

כעבר השתמשו כחומר המרדים כלורופורם, $CHCl_3$. השימוש בו הופסק בגלל היותו חומר מסרטן. גם הלוחן C_2HF_3ClBr (*Halothane*), הוא חומר מדדים, הגורם לדיכוי פעילות הלכ והריאות. יתרונו ככך, שהוא כמעט אינו גורם תופעות לוואי.



כלורופורם:



הלוחן:

3.6.4 יסודות קורט

יסודות, המצויים בגוף האדם, בנופם של בעלי חיים ובמזון בכמויות קטנות מאד נקראים יסודות קורט (trace elements). כל אחד ממרבית היונים, שהזכרנו בפרק זה, מהווה 0.01%-2% ממשקלו של גוף האדם, ואילו יסודות הקורט מצויים בכמויות הקטנות מ-0.01%. נתבונן במספר דוגמאות, המופיעות בטבלה הבאה:

| שם היסוד | מספר אטומי | סימול היון | % היון בגוף האדם |
|----------|------------|-------------------------------------|------------------|
| פלואור | 9 | F ⁻ | 0.009 |
| נתרן | 11 | Na ⁺ | 0.109 |
| מגנזיום | 12 | Mg ²⁺ | 0.036 |
| כלור | 17 | Cl ⁻ | 0.156 |
| אשלגן | 19 | K ⁺ | 0.265 |
| סידן | 20 | Ca ²⁺ | 2.01 |
| ברזל | 26 | Fe ²⁺ , Fe ³⁺ | 0.01 |
| קובלט | 27 | Co ³⁺ | 0.001 |
| נחושת | 29 | Cu ⁺ , Cu ²⁺ | 0.002 |
| אבץ | 30 | Zn ²⁺ | 0.002 |

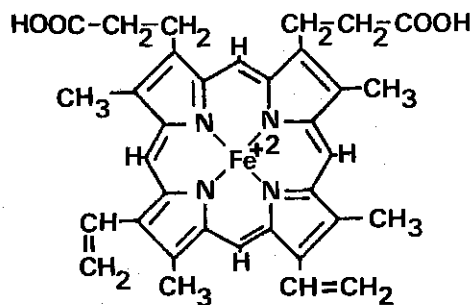
טבלה 3.5: יסודות הקורט והיונים שלהם בגוף האדם

התבוננות בטבלה 3.5 מראה, כי היון פלואור נכלל ביסודות הקורט, אף שהוזכר בקבוצת ההלוגנים. יון הכלור, שאף הוא שייך לקבוצת ההלוגנים, מצוי בגופנו בכמות, העולה על 0.01%. כמתואר בטבלה, היונים של נחושת, ברזל, קובלט ואבץ נכללים בקבוצת יסודות הקורט. רוב יסודות הקורט ידועים כחיוניים לחיים. הם נמצאים בגוף האדם הבריא, והעדרם או מחסורם גורר הפרעות פיסיולוגיות. הוספתם של היסודות החסרים למזון החולה עשויה לרפא הפרעות אלו.

כניגוד לסידן, שהוא מרכיב בסיסי של השלד, יסודות הקורט חיוניים לפעולתם של אנזימים, ולכן הם נחוצים רק בכמויות זעירות. מכיוון שלא נוכל לדון בכל יסודות הקורט, בחרנו בברזל, שהוא החשוב מכולם, ועליו נרחיב מעט.

כמות כמות הברזל בגוף האדם מתפלגת באופן הבא: 66% בהמוגלובין, 10% בכבד, בטחול, במוח העצמות ובכליות, והשאר מעורב ביצירת חלבונים. הברזל מעורב באופן כמעט בלעדי בתהליך הנשימה, בהיותו מרכיב חשוב של מולקולת ההמוגלובין. הברזל מהווה מרכיב גם במולקולת המיוגלובין. המוגלובין ומיוגלובין הם חלבונים. תפקיד ההמוגלובין הוא הובלת חמצן בדם, ואילו תפקיד המיוגלובין הוא אחסון חמצן בשרירים. בשני החלבונים הללו מופיע הברזל כקטיון Fe²⁺.

מולקולת המיוגלובין בנויה משרשרת של 153 חומצות אמיניות. מולקולת ההמוגלובין בנויה מארבע שרשרות, שתיים מהן בעלות 141 חומצות אמיניות כל אחת ושתיים בעלות 146 חומצות אמיניות כל אחת. כל שרשרת מחזיקה קבוצת הם (Heme), שבמרכזה יון הברזל Fe²⁺, כמתואר בציור הבא.



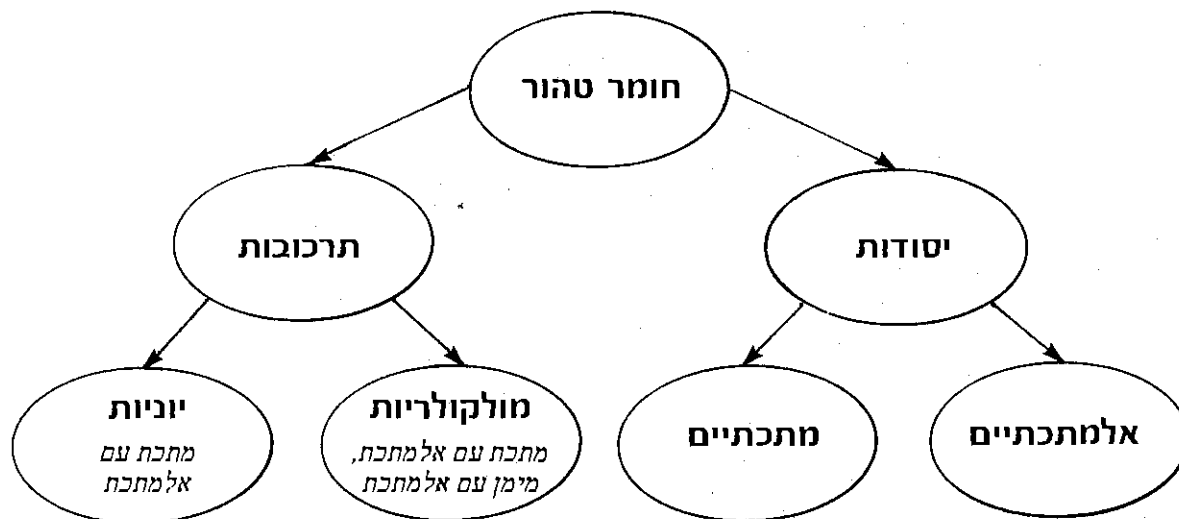
ציור 3.14: מולקולת הם

כל קבוצת הם קושרת אליה מולקולת חמצן אחת, לכן ההמוגלובין קושר אליו ארבע מולקולות חמצן, ואילו המיוגלובין קושר אליו מולקולת חמצן אחת בלבד.

כרזל מצוי בכמות גדולה וזמינה לגוף כאיכרים פנימיים מהחי, כגון בכבד, טחול, מוח וכליות. כגוף האדם יש כ-7 גר' כרזל. מצב של ירידה ברמת יוני כרזל בדם קרוי אנמיה, והוא עלול להגרם עקב דיאטה עשירה בדרגנים ודלה בכשר, הפרעות בעיכול או שלשולים, וכן איבוד דם רב כתאונה, הריון או לידה. קיים גם מצב של עודף יוני כרזל בדם עקב קבלת ערווי דם חוזרים או אנמיה המוליטית, כה יש פרוק מוגבר של כדוריות דם אדומות. מטפלים כאנמיה בעזרת כדורי כרזל גופרתי, $FeSO_4$.

3.7 סיכום

היחסים בין סוגי היסודות והתרכובות, בהם עסקנו בפרק השני ובפרק השלישי, מתוארים באופן סכמטי בציור הבא.



ציור 3.15: סוגי יסודות ותרכובות והיחסים ביניהם

3.8 רשימת מושגים

יון, קטיון, אניון
אלקטרודות, מוליכות חשמלית, אלקטרוליט
מוצק יוני, קשר יוני, יון מלווה
מתכת, אל-מתכת
נוזל תוך-תאי, נוזל חוץ-תאי
דיפוסיה, מפל ריכוזים, אוסמוזה, לחץ אוסמוטי
חדירות קרום, קרום בררני (חדיר למחצה)
תמיסה היפוטונית, תמיסה איזוטונית, תמיסה היפרטונית
משאבת יונים
יון חד אטומי, יון רב אטומי
אלקלים, אלקלים עפרוריים
מים קשים, חומר קשה תמס
הלוננים, הלידים
יסודות קורט

3.9 שאלות לפרק השלישי

1. מדוע, לדעתך, דיפוסיה מתרחשת מהר יותר בתוך נוזל מאשר בתוך נוזל?
2. דגימת דם ניתנת להפרדה לתאים ולפלסמה. הפלסמה, שהינה צלולה, היא נוזל חוץ-תאי. דגימת דם של נבר מכילה 54% פלסמה ו-46% תאים. דגימת דם של אשה מכילה 58% פלסמה ו-42% תאים. נפח הדם בנוף אדם מבוגר הוא 3-7 ליטר בהתאם למשקל הגוף. מהו נפח הפלסמה של נבר ושל אשה שנפח דמם 5 ליטר?
3. ליתיום הוא יסוד השייך לאלקלים. אין הוא מצוי בנוף האדם, אך תרכובותיו משמשות כתרופות הרגעה.
 - א. בהתאם למיקומו של הליתיום בטבלה המחזורית, האם הוא מתכת או אל-מתכת?
 - ב. מהו מטענו של יון הליתיום? האם הוא קטיון או אניון?
 - ג. התרכובת ליתיום פחמתי היא אחת מתרופות ההרגעה. רשום את נוסחתה של התרכובת הזו. העזר בטבלת היונים.
4. החומר קלי מוכר ככבישים סבילים-אפורים, המשמשים לחיטוי. שמו הכימי של חומר זה הוא אשלגן על מנגנטי, והוא מורכב מקטיון חד אטומי ומאניון רב אטומי של היסוד מנגן. העזר בטבלת היונים וענה על השאלות הבאות:
 - א. מהי נוסחת הקלי?
 - ב. מה מטען הקטיון ומה מטען האניון?
5. הסידן מצוי במינרלים רבים. להלן מספר דוגמאות:

פלואורספר - CaF_2 Fluorspar, המשמש כספק טבעי של פלואור במקורות המים שלנו;

סידן זרחתי, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, אשר מינחים שמקורו נובע משיניים, עצמות ושלדי יצורים ימיים שהתפרקו;

סידן פחמתי, CaCO_3 , המצוי באבן גיר וכשיש.

בהתחשב בכך, שכל אחת מהתרכובות היא ניטרלית, מהי נוסחתו ומהו מטענו של האניון, הקשור ליון הסידן בכל אחת מן התרכובות הללו? העזר בטבלת היונים.
6. רשום את הנוסחות של התרכובות היוניות הבאות:

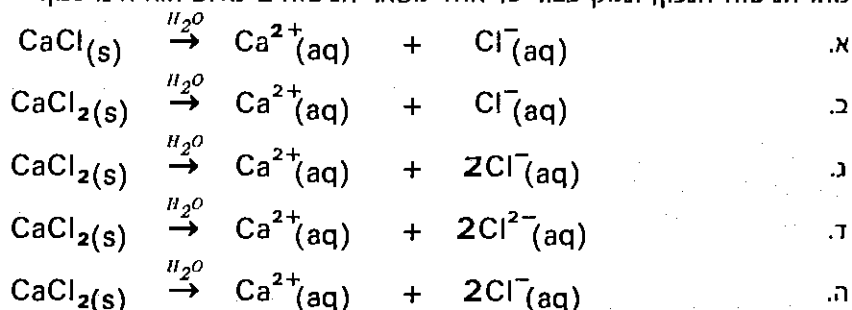
מנגניזום הידרוקסידי, אשלגן גופרתי, אמון זרחתי, כסף חנקתי.

7. בפרק השני ובפרק השלישי סקרנו יסודות, החיוניים לגוף האדם, אולם קיימים גם יסודות רעילים, אשר נוכחותם בגוף מעל כמות מסוימת מסכנת את בריאות האדם. דוגמה לכך היא העופרת, Pb. הרעלת עופרת מוגעת בתפקוד הכליות ובייצור התקין של ההמוגלובין. עופרת ברומית נספגת ישירות בגוף כתוצאה מפליטת נזים מרכב מזוהי.
- א. מצא היכן מופיע יון העופרת בטבלת היונים ומה מטענו ?
- ב. מספר הפרוטונים של אטום עופרת הוא 82. מה מספר האלקטרונים של האטום הניטרלי ושל היון ?
8. בתרשים הבא מצוינות שתי תמיסות, השונות באופי המומס שבהן.



- א. ציין שתי דוגמאות נוספות במקומות הריקים.
- ב. ציין מהם מצבי הצבירה של המומסים (העזר בטבלה 3.1).

9. לפניך שורת ניסוחים, האמורים לתאר בשפת הכימאים את תהליך ההמסה במים של המוצק סידן כלורי. ציין מהו הניסוח הנכון, ונמק עבור כל אחד משאר הניסוחים מדוע הוא אינו נכון.



10. לפניך טבלה, ובה נוסחותיהם של מספר חומרים, שהומסו במים.

| מוליכות חשמלית בתמיסה | נוסחת המומס |
|-----------------------|---------------------------------------|
| אין | CH_4O |
| אין | $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ |
| יש | $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ |
| אין | $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ |
| יש | $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ |

טבלה 3.6: מוליכות חשמלית של חומרים אחדים בתמיסה מימית

בהסתמך על נתוני הטבלה, ציין באילו מבין התמיסות המימיות קיימים יונים.

פרק רביעי: מבט אל הכימיה הכמותית - בדיקות מעבדה

בשני הפרקים הקודמים ערכנו הכרות עם מספר מולקולות יוניים. למדנו על המבנה של חלקיקים אלו ועל מספר תפקידים שלהם; עד כה טרם עסקנו בהיכט הכמותי.

קביעת כמות מדויקת של מולקולות יוניים כגוף האדם הינה כעלת חשיבות מכרעת כשמירה על כריאות תקינה. חולים כרוניים, למשל, ניזונים מדיאטות מיוחדות, בהן מחושבת כמותו של כל סוג חומר. כדיאטות מסוג זה יש צורך להקפיד, כי כמותו של יון מסוים (זוגמת Na^+) לא תעכור את הגבול המותר, כדי למנוע סיכונים.

רמת יוני נתרן גבוהה בדם נקראת היפרנתרמיה (Hypernatremia) ונגרמת עקב העדר שתיה מספקת, עורף פליטת מים (הוצעה מרובה), פעילות כליתית פגומה או עקב קבלת מלחי נתרן במנות גדולות. רמת יוני נתרן גבוהה בדם עלולה לגרום ללחץ דם גבוה. כדי לטפל במקרים אלו יש צורך בחישוב מדויק של מסת יוני הנתרן הנקלטת בגוף.

התופעות הקליניות של היפרנתרמיה הן: תחושת יובש, בצקת (הצטברות מים ברקמות), מינוט או העדר שתן ועליה בטמפרטורת הגוף.

4.1 המול

אם תפריטו היומי של אדם כולל 1.2 גרם מלח ביסול, NaCl , כמה גרם יוני נתרן וכמה גרם יוני כלור "אוכל" האדם ביום אחד?

אין בידנו תשובה לכך כי חסרים לנו נתונים כגון:

- מהי מסת אטום או יון הנתרן?
- מהי מסת אטום או יון הכלור?
- כמה יוני נתרן וכמה יוני כלור נמצאים כ-1.2 גרם מלח כיסול?

כימאים כמחקרם נוכחו לדעת, כי אטום אחד הוא כה קטן, עד כי לא ניתן לשקלו אפילו כמאזניים המשוכללים ביותר. מסיכה זו החליטו על יחידה משלהם. יחידה זו היא יחידה של כמות חומר, כשם שהק"ג היא היחידה למסה, מטר - היחידה לאורך ושביה - היחידה לזמן.

יחידת הכימאים קרויה מול (mole), והיא כמות חומר, הנכילה מספר מסויים של חלקיקים: אטומים, מולקולות, יונים וכו'. מספר החלקיקים המצויים במול אחד הוא עצום ונהוג לסמנו ב-N:

$$N = 6 \times 10^{23} = 600,000,000,000,000,000,000,000$$

ננסה להמחיש לעצמנו את גודלו של המול: קצב פעימות הלב הממוצע של אדם הוא כ-100 פעימות לדקה. מהו מספר פעימות הלב של אדם, החי שמונים שנה?

$$4.2 \times 10^9 = 100 \times 60 \times 24 \times 365 \times 80$$

פעימות
פעמוח
דקות
שעות
יממות
שנים

נחיי האדם
כדקה
כשעה
כיממה
כשנה
כחיי האדם

במשך כל שנות חייו פעם ליבו של אדם זה כ- 4.2×10^9 פעימות. מספר זה קטן בהרבה מ- N !

4.1.1 המתשה באמצעות ברגים

נתאר לעצמנו בית חרושת לברגים, המוכר ברגים קטנים (סוג א'), בינוניים (סוג ב'), גדולים (סוג ג') ואף גדולים מאוד (סוג ד'). בית החרושת מוכר קופסאות מכל הסוגים מבלי לספור כמה ברגים מצויים בכל קופסה. כיצד בכל זאת יודעים את מספר הברגים בכל קופסה?

בתחילת הייצור ספרו פעם אחת 100 ברגים מכל סוג והכיגו קופסאות בהתאם לכך. שקלו את הקופסאות השונות. להלן התוצאות שהתקבלו:

| סוג הבורג | מספר הברגים בקופסה | מסת קופסת הברגים (גרם)* |
|-----------|--------------------|-------------------------|
| א' | 100 | 10 |
| ב' | 100 | 20 |
| ג' | 100 | 50 |
| ד' | 100 | 100 |

טבלה 4.1: נתונים עבור דוגמת הברגים

המספר הקבוע (100) של הברגים בכל אחת מהקופסאות מקביל למספר הקבוע (N) של החלקיקים במול אחד של חומר. כפי שמסתה של קופסה מסוג אחד שונה ממסת קופסה מסוג אחר, כך שונה המסה של מול אטומי מימן מן המסה של מול אטומי חמצן.

נעקוב אחר נגר, הקונה 2 קופסאות ברגים מסוג א' וקופסה אחת של ברגים מסוג ג'. הוא יודע כי יהיו לו בנגריה ברגים מסוג א' בכמות כפולה מאשר ברגים מסוג ג', וכי יחס זה יתאים לבנית מדפים מסוג מסויים. עבור כל מדף מן הסוג הזה הוא זקוק לשני ברגים מסוג א' ולבורג אחד מסוג ג'. באופן דומה, מול מולקולות מים מורכב משגי מול אטומי מימן וממול אחד אטומי חמצן.

בנית מדף אחד מקבילה ל"בנית" מולקולה אחת של מים. הנגר לא יבנה מדף אחד בלבד, כי הדבר אינו כדאי מבחינה כלכלית. הכימאי לא יוכל "להכין" מולקולה אחת של מים, כי היא קטנה מדי. משום כך הכימאי משתמש במול ורגיל לחשוב כמונחים של מולים.

ניתן לדבר על מול אטומים, מול מולקולות, מול יונים ואפילו על מול אלקטרונים. ברור, איפוא, כי בכל מקרה עלינו לציין באילו חלקיקים אנו דנים.

* אנו מניחים כי המסה של קופסה ריקה היא זניחה.

4.1.2 חשיבה במונחים של מולים

נתבונן במספר מקרים כדי לתרגל "חשיבה" במונחים של מולים.

תרגיל 4.1:

כמה אטומים יש במול אטומי חמצן?

פתרון:

מול אטומי חמצן מכיל N אטומי חמצן שהם 6×10^{23} אטומי חמצן.

תרגיל 4.2:

מולקולת חמצן, O_2 , מכילה, כזכור, שני אטומי חמצן. כמה אטומים ישנם במול מולקולות חמצן?

פתרון:

$$1 \text{ מול מולקולות חמצן} = 2 \text{ מול אטומי חמצן} = 2 \text{ אטומי חמצן} \times 6 \times 10^{23} = 12 \times 10^{23}$$

מול מולקולות חמצן מכיל שני מול אטומי חמצן, שהם 12×10^{23} אטומים.

תרגיל 4.3:

כזכור, מולקולת מים, H_2O , מכילה 2 אטומי מימן ואטום חמצן אחד. ממה מורכב מול מולקולות מים?

פתרון:

$$2 \text{ אטומי מימן} + \text{אטום חמצן אחד} = \text{מולקולת מים אחת}$$

נכפול ב-N (שהוא המספר 6×10^{23}):

$$2N \text{ אטומי מימן} + N \text{ אטומי חמצן} = N \text{ מולקולות מים}$$

או, במילים אחרות:

$$2 \text{ מול אטומי מימן} + 1 \text{ מול אטומי חמצן} = 1 \text{ מול מולקולות מים}$$

מכאן: מול מולקולות מים מכיל שני מול אטומי מימן ומול אטומי חמצן.

תרגילים אלו מספקים מידע נוסף: סמלי היסודות, שעד עתה בטאו אטומים בודדים או מולקולות בודדות, מבטאים מעתה גם מולים; עד עתה סימל O אטום חמצן אחד. כעת נוכל לתאר באמצעותו גם 1 מול אטומי חמצן. O_2 , שסימל מולקולת חמצן, יתאר מעתה גם 1 מול מולקולות חמצן, המורכב מ-2 מול אטומי חמצן. באופן דומה, H_2O סימל מולקולת מים אחת, ויסמל מעתה גם 1 מול מולקולות מים, המורכב מ-2 מול אטומי מימן ומ-1 מול אטומי חמצן.

שים לב: לכימאי חשוב מספר המולים של כל חומר יותר מאשר המספר המדויק של האטומים או המולקולות, ולכן התשובה ניתנת, בדרך כלל, במונחים של מולים.

תרגיל 4.4: מולקולת גלוקוז, $C_6H_{12}O_6$, מכילה 6 אטומי פחמן, 12 אטומי מימן ו-6 אטומי חמצן. ממה מורכב מול מולקולות גלוקוז?

פתרון:

$$6 \text{ אטומי פחמן} + 12 \text{ אטומי מימן} + 6 \text{ אטומי חמצן} = \text{מולקולת גלוקוז אחת}$$

לאחר כפל ב-N נקבל:

$$6N \text{ אטומי פחמן} + 12N \text{ אטומי מימן} + 6N \text{ אטומי חמצן} = N \text{ מולקולות גלוקוז}$$

או, במילים אחרות:

$$6 \text{ מול אטומי פחמן} + 12 \text{ מול אטומי מימן} + 6 \text{ מול אטומי חמצן} = \text{מול מולקולות גלוקוז}$$

מכאן נובע, כי מול מולקולות גלוקוז מכיל 6 מול אטומי פחמן, 12 מול אטומי מימן ו-6 מול אטומי חמצן.

תרגיל 4.5: מלח בישול אינו מורכב ממולקולות, אולם מהנסחה $NaCl$ ניתן להסיק, כי בחומר זה יש יון נתרן אחד לכל יון כלור. ממה מורכב מול נתרן כלורי?

פתרון:

$$1 \text{ מול יוני נתרן} + 1 \text{ מול יוני כלור} = 1 \text{ מול מלח בישול}$$

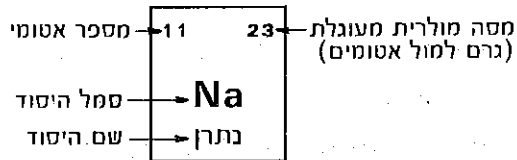
נתרן כלורי, בגלל היותו חומר יוני, אינו מורכב ממולקולות, אלא מיונים. $NaCl$, מסמל, איפוא, 1 מול נתרן כלורי, המורכב מ-1 מול יוני נתרן ומ-1 מול יוני כלור.

4.2 מסה מולרית של אטומי יסודות

בטבלה 4.1 רשומות המסות של קופסאות הברגים מכל סוג. בדומה לכך הוגדרה עבור כל יסוד המסה של מול אחד של אטומים, והיא נקראת **מסה מולרית** של אטומי היסוד הנתון. מידע זה מצוי בטבלה 4.2*, המהווה חלק מן הטבלה המחזורית. טבלה מחזורית שלמה מוצאת בסוף הספר.

המסה המולרית נמדדת ביחידות של גרם למול: gr/mol .

יהמסה המולרית ידועה כיום ביתר דיוק עבור רוב היסודות, אבל, כדי להקל עליך בתרגול, עוגלו המסות המולריות בטבלה.



| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|---------------------|----|-----------------------|----|---------------------|----|------------------|----|------------------|----|------------------|------|---------------------|----|
| 1 H מימן | 4 | | | | | | | 2 He הליום | 1 | | | | | | |
| 3 Li ליתיום | 7 | 4 Be בריליום | 9 | 5 B בור | 11 | 6 C פחמן | 12 | 7 N חנקן | 14 | 8 O חמצן | 16 | 9 F פלואור | 19 | 10 Ne ניאון | 20 |
| 11 Na נתרן | 23 | 12 Mg מגנזיום | 24 | 13 Al אלומיניום | 27 | 14 Si צורן | 28 | 15 P זרחן | 31 | 16 S גפרית | 32 | 17 Cl כלור | 35.5 | 18 Ar ארגון | 40 |
| 19 K אשלגן | 39 | 20 Ca סידן | 40 | 31 Ga גליום | 70 | 32 Ge גרמניום | 73 | 33 As ארסן | 75 | 34 Se סלן | 79 | 35 Br ברום | 80 | 36 Kr קריפטון | 84 |

טבלה 4.2: חלק מהטבלה המחזורית

כיצד נגטייע במושגים מול ומסה מולרית ?

תרגיל 4.6:

על-פי טבלה 4.2, המסה המולרית של אטומי מימן היא 1 גרם למול, המסה המולרית של אטומי פחמן היא 12 גרם למול ושל אטומי נתרן - 23 גרם למול.

כמה אטומי מימן, כמה אטומי פחמן וכמה אטומי נתרן נמצאים בכמויות אלה?

פתרון:

לפי ההגדרה, מסה מולרית היא מסת מול אחד של אטומי היסוד הנתון. מכאן 1 גרם אטומי מימן, 12 גרם אטומי פחמן ו-23 גרם אטומי נתרן מכילים אותו מספר אטומים שהוא $N = 6 \times 10^{23}$.

תרגיל 4.7:

אם נקח 0.1 גרם אטומי מימן, 1.2 גרם אטומי פחמן ו-2.3 גרם אטומי נתרן, מה יהיה מספר האטומים של כל אחד מהיסודות בכמויות אלו?

פתרון:

מאחר והמסות שצויינו קטנות פי 10 מהמסות המולריות המתאימות, גם מספר האטומים קטן פי 10 מ-N. גם כאן נמצא אותו מספר אטומים בשלושת המדגמים, והוא 6×10^{22} אטומים. במילים אחרות, בכל מדגם יש 0.1 מול אטומי יסוד.

בטבלה הבאה נתונות דוגמאות נוספות, המבחירות את הקשר שבין כמות חומר ומספר המולים שלו.

| הסימול | מספר המולים של החומר | כמות החומר |
|-----------------|----------------------|-------------|
| H ₂ | 1 מול מולקולות מימן | 2 גרם מימן |
| 2H | 2 מול אטומי מימן | 2 גרם מימן |
| *C | 1 מול אטומי פחמן | 12 גרם פחמן |
| *Na | 1 מול אטומי נתרן | 23 גרם נתרן |
| Cl ₂ | 1 מול מולקולות כלור | 71 גרם כלור |
| 2Cl | 2 מול אטומי כלור | 71 גרם כלור |

טבלה 4.3: מספר המולים בכמויות נתונות של יסודות אחדים

שים לב לכך, שניתן להתייחס ל-2 גרם מימן הן כאל מול מולקולות מימן והן כאל שני מול אטומי מימן, כמפורט בטבלה. אותו הדין חל לגבי 71 גרם כלור.

כעת נוכל להגדיר מסה מולרית של מולקולות יסוד כמסה של מול מולקולות של אותו היסוד. מכאן נובע, כי המסה המולרית של מולקולות מימן, הרשומה בטבלה 4.3, היא 2 גרם למול, והמסה המולרית של מולקולות כלור היא 71 גרם למול.

תרגיל 4.8:

- כמה מול אטומי חמצן יש ב-32 גרם חמצן?
- מהי המסה המולרית של מולקולות חמצן?

פתרון:

ב-32 גרם חמצן יש שני מול אטומי חמצן. מולקולת החמצן היא דו-אטומית. מול מולקולות חמצן מכיל שני מול אטומי חמצן ולכן מסתו $32 = 16 \times 2$ גרם. המסה המולרית של מולקולות חמצן היא 32 גרם למול.

4.3 מסה מולרית של תרכובות

המסה המולרית של תרכובות מחושבת באמצעות המסות המולריות של האטומים או היונים המרכיבים אותן. כיצד, אם כן, נחשב מסה מולרית של תרכובת כלשהי? נחשב לדוגמה את המסה המולרית של אמוניה, NH₃:

$$\frac{14}{\text{גרם מול}} \text{ N} + 3 \times \frac{1}{\text{גרם מול}} \text{ H} = \frac{17}{\text{גרם מול}} \text{ NH}_3$$

אטומי מימן

פחמן ונתרן נרשמים רק כ-C ו-Na בהתאמה. מפני שכתנאי החדר אין מולקולות הבנויות מיסודות אלו. מבנה הגבישים שלהם איננו מולקולרי, ולא נלמד עליו במסגרת זו.

באותו אופן נוכל לחשב את המסה של מול מלח בישול, לה אנו זקוקים כדי לעמת על השאלה, שהצגנו בתחילת הפרק.

זכור, מסת אלקטרון אחד מהווה 1/1840 ממסת פרוטון או ניוטרון אחד (טבלה 2.1). אנו נתייחס אל מסת אטום הנתרן הניטרלי כשווה למסת היון, מאחר ובאטום נתרן ישנם 11 פרוטונים, 11 אלקטרונים ו-12 ניוטרונים. ביון נתרן חסר רק אלקטרון אחד. מסת האלקטרון החסר לעומת מסת האטום כולו היא זניחה בהחלט. דבר זה נכון עבור כל היונים החיוביים והשליליים כאחד.

המסה המולרית של אטומי נתרן היא 23 גרם למול ושל אטומי כלור היא 35.5 גרם למול. המסה המולרית של יוני נתרן גם היא 23 גרם למול, והמסה המולרית של יוני כלור גם היא 35.5 גרם למול. עתה ידועים לנו המסה של מול יוני נתרן והמסה של מול יוני כלור. מהי, אם כן, המסה המולרית של מלח בישול?

זכור במול NaCl יש מול יוני Na^+ ומול יוני Cl^- , לכן המסה המולרית של מלח הבישול שווה לסכום המסות המולריות של יוני הנתרן ויוני הכלור:

$$\begin{array}{r} 23 \\ \text{גרם} \\ \text{מול } \text{Na}^+ \end{array} + \begin{array}{r} 35.5 \\ \text{גרם} \\ \text{מול } \text{Cl}^- \end{array} = \begin{array}{r} 58.5 \\ \text{גרם} \\ \text{מול } \text{NaCl} \end{array}$$

נשוב לשאלה שהצגנו בתחילת הפרק: כמה גרם יוני נתרן וכמה גרם יוני כלור אוכל האדם ביום, כאשר הוא משתמש בסך הכל ב-1.2 גרם נתרן כלורי?

לשם כך עלינו לחשב כמה מולים של מלח בישול מצויים ב-1.2 גרם NaCl. מחשבים את מספר המולים (n) של חומר מסוים על-ידי חלוקת המסה שלו (g) בגרם, במסתו המולרית (M) בגרם למול:

$$n = \frac{g}{M}$$

במקרה שתארנו, מסת הנתרן הכלורי 1.2 גרם = g ומסתו המולרית M היא 58.5 גרם למול. לכן:

$$n = \frac{\begin{array}{r} \text{גרם} \\ 1.2 \end{array}}{\begin{array}{r} \text{גרם} \\ \text{מול} \\ 58.5 \end{array}} = \begin{array}{r} 0.0205 \\ \text{מול NaCl} \end{array}$$

ב-1 מול מלח בישול יש 1 מול יוני נתרן ו-1 מול יוני כלור; לכן 1.2 גרם מלח בישול מכיל 0.0205 מול יוני נתרן ו-0.0205 מול יוני כלור. לשם חישוב מסת יוני הנתרן, g, נכפול את מספר המולים של יוני נתרן, n, במסתו המולרית, M:

$$g = n \times M$$

לאחר הצבה בנוסחה נקבל:

$$g = 0.0205 \times \begin{array}{r} 23 \\ \text{גרם} \\ \text{מול } \text{Na}^+ \end{array} = \begin{array}{r} 0.472 \\ \text{גרם } \text{Na}^+ \end{array}$$

באופן דומה נחשב את מסת יוני הכלור:

$$g = 0.0205 \times \begin{array}{r} 35.5 \\ \text{גרם} \\ \text{מול } \text{Cl}^- \end{array} = \begin{array}{r} 0.728 \\ \text{גרם } \text{Cl}^- \end{array}$$

הצריכה היומית של יוני נתרן, המומלצת לאדם מבוגר, נעה בין 1.1 גרם לבין 3.3 גרם. מכאן שאדם, האוכל 1.2 גרם מלח בישול, אוכל למעשה 0.472 גרם יוני נתרן. אם הוא אינו סובל מהיפרנתרמיה, הוא יכול לאכול כמות העולה אפילו פי 3 על כמות זו.

4.4 מילימול

כבדיקות מעבדה בהן נקבעת רמת חומרים בגוף, המדגמים הנלקחים הם יחסית קטנים, ולכן היחידה של המול לא תמיד נוחה לשימוש. היחידה הנוחה יותר היא מילימול (mmol). בדומה למיליגרם (מ"ג, mg) שהוא אלפית הגרם, המילימול הוא אלפית המול:

$$1 \text{ מול} = 1000 \text{ מילימול} = 10^3 \text{ מילימול}$$

$$1 \text{ מילימול} = \frac{1}{1000} \text{ מול} = 10^{-3} \text{ מול}$$

תרגיל 4.9:

כמה מילימול יוני נתרן הם 0.0205 מול יוני נתרן?

פתרון:

$$0.0205 \times \frac{1000 \text{ מילימול}}{1 \text{ מול}} = 20.5 \text{ מילימול } Na^+$$

שים לב, שאפילו במילימול אחד נמצא מספר עצום של חלקיקים, אם במול ישנם 6×10^{23} חלקיקים, אזי במילימול אחד יש עדיין 6×10^{20} חלקיקים!

4.5 כמה גלוקוז בדם?

תרגיל 4.10:

בדמו של אדם יש בסך הכל 5.4 גרם גלוקוז, $C_6H_{12}O_6$. כמה מילימול גלוקוז מצויים בדם?

פתרון:

נחשב תחילה מהי המסה המולרית של הגלוקוז. נעזר לצורך זה בטבלה 4.2.

$$12 \times 6 + 1 \times 12 + 16 \times 6 = 180$$

$\frac{\text{גרם}}{\text{מול}} C$ $\frac{\text{גרם}}{\text{מול}} H$ $\frac{\text{גרם}}{\text{מול}} O$

המסה המולרית של גלוקוז היא 180 גרם למול $C_6H_{12}O_6$ או 180 מיליגרם למילימול $C_6H_{12}O_6$. 5.4 גרם הם 5,400 מיליגרם. מהצבה בנוסחה

$$n = \frac{g}{M}$$

נקבל:

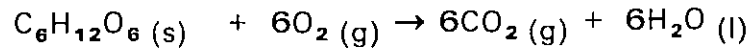
$$n = \frac{5400 \text{ מיליגרם}}{180 \text{ מילימול}} = 30 \text{ מילימול } C_6H_{12}O_6$$

מן החישוב עולה, כי דמו של אדם מכיל 30 מילימול גלוקוז.

כפי שכבר ציינו, הנוסחה $C_6H_{12}O_6$ מתארת הן מולקולת גלוקוז והן 1 מול גלוקוז. הדבר נכון עבור כל נוסחה. מכאן ניכר, כי ניסוח תהליך כימי יכול לתאר את התהליך המתרחש בין חלקיקים, אבל הוא גם מתאר באופן כמותי את מספר המולים של כל חומר אשר מגיב או אשר נוצר בתגובה.

4.6 חוק שימור החומר

הניסוח הבא מתאר תהליך בעירה של גלוקוז, המגיב עם חמצן האוויר:



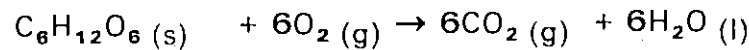
במונחים של מולים, משמעות הניסוח היא, שמול אחד של גלוקוז מגיב עם 6 מול מולקולות חמצן. בתגובה נוצרים 6 מול כחמן דו חמצני ו-6 מול מים. המסה המולרית של גלוקוז היא, כזכור, 180 גרם למול. נחשב את המסות המולריות הנתרות.

$$M_{O_2} = 2 \times 16 = \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} 32$$

$$M_{CO_2} = 12 + 2 \times 16 = \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} 44$$

$$M_{H_2O} = 16 + 2 \times 1 = \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} 18$$

בעזרת המסות המולריות נוכל לבדוק האם מתקיים, עבור שריפת הגלוקוז, חוק שימור החומר:



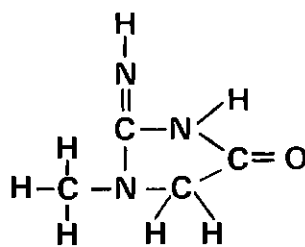
$$180 \text{ גרם} + 6 \times 32 \text{ גרם} = 6 \times 44 \text{ גרם} + 6 \times 18 \text{ גרם}$$

$$372 \text{ גרם} = 372 \text{ גרם}$$

אכן, מסת המגיבים שווה למסת התוצרים. הדבר נכון עבור כל תגובה.

4.7 כמה קראטינין בשתן?

הקראטינין, $C_4H_7N_3O$, הוא חומר מולקולרי, המופיע בשתן. נוסחת המבנה שלו מתוארת בציור הבא.



ציור 4.1: מולקולת הקראטינין

קראטינין, המופרש בשתן בכמות של 1.8 - 0.7 גרם ליממה, הוא תוצר פרוק של קראטין. כמות הקראטינין המופרשת ביממה פרופורציונית למסת השרירים של האדם, כלומר למשקל גופו.

תרגיל 4.11:

אדם שמשקלו 80 ק"ג מפריש 20 מ"ג קראטינין ביממה על כל ק"ג ממשקלו. בסך הכל מפריש האדם 1600 מ"ג, שהם 1.6 גרם קראטינין. כמה מילימול קראטינין מופרשים בשתן של אדם זה ביממה?

פתרון

נחשב את המסה המולרית של קראטינין, $C_4H_7N_3O$:

$$\begin{array}{cccccccc} 12 & \times & 4 & + & 1 & \times & 7 & + & 14 & \times & 3 & + & 16 & \times & 1 & = & 113 \\ \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} & & & & \frac{\text{גרם}}{\text{מול}} \\ C & & \text{אטומי פחמן} & & H & & \text{אטומי מימן} & & N & & \text{אטומי חנקן} & & O & & \text{אטומי חמצן} & & C_4H_7N_3O \end{array}$$

מן החישוב מתקבל, כי המסה המולרית של קראטינין היא 113 גרם למול או 113 מ"ג למילימול.

מהצבה בנוסחה

$$n = \frac{g}{M}$$

נקבל:

$$n = \frac{\frac{\text{מיליגרם}}{\text{מילימול}} \cdot 1600}{\frac{\text{מיליגרם}}{\text{מילימול}} \cdot 113} = \frac{1600}{113} = 14.16 \quad C_4H_7N_3O \text{ מילימול}$$

כלומר: האדם מפריש ביממה 14.16 מילימול קראטינין בשתן.

4.8 בדיקות מעבדה

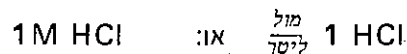
עד עתה עסקנו בחומרים נקיים ובאופנים שונים לביטוי כמויותיהם, אולם במעבדות בית החולים עוסקים בתמיסות כגון דם ושתן. בתמיסות מסוג זה יש צורך למדוד ריכוזים של חומרים המצויים בתמיסות ולא את כמותם של החומרים. בבדיקות המעבדה הן אחד הכלים החשובים המסייעים לאחות בטיפול הסיעודי. דף הבדיקות, שקטע ממנו מופיע בטבלה הבאה, מכיל בין היתר ריכוזים של היונים, המהווים את האלקטרוליטים החשובים בנוף האדם, ושל המולקולות גלוקוז ושתן.

| הערכים התקינים* בדגימת דם | | החומר הנבדק | סוג החלקיקים בחומר הנבדק |
|--|---------|--------------------------------|--------------------------|
| ריכוז $\frac{\text{מילימול}}{\text{ליטר}}$ | מקסימום | | |
| מינימום | | | |
| 133 | 149 | Na ⁺ | אלקטרוליטים |
| 3.5 | 5.3 | K ⁺ | |
| 96 | 106 | Cl ⁻ | |
| 24 | 31 | HCO ⁻ | |
| 2.3 | 2.8 | Ca ²⁺ | |
| 0.8 | 1.3 | Mg ²⁺ | |
| 0.7 | 1.7 | HPO ₄ ²⁻ | |
| 3.8 | 6.0 | גלוקוז | מולקולות |
| 2.9 | 7.1 | שתן | |

טבלה 4.4: ריכוזים תקינים של אלקטרוליטים ומולקולות בבדיקות מעבדה

4.9 ריכוז מולרי

ריכוז, כזכור, מבטא כמות חומר מומס בתוך נפח נתון של תמיסה. כימאי, הרגיל לחשוב במונחים של מולים, מבטא בדרך כלל את ריכוז התמיסה בציינו את מספר המולים של המומס בליטר אחד של תמיסה. ריכוז מולרי היא יחידת ריכוז, המבטאת את מספר המולים של המומס בליטר אחד של תמיסה. לדוגמה: חומצה כלורית בריכוז 1 מולר מכילה 1 מול HCl ב-1 ליטר תמיסה. צורת הרישום היא כדלקמן:



4.9.1 הכנת תמיסות

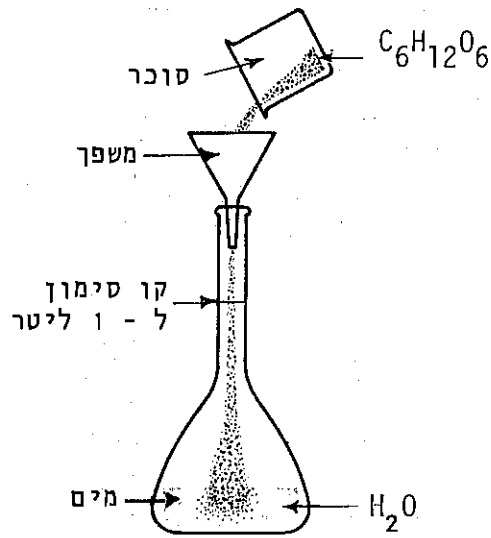
תרגיל 4.12:

כיצד נכין תמיסת גלוקוז, C₆H₁₂O₆, בריכוז 1 מולר ?

פתרון

עלינו לדעת קודם כל כמה גלוקוז נחוץ להכנת התמיסה. מול אחד גלוקוז מסתו 180 גרם. אם ברצוננו להכין ליטר אחד של תמיסת גלוקוז 1 מולר, נשקול 180 גרם, ונמיס אותם תחילה בכמות קטנה של מים מזוקקים בתוך בקבוק מדידה של 1 ליטר, המתואר בציור 4.2. בצוואר הבקבוק ישנו סימן, המסמן נפח מדויק של ליטר אחד 25°C. לאחר שהמוצק התמוסס, מוסיפים מים כמעט עד לסימן, מטלטלים את הבקבוק כדי להבטיח שהחומרים התערבבו היטב, ואחר כך מוסיפים מים עד לסימן, כלומר עד לנפח הסופי של ליטר אחד.

*הערכים התקינים משתנים במידת מה ממעבדה למעבדה בהתאם למיכשור הקיים.



ציור 4.2: בקבוק מדידה

באופן דומה נוכל להכין תמיסת גלוקוז בריכוז 1 מילימולר. תמיסת 1 מילימולר מכילה 1 מילימול חומר מומס ב-1 ליטר תמיסה. בבדיקות המעבדה נהוג לרשום יחידה זו בסימן mM.

מכור, המסה של 1 מילימול גלוקוז היא 180 מ"ג. לכן נשקול 180 מ"ג גלוקוז, ונמשיך בהכנת התמיסה כמו בתרגיל האחרון.

לעיתים אין צורך בהכנת ליטר שלם של תמיסה, כפי שיוזגם בתרגיל הבא.

תרגיל 4.13:

כמה גרם גלוקוז עלינו לשקול אם ברצוננו להכין רק 0.5 ליטר תמיסת גלוקוז בריכוז 1 מילימולר?

פתרון

לפי הביטוי של ריכוז מילימולרי:

$$\frac{n}{V} = \frac{\text{מספר המילימולים}}{\text{הנפח בליטרים}} = \text{הריכוז ב-mM}$$

עבור התמיסה המבוקשת:

$$\frac{\text{מספר המילימולים}}{0.5 \text{ ליטרים}} = 1 \text{ mM}$$

לפיכך, מספר המילימולים הנדרש הוא 0.5. מסת 0.5 מילימול גלוקוז היא:

$$90 \text{ מ"ג} = 180 \frac{\text{מיליגרם}}{\text{מילימול}} \times 0.5 \text{ מילימול}$$

0.5 ליטר תמיסת גלוקוז בריכוז 1 מילימולר תוכן על-ידי המסת 90 מ"ג גלוקוז והשלמת הנפח ל-0.5 ליטר תמיסה. כמוכן שידרש לכך בקבוק מדידה מתאים, שנפחו 0.5 ליטר, כלומר 500 מ"ל.

תרגיל 4.14:

בבית החולים לא תמיד משתמשים בתמיסות 1 מולר או 1 מילימולר. כיצד נכון 1 ליטר תמיסת גלוקוז כריכוז 10 מילימול מתמיסת 1 מולר, הקיימת במלאי בבית החולים?

פתרון

התמיסה המקורית היא בריכוז:

$$1 \text{ M} = 1000 \text{ mM}$$

התמיסה הדרושה היא בריכוז:

$$10 \text{ mM}$$

ריכוז התמיסה שבמלאי נבוה פי 100 מריכוז התמיסה הרצויה. לפיכך עלינו למהול אותה פי 100, כלומר, לקחת 10 מ"ל מהתמיסה המרוכזת המקורית לבקבוק מדידה של 1 ליטר, להוסיף מים מזוקקים עד לסימון ולערבב היטב.

בהכנת תמיסות של תרופות הניתנות לילדים, האחות נדרשת למהול תמיסה מרוכזת יותר, המיועדת למבוגר, כדי להגיע לריכוז נמוך יותר, המתאים לילד. מבוגר, שמשקלו 80 ק"ג, מקבל בעירוני 40 מ"ל תמיסת פניצילין (תרופה אנטיביוטית) ביממה. כדי לתת לילד, שמשקלו 20 ק"ג, אותו נפח תמיסה בריכוז מתאים, תצטרך האחות למהול את התמיסה פי 4, בהתאם ליחס המשקלים. עליה לקחת 10 מ"ל תמיסת פניצילין ולהוסיף 30 מ"ל מתמיסת העירוני. ברור כי רופא אמור לתת אישור על כך שמותר לערבב את נוזל העירוני עם תמיסת התרופה.

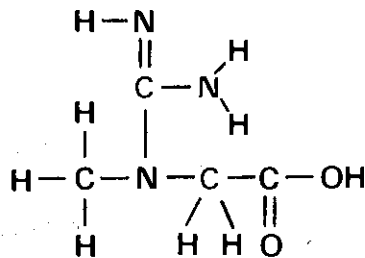
שים לב, לא הכרנו עדיין את נוסחת הפניצילין, לא חישבנו את מסתו המולרית ולא לקחנו בחשבון את מידת פעילותו. אין צורך בכל זאת כאשר עוסקים במיהול תמיסות.

4.10 רשימת מושגים

- מול
- מול אטומים, מול מולקולות, מול יונים, מול תרכובת
- מספר החלקיקים כמול אחד, N
- מילימול
- מסה מולרית, M
- מסה מולרית של יסוד, מסה מולרית של תרכובת
- יחידות המסה המולרית: גרם למול, מיליגרם למילימול
- ריכוז מולרי, M
- ריכוז מילימולרי, mM

4.11 שאלות לפרק הרביעי

1. כזכור, נוסחתה של מולקולת אמוניה היא NH_3 .
 (א) ממה מורכב מול מולקולת אמוניה?
 (ב) כמה מרכיבים 5 מול מולקולות אמוניה?
2. במעבדה ערכו אנליזה של סרין וקבלו, כי 0.1 מול מולקולות סרין מורכב מ-0.3 מול אטומי פחמן, מ-0.7 מול אטומי מימן, מ-0.3 מול אטומי חמצן ומ-0.1 מול אטומי חנקן.
 (א) מהי הנוסחה המולקולרית של סרין?
 (ב) האם סרין יכולה להיות חומצה אמינית? נמק.
3. התצרוכת היומית של אדם מבוגר ליסודות הקורט נחושת, מנזיום, מנן ואבץ היא 2.5 מ"ג, 300 מ"ג, 4 מ"ג ו-0.3 מ"ג בהתאמה.
 (א) חשב כמה מול אטומים של כל אחד מיסודות הקורט הללו מופיעים בכמויות הנתונות.
 (ב) כמה אטומים מצויים בכמויות אלו?
4. תמיסת H_2O_2 , מימן על-חמצני, משמשת לחיטוי. ממה מורכב מול מימן על-חמצני?
 בחר בתשובה הנכונה מתוך הרשימה הבאה:
 (א) 2 מול אטומי מימן ו-2 מול אטומי חמצן.
 (ב) 1 מול מולקולות מימן ו-1 מול מולקולות חמצן.
 (ג) 2 אטומי מימן ו-2 אטומי חמצן.
 (ד) 1 מולקולת מימן ו-2 מולקולות חמצן.
 (ה) 0.5 מול מולקולות מימן ו-0.5 מול מולקולות חמצן.
5. סוכרוז הוא סוכר, שנוסחתו המולקולרית היא $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.
 מהי מסתו המולרית?
 כמה מולקולות סוכרוז יהיו ב-0.25 מול החומר?
 מה תהיה מסת 0.25 מול סוכרוז?
6. בבדיקת יכולת של ספיגת הנלוקוז בדם (glucose tolerance), נותנים לאדם 100 גרם נלוקוז מומס במיץ לימון. כמה מול נלוקוז מקבל האדם?
7. מהי מסת 20 מילימול שתנן $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$?
 כמה מולקולות נמצאות ב-20 מילימול שתנן?
8. קראטינין, $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$, נוצר מקראטין, $\text{C}_4\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2$, תוך שחרור מולקולת מים. נוסחת מבנה של קראטין מתוארת להלן:



- (א) האם תוכל לשער מהיכן משתחררת מולקולת מים כאשר נוצרת מולקולת קראטינין?
 (ב) רשום ניסוח תהליך מאוזן ובדוק בעזרת המסות המולריות האם נשמר חוק שימור החומר?
 (ג) לקראטין חשיבות פסיולוגית והוא מופיע בדם בכמות ממוצעת של 300 מ"ג.
 כמה מילימול קראטין מצויים בדם של אדם?
9. LSD, שנוסחתו המולקולרית $\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{N}_3\text{O}$, בוער בתמצן נזי ונותן פחמן דו-חמצני נזי, CO_2 , חנקן דו-חמצני נזי, NO_2 , ואדי מים, H_2O .

- (א) רשום ניסוח מאוזן לתגובת הבעירה.
 (ב) חשב את המסה המולרית של LSD.
 (ג) חשב את מסת החמצן, הדרושה לתגובה מלאה של 0.376 גרם LSD.

10. לפיכך נתוני צריכה יומית של מבוגר עבור שלושה אלקטרוליטים ושלושה יסודות קורט.
 (א) השלם את שתי הטבלאות הבאות:

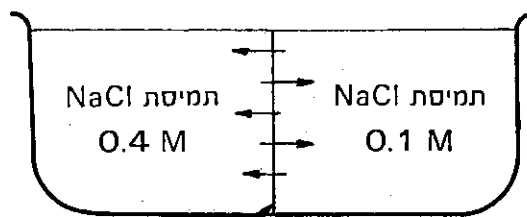
| שם היון | צריכה במיליגרם | צריכה במילימול |
|--------------------------|----------------|----------------|
| Na^+ , יון נתרן | 1100 - 3300 | |
| K^+ , יון אשלגן | 1875 - 5625 | |
| Cl^- , יון כלור | 1700 - 5100 | |

טבלה 4.5: צריכה יומית של אלקטרוליטים

| שם היון | צריכה במיליגרם | צריכה במילימול |
|------------------------------|----------------|----------------|
| Cu^{2+} , יון נחושת | 2.0 - 3.0 | |
| Cr^{2+} , יון כרום | 0.05 - 0.2 | |
| F^- , יון פלואור | 1.5 - 4.0 | |

טבלה 4.6: צריכה יומית של יסודות קורט

- (ב) באיזו קבוצה מספר המילימולים הדרושים לאדם גבוה יותר? הסבר.
 (ג) חולה בהיפרנתרמיה ניזון מדיאטה ללא מלח.
 כדי לאזן, בכל זאת, את הצריכה של יוני כלור, הוא מקבל אשלגן כלורי, KCl.
 כמה גרם אשלגן כלורי עליו לקבל כל יום במזונו, כדי שהצריכה הנדרשת של יוני Cl^- לא תפגע?
11. שתן נוצר בנוף בתאי הכבד, עובר בזרם הדם לכליות ומתן הוא מופרש בשתן. באדם, שכליותיו נכנעו ואינן מסוגלות להפריש את השתן הנוצר, רמת השתן בדם עולה על 2 גרם בליטר דם.
 (א) באיזו יחידת ריכוז נוכל לתאר את רמת השתן של אדם החולה באי ספיקת כליות?
 (ב) מה תהיה הרמה ביחידת ריכוז זו?
 (ג) פי כמה גבוהה רמה זו מן הרמה הנורמלית בדם?
12. הכינו מערכת בה קרום חדיר למחצה מפריד בין תמיסת נתרן כלורי 0.1M לתמיסת נתרן כלורי 0.4M, כמתואר בציור הבא.

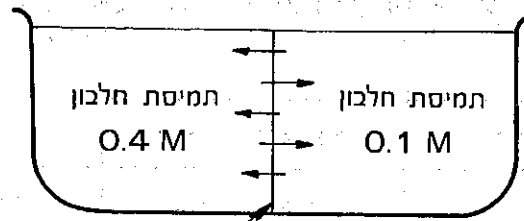


קרום חדיר למחצה

- מה יקרה במערכת זו? בחר באפשרויות הנכונות:
 (א) יוני מלח בישראל ינועו מתמיסת 0.1M אל תמיסת 0.4M.
 (ב) יוני מלח בישראל ינועו מתמיסת 0.4M אל תמיסת 0.1M.

- ג) מולקולות המים ינועו מתמיסת 0.1M אל תמיסת 0.4M.
 ד) מולקולות המים ינועו מתמיסת 0.4M אל תמיסת 0.1M.

13. קרום חדיר למחצה מפריד בין שתי תמיסות חלבון הנמצאות במערכת המתוארת בציור הבא:



קרום חדיר למחצה

מה יקרה במערכת זו? בחר באפשרות הנכונה:

- א) מולקולות החלבון ינועו מתמיסת 0.1M אל תמיסת 0.4M.
 ב) מולקולות החלבון ינועו מתמיסת 0.4M אל תמיסת 0.1M.
 ג) מולקולות המים ינועו מתמיסת 0.1M אל תמיסת 0.4M.
 ד) מולקולות המים ינועו מתמיסת 0.4M אל תמיסת 0.1M.

14. אחות השתמשה ב-100 מ"ל תמיסת סלין בריכוז 0.15M והוסיפה לה 400 מ"ל מים מזוקקים. מה יהיה ריכוז התמיסה החדשה?

15. אחות השתמשה בתמיסת $Mg(OH)_2$ 100mM כתמיסת מקור, והכינה 40 מ"ל תמיסת מגנזיום הידרוקסידי בריכוז 25 מילימולר על ידי הוספת מים מזוקקים. מהו נפח תמיסת המקור שעליה לקחת? בחר בתשובה הנכונה:

- א) 10 מ"ל
 ב) 16 מ"ל
 ג) 0.03 ליטר
 ד) 0.1 ליטר

4.12 נספח לפרק הרביעי

כמשך שנים רבות היו נהוגות מספר יחידות ריכוז נוספות לאלו שנלמדו בפרק. בנספח זה נדון בהן, למרות שלפי החלטת אירגון הבריאות העולמי יחידות אלה אמורות לצאת מכלל שימוש בשנים הקרובות.

| הערכים התקינים בדגימת דם | | החומר הנבדק | סוג החלקיקים בחומר הנבדק |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| מיליאקווילנט ליטר | מילימול ליטר | | |
| 143 - 149 | 133 - 149 | Na ⁺ | אלקטרוליטים |
| 3.5 - 5.3 | 3.5 - 5.3 | K ⁺ | |
| 96 - 106 | 96 - 106 | Cl ⁻ | |
| 24 - 31 | 24 - 31 | HCO ⁻ | |
| 4.6 - 5.6 | 2.3 - 2.8 | Ca ²⁺ | |
| 1.6 - 2.6 | 0.8 - 1.3 | Mg ²⁺ | |
| 1.4 - 3.4 | 0.7 - 1.7 | HPO ₄ ²⁻ | |
| | מילימול ליטר | גלוקוז שתן | מולקולות |
| מיליגרם אחוז | | | |
| 70 - 110 | 3.8 - 6.0 | | |
| 18 - 45 | 2.9 - 7.1 | | |

טבלה 4.7: אלקטרוליטים ומולקולות בבדיקות מעבדה - שימוש ביחידות שונות

4.12.1 מיליגרם אחוז

גלוקוז ושתן הופיעו בטבלה 4.7 ביחידת ריכוז מילימולר אך גם ביחידת ריכוז אחרת: מיליגרם אחוז (mg%). היחידה מיליגרם אחוז מציינת כמה מיליגרם חומר יש בכל 100 מיליליטר תמיסה. אם בטבלה 4.7 צוין, כי גלוקוז מצוי בדם בכמות של 70-110 מ"ג אחוז, משמעות הדבר היא, כי ב-100 מ"ל דם יש 70-110 מ"ג גלוקוז.

בנוזלי עירוי הריכוזים יכולים להיות גבוהים יותר מאשר בדם ולכן נהוג לעיתים להשתמש ביחידת גרם אחוז, המסומנת בקיצור כ-% כלכד. על הנקבוק המביל נוזל עירוי נרשם לדוגמה 5% גלוקוז, שפרושו 5 גר' גלוקוז על כל 100 מ"ל תמיסה. מאחר ונפחו של הנקבוק הוא 500 מ"ל, מומסים בתמיסה שבנקבוק נסהי' 25 גר' גלוקוז. דוגמה זו ממחישה עד כמה יחידות ה-% או ה-mg% גוחות להכנת התמיסות, ללא צורך בחישוב מסה מולרית ומספר מולים.

ניתן לעבור מיחידת ריכוז אחת לשנייה, כלומר מריכוז במיליגרם אחוז לריכוז מילימולרי, באופן הבא:

$$n = \frac{\text{mg}\% \times 10}{M}$$

כופלים ב-10, כי זהו היחס בין 1 ליטר, שהוא 1000 מ"ל, לבין 100 מ"ל (נכח התמיסה ביחידת mg%). מחלקים במסה המולרית כדי לעבור ממיליגרם למילימול.

תרגיל 4.15:

מהו הערך המקסימלי, הניתן עבור נלוקוז בטבלה 4.7 ביחידות של מ"ג אחוז?

פתרון

הערך הוא 110 מ"ג אחוז. נהפוך אותו ליחידות מילימולר.

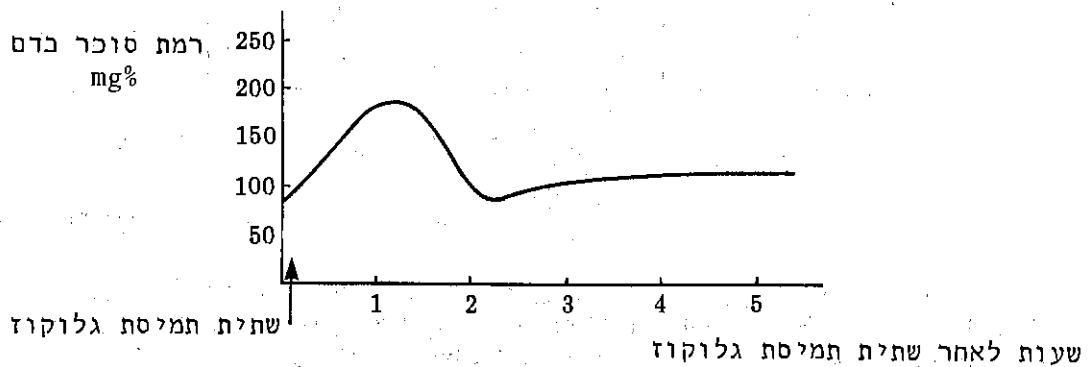
$$n = \frac{\text{mg}\% \times 10}{M}$$

מהצבה בנוסחה נקבל:

$$n = \frac{110 \times 10}{\frac{\text{מיליגרם}}{\text{מילימול}} \cdot 180} = 6.1 \quad \text{מילימול } C_6H_{12}O_6$$

ואכן, 6 הוא הערך המקסימאלי בריכוז מילימולרי הנתון בטבלה 4.7.

נהוג להשתמש ביחידת המיליגרם אחוז גם בתיאור נרפי של רמת הנלוקוז בדם, כמתואר בציור הבא.



ציור 4.6: עקומת סוכר

בעקומה יש עלייה תלולה ברמת הנלוקוז במשך השעה הראשונה לאחר שתיית תמיסת נלוקוז המכילה 100 גר' נלוקוז ומיץ לימון. בהמשך מופיעה ירידה חדה, מעט מתחת לגבול התחתון של רמת הנלוקוז התקינה בדם, ובתום שעתיים הקו מתייצב.

בדיקת העמסת סוכר (glucose tolerance) היא בדיקה בה משתמשים, כאשר חוששים כי האדם חולה במחלת הסוכרת. בבדיקה זו קובעים את רמת הנלוקוז בדם בזמנים שונים: בצום, חצי שעה לאחר שתיית תמיסת הנלוקוז, כעבור שעתיים וכעבור שלוש שעות. באדם בריא תתקבל העקומה המתוארת בציור 4.6, ואילו באדם חולה ישנן סטיות בולטות מעקומה זו.

כחולה העובר ניתוח עלולות להתפתח הפרעות במאזן הנוזלים והאלקטרוליטים. האחות חייבת להבחין בכל מקרה של איבוד נוזלים כתוצאה מרימום, הקאה או שילשול. לשם כך מתנהל בכית החולים רישום מדויק של כמות הנוזלים הנקלטת בעירוי או בשתייה כנגד כמות הנוזלים המופרשת. להלן רף דוות:

מאזן נוזלים למשך 24 שעות

בית חולים:
 שם החולה:
 אבחנה או ניתוח:
 תאריך:
 מחלקה:

| הוראות רופא לכמויות יומיות | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|----------------|-----|------------------|-----|----------------------|-----|
| שונות | | דם | | תמיסת KCl 1.5% | | תמיסת Glucose 5% | | תמיסת Saline 0.9% Cl | |
| נפח | שעה | נפח | שעה | נפח | שעה | נפח | שעה | נפח | שעה |
| | | | | | | | | | |

| הפרשות | | | |
|--------|------|------|-----|
| שונות | הקאה | גודש | שתן |
| | | | |

כחולים מסוג זה יש צורך להקפיד גם על כריקה של רמת האלקטרוליטים כדם ובשתן באופן קבוע. אם תנתן לחולה תמיסת סליין במשך שבוע ללא תוספות אחרות, תגרם בצקת ותחול ירידה ברמת האלקטרוליטים, תחילה בשתן ואח"כ כדם.

4.12.2 מיליאקווילנט לליטר

כטבלה 4.7, המהווה דף בדיקות דם, מופיעה יחידת ריכוז נוספת - מיליאקווילנט לליטר (meq/liter). המשמשת בעיקר למדידת ריכוזי אלקטרוליטים כדם. במה שונה יחידת הריכוז הזו מיחידת הריכוז מילימולר ?

ריכוז תמיסה ביחידות מיליאקווילנט לליטר מבוסס על ריכוז המטענים המצויים כתמיסה, לכן צריך להתייחס לריכוז של כל יון בנפרד; עבור יונים מסויימים יש לכפול את הריכוז ביחידות מילימולר במטען היון. ברור, כי עבור יונים טעוני מטען שלילי אחד או חיובי אחד, אין הבדל בין הריכוז המילימולרי לבין הריכוז במיליאקווילנט לליטר. הדבר משתקף בטבלה 4.7: ריכוזם של היונים Cl^- או Na^+ בפלסמה זהה בשתי העמודות, כלומר בשתי יחידות

הריכוז, אולם הערכים במילימולר עבור היונים הטעונים +2 או -2 נמוכים יותר (מחצית) מהערכים במיליאקוויוולנט לליטר. לדוגמה, ריכוזו של יון Mg^{++} ביחידות מילימולר הוא 1:3 - 0.8, ואילו ריכוזו ביחידות מיליאקוויוולנט לליטר הוא 1.6 - 2.6. כל יון מגנזיום טעון בשני מטענים חיוביים, כל מילימול מגנזיום בדם מרם לשני מילימול מטענים חיוביים לליטר. במילים אחרות, ריכוז המטענים החיוביים בדם עקב נכחות יוני מגנזיום הוא 2.6 - 1.6 מילימולר. כדי לתרגם ריכוז מיחידות מילימולר ליחידות מיליאקוויוולנט לליטר יש לכפול בגודל המטען:

$$\frac{\text{meq}}{\text{liter}} = \text{mM} \times$$

הצורך ביחידת ריכוז נוספת זו נובע מהקפדה על איזון בין המטענים החיוביים לבין המטענים השליליים בכל אחד מנוזלי הגוף, הבא לידי ביטוי בטבלה הבאה.

| נוזל חוץ תאי | | נוזל תוך תאי | היונים |
|--------------|--------------|--------------|--|
| פלטמה | נוזל בין תאי | | |
| 142 | 145 | 10 | קטיונים: Na^+ |
| 4 | 4 | 158 | K^+ |
| 3 | 2 | 35 | Mg^{2+} |
| 5 | 3 | 2 | Ca^{2+} |
| 154 | 154 | 205 | סה"כ ריכוז קטיונים: |
| 103 | 115 | 2 | אניונים: Cl^- |
| 27 | 30 | 8 | HCO_3^- |
| 2 | 2 | 140 | HPO_4^{2-} |
| 1 | 1 | - | SO_4^{2-} |
| 16 | 1 | 55 | אניונים של חלבונים* אניונים של חומצות אורגניות |
| 5 | 5 | - | |
| 154 | 154 | 205 | סה"כ ריכוז קטיונים: |

טבלה 4.8: ריכוזים תקינים של אלקטרוליטים בנוזלי הגוף ביחידות מיליאקוויוולנט לליטר

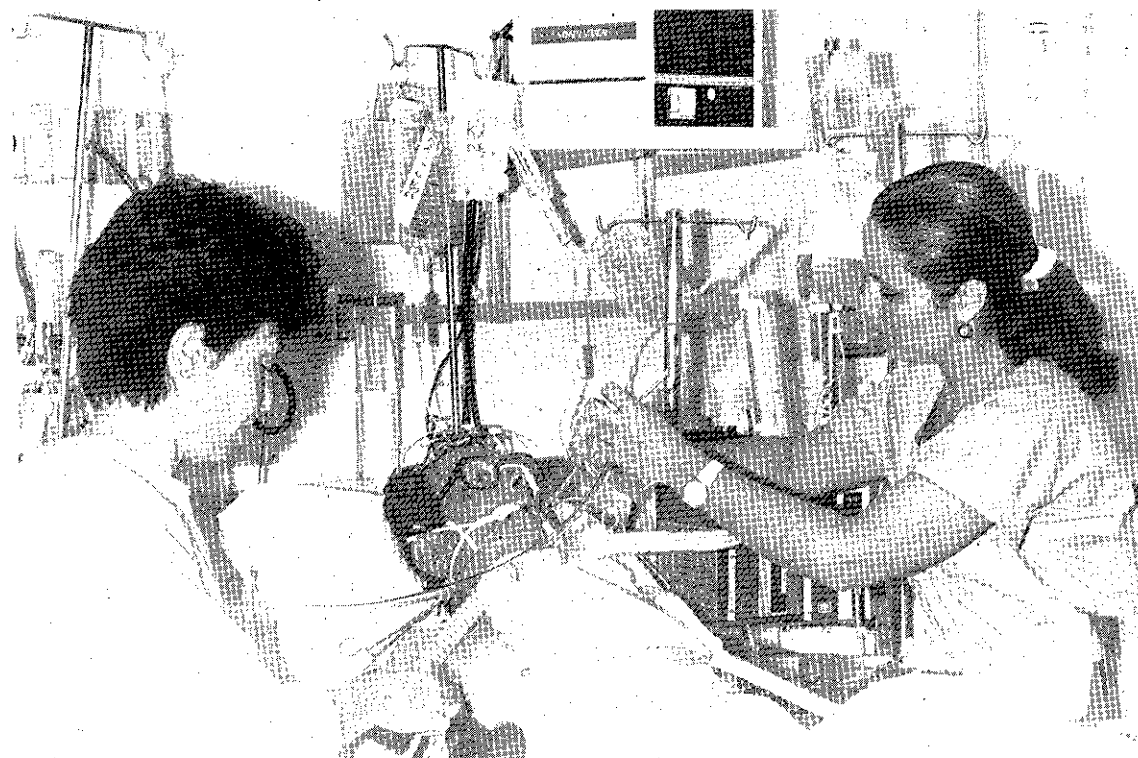
בכל אחד מהנוזלים המופיעים בטבלה סך ריכוז היונים השליליים ביחידות המיליאקוויוולנט לליטר שווה לסך ריכוז היונים החיוביים. באופן זה נשמרת ניטרליות התמיסה. הטבלה מסכמת גם את ההבדלים בהרכב הנוזלים השונים, כפי שתוארו בפרק השלישי. ניתן להבחין בהבדלים בין שני המדורים, התוך-תאי והחוץ-תאי: ריכוז יוני אשלגן ופוספטים גבוה יותר בנוזל התוך-תאי מאשר בנוזל החוץ-תאי. לעומת זאת, ריכוז יוני נתרן וכלור גבוה יותר בנוזל החוץ-תאי. הבדלים אלה נובעים, כזכור, מפעולות משאבת היונים בממברנת התא, החוצצת בין שני המדורים. ריכוז החלבונים גבוה יותר בנוזל התוך-תאי, כי הם אינם יכולים לעבור דרך ממברנת התא שהוא, כזכור, קרום חדיר למחצה. בנוזלים החוץ-תאיים השונים, הנוזל

*מסיבות שלא נוכל לפרט עדיין, מופיעים החלבונים בנוזלי הגוף כאניונים.

הבין-תאי ונוזל הפלסמה, תכולת המומסים דומה. קיימים הבדלים קלים, הנובעים מהעובדה שחלבוני הדם אינם מצויים בנוזל הבין-תאי.

כתימיות המשמשות בנוזלי עירוי תוך ורידיים נתקל בשילוב יחידות הריכוז השונות. תמיסת סליין, הניתנת כמקרה של איבוד נוזלים ולא כתמיסת קיום לאורך זמן, מכילה יוני נתרן ויוני כלור בריכוז 0.9%.

כמקרה של חולה, שעבר ניתוח ונוזק להזנה תוך ורידית ממושכת, כמתואר בתמונה הבאה, משתמשים כתמיסה הקרויה בשמה המסחרי תמיסת הרטמן, שהיא "תמיסת קיום" שגרתית.



כתמיסה זו נתוגים האלקטרוליטים השונים ביחידות ריכוז מיליאקוויוולנט לליטר:

| | | | | | |
|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| Ca^{2+} | $3 \frac{meq}{liter}$ | K^+ | $4 \frac{meq}{liter}$ | Na^+ | $130 \frac{meq}{liter}$ |
| $C_6H_{12}O_6$ | 5 % | $*CH_3CHOHCOO^-$ | $28 \frac{meq}{liter}$ | Cl^- | $109 \frac{meq}{liter}$ |

שים לב!

- א. הגלוקוז נתון ביחידת ריכוז גרם אחוז מאחר והוא אינו מוסיף מטענים לתמיסה, בהיותו חומר מולקולרי.
- ב. גם כאן כמו בנוזלי הגוף, נשמר האיזון בין סך המטענים החיוביים והשליליים!

זהו יון לקטט, שהוא אניון של חומצת חלב (חומצה אורגנית).

4.13 סיכום לנספח

בנספח דנו במספר בדיקות מעבדה ובחלק מיחידות הריכוז הנהוגות עדיין בבית החולים:

מילימולר, mM - יחידת ריכוז, המבטאת את מספר המילימולים של מומס בליטר תמיסה. משמשת לרוב הבדיקות ומאפשרת השוואה בין ריכוזים של חומרים שונים.

מיליגרם אחוז, mg% - יחידת ריכוז, המבטאת את מספר המיליגרמים של מומס ב-100 מ"ל תמיסה. נוחה לביטוי ריכוזי חומרים, כאשר ההשוואה אינה עם חומרים אחרים, אלא בין אדם בריא לחולה או בין גבר לאשה, או אצל אותו אדם בזמנים שונים.

גרם אחוז, % - יחידת ריכוז, המבטאת את מספר הגרמים של מומס ב-100 מ"ל תמיסה. משתמשים בה בעיקר בהכנת נוזלי עירוי.

מיליאקוויוולנט לליטר, meq/liter - יחידת ריכוז, המבטאת את מספר המיליאקוויוולנטים של מומס בליטר תמיסה. מתאימה לקביעת ריכוזי אלקטרוליטים.

4.14 שאלות לנספח

1. אדם אכל דגים המכילים יוני פוספט, HPO_4^{2-} , בריכוז גבוה. עקב כך עלה ריכוז יוני הפוספט בדם ל-2.1 מילימולר.
כמה מיליאקוויוולנט יוני פוספט ימצאו בליטר מדמו של אדם זה ?
2. מכינים בקבוק עירוי של אשלגן כלורי, 1.5% KCl. נפח הבקבוק 0.5 ליטר.
(א) כמה גרם אשלגן כלורי דרושים להכנת התמיסה ?
(ב) מהו ריכוז ה-KCl ב- mg% ?
(ג) מהו הריכוז במילימול לליטר ?
(ד) מהו הריכוז במיליאקוויוולנט לליטר של כל אחד משני היונים ?
3. בטבלה 4.8 מופיעים ריכוזי היונים בנוזלי הגוף ביחידות מיליאקוויוולנט לליטר. העזר בטבלה והשב על השאלות הבאות:
(א) חשב את ריכוז הקטיונים והאניונים בנוזל התוך-תאי ביחידות מילימולר.
(ב) סכם את ריכוז הקטיונים ואת ריכוז האניונים.
(ג) השווה את התוצאות שקבלת. האם נשמרת ניטרליות התמיסה ? הסבר.

4. יחידת הריכוז מיליאקווילנט לליטר משמשת לא רק בקביעת ריכוז האלקטרוליטים בדם, אלא גם בשתן, כמפורט בטבלה הבאה.

| ריכוז במיליאקווילנט לליטר | ריכוז ב-mM | החומר |
|---------------------------|------------|---------------------|
| | 128 | Na^+ |
| | 60 | K^+ |
| | 2.5 | Ca^{2+} |
| | 7.5 | Mg^{2+} |
| | 134 | Cl^- |
| | 14 | HCO_3^- |
| | 25 | HPO_4^{2-} |
| | 5 | SO_4^{2-} |

טבלה 4.9: ריכוזי אלקטרוליטים בשתן

- (א) השלם את הטבלה.
 (ב) בדוק האם בשימוש ביחידת הריכוז מיליאקווילנט לליטר נשמרת ניטרליות התמיסה ?
5. בנוזל חוט השדרה נמצא גלוקוז בריכוז 50-70 מ"ג אחוז ויון כלור בריכוז 120-130 מיליאקווילנט לליטר.
 (א) מהו ריכוז המילימולרי ?
 (ב) האם רמתם בנוזל חוט השדרה היא מעל או מתחת לרמתם בדם ?
6. עליך להכין 200 מ"ל תמיסת NaCl 0.9%.
 (א) כמה גרם מלח בישול עליך לשקול ?
 (ב) מה תרשום על בקבוק העירוי ביחידות של מילימולר ?
7. אחות השתמשה ב-40 מ"ל תמיסת גלוקוז 10% והוסיפה לה 60 מ"ל מים מזוקקים.
 מה יהיה ריכוז הגלוקוז בתמיסה החדשה ?
 (א) 24%
 (ב) 4%
 (ג) 2.4%
 (ד) 0.4%



