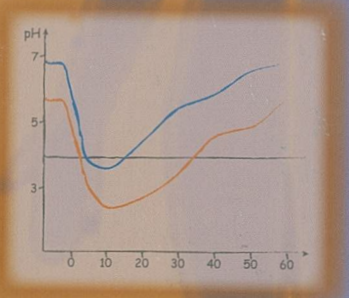
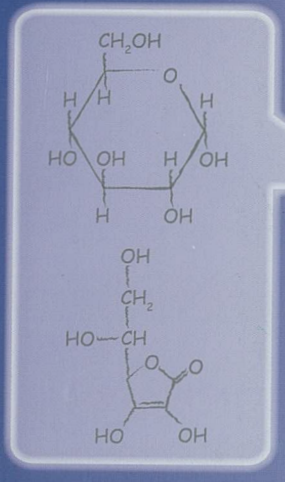
כימיה... זה בתוכנו

דבורה קצביץ
נעמי ארנסט
רונית ברד
דינה רפפורט





מכון ויצמן למדע
מחלקה להוראת המדעים

המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט

משרד החינוך, התרבות והספורט
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

30N

12

כימיה... זה בתוכנו

דבורה קצביץ
נעמי ארנסט
רונית ברד
דינה רפפורט

מכון ויצמן למדע
המחלקה להוראת המדעים

המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט

משרד החינוך, התרבות והספורט
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

ריכוז הצוות: דבורה קצביץ
צוות פיתוח וכתיבה
נעמי ארנסט
רונית ברד
דבורה קצביץ
דינה רפפורט

ייעוץ אקדמי:
פרופ' דניאלה גולדפרב, המחלקה לפיסיקה כימית, מכון ויצמן למדע

ייעוץ פדגוגי:
פרופ' אבי הופשטיין
ד"ר רחל ממלוק-נעמן

פיתוח ניסויים:
רונית ברד, פנינה חדד וסוזי טפר

אתר אינטרנט:
ד"ר שלי ליבנה ודינה רפפורט

פיתוח אנימציה ממוחשבת:
ד"ר רות בן-צבי

עריכה לשונית:
נדין קלברמן

איורים וגרפיקה ממוחשבת:
טליה מלול

עריכה ועימוד במחשב:
ציפי עובדיה

צילום:
אסף מסעוד

התוכנית פותחה בקבוצת הכימיה בראשותו של פרופ' אבי הופשטיין
במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן, רחובות

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

©
כל הזכויות שמורות
משרד החינוך
הודפס בישראל, תשס"ו 2006
מהדורה שנייה - תשס"ט 2009
דפוס מאירי בע"מ

פתח דבר

בספר "**כימיה ... זה בתוכנו**" אנו נעזרים במדע הכימיה על-מנת להבין את עצמנו ואת סביבתנו, כי כל המתרחש בתוכנו ומסביבנו – הכול כימיה.

גופנו הוא מעבדה כימית משוכללת וניידת, מעבדה אשר פועלת ללא הפסקה ומייצרת את רוב החומרים הדרושים לקיום החיים, ובו בזמן מפרקת ומרחיקה חומרים המפריעים לקיום החיים. חומרי הגלם הנכנסים למעבדה זו הם המזון הנספג לאחר תהליכי פירוק במערכת העיכול, והחמצן הנקלט דרך הריאות. "המעבדה הכימית" מפיקה או מבודדת את כל הדרוש לקיומנו מחומרי גלם אלו.

קיום מבחינתכם הוא בוודאי משחק, ריצה, ריקוד ומחשבה. פעולות אלו דורשות אנרגיה. מערך מיוחד של תגובות כימיות בגופנו, הנקראות תגובות חמצון-חיזור, מיועד לאספקת אנרגיה לפעולות אלו. היכן תגובות אלו מתרחשות? מהם המגיבים והתוצרים בתגובות אלו? כיצד הגוף מרחיק את תוצרי הלוואי או מתמודד עמם?

חלק מתוצרי הלוואי בתהליך הפקת האנרגיה הם בעלי אופי חומצי. מערך מיוחד של תגובות כימיות, הנקרא תגובות חומצה-בסיס, פועל בגופנו על מנת לשמור על רמת חומציות קבועה בדם ובנוזלי הגוף האחרים כדי לאפשר את פעילותם התקינה.

רדיקלים חופשיים הם תוצרי לוואי נוספים בתהליך הפקת האנרגיה. חלקיקים פעילים אלו עלולים לגרום להתפתחות מצבי מחלה. מערך הגנה מיוחד של נוגדי חמצון (אנטיאוקסידנטים) שנמצאים באופן טבעי בגוף וגם נקלטים מהמזון, נועד כדי לנטרל אותם.

כאשר כל מערך התגובות עובד כראוי, אין נוצרים בגוף עודפים או חסרים. אך חריגות מסוימות במערך זה עלולות לגרום למצב מחלה. הכימיה באה לעזרתנו גם באבחון ובטיפול מתאים במחלות. בדיקת מעבדה כימית הבודקת את הרכב הדם, היא אחד הצעדים הראשונים של רופא המשפחה במלאכת האבחון – בדיקת רמת גלוקוז, כולסטרול, pH ועוד. המרשם שכותב הרופא לתרופה לאחר האבחון ושנראה לנו שגרתי כל-כך – גם הוא תולדה של שנים של מחקר ופיתוח של כימאים. בידוד חומר מן הטבע, ייצור מלאכותי של חומר חדש, כמו גם ייצור תרופה המתבססת על חומרים טבעיים אך משודרגת במעבדה (ראה ערך אספירין) – זוהי עבודתם של כימאים. המלצת הרופא קשורה לעתים בתזונה, בפעילות גופנית או בהתערבות ניתוחית – בכולן, ללא יוצא מהכלל, הכימיה מככבת.

בספר "**כימיה ... זה בתוכנו**" תפגשו כמה היבטים של כימיה בגופנו ובסביבתנו, שמהווים כמובן רק טיפה בים. אנחנו מקווים שבעתיד, כשתתקלו בתופעות אחרות, תדעו לשאול את השאלות המתאימות, ויהיו בידיכם הכלים לחפש מידע ולהתמודד אתו.

תודות

- לפרופ׳ אבי הופשטיין ולד״ר רחל ממלוק–נעמן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, על הייעוץ הפדגוגי.
- לפרופ׳ דניאלה גולדפרב, המחלקה לפיזיקה כימית, מכון ויצמן למדע, על הייעוץ המדעי.
- לד״ר רחל טסה, מפקחת תחום כימיה, האגף לתכנון ופיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך, על ההערות הבונות, העצות הטובות, התמיכה והעידוד.
- לפרופ׳ בן–עמי ברבדו ולפרופ׳ עודד שוסייוב, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית, ירושלים, ולתמי ארקין, יקב ״כרמי יוסף״, על הייעוץ בנושא ייצור יין.
- לד״ר אליק גרויסמן, בתי הזיקוק לנפט בע״מ, חיפה, על הייעוץ בנושא קורוזיה.
- לד״ר שלי ליבנה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, על בניית האתר המלווה את הספר.
- לפקד דוד כתר, מחלקת התנועה, משטרת ישראל, על הייעוץ בנושא שכרות ונהיגה.
- לד״ר אודי לבל, רופא אורטופד, על הייעוץ והתמונה (עמ׳ 26).
- לד״ר רות בן–צבי, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן למדע, על פיתוח האנימציה הממוחשבת.
- לד״ר מיכל צלטנר על הייעוץ בנושא חמצון–חיזור של תרכובות פחמן.
- למורי הניסוי אסתר ברקוביץ׳, בתיה שר, דורית בר, דינה זלוצובר, חני אלישע, מיאדה דבור, מיכאל קויפמן, נאוה תמם, עבדאללה חלאי׳לה, עדנה פרידמן ושרה אקונס, על נכונותם להיות הנחשונים, להתמודד עם קשיים, על היצירתיות ועל המשוב שסייע לנו בשכתוב הספר.
- למשתתפים בשני קורסי ההטמעה של תכנית הלימודים החדשה בשנים תשס״ד ותשס״ה, וכן למשתתפים בסדנה להכשרת מורים מובילים להוראה בתכנית הלימודים החדשה בתשס״ו, המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע, על תרומתם לפיתוח פעילויות ועל המשוב.
- לנדין קלברמן, על העריכה הלשונית שנעשתה במקצועיות, במסירות ובנועם.
- לטליה מלול, ציפי עובדיה ואסף מסעוד על העבודה המסורה, המקצועית והיצירתית במהלך הוצאת הספר לאור.
- לפנינה חדד ולסוזי טפר, על עזרתן בבדיקת הניסויים.
- למניה גולדמן, תיכון אזורי רמלה–לוד, על עזרתה בהתאמת הניסויים.
- לאיריס מור מזרחי ולשחר שלום, על עזרתם המסורה בהכנת החומר לדפוס.
- לכרמלה רוט נוב, על עזרתה בהדפסה.
- לסוכנות החלל האמריקאית NASA ובאדיבות המעבדות הלאומיות ע״ש ל. ברקלי, משרד המדע של ארה״ב, המחלקה לאנרגיה על התמונה (עמ׳ 43).
- ל–Klasik Org. Vintage Eyewear על התמונה של המשקפיים הפוטוכרומיות (עמ׳ 46).

תוכן העניינים

פרק א': כיצד מקבעים שברים בגוף? 7

ניסוי מס' 1 – מפגשי חמצון–חיזור 7

השורה האלקטרוכימית 16

ניסוי מס' 2 – ניקוי כלי כסף 19

ניסוי מס' 3 – מסמרים בכתום 20

שיתוך – קורוזיה 22

נא להכיר– טיטניום! 27

שאלות לסיכום פרק א' 28

פרק ב': נוגדי חמצון (אנטיאוקסידנטים) 33

אנטיאוקסידנטים 33

ניסוי מס' 4 – תגובות עם חמצן 35

כללים לקביעת דרגות חמצון 38

איזון תגובות חמצון–חיזור בעזרת דרגות חמצון 41

ניסוי מס' 5 – הלבנה זה שם המשחק 44

ניסוי מס' 6 – קביעת הכמות של ויטמין C 45

שאלות לסיכום לפרק ב' 48

פרק ג': ... זה בתוכנו 55

גלוקוז מועיל לזיכרון 55

חמצון גלוקוז ביצורים חיים 56

נשימה אֶרובית – הרחבה 62

חמצון אנאֶרובי של גלוקוז 64

חומצת חלב, אלכוהול ומיקרואורגניזמים 66

אם שותים – לא נוהגים 68

ניסוי מס' 7 – נשימת שמרים 72

שימושים נוספים באתאנול – העשרה 74

כיצד פועלים אנטיאוקסידנטים? 76

שאלות לסיכום לפרק ג' 78

פרק ד': ... שמירה על איזון – זה כל העניין! 85
מאזן חומצי בסיסי בגוף האדם 85
ניסוי מס' 8 – חומצות ובסיסים במטבח, באמבטיה ובמעבדה 86
מהם חומצות ובסיסים? 87
ניסוי מס' 9 – מפגש בין מימן כלורי לבין אמוניה 87
ניסוי מס' 10 – "מהפך" 89
חומצות ובסיסים חלשים 92
ניסוי מס' 11 – מה בין חזק לחלש? 92
חומצה ובסיס צמודים 96
גורמים המשפיעים על חוזק חומצות – העשרה 96
המים כבסיס וכחומצה 97
סולם ה–pH 98
ה–pH בגופנו – העשרה 100
תגובת סתירה 102
ניסוי מס' 12 – קביעת ריכוז החומצה בחומץ 103
תמיסות מגן – בופרים 107
ניסוי מס' 13 – בופר 107
חמצת ובססת – הרחבה 111
פעילות בקבוצות לסיכום פרק ד' 112
שאלות לסיכום פרק ד' 121

א כיצד מקבעים שברים בגוף?

באחד מליגוני הלרה הופיעה כתבה במדור הספורט. בידיעה נכתב שבאצטדיון קריית אליעזר, בעמן משחק כדורגל בין "מכבי ג"א" ל"הפועל חיפה", פגשה ברכו של שחקן אחד את ראשו של שחקן אחר וגרמה לארבעה שברים בלחיו של השחקן. שש שעות ארך הניתוח שבו קובעה הלחי בעזרת ארבעה מסמרים ופלטה מתכתית.

השחקן הפגוע חזר לשחק באותה עונה ושיחק היטב...

? איזו הייתם המלווים של השחקן הפגוע, מה הייתם שואלים את הרופא ראו מומחה אחרת לגבי קיבוע שברים בגוף?

בוודאי מוכרת לכם שיטת הקיבוע של שברים על-ידי גבס. מדוע נדרשו המנתחים בניתוח זה להיעזר במסמרים ובפלטה מתכתית? סביר להניח ששאלתם שאלות לגבי טיב המתכות המתאימות לקיבוע. שאלות שעוסקות בהיבטים פיזיקליים כמו חוזק וצפיפות, ושאלות בעלות הקשרים כימיים.

בניסוי הבא נתמקד בתכונות הכימיות של כמה מתכות, כפי שהן באות לידי ביטוי בתגובות כימיות שונות.

ניסוי מס' 1 — מפגשי חמצון-חיזור

בניסוי זה תתחלק הכיתה לארבע קבוצות, כל קבוצה תבצע ניסוי על-פי ההנחיות המתאימות.

קבוצה א'

ציוד וחומרים

צמר פלדה (שערות ברזל), 20 מ"ל תמיסת נחושת כלורית $0.2M\ CuCl_2$, 2 מבחנות, מקל זכוכית, משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. שפכו לתוך 2 מבחנות 10 מ"ל תמיסת נחושת כלורית.

ב. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את תמיסת הנחושת הכלורית.

?! הידעת?

הגבס משמש כסד טוב המקבע את האיבר ללא תנועה, ומאפשר לעצמות שנשברו להתאחות מעצמן.

גבס הוא חומר יוני שנוסחתו היא $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. מולקולות המים מהוות חלק בלתי נפרד ממבנה הגבישים. כאשר מחממים את הגבס לטמפרטורה העולה על $87^{\circ}C$, חלק מהמים מתאדה מהגבישים, ומתקבל $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$. תודות לתכונה מיוחדת של חומר זה, כאשר מוסיפים לו מים, נוצרת עיסה גמישה שיכולה לקבל כל צורה שהיא. העיסה מתקשה תוך כדי ספיחת המים וקבלת $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ במבנה גבישי אחר. החומר המתקבל הוא קשה ושומר על צורתו החדשה. לכן הגבס יכול לשמש לקיבוע עצמות שבורות. בנוסף לשימושו הרפואי הוא משמש ליצירת תבניות, לבניית מחיצות ניידות ועוד.

ג. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את מבנה הברזל המתכתי.

ד. לאחת המבחנות הכניסו את הברזל וערבבו קלות בעזרת מקל זכוכית. את המבחנה השנייה שמרו לצורך השוואה.

ה. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר וארגנו אותן.

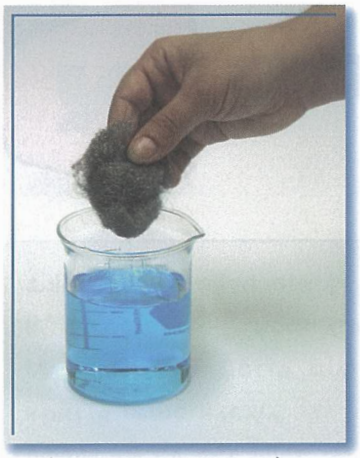
ו. הציגו, על-פי הערכתכם, את תכולת המבחנה בעזרת מודלים דומים לאלו שהשתמשתם בהם קודם לכן.

ז. האם, לדעתכם, התרחשה תגובה כימית במבחנה? נמקו.

ח. אם התרחשה תגובה, נסו לנסח ולאזן את התגובה.

ט. שערו מה יקרה אם נכניס "שערות" של נחושת מתכתית לתוך תמיסת יוני ברזל, ונמקו את השערתכם.

י. הכינו את המידע שאספתם במהלך ביצוע הניסוי להצגה בפני הכיתה.



צמר פלדה ותמיסת נחושת כלורית

קבוצה ב'

ציוד וחומרים

מבחנה פקוקה המכילה תמיסת כסף חנקתי, $0.2M\ AgNO_3$, פקק גומי שמחובר אליו סליל נחושת לא מצופה, כפפות גומי, משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. ברשותכם מבחנה המכילה תמיסת כסף חנקתי.

ב. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את תמיסת הכסף החנקתי.

ג. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את מבנה הנחושת המתכתית.

ד. הקפידו להשתמש בכפפות. החליפו את פקק המבחנה שבידכם בפקק עם סליל הנחושת. העמידו את המבחנה הסגורה במעמד מבחנות ללא תזוזה.

ה. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר במהלך 10 דקות וארגנו אותן.

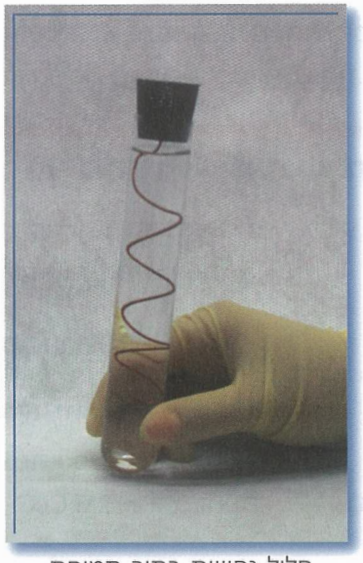
ו. הציגו, על-פי הערכתכם, את תכולת המבחנה בעזרת מודלים דומים לאלו שהשתמשתם בהם קודם לכן.

ז. האם, לדעתכם, התרחשה תגובה כימית במבחנה? נמקו.

ח. אם התרחשה תגובה, נסו לנסח ולאזן את התגובה.

ט. שערו מה יקרה אם נכניס סליל של כסף מתכתי לתוך תמיסת יוני נחושת, ונמקו את השערתכם.

י. הכינו את המידע שאספתם במהלך ביצוע הניסוי להצגה בפני הכיתה.



סליל נחושת בתוך תמיסת כסף חנקתי

קבוצה ג'

ציוד וחומרים

אבקת אבץ, מבחנה המכילה כ-5 מ"ל תמיסת נחושת כלורית, $0.2M\ CuCl_2$, עם פקק מתאים, משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. ברשותכם מבחנה המכילה תמיסת נחושת כלורית.

ב. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את תמיסת הנחושת הכלורית.

ג. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את מבנה האבץ המתכתי.

ד. הוסיפו מעט אבקת אבץ לתוך המבחנה.

ה. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר וארגנו אותן.

ו. הציגו, על-פי הערכתכם, את תכולת המבחנה בעזרת מודלים דומים לאלו שהשתמשתם בהם קודם לכן.

ז. האם, לדעתכם, התרחשה תגובה כימית במבחנה? נמקו.

ח. אם התרחשה תגובה, נסו לנסח ולאזן את התגובה.

ט. שערו מה יקרה אם נכניס מעט אבקה של נחושת לתוך תמיסת יוני אבץ, ונמקו את השערתכם.

י. הכינו את המידע שאספתם במהלך ביצוע הניסוי להצגה בפני הכיתה.

?! הידעתם?

האבץ, Zn, שייך לקבוצת מתכות המעבר. זוהי אחת המתכות הנפוצות בשימוש אחרי ברזל, אלומיניום ונחושת.

שימושים נפוצים:

- משמש לגלוון פלדה וברזל למניעת חלודה.
- משמש לצורך יציקה בתעשיית הרכב.
- משמש כחלק ממרכבי הסוללה החשמלית.

האבץ יוצר ביחד עם הנחושת את הסגסוגת פליז.

קבוצה ד'

ציוד וחומרים

חומצה מימן כלורית – $0.25M\ HCl$ שבבי נחושת, פיסת אבץ, צמר פלדה, נייר זכוכית, 3 מבחנות, משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. מלאו כל אחת מהמבחנות עד מחצית גובהה בחומצה מימן כלורית.

ב. תארו בעזרת מודל חלקיקי מתאים את מבנה הנחושת המתכתית, האבץ המתכתי והברזל המתכתי.

ג. שפשפו בעזרת נייר הזכוכית את פיסת האבץ.

ד. הכניסו למבחנה אחת את פיסת האבץ, למבחנה שנייה את שבבי הנחושת ולשלישית צמר פלדה. **הקפידו לא לפקוק את המבחנות.**

ה. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר וארגנו אותן.

ו. האם, לדעתכם, התרחשה תגובה כימית במבחנות? נמקו את תשובתכם.

ז. הציגו על-פי הערכתכם את תכולת המבחנות בעזרת מודלים.

ח. שערו מה יקרה אם נכניס טבעת זהב לתוך מיץ לימון סחוט ומסונן, ונמקו את השערתכם.

ט. הכינו את המידע שאספתם במהלך ביצוע הניסוי להצגה בפני הכיתה.

שאלות לדיון בלקבוצת הניסוי

1. כיצד ניתן לפרש את התצפיות שנאספו בניסוי?
2. אילו מסקנות ניתן להסיק?
3. בכל הניסויים השתתפו מתכות. תכננו תכנית פעולה שבעזרתה תוכלו לדרג את כושרן של מתכות להשתתף בתגובות כימיות מהסוג שפגשתם בניסויים של הקבוצות השונות.
4. האם, לדעתכם, עשויה להשפיע צורת המתכת (סליל, שערות, שבבים, פיסה) על התרחשות התגובה או על מהירות התגובה? הסבירו.

ניתן לסכם ולומר שבכל התהליכים שביצעתם, הפכו היסודות המתכתיים, תוך כדי התגובה, לחומר חדש בעל תכונות חדשות, ולכן אינם יכולים לשמש בתפקיד שיועד להם. לדוגמה, צמר הפלדה שתפקידו לשפשף ולנקות, השתנה תוך כדי תגובה ואינו יכול למלא את ייעודו.

כיצד ניתן להסביר את התהליכים שהתרחשו בניסויים שביצעתם?

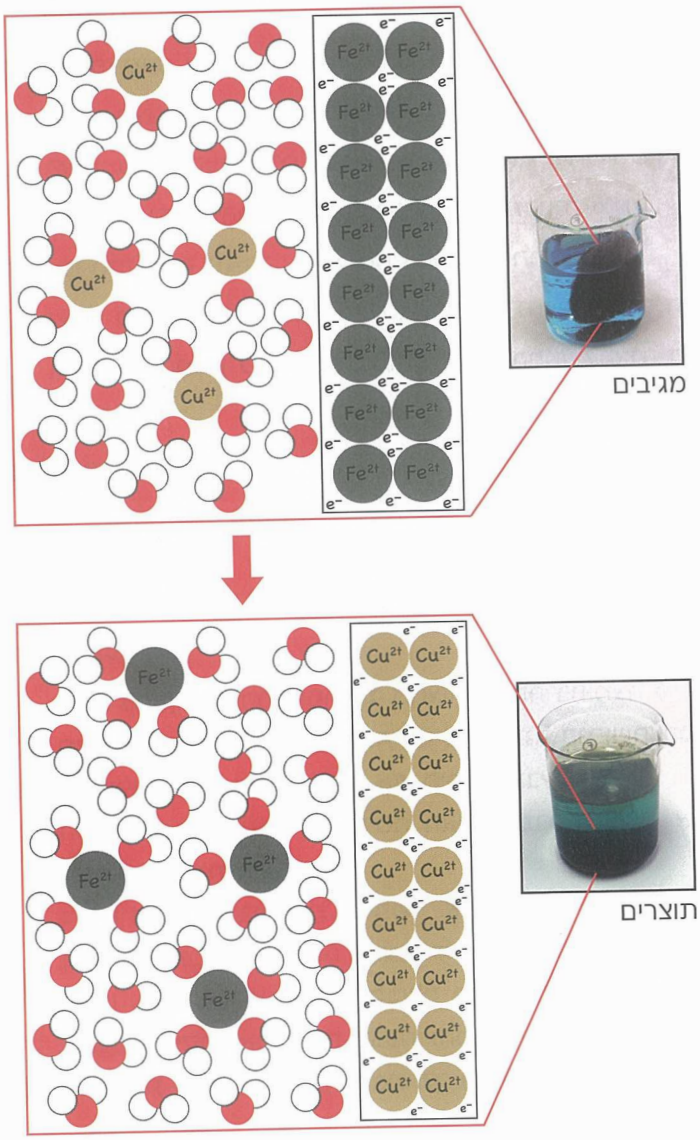
נתייחס בהסבר לשני היבטים עיקריים:

א. מהו התהליך שהתרחש ברמה החלקיקית?

ב. מהו הדמיון ומהו השוני בין התהליכים השונים, ומה ניתן ללמוד מכך?

לצורך מתן הסבר נתמקד בתגובה של קבוצה א', שבה הכנסנו צמר פלדה או מסמר הבנויים מהמתכת ברזל $Fe_{(s)}$, לתמיסת נחושת כלורית $CuCl_2$. תוך כדי ביצוע הניסוי צפיתם בשינוי צבע התמיסה ובהופעת ציפוי חום אדום על צמר הפלדה, ולבסוף חלה התפוררות של צמר הפלדה. תצפיות אלו עוזרות לנו בפענוח התהליך שהתרחש: ריכוזם של יוני הנחושת שאחראיים לצבע הכחול של התמיסה יורד, ומכאן ניתן להסיק שהם הגיבו. כמו כן ניתן להסיק על פי התצפיות שהתקבלה נחושת מתכתית.

מודל חלקיקי המתאר תגובה בין ברזל מתכתי לתמיסה מימית שמכילה יוני נחושת



הציעו ניסוי שבעזרתו ניתן להוכיח שאכן התקבלה המתכת נחושת!

ניתן לרשום את הניסוח **החלקי** של התגובה באופן הבא:

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + \boxed{?}$$

תוך כדי התרחשות התגובה, יוני הנחושת הממוימים הפכו לסריג מתכתי המורכב מיוני נחושת ב"ים" של אלקטרונים בנחושת המתכתית.

מהו מקורם של אלקטרונים אלו? יוני הנחושת מושכים את האלקטרונים מ"ים" האלקטרונים של הברזל, וכתוצאה מכך משתחררים לתמיסה יונים חיוביים של ברזל $Fe^{2+}{}_{(aq)}$. **בתגובה מתקיים מעבר אלקטרונים מהברזל אל יוני הנחושת.**

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Fe^{2+}{}_{(aq)}$$

תגובה שבה מתרחש מעבר אלקטרונים נקראת **תגובת חמצון – חיזור**. כפי שנאמר, יוני הנחושת מושכים אלקטרונים מהמתכת ולכן הם "מקבלים" אלקטרונים. חומרים המושכים אליהם אלקטרונים נקראים **חומרים מחמצנים** (לקשר בין המילה מחמצן וחמצן נתייחס בהמשך). חומרים אשר נלקחים מהם אלקטרונים, וכתוצאה מכך "**מוותרים**" ומוסרים" אלקטרונים, נקראים **חומרים מחזרים**. מכאן שיוני הנחושת מתפקדים כמחמצנים, והמתכת ברזל מתפקדת כמחזרת.

תגובת חמצון–חיזור היא תגובה שבה מתרחש מעבר אלקטרונים.

חומר מחמצן – חומר שמושך אליו אלקטרונים ומקבל אותם.

חומר מחזר – חומר ש"מוותר", ונלקחים ממנו אלקטרונים.

חומר מחזר — חומר מחמצן

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

$2e^-$

ניתן לתאר את תגובת החמצון – חיזור ע"י שני חצאי תגובה, חצי תגובה שבה מתרחש חמצון וחצי תגובה שבה מתרחש חיזור:

חומרים אינם "**מוותרים**" מרצון על אלקטרונים, אלא שבבואם במגע עם חומרים שמושכים אלקטרונים חזק יותר, הם נאלצים "לוותר".

חצי תגובה שבה מתרחש חמצון $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-$

חצי תגובה שבה מתרחש חיזור $Cu^{2+}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

הערה: כאשר האלקטרונים רשומים בתוצרים, משמע שאלקטרונים נלקחו מהחלקיק במגיבים והוא "ויתר" עליהם; כאשר האלקטרונים רשומים במגיבים, החלקיק, המגיב, משך – "קיבל" אותם.

סכום חצאי התגובות מתאר את התגובה הכוללת:

חמצון

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

חיזור

"רגע של לשון": בתגובת חמצון-חיזור משתתפים חומר מחמצן וחומר מחזר. המחמצן מושך אליו אלקטרונים וגורם לחומר אחר לתפקד כמחזר, לעבור חמצון. המחמצן שמקבל אלקטרונים עובר תהליך חיזור.

לצורך המחשה, ניתן לערוך השוואה בין תגובת חמצון – חיזור לבין תופעה של "חימום – קירור" כתוצאה ממגע בין שני גופים בעלי טמפרטורה שונה. לדוגמה, הכנסת קרח למים. כאשר הקרח בא במגע עם המים, נוצר מעבר אנרגיה בצורת חום מן המים אל הקרח, המים מחממים את הקרח, והם עצמם מתקררים. הקרח שמקרר את המים, מתחמם בעצמו בשעה שהוא קולט אנרגיה מהמים.

	חמצון–חיזור	חימום–קירור
מה עובר?	אלקטרונים (אין מעבר פרוטונים)	אנרגיה בצורה של חום
מושך, קולט, "מקבל"	המחמצן מושך אליו אלקטרונים ועובר חיזור.	הקרח מתחמם תוך כדי קליטת אנרגיה וקירור המים
מוותר "מוסר"	המחזר מוותר על אלקטרונים ועובר חמצון.	המים מתקררים תוך כדי מעבר האנרגיה אל הקרח וחימום הקרח.

נחזור לתגובה בין המתכת ברזל ובין יוני הנחושת. לעתים ניתן לוותר על רישום חצאי תגובות וניתן לייצג את המידע על החמצון – חיזור בתצוגה הבאה:

$-2e^-$

חמצון

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

חיזור

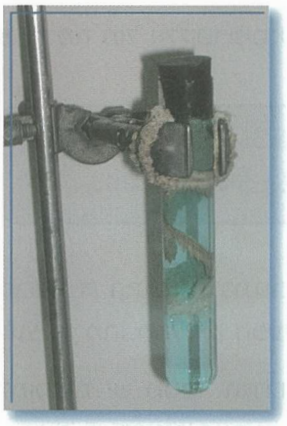
$+2e^-$

משמעות התצוגה היא שבמהלך התגובה מול יוני נחושת, משכו אליהם 2 מול אלקטרונים והפכו למול של היסוד המתכתי נחושת. אלקטרונים אלו נלקחו ממול ברזל, וכתוצאה מכך נוצרו מול יוני ברזל. סה"כ עברו בתהליך 2 מול אלקטרונים.

פעילות רשת

היכנסו לאתר המלווה את הספר שכתובתו: http://stwww.weizmann.ac.il/g – chem/chemin
בחרו בדף הקישורים פרק א', בפעילות המתוקשבת באנימציה שמתארת את התגובה בין אבץ לבין תמיסה המכילה יוני נחושת. צפו באנימציה.

נמשיך בדיון על תגובות חמצון – חיזור ונתמקד בתגובה שביצעה קבוצה ב', תגובה בין המתכת נחושת ובין תמיסה המכילה יוני כסף.



ציפוי כסף הנוצר בתגובה בין סליל נחושת לבין תמיסת כסף חנקתי

בתגובה זו יוני הכסף שבתמיסה $Ag^+_{(aq)}$ משכו אלקטרונים מהנחושת, עברו תהליך חיזור והפכו לכסף מתכתי, בעוד שהנחושת ויתרה – "איבדה" אלקטרונים, עברה חמצון, והפכה ליוני נחושת ממוימים $Cu^{2+}_{(aq)}$, לפי הניסוח הבא:

$$Cu_{(s)} + Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$$

$-2e^-$

$+e^-$

התבוננות בניסוח התגובה מעוררת בעיה – **חוסר איזון במטען החשמלי**. כלומר, הכמות הכוללת של האלקטרונים המעורבת בחצי התגובה שבה מתרחש חמצון, אינה שווה לכמות הכוללת של האלקטרונים שמעורבת בחצי התגובה שבה מתרחש חיזור – אי ציות לחוק שימור המטען.

כדי שהתגובה תצא לפועל במלואה, כל מול של נחושת מגיב עם שני מול של יוני כסף, וסך – הכול עוברים בתגובה 2 מול אלקטרונים, ולכן יש לאזן את ניסוח התגובה באופן הבא:

$$Cu_{(s)} + 2Ag^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

$-2e^-$

$2 \cdot / + e^-$

ניתן לסכם ולומר שבתגובה המאוזנת מספר מולי האלקטרונים שמעורבים בחצי תגובת החיזור שווה למספר מולי האלקטרונים שמעורבים בחצי תגובת החמצון. בתהליך הנ"ל עוברים 2 מול אלקטרונים לכל מול נחושת מתכתית או לכל 2 מול יוני כסף שמגיבים.

מספר מולי האלקטרונים שמעורבים בחצי התגובה שבה מתרחש החיזור, **שווה** למספר מולי האלקטרונים בחצי התגובה שבה מתרחש חמצון, ואלו **אותם** האלקטרונים.

שאלה לם פתרון מודרך

מה לגבי התגובה שהתרחשה בניסוי של קבוצה ג', תגובה בין אבץ מתכתי ותמיסת נחושת כלורית $CuCl_2$?
נסחו את התגובה המאוזנת בעזרת ההנחיות הבאות:

1. רשמו בשפת הכימאים את הסימולים המתאימים של המגיבים והתוצרים (התייחסו לניסוח נטו בלבד).
2. נסו לזהות מהו החומר המחמצן וכמה מול אלקטרונים משך אליו מול מחמצן.
3. נסו לזהות מהו החומר המחזר וכמה מול אלקטרונים נלקחו ממול מחזר.
4. אזנו את התגובה והקפידו על איזון המטען החשמלי.
5. כמה מול אלקטרונים עברו בתגובה של מול יוני נחושת?

לפי-פי ניתוח תוצאות הניסויים של קבוצות א-ג, איזו מהמתכות היא המתאימה ביותר מבחינת תכונותיה לקיבוץ השבר של שחקן הכדורגל? נמקו!

קבוצה ד' התנסתה בתגובה של מתכות עם **חומצה** מימן כלורית וצפתה בפליטת גז בחלק מהתגובות. נברר לעצמנו מהו החלקיק הפעיל בחומצה?

לחומצות יש מספר הגדרות. בשלב זה, נתייחס להגדרת חומצות בתמיסה מימית: חומצה היא חומר המסוגל "לוותר" על פרוטון H^+ הנקשר למולקולת המים, וכתוצאה מכך מתקבלת תמיסה המכילה יוני הידרוניום $H_3O^+_{(aq)}$ הניסוח הבא מתאר תגובה בין חומצה מימן כלורית ובין מים:

חומצה בתמיסה מימית
היא חומר המסוגל "לוותר" על פרוטון H^+ הנקשר למולקולת המים, וכתוצאה מכך מתקבלת תמיסה המכילה יוני הידרוניום $H_3O^+_{(aq)}$.

$$HCl_{(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

ניתן לנסח באופן כללי את התגובה שהתרחשה בין המתכות ובין החומצה באופן הבא:

מימן + יוני מתכת ⟶ יוני הידרוניום + מתכת

ניסוח בשפת הכימאים של התגובה בין המתכת ברזל לבין חומצה מופיע להלן:

$$Fe_{(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} \longrightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

שערו אם התגובה הנ"ל הינה תגובת חמצון – חיזור.

גם בעזרת ניסוי זה של קבוצה ד' ניתן לעמוד על הדומה והשונה בהתנהגותם הכימית של מתכות ושל יוני מתכות. מתכות "מוותרות" על אלקטרונים ומתנהגות כמחזרות, כאשר מחמצן מושך מהן את האלקטרונים. יוני ההידרוניום H_3O^+ משכו אלקטרונים מהברזל ומהאבץ אך לא מהנחושת. ניתן להסיק שהאבץ והברזל עוברים חמצון בקלות רבה יותר – הם מחזרים טובים יותר מהנחושת.

פעילות רשת

היכנסו לאתר המלווה את הספר שכתובתו: http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/chemin

בחרו בדף הקישורים פרק א', בפעילות המתוקשבת חמצון – חיזור לקביעת השורה האלקטרוכימית.

בחרו בפעילות Activity 1.

על המסך מופיעה סדרת כוסות, בכל כוס תמיסת יוני מתכת ורשימת מתכות.

1. השתמשו בעכבר על מנת לבחור מתכת והכניסו אותה לכל אחת מהכוסות הנתונות. לשם כך לחצו לתחילת הפעולה על המלבן השמאלי המופיע מתחת לכוסות, המתינו עד לקבלת הודעה המאפשרת את הוצאת המתכות מהתמיסות ולחצו שוב על המלבן השמאלי.
2. רשמו את תצפיותיכם.
3. באילו כוסות, לדעתכם, התרחשה תגובה כימית? נמקו.
4. חזרו על הפעולות עם כל אחת מהמתכות ורכזו את תצפיותיכם בטבלה המצורפת.
5. על מנת לראות את התגובה ברמה החלקיקית, לחצו עלMolecular scale reactions ופעלו בהתאם להוראות בלומדה.
6. בחרו שני כלים שבהם התרחשה תגובה, נסחו ואזנו את התגובות שהתרחשו.
7. דרגו את המתכות לפי כושרן לחזר ואת יוני המתכות לפי כושרם לחמצן.

	$Mg^{2+}_{(aq)}$	$Zn^{2+}_{(aq)}$	$Cu^{2}+_{(aq)}$	$Ag^{+}_{(aq)}$
Mg				
Cu				
Zn				
Ag				

בחרו בפעילויות Activity 2 ו-Activity 3.

1. חזרו על הפעולות שביצעתם ב-Activity 1, רכזו את תצפיותיכם בטבלה מתאימה, בחרו שני תהליכים, רשמו להם ניסוח מאוזן ודרגו את המתכות המשתתפות לפי כושרן לחזר ואת יוני המתכות לפי כושרם לחמצן.
2. רכזו את הנתונים שקיבלתם מכל שלוש הפעילויות בטבלה שמשמאל:

דרוג המתכות	דרוג יוני המתכות

בחרו בפעילות Activity 4.

1. הכניסו כל אחת מהמתכות לתוך תמיסת HCl ורשמו את תצפיותיכם בכל מקרה.
2. דרגו את המתכות לפי רמת הפעילות שלהן.
3. האם יש התאמה בין הדירוג בחלק זה לבין הדירוג שהתקבל בחלקים קודמים של הפעילות?

השורה האלקטרוכימית

נחזור ונתייחס לתוצאות הניסויים של כל הקבוצות.

- האם ניתן להסיק מסקנות לגבי כושרן היחסי של המתכות לחזר או לגבי כושרם היחסי של יוני המתכות לחמצן?

יוני הנחושת משכו אלקטרונים מהברזל בתגובה שהתרחשה בניסוי של קבוצה א', ואילו יוני כסף משכו אלקטרונים מהנחושת בתגובה שהתרחשה בניסוי של קבוצה ב'. בניסוי הראשון יוני הנחושת חמצנו, ואילו בניסוי השני הנחושת היתה מחזרת.

כושרן היחסי של מתכות לחזר מבטא את נטייתן היחסית של המתכות ליצור יונים חיוביים ממוימים.

ניתן להסיק מכך:

- יוני כסף מחמצנים טוב יותר מיוני נחושת, והאחרונים מחמצנים טוב יותר מיוני הברזל.
- המתכת נחושת מחזרת טוב יותר מהמתכת כסף.

מחמצן טוב יותר

$Fe^{2+}_{(aq)}$ $Cu^{2+}_{(aq)}$ $Ag^{+}_{(aq)}$

כאשר משווים את כושרם היחסי של המתכות לחזר מתקבל הדירוג הבא:

מחזרת טובה יותר

$Fe_{(s)}$ $Cu_{(s)}$ $Ag_{(s)}$

שורה אלקטרוכימית – שורה המדרגת את כושרן היחסי של המתכות לחזר.

כמסקנה משורה של ניסויים שנערכו בעבר, הדומים לאלה שביצעתם, ניתן לדרג מתכות שונות לפי כושרן היחסי לחזר, ובמקביל לדרג את יוני המתכות הממוימים לפי כושרם לחמצן. דירוג המתכות מוכר בשם **שורה אלקטרוכימית**. כל מתכת המופיעה משמאל היא מחזרת טובה יותר מזו המופיעה מימין לה.

התבוננות בשורה מאפשרת לנו לנבא אילו תגובות עשויות להתרחש בין מתכות ליוני מתכות, ואילו אינן מתרחשות.

Li K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Pb Cu Ag Pt Au

מחזרת טובה יותר

שאלות לסיכום השורה האלקטרוכימית

שאלה לא פתרון מודרך

בשאלה הבאה נבנה שורה אלקטרוכימית מצומצמת למתכות נוספות, שאינן מופיעות בשורה האלקטרוכימית שקיבלתם.

נערכו שלושה ניסויים בין מתכות ליוני מתכות.

בניסוי I טבלו גוש כרום, $Cr_{(s)}$, בתמיסה מימית של עופרת חנקתית, $Pb(NO_3)_2$, והתקבל משקע אפור של עופרת מתכתית.

בניסוי II טבלו גוש עופרת, $Pb_{(s)}$, בתמיסה מימית של מנגן חנקתי, $Mn(NO_3)_2$, ולא הבחינו בשינויים.

בניסוי III טבלו גוש מנגן, $Mn_{(s)}$, בתמיסה מימית של כרום חנקתי, $Cr(NO_3)_3$, והתקבל משקע אפור של כרום מתכתי.

1. הסבירו את ממצאי הניסויים ולוו את ההסבר בניסוח תהליכים מתאימים.
2. דרגו את המתכות המשתתפות בניסויים לפי כושרן היחסי לחזר, ואת יוני המתכות לפי כושרם היחסי לחמצן.
3. אבץ, Zn, הוא מתכת מחזרת טובה יותר ממנגן, Mn. על סמך מידע זה ותוצאות הניסויים הנ"ל, קבעו איזה מבין התהליכים הבאים ייצא אל הפועל:

$$Zn^{2+}{}_{(aq)} + Cr_{(s)} \longrightarrow$$

$$Pb^{2+}{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \longrightarrow$$

פתרון

1. בניסוי I התרחשה תגובה בין יוני העופרת, $Pb^{2+}{}_{(aq)}$, לבין הכרום המתכתי, $Cr_{(s)}$, שבמהלכה התרחש מעבר של אלקטרונים מהמתכת אל יוני המתכת.

$$3Pb^{2+}{}_{(aq)} + 2Cr_{(s)} \rightarrow 3Pb_{(s)} + 2Cr^{3+}{}_{(aq)}$$

בניסוי II לא התרחשה תגובה בין יוני המנגן, $Mn^{2+}{}_{(aq)}$, לבין העופרת המתכתית, $Pb_{(s)}$, מכיוון שיוני המנגן אינם "מצליחים" לחמצן – למשוך אלקטרונים מהעופרת המתכתית.

בניסוי III "מצליחים" יוני הכרום, $Cr^{3+}{}_{(aq)}$, לחמצן את המתכת מנגן, $Mn_{(s)}$, ומתרחשת תגובת חמצון-חיזור:

$$2Cr^{3+}{}_{(aq)} + 3Mn_{(s)} \rightarrow 2Cr_{(s)} + 3Mn^{2+}{}_{(aq)}$$

רגע חשבים

אסטרטגיה לפתרון

על מנת לענות על השאלה, ננסה להבין אם בניסויים שבוצעו התרחשה תגובה כימית, ובמקרים שבהם התרחשה תגובה, נגדיר מהם המגיבים ומהם התוצרים.

בשאלה הנדונה התרחשה תגובה כימית בניסויים I ו-III. בשניהם התרחשה תגובה בין יוני מתכת ממוימים ליסוד מתכתי מוצק, שבמהלכה עברו אלקטרונים מהסריג המתכתי ליוני המתכת הממוימים. כיוון המעבר של האלקטרונים יעזור לנו לדרג את יוני המתכות המשתתפים בניסוי לפי כושרם לחמצן ואת המתכות לפי כושרן לחזר.

2. דירוג המתכות לפי כושרן היחסי לחזר:

$$Mn_{(s)} > Cr_{(s)} > Pb_{(s)}$$

דירוג יוני המתכות לפי כושרם היחסי לחמצן:

$$Pb^{2+}{}_{(aq)} > Cr^{3+}{}_{(aq)} > Mn^{2+}{}_{(aq)}$$

3. תגובה שתצא לפועל היא התגובה בין יוני העופרת לאבץ המתכתי, מכיוון שהמתכת אבץ מחזרת טובה יותר מהמתכת עופרת. כך יתאפשר מעבר של אלקטרונים מהסריג המתכתי של האבץ ליונים הממוימים של העופרת.

$$Pb^{2+}{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Pb_{(s)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$$

שאלות

נתון כי, ניתן להפיק כסף מתכתי, $Ag_{(s)}$, אם מוסיפים נחושת מתכתית, $Cu_{(s)}$, לכסף חנקתי, $AgNO_3$ מותך.

1. רשמו ניסוח נטו מאוזן לתהליך שמתרחש.
2. ציינו איזה חלקיק מחמצן ואיזה מחזר בתהליך ונמקו את קביעתכם.
3. איזו מבין שתי המתכות (כסף או נחושת) מחזרת טובה יותר? נמקו את תשובתכם.

חלק מהמתכות מגיבות עם תמיסת מימן כלורי, HCl (תמיסה המכילה יוני הידרוניום), תוך שחרור גז מימן. כאשר מכניסים נחושת, $Cu_{(s)}$, לתוך תמיסת מימן כלורי, HCl, לא משתחרר גז מימן.

4. האם התרחשה תגובה בין הנחושת ליוני ההידרוניום, $H_3O^+{}_{(aq)}$? נמקו את תשובתכם.
5. האם ישתחרר גז מימן כאשר נכניס כסף מתכתי, $Ag_{(s)}$, לתוך תמיסת מימן כלורי? הסבירו את קביעתכם.
6. בתגובה בין מתכות לבין יוני הידרוניום, המימן הוא תוצר של תהליך חיזור. בתהליכים מסוימים יכול המימן לשמש כמחזר. האם תתרחש תגובה בכלי שבו נזרים גז מימן לתוך תמיסת יוני נחושת? נמקו את תשובתכם.
7. דרגו את הגז מימן, הכסף המתכתי והנחושת המתכתית לפי כושרם היחסי לחזר.

צפיה מועדפת בסרט

"מתכות" – סרט מתוך הסדרה "עולם הכימיה" בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה. בסרט "מתכות" מוצגים ניסויים ותהליכים אשר מדגימים או מיישמים את השורה האלקטרוכימית.

1. תארו לפחות שני ניסויים או תהליכים אשר מדגימים או מיישמים את השורה האלקטרוכימית.
2. נסחו תגובות כימיות מתאימות לדוגמאות שבחרתם.
3. הסבירו את הקשר בין הדוגמאות שבחרתם ובין השורה האלקטרוכימית.

בוודאי נתקלתם בכלי כסף או בתכשיטי כסף שהשחירו עם הזמן. ההשחרה נובעת מיצירת כסף גופרי, $Ag_2S_{(s)}$, על פני המתכת, כתוצאה מתגובה בין המתכת כסף ובין הגז מימן גופרי הנמצא בריכוזים נמוכים באוויר כתוצאה מתהליכי ריקבון. נשאלת השאלה כיצד ניתן להבריק מחדש את כלי הכסף?

עומדות בפנינו שתי אפשרויות:

1. למצוא חומרים שיסירו את הכסף הגופרי מפני הכלי ויחשפו כסף מתכתי מבריק.
2. למצוא חומרים שיחזרו את יוני הכסף, Ag^+, הקיימים בכסף גופרי חזרה לכסף מתכתי.

פמוטי כסף לפני ואחרי ניקוי

איזו מבין השיטות עדיפה בעיניכם? נמקו את בחירתכם.

בניסוי הבא נדגים בפניכם שיטה לניקוי כלי כסף.

ניסוי מס' 2 — ניקוי כלי כסף – הדגמת מורה

א. נכין קערה גדולה (אשר יכולה להכיל את כלי הכסף) מצופה מבפנים בנייר אלומיניום.

ב. לקערה נוסיף מים חמים בכמות שתכסה את הכלי המיועד לניקוי.

ג. במים החמים נמיס כפית אבקת סודה לשתייה, $NaHCO_{3(s)}$, לכל כוס מים (כ-200 מ"ל).

ד. נכניס את כלי הכסף לקערה עם המים, כך שיבוא במגע עם נייר האלומיניום.

ה. צפו במתרחש.

ניקוי גביע כסף

בעקבות הניסוי

1. אילו שאלות מתעוררות בעקבות הניסוי?
2. מבין השאלות שהעליתם, בחרו שאלה שברצונכם לחקור, ונסחו אותה כשאלת חקר.
3. העלו השערה מתאימה לשאלת החקר שהצעתם, בססו את ההשערה על ידע מדעי.
4. מבין שיטות הניקוי המוזכרות בעמוד הקודם, איזו מתרחשת בניסוי שבוצע?

ניסוי מס' 3 — מסמרים בכתום

הניסוי יתבצע בקבוצות.

בניסוי זה תעקבו אחר התוצאות במשך 3-6 ימים, פעמיים בכל יום (בתחילת יום הלימודים ובסופו). הקפידו על חלוקת תפקידים בתוך הקבוצה ושיתוף כל חברי הקבוצה בפעילות.

ציוד וחומרים

9 מבחנות, 9 מסמרי ברזל (מסמרי בניין), פיסת מגנזיום, סליל נחושת, נייר שמיר, אצטון, מים מזוקקים, מי-ים המלח, מי-ים התיכון, מי ברז, תמיסת HCl בריכוז 1M, תמיסת HCl בריכוז 0.1M.

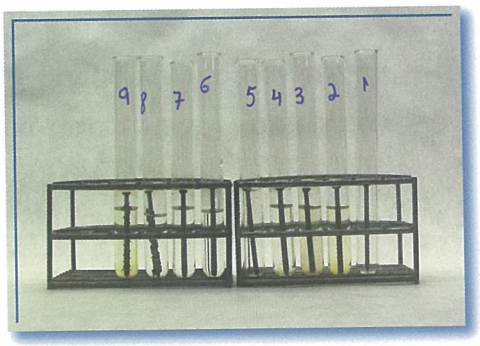
מהלך העבודה

יש להקפיד להשתמש בכפפות ולהרכיב משקפי מגן.

א. שייפו את כל המתכות המשתתפות בניסוי בעזרת נייר שמיר, שטפו במים מזוקקים ולאחר מכן באצטון וייבשו בנייר.

ב. סמנו את המבחנות במספרים 1-9.

ג. במבחנות שבהן יש להוסיף נוזלים, הקפידו שהנוזל יכסה כ-$\frac{2}{3}$ מגובה המסמר – יש להקפיד להכניס קודם את הנוזל ורק אחר-כך את המסמר.



מערכת הניסוי - מסמרים בכתום

ד. הכינו את המבחנות לפי הפירוט הבא:

מס' מבחנה	הטיפול בתכולת המבחנה
1	הכניסו מסמר ברזל.
2	הכניסו מסמר ברזל במים מזוקקים.
3	הכניסו מסמר ברזל במי ברז.
4	הכניסו מסמר ברזל במי ים.
5	הכניסו מסמר ברזל במי ים המלח.
6	הכניסו מסמר ברזל בתמיסת HCl בריכוז 0.1M.
7	הכניסו מסמר ברזל בתמיסת HCl 1M.
8	לפפו פיסת מגנזיום מסביב למסמר ברזל והכניסו במים מזוקקים.
9	לפפו סליל נחושת מסביב למסמר ברזל והכניסו במים מזוקקים.

ה. הכינו במחברתכם טבלה לאיסוף תצפיות המתאימה לאיסוף של מספר ימים (בדומה לטבלה הבאה).

ו. אספו תצפיות רבות ככל האפשר (הקפידו לתעד תאריך ושעה) וארגנו אותן בטבלה שבמחברתכם:

טבלת איסוף תצפיות

מס' מבחנה	1	2	3	4	5	6	7	8	9
תאריך שעה									
תאריך שעה									

בעקבות הניסוי

1. תארו במילים תופעה אחת כללית שבה צפיתם.
2. חפשו במקורות מידע הגדרה לתופעה שתיארתם.
3. נסו לתת הסבר כימי לתופעה.
4. מהם, לדעתכם, הגורמים המשפיעים על התופעה? ציינו 2-4 גורמים.
5. תכננו ניסוי שבעזרתו תוכלו לבדוק את השפעתו של גורם אחד – מבין אלו שציינתם בסעיף 4 – על התופעה שזיהיתם בניסוי.

שיתוך – קורוזיה

שיתוך (קורוזיה בלועזית) הוא תגובת חמצון-חיזור של חומרים שונים, בעיקר של מתכות וסגסוגות, עם חומרים מהסביבה.

בעקבות הקורוזיה מאבדים החומרים עם הזמן את התכונות שיועדו להם. קירות פלדה מאבדים מחוזקם, פולימרים שקופים הופכים לאטומים ומגעים חשמליים הופכים למבודדים.

הקורוזיה משפיעה בצורה משמעותית על התעשייה ועל החברה. כיום מועסקים הרבה מאוד מומחים בארץ ובעולם בתחום הקורוזיה במניעה, בבקרה ובחקר התופעה כמו גם בטיפול בה. בשנים האחרונות חלה התקדמות גדולה בכל הקשור לקורוזיה, אך למרות הכול מתרחשים כשלים ותקלות שנובעים מבעיות קורוזיה.

לדוגמה: הבקרה של הזרקת הדלק במטוסים נעשית על-ידי שסתומים שמגעיהם החשמליים עשויים מזהב-בדיל. קורוזיה במגעים אלו גרמה לתקלות במערכות הבקרה ולכשלים רציניים במספר מטוסים. מגדל אייפל בפריז עשוי מפלדה. מאז הקמתו בשנת 1889 עבר המגדל 17 תהליכי שימור שעיקרם צביעה למניעת קורוזיה, בעלות של עשרה מיליון דולר!

?! הידעת?

חישובים שבוצעו בארה"ב הראו שמדינות שונות מוציאות בין 3%-5% מהתל"ג (תוצר לאומי גולמי) השנתי בעקבות נזקי הקורוזיה.

אם נתייחס למחיר נזקי הקורוזיה בישראל, 3% מהתל"ג השנתי הינם כ-3.6 מיליארד דולר בשנה! ערך זה גבוה יותר מהתקציב של כל העבודות בתחום מחקר ופיתוח בישראל!

כאשר מדובר במתכות, השיתוך הוא תהליך של חמצון המתכת המתרחש בשטח הפנים של החומר או בתוכו. המתכת (מסומנת באות שרירותית M), הופכת לתרכובת כדוגמת MO, MCO_3, MS. התהליך מתרחש בטמפרטורת החדר בהשתתפות חמצן, מים, זיהומים באוויר, סביבה חומצית ומגע עם מתכות שונות.

ניתן למיין את המתכות העוברות קורוזיה לשני סוגים:

א. מתכות אשר עקב קורוזיה נוצרות עליהן תרכובות בעלות מבנה גבישי שונה לחלוטין מזה של המתכת. מבנה זה גורם לתרכובת להתפורר מעל המתכת, כך ששטח הפנים של המתכת גלוי להמשך תהליך הקורוזיה. הנציג הבולט של קבוצה זו הוא הברזל, והחומר שנוצר עליו נקרא חלודה.

קורוזיה של ברזל – בניסוי שביצעתם במעבדה יכולתם לראות ששיתוך הברזל תלוי בגורמים רבים. התהליך הוא מורכב ורב-שלבי, אך ניתן לנסח את התהליך הכולל בצורה הבאה:

$$2Fe_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} + 3H_2O_{(l)} \rightarrow Fe_2O_3 \cdot 3H_2O_{(s)}$$

קורוזיה של ברזל

ב. מתכות אשר עקב הקורוזיה נוצרת עליהן שכבת תרכובת המגינה ומונעת היווצרות קורוזיה נוספת. המבנה הגבישי של התרכובת מתאים למבנה הגבישי של המתכת, וכך מתאפשר קשר טוב בין שטח הפנים של המתכת ובין התרכובת. עם קבוצה זו נמנים כרום, ניקל, אלומיניום וטיטניום.
קורוזיה של מתכות כמו כרום, ניקל, טיטניום ואלומיניום היא בלתי מזיקה, שומרת על המבנה המתכתי בשכבות הפנימיות יותר ומאפשרת למתכת למלא את התפקידים הטכנולוגיים המיועדים לה. זכור לכם שנדרשתם בניסוי 1 לשפשף את המתכת אבץ בעזרת נייר זכוכית. תפקיד השפשוף היה להוריד את שכבת המגן שנוצרת על-פני המתכת ולחשוף את המתכת עצמה.

הגנה מפני קורוזיה

קיימות שלוש דרכים עיקריות להגנה מפני קורוזיה:

- בידוד המתכת מהסביבה.
- טיפול בסביבה.
- הגנה המתבססת על השורה האלקטרוכימית.

בידוד המתכת מהסביבה: על ידי ציפוי המתכת בשכבה דקה של חומר מבודד כמו צבע, זפת, קרמיקה או חומרים פולימרים שונים שאינם מאפשרים חדירה של מים ומונעים את המגע בין המים למתכת. ניתן גם לצפות את המתכת שעליה רוצים להגן במתכת מחזרת גרועה מאוד, כדוגמת זהב, שמבודדת את המתכת מן הסביבה.

טיפול בסביבה: כולל סילוק חמצן, ייבוש האוויר ושימוש במעכבי שיתוך. מתכת הנמצאת בסביבת אוויר יבש תעבור קורוזיה בקצב אטי יותר מאשר מתכות הנמצאות בסביבת אוויר לח.
מתכות הנמצאות מתחת לפני המים יעברו קורוזיה בקצב אטי יותר, ככל שכמות החמצן המומס במים תהיה קטנה יותר. לדוגמה: כמות החמצן המומסת במי ים המלח קטנה בהרבה מזו המומסת במי גשם או במי הים התיכון, ולכן צינורות הנמצאים בעומק ים המלח עוברים קורוזיה בקצב אטי בהשוואה לאלה הנמצאים מעל פני המים, למרות הריכוז הגבוה של היונים המומסים במי ים המלח.

הגנה קתודית: (התייחסות למיקום המתכות בשורה האלקטרוכימית) – בשיטה זו יוצרים מגע בין המתכת שעליה רוצים להגן לבין מתכת אחרת. ניתן לבצע שיטת הגנה זו בכמה דרכים:

א. מחברים אל המתכת שרוצים להגן, מתכת מחזרת טובה יותר, כדוגמת אבץ, מגנזיום או אלומיניום, אשר עוברת חמצון במקום המתכת שעליה רוצים להגן.

ב. מצפים את המתכת שעליה רוצים להגן במתכת אחרת שיוצרת שכבת הגנה בתהליך הקורוזיה שלה. לדוגמה: גילוון (איבוץ) – אחת השיטות הנפוצות להגנה על ברזל. בתהליך זה מצפים את הברזל באבץ המגן מפני קורוזיה בשתי דרכים, האחת על-ידי בידוד הברזל מהסביבה, והשנייה היא על-ידי הגנה קתודית. המתכת אבץ מחזרת טוב יותר מברזל ולכן בתנאי הסביבה היא תעבור חמצון לקבלת מלח קשה – תמס של אבץ פחמתי בסיסי. שכבה זו שנוצרת על פני השטח של שכבת האבץ מגינה מפני קורוזיה של הברזל. אם תישבר שכבה זו ויתגלו פני השטח של האבץ, תיווצר מחדש שכבת מגן, והברזל לא יינזק.

פלדת אל-חלד הנה דוגמה להתמודדות עם קורוזיה בדרך משולבת של יצירת סגסוגת המשנה את הפעילות הקורוזיבית של המתכת ושל יצירת שכבת הגנה מפני הסביבה.

?! הידעת?

פלדת אל-חלד — נירוסטה

כאשר אומרים פלדה, מתכוונים למגוון רחב של חומרים שכולם סגסוגות הבנויות מברזל, פחמן ומספר יסודות נוספים. שינויים קטנים בהרכב היסודות יגרמו לשינויים דרמטיים בתכונות הפלדה, כמו שבירות, יכולת ריקוע, חישול ועמידות בפני קורוזיה.

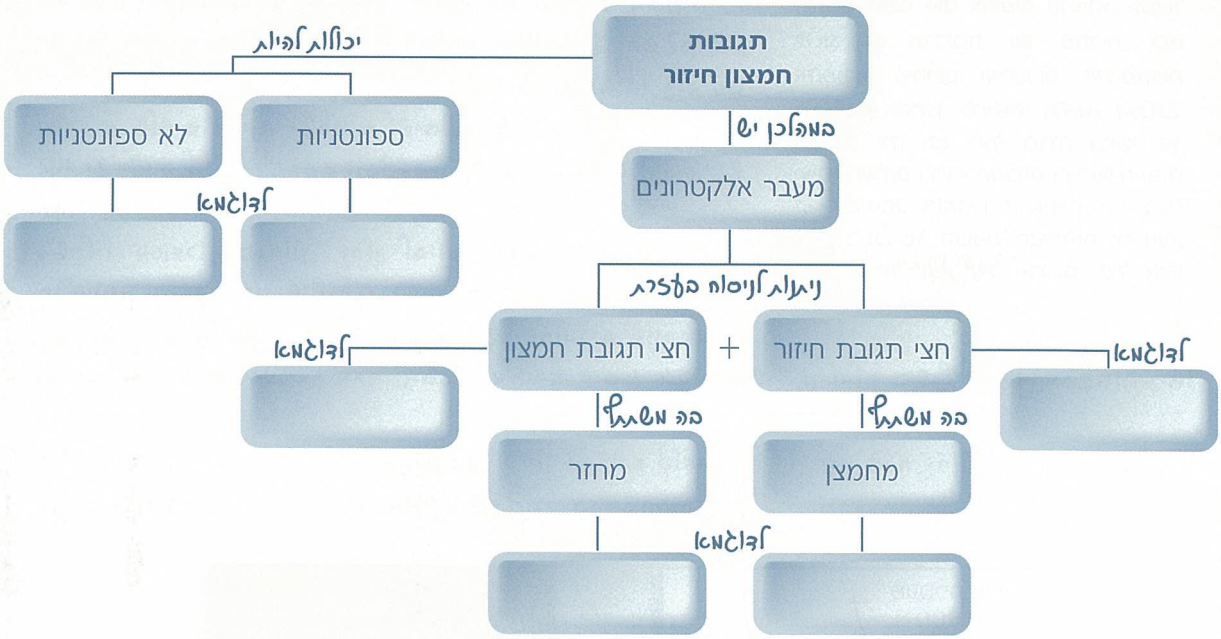
רבים מהפריטים הביתיים העשויים מפלדת אל-חלד (נירוסטה), במיוחד אלו שבאים במגע עם מים, כמו כיורים, סכו"ם וסירים. פלדה מסוימת זו מכילה בנוסף לברזל ופחמן גם 18% כרום, $Cr_{(S)}$ ו-8% ניקל, $Ni_{(S)}$. פלדת אל-חלד אינה מחלידה כי היא מתכסה בשכבה צפופה של תחמוצת הכרום – $Cr_2O_{3(S)}$, אשר נאחזת בצורה הדוקה ביותר בפני השטח ומונעת מגע של הסגסוגת עם חמצן או מים. עובי שכבת התחמוצת הוא דק מאוד – מספר ננו-מטרים, ולכן השכבה אינה נראית. נוסף על כך, דקותה של השכבה מאפשרת לנו לראות את הברק המתכתי האופייני למתכות ולכן פלדת אל-חלד תמיד מבריקה. גם כאשר פני השטח נפגמים כתוצאה משריטה או מכה כלשהי, מייד נוצרת שכבה חדשה של תחמוצת המגינה על הסגסוגת.

מקור השם נירוסטה מגרמנית, פירושו – אין חלודה.

מערכת כלי נירוסטה

צפיה מונחית בסרט

"האלקטרון הפעיל" – סרט מתוך הסדרה "עולם הכימיה" בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה.
הסרט מסביר ומסכם את הנושא חמצון – חיזור ומתמקד בהיבטים חיוביים ושליליים של תגובות חמצון – חיזור הבאים לידי ביטוי בחיי יום-יום ובתעשייה.
להלן מפת מושגים שתקבלו מהמורה, השלימו במהלך הצפייה בסרט את המשבצות החסרות במפת המושגים – משבצות המיועדות לדוגמאות.



פעילות לאחר הצפייה

א. בחרו מתוך הסרט או מכל מקור שהוא טכנולוגיה המבוססת על חמצון-חיזור.

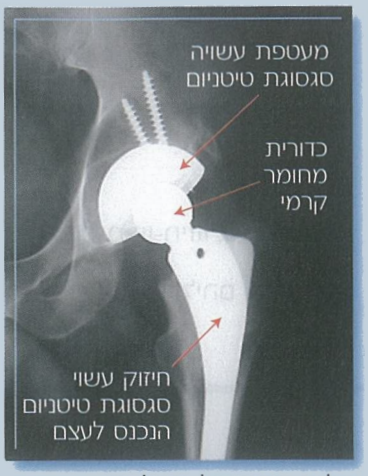
ב. חפשו מקורות מידע מתאימים והסבירו את העקרונות המדעיים שעליהם מבוססת הטכנולוגיה שבה בחרתם.

במהלך הפרק הכרנו תכונות של מתכות, בעיקר תכונות הקשורות לפעילותן כמחזרות. תכונות אלו מסבירות את היתרונות והחסרונות של השימושים השונים במתכות. בתחילת הפרק הצגנו את הידיעה על הכדורגלן שנפצע ונדרש לניתוח מורכב בפניו, ניתוח שדרש קיבוע בעזרת מתכות. כעת נפרט מעט על קיבוע שברים.

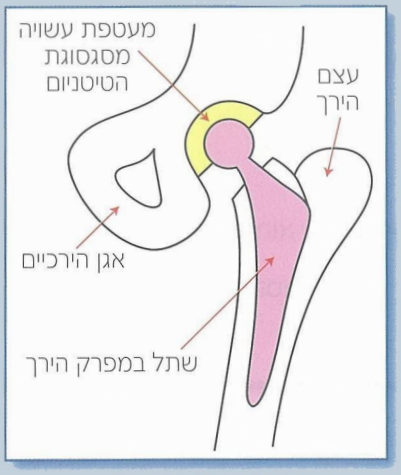
נחזור לשאלה איזו תכונות דרושות, לדעתכם, לחומר שיתאים לקיבוע?
איזו מתכות מבין אלו שהכרתם, מתאימות ביותר לתפקיד זה?

קיבוע שברים

בשנות ה-50 של המאה ה-20 נעשתה פריצת דרך בנושא של קיבוע שברים. הוכנס השימוש בחומרים מלאכותיים לאיחוי עצמות ואפילו להחלפת מפרקים.
חומרים אלו היו חומרים פלסטיים, סגסוגות של מתכות כמו פלדת אל-חלד, קובלט-כרום וטיטניום. מאז חלו שינויים נוספים – הוכנסו חומרים קרמאיים ושוכלל ההרכב המדויק של הסגסוגות למיניהן. בעיה אינו דוחה חומרים אלו. אין כל סכנה כי עדיין הם נשמרים שלמים ואינם נשחקים לפיסות עדינות. לפיסות עדינות אלו יש נטייה לנדוד מהעצם ולהצטבר ברקמות מסביב לעצם. יש חשש שהצטברות כזו עלולה לגרום נזק בריאותי.
בשכלול האחרון בתחום, נכון להיום, הוא שימוש בחומרים קרמאיים בלתי שבירים ובלתי נשחקים בשילוב עם סגסוגות טיטניום. הצירוף מאפשר את הנאמנות של החומרים הקרמאיים למבנה המפרק של המנותח מחד גיסא, ומאידך גיסא את התקשרותם לחלק בשרי השתל מסגסוגת של טיטניום.
חלקי סגסוגת הטיטניום מקובעים בעצם, כיוון שהעצם צומחת אל תוך פני שטח הטיטניום. וכך הקשר בין העצם לבין הסגסוגת חזק ומתהדק, ואין צורך בהדבקה.



צילום רנטגן של שתל במפרק הירך



איור של שתל במפרק הירך

הידעת?

חומרים קראמיים – חומרים קראמיים מהווים משפחה רחבה מאוד של תרכובות הבנויות משני סוגי אטומים או יותר. למשל SiO_2 או תרכובות של מתכות, כמו אלומניום, טיטניום וזירקוניום, ואל-מתכות כמו חנקן וחמצן, לדוגמה: Al_2O_3 ו-ZrO_2. חומרים אלו הם בעלי מבנה גבישי, אך הייחוד שלהם בריבוי המבנים הגבישיים (פולי קריסטלינים). חומרים קראמיים הם בעלי מגוון רחב של תכונות חשמליות ומכניות, זאת כפועל יוצא של הרכבם ושל אופן הכנתם.

האם, לדעתכם, נוצרו עדיין חסרונות לשתלים הקיימים? אם כן מהם?

נא להכיר – טיטניום!

טיטניום הוא יסוד כימי שסימולו Ti ומספרו האטומי הוא 22.
טיטניום שייך לקבוצת מתכות המעבר. ייחודו בהיותו מתכת קלה וחזקה.
למתכת טיטניום כמה תכונות התורמות לפיתוחים טכנולוגים רבים, ואלה הן:

- יחס גבוה בין חוזק למשקל – כלומר המתכת חזקה מאוד וקלה מאוד.
- עמידות גבוהה בטמפרטורות גבוהות.
- חומר שניתן לריקוע, כלומר כאשר מפעילים עליו מאמץ, אין הוא נשבר, אלא נמתח או מתכווץ.
- סגסוגות טיטניום עמידות בפני קורוזיה בגלל שכבת המגן של תחמוצת הטיטניום שנוצרת בפני השטח.

טיטניום	
מספר אטומי	22
סמל כימי	Ti
מיקום בטבלה המחזורית	מתכות מעבר
צפיפות	4507 kg/m^3
מסה מולרית	47.867 gr/mol
טמפרטורת היתוך	1668°C
טמפרטורת רתיחה	3287°C
קיבול חום סגולי	0.52J/gr·K

השימוש העיקרי בטיטניום הוא ליצירת סגסוגות חזקות וקלות משקל. בטבע הטיטניום מופיע תמיד כתרכובת, ולא כחומר טהור. המתכת התגלתה בשנות ה־90 של המאה ה־18, אבל רק בסוף המאה ה־19 הצליחו להפיק טיטניום טהור.

טיטניום וסגסוגותיו משמשים במגוון רחב מאוד של טכנולוגיות. העובדה שאין הוא מגיב בתנאי הגוף החי מסבירה את השימוש הרב שעושים בו ברפואה. שימושים כגון: שתלים דנטלים (שן – dent), החלפת עצמות ומפרקים, קוצבי לב. כמו כן יש לו חלק גדול בתעשייה המתמחה במכשור רפואי מתקדם.
טיטניום משמש גם בפיתוח מטוסים, מעבורות חלל וכלי נשק רבים.

טיטניום – קשר בין תכונות לתפקוד

לטיטניום שימושים רבים מלבד יצירת שתלים ו"חלקי חילוף" לגוף האדם.
היעזרו ברשימת מקורות שתקבלו מהמורה ובמקורות נוספים ובצעו את המטלה הבאה:

1. בחרו 3 שימושים שונים וציינו בכל אחד מהם את התכונות הכימיות הגורמות להעדפת הטיטניום.
2. טיטניום, כפי שקראתם, הנה מתכת פעילה מאוד ועם זאת ניתן להשתמש בה כמתכת אינרטית. מהו ההסבר הכימי לתופעה זו?
3. אם ישנם כל כך הרבה יתרונות לשימוש בטיטניום בבניית כלי שיט וטיס, מדוע אין משתמשים בטיטניום בתעשיית המכוניות?
4. השתמשו בדוגמה אחת מבין אלה שהתוודעתם אליהן בקריאה, וציינו תכונה יוצאת דופן של הטיטניום או שימוש יוצא דופן שנעשו בו או בתרכובותיו לאחרונה.

שאלות לסיכום פרק א'

1. לפניכם ניסוח מאוזן של ארבעה תהליכים:

$$Mn_{(s)} + Cd^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + Cd_{(s)}$$

$$Mn_{(s)} + Sn^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + Sn_{(s)}$$

$$Cd_{(s)} + Sn^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cd^{2+}{}_{(aq)} + Sn_{(s)}$$

$$Cd_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cd^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

הסתמכו על המידע שמובא בתהליכים המנוסחים וקבעו:

א. איזו משתי המתכות $Sn_{(s)}$ או $Mn_{(s)}$ היא מחזרת טובה יותר?

ב. איזה מבין שני היונים $Sn^{2+}{}_{(aq)}$ או $Cd^{2+}{}_{(aq)}$ הוא מחמצן טוב יותר? נמקו.

ג. האם תתרחש תגובת חמצון-חיזור בין $Cu_{(s)}$ לבין $Mn^{2+}{}_{(aq)}$? נמקו.

2. לפניכם טבלה ובה תוצאות ניסוי שבו הובאו במגע מתכות שונות עם תמיסה מימית של יוני מתכות. הסימן + מתייחס לתגובות שיצאו לפועל, והסימן – נרשם כאשר לא הובחנו שינויים נראים לעין.

	Al	Cd	Co	Mn	Ni	Pb
$Al^{3+}{}_{(aq)}$		-	-	-	-	-
$Cd^{2+}{}_{(aq)}$	+		-	+	-	-
$Co^{2+}{}_{(aq)}$	+	+		+	-	-
$Mn^{2+}{}_{(aq)}$	+	-	-		-	-
$Ni^{2+}{}_{(aq)}$	+	+	+	+		-
$Pb^{2+}{}_{(aq)}$	+	+	+	+	+	

א. רשמו ניסוח נטו ל-3 מהתגובות שהתרחשו.

ב. בחרו שני מצבים שבהם לא התרחשה תגובה והסבירו מדוע.

ג. דרגו את המתכות המופיעות בטבלה לפי כושרן היחסי לחזר.

ד. דרגו את יוני המתכות המופיעים בטבלה לפי כושרם היחסי לחמצן.

3. לפניכם תוצאות של שלושה ניסויים:

i. כשטובלים מוט של קדמיום מתכתי, $Cd_{(s)}$, בתוך תמיסה מימית של נחושת חנקתית, $Cu(NO_3)_2$, נוצר על המוט משקע חום אדמדם.

ii. כשטובלים מוט של נחושת מתכתית, $Cu_{(s)}$, בתוך תמיסה של קובלט חנקתי, $Co(NO_3)_2$, אין מבחינים בשינוי.

iii. כשטובלים מוט של קובלט מתכתי, $Co_{(s)}$, בתמיסה של קדמיום חנקתי, $Cd(NO_3)_2$, אין מבחינים בשינוי.

התייחסו לתוצאות שלושת הניסויים הנ"ל וענו על הסעיפים הבאים:

א. הסבירו את התצפיות בניסויים i עד iii.

ב. דרגו את המתכות לפי כושרן היורד לחזר (מלמעלה למטה או משמאל לימין).

ג. כרום היא מתכת שכושרה לחזר טוב מזה של קדמיום. על סמך מידע זה, איזה מבין שני התהליכים הבאים יתרחש?

$$Cr_{(s)} + Co^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow$$

$$Cu_{(s)} + Cr^{3+}{}_{(aq)} \rightarrow$$

ד. נמקו את תשובתכם לסעיף ג' ורשמו ניסוח מאוזן לתהליך שיתרחש.

ה. תארו בעזרת מודלים מתאימים את המגיבים ואת התוצרים בתגובה שהתרחשה.

4. לפניכם ניסוח של שתי תגובות חמצון-חיזור:

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Fe^{+2}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

$$Fe_{(s)} + CuO_{(s)} \rightarrow FeO_{(s)} + Cu_{(s)}$$

א. ציינו מהו המחמצן ומהו המחזר בכל אחד מהתהליכים ונמקו את קביעתכם.

ב. ציירו מודל מתאים לחומר המחמצן בכל אחד מהתהליכים (הערה: יוני נחושת הם חלק מתמיסת נחושת כלורית, $CuCl_2$).

ג. מכניסים ברזל מתכתי לתוך 100 מ"ל תמיסת נחושת כלורית, $CuCl_2$, בריכוז 0.5M. מהי מסת הנחושת שתתקבל? פרטו את חשוביכם.

5.* 1.8 גר' סקנדיום מתכתי $Sc_{(s)}$ הגיבו בשלמות עם תמיסה המכילה $Fe^{2+}{}_{(aq)}$. התקבלו: משקע של ברזל מתכתי שמסתו 3.36 גר' ויוני סקנדיום ממוימים שמטענם החשמלי לא ידוע.

א. חשבו כמה מולי סקנדיום הגיבו.

ב. חשבו כמה מולי ברזל שקעו.

ג. מצאו את יחס שבין מולי סקנדיום לבין מולי ברזל בתגובה.

ד. מצאו את המטען של יוני הסקנדיום, פרטו את חישוביכם.

6. אילו מבין המתכות Cu, Ag, Zn, Al, Mg אתם מצפים למצוא בטבע בצורת יסודות, ואילו בצורת תרכובות בלבד? הסבירו.

7. בעת שהונחו צינורות בבית בתהליך הבנייה, הצטלבו צינורות נחושת וצינורות ברזל, ונוצר מגע ביניהם. איזו מתכת תעבור קורוזיה מהר יותר בתנאים אלו? הסבירו.

---

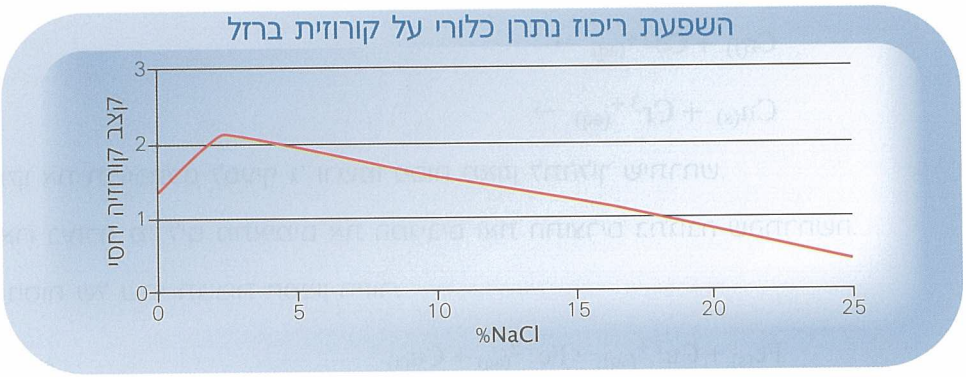
* שאלת רשות

8. הסבירו את התופעות הבאות:

א. "פסל החירות" העומד בפתחו של נמל ניו-יורק (מאז שנת 1876) נבנה בצרפת וניתן לארצות הברית כמתנה לכבוד שנת ה-100 לעצמאותה. הפסל בנוי מעמודי ברזל, ועליהם מעוצבת "גברת החירות" מלוחות נחושת. במשך 100 שנים איבדו עמודי הברזל כמחצית ממשקלם המקורי.

ב. צינורות מתכת שחלקם טבולים בים וחלקם נמצאים קרוב מאוד לפני הים, ניזוקים מאוד מקורוזיה.

9. התייחסו לגרף המתאר את קצב הקורוזיה של ברזל בתמיסות המכילות חמצן, כתלות בריכוז של נתרן כלורי.



א. מהם הגורמים לקורוזיה כאשר התמיסה אינה מכילה נתרן כלורי?

ב. הציעו הסבר לתופעה שבה הוספת מלח מעלה את קצב הקורוזיה.

ג. הסבירו את הירידה בקצב הקורוזיה ככל שריכוז המלח בתמיסה עולה.

10. לפניכם מספר מוצקים:

Al, C (גרפיט), Ag, Cu, NaCl

א. באיזה מהם הייתם בוחרים על-מנת לייצר דסקיות לחיילים?

ב. נמקו את בחירתכם.

ג. ציינו חסרון אחד לחומר שבחרתם והציעו דרך להתגבר על חסרון זה.

ד. נמקו מדוע כל אחד מהחומרים האחרים אינו מתאים.

ה. חיילים קרביים נוהגים לעטוף את הדסקית בפיסת בד, שערו מדוע.

בחרו מבין ההיגדים הרשומים מטה את ההיגד הנכון וסמנו מתחת לכל שאלה את התשובה המתאימה לה. נמקו בקצרה או פרטו את חישוביכם.

1. מכניסים מנגן מתכתי – $Mn_{(s)}$ – לתמיסת בדיל חנקתי – $Sn(NO_3)_2$. כתוצאה מכך מתקבל בדיל מתכתי $Sn_{(s)}$. כאשר מכניסים מנגן מתכתי לתמיסת אלומיניום חנקתי $Al(NO_3)_3$, אין מתרחשת כל תגובה שהיא.

סדר המתכות על פי כושרן לחזר משמאל לימין הוא:

א. $Al > Mn > Sn$

ב. $Sn > Mn > Al$

ג. $Al > Sn > Mn$

ד. $Mn > Sn > Al$

2. לפניכם מספר מתכות הרשומות לפי נטייה עולה לעבור חמצון (משמאל לימין):

$Sr > Na > Be > Al$

באיזו מהאפשרויות תתרחש תגובה?

א. בהוספת $Al_{(s)}$ לתמיסה מימית של $NaCl$

ב. בהוספת $Be_{(s)}$ לתמיסה מימית של $SrCl_2$

ג. בהוספת $Al_{(s)}$ לתמיסה מימית של $BeCl_2$

ד. בהוספת $Sr_{(s)}$ לתמיסה מימית של $AlCl_3$.

3. כאשר מוסיפים אבקת אלומיניום, Al, לתמיסה מימית של נחושת כלורית, $CuCl_2$, שוקעת נחושת, Cu. מהו המשפט הנכון?

א. האלומיניום הופך לנחושת.

ב. האלומיניום מקבל אלקטרונים.

ג. האלומיניום מגיב עם כלור.

ד. האלומיניום עובר תהליך חמצון.

4. נתונות תוצאות של הניסויים הבאים:

i. הוסיפו $Cu_{(s)}$ לתמיסה מימית של $AgNO_3$ והתקבל $Ag_{(s)}$.

ii. הוסיפו $Pt_{(s)}$ לתמיסה מימית של $Au(NO_3)_3$ והתקבל $Au_{(s)}$.

iii. הוסיפו $Pt_{(s)}$ לתמיסה מימית של $AgNO_3$, לא התרחשה תגובה.

ציינו את ההיגד הנכון מבין ההיגדים הבאים:

א. כאשר טבעת כסף נופלת לתמיסה מימית של $Au(NO_3)_3$, טבעת הכסף "נעלמת".

ב. דירוג יוני המתכת לפי כושרם לחזר הנו:

$$Cu^{2+}_{(aq)} < Ag^{1+}_{(aq)} < Pt^{2+}_{(aq)} < Au^{3+}_{(aq)}$$

ג. דירוג המתכות לפי כושרן לחזר הנו: $Cu_{(s)} < Ag_{(s)} < Pt_{(s)} < Au_{(s)}$.

ד. כאשר נטבול מוט $Cu_{(s)}$ בתמיסה מימית של $Au(NO_3)_3$, לא תתרחש תגובה.

ב נוגדי חמצון (אנטיאוקסידנטים), חמצון-חיזור בעולם האל-מתכות.

בפרק הקודם הכרנו סוג של תגובות הנקראות תגובות חמצון-חיזור. ההסברים והדוגמאות מחיי יום-יום התמקדו בעולם המתכות. תופעת הקורוזיה של מתכות, שכמובן אינה רצויה, גורמת לנזקים כלכליים גדולים מאוד, ומחקרים רבים עוסקים במציאת פתרונות למניעתה. בפתיחה לפרק זה נכיר תופעות הנובעות מתגובות חמצון-חיזור בגופנו ונבחן כיצד הגוף מתמודד אתן.

אנטיאוקסידנטים

החמצן $O_{2(g)}$ הנקלט בגופנו דרך מערכת הנשימה, משמש בעיקר לתהליכים המספקים אנרגיה לגוף. אתם ודאי מודעים לעובדה שרוב היצורים אינם יכולים לחיות ללא חמצן, אך מעורבותו של החמצן בתהליכים בגוף מצמצת גם יצירת רדיקלים חופשיים, שעלולים לפגוע בתאים - בחלבונים, בשומנים ובחומר הגרעיני – *DNA*.

במהלך הגרעשתן של תגובות החמצון-חיצור, החמצן עשוי להפוך לאחד מהתוצרים הבאים: O_2^-, H_2O_2, OH ו-H_2O. שלושת התוצרים הראשונים הם חומרים פעילים מאוד שיכולים לתקוף, כפי שנאמר, שומנים, במיוחד חומצות שומן רב לא רוויות, חלבונים ומולקולות *DNA* בגופנו. פעילותם יוצרת בתגובת שרשרת רדיקלים חופשיים חדשים הפוגעים בתפקוד התאים, אשר מאיצים את תהליך ההצדקנות, מצרכים חיסון כלי דם והתפתחות תאים סרטניים.

גופנו נזקק להגנה מפני תגובות אלו בשני אסטרטגיות שונות – האחת, בעצרת חומרים שנוצרים בגוף, והשנייה בעצרת חומרים הנקלטים בגוף מהמזון. החומרים הפעילים במערכות הגנה אלו נקראים אנטיאוקסידנטים – נוגדי חמצון.

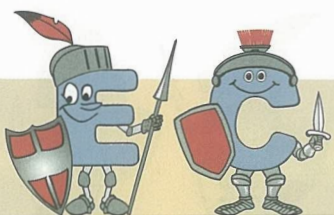
ההגנה על-ידי חומרים שנוצרים בגוף מושגת ברובה על מערך אנזימי שמצרכ תגובות שבמהלכן מגיבים הרדיקלים החופשיים, ואך כדי כך רמתם יורדת. מערך הגנה זה מושפע מגורמים גנטיים, מגורמים סביבתיים כגון: חשיפה לעשנים, לישון, שימוש בתרופות למיניהן, וכן מתזונה נכונה שכוללת בין היתר יסודות קורט כמו סלניום.

ההגנה על-ידי חומרים שמקורם מהמזון נעשית על-ידי ויטמינים, בעיקר *C* ו-*E*, ועל-ידי נוגדי חמצון נוספים הנמצאים בפירות וירקות בעלוניים. המשותף לכל נוגדי החמצון הוא היותם חומרים מחצרים שניתן למשוך מהם אלקטרונים בקלות. נוגדי החמצון מגיבים עם הרדיקלים החופשיים

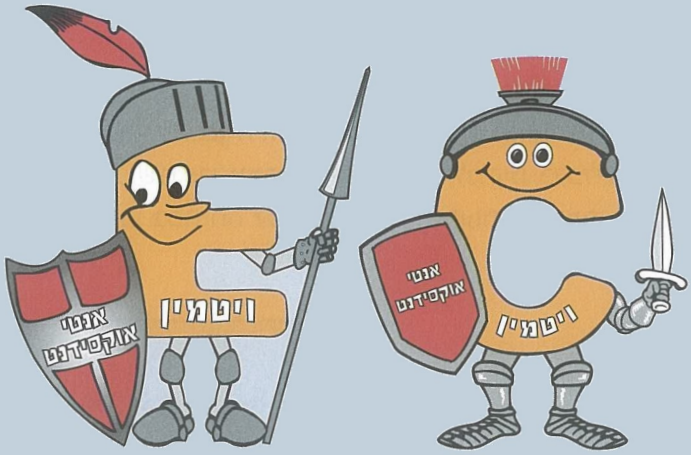
רדיקלים חופשיים
אטומים או קבוצות אטומים המכילים אלקטרון בלתי מזווג. האלקטרון הזה גורם לרדיקל להיות חלקיק מחמצן חזק.

אנטיאוקסידנטים, נוגדי חמצון
חומרים מחזרים המגיבים עם רדיקלים חופשיים ומנטרלים את פעילותם.

יסודות קוֹרֶט
יסודות הנחוצים לגוף בכמויות מזעריות.



שנוצרו בגוף, וכך הם מונעים את התקפת הרדיקלים על חומצות השומן, על החלבונים או על ה-*DNA*.



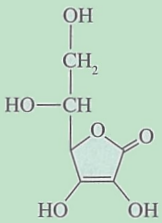
שאלות

1. הציגו מספר שאלות המתעוררות בעקבות קריאת הקטע.
2. בקטע מוצגים מספר גזרים של חמצן בגוף, רשמו לכולם נוסחאות ייצוג אלקטרוניות וציינו איזו מהם רדיקלים חופשיים.
3. האם הגזרים המתקבלים מחמצן הם גזרי חמצן או חיצור? נמקו.
4. ציינו צורמים היכולים להצלות את רמת הרדיקלים החופשיים בגוף, וכאלו שיכולים להוריד אותם.
5. שתו מדוע אנשים מבוגרים לוקחים גלסי מצון המכילים ויטמינים יותר מאשר צעירים.
6. הפשו מידע לגבי נזק חמצן נוסף, אחד לפחות, שאינו מופיע בקטע.
7. נוסחת המבנה של ויטמין *C* המופיעה במסגרת אינה כוללת את הסימולים של כל האטומים. רשמו נוסחת מבנה מלאה לוויטמין *C*.
8. מדוע, לדעתכם, ויטמין *C* נמס היטב במים ומדוע ויטמין *E* נמס היטב בשומן?

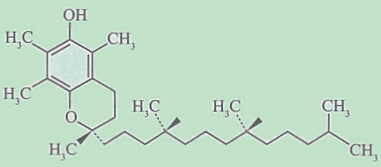
ידעת?

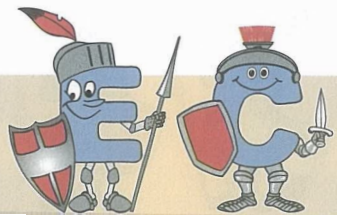
ויטמינים הם קבוצה של תרכובות פחמן בעלות פעילות ביולוגית החיונית לתפקודו התקין של גוף האדם. הוויטמינים נחוצים לגוף בכמויות זעירות (אלפית הגרם עד מליונית הגרם ביממה). חלקם מהווים חלק ממבנה של אנזימים המזרזים תהליכים מטבוליים בגוף. מקור הוויטמינים הוא ברובו במזון. חלקם, כמו ויטמין *C*, נמסים במים, וחלקם, כמו ויטמין *E*, נמסים בחומרים שומניים.

ויטמין C (Ascorbic acid) – נמס במים. מקורות: פרי הדר, פלפלים, עגבניות, תות שדה, כרוב, כרובית, ברוקולי, כבד ובשר. מסייע בספיגת ברזל במעי ומסייע ביצירת קולגן. מתפקד כאנטיאוקסידנט בסביבה מימית.



ויטמין E (Tocopherol) – נמס בשומן. מקורות: בעיקר שמנים צמחיים, בוטנים, פקאנים, שקדים, נבטי חיטה וקמח מלא. מתפקד כאנטיאוקסידנט בסביבה הידרופובית (שומנית).





ניתוח תגובות החמצון-חיזור שבהן מעורבים האנטיאוקסידנטים הוא מורכב, אך לאחר שנלמד על מעורבותן של אל-מתכות בכלל ושל תרכובות פחמן בפרט, נוכל להתעמק ולהסביר תגובות אלו. בשלב זה נתעמק בתגובות חמצון-חיזור שבהן מעורב החמצן.

החמצן, כפי שנוכחתם לדעת, מעורב בתגובות רבות של חמצון-חיזור בגוף האדם. עובדת היותו של החמצן חומר מחמצן נובעת מהמשיכה הגבוהה שלו לאלקטרונים. משיכה זו באה לידי ביטוי במיקומו הגבוה בסולם האלקטרושליליות של פאולינג שהכרתם בשלבים הקודמים של לימודיכם. בפרק זה נברר כיצד אלקטרושליליות יכולה להנחות אותנו בתגובות חמצון-חיזור.

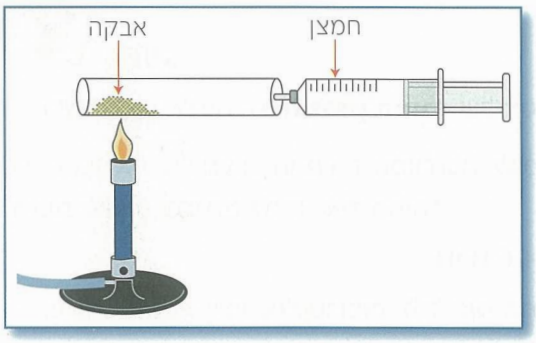
השמות **חמצון ומחמצן** נגזרים משמו ומתכונותיו של החמצן. אך כפי שכבר נוכחתם לדעת, השימוש במונחים אלו מתייחס גם לחומרים אחרים.

בניסוי הבא תודגם על-ידי המורה תגובתו של חמצן עם שני יסודות, האחד מתכתי והשני אל מתכתי.

ניסוי מס' 4 – תגובות עם חמצן — הדגמת מורה

ציוד וחומרים

צינוריות זכוכית פיירקס בקוטר 0.5 ס"מ ובאורך 10 ס"מ, 2 מזרקים בנפח 10 מ"ל המכילים חמצן, גזייה, אבקת גפרית, אבקת מגנזיום, משקפי מגן.



מערכת לניסוי תגובות עם חמצן

מהלך העבודה

שימו מעט אבקת גפרית, $S_{8(s)}$, בקצה של צינורית מזכוכית.

חממו מעל גזייה את קצה הצינורית והזריקו מצדה השני של הצינורית חמצן (ראו איור).

חזרו על הניסוי עם אבקת מגנזיום, $Mg_{(s)}$.

א. רשמו את תצפיותיכם.

ב. נסו לפרש את תצפיותיכם.

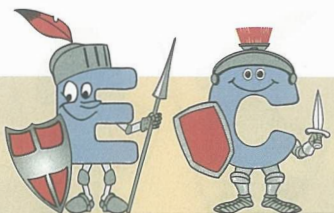
ג. האם התרחשו תגובות חמצון-חיזור? נמקו.

דיון בעקבות הניסוי:

התגובות אשר התרחשו הן:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)} \qquad \text{I}$$

$$\frac{1}{8}S_{8(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} \qquad \text{II}$$



האם התגובות שהתרחשו הן תגובות חמצון-חיזור? אם כן, איזה חומר הוא המחמצן ואיזה המחזר? אם לא, נמקו.

לגבי תגובה I, בוודאי זיהיתם שהמחמצן הנו החמצן, והמחזר הנו המגנזיום.

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$$

$2 \cdot / - 2e^-$

$2 \cdot / + 2e^-$

אך מה לגבי תגובה II, איזה חומר הוא המחמצן ואיזה המחזר?
תשובה על שהתרחש בתגובה II תינתן בהמשך הפרק, לאחר שנרחיב את ההגדרה של תגובות חמצון-חיזור ונלמד כיצד ליישם אותה.

תגובות חמצון-חיזור הן תגובות שבהן מתרחשים שינויים בדרגות חמצון.

דרגת חמצון היא **המטען היחסי** שיש לאטום בחלקיק מסוים (מולקולה, יון מורכב, מבנה ענק).

דרגת חמצון היא **המטען היחסי** שיש לאטום בחלקיק מסוים (מולקולה, יון מורכב, מבנה ענק).

שאלות

1. כיצד נקבע, לדעתכם, **המטען היחסי** של אטום במולקולה?

כדי להבין את משמעות ההגדרה המורחבת לחמצון-חיזור, נתייחס לתגובה של כלור עם מי שתייה או עם מי בריכות שחייה במגמה לחטא את המים*.

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + ClOH$$

2. ציירו נוסחאות ייצוג אלקטרוניות לכל סוגי המולקולות המשתתפות בתהליך.

ערכי אלקטרושליליות	
היסוד	**אלקטרושליליות**
F	4.0
O	3.5
N	3.0
Cl	3.0
Br	2.8
I	2.5
C	2.5
H	2.1

?! הידעת?

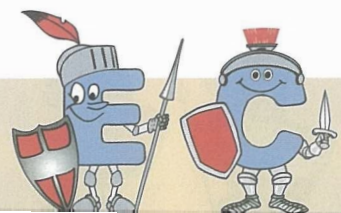
חיטוי מים – החומר הפעיל בחומרי חיטוי על בסיס כלור הוא ClOH אשר עובר פירוק לפי הניסוח הבא:

$$ClOH \rightarrow HCl + O\bullet$$

אחד מתוצרי הפירוק הוא רדיקל חופשי של חמצן, שהוא מחמצן חזק מאוד התוקף חיידקים ומשמיד אותם.

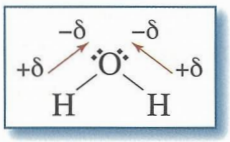
על סמך נוסחאות הייצוג האלקטרוני והנתונים של אלקטרושליליות, נבדוק את המטען היחסי של האטומים השונים המעורבים בתגובה.

* לצורך ההסבר נתייחס למולקולות בודדות של המגיבים והתוצרים.

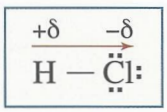


- Cl_2 – הקשר הקוולנטי במולקולת הכלור הנו קשר קוולנטי לא קוטבי – טהור, ולכן המטען היחסי של שני אטומי הכלור במולקולה זו הוא אפס (0).

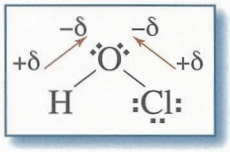
- H_2O – החמצן הוא בעל אלקטרושליליות גבוהה משל המימן, ולכן הקשר הקוולנטי במולקולה הוא קשר קוולנטי קוטבי – החמצן מושך את אלקטרוני הקשר חזק יותר מהמימנים הקשורים אליו, לכן ניתן להגדיר ש**המטען היחסי** שלו הוא (-2). **המטען היחסי** של כל אחד מאטומי המימן שהאלקטרון נמשך ממנו, הוא (+1).



- HCl – הכלור הוא בעל אלקטרושליליות גבוהה משל המימן, ולכן הקשר הקוולנטי במולקולה הוא קשר קוולנטי קוטבי – הכלור מושך את אלקטרוני הקשר חזק יותר מהמימן הקשור אליו, לכן ניתן להגדיר שהמטען היחסי שלו הוא (-1). המטען היחסי של המימן שהאלקטרון נמשך ממנו הוא (+1).



- ClOH – החמצן במולקולה בעל האלקטרושליליות הגבוהה מושך את אלקטרוני הקשר של הכלור וגם של המימן, ולכן **המטען היחסי** שלו הוא (-2). הכלור שנמשכו ממנו אלקטרוני הקשר, הוא בעל **מטען יחסי** (+1). וכך גם המימן (+1).



ניתן לראות שאטומי הכלור שינו דרגות חמצון, אך אטומי המימן והחמצן לא שינו דרגת חמצון.

$$\underset{0}{Cl_2} + \underset{2(+1)\ (-2)}{H_2O} \rightarrow \underset{(+1)\ (-1)}{HCl} + \underset{(+1)\ (-2)\ (+1)}{ClOH}$$

סיכום ביניים

המטען היחסי של אטום במולקולה – דרגת החמצון - נקבע על-פי דרגת האלקטרושליליות שלו ביחס לזו של ה"שכנים" שלו ולמספרם.
שינוי בדרגות החמצון מהווה מדד להתרחשותה של תגובת חמצון-חיזור.
לכן ניתן להסיק כי בתגובה שבה אנו דנים, היו אטומי הכלור מעורבים בתגובת חמצון-חיזור.
כפי שהרחבנו את הגדרת המושג חמצון-חיזור, נרחיב את ההגדרות לחומרים מחמצנים ומחזרים.

חומרים מחמצנים – דרגת החמצון של אחד המרכיבים ביחידת המבנה יורדת במהלך תגובת החמצון-חיזור.
חומרים מחזרים – דרגת החמצון של אחד המרכיבים ביחידת המבנה עולה במהלך תגובת החמצון-חיזור.

חומרים מחמצנים — דרגת החמצון של אחד המרכיבים ביחידת המבנה יורדת במהלך תגובת החמצון-חיזור.

חומרים מחזרים — דרגת החמצון של אחד המרכיבים ביחידת המבנה עולה במהלך תגובת החמצון-חיזור.

ירידה בדרגת חמצון

$$\underset{0}{Cl_2} + \underset{2(+1)\ (-2)}{H_2O} \rightarrow \underset{(+1)\ (-1)}{HCl} + \underset{(+1)\ (-2)\ (+1)}{ClOH}$$

עליה בדרגת חמצון

ניתן לראות שאטומי הכלור בתהליך הם **מחמצנים וגם מחזרים**, הם משתתפים בתגובת החמצון וגם בתגובת החיזור. תגובה שבה המחזר והמחמצן הם זהים נקראת **תגובת חמצון–חיזור עצמית**.

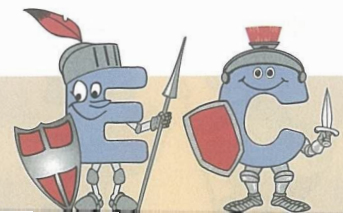
כפי שציינו, דרגת החמצון נקבעת על פי האלקטרושליליות היחסית של האטומים בחלקיק. אך לצורך הנוחות נוסחו כללים לקביעת דרגות חמצון, ובעזרתם ניתן לחשב את דרגות החמצון ולזהות איזה חומר מחמצן ואיזה מחזר.

כללים לקביעת דרגות חמצון

הכלל	דוגמאות
1. דרגת החמצון של יסוד היא אפס.	O_2 S_8 Fe H_2
2. דרגת החמצון של פלואור בתרכובותיו היא (-1).	HF OF_2 CF_4
3. דרגת החמצון של חמצן* במרבית תרכובותיו היא (-2).	H_2O CO_2 HNO_3 $ClOH$
4. דרגת החמצון של מימן** במרבית התרכובות המולקולריות היא (+1).	HCl NH_3 CH_4 H_2SO_4
5. סכום דרגות החמצון במולקולה ניטרלית הוא אפס.	
6. דרגת החמצון של יון חד-אטומי שווה למטען היון.	Fe^{2+} Br^{1-} Al^{3+}
7. סכום דרגות החמצון ביון רב-אטומי (מורכב) שווה למטען היון.	NO_3^{1-} NH_4^{1+}
8. בתרכובות, האטום בעל האלקטרושליליות הגבוהה יותר הוא בעל דרגת חמצון שלילית.	HCN ICl

★ ישנן תרכובות שבהן החמצן מופיע בדרגת חמצון (-1), לדוגמה H_2O_2, Na_2O_2.
חמצן בתרכובת עם פלואור, F_2O, מופיע בדרגת חמצון (+2).

★★ בתרכובות יוניות המימן מופיע בדרגת חמצון (-1). (הידרידים מתכתיים) לדוגמה: NaH, MgH_2.



שאלה לפי פתרון מודרך

1. חשבו את דרגת החמצון של האטום המסומן בקו תחתון בתרכובות וביונים הבאים, בהסתמך על הכללים לקביעת דרגות חמצון:

$\underline{C}O_2$	$X+2(-2)=0$	$\Longrightarrow$	$X=+4$
$\underline{N}_2H_4$	$2X+4(+1)=0$	$\Longrightarrow$	$X=-2$
$H_2\underline{S}O_4$	$2(+1)+X+4(-2)=0$	$\Longrightarrow$	$X=+6$
$K\underline{Cl}O_3$	$(+1)+X+3(-2)=0$	$\Longrightarrow$	$X=+5$
$\underline{Mn}O_4^-$	$X+4(-2)=-1$	$\Longrightarrow$	$X=+7$
$\underline{N}H_4^+$	$X+4(+1)=+1$	$\Longrightarrow$	$X=-3$

היעזרו בכללים לקביעת דרגות חמצון ובטבלת האלקטרושליליות וקבעו את דרגות החמצון בחלקיקים הבאים:

$$NCl_3\ ,\ BrCl\ ,\ CCl_4\ ,\ CHCl_3\ ,\ P_4\ ,\ Mg\ ,$$

$$CCl_2F_2\ ,\ H_3PO_4\ ,\ CaH_2\ ,\ NO_2^{1-}\ ,\ ClO_4^{1-}$$

נחזור לתגובה II – תגובה בין גפרית לחמצן שהתרחשה בניסוי.

$$\frac{1}{8}S_{8(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$$

במהלך התגובה השתנו דרגות החמצון של אטומי החמצן והגפרית.

ירידה בדרגת חמצון

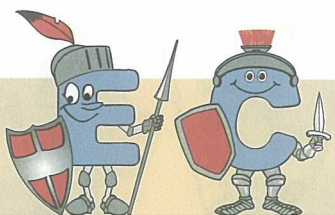
$$\frac{1}{8}S_{8(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow SO_{2(g)}$$

0 0 +4 2 -2

עליה בדרגת חמצון

התבוננות בשינויים מובילה למסקנות הבאות:

- חלה ירידה בדרגת החמצון של החמצן, לכן הוא החומר המחמצן, והוא עובר תהליך חיזור.
- חלה עלייה בדרגת החמצון של הגפרית, לכן הוא החומר המחזר, והוא עובר תהליך חמצון.



שאלות

1. האם, לדעתכם, קיימת מגבלה מסוימת לדרגת החמצון של אטומים מסוג כלשהו?
2. חשבו את דרגות החמצון של אטומי הגפרית בחלקיקים הבאים:

$$H_2SO_4 \ , \ SO_2 \ , \ H_2S_2 \ , \ SO_3 \ , \ S_8 \ , \ SO_3^{2-} \ , \ H_2S$$

3. על סמך חישוביכם, האם תוכלו לציין את המגבלות של דרגת החמצון לגבי גפרית?

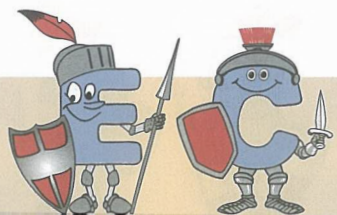
האלקטרונים המשתתפים ביצירת קשר כימי הנם האלקטרונים הערכיים, השייכים לרמת האנרגיה הגבוהה. לכן, בבואנו לדון במגבלות לדרגות חמצון, עלינו להתייחס לאלקטרונים הערכיים.
לגפרית 6 אלקטרונים ערכיים ·S̈·

אם קשורים אל אטום הגפרית אטומים בעלי אלקטרושליליות גבוהה יותר, הם יכולים למשוך מאטום הגפרית 6 אלקטרונים לכל היותר. לכן דרגת החמצון המקסימלית של גפרית היא (+6).
אם קשורים אל אטום הגפרית אטומים בעלי אלקטרושליליות נמוכה יותר, אטום הגפרית ימשוך מהם 2 אלקטרונים לכל היותר שיזווגו עם האלקטרונים הבלתי מזווגים שלו. לכן דרגת החמצון המינימלית של גפרית היא (-2).

שאלה לפי פרון מודרך

1. מהי דרגת החמצון המקסימלית ומהי דרגת החמצון המינימלית של אטומי כלור?
   א. באיזה טור בטבלה המחזורית נמצא הכלור?
   ב. כמה אלקטרונים יש לכלור ברמה החיצונית?
   ג. כמה אלקטרונים יכולים להימשך מאטום הכלור?
   ד. כמה אלקטרונים יכול הכלור למשוך אליו?

לגבי האל-מתכות הנמצאות בטורים הראשיים 4-7 בטבלה המחזורית - ניתן להכליל ולומר את הדבר הבא: דרגת החמצון המקסימלית של אטום מסוים שווה למספר האלקטרונים הערכיים שלו. ואילו דרגת החמצון המינימלית של אטום זה שווה למספר האלקטרונים שיכולים להזדווג עם האלקטרונים הבלתי מזווגים של אטום זה.



התבוננו ברשימת החומרים הבאה, קבעו דרגות חמצון ומיינו את החומרים לאלה שעשויים רק לחמצן, לאלה שעשויים רק לחזר ולאלה העשויים לחמצן או לחזר.

H_2S , SO_2 , SO_3

NH_3 , N_2H_4 , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5

$NaCl$, $NaClO$, $NaClO_2$, $NaClO_3$, $NaClO_4$

איזון תגובות חמצון-חיזור בעזרת דרגות חמצון

ניתן להיעזר בשינויים בדרגות החמצון לאיזון תגובות חמצון-חיזור. נלמד את עקרונות השיטה בשתי תגובות, האחת המתרחשת בעת הצתת גפרור, וזו המתרחשת במהלך שיגור חללית לחלל.

אחת התגובות המתרחשות בתהליך הצתת הגפרור היא תגובה בין גפרית לאשלגן כלורתי, לפי הניסוח הלא מאוזן הבא:

$$S_{8(s)} + KClO_{3(s)} \rightarrow SO_{2(g)} + KCl_{(s)}$$

ניתן להקביל את השינויים בדרגות החמצון לשינויים שהתרחשו בתגובות שכבר הכרנו בין מתכות ליוני מתכות, כתוצאה ממשיכת אלקטרונים (קבלה) ומוויתור על אלקטרונים (מסירה). על מנת שנוכל להתייחס למול אחד של אטומי גפרית, נשתמש ב- $\frac{1}{8}S_8$.

$$\frac{1}{8}\overset{0}{S}_{8(s)} + K\overset{+1}{Cl}\overset{+5}{O}_{3(s)}\overset{-2}{} \rightarrow \overset{+4}{S}\overset{-2}{O}_{2(g)} + K\overset{+1}{Cl}\overset{-1}{}_{(s)}$$

$-4e^-$; $+6e^-$

איזה חומר הוא המחמצן? ואיזה המחזר? נמקו.

כדי שהשינוי במטען החשמלי בחצי התגובה שבה מתרחש חמצון, יהיה שווה לשינוי בחצי התגובה שבה מתרחש החיזור – נאזן באופן הבא:

$$\frac{3}{8}\overset{0}{S}_{8(s)} + 2K\overset{+1}{Cl}\overset{+5}{O}_{3(s)}\overset{-2}{} \rightarrow 3\overset{+4}{S}\overset{-2}{O}_{2(g)} + 2K\overset{+1}{Cl}\overset{-1}{}_{(s)}$$

$3\cdot/-4e^-$; $2\cdot/+6e^-$

?! הידעת?

כיצד פועל גפרור?

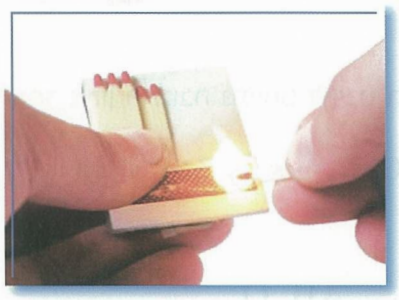
כדי להדליק גפרור, יש צורך לשפשף את ראשו על משטח מצופה זרחן אדום הנמצא על קופסת הגפרורים. כתוצאה מהחום הנוצר בחיכוך, הזרחן האדום $P_{4(s)}$ הופך לזרחן לבן, אשר נדלק באופן ספונטני תוך כדי תגובה עם חמצן.

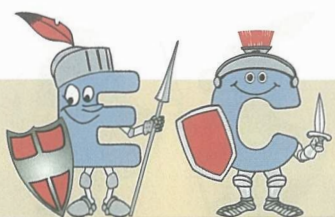
$$P_{4(s)} + 5O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{10(s)}$$

זוהי תגובה אקסותרמית הפולטת אנרגיה ויוצרת תגובה בין הגפרית והאשלגן הכלורתי שנמצאים בראש הגפרור - תגובה שגם היא אקסותרמית.

$$\frac{3}{8}S_{8(s)} + 2KClO_{3(s)} \rightarrow 3SO_{2(g)} + 2KCl_{(s)}$$

האנרגיה הנפלטת בתהליכים אלו גורמת להצתת הגפרור.





כדי למצוא דלק מתאים לטילים הנושאים חלליות, חיפשו המדענים חומרי דלק נוזליים שבעת התגובה ישחררו גזים בנפח גדול. הגזים הנפלטים יוצרים הדף הדוחף את הטיל קדימה.

הידרזין נוזלי, $N_2H_{4(l)}$ וכן מתיל הידרזין נוזלי, $N_2H_3CH_{3(l)}$ משמשים כחומרי דלק לטילים נושאי חלליות, כאשר הם מגיבים עם אחד מהמחמצנים הבאים: חמצן – $O_{2(g)}$, מימן על חמצני – $H_2O_{2(l)}$ או אחת מתחמוצות החנקן - $N_2O_{4(l)}$. במהלך התגובה נפלטת אנרגיה רבה ונוצר מספר גדול של מולי גז היוצרים הדף שמצדו דוחף את הטילים שנושאים את החלליות.

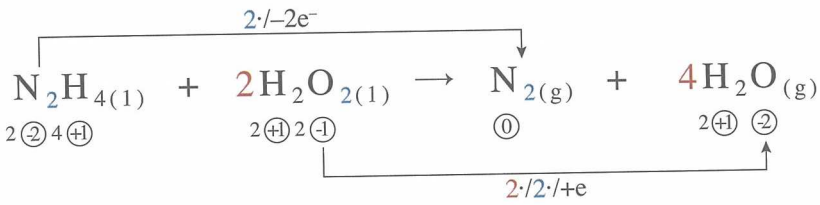
שאלה לפי פתרון מודרך

בשאלה הבאה נתייחס לתגובתו של ההידרזין הנוזלי עם המימן העל-חמצני:

$$N_2H_{4(1)} + H_2O_{2(1)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

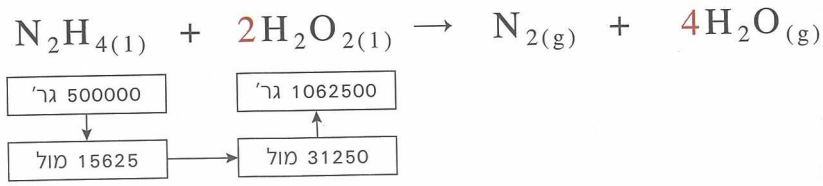
כמה ק"ג מימן על-חמצני דרושים לתגובה עם 500 ק"ג הידרזין?

פתרון

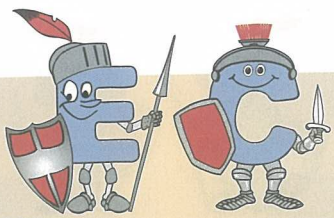


לאחר איזון התגובה נתייחס להיבט הסטוכיומטרי:

$$N_2H_{4(1)} + 2H_2O_{2(1)} \rightarrow N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$



תשובה: דרושים 1062.5 ק"ג מימן על-חמצני לתגובה עם 500 ק"ג הידרזין.



רגע חושבים

אסטרטגיית פתרון

1. כדי לענות על השאלה, עלינו לאזן את התגובה על-מנת לקבל את יחס המולים בתגובה.
2. כדי לאזן את התגובה, נמצא את דרגות החמצון של כל מרכיבי המערכת.
3. נקבע איזה חומר מחזר ואיזה מחמצן.
4. נקבע כמה אלקטרונים היו מעורבים בתגובת החיזור.
5. נקבע כמה אלקטרונים היו מעורבים בתגובת החמצון.
6. נדאג לאיזון המטענים.
7. ולבסוף נאזן את היסודות שלא היו מעורבים בחמצון-חיזור, על-פי חוק שימור החומר.
8. כדאי לשים לב שבמימן על-חמצני דרגת החמצון של החמצן היא 1 – ; כמו כן בכל מולקולה יש שני אטומי חמצן בדרגת חמצון זו.

שאלות

1. נסחו תגובה בין הידרזין ומחמצן אחר, אחד מאלו שהוזכרו בעמוד הקודם. אזנו את התגובה בעזרת דרגות חמצון.
2. הסבירו בעזרת דרגות חמצון מדוע החומר שבחרתם יכול לשמש כחומר מחמצן בתגובה?

ניסוי מס' 5 – הלבנה זה שם המשחק

בניסוי הבא נתנסה בתגובות חמצון-חיזור המשלבות חומרים ביתיים.

תמיסת יוד

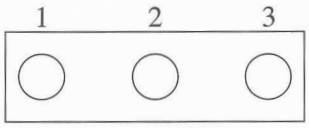
ציוד וחומרים

בקבוק טפי המכיל תמיסת יוד*, בקבוק טפי המכיל אקונומיקה, טבליות של ויטמין *C*, צלחת פטרי, פיסת בד כותנה לבנה, משקפי מגן.

מהלך העבודה

הכינו במחברתכם טבלה כדוגמת הטבלה הבאה ורשמו בה את תצפיותיכם במהלך כל שלבי הניסוי.

מהלך העבודה	תצפיות	פירוש תצפיות



א. טפטפו 2-3 טיפות תמיסת יוד על פיסת בד כותנה, בשלושה אזורים, לפי התרשים.

ב. הרטיבו טבלית של ויטמין *C* במים.

ג. שפשפו את אזורים 1 ו-2 בעזרת הטבלית הרטובה.

ד. טפטפו על הבד באזור 1 שתי טיפות אקונומיקה.

בקבוק אקונומיקה

בחרו בכל אחד מהשלבים מגיב אחד לפחות המשתתף בתגובה, והתייחסו להנחיות האלה:

א. האם השתתף המגיב בתגובת החמצון-חיזור? נמקו.

ב. אם כן, ציינו מה תפקידו בתהליך?

ג. נסו להגדיר את המגיב הנוסף וקבעו את תפקידו בתהליך שהתרחש.

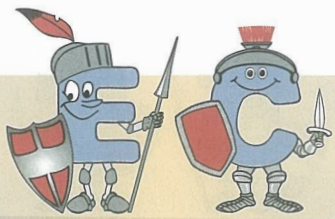
לעתים קרובות מופיעות בתקשורת המלצות לצריכה מוגברת של ויטמין *C*. מוכרים כמוסות של ויטמין *C*, מוסיפים ויטמין *C* למזונות ולמשקאות שונים. המנה המומלצת (*RDA* - Recommended Dietary Allowances) של ויטמין *C* נעה בין 60 ל-90 מ"ג ליום. בניסוי הבא נלמד שיטה לקביעת כמות הוויטמין *C* בעזרת האינדיקטור דיכלורופנול אינדופנול 2,6 Dichloro-phenol-indophenol (2,6 *DPIP*). ניתן לנסח באופן סכמטי את התגובה בין ויטמין *C* - $C_6H_8O_6$ ו-2,6 *DPIP* המסומן בניסוח *In* (אינדיקטור) ו-InH_2 (אינדיקטור לאחר שעבר חיזור), בצורה הבאה:

ויטמין C

$$C_6H_8O_6 + In \longrightarrow C_6H_6O_6 + InH_2$$

חומצה אסקורבית	2,6 *DPIP* כחול	חומצה דה-הידרו אסקורבית	2,6 *DPIP* חוסר צבע

* תמיסה מימית של יוד (נקראת גם תמיסת לוגול), מכילה אשלגן יודי ויוד. בתמיסה קיים שיווי המשקל הבא: $I_{2(aq)} + I^-_{(aq)} \leftrightarrows I_3^-{}_{(aq)}$. החומר שמשתתף בתגובה הוא $I_{2(aq)}$.



ניסוי מס' 6 — קביעת הכמות של ויטמין *C*

ניסוי זה פותח בפנינו אפשרות לחקור ולקבוע את תכולת הוויטמין *C* במזונות שונים ובתנאים שונים.

ציוד וחומרים

10 מ"ל תמיסה של ויטמין C (חומצה אסקורבית) בריכוז של 0.5 מ"ג במ"ל

100 מ"ל תמיסת דיכלורופנולאינדופנול (*DPIP* 2,6) בריכוז של 0.25 מ"ג למ"ל

5 מ"ל תמיסת HCl בריכוז 1M

50 מ"ל תמיסת חומצת חומץ CH_3COOH, בריכוז 0.25M

10 מ"ל מיץ תפוזים

5 ארלנמיירים בנפח של 50 מ"ל

פיפטה בנפח 10 של מ"ל + פיפטור מתאים

פיפטה בנפח של 1 מ"ל + פיפטור מתאים

פיפטה בנפח של 5 מ"ל + פיפטור מתאים

ביורטה בנפח של 50 מ"ל

משפך זכוכית מתאים לפתח הביורטה

משורה של 10 מ"ל

משורה בנפח של 5 מ"ל

משקפי מגן.

?! הידעת?

מחלת חסר בויטמין *C* – צפדינה, ציוני דרך

1595 – קרטייה Cartier למד מהאינדיאנים לטפל בצפדינה על-ידי אכילת פירות.

1747 – לינד Lind רופא בצי הבריטי, ערך ניסוי מבוקר של השפעת פירות על צפדינה.

1795 – האדמירלות הבריטית מכניסה מיץ לימון כחומר חובה בהפלגות ארוכות.

1909 – צפדינה הוגדרה כמחלת חסר תזונתית בניסוי בשפמנונים.

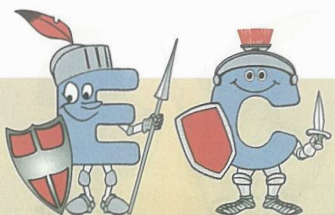
1928 – סנט ג'ורג'י Szent Gyeorgyi, ביוכימאי אמריקאי יליד הונגריה, בודד וזיהה את החומצה האסקורבית כחומר הפעיל המצוי בפירות וירקות ואשר אחראי למניעת הופעת הצפדינה. סנט ג'ורג'י זכה **בפרס נובל** לרפואה ופיסיולוגיה, על בידוד ויטמין *C* וחקר ניצול האנרגיה על-ידי תאים.

מהלך הניסוי

חלק א'

1. מלאו את הביורטה בתמיסה של *DPIP* 2,6, היעזרו במשפך זכוכית.
2. הכניסו 2 מ"ל של תמיסת ויטמין *C* בעזרת פיפטה וולומטרית לתוך ארלנמייר בנפח של 50 מ"ל.
3. הוסיפו לתוך הארלנמייר, בעזרת משורה של 10 מ"ל, 9 מ"ל תמיסה של חומצה אצטית ו-1 מ"ל תמיסת HCl.
4. פתחו את ברז הביורטה וטפטפו בזהירות טיפה אחר טיפה תמיסת דיכלורופנולאינדופנול לתוך הארלנמייר עד להופעת צבע ורוד-סגול שמחזיק 20 שניות לפחות. רשמו את הנפח של תמיסת ה-*DPIP* 2,6 שנדרשה לתגובה.
5. חזרו על המהלך מסעיף א'-ד' עוד פעם אחת לפחות.
6. חשבו את הנפח הממוצע של תמיסת *DPIP* 2,6 שנדרשה לתגובה.

פירות וירקות עשירים בויטמין *C*



7. העתיקו למחברתכם את המסגרת הבאה והשלימו בה את נתוני הניסוי שלכם.

_____ מ"ל תמיסת *2,6 DPIP* נדרשו לתגובה עם _____ מ"ג ויטמין ל-*C*

חלק ב'

1. קחו 2 ארלנמיירים וסמנו אותם באותיות א' ו-ב'. לכל אחד מהם מיזגו 2 מ"ל מיץ תפוזים (היעזרו במשורה למדידת הנפח). ארלנמייר ב' תשמש אתכם לבקרת צבע.
2. רשמו את הנפח ההתחלתי של *DPIP* 2,6 בביורטה.
3. לתוך ארלנמייר א' הוסיפו בעזרת משורה 9 מ"ל תמיסה של חומצה אצטית ו-1 מ"ל תמיסת HCl.
4. פתחו את ברז הביורטה וטפטפו בזהירות טיפה אחר טיפה תמיסת דיכלורופנולאינדופנול לתוך הארלנמייר עד להופעת צבע ורוד-סגול שמחזיק לפחות 20 שניות. רשמו את נפח תמיסת ה-*DPIP* 2,6 שנדרשה לתגובה.
5. בעזרת הנתונים שהשלמתם במסגרת חשבו את כמות ויטמין *C* במ"ג הנמצאת ב-2 מ"ל משקה קל תפוזים.

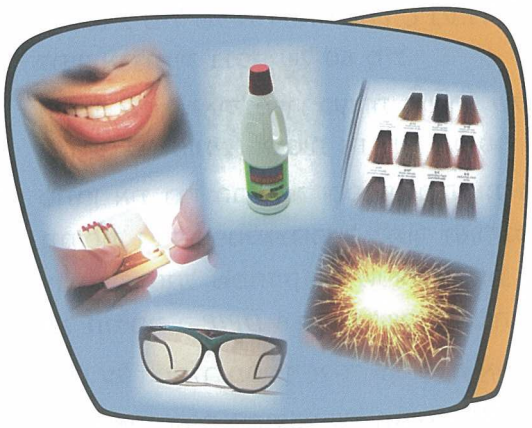
כרגע יש בידיכם כלי שיכול לעזור לכם לקבוע את התכולה של ויטמין *C* במשקאות שונים, במזונות שונים ובתנאי אחסון שונים. הציעו בעיה שאותה אתם רוצים לחקור, ותכננו ניסוי שעשוי לתת תשובות לבעיה שהעליתם.

לפני הנסיון

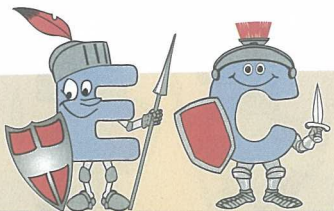
תגובות חמצון-חיזור סביבנו

רבות מהתופעות היומיומיות המתרחשות סביבנו קשורות לתגובות חמצון-חיזור.

1. בחרו באחת מהתופעות הבאות או בתופעה אחרת שהתרחשותה קשורה בתגובות חמצון-חיזור: הלבנת שיניים, חמצון שיער, הלבנה בעזרת אקונומיקה, פיתוח תמונות, משקפיים פוטוכרומיים, הצתת גפרורים, זיקוקי דינור, תגובות שרפה של דלקים, ניטרוס אוקסיד כתוסף דלק.



2. אתרו מקורות מידע המתאימים לביצוע המשימה.
3. תארו בקצרה את התופעה.
4. הסבירו כיצד התופעה קשורה לחמצון-חיזור.
5. נסו לזהות איזה חומר מחמצן ואיזה מחזר.
6. נסחו ניסוח מאוזן של התהליך (תהליכים).
7. הציגו בפני הכיתה את התופעה בדרך יצירתית.



לסיכום: תגובות חמצון-חיזור מתרחשות בין מתכות ליוני מתכות, בין אל-מתכות למתכות ליצירת חומרים יוניים ובין חומרים מולקולריים (הבנויים מאל-מתכות) לבין עצמם. במהלך התרחשותן של התגובות חלים שינויים בדרגות חמצון המלווים בשינוי בהיערכות האלקטרונים או בהעברת אלקטרונים. ניתן להיעזר בשינויים בדרגות החמצון על מנת לאזן ניסוחי תגובה. ניתוח תגובות החמצון-חיזור של האנטיאוקסידנטים המגנים בפני חמצון ייעשה בפרק הבא, שבו נדון בחמצון-חיזור של תרכובות פחמן.

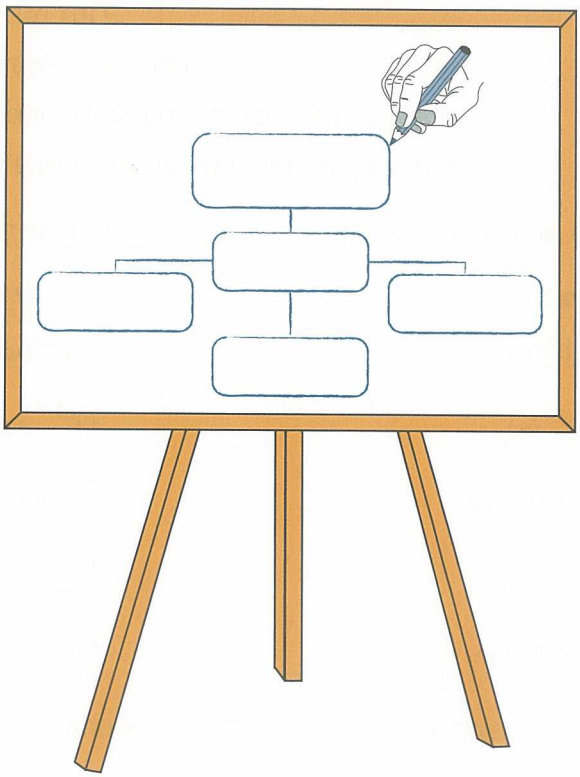
בפעילות הבאה נסכם את המושגים שלמדנו בפרק בעזרת מפת מושגים.

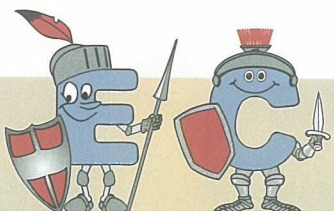
לך לבדך

הרחבת מפת המושגים

בפרק א', עמוד 25 הוצגה בפניכם מפת מושגים המארגנת מושגים הקשורים לחמצון-חיזור. הרחיבו את מפת המושגים ושלבו בה את המושגים החדשים שלמדתם בפרק זה: דרגות חמצון, עלייה בדרגת חמצון, ירידה בדרגת חמצון.

ניתן לארגן את מפת המושגים מחדש לפי רצונכם.





.5 נתונות קבוצות החומרים הבאות:

$H_2\underline{S}_2$, $H_2\underline{S}O_4$, $\underline{S}_2O_3^{2-}$

$\underline{N}H_4^+$, $\underline{N}_2H_2$, $H\underline{N}O_2$, $H\underline{N}O_3$

$H\underline{I}$, $H\underline{I}O_3$, $Na\underline{I}O$, $H\underline{I}O_4$

אילו מבין החומרים עשויים (בהתייחס לאטום המסומן בכל חלקיק):

א. לחמצן בלבד.

ב. לחזר בלבד.

ג. גם לחמצן וגם לחזר.

.6 בתגובה של 0.450 גרם מגנזיום מתכתי עם חנקן בעודף התקבלו 0.623 גרם מגנזיום חנקני.

א. מהי נוסחתו האמפירית של מגנזיום חנקני?

ב. רשמו ניסוח מאוזן לתהליך.

ג. כמה מול אלקטרונים עברו מן המחזר אל המחמצן בניסוי שתואר?

.7 ממיסים 6.675 גרם אלומיניום כלורי במים, ומתקבלים 250 מ"ל תמיסה.

א. i. נסחו את תהליך ההמסה.

ii. חשבו את ריכוז **יוני הכלור** בתמיסה. פרטו חישוביכם.

ב. לתמיסת אלומיניום כלורי המקורית בעבעו גז פלואור. התרחשה התגובה הבאה:

$$2Cl^-_{(aq)} + F_{2(g)} \rightarrow 2F^-_{(aq)} + Cl_{2(g)}$$

i. קבעו מהו החומר המחמצן ומהו החומר המחזר והציעו הסבר להתרחשות התגובה במונחים של אלקטרושליליות.

ii. מהו נפח הפלואור שנדרש לתגובה מלאה עם תמיסת האלומיניום הכלורי (בתנאי החדר מול גז תופס נפח של 25 ליטר)?

iii. חשבו כמה מול אלקטרונים עברו בתהליך הנ"ל.

.8 בציורים ישנים הגוון הלבן, $PbSO_{4(s)}$, משחיר במשך השנים והופך לכתמים שחורים, $PbS_{(s)}$.

א. i. בחומר היוני $PbSO_{4(s)}$ היונים הם Pb^{+2} ו-SO_4^{-2}. מהי דרגת החמצון של הגפרית באניון?

ii. לפניכם התגובה שבה מתרחש תהליך ההשחרה:

$$PbSO_{4(s)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow PbS_{(s)} + H_2SO_{4(l)}$$

האם תהליך ההשחרה הוא תגובת חמצון-חיזור? נמקו.

כדי לשקם את הציורים, מוסיפים ל-$PbS_{(s)}$ תמיסת מימן על-חמצני, $H_2O_{2(aq)}$, וכך מתקבל בחזרה הגוון הלבן ומים.

שאלות לסיכום לפרק ב'

1. התייחסו לתגובות הבאות:

א. $2Cl_2O_{(g)} \rightarrow 2Cl_{2(g)} + O_{2(g)}$

ב. $CO_{2(g)} + Mg_{(s)} \rightarrow CO_{(g)} + MgO_{(s)}$

ג. $3Mg_{(s)} + N_{2(g)} \rightarrow Mg_3N_{2(s)}$

ד. $3H_2O_{2(1)} + O_{3(g)} \rightarrow 3H_2O_{(1)} + 3O_{2(g)}$

רשמו את השינוי בדרגות החמצון לגבי כל אחד מן החלקיקים המשתתפים בתגובה וציינו מהו המחמצן ומהו המחזר בכל אחת מהתגובות.

2. התייחסו לשתי התגובות הבאות:

א. $P_{4(s)} + 6H_{2(g)} \rightarrow 4PH_{3(g)}$

ב. $2NCl_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + 3Cl_{2(g)}$

בדקו את האלקטרושליליות של כל יסוד והראו שתגובות אלה אינן תגובות חמצון-חיזור.

3. השחרת כלי כסף נגרמת על-ידי תגובה בין כסף מתכתי לבין הגז מימן גפרי (H_2S). בנוכחות אוויר (חמצן) תוצרי התגובה הם מים וכסף גפרי.

א. רשמו ניסוח מאוזן לתהליך שמתרחש.

ב. קבעו מהו המחמצן ומהו המחזר בתגובה ונמקו את קביעתכם.

ג. הציעו דרך להחזיר לתכשיטי כסף שהשחירו את צבעם המקורי.

4. לפניכם רשימת מגיבים ותוצרים בתגובות חמצון-חיזור שמתבצעות בתמיסה מימית:

	התוצרים	המגיבים
א.	$Mg^{2+}_{(aq)}$; $Al_{(s)}$	$Mg_{(s)}$; $Al^{3+}_{(aq)}$
ב.	$Fe^{2+}_{(aq)}$	$Fe_{(s)}$; $Fe^{3+}_{(aq)}$
ג.	$Cr^{3+}_{(aq)}$; $Co^{2+}_{(aq)}$	$Cr^{2+}_{(aq)}$; $Co^{+3}_{(aq)}$
ד.	$I_{2(aq)}$; $Fe^{2+}_{(aq)}$	$I^-_{(aq)}$; $Fe^{3+}_{(aq)}$
ה.	$Cl_{2(g)}$; $Au_{(s)}$	$Cl^-_{(aq)}$; $Au^{3+}_{(aq)}$

רשמו ניסוח לתגובות המתרחשות ואזנו את התהליכים בעזרת דרגות חמצון.

ב. i. נסחו ואזנו את התהליך המתאר את קבלת הגוון הלבן.

ii. איזה מהחומרים עבר חמצון?

iii. כמה מול אלקטרונים עברו ממול אחד של החומר העובר חמצון?

ג. המיסו 20.4 גרם מימן על-חמצני, $H_2O_{2(l)}$, ב-100 מ"ל מים.

i. מהו ריכוז תמיסת המימן העל-חמצני? פרטו חישוביכם.

ii. כמה מ"ל מתמיסה זו דרושים להלבנת 4.8 גרם $PbS_{(s)}$? פרטו חישוביכם.

היעזרו בחישוביכם בתגובה שאותה איזנתם בסעיף ב.i.

9. הוכנו שתי תמיסות: A ו-B. תמיסה A מכילה יוני $Ag^+_{(aq)}$ ויוני $NO_3^-{}_{(aq)}$.
תמיסה B מכילה יוני $Fe^{2+}{}_{(aq)}$ ויוני $NO_3^-{}_{(aq)}$.
בערבוב תמיסה A עם תמיסה B נוצר כסף מתכתי $Ag_{(s)}$ ויוני $Fe^{3+}{}_{(aq)}$.

א. נסחו ואזנו ניסוח נטו לתגובה שהתרחשה.

ב. האם התגובה היא תגובת חמצון-חיזור? נמקו.

ג. תמיסה C מכילה יוני $Fe^{3+}_{(aq)}$ ויוני $NO_3^-{}_{(aq)}$. האם הייתה מתרחשת תגובה בין תמיסה A לתמיסה C? אם כן - נסחו ואזנו תהליך מתאים, אם לא - הסבירו מדוע.

10. נתונה תגובת החמצון-חיזור המאוזנת הבאה:

$$ClO^-{}_{(aq)} + HNO_{2(aq)} \rightarrow HNO_{3(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$$

א. רשמו איזה חומר הוא המחזר בתגובה ואיזה הוא המחמצן. נמקו.

ב. בתגובה נוצרו 315 גר' HNO_3.

i. כמה מ"ל תמיסת HNO_2 בריכוז 2M נדרשו לתגובה? פרטו חישוביכם.

ii. כמה מול אלקטרונים עברו בתגובה? פרטו חישוביכם.

ג. להלן נוסחאות של מספר תרכובות המכילות כרום:

$$CrBr_2 \quad , \quad K_2CrO_4 \quad , \quad Cr(NO_3)_3$$

i. רשמו את דרגות החמצון של הכרום בכל אחת מן התרכובות.

ii רשמו נוסחאות לתחמוצות של כרום שבהן הכרום מופיע בדרגות חמצון כמו אלה של החומרים נזכרים בסעיף ג'.

11. א. רשמו נוסחת ייצוג אלקטרונית למימן על-חמצני, H_2O_2.

ב. מימן על-חמצני, H_2O_2, עשוי להגיב גם כמחמצן וגם כמחזר. הסבירו עובדה זו.

ג. לפניכם שלוש תגובות i-iii שבהן משתתף מימן על-חמצני, H_2O_2.

i. $H_2O_{2(aq)} + 2HClO_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

ii. $2H_2O_{2(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

iii. $H_2O_{2(aq)} + 2H_3O^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$

קבעו לגבי כל אחת מהתגובות i, ii, ו-iii, אם H_2O_2 פעל כמחמצן בלבד, כמחזר בלבד או גם כמחמצן וגם כמחזר. נמקו את קביעתכם.

ד*. התייחסו לתגובה iii – האם גם יוני $Br^-_{(aq)}$ עשויים להגיב בצורה דומה עם H_2O_2? הסבירו את תשובתכם תוך התייחסות לאלקטרושליליות של ההלוגנים המשתתפים בתגובה, ובהתאם לכך לכושרם לחזר או לחמצן.

12. לפניכם ניסוח תגובה מאוזן **חלקית**:

$$Cu_{(s)} + NO_3{}^{1-}{}_{(aq)} + 8H_3O^{1+}{}_{(aq)} \longrightarrow Cu^{2+}{}_{(aq)} + NO_{(g)} + 12H_2O$$

א. אזנו את התגובה בעזרת דרגות חמצון.

ב. קבעו איזה חומר הוא המחמצן בתהליך ואיזה הוא המחזר. נמקו.

ג. 7.62 גר' $Cu_{(S)}$ הגיבו בשלמות.

i. מהו נפח $NO_{(g)}$ שהתקבל בתנאי תקן?

ii. כמה מול אלקטרונים עברו בתגובה?

13. "כריות אוויר" חייבות להתנפח בִּן-רגע, בעת התנגשות חזיתית של המכונית. החומר העיקרי להפעלת הכרית הוא נתרן אזיד, NaN_3.

חיישן הרגיש לשינוי פתאומי במהירות מפעיל ברגע ההתנגשות מצית חשמלי, הגורם לפירוק ה-NaN_3:

$$2NaN_{3(s)} \rightarrow 2Na_{(s)} + 3N_{2(g)}$$

הנפח של "כרית אוויר" מנופחת הוא 50 ליטר. בהנחה שבתנאי ההתנפחות הנפח המולרי של גז כלשהו הוא 25 ליטר, כמה גרם NaN_3 צריכים להגיב כדי לנפח את הכרית? נמקו בליווי חישובים.

* סעיף רשות

בחרו את האפשרות המתאימה לכל אחת מהשאלות הבאות. נמקו או פרטו את חישוביכם.

1. MnO_4^{1-} מגיב עם חומר מסוים והופך ל- Mn^{2+} ולתוצרים נוספים.

איזה מהחומרים הבאים יכול להיות שותף לתגובה, ומהו התוצר האפשרי?

א. SO_4^{2-} שיהפוך ל-SO_2.

ב. ClO_3^{1-} שיהפוך ל-Cl^{1-}.

ג. NO_2^{1-} שיהפוך ל-NO.

ד. Br^{1-} שיהפוך ל-Br_2.

2. נתון התהליך:

$$6Fe^{2+}_{(aq)} + Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14H_3O^+_{(aq)} \rightarrow 6F^{3+}_{(aq)} + 21H_2O_{(l)} + 2Cr^{3+}_{(aq)}$$

בתהליך שבו מגיבים **2 מולים** של היון $Cr_2O_7^{2-}$ עוברים:

א. 6 מול אלקטרונים.

ב. 12 מול אלקטרונים.

ג. 3 מול אלקטרונים.

ד. 18 מול אלקטרונים.

3. מול אחד של יוני $IO_3^{1-}{}_{(aq)}$ עבר חיזור ע"י 6 מול יוני $Br^{1-}{}_{(aq)}$.

כתוצאה מכך התקבלו מולקולות של היסוד ברום. מהו תוצר החיזור?

א. $IO_3^{1-}{}_{(aq)}$ ב. $I^{1-}{}_{(aq)}$

ג. $I_2O_{5(s)}$ ד. $I_{2(s)}$.

4. לפניכם מספר תרכובות חנקן:

i. N_2O_5 ii. HNO_3 iii. NH_3 iv. NO_2 v. N_2O

באילו מהתרכובות הנ"ל יכול החנקן **לחזר בלבד**?

א. i ו-ii

ב. ii ו-iii בלבד

ג. v ו-iv בלבד

ד. iii בלבד.

5. באיזה מחלקי התגובה נדרש חומר מחזר?

א. $N_{2(g)} \longrightarrow NO_{2(g)}$

ב. $N_{2(g)} \longrightarrow HNO_{3(l)}$

ג. $N_{2(g)} \longrightarrow NH_{3(g)}$

ד. $N_{2(g)} \longrightarrow N_2O_{(g)}$

.6 כלור $Cl_{2(g)}$ מגיב עם $HBr_{(g)}$ לקבלת $Br_{2(l)}$ על פי הניסוח:

$$Cl_{2(g)} + HBr_{(g)} \rightarrow Br_{2(1)} + HCl_{(g)}$$

התייחסו להיגדים הבאים וסמנו את ההיגד הנכון.

א. $F_{2(g)}$ ו- $I_{2(s)}$ יגיבו גם הם עם HB_r לקבלת $Br_{2(l)}$ מכיוון שהם הלוגנים כמו $Cl_{2(g)}$.

ב. $F_{2(g)}$ יגיב עם HBr לקבלת $Br_{2(l)}$ מכיוון שהאלקטרושליליות של פלואור גבוהה משל הברום.

ג. $I_{2(g)}$ יגיב עם HBr לקבלת $Br_{2(l)}$ מכיוון שהאלקטרושליליות של יוד גבוהה משל הברום.

ד. $Br_{2(l)}$ יגיב HF לקבלת $F_{2(g)}$ מכיוון שלברום אלקטרושליליות גבוהה יותר מלפלואור.

.7 דרגת החמצון של מימן בתרכובת MgH_2 היא:

א. +1

ב. +2

ג. –2

ד. –1

.8 בוצע הניסוי הבא: ל-5.6 גרם חנקן הוסיפו חמצן בעודף. התרחשה התגובה הבאה:

$$2N_{2(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2N_2O_{3(g)}$$

כמה מול אלקטרונים עברו בניסוי הנ"ל?

א. 0.2 מול

ב. 0.6 מול

ג. 1.2 מול

ד. 12 מול.

.9 אילו מבין החומרים הבאים יגיבו עם $Br_{2(l)}$ ליצירת יוני ברומיד Br^-?

i. NaCl ii. H_2S iii. SO_3 iv. O_2

א. i ו- ii

ב. ii בלבד

ג. i ו- iv בלבד

ד. כולם.

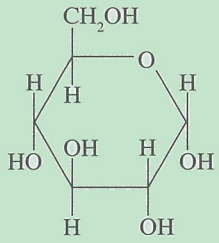
ג זה בתוכנו...

גלוקוז מלין לציכרון

"מחר יש לי מבחן. השלב מאוחרת ויש לי עוד הרבה חומר ללמוד. אולי כדאי לי לאכול שוקולד? אולי הוא יעזור לי להתרכז?".

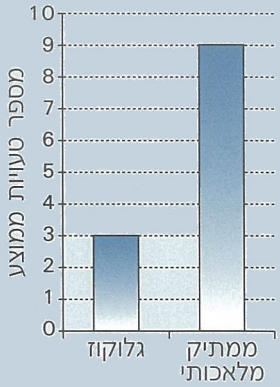
מחשבות דומות עולות במוחם של רבים. כמו כן, התמונה של כיתה בשעת מבחן, כשעל מרבית השולחנות ניתן לראות שוקולד או חטיף מתוק אחר, נפוצה מאוד. שוקולד מכיל מרכיבים שונים כמו: קקאו, חלב, שומנים, גלוקוז ועוד. כדי לעמוד על האמת בדעה הרווחת שלפיה שוקולד משפר את הציכרון, בוצעו כמה מחקרים. במחקר הבא בחרו מדענים לבדוק את השפעת הגלוקוז על הציכרון.

גלוקוז $C_6H_{12}O_6$ הוא אחד המרכיבים של סוכרוז, שהוא סוכר המאכל.



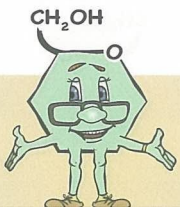
30 תלמידים התבקשו לצום במשך שעתיים לפני בדיקת הציכרון. לקראת הבדיקה חולקו התלמידים לשתי קבוצות:

קבוצה אחת קיבלה משקה שהכיל 100 מיליגרם גלוקוז לכל ק"ג משקל גוף. הקבוצה השנייה קיבלה אותה כמות של ממתיק מלאכותי. לאחר שתיית המשקאות הוצגו בפני כל התלמידים 16 תמונות שהיו מונחות על השולחן בסדר מסוים. התמונות הוצגו למשך מספר דקות ואז הוסתרו. כדי לבדוק את השפעתם של שני הממתיקים השונים על הציכרון, התבקשו התלמידים לחזור ולתאר אילו תמונות ראו ואת הסדר שבו היו מונחות. בגרף שלפניכם מתוארות תוצאות הניסוי.



בניסוי אחר ביקשו מדענים לבדוק גורמים נוספים שמשפיעים על הציכרון. למטרה זו נבדקה ההשפעה של שאיפת חמצן על הציכרון. חלק מן הנבדקים קיבלו שאיפה קצרה של גז החמצן ולאחר מכן התבקשו לזכור 15 מילים בעל-פה. קבוצה אחרת התבקשה לזכור את המילים בלי ששאפו חמצן קודם לכן.

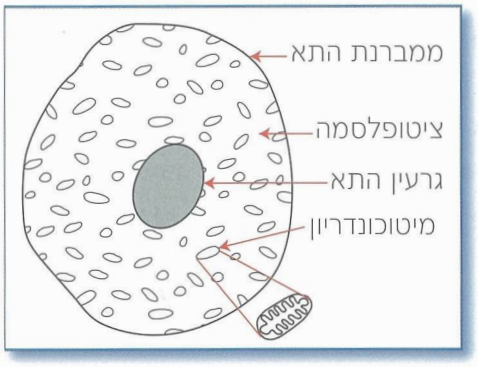
הנבדקים ששאפו חמצן זכרו בממוצע 2 עד 3 מילים יותר מאלו שלא שאפו.



שאלות

1. מדוע, לדעתכם, התבקשו התלמידים לבדוק לפני הניסוי?
2. מה תפקידה של הקבוצה השנייה? מדוע לא ניתן להסתפק בקבוצה הראשונה שקיבלה גלוקוז בניסוי?
3. כמה טלוויות בממוצע לשתה כל קבוצה?
4. איזו מסקנות ניתן להסיק מתוצאות הניסוי?
5. איזו השגות יש לכם על מהלך הניסוי ותוצאותיו?
6. מה ניתן להסיק מתוצאות הניסוי שבדק את ההשפעה של שאיפת חמצן על הציכרון?
7. רשמו מספר שאלות שמתעוררות בעקבות הניסויים שתוארו.

חמצון גלוקוז ביצורים חיים



בפרקים א' וב' התוודענו לתגובות חמצון-חיזור של חומרים מתכתיים, מולקולריים ויוניים. בפרק זה נתמקד בתגובות חמצון-חיזור בתרכובות פחמן, המתרחשות בגוף החי.

מקור האנרגיה לביצוע פעולות החיים באדם וברוב היצורים החיים הוא חמצון תרכובות פחמן. תהליך החמצון נקרא נשימה תאית ומתרחש בתאים. חלק מהתהליך מתרחש בנוזל התא ורובו באברונים הקרויים מיטוכונדריה. באדם, המזון משמש מקור לתרכובות פחמן. תרכובות פחמן שונות יכולות לשמש, על-ידי חמצונן, כמקור לאנרגיה בתאים השונים של הגוף. לעומת זאת, תאי המוח יכולים להשתמש אך ורק בגלוקוז לצורך קבלת אנרגיה לפעילותם.

לפני שנתרכז בתהליך חמצון הגלוקוז – $C_6H_{12}O_6$, נכיר את מבנה המולקולה.

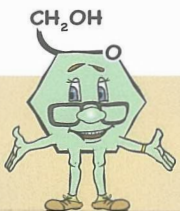
לבדוק לפי מודלים

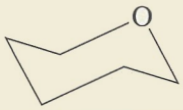
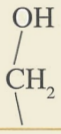
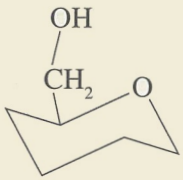
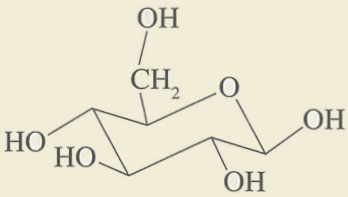
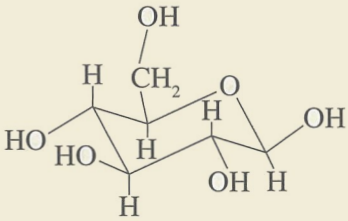
א. נא להכיר — גלוקוז! בניית מודל כדור-מקל

הנוסחה המולקולרית של גלוקוז היא $C_6H_{12}O_6$, אך מהי נוסחת המבנה של גלוקוז? מהן הקבוצות הפונקציונליות במולקולה?

על מנת לענות על שאלות אלו נבנה בפעילות הבאה מודל המתאר מולקולת גלוקוז.

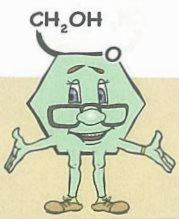
במהלך בניית המודל הקפידו שכל קשרי C-C יהיו בעלי אורך קשר אחיד, וכן גם כל קשרי O-H וכל קשרי C-H.



א. בנו טבעת ובה שישה פחמנים.	
ב. החליפו את אחד מאטומי הפחמן באטום חמצן.	
ג. צרו קבוצת $-CH_2OH$ (שימו לב שלאטום הפחמן נשאר קשר אחד פנוי).	
ד. חברו קבוצת $-CH_2OH$ לאטום הפחמן בטבעת, שנמצא בסמוך לחמצן, כפי שמופיע בשרטוט, כך שהקבוצה תתרחק מן הטבעת.	
ה. חברו לכל אחד מהפחמנים הפנויים של הטבעת קבוצת $-OH$ כך שהקבוצה תתרחק מן הטבעת.	
ו. הוסיפו מימנים להשלמת המבנה.	

שאלות

1. מדוע, לדעתכם, המבנה של גלוקוז אינו מישורי?
2. נסו לקבל מבנה מרחבי שונה ללא שבירת קשרים.
3. הציעו איזומר לגלוקוז, שבו המבנה הבסיסי של הטבעת אינו משתנה.
4. אילו קבוצות פונקציונליות אתם מזהים במודל שבניתם?
5. גלוקוז הוא מוצק בטמפרטורת החדר, והוא מתמוסס במים. הסבירו עובדות אלו בהתבסס על הקבוצות הפונקציונליות.
6. למתעניינים בלבד! אחת ההגדרות לגלוקוז היא אלדהיד רב כוהלי. כיצד ייתכן הדבר?



ב. בניית מודלים ממוחשבים

היכנסו לאתר המלווה את הספר: http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/chemin

בחרו בקישורים, פרק ג', בחרו בתרגיל הדמיה מולקולרית. קבלו מהמורה הנחיות לגבי התוכנות הדרושות לביצוע התרגיל. בצעו את התרגיל.

קיימות שתי צורות בסיסיות של תהליכי חמצון גלוקוז ביצורים חיים:

- חמצון בנוכחות חמצן, תהליך הנקרא **נשימה אֵרובית** (air – אוויר).
- חמצון ללא השתתפות חמצן, תהליך הנקרא **נשימה אנאֵרובית** (an – שלילה).

ברוב היצורים החיים מתרחש בעיקר התהליך האֵרובי שהנו יעיל יותר. תפוקת האנרגיה בתהליך זה גבוהה בהרבה מזו שבתהליך האנאֵרובי. כמו כן, לא נוצרים בתהליך האֵרובי תוצרי לוואי העלולים לגרום לנזקים לתא (על התהליך האנאֵרובי נרחיב בהמשך).

הניסוח הכולל של התהליך האֵרובי הוא:

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -2870 kJ/mol$$

התהליך ספונטני. קבוע שיווי המשקל לתגובה הוא 10^{510}! כלומר, התגובה מתרחשת "עד תום".

בחמצון מול אחד של גלוקוז נפלטת אנרגיה בשיעור של 2870 kJ. לשם השוואה, בשרפת (חמצון) מול דלק מכוניות נפלטים כ-5500kJ/mol.

כ-400 גרם גלוקוז מספקים את התצרוכת היומית של אנרגיה לאדם. לו כל האנרגיה הנפלטת מחמצון 400 גרם גלוקוז ביום השתחררה בבת אחת לתאים, הייתה הטמפרטורה שלהם עולה הרבה מעבר לטמפרטורה המיטבית לפעילות התאים. חלק מהאנרגיה המשתחררת בתאים מנוצל לבניית מולקולות *ATP*, ורק חלק מתפזר בצורת חום.

צימוד: מתרחש כאשר אנרגיה הנפלטת בתגובה מסוימת מנוצלת להתרחשות תגובה אחרת הדורשת השקעת אנרגיה. כלומר, תגובה ספונטנית "דוחפת" תגובה לא ספונטנית. לדוגמה – האנרגיה הנפלטת בתגובת חמצון גלוקוז בתאים (תגובה ספונטנית), מצומדת לתגובת יצירה של *ATP*.

בצימוד לחמצון מולקולה אחת של גלוקוז מתקבלות 36 מולקולות *ATP*.

?! הידעת?

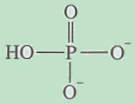
גלוקוז במזון: הפחמימות הן אחד מאבות המזון. הן מרכיב מרכזי בתזונתו של האדם ומצויות במגוון של מקורות מזון: אורז, תפוחי אדמה, לחם לסוגיו, פסטה, פרות וממתקים. הפחמימות מתחלקות לחד-סוכר (גלוקוז, פרוקטוז), דו-סוכר (סוכרוז, לקטוז), ורב-סוכרים (עמילן, גליקוגן). התוצרים הסופיים של תהליך העיכול הם בדרך כלל חד סוכרים.

רמת גלוקוז בדם: גלוקוז הוא אחד המומסים בנוזל הדם. רמתו בדם של אדם בריא נעה בין 70 ל-110 מיליגרם ל-100 מ"ל דם. בגלל חשיבותו של הגלוקוז לפעילותם של מערכת העצבים ושאר תאי הגוף, חשוב שרמתו בדם תהיה יציבה.
רמת הגלוקוז בדם מווסתת על ידי שני הורמונים: אינסולין "שומר" שרמתו בדם לא תעלה, ואילו גלוקגון "שומר" שרמתו לא תרד.
סוכרת היא מחלה שבה רמת הסוכר בדם גבוהה מהגבול העליון שצוין לעיל.

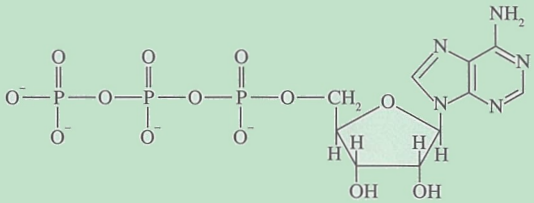
אינפוזיה (עירוי) **גלוקוז**: כאשר אין ביכולתו של פצוע או אדם שעבר ניתוח לאכול, מזינים אותו ישירות לתוך הוריד בתמיסה של גלוקוז 5%, תהליך הנקרא אינפוזיה.
גלוקוז יכול להיספג מהדם לתאים ללא תהליכי עיכול כלשהם.

Pi: סימן מקובל לקבוצה זרחתית שאינה קשורה לתרכובות פחמן.

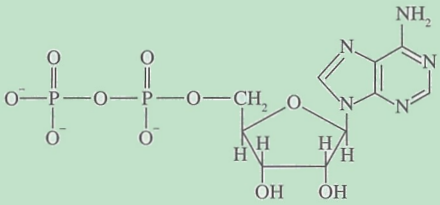
לדוגמה HPO_4^{-2}



Adenosine TriPhosphate-*ATP* – מולקולה של אדנוזין שמחוברות אליה 3 קבוצות זרחתיות (פוספט).



Adenosine DiPhosphate-*ADP* – מולקולה של אדנוזין שמחוברות אליה שתי קבוצות זרחתיות (פוספט).



מהו היתרון בקבלת מולקולות *ATP*?

בשעת הצורך מתרחשת תגובה של מולקולות *ATP* עם מים לפי הניסוח הבא:

$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi$$

בתהליך זה משתחררת אנרגיה ברמה המתאימה לביצוע תגובות לא ספונטניות בתאים. כלומר, מולקולות *ATP* משמשות כמאגר זמני לאנרגיה הנוצרת בעת חמצון הגלוקוז.

"פירוק" *ATP*: מקובל היה לנסח את התגובה שבה נפלטת אנרגיה מ"פירוק" *ATP*:

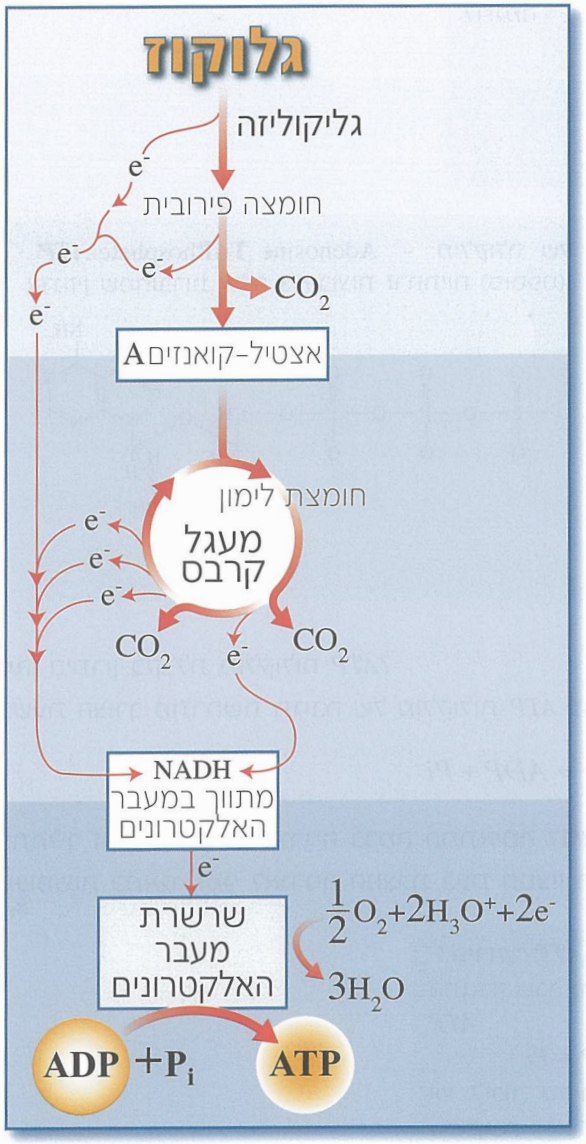
$$ATP \rightarrow ADP + Pi$$

יש לזכור שפירוק קשר כימי מצריך **השקעת** אנרגיה. כיצד מתיישבת הסתירה לכאורה?

בתגובה זו מגיב *ATP* עם מים, ובתגובה ניתקים קשרים ונוצרים קשרים אחרים, ובמאזן הכולל נפלטת אנרגיה.

ככל שאבר פעיל יותר, כמו המוח בשעת פעילות לימודית, הוא צורך יותר מולקולות *ATP*. מולקולות *ATP* שנוצרו בתאים מגיבות עם מים ומשתחררת אנרגיה המשמשת לביצוע פעילות, כמו חשיבה וזיכרון.

חמצון הגלוקוז בתאים הוא תהליך רב-שלבי. כל אחת מהתגובות מזורזת על-ידי אנזים מיוחד לה. ניתן לקבץ את התגובות הרבות לשלוש קבוצות עיקריות:



גליקוליזה – סדרת תגובות אנאֵרוביות שבה מהגלוקוז מתקבלת חומצה פירובית. מגלוקוז, $C_6H_{12}O_6$, מולקולה המכילה שישה פחמנים, מתקבלת חומצה פירובית, $C_3H_4O_3$, מולקולה המכילה שלושה פחמנים.

מעגל קרבס – סדרת תגובות מעגלית, אֵרובית, שבה מתרחשות תגובות חמצון-חיזור ומתקבל פחמן דו חמצני ותוצר חיזור *NADH* שעובר לשלב הבא.

שרשרת מעבר אלקטרונים – סדרת תגובות חמצון-חיזור שבה אלקטרונים מועברים מ-*NADH* דרך שרשרת חומרים שונים בתא, כשהמחמצן בתגובה הסופית הוא חמצן והתוצר המתקבל ממנו הוא מים.

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow 3H_2O$$

ננתח מספר תגובות בתהליך הנשימה מנקודת מבט של חמצון-חיזור: בחומר העובר חמצון יש עלייה במספר אטומי החמצן (ו/או ירידה במספר אטומי המימן) מתוך המספר הכולל של האטומים במולקולה.

בחומר העובר חיזור יש עלייה במספר אטומי המימן (ו/או ירידה במספר אטומי החמצן) מתוך המספר הכולל של אטומים במולקולה.

כדי לבדוק אם מדובר בתגובת חמצון-חיזור, נהגנו לבדוק שינויים בדרגות חמצון. אולם, בתרכובות פחמן מקובלת שיטה אחרת, שעיקרה מעקב אחרי השתנות מספר אטומי החמצן ואטומי המימן המשתתפים בתגובה. ככל שמספר הקשרים הקוולנטיים בין אטומי הפחמן לאטומי החמצן יהיה גדול יותר, תהיה דרגת החמצון של הפחמן גבוהה יותר. ככל שהפחמן יהיה קשור ליותר אטומי מימן, תהיה דרגת החמצון שלו נמוכה יותר. זאת בגלל ההפרש באלקטרושליליות בין הפחמן לחמצן או לחילופין בין הפחמן למימן.

בחומר העובר חמצון יש עלייה יחסית במספר אטומי החמצן (ו/או ירידה יחסית במספר אטומי המימן) מתוך המספר הכולל של האטומים במולקולה.

בחומר העובר חיזור יש עלייה יחסית במספר אטומי המימן (ו/או ירידה יחסית במספר אטומי החמצן) מתוך המספר הכולל של אטומים במולקולה.

היות שחמצון וחיזור הם שני חצאים של תגובה אחת, כאשר יש עלייה במספר אטומי החמצן בחומר שעבר חמצון, חלה לצדה ירידה במספר אטומי החמצן בחומר שעבר חיזור. ירידה במספר אטומי המימן בחומר שעבר חמצון, מלווה בעלייה במספר אטומי המימן בחומר שעבר חיזור.

לדוגמה: בתגובה בין מימן לפחמן דו חמצני:

$$H_{2(g)} + CO_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{(g)}$$

שאלה לם פתרון מודרך

1. קבעו מהו החומר המחמצן ומהו החומר המחזר על פי חישוב דרגות חמצון.
2. מהו החומר המחמצן ומהו החומר המחזר באמצעות השיטה שהצגנו?

פתרון

א. כדי לקבוע איזה חומר מחמצן ואיזה מחזר, נמצא בכל אחד מארבעת החומרים המופיעים בניסוח את היחס שבין אטומי החמצן ובין כלל האטומים במולקולה ואת היחס שבין המימן ובין כלל האטומים במולקולה:

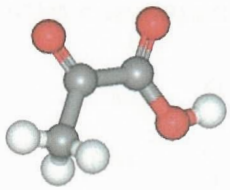
	CO	H_2O	CO_2	H_2
מספר אטומי ה**חמצן** מתוך המספר הכולל של האטומים במולקולה	$\frac{1}{2} = 0.5$	$\frac{1}{3} = 0.33$	$\frac{2}{3} = 0.67$	0
מספר אטומי ה**מימן** מתוך המספר הכולל של אטומים במולקולה	0	$\frac{2}{3} = 0.67$	0	$\frac{2}{2} = 1$

ב. נבדוק מהו השינוי ביחס בין אטומי החמצן לכלל האטומים במולקולות של המגיבים. באחת מהמולקולות (CO_2) ירד היחס מ-$\frac{2}{3}$ ל-$\frac{1}{2}$ ובשנייה (H_2) עלה היחס מ-0 ל-$\frac{1}{3}$. איזה מבין המגיבים הוא החומר המחמצן? בדקו את התאמת התשובה לקביעתכם בסעיף 1.

ג. נבדוק מהו השינוי ביחס שבין אטומי המימן לכלל האטומים במולקולות של המגיבים. באחת מהן היחס ירד מ-$\frac{2}{2}$ ל-$\frac{2}{3}$.

האם תוצאה זו מחזקת את המסקנה שאליה הגעתם בסעיף הקודם? נמקו.

חומצה פירובית



$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$$

נחזור אל תהליכים המתרחשים בתאי גופנו.

לפנינו חצי תגובה לא מאוזנת שבה מעורב הגלוקוז:

$$\underset{\text{גלוקוז}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{חומצה פירובית}}{2C_3H_4O_3}$$

ניעזר בשיטה החדשה כדי לבדוק אם קבלת חומצה פירובית מגלוקוז היא חצי תגובת חמצון או חצי תגובת חיזור. נבדוק אם יש שינוי ביחס בין מספר אטומי המימן או החמצן לבין המספר הכולל של האטומים במולקולה:

	חומצה פירובית $C_3H_4O_3$	גלוקוז $C_6H_{12}O_6$
מספר אטומי ה**מימן** מתוך המספר הכולל של אטומים במולקולה.	$0.4=\frac{4}{10}$	$0.5=\frac{12}{24}$
מספר אטומי ה**חמצן** מתוך המספר הכולל של האטומים במולקולה.	$0.3=\frac{3}{10}$	$0.25=\frac{6}{24}$

כפי שניתן לראות בבירור, חלה ירידה במספר אטומי המימן ביחס לכל האטומים (מ-0.5 ל-0.4) ועלייה במספר אטומי החמצן ביחס לכל האטומים (מ-0.25 ל-0.3), כלומר – בתהליך הגליקוליזה הגלוקוז עובר חמצון.

בשלב אחר בתהליך הנשימה מתרחשת תגובה שחציה מופיע להלן:

$$HOOC-CH_2-CH_2-COOH \longrightarrow HOOC-CH=CH-COOH$$

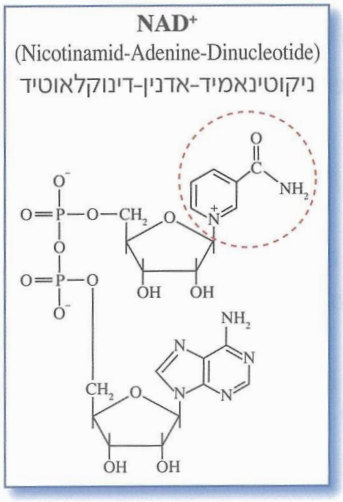
האם תהליך זה מתאר את חצי התגובה שבה מתרחש חמצון או חיזור? נמקו.

נשימה אֵרובית – הרחבה

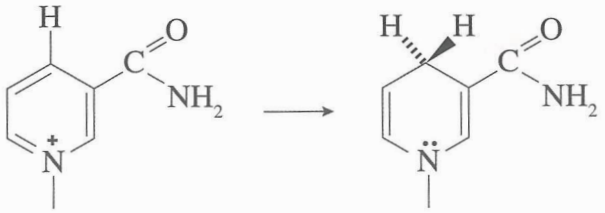
תהליך הנשימה האֵרובית המתרחש בתאים הוא כאמור רב-שלבי. לנוחות הדיון מקובל לקבץ את התגובות לשלוש קבוצות עיקריות:

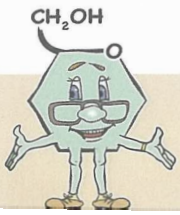
1. **גליקוליזה** – סדרה של תגובות שבה מתקבלת מגלוקוז – $C_6H_{12}O_6$ חומצה פירובית – $C_3H_4O_3$.

בצימוד לשלבי הגליקוליזה נוצרות 2 מולקולות של *ATP*.



החומר המחמצן את הגלוקוז, המושך ממנו אלקטרונים, הוא מתווך הנקרא: (Nicotinamide-Adenine-Dinucleotide) NAD^+ שעובר חיזור בתהליך והופך ל-*NAD*H. באיור הבא ניתן לעקוב אחר האזור הפעיל ב-NAD^+ בחצי התגובה שבו מתרחש חיזור.





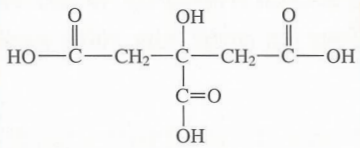
החומצה הפירובית המתקבלת בגליקוליזה עוברת מספר תהליכים המאפשרים את כניסתה לשלב הבא שהוא מעגל קרבס. התוצר של תהליכים אלו נקרא אצטיל-קואנזים *A*.

הנס קרבס (Hans Krebs): רופא, יליד גרמניה שעבר אחרי עליית הנאצים לשלטון לאנגליה. תגליותיו על הנשימה האירובית זיכו אותו בפרס נובל בפיזיולוגיה בשנת 1953.

2. **מעגל קרבס** – החלק השני בנשימה האֵרובית. מעגל קרבס הוא סדרת תגובות מעגלית שבה בתום התהליך מתקבל מחדש החומר "ההתחלתי" (ראו איור בעמ' 60). החומר הראשון המתקבל במעגל הוא חומצת לימון, ועל כן הוא נקרא גם **מעגל חומצת הלימון**. גם בחלק זה של הנשימה משתתפים מחמצנים המשמשים כמתווכים (כמו NAD^+) המושכים אלקטרונים מהמגיבים, שהם חומצות קרבוקסיליות שונות הנוצרות מחומצת הלימון.

בצימוד למעגל קרבס מתקבלות גם כן שתי מולקולות של *ATP*.

חומצת לימון
Citric Acid

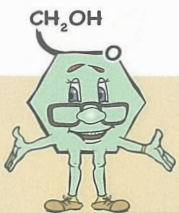


מיטוכונדריה: אברונים זעירים בתא שבהם מתרחשים מעגל קרבס ושרשרת מעבר האלקטרונים. ככל שאבר פעיל יותר, מספר המיטוכונדריה בתאיו גדול יותר.

3. **שרשרת מעבר האלקטרונים** – שמו של השלב השלישי מעיד על מה שקורה בו. זוהי שרשרת של תגובות חמצון-חיזור המתרחשות במיטוכונדריה. חומרים שונים מסודרים במיטוכונדריה על-פי היכולת היחסית שלהם לפעול כחומרים מחמצנים. המחמצן החלש ביותר הוא הראשון בשרשרת; המחמצן האחרון שמושך אלקטרונים חזק מכולם, הוא החמצן האטמוספֵרי. החומרים המחמצנים מושכים אלקטרונים מהמתווכים שעברו חיזור בשלבים הקודמים (גליקוליזה ומעגל קרבס), כמו *NADH*. המתווכים שמהם נמשכים האלקטרונים חוזרים למצבם הראשוני (מ-*NADH* למשל ל-NAD^+) ויכולים להשתתף שוב כמחמצנים בשני השלבים הראשונים של הנשימה. התוצר הנוסף שמתקבל בשלב זה הוא מים.

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow 3H_2O$$

מתוך 36 מולקולות *ATP* המתקבלות בצימוד לחמצון מולקולה אחת של גלוקוז, התקבלו בגליקוליזה ובמעגל קרבס 4 בלבד (2 מולקולות *ATP* לכל מולקולה של חומצה פירובית שנכנסת לתהליך). מכאן ברור שרוב מולקולות ה-*ATP* מתקבלות בצימוד לשלב השלישי, לשרשרת מעבר האלקטרונים.



מולקולות גלוקוז שבתהליך המזון מתקבל ה-*ATP*, נדרכות בכמות גדולה יותר על ידי האברים הפעילים. שרירים, בלוטות שונות והמוח הם האברים הפעילים ביותר בגוף האדם. למרות שמסת המוח מהווה רק כ-2% ממסת הגוף, המוח דורך 20% מכמות הגלוקוז הכללית. תהליכי חשיבה, כמו ציכרון, דורכים אנרגיה רבה, ולכן דריכת הגלוקוז במוח גבוהה במיוחד בתהליך ההיצכרות.
גם מסביר, כמובן, את תוצאות הניסוי שתיארנו בפתיחת הפרק. הנבדקים שקיבלו גלוקוז לפני המבחן שגו פחות במבחן התמונות מאשר הנבדקים שקיבלו ממתיק מלאכותי. הגלוקוז לבד תהליכי המזון בתאי המוח, נודרה כמות גדולה של מולקולות *ATP* שאפשרה הפעלה נמרצת של תאי המוח, והתוצאה - ציכרון טוב יותר במבחן.

התרכזנו עד כה בלמידה ובזיכרון. אלו מתבצעים תוך כדי הפעילות בתאי העצב והתקשורת בין התאים הללו לבין עצמם במוח. הבה נבדוק מה קורה בזמן פעילות גופנית מאומצת.

חמצון אנאֵרובי של גלוקוז

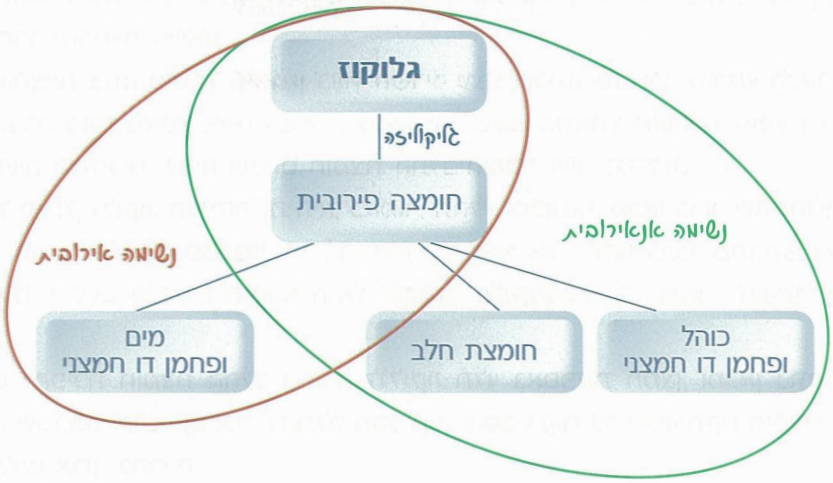
כאב שרירים וחומצת חלב

"שכנעו אותי, אני מצטרף לחוג כושר גופני. אין לי שום כוונות להתפטר בשיעורי ספורט, אבל כדאי לעשות עם זה משהו".
אורי הצטרף לחבורה שמתאמנת כבר 5 חודשים, ורצה להוכיח להם שאין הוא נופל מהם ב"ביצועיו". אחרי כ-15 דקות של ריצה נאלץ להפסיק – בשל כאבים בצד, כאבי שרירים ברגליים,: ומיותר לציין את קוצר הנשימה.
"המאמן התחיל להסביר לי – פעילות גופנית דורשת אנרגיה, ואנרגיה מתקבלת מתגובות כימיות המתרחשות בתאי השריר. כדי שהתגובות תצאנה אל הפועל, יש צורך באספקה בלתי פוסקת של מגיבים..."
המאמן פירט גם מהם גורמי התגובה ואת הקשר ביניהם לבין כאבים: "הפעילות והכאבים שאתה מרגיש בשרירים נובעים מהצטברותה של חומצת חלב בשרירים, אשר גורמת לירידה ב-*pH* ... הכאבים שאתה מרגיש לכשיו הם כאין וכאפס לעומת ההתכווצות שתרגיש מחר..." בשלב הזה אורי צקוק ללא ספק להסברים.

אילו שאלות עולות מסיפורו של אורי? רשמו 3-2 שאלות במחברתכם.

פעילות השרירים צורכת גם היא *ATP*. מאגר ה-*ATP* בתוך תאי שריר הוא קטן מאוד ומספיק רק ל-2-3 שניות של פעילות גופנית מאומצת. לפיכך מאמץ גופני הנמשך יותר מ-10 שניות דורש יצירת *ATP* מ-*ADP* ומ-*Pi* . יצירה מיידית של *ATP* בשעת מאמץ גופני מתבצעת במסלול שונה מזה של הנשימה האֵרובית שתואר לעיל. היא מתרחשת בצימוד לתהליך אנאֵרובי – חמצון גלוקוז ללא השתתפות חמצן.

המשותף לכל תהליכי הנשימה, אֵרובים ואנאֵרוביים, הוא שלב הגליקוליזה, כפי שניתן לראות באיור הבא:



התהליך האנארובי מתבצע בשני שלבים:

1. השלב הראשון הוא גליקוליזה, שאותה הכרנו. זהו שלב המשותף לכל צורות הנשימה התאית, שלב שבו מתקבלת חומצה פירובית. לשלב הגליקוליזה מצומדת יצירה של 2 מולקולות *ATP*.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3$$

2. בשלב השני מחומצה פירובית מתקבלת חומצת החלב. לפניכם ניסוח חצי התגובה המתאים:

שאלות

1. האם חומצת החלב שנוצרה מחומצה פירובית, התקבלה בחצי תגובת חמצון או חיזור? נמקו.
2. התמקדו בקבוצות הפונקציונליות השונות במגיבים ובתוצרים ונסחו הכללה לגבי השינוי בקבוצות הפונקציונליות הנ"ל ולגבי תהליכי החמצון-חיזור.

הידעת?

ספורט וגלוקוז: היות שהגלוקוז הוא המזון הזמין להפקת אנרגיה בגוף, נוהגים ספורטאים להתקיים מתפריט עשיר בפחמימות מורכבות. תפריט זה מאפשר היווצרות של מאגרי גלוקוז בצורת גליקוגן בשרירים ובכבד.
ספורטאים נוהגים לשתות במהלך הפעילות משקאות המכילים, בנוסף למים ומלחים, גם גלוקוז הנספג במהירות בתאים ומספק אנרגיה.
עם זאת יש לציין שתזונתם של ספורטאים המעוניינים לבנות מסת שריר חייבת לכלול כמות גדולה של חלבונים.

מהירות התגובה לקבלת *ATP* בצימוד לגליקוליזה גדולה פי 100 (!) ממהירות התגובה לקבלת *ATP* בתהליך האֵרובי, הכולל את תהליך הגליקוליזה, מעגל קרבס ושרשרת מעבר האלקטרונים.

שערו מדוע קבלת *ATP* בתהליך אנאֵרובי מהירה יותר מקבלתו בתהליך אֵרובי?

מהירות התגובה היא יתרונו הגדול של התהליך האנאֵרובי. חסרונו של התהליך הוא יצירת חומצה המורידה את ה-pH. הסביבה החומצית פוגעת בפעילות האנזימים בשריר וגורמת בכך להאטה בקצב הגליקוליזה ובקצב קבלת ה-*ATP*. כתוצאה מכך מורגשת עייפות.

בנוסף, העלייה בחומציות בתא פוגעת במנגנון כיווץ השריר עצמו, וכתוצאה מכך מורגש הכאב בשרירים.

חומצת החלב שנוצרה בזמן מאמץ אינה נשארת בשרירים. בתום המאמץ מועברת חומצת החלב על ידי הדם לכבד, שם מתרחשים תהליכים שונים שבהם חומצת החלב הופכת שוב לגלוקוז.

בהיותה תהליך של פירוק גלוקוז, הגליקוליזה היא, כאמור, תהליך ספונטני. מכאן ברור שהתהליך ההפוך – יצירה מחדש של גלוקוז, הוא תהליך לא ספונטני. תהליך היצירה מחדש של גלוקוז בכבד מתרחש רק בצימוד לתגובת *ATP* עם מים. ה-*ATP* הדרוש להפיכת חומצת החלב לגלוקוז, מתקבל בעיקר בצימוד לנשימה אֵרובית שבה נצרך חמצן.

משך הזמן הדרוש להפיכת חומצת החלב בחזרה לגלוקוז תלוי באספקת חמצן, ומכאן בתפקוד הריאות והלב. תפקוד זה הוא מה שמכונה "כושר אֵרובי". לאתלט מספיקות כ-30 דקות עד שמורחקת חומצת החלב מהשרירים. אורי שלנו יזדקק לזמן ארוך בהרבה.

שאלות

נחזור לאורי ...

1. מדוע כבאי לאורי ששריריו כואבים מהמאמץ, להמשיך בעלייה אטית ולא להישכב על הרצפה כשהוא מתחיל להתעייף?
2. איזו פעולות נוספות מומצאות לאחר מאמץ גופני, על מנת לפנות את חומצת החלב מהשרירים?
3. האם סביר להניח כי המשקה ששותים ספורטאים לפני פעילות מכיל גלוקוז? נמקו.

חומצת חלב, אלכוהול ומיקרואורגניזמים

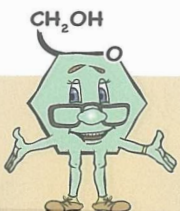
היצורים המפותחים, בעלי חיים וצמחים, מפיקים אנרגיה כמו האדם בנשימה אֵרובית. אולם קיימים יצורים חיים, מיקרואורגניזמים, שתהליך הפקת האנרגיה שלהם הוא אנאֵרובי.

חלק מהמיקרואורגניזמים הללו משמשים בתעשיית המזון. חיידקים שהתוצר של התהליך האנאֵרובי שבהם הוא חומצת חלב, גורמים להחמצת ירקות במי מלח ולייצור מוצרי חלב כמו יוגורטים וגבינות לבנות למיניהן. התהליך שבו נוצרת חומצת חלב על ידי חיידקים זהה לתהליך היווצרותה בשרירים של האדם.

מיקרואורגניזמים:

מיקרו – קטן, **אורגניזם** – יצור חי. זהו שם כולל לנגיפים, חיידקים, אצות ופטריות מיקרוסקופיים.

בשמרים, שגם הם שייכים למיקרואורגניזמים, יכול להתרחש תהליך אנאֵרובי שהתוצרים המתקבלים בו הם אתאנול ופחמן דו חמצני. תהליך זה נקרא תסיסה כוהלית. בתהליכים האנאֵרוביים נוצרות בצימוד לחמצון גלוקוז שתי מולקולות של *ATP*.



החמצת ירקות

בין שימורי הירקות על מדפי החנויות ניתן למצוא ירקות (כמו מלפפונים, פלפלים ועוד) מוחמצים בחומץ, וכאלו המוחמצים במי מלח. מי מלח? מלח הוא מלוח ולא חמוץ, כיצד אם כן נגרמת החמצת הירקות?

אפשר שהזדמן לכם לראות כיצד מכינים ירקות להחמצה במי מלח. הירקות נדחסים בצפיפות, הכלי מלא לגמרי במי מלח, הוא סגור היטב ומונח במקום חמים למשך מספר ימים.

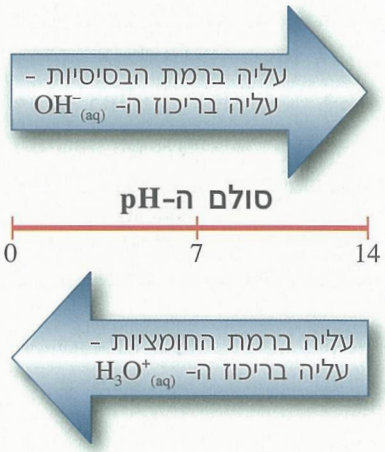
הגורמים להחמצה הם חיידקים. תפקיד המלח במערכת הוא למנוע התרבות חיידקי ריקבון הרגישים יותר למלח מאשר חיידקי ההחמצה.

תוך כמה ימים המים נעשים עכורים, ה-pH יורד, בועות גז עולות בכלי, וקצף מצטבר מתחת למכסה. הירקות מתרככים ומשנים את צבעם ואת טעמם.

תמיסה מימית בסיסית היא תמיסה המכילה יוני **הידרוקסיל** $OH^-_{(aq)}$

שאלות

1. מניין עשויים היו להגיע החיידקים?
2. האם התנאים בכלי הם אֵרוביים או אנאֵרוביים?
3. איזה תהליך הגורם להחמצה מתרחש בחיידקים?
4. אחד המרכיבים בירקות הוא גלוקוז. לרשותכם מכשיר המודד את ריכוז הגלוקוז בירק. מה, לדעתכם, תהיינה התוצאות של מדידות כאלו במשך מספר ימים. נמקו.
5. אילו גורמים, לדעתכם, ישפיעו על ריכוז הגלוקוז בירק? תכננו ניסוי שבעזרתו תוכלו לקבוע כיצד משפיע גורם זה על ריכוז הגלוקוז.
6. מה גורם לירידה ב-pH?
7. מה היחס בין רמת החומציות לבין ריכוז הגלוקוז בפרי?
8. האם ייתכן שהבועות והקצף מתקבלים בתהליך שציינתם בתשובה לשאלה מס' 3? נמקו.

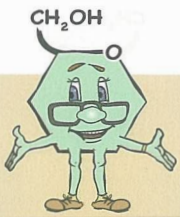


"**תסיסה כוהלית**", כפי שהזכרנו, היא צורה נוספת של נשימה אנאֵרובית המתבצעת בעיקר על-ידי שמרים. הניסוח הכולל של תהליך הנשימה האנאֵרובי בשמרים הוא:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

השלב הראשון בתהליך הוא, כאמור, גליקוליזה שבו גלוקוז מתחמצן ומתקבלת חומצה פירובית. בשלב השני מגיבה החומצה הפירובית עם *NADH*, ומתקבלים אתאנול, פחמן דו-חמצני ו-NAD^+.

תהליך ויצמן: חיידקים אנאֵרוביים מסוימים מחמצנים גלוקוז לבוטאנול C_4H_9OH ולאצטון CH_3COCH_3. את התהליך גילה חיים וויצמן, לימים נשיאה הראשון של מדינת ישראל, באנגליה ב-1910. לאצטון היתה חשיבות בייצור חומרי נפץ בזמן מלחמת העולם הראשונה. כיום הבוטאנול הוא החומר החשוב בגלל השימוש בו בהפקת לאקות למכוניות.



איזה מבין החומרים בשלב השני של תסיסה כוהלית עבר חמצון? נמקו.

בצימוד לתהליך אֶרובי של חמצון 1 מול גלוקוז נוצרות 36 מול *ATP*, ואילו בצימוד לתהליך האנאֶרובי של חמצון 1 מול גלוקוז נוצרים 2 מול *ATP* בלבד. בדקו את הניסוחים של שני התהליכים והציעו הסבר להבדל הגדול.

הכרנו את אופן ההיווצרות של האתאנול בתהליך נשימת השמרים. אחד מהשימושים המוכרים באתאנול הוא לייצור משקאות אלכוהוליים. בקטע הבא נכיר את האתאנול מנקודת מבט של שתיית המשקאות הללו והשפעתם על גופנו.

אם שותים, לא נוהגים

"אם שותים, לא נוהגים, בשביל כך יש חברים", סיסמה כל בוודאי מוכרת לכם, וכולכם יודעים למה הכוונה במילה "שותים".

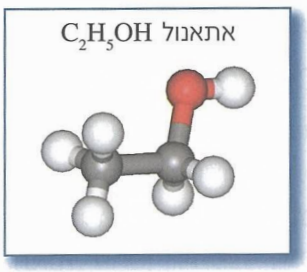
שתיית אלכוהול הפכה בשנים האחרונות לנחלת של בני נוער רבים. ביטויים כמו "נקפיץ טקילה", "נתדלק", ו"נתפוס ראש" מלווים בני נוער במקומות הבילוי.

שתיית אלכוהול חביבה על רבים, אך חשוב לדעת שמילת המפתח היא הכמות. למרות שלא נוח לנו לשמוע את כך, אלכוהול הוא סם פסיכו-אקטיבי המשפיע על המוח והמדכא את מערכת העצבים, פועל כסם הרגעה, משנה את הרגשתנו, מקהה חרדות ומסלק מעצורים. כמות קטנה עשויה לרומם את מצב הרוח, ואילו בשתיית כמויות גדולות לאורך זמן עלולים להיגרם נזקים למוח ולכבד, חלקם בלתי הפיכים. כדאי גם לציין שיש דגות, כמו הדת המוסלמית, שאוסרות על מאמיניהן את שתיית המשקאות האלכוהוליים.

הסיסמה "אם שותים, לא נוהגים" באה להדגיר מפני נהיגה אחרי שתיית משקאות אלכוהוליים. יכולת השליטה בשרירים נפגעת ומהירות הגלבה יורדת מאוד בעקבות עלייה בריכוז האלכוהול בדם, וכן הכשירות לנהוג יורדת מאוד!

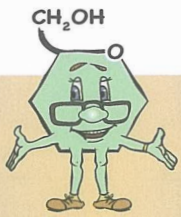
1. בדקו את ריכוז האלכוהול הרשום על גבי משקאות מסוגים אחדים.
2. חשבו את נפח האלכוהול המצוי במנה אחת של משקה (פחית בירה מכילה 300 סמ"ק, כוס יין מכילה כ-125 סמ"ק, ואילו וודקה, לרק דוגמה מכילים כ-25 סמ"ק). רכזו את כל הנתונים שאספתם בטבלה.
3. לאיזו מסקנה ניתן להגיע מהתבוננות שקיבלתם?

ניזכר בתכונות של אתאנול.



האם אתאנול מתמוסס במים? נמקו.

הציעו הסבר לכך שטמפרטורת הרתיחה של אתאנול נמוכה מזו של מים?



האתאנול המיועד לייצור משקאות נוצר בתהליך התסיסה הכוהלית על-ידי מיקרואורגניזמים. המשקאות שבהם ריכוז האתאנול גבוה מ-14% הם משקאות שנוצרו בתהליך של **זיקוק**.

כתוצאה מהשתייה מגיע האתאנול למערכת העיכול וממנה הוא נספג לדם. מולקולות קטנות, כמו האתאנול, עוברות בקלות דרך קרומי התאים הבונים את דופן מערכת העיכול ואת דופן כלי הדם.

כוהל הוא תרכובת פחמן שהקבוצה הפונקציונלית שלה היא **ROH**.
המילה אלכוהול היא המונח הלועזי לכוהל.

האתאנול מתרכז בגוף ברקמות שבהן ריכוז המים גדול, כמו רקמות הדם והמוח, ופחות בשריר וברקמת שומן. הסבירו תופעה זו.

האלכוהול מדכא את פעילותה של מערכת העצבים המרכזית. הוא משפיע בעיקר על נוירוטרנסמיטורים שונים (חומרים במערכת העצבים שתפקידם להעביר אותות מתא לתא ולקיים תקשורת בין חלקי מערכת העצבים). בגלל ריכוז האלכוהול במוח והשפעתו על מערכת העצבים, קיימת השפעה על התנהגותו של השותה. יש יחס ישר בין ריכוז האלכוהול בדם לבין התנהגות השותה ומצבו הפיזיולוגי.

זיקוק: תהליך של הפרדת נוזלים הנמצאים בתערובת, המתבסס על טמפרטורות הרתיחה השונות שלהם. זיקוק משמש לריכוז האלכוהול מתוך תערובת תסיסה בתהליך ייצור משקאות חריפים. בעזרתו ניתן לשלוט בכמות האלכוהול במשקה.

ריכוז האלכוהול בדם (גרם אלכוהול ל-100 מ"ל דם)	התנהגות השותה ומצבו הפיזיולוגי
0.15-0.05	ירידה בעכבות, עלייה בביטחון העצמי, ירידה בתשומת הלב ושיקול הדעת בנוגע לזמן ומרחק, דברת. הפחתה ביציבות, בחילה, עליצות מופרזת, הפרעה בזיכרון, האטת זמן תגובה.
0.2-0.15	בחילה, רעד, הליכה לא יציבה, מצב של שכרות.
0.3-0.2	אין תיאום בתנועות, בלבול בולט, סחרחורת, חוסר התמצאות, הפרעות בראייה, הקאה, הכרה מעורפלת.
0.4-0.3	ייתכן חוסר הכרה, ירידה בתגובה לגירויים, הזעה, שאיבת תוכן הקיבה לראות.
מעל 0.4	חוסר תחושה, דיכוי תגובות, ירידה בטמפרטורה של הגוף, חוסר הכרה מוחלט, מוות.

היות שנוכחות אתאנול בדם גורמת לירידה ביכולת הנהיגה, הנהיגו ארצות רבות חוקים המגבילים את הריכוז המותר של אתאנול בדם לנהגים. הריכוז העליון המותר בישראל הוא **0.05 גרם אתאנול למאה מ"ל דם**.

כיצד ניתן לבדוק מהו ריכוז האתאנול בדמו של נהג? אפשר שהזדמן לכם לראות באילו אמצעים משתמשים השוטרים כדי לקבל מידע זה. בישראל נהוג להשתמש בשני אמצעים לא פולשניים, הניתנים לשימוש מחוץ למעבדה. האחד משמש לחוות דעת ראשונית – אינדיקציה באמצעות ה"נשיפון" שעליו נפרט בהמשך,

והשני – באמצעות מכשיר הנקרא אלכוהולמטר ("ינשוף") שעליו תוכלו לקרוא במסגרת שבעמוד זה. במהלכה של הבדיקה הנעשית בעזרת ה"נשיפון", הנבדק נושף לתוך שקית שנועדה לכך.

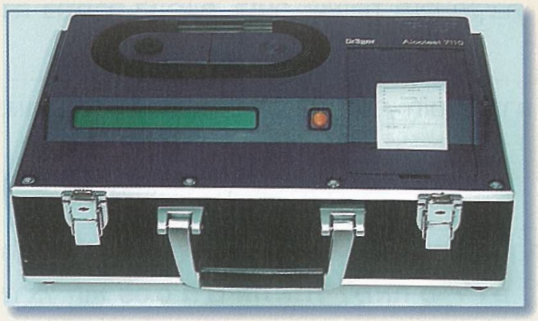
היזכרו בתכונות האתאנול ושערו כיצד יכול אוויר הנשיפה לתת מידע על ריכוז האתאנול שבדם?

האוויר הנשוף מוזרם דרך שפופרת המכילה תערובת של חומרים, שעיקרם אשלגן דו כרומטי $K_2Cr_2O_7$ בסביבה חומצית. בתגובה בין האתאנול והאשלגן הדו-כרומטי שבתערובת, משתנה הצבע הכתום של הדו-כרומט לצבע ירוק האופייני ליון הכרום Cr^{3+}. עוצמת הצבע הירוק המתקבלת וכמות התערובת שמשנה את צבעה, מעידות על ריכוז האתאנול באוויר הנשוף: ככל שכמות גדולה יותר משנה את צבעה, כך ריכוז האתאנול בדם גבוה יותר. תגובה המתרחשת בין האתאנול באוויר הנשוף ובין הדו-כרומט מנוסחת להלן:

$$2Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 3CH_3CH_2OH_{(g)} + 16H_3O^+{}_{(aq)} \longrightarrow 4Cr^{3+}{}_{(aq)} + 3CH_3COOH_{(aq)} + 27H_2O$$

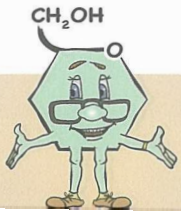
"נשיפון" – אמצעי לבדיקת נוכחות אלכוהול

מבחנה שנצבעה בירוק מעבר לכמות המותרת – עדות לריכוז אלכוהול גבוה מהריכוז העליון המותר באוויר הנשוף



"ינשוף" – מכשיר נייד לקביעת רמת האלכוהול

אלכוהולמטר ("ינשוף") – מכשיר לקביעת רמת האלכוהול באוויר הנשוף. הנבדק נושף אוויר בכמות מדודה לתוך המכשיר. קביעת רמת האתאנול באוויר הנשוף מתבססת על שתי טכניקות מדידה שונות לחלוטין. האחת מבוססת על בליעת קרינה בתחום האינפרא-אדום באורך גל אופייני לאתאנול. עוצמת הבליעה נמצאת ביחס ישר לריכוז האלכוהול באוויר הנשוף. המדידה השנייה מתבססת על עוצמת הזרם הנוצר בתא אלקטרוכימי שבו מתרחשת תגובה בין האתאנול לחמצן. גם כאן קיים קשר בין ריכוז האתאנול באוויר הנשוף ובין עוצמת הזרם שנוצרת.



האם להוריד את הנהג מהכביש?

שאלות

1. קבעו את דרגות החמצון של הכרום במגיבים ובתוצרים בתגובה המתרחשת בתוך מבחנת ה"נשיפון".
2. איזה הוא החומר המחמצן, ואיזה המחזר?
3. בבדיקה לרמת האלכוהול באוויר הנשיפה של נהג נמצא שחלק מהתערובת שינה את צבעו לירוק. שינוי הצבע הירוק, במקרה זה, מצביע על היווצרות של 0.0008 מול Cr^{3+}. ענו על הסעיפים הבאים על מנת להחליט אם יש להוריד את הנהג מהכביש.

א. כמה מול אתאנול היו בשקית וגרמו להופעת הצבע הירוק?

ב. נתון שכמות האלכוהול הנמצאת ב-1 מ"ל דם, זהה לכמות האלכוהול ב-2.1 מ"ל אוויר נשוף.

כמה מול אתאנול נמצאים ב-2.1 מ"ל אוויר נשוף, אם נפח השקית בבדיקה הוא 50 מ"ל?

ג. כמה מול אלכוהול יש ב-100 מ"ל דם אצל הנהג הנבדק?

ד. כמה גרם אלכוהול יש ב-100 מ"ל דם אצל הנהג הנבדק?

ה. האם להוריד את הנהג מהכביש?

פינוי האתאנול מהגוף

היות שהאתאנול הוא רעל, הגוף מתחיל בסילוקו מיד לאחר הצריכה. רוב האתאנול מסולק מהדם על ידי הכבד. כ-20 מיליגרם אתאנול מסולקים מ-100 מ"ל דם בשעה. במידה קטנה יותר משתתפים בתהליך גם הכליות, הראות ואיברים אחרים. זו הסיבה לכך שאלכוהוליסטים ששותים כמויות גדולות של משקאות אלכוהוליים, סובלים מפגיעה באיברים הללו, ובראשם הכבד.

פירוק האתאנול בכבד מתבצע בעזרת האנזימים המתאימים במהלכם של שלושת השלבים האלה:

בשלב הראשון מתקבל מהאתאנול אצטאלדהיד (אתאנאל) ע"י האנזים אלכוהול דהידרוגנאז (*ADH*), לפי ניסוח חצי התגובה הבא:

$$CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3CHO$$

בשלב השני מתקבלת מהאצטאלדהיד חומצה אצטית (אתאנואית) לפי ניסוח חצי התגובה הבא:

$$CH_3CHO \longrightarrow CH_3COOH$$

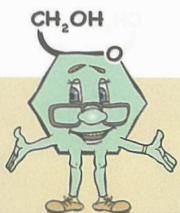
בשלב השלישי יכולים להתקבל מהחומצה האצטית פחמן דו חמצני ומים, על פי ניסוח חצי התגובה הבא:

$$CH_3COOH \longrightarrow H_2O + CO_2$$

חוקרים סוברים כי האצטאלדהיד הוא הגורם להרגשה הרעה (hangover) לאחר שתייה מרובה.

?! הידעת?

בקרב האוכלוסייה היפנית יש שכיחות גבוהה של אנשים הרגישים לשתיית אלכוהול. זאת עקב פעילות נמוכה של האנזימים המשתתפים בתהליך פינוי האתאנול מהגוף. צריכת אלכוהול על ידי אנשים אלה מביאה להצטברות אצטאלדהיד הגורמת להתרחבות כלי הדם, הסמקה ועלייה גדולה בקצב פעימות הלב.



שאלות

1. האם לתגובות אלו נדרש חומר מחזר או מחמצן? נמקו.
2. מבין החומרים שהכרתם כפעילים במערכות ביולוגיות בתגובות חמצון-חיזור, הציעו חומר שיכול לענות על הדרישות בשאלה 1.
3. שרשרת התגובות המתרחשות בתהליך הפינוי של האתאנול מהגוף נקראת "שרשרת חמצון". נמקו מדוע.

דף לבודה

קיימת טענה כי שתייה מתונה של אלכוהול טובה לבריאות הלב וכלי הדם. קראו את המאמר "**לשתות לבריאות**?" מאת ארתור קלאצקי מתוך Scientific American המהדורה העברית גיליון מספר 6, אוגוסט 2003.

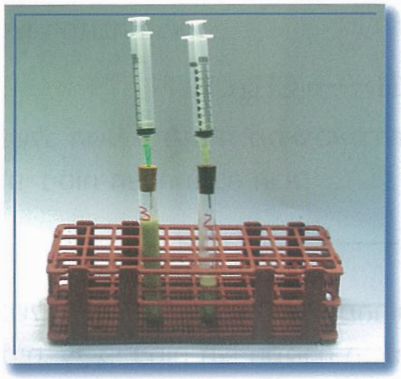
רשמו 2-3 **טיעונים מנומקים** התומכים בשתייה מתונה של אלכוהול מטעמי בריאות.

ניסוי מס' 7 – נשימת שמרים

בניסוי הבא נעקוב אחר נשימת השמרים. השמרים הם מיקרואורגניזמים בעלי יכולת לנשום באופן אֵרובי או אנאֵרובי, בהתאם לנוכחות או להיעדר חמצן בסביבתם.

כלים וחומרים

7 מבחנות של 20 מ"ל סגורות בפקק שדרכו עוברת מחט של מזרק, 7 מזרקים 10 מ"ל, תרחיף שמרים 20% במים, תמיסת גלוקוז 1M, תמיסת ממתיק מלאכותי, אמבט מים בטמפרטורה של 42°C, מד טמפרטורה, מבחנה המכילה מי סיד צלולים $Ca(OH)_2$, משקפי מגן.



מערכת חלקית של הניסוי נשימת שמרים

מהלך הניסוי

א. סמנו את המבחנות במספרים מ-1 עד 7.

ב. שימו בכל המבחנות 5 מ"ל תרחיף שמרים.

ג. הוסיפו למבחנות חומרים כמפורט בטבלה.

ד. אפסו את המזרקים וסגרו את המבחנות.

ה. העבירו את המבחנות למיקום המתאים כמפורט בטבלה.

ו. קראו את נפח הגז הנפלט לאחר 10 דקות ולאחר 20 דקות.

ז. העתיקו את הטבלה למחברתכם ורשמו את תוצאותיכם בטבלה.

טבלת תוצאות — ניסוי נשימת שמרים

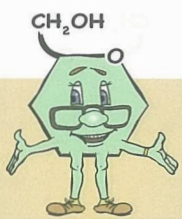
מס' מבחנה	תכולה	מיקום	טמפ'	נפח הגז הנפלט	
				10 ד'	20 ד'
1	תרחיף שמרים + 10 מ"ל גלוקוז	שולחן			
2	תרחיף שמרים	שולחן			
3	תרחיף שמרים + 10 מ"ל גלוקוז	מקרר			
4	תרחיף שמרים	מקרר			
5	תרחיף שמרים + 10 מ"ל גלוקוז	אמבט			
6	תרחיף שמרים	אמבט			
7	תרחיף שמרים + 10 מ"ל ממתיק מלאכותי	שולחן			

ח. קחו גז ממזרק שכמות הגז בו גדולה, והזריקו אותו לתוך מבחנה המכילה מי סיד צלולים.

תארו את תצפיותיכם.

שאלות

1. נסחו את תהליך הנשימה האֵרובית ואת תהליך הנשימה האנאֵרובית של השמרים.
2. נסחו את ההשערה/ות שהניסוי בודק.
3. אילו הם המשתנים הבלתי תלויים שאותם בודק הניסוי? ואילו הם המשתנים התלויים?
4. תארו את התוצאות שקיבלתם בגרף מתאים.
5. מה ניתן להסיק מהשוואת התוצאות בין מבחנות המכילות גלוקוז לבין אלו שאינן מכילות גלוקוז? כיצד ניתן להסביר את מסקנתכם?
6. מה ניתן להסיק מהשוואת התוצאות בין מבחנות שהיו על השולחן לבין אלו שהיו במקרר ובאמבט המים החמים? כיצד ניתן להסביר את מסקנתכם?
7. איזו מבחנה היא הבקרה למבחנה מספר 7?
8. מה ניתן להסיק מהשוואת שתי המבחנות הללו?
9. מהו הגז הנפלט? כיצד הוכחתם זאת? נסחו את התגובה המתאימה.
10. האם לדעתכם התבצע בשמרים תהליך נשימה אֵרובית או אנאֵרובית? כיצד הייתם בודקים זאת?



שימושים נוספים באתאנול – העשרה

א. חיטוי ושימור

אלכוהול 70%

אתאנול פועל כחומר מחטא בשעה שהוא מחולל שינוי בחלבונים ובשומנים שמרכיבים את קרום התא של החיידקים. הרס הקרום גורם לתוכן התא של החיידק להישפך החוצה, וכתוצאה מכך החיידק מת. העובדה שהאתאנול הוא נוזל נוזל המתנדף במהירות מהווה יתרון בחיטוי שטחי של העור.

אולי הזדמן לכם לראות במעבדה לביולוגיה בבית הספר, או במקום אחר, בעלי חיים משומרים בצנצנות. לרוב הנוזל המשמר הוא אלכוהול.

האם יש קשר בין יכולתו של האלכוהול לשמר לבין יכולתו לחטא? הסבירו.

ב. אתאנול כדלק

בעשורים האחרונים נכנס לשימוש האתאנול כתוסף לדלק הקיים או כתחליף לו. שרפה בלתי שלמה של דלק מביאה לפליטה של פחמן חד חמצני ושל תרכובות גפרית לאוויר. שאיפת תרכובות אלו מזיקה לאדם ולבעלי החיים. תוספת אתאנול מזרזת את השרפה השלמה של הדלק ומפחיתה בכך את כמות הפחמן החד חמצני הנפלט לאוויר.

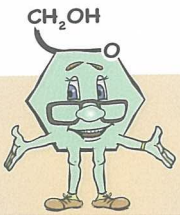
הדלק הרגיל למכוניות מכונה דלק פוסילי, והוא מופק בתהליך זיקוק של נפט גולמי. מאגרי הנפט הגולמי בעולם מוגבלים, וכמות הנפט בהם הולכת ומתכלה. המדינות המתועשות תלויות ברובן באספקת דלק מבחוץ, ולפיכך הן מגבירות את מאמציהן למצוא לו תחליף.

תחנת דלק בברזיל לתדלוק באלכוהול

השימוש באתאנול כדלק למכוניות מקובל כיום בעיקר בברזיל. כתוסף לדלק הקיים הוא משמש בקנדה, בארצות הברית ובחלקים מאירופה. האתאנול למטרות אלו מופק על-ידי תהליכי התסיסה של גידולים חקלאיים עשירים בעמילן, כמו תירס (בדומה לתסיסה הכוהלית שהכרנו). שווה הערך האנרגטי בליטר דלק פוסילי הוא $3.5\cdot10^7$ ג'אול. ואילו בליטר אתאנול - $2.4\cdot10^7$ ג'אול. כשמדובר בליטר תערובת של 90% דלק פוסילי עם 10% אתאנול - שווה הערך האנרגטי הוא $3.2\cdot10^7$ ג'אול.

שאלות

1. ערכו השוואה בטבלה בין דלק פוסילי לבין אתאנול. העתיקו את הטבלה למחברתכם והשלימו את הפרטים החסרים.



טבלת השוואה של דלקים למכוניות: דלק פוסילי ואתאנול

	דלק פוסילי	אתאנול
שווה ערך אנרגטי (בג'ולים)		
מספר האוקטאן	96	100
תכולת גפרית (% משקלי)	0.045-0.002	
הפקה		
מקור מתכלה/מתחדש		

2. מהם היתרונות לאיכות הסביבה משימוש באתאנול בהשוואה לשימוש בדלק הרגיל למכוניות?
3. מהם היתרונות לכלכלה של מדינה משימוש באתאנול במקום בדלק הרגיל? הסבירו.
4. מהם היתרונות לבעל רכב בשימוש באתאנול?

מספר אוקטאן

סולם להערכת טיב דלק. מעריכים את טיב הדלק על ידי השוואה לתערובת של שני פחמימנים. התערובת מכילה פחמימן שאינו מתאים לשמש כדלק, שניתן לו הערך 0 בסולם, ופחמימן אחר שיכול לשמש כדלק, וניתן לו הערך 100. אוקטאן 96 מלמד על איכות של דלק כמו זו המתקבלת מתערובת המכילה 96% של הפחמימן המתאים ו-4% של הפחמימן שאינו מתאים.

אתאנול בתעשייה

אתאנול משמש כחומר מוצא להפקת חומרים סינתטיים רבים בתעשייה הפטרוכימית. בשונה מהפקת אתאנול למשקאות ולדלק המתבססת על תהליך של תסיסה, ייצור אתאנול לתעשייה הפטרוכימית נעשה על ידי סיפוח מים בנוכחות זרז לאתן לפי הניסוח הבא:

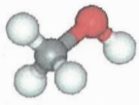
$$C_2H_{4(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow C_2H_5OH_{(aq)}$$

כוהלים נפוצים נוספים

מתאנול – מתאנול הוא רעל חריף ומזיק, בעיקר למערכת העצבים ולעיניים. הוא יכול לגרום לעיוורון ואף למוות, אפילו כששותים כמויות זעירות ממנו. מכאן הסכנה בשתיית משקאות חריפים שהופקו בתנאים לא מבוקרים. משקאות כאלה עלולים להכיל, יחד עם האתאנול, גם שרידי מתאנול.

בצד הסכנות הטמונות בו, למתאנול שימוש נרחב בתעשייה. הוא משמש גם כתוסף לשיפור איכותם של דלקים שונים. תוצרים שלו משמשים חומרי מוצא בייצור חומרים פלסטיים ודבקים.

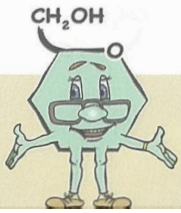
מתאנול CH_3OH



בוטאנול – משמש ממס בייצור לקות וצבעים ומשתתף בתהליכים תעשייתיים נוספים.

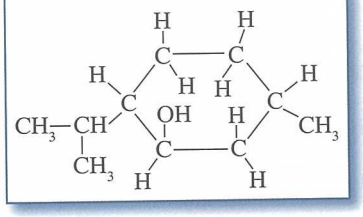
בוטאנול

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$



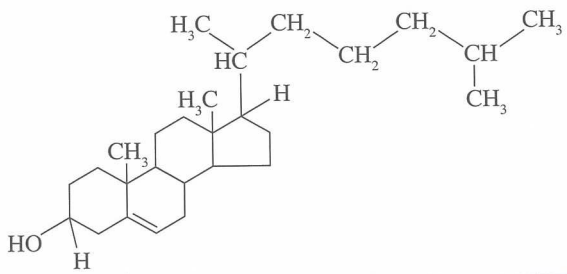
מנתול – שמן ריחני, משמש בייצור תרופות ובתעשיית המזון (גומי לעיסה, משחות שיניים ועוד).

מנתול



כולסטרול – מצוי בדם. משמש חומר מוצא ליצירה של הורמונים סטרואידיים ובכללם הורמוני המין. ריכוזים גבוהים שלו עלולים לגרום לטרשת עורקים ולעלייה בלחץ הדם. הכולסטרול מרכיב את אבני המרה.

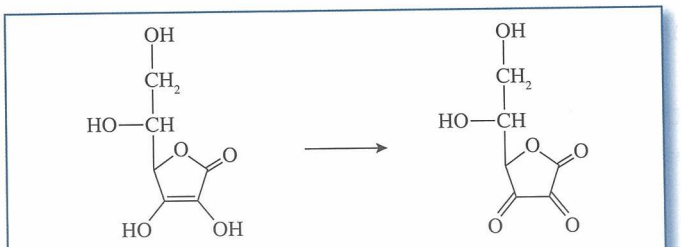
כולסטרול



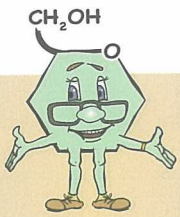
לאחר שלמדנו לנתח ולזהות תגובות חמצון-חיזור של תרכובות פחמן, נחזור לתגובות חמצון-חיזור שמעורבים בהן אנטיאוקסידנטים, שהכרנו בפרק ב'.

כיצד פועלים אנטיאוקסידנטים?

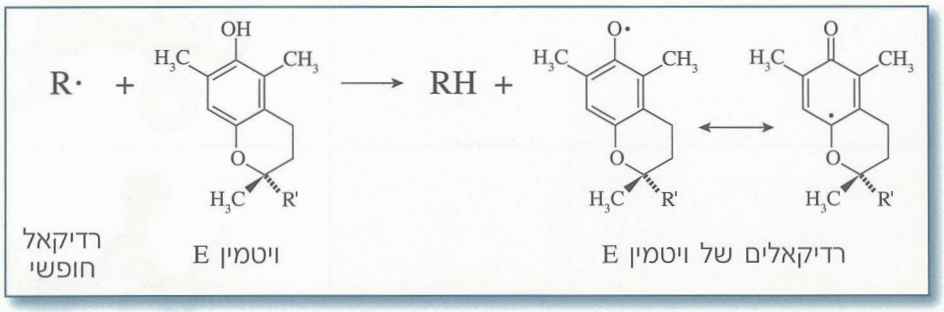
כזכור, אנטיאוקסידנטים הם חומרים מחזרים המגיבים עם רדיקלים חופשיים ומנטרלים את פעילותם המזיקה. רדיקלים חופשיים הם מחמצנים חזקים, ובשל כך יש לחזר אותם.
לדוגמה, חצי התגובה שבה מעורב ויטמין C (חומצה אסקורבית):



חומצה אסקורבית - ויטמין C חומצה דה-הידרו אסקורבית



1. האם להתרחשותה של תגובה זו דרוש מחזר או מחמצן?
2. כיצד ויטמין *C* מתפקד כאנטיאוקסידנט?
3. בתגובה הבאה ויטמין *E* מגיב עם רדיקל חופשי ליצירת רדיקלים חופשיים יציבים של ויטמין *E*. הסבירו את תפקודו של ויטמין *E* כאנטיאוקסידנט.

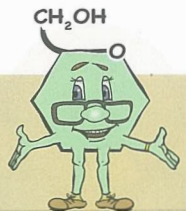


4. מדענים טוענים שויטמין *C* משחזר את ויטמין *E* בגוף; הציעו הסבר לטענה זו.

לסיכום, העיקרון שעל פיו פועלים האנטיאוקסידנטים נשען על יכולתם לעבור חמצון ביתר קלות מהחומר שאת חמצונו הם אמורים למנוע. האנטיאוקסידנטים הם, אם כך, מחזרים טובים, הכושר שלהם לחזר גבוה מכושר החיזור של החומרים הדורשים הגנה (חלבונים, חומצות שומן, *DNA* וכו').

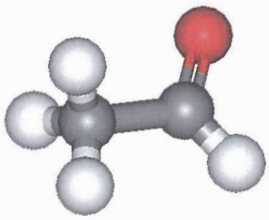
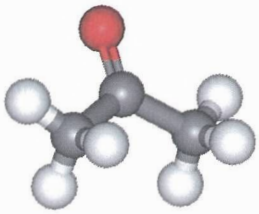
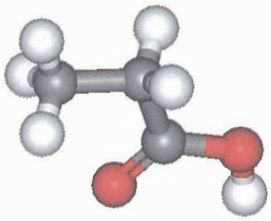
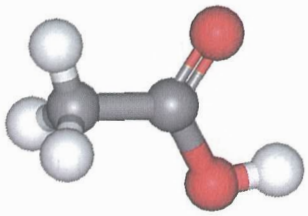
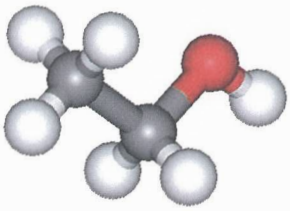
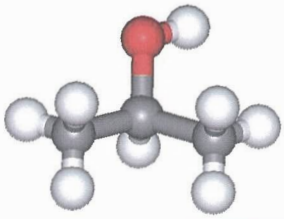
הכושר לחזר:
החומר ה"מוגן" < החומר ה"מגן" (אנטיאוקסידנט).

האנטיאוקסידנטים מגנים על גופנו על-ידי נטרול הרדיקלים החופשיים. איזו מבין הדרכים להגנה בפני קורוזיה מקבילה לשיטת ההגנה של האנטיאוקסידנטים?



שאלות לסיכום לפרק ג'

1. רשמו בטבלה הבאה נוסחת מבנה מקוצרת המתאימה לכל מודל וסמנו בעיגול את הקבוצות הפונקציונליות.

2. מה תפקידו של חמצון הגלוקוז בתאים של יצורים חיים?

3. מיינו את התגובות הבאות לתגובות ספונטניות ולתגובות לא ספונטניות:

א. חמצון גלוקוז

ב. פירוק *ATP* – תגובה בין *ATP* ובין מים

ג. יצירת גלוקוז

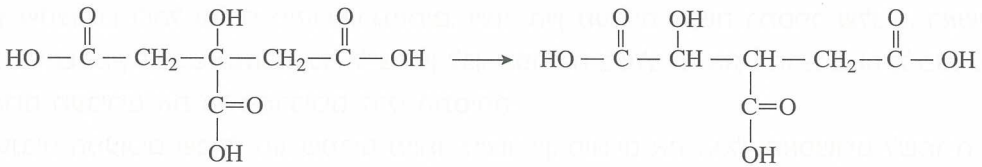
ד. יצירת *ATP* מ-*ADP* ו-*Pi*

4. אילו מהשלבים הבאים הם אֶרוביים ואילו אנאֶרוביים - גליקוליזה, מעגל קרבס, שרשרת מעבר האלקטרונים?

5. רשמו שתי הגדרות שונות לתגובת חמצון ושתיים שונות לתגובת חיזור. באילו מקרים תיעזרו בכל אחד מזוגות ההגדרות כדי להחליט על סוג התגובה שלפניכם?

6. לפניכם אחד השלבים במעגל קרבס:

A B



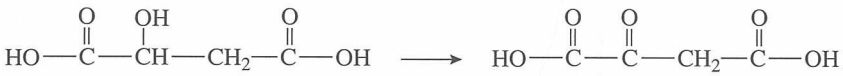
א. סמנו את הקבוצות הפונקציונליות במגיבים ובתוצרים.

ב. האם התרחש בתהליך חמצון/חיזור? נמקו.

ג. האם A ו-B הם איזומרים? נמקו.

7. לפניכם שלב אחר במעגל קרבס:

C D



א. סמנו את הקבוצות הפונקציונליות במגיבים ובתוצרים.

ב. האם התרחש בתהליך חמצון/ חיזור? נמקו.

ג. האם C ו-D הם איזומרים? נמקו.

8. לפניכם טבלת השוואה בין תהליכי נשימה אֵרוביים ואנאֵרוביים.

א. השלימו את פרטי המידע החסרים בטבלה.

ב. הציעו נקודות ייחוס נוספות להשוואה בין התהליכים והשלימו את פרטי המידע גם לגביהם.

	נשימה אֵרובית	נשימה אנאֵרובית	
		תסיסה כוהלית	חומצת חלב
מגיבים			
תוצרים			
מול CO_2 למול גלוקוז			
מול *ATP* למול גלוקוז			
היצורים שבהם היא מתרחשת			

9. שאלה על קטע לא מוכר – **ייצור יין**

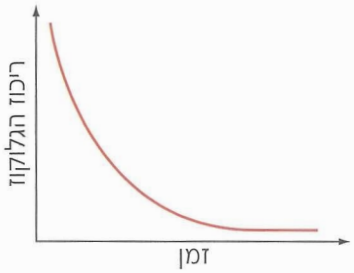
יין יוצר בארץ ישראל מתקופות קדומות, והוא מוזכר בתנ"ך בהקשרים שונים. יין הוא, למעשה, מיץ ענבים מותסס, כלומר, מיץ שנוצר בו כוהל על-ידי מיקרואורגניזמים. ייצור היין מענבים נעשה במספר שלבים. ראשית, מועכים את הפרות כדי שהמיץ יופרש מתוכם. כדי לייצר יין לבן, מפרידים בשלב זה את החרצנים והקליפות מהתערובת. בייצור יין אדום מעבירים את כל המרכיבים לכלי התסיסה.

מוסיפים לענבים המעוכים שבכלי סוג שמרים מיוחד לייצור יין. סוגרים את הכלי ומאפשרים לשמרים ליצור כוהל במשך מספר שבועות עד שנפסקת יצירת הבועות. הריכוז המקסימלי של כוהל שיכול להיווצר על-ידי השמרים הוא 14%. לאחר מכן מפרידים בין המשקע שנוצר מתאי השמרים ומחלקי פרי שלא התפרקו לבין הנוזל הצלול שמעליו. לנוזל הצלול שהוא היין הראשוני, מוסיפים $SO_{2(g)}$ (או תרכובות אחרות המשחררות גפרית דו חמצנית) שתפקידו למנוע תהליכי חמצון לא רצויים ביין. יישון היין בחביות עץ אלון מוסיף לטעמו של היין האדום.

א. נסחו את התהליך שבו נוצר הכוהל במהלך ייצור היין.

ב. מהו תפקיד השמרים בתהליך ייצור היין?

ג. בגרף הבא מוצגת התלות שבין ריכוז הגלוקוז בנוזל שבכלי התסיסה ובין משך התסיסה.



i. תארו במילים את הגרף.

ii. הציעו הסבר לתלות זו בין רמת הגלוקוז ובין משך הזמן שבו מתנהל תהליך התסיסה.

ד. מה מכילות בועות הגז העולות בזמן התסיסה? כיצד ניתן להוכיח זאת?

ה. ציינו שני גורמים העשויים לגרום להפסקת התסיסה הכוהלית (זכרו – כוהל הורס מיקרואורגניזמים).

ו. מומלץ לא להשאיר בקבוק יין פתוח לזמן ממושך, כי מתרחש התהליך הבא:

$$CH_3CH_2OH \rightarrow CH_3COOH$$

אתאנול חומצת חומץ

i. האם האתאנול עבר חמצון או חיזור? נמקו.

ii. כיצד פתיחת הבקבוק קשורה לתהליך המתואר?

ז. הציעו הסבר לפעילותו של SO_2 במניעת תהליכי חמצון לא רצויים ביין.

ח. הביטוי "חומץ בן יין" מקורו בתקופת המשנה. בררו את מובנו של הביטוי וקשרו אותו לתהליכים של תעשיית היין.

10. בבדיקת דם של שני אנשים התגלה אצל האחד ריכוז אתאנול של 0.005M ואצל האחר ריכוז של 0.02M.

האם בבדיקה משטרתית של שני האנשים בזמן נהיגה היה השוטר מאפשר להם להמשיך בנהיגה? נמקו את תשובתכם בעזרת חישובים מתאימים.

11. כוהלים הם חומרים המתמוססים במים ובחומרים הידרופוביים כדוגמת הקסאן $C_6H_{14(l)}$.

א. מהי הקבוצה הפונקציונלית בכוהל?

ב. תנו שתי דוגמאות לכוהלים, רשמו נוסחות מולקולריות ונוסחות מבנה לכל אחד מהם.

ג. הסבירו מדוע כוהלים יכולים להתמוסס גם במים וגם בהקסאן ונסחו תהליכי המסה מתאימים.

ד. לפניכם טבלה ובה נתוני מסיסות של כוהלים שונים. היעזרו בנתוני הטבלה והסבירו מדוע יש עלייה בטמפרטורת הרתיחה של הכוהלים וירידה במסיסות שלהם במים עם העלייה בגודל המולקולה.

שם	נוסחה	טמפרטורת רתיחה ^0C	מסיסות במים
מתאנול	CH_3OH	65	בכל היחסים
אתאנול	CH_3CH_2OH	78	בכל היחסים
פרופאנול	$CH_3CH_2CH_2OH$	97	בכל היחסים
בוטאנול	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	118	7.9 גר' ב-100 מ"ל מים
פנטאנול	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$	138	2.3 גר' ב-100 מ"ל מים

12. כוהלים מגיבים עם מתכות אלקליות לפי הניסוח הבא:

$$CH_3CH_2OH_{(1)} + Na_{(s)} \rightarrow CH_3CH_2ONa_{(alc)} + \frac{1}{2}H_{2(g)}$$

א. מדוע, לדעתכם, מגיב אטום המימן השייך לקבוצה הפונקציונלית, ולא אטום מימן אחר במולקולה?

ב. האם גם חומצה אתנואית CH_3COOH, תגיב עם מתכת אלקלית אגב שחרור גז? נמקו את תשובתכם.

ג. כוהל וחומצה מגיבים בסביבה חומצית ליצירת אסטר. לפניכם דוגמה לתגובה מהסוג הזה:

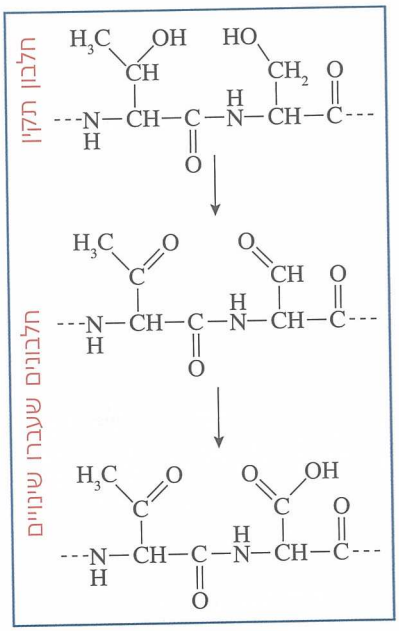
$$CH_3CH_2COOH + CH_3CH_2OH \rightleftarrows CH_3CH_2COOCH_2CH_3 + H_2O$$

ציירו נוסחות מבנה מתאימות לחומרים המופיעים בתגובה.

ד. האם אסטרים יגיבו עם מתכת אלקלית תוך שחרור גז כמו אתאנול? נמקו.

ה. אסטרים ידועים כחומרי ריח טובים בטבע ובתעשיית הקוסמטיקה. איזו תכונה של האסטרים מסייעת בשימוש זה? הסבירו.

13. במחקר שבדק את החלבונים בתאי המוח של מכרסמים החיים בחולות (גרבילים), נמצא שיש שינויים בחלבונים אלו בקרב מכרסמים זקנים. לפניכם קטע מחלבון תקין שנמצא אצל מכרסמים צעירים, וכן קטעים דומים שעברו שינויים, שנמצאים אצל מכרסמים זקנים:



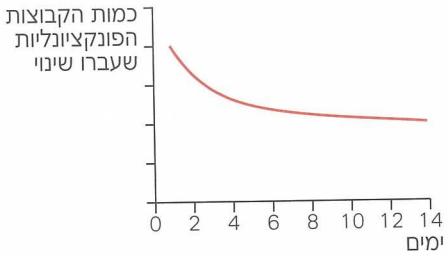
א. התייחסו לכל אחד מהשינויים שעברו החלבונים וציינו: האם במהלך השינוי עברה הקבוצה הפונקציונלית תהליך של חמצון או חיזור?

ב. החוקרים שיערו כי עלייה ברמת הרדיקלים החופשיים היא זו שאחראית להופעת השינויים.

i. מהם רדיקלים חופשיים?

ii. הציעו הסבר המקשר בין רמת הרדיקלים החופשיים ובין הופעת השינויים בחלבונים.

ג. החוקרים ביצעו מחקר שבמהלכו נתנו מדי יום תוספת של אנטיאוקסידנטים לדיאטה היומית של המכרסמים הזקנים. תוצאות המחקר מופיעות בגרף הבא:



i. כיצד השפיעה תוספת האנטיאוקסידנטים על כמות קבוצות הפונקציונליות בחלבונים שעברו שינוי?

ii. מה הייתה שאלת המחקר שהנחתה את החוקרים בעבודתם?

iii. מהו ההסבר המדעי לתוצאות המחקר?

14. היות שנוכחות אלכוהול בדם גורמת לירידה ביכולת הנהיגה, הנהיגו מדינות רבות חוקים המגבילים את הריכוז המותר של אלכוהול בדם. הריכוז העליון המותר בישראל הוא 0.05 גר' אלכוהול למאה מ"ל דם.

לפניכם טבלה ובה ערכים מחושבים לריכוז האלכוהול בדם של נערות ונערים שמשקל גופם שונה, לאחר שתיית מספר מנות משקה אלכוהולי.

מספר מנות אלכוהול	ריכוז אלכוהול בדם (גר' אלכוהול ל-100 מ"ל דם)					
	נערים משקל הגוף בק"ג			נערות משקל הגוף בק"ג		
	60	70	80	50	60	70
1	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03
2	0.06	0.05	0.05	0.09	0.08	0.07
3	0.09	0.08	0.07	0.14	0.11	0.10
5	0.16	0.13	0.12	0.23	0.19	0.16
7	0.22	0.19	0.16	0.32	0.27	0.23

א. מהי מנה של משקה אלכוהולי? כמה אלכוהול היא מכילה? היזכרו בפעילות בעמוד 68.

ב. ציינו מהם המשתנים הבלתי תלויים המיוצגים בטבלה? מהו המשתנה התלוי?

ג. מהו הקשר בין משקל הגוף ובין ריכוז האלכוהול בדם לאחר שתייה?

ד. הסבירו כיצד, לדעתכם, משפיע משקלו של אדם על ריכוז האלכוהול בדמו?

i. האם ריכוז האלכוהול בדם של נערה שמשקלה 60 ק"ג זהה לזה של נער עם משקל דומה, בהנחה ששניהם שתו שתי מנות אלכוהול?

ii. אחוז השומן בגופן של נערות גדול מזה של נערים. כלומר, חלקה של הפזה המימית בגופן קטן יותר. כיצד נתונים אלה עשויים להסביר את תשובתכם בסעיף i?

ה. אילו משתנים שאינם מופיעים בטבלה, עשויים, לדעתכם, להשפיע על ריכוז האלכוהול בדם? נמקו.

ו. כיצד יורד ריכוז האלכוהול בדם לאחר השתייה? רשמו את הניסוחים המתאימים.

ז. קיימת טענה כי האנזים אלכוהול דהידרוגנאז פעיל פחות בגופן של נערות. האם יש בכך כדי לתת הסבר נוסף להבדל בין נערים לנערות? נמקו.

ח. כיצד יגיב נער שמשקלו 60 ק"ג לשתיית שלוש מנות של משקה אלכוהולי? וכיצד תגיב נערה שמשקלה 50 ק"ג לשתיית חמש מנות? היעזרו בטבלה בעמוד 69.

15. ניתן לבדוק את רמת הגלוקוז בדם או בשתן ע"י מקלון (סטיק) מיוחד. טובלים את המקלון בתוך הנוזל הנבדק, וסדרת תגובות כימיות יוצרות תוצר צבעוני המתקבל בקצה המקלון.

א. הגלוקוז בנוזל הנבדק מגיב עם החמצן מהאוויר על-פי התגובה הבאה:

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow C_6H_{10}O_6 + H_2O_2$$

ב. המימן העל-חמצני, $H_2O_{2(aq)}$, שנוצר בתהליך, מגיב בתגובה אנזימית עם חומר המצוי בקצה המקלון, וכך מתקבל התוצר הצבעוני. גוון הצבע ועוצמתו תלויים בריכוז המימן העל-חמצני שמגיב בתגובה זו.

1. האם הגלוקוז עבר חמצון או חיזור? נמקו.
2. כיצד יכול ריכוז המימן העל-חמצני ללמד על ריכוז הגלוקוז?

מימן על-חמצני יכול לשמש בתגובות אחרות כחומר מחזר וגם כחומר מחמצן.

ג. רשמו נוסחה מולקולרית לאחד התוצרים שיכולים להתקבל בתגובה שבה מימן על-חמצני מגיב כמחזר. נמקו.

ד. רשמו נוסחה מולקולרית לאחד התוצרים שיכולים להתקבל בתגובה שבה מימן על-חמצני מגיב כמחמצן. נמקו.

16. נתונות התגובות האלה:

i. $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O \qquad \Delta H = -2870\ kJ/mol$

ii. $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3 \qquad \Delta H = -70\ kJ/mol$

א. האם התגובות i ו-ii הן אנדותרמיות או אקסותרמיות? נמקו.

ב. איזו מהתגובות i ו-ii היא אֵרובית ואיזו אנאֵרובית? נמקו.

ג. איזה מבין שני התהליכים עדיף מבחינה אנרגטית? הסבירו את בחירתכם.

ד. בגוף האדם מתרחשות שתי התגובות. מדוע אין די בתגובה העדיפה מבחינה אנרגטית?

ה. בכבד קיים מנגנון ההופך עודפים של חומצת חלב, $C_3H_6O_3$, לגלוקוז.

האם התהליך הזה מצומד ליצירת *ATP* או לפירוקו? נמקו.

ד שמירה על איזון - זה כל העניין!

כבר נוכחנו לדעת שגופנו מתפקד כמעבדה כימית ללא הפסקה. "מדור" מיוחד במעבדה מתמחה בחומצות ובסיסים.

ציינו מערכות בגוף, מצבי מחלה, מזון ותרופות שקשורים לחומצות ובסיסים.

הפרקים הקודמים כבר זימנו לנו מפגש עם חומצות: הנשימה התאית האֵרובית – חמצון גלוקוז, שאחד מתוצריה הוא פחמן דו חמצני, $CO_{2(g)}$, אשר עם התמוססותו בנוזלי הגוף יוצר חומצה. הנשימה האנאֵרובית שאחד מתוצריה הוא חומצה לקטית. מסלול הפינוי של אתנול מהגוף שאחד מתוצריו הוא חומצה אצטית. חומצות אלו ואחרות, כמו גם בסיסים שעוד נכיר, מפריעים להתרחשותם התקינה של תהליכי החיים בגוף האדם. על ההפרעה והמערכות המנטרלות אותה תקראו בקטע המידע הבא.

מאזן חומצי בסיסי בגוף האדם

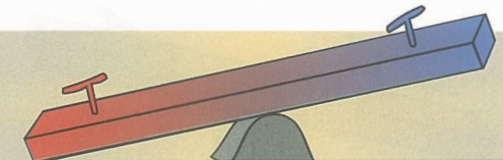
רבים מהתהליכים המטבוליים בגוף רגישים ביותר לשינויי pH, ומהלכם תקין יכול להתממש רק בתחום צר של pH. ה-pH הנורמלי של נוזלי הגוף נע בין 7.45-7.35. מאזן החומצה והבסיס מושג באמצעות פעולות מתואמות של הכבד, הריאות ומערכת הנשימה, נוזל הדם, והכליות ומערכת ההפרשה.

הגוף מייצר 15-20 מול חומצה ביום. כמעט כל כמות החומצה נודרת מ-CO_2 שהוא אחד התוצרים המטבוליים של פחמימות ושומנים בכלל והמצוון גלוקוז בנשימה האֵרובית בפרט. כיוון שמסיסותו של הפחמן הדו חמצני במים היא גבוהה כך: $CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_2CO_{3(aq)}$, הריאות יכולות לטפל בתוספת חומצה כזו לייי פליטת ה-$CO_{2(g)}$ באוויר הנשוף.

הרכב המזון הנו אחד הגורמים שעשוי להשפיע על כמות החומצה והבסיס הנוספים לנוזלי הגוף. המטבוליזם של המזון יוצר חומצות ובסיסים שאינם נדיפים ולכן אינם יכולים להיפלט דרך הריאות. המטבוליזם של חלבונים הבנויים מחומצות אמינו, גורם יותר חומצה (חומצה גופרתית וחומצה מלחית) מאשר בסיס, HCO_3^-. לכן כשהתזונה כוללת בשר, למשל, נודרים בגוף יותר חומצות מבסיסים. מטבוליזם של פחמימות בתנאים אנאֵרוביים גורם גם הוא לתוספת חומצה (חומצה לקטית). כמו כן נקלט מהמזון פוספט ($H_2PO_4^-$) שגם לו תכונות חומצתיות.

כל המוצרים לעיל גורמים לתוספת חומצה בנוזלי הגוף.

שני מערכות תיקוניות מטפלות בתוספת זו: מערכות בופר, מערכות מיוחדות המומסות בנוזלי הגוף שתפקידן העיקרי לשמור על רמת pH תקינה, ומערכת הסינון של הכליה המפרישה חומצה וסופגת בסיס לשם החזרתם לנוזלי הגוף.



פגיעה באחת מהמערכות שמטפלות במאזן חומצי-בסיסי בגוף גורמת לגרום למצבי מחלה הנקראים חמצת (acidosis) במצב של עודף חומצה, ובסמת (alkalosis) במצב של עודף בסיס.

שאלות

1. סמנו מושגים לא ברורים בקטע ורכזו מילון של מושגים אלה.
2. מיינו את החומרים המוכרים בקטע לחומצות ובסיסים.
3. איזו מערכות בגוף מטפלות במאזן החומצה-בסיס וכיצד?
4. כיצד משפיעה קצרת נשימה, מחלה המאופיינת בקושר נשימה, על ה-pH בדם? נמקו.
5. כיצד פעילות ספורטיבית מאומצת עשויה להשפיע על עוספת חומצות או בסיסים לנוזלי הגוף?
6. כיצד יכים הגוף לעוספות שציינתם בשאלה 5?

שמירה על מאזן חומצי-בסיסי הוא אחד מסודות תפקודן התקין של המערכות בגופנו. במהלך הפרק נגדיר מה המשותף לחומצות, ובמה הן בכל זאת נבדלות זו מזו. באופן דומה נגדיר את הבסיסים. מידע זה יאפשר לנו להכיר משפחה גדולה ביותר של תרכובות שמקיפות אותנו בחיי היום-יום, ולהבין את עקרון הפעולה שלהם במטבח, באמבטיה, בתעשיית התרופות וחומרי הניקוי, וגם בתוכנו ממש.

בניסוי הבא נמיין לחומצות ולבסיסים חומרים מחיי היום-יום ומהמעבדה.

ניסוי מס' 8 – חומצות ובסיסים במטבח, באמבטיה ובמעבדה

מטרות הניסוי

א. מיון החומרים לחומצות ובסיסים אגב שימוש באינדיקטורים שקיבלתם מהמורה.

ב. בניית הגדרות אופרטיביות לחומצות ולבסיסים (לדוגמה: חומצות הן חומרים המשנים את צבעו של _____ מ-_____ ל-_____).

אינדיקטורים לחומצה ובסיס הם חומרים אשר משנים את צבעם בתחומי pH שונים.

מהלך הניסוי

לפניכם מגוון רחב של חומרים: חומרים ביתיים וחומרים שמקורם במעבדה (כל החומרים שמקורם במעבדה הם בתמיסה מימית). כמו כן, לפניכם מגוון של אינדיקטורים: פנול-פתלאין, נייר pH, ברומותימול כחול. תכננו את עבודתכם כדי לממש את מטרות הניסוי. הקפידו על הרכבת משקפי מגן, על ארגון העבודה ועל ארגון התצפיות והתוצאות בדרך נאותה.

נוכחתם בניסוי שאינדיקטורים עוזרים לנו למיין חומרים לחומצות ובסיסים. לדוגמה, חומצות הן חומרים המשנים את צבעו של האינדיקטור ברומותימול כחול מירוק לצהוב, ואילו בסיסים הם חומרים המשנים את צבעו מירוק לכחול. לא כל אינדיקטור מאפשר לזהות חומצה וגם בסיס, לדוגמה, פנול-פתלאין מאפשר לזהות בסיסים אך לא חומצות. כבר הגדרנו תמיסות מימיות חומציות (עמ' 14) ותמיסות מימיות בסיסיות (עמ' 67) על-פי יוני ההידרוניום, $H_3O^+_{(aq)}$, שנוצרים בתמיסה מימית חומצית, ועל-פי יוני ההידרוקסיל $OH^-_{(aq)}$, שנוצרים בתמיסה מימית בסיסית. אך נשאלת השאלה מה המשותף לכל החומצות או לכל הבסיסים **ברמה החלקיקית**, לאו דווקא בתמיסות מימיות.

בשנת 1887 הציע המדען השוודי **ארהניוס** (Arrhenius) כי התכונות המאפיינות תמיסות מימיות של **בסיסים** מקורן בקיום יוני $OH^-_{(aq)}$ בתמיסה. לדוגמה, בסיס הנתרן:

$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

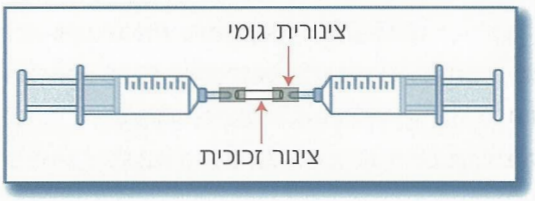
ואילו התכונות המאפיינות תמיסות מימיות של חומצות מקורן בקיום $H^+_{(aq)}$ בתמיסה. לדוגמה, חומצה חנקתית:

$$HNO_{3(l)} \xrightarrow{H_2O} H^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

מהם חומצות ובסיסים?

ניסוי מס' 9 – מפגש בין מימן כלורי לבין אמוניה – הדגמת מורה

לפניכם שני מזרקים סגורים שהאחד מהם מכיל גז מימן כלורי – $HCl_{(g)}$ והשני – גז אמוניה – $NH_{3(g)}$. המזרקים מחוברים זה לזה בעזרת צינור זכוכית. המורה יאפשר מגע בין הגזים.



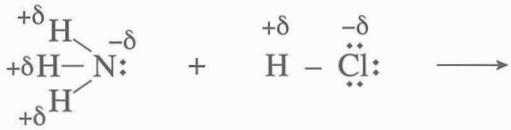
תארו את תצפיותיכם, ונסו לפרש את תצפיותיכם.

נסביר את שהתרחש בניסוי:

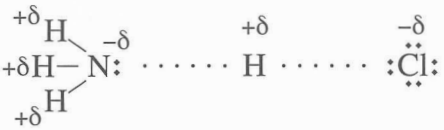
הגזים התפשטו בכלי כתוצאה מהתנועה האקראית של מולקולות הגז. מולקולות של הגז האחד באו במגע עם מולקולות של הגז האחר, ונוצר מוצק לבן. המפגש בין הגזים יצר מצב של "תחרות" בין מולקולות המימן הכלורי ובין המולקולות של גז האמוניה. במהלך ה"תחרות" התרחשה תגובה שבה נוצר המוצק היוני $NH_4Cl_{(s)}$, על-פי הניסוח הבא:

$$NH_{3(g)} + HCl_{(g)} \rightarrow NH_4Cl_{(s)}$$

מה התרחש בתהליך? ננתח את התהליך ברמה החלקיקית, ונתייחס תחילה למולקולה בודדת מכל סוג. NH_3 ו-HCl הן מולקולות שבהן קיים דו קוטב קבוע, כפי שניתן לראות באיור הבא:

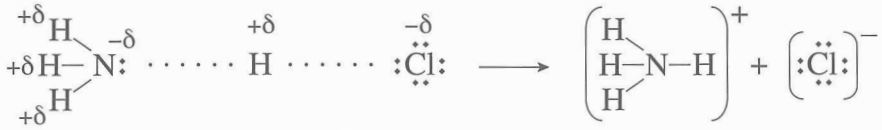


אטום החנקן בעל זוג אלקטרונים בלתי קושר, הטעון במטען חלקי שלילי במולקולת ה-NH_3, מושך אליו את אטום המימן במולקולת ה-HCl, הטעון במטען חלקי חיובי.



אטום מימן בנוי מפרוטון ואלקטרון.
יון מימן, H^+, הינו פרוטון בלבד!

כיוון שהמטען השלילי החלקי על אטום החנקן במולקולת ה-NH_3, גדול יותר מהמטען השלילי החלקי על אטום הכלור במולקולת ה-HCl, הקשר H-Cl "נקרע" כך שאלקטרוני הקשר נשארים סביב הגרעין של אטום הכלור. המימן לעומתם "חשוף" מאלקטרונים – H^+ נמשך לאטום החנקן ונקשר אליו בעזרת זוג האלקטרונים הבלתי קושר שלו.



נוצרו יונים: יון אמון – NH_4^+, ויון כלור – Cl^-. כיוון שהתגובה בפועל מתרחשת בין הרבה מאוד מולקולות של מימן כלורי ומולקולות של אמוניה, מתקבלים הרבה מאוד יונים חיוביים והרבה מאוד יונים שליליים שנמשכים זה לזה ויוצרים את המוצק היוני $NH_4Cl_{(s)}$.

ניתן לסכם את שהתרחש בתגובה באופן הבא: מולקולות האמוניה משכו ממולקולות המימן כלורי **יון מימן** – H^+ (פרוטון). במהלך התגובה מועברים יוני מימן חיוביים. **תגובה שבה מועברים יוני H^+ – פרוטונים, מוגדרת כתגובת חומצה–בסיס. המשתתפים בתגובה הם בסיס וחומצה:**

בסיס, הוא כל חומר שהחלקיקים שלו מסוגלים לקלוט פרוטונים (H^+).

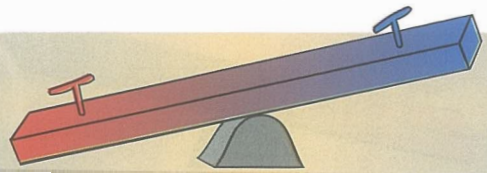
חומצה, היא כל חומר שהחלקיקים שלו מסוגלים למסור פרוטון (H^+).

בתגובה שבה דנו עד כה, מולקולות האמוניה מתנהגות כבסיס כי הן קלטו פרוטונים. ואילו מולקולות המימן הכלורי מתנהגות כחומצה כי הן מסרו בפועל פרוטונים.

בשנת 1923 הגדירו שני המדענים **ברנסטד** (Brönsted) ו**לאורי** (Lowry) חומצות ובסיסים:
בסיס, הוא כל חומר שהחלקיקים שלו מסוגלים לקלוט פרוטונים (H^+).
חומצה, היא כל חומר שהחלקיקים שלו מסוגלים למסור פרוטון (H^+).
הגדרה זו מקובלת גם כיום וננהג על-פיה בניתוח תגובת חומצה-בסיס.

$$\underset{\text{בסיס}}{NH_{3(g)}} + \underset{\text{חומצה}}{HCl_{(g)}} \xrightarrow{H^+} NH_4Cl_{(s)}$$

נבחן עתה את התכונות של תמיסה מימית של אמוניה, NH_3, ושל תמיסה מימית של מימן כלורי, HCl.



ניסוי מס' 10 – "מהפך"

ציוד וחומרים

מזרק 100 מ"ל מלא בגז אמוניה $NH_{3(g)}$

מזרק 100 מ"ל מלא בגז מימן כלורי $HCl_{(g)}$

3 כוסות כימיות (250 מ"ל)

אינדיקטור לחומצה בסיס – אינדיקטור אוניברסלי

מים מזוקקים

מעגל חשמלי הכולל סוללות (4.5v), אלקטרודות, אמפרמטר וחוטי הולכה

משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. סמנו את 3 הכוסות בספרות 1-3 ומלאו אותן במים מזוקקים עד כדי $\frac{3}{4}$ מגובהן.

ב. הוסיפו מספר טיפות אינדיקטור לכל אחת מהכוסות.

ג. לכוס מספר 1 הזריקו ב**איטיות** את תכולת המזרק המכיל גז מימן כלורי.

ד. לכוס מספר 2 הזריקו ב**איטיות** את תכולת המזרק המכיל גז אמוניה.

ה. מדדו את הזרם החשמלי המהווה מדד למוליכות החשמלית בכל אחת מ-3 הכוסות.

ו. רכזו את כל התצפיות והממצאים בטבלה מתאימה.

שאלות הלקחת הניסוי

1. מה תפקידה של כוס מספר 3?
2. העלו שאלות המתעוררות בעקבות הניסוי.
3. בכוס 1 ו-2 מתרחש בשלב ראשון התהליך הבא: $X_{(g)} \rightarrow X_{(aq)}$. הסבירו תהליך זה במונחים של מבנה וקישור.
4. האם התהליכים המופיעים בסעיף הקודם יכולים להסביר את כל תוצאות הניסוי?
5. הציעו ניסוחי תגובה מתאימים אשר יסבירו את השינוי בצבע האינדיקטור.
6. הציעו הסבר למוליכות התמיסות.
7. הציעו הסבר להבדל במוליכות התמיסות.

נסכם וננתח את תוצאות הניסוי:

תמיסת המימן הכלורי המתקבלת מהמסת הגז מגיבה עם המים בתגובת חומצה-בסיס:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow \mathbf{H_3O^+}_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

שאלות

1. העתיקו את ניסוח התגובה למחברתכם וסמנו בעזרת חץ מתאים את מעבר ה-H^+ בתגובה.
2. איזה מהחומרים בתגובה הנ"ל מוגדר כבסיס ואיזה כחומצה? נמקו.
3. הציעו הסבר לכיווניות של מעבר ה-H^+ בתגובה.

גם תמיסת האמוניה המתקבלת מהמסת הגז מגיבה עם מים בתגובת חומצה-בסיס:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(1)} \rightarrow NH_4{}^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

4. העתיקו את ניסוח התגובה למחברתכם וסמנו בעזרת חץ מתאים את מעבר ה-H^+ בתגובה.
5. איזה מהחומרים בתגובה הנ"ל מוגדר כבסיס ואיזה כחומצה? נמקו.
6. הציעו הסבר לכיווניות של מעבר ה-H^+ בתגובה.
7. כיצד תסבירו את העובדה שמולקולות המים מתנהגות גם כחומצה וגם כבסיס?

הידעת?

חומצת מימן כלורית בגוף האדם

HCl מופרש בקיבה בעקבות אכילת חלבונים. החלבונים מגרים את דפנותיה להפריש את ההורמון גסטרין. הגסטרין מצדו מביא את דפנות הקיבה להפריש HCl. הסביבה החומצית (pH=1.0-2.5) הנוצרת כתוצאה מכך ממיתה את רוב החיידקים שהגיעו עם המזון ומאפשרת את הפעילות של הפפסין. הפפסין הוא האנזים המזרז את פירוק החלבונים לשרשרות קצרות יותר של חומצות אמיניות.

אמוניה ויוני אמון בגוף האדם

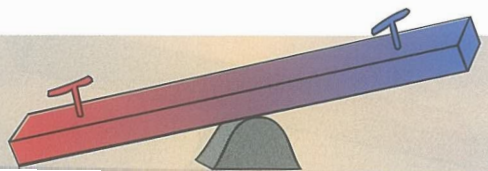
במטבוליזם של חומצות האמינו בכבד מתקבל יון האמון NH_4^+. ריכוז גבוה של NH_4^+ בתאים הוא רעיל והוא מפונה מהגוף בשתי דרכים: בכבד מתקבל ממנו השינן – אוריאה $CO(NH_2)_2$, המופרש באמצעות הכליות בשתן. כמו כן, מופרשת בשתן תמיסה של אמון כלורי NH_4Cl הנוצר בכליה עצמה. הפרשה זו היא אחד ממנגנוני שמירת המאזן של חומצה-בסיס בגוף.

שאלה לפי פתרון מודרך

חומצה חנקתית – $HNO_{3(l)}$ וחומצת חומץ (חומצה אצטית) – $CH_3COOH_{(l)}$, יוצרות תמיסה מימית חומצית. רשמו ניסוחים מתאימים לכל אחת מהתגובות.

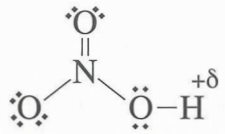
פתרון

- על-פי המידע ניתן להסיק ששני החומרים הנ"ל "מוסרים" H^+ למים, ונוצרים יוני הידרוניום – $H_3O^+{}_{(aq)}$.
- לאחר "מסירת" ה-H^+ המטען החשמלי של חומר המוצא יורד (לדוגמה 0 ← -1 ; -1 ← -2).



יוני המימן שנמשכים על-ידי מולקולות המים, מקורם **במימן הקשור לאטום אלקטרושלילי, ולכן אטום המימן בחומר המוצא טעון במטען חלקי חיובי** (התבוננו בנוסחאות המבנה המתאימות).

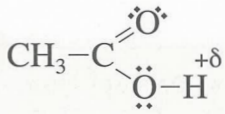
חומצה חנקתית - NHO_3



להלן ניסוחי התגובה המתאימים:

$$HNO_{3(l)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} \mathbf{H_3O^+_{(aq)}} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

חומצה אצטית - CH_3COOH



$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} \mathbf{H_3O^+_{(aq)}} + CH_3COO^-{}_{(aq)}$$

שאלה לפתרון מודרך

1. נתרן חמצני – $Na_2O_{(s)}$ ונתרן מימן זרחתי – $Na_2HPO_{4(s)}$, יוצרים תמיסה מימית בסיסית, רשמו ניסוחים מתאימים לכל אחת מהתגובות.

פתרון

שני החומרים הנ"ל הם חומרים יוניים, לכן ננסח בשלב ראשון את תגובת ההמסה שלהם במים.

אחד היונים המתקבל בתגובת ההמסה מתנהג כבסיס ויכול לקלוט H^+. מקור ה-H^+ הוא ממולקולות המים, ולכן נוצרים יוני הידרוקסיל – $\mathbf{OH^-}_{(aq)}$.

להלן ניסוחי התגובה בהתאמה:

$$Na_2O_{(s)} \xrightarrow{H_2O} 2Na^+{}_{(aq)} + O^{2-}{}_{(aq)}$$

$$O^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} \mathbf{2OH^-}_{(aq)}$$

מולקולות המים יירשמו בניסוח התגובה כמגיב כאשר מולקולות המים לוקחות חלק בתגובה הכימית ויש להן גם ביטוי בתוצרים.
מולקולות המים יירשמו מעל החץ כאשר הן משמשות למיום בלבד.

הניסוח הכולל של תגובת ההמסה הוא:

$$Na_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 2Na^+{}_{(aq)} + 2OH^-{}_{(aq)}$$

ולגבי נתרן מימן זרחתי:

$$Na_2HPO_{4(s)} \xrightarrow{H_2O} 2Na^+_{(aq)} + HPO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

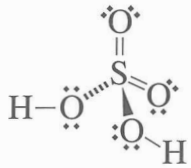
$$HPO_4{}^{2-}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} H_2PO_4{}^-_{(aq)} + \mathbf{OH^-_{(aq)}}$$

הניסוח הכולל של תגובת ההמסה הוא:

$$Na_2HPO_{4(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 2Na^+_{(aq)} + H_2PO_4^-{}_{(aq)} + \mathbf{OH^-_{(aq)}}$$

חצרו לקטע הפתיחה של הפרק שבו מופיעים חומצות ובסיסים שונים. בשאלה ג, עמ' 85 עדכנתם מין של החומרים החומצות והבסיסים, ושמו ניסוחי תגובות מתאימים בסביבה מימית לחומרים שמיינתם.

חומצה גפרתית - H_2SO_4



שמתם לב בוודאי, שחומצות מסוימות מכילות 2 או 3 אטומי מימן הטעונים במטען חיובי חלקי, למשל, H_2SO_4, H_3PO_4, H_2CO_3. חומצות אלו נקראות **חומצות רב פרוטיות**. בתנאים מתאימים (בנוכחות בסיס אשר מושך אליו פרוטונים בחוזקה) החומצות "יוותרו" על כל יוני המימן (מספר פרוטונים).

ניסוחי התגובות של החומצות והבסיסים השונים בסביבה מימית, המציגים היווצרות של יונים ניידים בתמיסות השונות, מסבירים את המוליכות החשמלית של התמיסות. אך עדיין לא התייחסנו להבדל המשמעותי בין המוליכות החשמלית של תמיסת המימן הכלורי לבין זו של תמיסת האמוניה. בסעיף הבא נסביר מהו המקור להבדל זה.

חומצות ובסיסים חלשים

ניסוי מס' 11 – מה בין חזק לחלש?

ציוד וחומרים

50 מ"ל תמיסת 0.1M HCl בכוס כימית

50 מ"ל תמיסת 0.1M CH_3COOH בכוס כימית

50 מ"ל תמיסת 0.1M NaOH בכוס כימית

50 מ"ל תמיסת 0.1M NH_3 בכוס כימית

נייר pH

מד זרם

משקפי מגן.

מהלך הניסוי

1. בדקו בכל אחת מהתמיסות את ערך ה-pH (ראו עמ' 67 על הקשר בין ערך ה-pH ובין רמת החומציות או הבסיסיות).
2. בדקו בכל אחת מהתמיסות את עוצמת הזרם החשמלי.
3. רכזו את התצפיות בטבלה מתאימה.

כיצד ניתן להסביר את תוצאות הניסוי?

המוליכות השונה של חומצות שוות-ריכוז או של בסיסים שווי-ריכוז, מעידה על ריכוז שונה של יונים ניידים בתמיסות השונות. כאשר ממיסים מול HCl במים מקבלים מול של יוני $H_3O^+_{(aq)}$ בתמיסה. אך כאשר ממיסים מול CH_3COOH במים מקבלים פחות ממול של יוני $H_3O^+_{(aq)}$ בתמיסה.

חומצת מימן כלורית מוגדרת כ**חומצה חזקה** – חומצה אשר עוברת יינון מלא במים. לעומתה, חומצת חומץ, $CH_3COOH_{(aq)}$ – בתמיסה שלה נוצרו פחות יונים כי לא כל מולקולות החומצה עברו יינון. חומצה אשר אינה עוברת יינון מלא ליונים במים נקראת **חומצה חלשה**.

חומצות חזקות

שם החומצה	הנוסחה
מימן כלורית	HCl
גפרתית	H_2SO_4
חנקתית	HNO_3
על-כלורתית	$HClO_4$

באופן דומה, בתמיסת $NH_{3(aq)}$ נוצרו פחות יונים מאשר בתמיסת NaOH, כי לא כל מולקולות האמוניה קלטו יוני מימן מהמים. תגובות יינון אלו הן **תגובות שאינן מתפתחות עד תום והן תגובות שווי-משקל**.

בהכללה ניתן לנסח את שתי ההגדרות הבאות: חומצה אשר אינה עוברת יינון מלא ליונים במים ונמצאת בשיווי משקל עם היונים שלה בתמיסה, נקראת **חומצה חלשה**. בסיס אשר אינו עובר יינון מלא במים ונמצא בשיווי משקל עם היונים שלו בתמיסה, נקרא **בסיס חלש**.

להלן ניסוחי ההמסה במים המתאימים להגדרות החדשות:

חומצת מימן כלורית – HCl הנה **חומצה חזקה:**

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow \mathbf{H_3O^+_{(aq)}} + Cl^-_{(aq)}$$

חומצה אצטית - CH_3COOH **חומצה חלשה**:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows \mathbf{H_3O^+_{(aq)}} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

בסיס הנתרן – NaOH **בסיס חזק**:

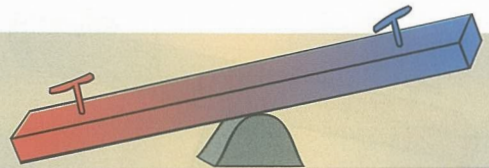
$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + \mathbf{OH^-_{(aq)}}$$

אמוניה – NH_3 **בסיס חלש**:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows NH_4^+{}_{(aq)} + \mathbf{OH^-_{(aq)}}$$

בסיסים חזקים

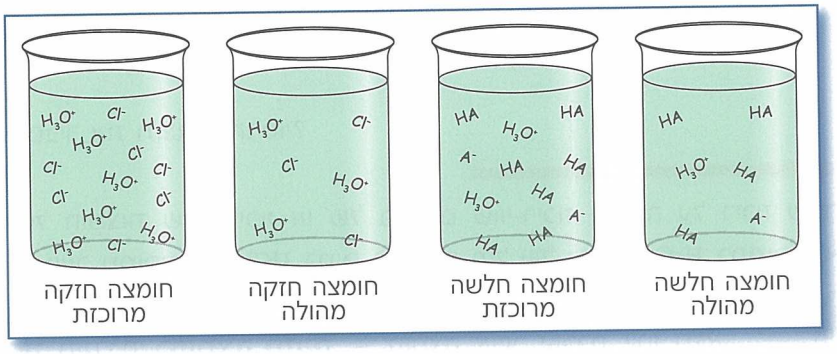
שם הבסיס	הנוסחה
נתרן הידרוקסידי	$NaOH$
באריום הידרוקסידי	$Ba(OH)_2$
יון הידריד	H^-
יון חמצני	O^{2-}



התבוננו באיור הבא והסבירו את ההבדל:

א. בין חומצה חזקה מרוכזת לבין חומצה חזקה מהולה.

ב. בין חומצה חזקה מהולה לבין חומצה חלשה מהולה.



באופן כללי ניתן לנסח תגובה של חומצה חלשה, HA עם מים באופן הבא:

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows \mathbf{H_3O^+_{(aq)}} + A^-_{(aq)}$$

לתגובת שיווי-משקל זו יש קבוע שווי-משקל – K.

$$K = \frac{[H_3O^+_{(aq)}] \cdot [A^-_{(aq)}]}{[H_2O_{(l)}] \cdot [HA_{(aq)}]}$$

כיוון שריכוז המים הוא גודל קבוע, ניתן מתמטית לשלב את ריכוזם בערכו של הקבוע:

$$Ka = \mathbf{K} \cdot [H_2O_{(l)}] = \frac{[H_3O^+_{(aq)}] \cdot [A^-_{(aq)}]}{\cdot [HA_{(aq)}]}$$

הביטוי המתקבל נקרא **קבוע החומצה** – **Ka** ומתאר את מידת הפירוק של החומצה ליונים:

$$\mathbf{Ka} = \frac{[H_3O^+_{(aq)}] \cdot [A^-_{(aq)}]}{[HA_{(aq)}]}$$

שימו לב: אין הכרח שהמצב הראשוני של חומצה יהיה מקביל ל-HA. ייתכן שחומצה תהא טעונה חיובית, לדוגמה NH_4^+ או טעונה שלילית, לדוגמה $H_2PO_4^-$.

שאלות

1. נסחו 3 תגובות עם מים ל-3 חומצות מאלו המופיעות בטבלה (לגבי כל החומצות שבחרתם, נסחו רק שלב אחד של יינון).
2. רשמו ביטוי לקבוע החומצה – Ka המתאים לכל אחד מניסוחי התגובה.
3. בהתייחס לניסוחים בשאלה הראשונה, ובהנחה שנלקחו לתגובות ההמסה מספר שווה של מולי חומצה, באיזו תמיסה ריכוז יוני ההידרוניום, $H_3O^+_{(aq)}$ הוא הגבוה ביותר? נמקו.
4. נסחו כלל המקשר בין חוזק החומצה ובין קבוע החומצה.

Ka בטמפ' 25°C	החומצה	
$7.9\cdot10^{-3}$	חומצה זרחתית	H_3PO_4
$8.4\cdot10^{-4}$	חומצה לקטית	$CH_3CH(OH)COOH$
$1.8\cdot10^{-5}$	חומצה אצטית (ח' חומץ)	CH_3COOH
$4.5\cdot10^{-7}$	חומצה פחמתית	H_2CO_3
$6.2\cdot10^{-8}$		$H_2PO_4^-$
$5.6\cdot10^{-10}$		NH_4^+
$4.8\cdot10^{-11}$		HCO_3^-
$4.4\cdot10^{-13}$		HPO_4^{2-}

באורח דומה ננסח את תגובת שיווי המשקל של בסיס : B

$$B:_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows BH^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

הביטוי הבא הנו **קבוע הבסיס – Kb** ומתאר את מידת המשיכה של פרוטונים (יוני מימן) מהמים על-ידי הבסיס.

$$\mathbf{Kb} = \frac{[BH^+_{(aq)}] \cdot [OH^-_{(aq)}]}{[B:_{(aq)}]}$$

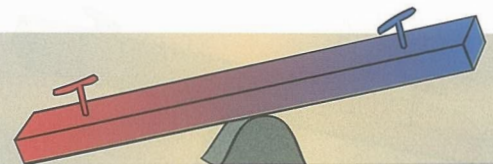
אמינים הם תרכובות פחמן המגלות תכונות בסיסיות, הודות לנוכחות אטום חנקן במולקולה, אשר יכול לקשור אליו H^+.
נוסחה כללית של אמין – $R\text{-}NH_2$.
לפניכם תגובה אופיינית של אמין עם מים:

$$CH_3NH_{2(g)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

שימו לב: אין הכרח שהמצב הראשוני של בסיס יהיה מקביל ל-B:.
ייתכן שהבסיס יהא טעון שלילית, לדוגמה HPO_4^{2-}.

Kb בטמפ' 25°C	הבסיס
$1.3\cdot10^{-12}$	$H_2PO_4^-$
$1.2\cdot10^{-11}$	$CH_3CH(OH)COO^-$
$5.6\cdot10^{-10}$	CH_3COO^-
$2.2\cdot10^{-8}$	HCO_3^-
$1.6\cdot10^{-7}$	HPO_4^{2-}
$1.8\cdot10^{-5}$	NH_3
$2.1\cdot10^{-4}$	CO_3^{2-}
$4.4\cdot10^{-4}$	CH_3NH_2
$2.3\cdot10^{-2}$	PO_4^{3-}

1. נסחו 3 תגובות עם מים ל-3 בסיסים מאלו המופיעים בטבלה (לגבי כל הבסיסים שבחרתם, נסחו רק שלב אחד של יינון).
2. רשמו ביטוי לקבוע הבסיס – Kb המתאים לכל אחד מניסוחי התגובה.
3. בהתייחס לניסוחים בשאלה הראשונה, ובהנחה שנלקחו לתגובות ההמסה מספר שווה של מולי בסיס, באיזו תמיסה ריכוז יוני ההידרוקסיל, $OH^-_{(aq)}$ הוא הגבוה ביותר? נמקו.
4. נסחו כלל המקשר בין חוזק הבסיס וקבוע הבסיס.



חומצה ובסיס צמודים

מערכות הנמצאות בשיווי-משקל מאופיינות בנוכחותם של כל מרכיבי המערכת – "מגיבים" ו"תוצרים". אם נתייחס לתגובת חומצה-בסיס מסוימת הנמצאת בשיווי-משקל, נוכל לזהות שני בסיסים ושתי חומצות. כאשר מנתחים את התגובה הישירה ניתן לראות שמולקולות, $CH_3COOH_{(aq)}$ מתנהגות כחומצה:

$$\underset{\text{חומצה 1}}{CH_3COOH_{(aq)}} + \underset{\text{בסיס 2}}{H_2O_{(l)}} \overset{H^+}{\leftrightarrows} CH_3COO^-_{(aq)} + \mathbf{H_3O^+_{(aq)}}$$

כאשר מנתחים את התגובה ההפוכה, יוני האצטט $CH_3COO^-_{(aq)}$ מתנהגים כבסיס ומושכים אליהם יוני מימן חיוביים:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \overset{H+}{\leftrightarrows} \underset{\text{בסיס 1}}{CH_3COO^-_{(aq)}} + \underset{\text{חומצה 2}}{\mathbf{H_3O^+}_{(aq)}}$$

לפניכם ניסוחי תגובות, ציינו בכל אחת מהתגובות איזה חומר מתנהג כחומצה, ואיזהו הבסיס הצמוד אליה? כמו כן, ציינו איזה חומר מתנהג כבסיס, ואיזוהי החומצה הצמודה אליו?

1. $HCO_3^-{}_{(aq)} + CH_3COOH_{(aq)} \leftrightarrows H_2CO_{3(aq)} + CH_3COO^-{}_{(aq)}$
2. $HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)} \leftrightarrows CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

כיצד תסבירו את העובדה ש-$HCO_3^-{}_{(aq)}$ מתנהג בתגובה אחת כבסיס ובשנייה כחומצה?

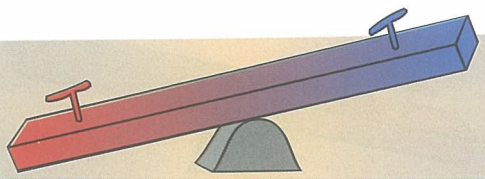
ניתן לסכם שלכל חומצה יש בסיס צמוד, ולכל בסיס יש חומצה צמודה.

גורמים המשפיעים על חוזק חומצות – העשרה

המשותף לחומצות הוא נוכחות של מימן בעל מטען חיובי חלקי, כתוצאה מקישורו לאטום בעל אלקטרושליליות גבוהה – H-X (X אטום אלקטרושלילי). לרוב ככל שהקשר בין המימן לאטום האלקטרושלילי קוטבי יותר, החומצה תהיה חזקה יותר.

לגבי חומצות מהטיפוס H-O-Y (Y מייצג אטום או קבוצת אטומים), קוטביות הקשר מימן-חמצן יכולה להיות מושפעת מאטומים נוספים במולקולה שאינם קשורים ישירות למימן, אך משפיעים על המטענים היחסיים במולקולה. תופעה זו של השפעה מרחוק נקראת **אפקט אינדוקטיבי**. אם יש במולקולה אטום/קבוצה אלקטרושליליים, הם מושכים אליהם אלקטרונים וגורמים לעלייה בקוטביות הקשר מימן-חמצן, וכתוצאה מכך לעלייה בחוזק החומצה. גורם נוסף אשר עשוי להשפיע על חוזק החומצה הוא יציבות האניון הנוצר בתמיסה לאחר היינון של החומצה. גורם זה יכול להסביר את השוני העקרוני בין כוהל לחומצה קרבוקסילית מבחינת חוזקם כחומצה. לפניכם תגובות היינון של כוהל וחומצה במים:

$$RCH_2OH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows RCH_2O^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)} \qquad Ka=1.3\cdot10^{-16}$$

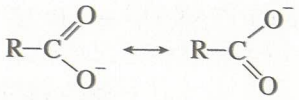


$$RCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows RCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \qquad Ka=1.8\cdot10^{-5}$$

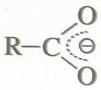
כפי שניתן לראות מהקבועים, Ka, החומצה הקרבוקסילית חזקה יותר ב-11 סדרי גודל!

ההסבר העיקרי לשוני מתבסס על יציבות האניון שנוצר.

האניון הנוצר יכול להיות מתואר על-ידי שתי הצורות הבאות:



הקשרים פחמן חמצן C-O מתוארים זה כקשר יחיד וזה כקשר כפול. בפועל, כאשר בדקו את הקשרים הללו מבחינת חוזקם ואורכם, נמצא שהם קשרים בין יחיד לכפול. למעשה, שתי הצורות המתוארות מציגות מצב של **אל-איתור אלקטרוני**, שבו שלושת האטומים OCO משתתפים ביצירת הקשר. הייצוג המתאים לתיאור זה הוא:



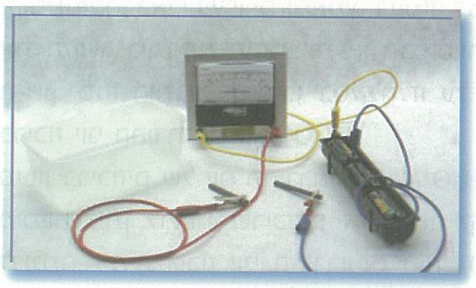
האל-איתור האלקטרוני הקיים באניון של הקבוצה הקרבוקסילית, $RCOO^-_{(aq)}$, מייצב את האניון ומאפשר את היווצרותו. לעומתו האניון האלכוקסיד $RCH_2O^-_{(aq)}$ חסר ייצוב של אל-איתור, המטען השלילי ממוקד, ולכן האניון אינו יציב.

המים כבסיס וכחומצה

במהלך היכרותנו עם חומצות ובסיסים בסביבה מימית נכחנו לדעת שבתגובות מסוימות מולקולות המים מגיבות כחומצות – "מוותרות" על פרוטונים, ובתגובות אחרות מגיבות כבסיסים – קולטות פרוטונים. נמצא שמולקולות המים מגיבות בינן לבין עצמן בתגובת חומצה-בסיס על-פי הניסוח הבא:

$$H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} H_3O^+_{(aq)} + OH^+_{(aq)}$$

שאלות



1. כאשר בודקים את המוליכות החשמלית של מים מזוקקים בעזרת מעגל חשמלי הכולל אמפרמטר, הזרם הנמדד אפסי. מה ניתן ללמוד מכך על קבוע שיווי-המשקל של התגובה?
2. הציעו דרך שבעזרתה תוכלו לאשר את נוכחותם של יונים במים מזוקקים.

קבוע שיווי-המשקל של תגובת היינון של מים בטמפרטורת החדר הוא:

$$K = \frac{[H_3O^+_{(aq)}] \cdot [OH^-_{(aq)}]}{[H_2O_{(l)}]^2} = 3.24 \cdot 10^{-18}$$

הביטוי הנמצא במכנה הנו גודל קבוע שניתן להכניסו לתוך K.

$$K_w = K\cdot[H_2O_{(l)}]^2 = [H_3O^+_{(aq)}]\cdot[OH^-_{(aq)}]$$

ריכוז מים מחושב על-ידי מציאת מספר מולי המים בליטר מים (1000 גר'): 1000/18= 55.56 מול לליטר, לכן קבוע המים המסומן כ-K_w הוא:

$$K_w = 3.24\cdot10^{-18}\cdot55.56^2 = 1.0\cdot10^{-14}$$

מכאן הביטוי של קבוע היינון של המים ב-25°C הוא:

$$\mathbf{Kw = [H_3O^+_{(aq)}]\cdot[OH^-_{(aq)}] = 1.0\cdot10^{-14}}$$

משמעותו של ביטוי זה, שבכל תמיסה מימית המכפלה של ריכוז יוני הידרוניום בריכוז יוני ההידרוקסיל היא גודל קבוע. כאשר הריכוז של אחד מהם עולה, הריכוז של השני יורד.

$[H_3O^+_{(aq)}]$		$[OH^-_{(aq)}]$
1.0	<	$1.0\cdot10^{-14}$
$1.0\cdot10^{-1}$	<	$1.0\cdot10^{-13}$
$1.0\cdot10^{-2}$	<	$1.0\cdot10^{-12}$
$1.0\cdot10^{-3}$	<	$1.0\cdot10^{-11}$
$1.0\cdot10^{-4}$	<	$1.0\cdot10^{-10}$
$1.0\cdot10^{-5}$	<	$1.0\cdot10^{-9}$
$1.0\cdot10^{-6}$	<	$1.0\cdot10^{-8}$
$1.0\cdot10^{-7}$	=	$1.0\cdot10^{-7}$
$1.0\cdot10^{-8}$	>	$1.0\cdot10^{-6}$
$1.0\cdot10^{-9}$	>	$1.0\cdot10^{-5}$
$1.0\cdot10^{-10}$	>	$1.0\cdot10^{-4}$
$1.0\cdot10^{-11}$	>	$1.0\cdot10^{-3}$
$1.0\cdot10^{-12}$	>	$1.0\cdot10^{-2}$
$1.0\cdot10^{-13}$	>	$1.0\cdot10^{-1}$
$1.0\cdot10^{-14}$	>	1.0

ריכוז יוני ההידרוניום $H_3O^+_{(aq)}$, וההידרוקסיל $OH^-_{(aq)}$ (מול לליטר) בתמיסות מימיות.

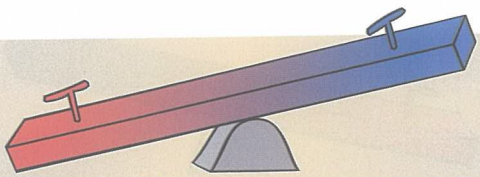
שאלות

1. מהו הריכוז של יוני הידרוניום – $H_3O^+_{(aq)}$ במים?
2. מהו הריכוז של יוני ההידרוקסיל – $OH^-_{(aq)}$ במים?
3. כיצד ישתנו הריכוזים של יוני ההידרוניום ושל יוני ההידרוקסיל אם נוסיף למים $HCl_{(g)}$?
4. כיצד ישתנו הריכוזים של יוני ההידרוניום ושל יוני ההידרוקסיל אם נוסיף למים $NaOH_{(s)}$?

סולם ה-pH

השימוש במושג pH שגור בפינו בחיי יום-יום בהקשרים רבים: בריאות השיניים ומחלת העששת, תכשירי ניקוי וקוסמטיקה, כאבי שרירים ומאמץ. בעמוד 67 הצגנו כבר את הקשר בין רמת החומציות או הבסיסיות ובין דרגת ה-pH. מהו היתרון בשימוש בסקלה זו על פני שימוש בריכוז יוני ההידרוניום $[H_3O^+_{(aq)}]$?

מעיון בריכוזים של יוני ההידרוניום, $[H_3O^+_{(aq)}]$ בתמיסות מימיות ניתן לראות שריכוזים אלו לרוב קטנים מאוד. לדוגמה, במים ריכוז יוני ההידרוניום הוא $1.0\cdot10^{-7}$. לכן, כבר בשנת 1909 הציע המדען הדני סורנסן דרך אחרת לתאר את רמת החומציות באמצעות סקלה הנעה בדרך



כלל בין 0 ל-14. סקלה זו מתקבלת בעזרת קשר מתמטי, לוגריתמי בין ריכוז יוני ההידרוניום ובין ה-pH:

$$pH = -\log[H_3O^+_{(aq)}]$$ (הלוגריתמוס הוא בבסיס 10).

סקלת ה-pH ודוגמאות מחיי היום-יום.

הכללות ומסקנות הנובעות מהגדרת ה-pH:

- במים מזוקקים: $pH = -\log 1.0 \cdot 10^{-7} = 7$
- שינוי **ביחידה אחת** בסקלת ה-pH מתאר שינוי של **פי 10** בריכוז יוני ההידרוניום, $[H_3O^+_{(aq)}]$.
- ה-pH תלוי ב**ריכוז** יוני ההידרוניום ולא בכמותם.
- בסביבה חומצית: $[H_3O^+(aq)] > 1.0 \cdot 10^{-7}$ ולכן, $pH < 7$.
- ככל שריכוז יוני ההידרוניום, $[H_3O^+_{(aq)}]$ גדול יותר, ה-pH נמוך יותר.
- בסביבה בסיסית: $[H_3O^+(aq)] < 1.0 \cdot 10^{-7}$ ולכן, $pH > 7$.

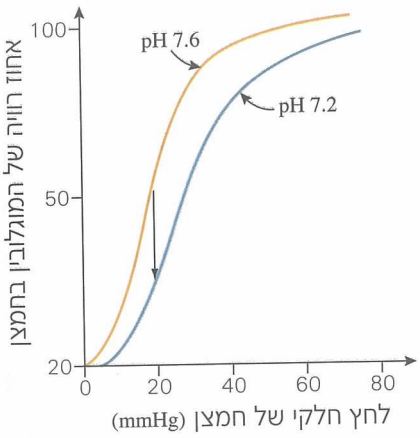
- ככל שריכוז יוני ההידרוקסיל, $[OH^-_{(aq)}]$, גבוה יותר, ריכוז יוני ההידרוניום, $[H_3O^+_{(aq)}]$ נמוך יותר וה-pH גבוה יותר.
- הפונקציה הלוגריתמית אינה פונקציה לינארית, לכן הגדלת ריכוז יוני ההידרוניום פי 2 למשל, אינה גוררת הקטנת ה-pH פי 2.
- תיתכן חריגה מתחום סקלת ה-pH: 0-14 (הציעו דוגמה לחריגה מהסקלה המקובלת).

כיצד מודדים pH?

ניתן למדוד pH בעזרת נייר או מקלון מיוחדים, המצופים בתערובת אינדיקטורים שמעניקים צבע אופייני המתאים ל-pH מסוים. לצורך קביעה מדויקת יותר של pH, משתמשים במכשיר הנקרא pH-meter. במכשיר זה נוצר מתח חשמלי, המתורגם ליחידות pH. המתח הנוצר תלוי בריכוז יוני ההידרוניום בתמיסה הנמדדת.

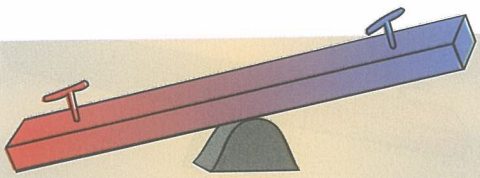
נייר pH ומקלונים למדידת pH.

ה-pH בגופנו – העשרה

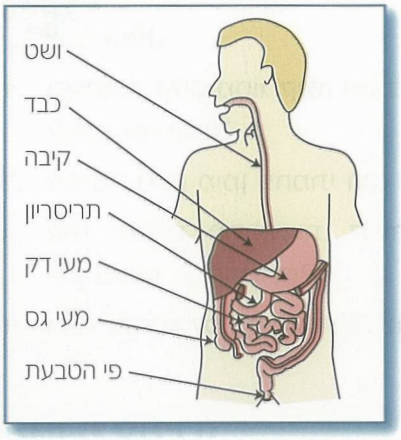


א. תפקודן של כל מערכות הגוף תלוי במידה רבה בשמירה על מאזן בסיס-חומצה ייחודי. למשל, הספקת חמצן לתאים על-ידי ההמוגלובין, הדם היוצא מן הריאות עשיר בחמצן הקשור להמוגלובין – אוקסיהמוגלובין, ו"עני" בפחמן דו-חמצני. ככל שנוזל הדם מתרחק מהריאות ועובר בנימי הדם, מתווסף אליו פחמן-דו-חמצני מהתאים, וחמצן ניתק מהאוקסיהמוגלובין ועובר לתאים. ה- CO_2 שמתווסף מתמוסס בחלקו בדם וכתוצאה מכך ה- pH בדם נעשה חומצי יותר. ככל שה-pH נמוך יותר, כן קטֵנה המשיכה בין החמצן להמוגלובין, וכמות גדולה יותר של חמצן ניתקת ועוברת לתאים.

ב. כל האנזימים פעילים טוב יותר בתנאי pH המאפיינים כל אחד ואחד מהם. לכן השמירה על מאזן חומצה-בסיס מדויק בכל חלק מחלקי הגוף היא חשובה מאוד. דוגמה טובה לכך ניתן למצוא במערכת העיכול.



מערכת העיכול הנה צינור ארוך ומפותל המוליך מהפה אל פי הטבעת. המזון הנכנס לפה מתפרק בדרכו הארוכה עד ליחידות של מולקולות בודדות, ואלה נספגות דרך דופן מערכת העיכול לדם, ומשם מועברות אל תאי הגוף השונים, בהתאם לצרכים המשתנים.



פעולות הפירוק (עיכול) נעשית ברובה על-ידי אנזימים הדורשים לפעילותם תנאי pH ספציפיים. צינור העיכול מחולק לכמה אזורים ובכל אחד מהם תנאי pH שונים.

המסע של המזון מתחיל בפה. ה-pH הרגיל בפה הוא 7 – 7.4, כלומר בסיסי קל. בעת הפרשה מסיבית של רוק מגיע ה-pH כמעט ל-8. האנזימים העיקריים הפועלים בפה הם עמילזות (מפרקי עמילן), ותוצרי הפירוק הם מלטוז ודקסטרין (פחמימות שמהוות שלב ביניים בפירוק עמילן לגלוקוז).

מהלוע מגיע המזון הלעוס דרך הוושט לקיבה. שם הסביבה משתנה בבת אחת, וה-pH הופך להיות חומצי מאוד - בסביבות 2. הגורם להורדת ה-pH הוא החומצה מימן כלורי, HCl. ריכוז החומצה בנוזל הקיבה נשלט על-ידי מספר גורמים, ובדרך עקיפה על ידי המזון. בקיבה פועל האנזים פפסין המפרק חלבונים לשרשרות קצרות של חומצות אמיניות. פירוק העמילן והשומן נדחה להמשך המסע.

מהקיבה עובר המזון לחלקו הראשון של המעי המכונה תריסריון. בתריסריון ה-pH בסיסי מאוד – בסביבות 11. לשם מופרשים אנזימים שונים שחלקם מביאים לפירוקו הסופי של המזון ואחר כך לספיגתו דרך דפנות המעי הדק לדם. הבקרה על הפרשת אנזימים אלו ושמירת ה-pH הבסיסי המאפשר את פעולתם, נעשית על ידי הגירוי שגורמת החומצה שמגיעה עם המזון מהקיבה. התערובת החומצית המגיעה משפיעה על הפרשתו של נוזל העשיר בנתרן מימן פחמתי, $NaHCO_3$ והמאפשר את קיומה וייצובה של הסביבה הבסיסית בתריסריון.

המשך דרכו של המזון הוא במעי הדק, שם מסתיים פירוק המזון, ומתחילה ספיגת תוצרי הפירוק אל מערכת הדם. המעי הדק הוא צינור ארוך ומפותל שיכול להגיע לאורך של 7 מטרים; שטח הפנים שלו המשמש לספיגה יכול להגיע לאורך שנע בין 200 עד 500 מ"ר! ה-pH במעי הדק שונה באזורים השונים שלו, אבל רובו הוא בסיסי קל.

במעי הגס נספגים חזרה למערכת הדם עודפי מים ואלקטרוליטים כמו יוני נתרן, סידן ואשלגן. קטע זה של המעי קצר יותר, כ-1.5 מטר, ועבה יותר, והוא מסתיים בפי הטבעת. מה שלא נעכל או נספג מופרש החוצה כצואה. ה-pH במעי הגס נע בין 6.8 ל-7.3.

חומצות אמיניות

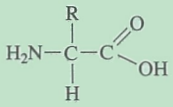
חלבון הוא פולימר המורכב משרשרת אחת או יותר של חומצות אמיניות. בטבע מצויות 20 חומצות אמיניות שונות, שמהן אפשר ליצור אינספור צירופים שונים (חלבונים שונים).

חומצות אמיניות הן תרכובות פחמן שיש להן שתי קבוצות פונקציונליות:

קבוצה קרבוקסילית (–COOH) וקבוצה אמינית ($-NH_2$).

ההבדל בין החומצות האמיניות השונות הוא בקבוצה R. הקבוצה R היא המקנה לחומצה את התכונות האופייניות לה.

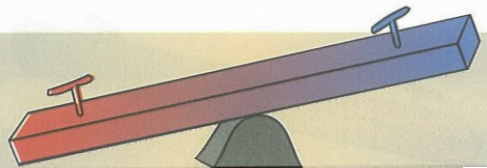
לדוגמה:



אלנין – $R=CH_3$,

סרין – $R=CH_2OH$

חומצה אספרטית – $R=CH_2COOH$



שאלות

1. משקאות קלים מסוג קולה הם בעלי pH חומצי מאוד, ולפיכך יש שמזהירים אותנו לא לצרוך אותם. מה תוכלו לענות לטענה זו?
2. תמיסת נתרן מימן פחמתי הנה תמיסה בסיסית, נסחו תגובה מתאימה.
3. אילו תגובות מתרחשות, לדעתכם, במעבר בין הוושט לקיבה ובין הקיבה לתריסריון (היעזרו בקטע pH בגופנו – העשרה)?
4. האם מוכרת לכם תופעה המכונה **צרבת**? כיצד מטפלים בה?

תגובת סתירה

בתהליכים שונים המתרחשים בגוף האדם, תמיסה מימית של חומצה ותמיסה מימית של בסיס נפגשות ומנטרלות זו את זו. נבחן עתה מהו המכנה המשותף של תגובות נטרול אלו, הנקראות **תגובות סתירה**.
נתאר תגובה בין תמיסה מימית של חומצת מימן כלורי ובין תמיסה מימית של בסיס הנתרן. שימו לב שהתמיסות המימיות הנן תמיסות יוניות.

$$\underbrace{H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}}_{\text{חומצה}} + \underbrace{Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}}_{\text{בסיס}} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

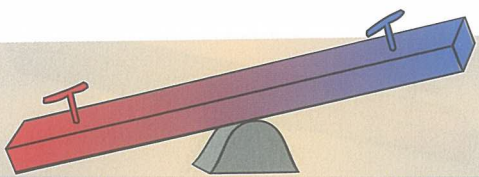
אם נבחן מהי התגובה נטו שהתרחשה, תוך השמטה של היונים המשקיפים (יונים שלא לקחו חלק בתגובה), נקבל את הניסוח הבא:

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

ניסוח התגובה נטו של תגובת הסתירה יהיה זהה בדרך כלל, כיוון שבכל התמיסות החומציות בסביבה מימית ובכל התמיסות הבסיסיות בסביבה מימית נוכחים יוני הידרוניום ויוני הידרוקסיל (לניסוחי תגובות סתירה מיוחדות נתייחס בנפרד).

שאלות

1. נסחו את תגובת הסתירה בין **התמיסות המימיות** הבאות של החומצות והבסיסים:
   א. בסיס האשלגן, KOH, וחומצה חנקתית, HNO_3.
   ב. בסיס הנתרן, NaOH, וחומצת חומץ, CH_3COOH.
   ג. בסיס המגנזיום, $Mg(OH)_2$, וחומצה גפרתית, H_2SO_4.
   ד. באריום הידרוקסידי, $Ba(OH)_2$, וחומצה חנקתית, HNO_3.
   ה. בסיס הנתרן, NaOH, וחומצת זרחתית, H_3PO_4.



כדי שתתרחש סתירה מלאה בתגובה בין חומצה לבסיס, מספר המולים של $H_3O^+_{(aq)}$ שמקורם בחומצה חייב להיות שווה למספר המולים של יוני ההידרוקסיל, $OH^-_{(aq)}$, שמקורם בבסיס. אם מספר זה אינו שווה, הסתירה אינה מלאה.

טיטרציה היא טכניקת עבודה במעבדה, שבעזרתה ניתן לעקוב בצורה כמותית אחר תגובת סתירה. הקביעה מתי התרחשה תגובת סתירה מלאה נעשית באמצעות שינוי הצבע, האופייני לאינדיקטור שנבחר לטיטרציה.

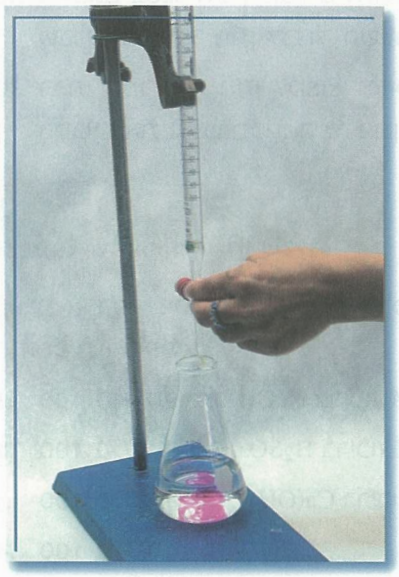
אינדיקטורים לחומצות ובסיסים הם חומצות חלשות (HIn) או בסיסים חלשים ($InOH$) אשר לצורתם המיוננת צבע שונה מזה של צורתם הבלתי מיוננת. לדוגמה, עבור אינדיקטור שהוא חומצה חלשה:

$$HIn_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + In^-_{(aq)}$$

צבע 1 צבע 2

הוספת בסיס מטה את שיווי המשקל לכיוון התוצרים - צבע 2 יהיה שליט, ואילו הוספת חומצה תטה את שיווי המשקל לכיוון המגיבים וצבע 1 יהיה שליט.

ניסוי מס' 12 – קביעת ריכוז החומצה בחומץ



ציוד וחומרים

תמיסת NaOH בריכוז 1M

אינדיקטור פנול פתלאין

חומץ לבן (ביתי)

ביורטה בנפח 50 מ"ל עם מעמד מתאים

משורה בנפח 25 מ"ל

כוס כימית או ארלנמייר בנפח 250 מ"ל

משקפי מגן.

מהלך הניסוי

א. מלאו את הביורטה בתמיסת NaOH.

ב. מדדו בעזרת משורה 20 מ"ל חומץ והעבירו לכוס כימית או לארלנמייר בנפח 250 מ"ל.

ג. הוסיפו 2-3 טיפות של האינדיקטור פנול פתלאין.

ד. טטרו את החומץ בעזרת תמיסת הנתרן ההידרוקסידי עד להופעת צבע ורוד בהיר.

ה. רשמו את נפח הנתרן ההידרוקסידי הדרוש לסתירה מלאה.

ו. חזרו על הטיטרציה פעם נוספת (סעיפים א'-ה').

טיטרציה – שיטת עבודה שמטרתה קבלת מידע כמותי (נפח או ריכוז), על אחד המגיבים בתגובה כימית, תוך התבססות על הסטוכיומטריה של התגובה.

ז. חשבו את הנפח הממוצע המתקבל משתי הבדיקות.

ח. מהו, לדעתכם, החומר הפעיל בחומץ?

ט. נסחו את התגובה המתרחשת בין החומר הפעיל בחומץ ובין תמיסת הנתרן ההידרוקסידי.

י. חשבו את ריכוז יוני ההידרוניום שהגיבו.

יא. מהו ריכוז חומצת החומץ בחומץ הביתי? הסבירו את תשובתכם.

יב. האם ריכוז יוני ההידרוניום שחישבתם בסעיף י' שווה לריכוז יוני ההידרוניום בתמיסת חומצת החומץ שקיבלתם לניסוי? הסבירו.

יג. ריכוז חומצת החומץ הרשום על הבקבוקים המסחריים מבוטא ב-% נפחי (נפח חומצת חומץ ב-100 מ"ל תמיסה). השוו את ריכוז חומצת החומץ שמצאתם בניסוי לזה שרשום על הבקבוק:

1. חשבו את מספר המולים של חומצת חומץ ב-100 מ"ל תמיסה.
2. חשבו את מסת חומצת החומץ ב-100 מ"ל תמיסה.
3. צפיפות של חומצת חומץ היא 1.0492 גר'/מ"ל. היעזרו בנתון זה וחשבו את נפח חומצת החומץ ב-100 מ"ל תמיסה.

יד. בבית ועל מדפי החנויות ניתן למצוא סוגי חומץ שונים: חומץ תפוחים, הדרים, בלסמי, בן יין, אורז וכו'. במה שונים, לדעתכם, סוגי החומץ השונים?

טו. התבוננו בסוגי חומץ נוספים המוזכרים בסעיף י"ד, ושערו האם ריכוז יוני ההידרוניום שבהם זהה לזה שבחומץ שבדקתם. כיצד ניתן לבדוק השערה זו?

טז. בבתי המרקחת ניתן למצוא תרופות נוגדות צרבת. מהו לדעתכם ה-pH של התמיסות של החומרים אלו? הסבירו את תשובתכם. כיצד ניתן יהיה לבדוק את ריכוז החומר הפעיל בתרופה?

שאלה לפי פרון מודרך

בוצעו ארבעה ניסויים במעבדה, שבכל אחד מהם הוסיפו לתמיסת HI שנפחה 100 מ"ל וריכוזה 0.1M את התוספות הבאות:

1. 100 מ"ל תמיסת NaOH בריכוז 0.1M
2. 100 מ"ל תמיסת H_2SO_4 בריכוז 0.1M
3. 100 מ"ל תמיסת $Ca(OH)_2$ בריכוז 0.1M
4. 100 מ"ל מים מזוקקים.

התייחסו לכל אחד מהניסויים וציינו:

1. האם התרחשה תגובה? אם כן, נסחו ניסוח מאוזן לתגובה שהתרחשה.
2. כיצד ישפיע הניסוי על ה-pH של התמיסה המקורית (יעלה, יירד או לא ישתנה)?
3. באיזה תחום יהיה ה-pH בכל אחד מהכלים בתום הניסוי (גדול, קטן או שווה ל-7)?

רגע חושבים

אסטרטגיה לפתרון:

1. מיינו את החומרים בשאלה לחומצות, בסיסים או לכאלה שהם לא חומצה ולא בסיס.
2. נסו לזהות אם בניסויים שבוצעו התרחשה תגובה כימית. תגובה כימית אפשרית אינה בהכרח תגובת חומצה-בסיס. תמיסות חומציות ובסיסיות יכולות להגיב גם בתגובת חמצון-חיזור וגם בתגובות שיקוע.
3. זכרו, ה-pH של התמיסה תלוי בריכוז יוני ההידרוניום, $H_3O^+_{(aq)}$, או בריכוז יוני ההידרוקסיל, $OH^-_{(aq)}$.
4. תגובת סתירה מלאה היא תגובה שבה מספר המולים של יוני ההידרוניום המגיבים, שווה למספר המולים של יוני ההידרוקסיל שמגיבים.
5. שימו לב ליחס בין מספר המולים של יוני ההידרוניום שמתקבל בתמיסה לבין מספר המולים של החומצה. שימו לב גם ליחס בין מספר המולים של יוני ההידרוקסיל המתקבל בתמיסה לבין מספר המולים של הבסיס.
6. בהוספת תמיסה חומצית לתמיסה חומצית אין מתרחשת תגובה כימית, אבל יכול לחול שינוי ב-pH בעקבות שינוי בריכוז יוני ההידרוניום בכלי.
7. כשמוהלים חומצה, ה-pH יעלה אך לעולם לא מעבר ל-7. כשמוהלים בסיס, ה-pH ירד, אך לא מתחת ל-7.

פתרון

ניסוי מספר 1 – הוספת 100 מ"ל תמיסת NaOH בריכוז 0.1M ל-100 מ"ל תמיסת HI בריכוז 0.1M:

1. בניסוי זה התרחשה תגובת סתירה בין יוני ההידרוניום, $H_3O^+_{(aq)}$, המצויים בתמיסת HI, לבין יוני ההידרוקסיל, $OH^-_{(aq)}$, המצויים בתמיסת NaOH.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

2. ה-pH בכלי יעלה. יוני ההידרוניום הקיימים בתמיסת HI מגיבים במהלך הניסוי, ריכוזם יורד ולכן ה-pH יעלה.
3. בתום הניסוי ה-pH בכלי הוא 7. לפי התגובה המוצגת בסעיף א' ניתן לראות שיחסי המולים בין המגיבים הם 1 : 1. מספר המולים של יוני ההידרוניום המשתתפים בתגובה זהה למספר המולים של יוני ההידרוקסיל המשתתפים בתגובה לפי הפירוט הבא:

מכל מול HI מתקבלים מול יוני הידרוניום בתמיסה מימית ולכן מספר המולים של יוני ההידרוניום הוא 0.01 מול.

$$0.1\text{mole/liter (HI)} \times 0.1\text{liter} = 0.01\text{mole(HI)}$$

מכל מול NaOH מתקבלים מול יוני הידרוקסיל בתמיסה מימית ולכן מספר המולים של יוני ההידרוקסיל הוא 0.01 מול.

$$0.1\text{mole/liter (NaOH)} \times 0.1\text{liter} = 0.01\text{mole(NaOH)}$$

ניסוי מספר 2 - הוספת 100 מ"ל תמיסת H_2SO_4 בריכוז 0.1M ל-100 מ"ל תמיסת HI בריכוז 0.1M.

1. בניסוי זה לא התרחשה תגובה מכיוון ששתי התמיסות המשתתפות בניסוי הן תמיסות חומציות המכילות יוני הידרוניום ואניונים מתאימים.
2. ה-pH בכלי ירד מכיוון שבעקבות הניסוי ריכוז יוני ההידרוניום עולה. ריכוז יוני ההידרוניום בתמיסה המקורית הוא 0.1 mole/liter ואילו ריכוז יוני ההידרוניום בתמיסת H_2SO_4 הוא 0.2 mole/liter מכיוון שבתמיסה מתקבלים 2 מול יוני הידרוניום מכל מול חומצה על פי הניסוח הבא:

$$H_2SO_4 + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_3O^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

ריכוז יוני ההידרוניום בכלי בתום הניסוי יהיה: 0.15 mole/liter לפי החישוב הבא:

$$\frac{(0.01 + 0.02)\text{mole}}{0.2\,\text{liter}} = 0.15\,\text{mole/liter} = 0.15\text{M}$$

3. בתום הניסוי ה-pH בכלי קטן מ-7. תמיסת HI היא תמיסה חומצית שבה ריכוז יוני ההידרוניום גבוה מ-10^{-7} mole/liter, ולכן ה-pH קטן מ-7. הוספה של תמיסת H_2SO_4 גרמה לעלייה בריכוז יוני ההידרונים ולירידה ב-pH.

ניסוי מספר 3 – הוספת 100 מ"ל תמיסת $Ca(OH)_2$ בריכוז 0.1M ל-100 מ"ל תמיסת HI בריכוז 0.1M.

1. בניסוי זה התרחשה תגובת סתירה בין יוני ההידרוניום, $H_3O^+{}_{(aq)}$ המצויים בתמיסת HI לבין יוני ההידרוקסיל, $OH^-{}_{(aq)}$ המצויים בתמיסת $Ca(OH)_2$.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

2. ה-pH בכלי יעלה. יוני ההידרוניום הקיימים בתמיסת HI מגיבים במהלך הניסוי, ריכוזם יורד ולכן ה-pH יעלה.
3. בתום הניסוי ה-pH בכלי גדול מ-7, מכיוון שבכלי נשארים יוני הידרוקסיל שלא הגיבו.

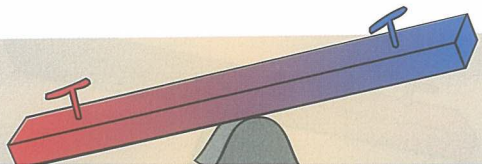
מספר המולים של יוני ההידרוניום הוא: 0.01 מול.

מספר המולים של יוני ההידרוקסיל הוא: 0.02 מול, מכיוון שמכל מול סידן הידרוקסידי מתקבלים 2 מול יוני הידרוקסיל על פי הניסוח הבא:

$$Ca(OH)_{2(s)} \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^{1-}{}_{(aq)}$$

ניסוי מספר 4 – הוספת 100 מ"ל מים מזוקקים ל-100 מ"ל תמיסת HI בריכוז 0.1M.

1. בניסוי זה לא התרחשה תגובה. המים שהוספו לכלי מהלו את תמיסת ה-HI אך לא הגיבו אתה.
2. ה-pH בכלי יעלה. כתוצאה מהוספת המים, יירד ריכוז יוני ההידרונים בכלי, וה-pH יעלה.
3. בתום הניסוי ה-pH בכלי קטן מ-7, מכיוון שהתמיסה מכילה יוני הידרוניום בריכוז גבוה מ-10^{-7} mole/liter.



תמיסות מגן – בופרים

כיצד תסבירו את התוצאות של המדידות הבאות?

	התמיסה	pH
א.	10 מ"ל CH_3COOH 0.2M	2.72
ב.	10 מ"ל CH_3COOH 0.2M + 10 מ"ל מים	2.87
ג.	10 מ"ל CH_3COOH 0.2M + 10 מ"ל CH_3COONa 0.2M	4.74

סעיף ג' בטבלה מתאר מערכת המכילה חומצה חלשה ומלח קל-תמס המכיל את הבסיס הצמוד לחומצה. נתאר מערכת זו בניסוח הכללי הבא:

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

$$NaA_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

ריכוז גבוה של $A^-_{(aq)}$ שמקורו בעיקר במלח קל התמס, "מדכא" את היינון של החומצה. ריכוז היונים בתמיסה שמקורם ביינון החומצה נמוך יותר יחסית לריכוז היונים בתמיסה של חומצה המתיינת במים בלבד. הראיה לכך היא ה-pH הגבוה יחסית במערכת המכילה את החומצה ואת הבסיס הצמוד לה. תופעה זו נקראת **אפקט יון משותף.**

ניסוי מס' 13 – בופר

ציוד וחומרים

8 כוסות כימיות בנפח 100 מ"ל מסומנות במספרים 1-8

מים מזוקקים

תמיסת HCl בריכוז 1M

תמיסת NaOH בריכוז 1M

תמיסת מי כרוב אדום

נייר pH

תמיסת בופר שהוכנה מ-110 מ"ל תמיסת חומצת חומץ CH_3COOH בריכוז 0.1M ו-90 מ"ל תמיסת נתרן אצטט CH_3COONa בריכוז 0.1M

8 מקלות זכוכית

משורה בנפח 50 מ"ל

משורה בנפח 2 מ"ל

משקפי מגן.

מהלך העבודה

א. לתוך כוסות 1, 3, 5 ו-7 שפכו כ-50 מ"ל מים מזוקקים, ולתוך כוסות 2, 4, 6 ו-8 שפכו כ-50 מ"ל תמיסת בופר.

ב. לכוסות 1-4 הוסיפו כ-2 מ"ל תמיסת מי כרוב אדום, ורשמו בטבלה את הצבע בכל כוס.

ג. בכוסות 5-8 בדקו את ה-pH, ורשמו אותו בטבלה כתצפית ראשונית.

ד. הוסיפו חומרים לכוסות הניסוי כמפורט בטבלה הבאה.

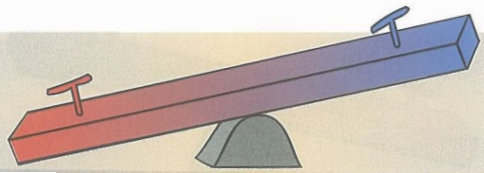
ה. בכוסות 1-4 התייחסו לשינוי הצבע, ובכוסות 5-8, בדקו את ה-pH.

	תכולה ראשונית	תצפיות ראשוניות	הוספה	תצפיות לאחר הוספה
1.	50 מ"ל מים מזוקקים + 2 מ"ל מי כרוב אדום		10 טיפות תמיסת HCl	
2.	50 מ"ל תמיסת בופר + 2 מ"ל מי כרוב אדום		10 טיפות תמיסת HCl	
3.	50 מ"ל מים מזוקקים + 2 מ"ל מי כרוב אדום		10 טיפות תמיסת NaOH	
4.	50 מ"ל תמיסת בופר + 2 מ"ל מי כרוב אדום		10 טיפות תמיסת NaOH	
5.	50 מ"ל מים מזוקקים		10 טיפות תמיסת HCl	
6.	50 מ"ל תמיסת בופר		10 טיפות תמיסת HCl	
7.	50 מ"ל מים מזוקקים		10 טיפות תמיסת NaOH	
8.	50 מ"ל תמיסת בופר		10 טיפות תמיסת NaOH	

ו. מה, לדעתכם, יקרה ל- pH אם נוסיף לכוסות 5-8 עוד מספר טיפות של חומצה או בסיס בהתאמה, ונחזור על פעולה זו מספר פעמים?

ז. מה, לדעתכם, יקרה ל-pH אם נוסיף לכוס 6 כמות ניכרת של חומצה ולכוס 8 כמות ניכרת של בסיס?

תוצאות הניסוי מצביעות על כך ששינוי ה-pH היה מזערי בתמיסה המכילה חומצה חלשה ומלח המכיל את הבסיס הצמוד לחומצה ($CH_3COOH+CH_3COONa$), לעומת שינוי ה-pH של התמיסות האחרות. תמיסה אשר שינוי ה-pH שלה הוא מזערי כתוצאה מהוספת חומצה או בסיס או כתוצאה ממיהול במים, נקראת **תמיסת מגן** – **תמיסת בופר** (תמיסה מתריסה).



כיצד פועלת תמיסת בופר?

הרכבה של תמיסת בופר הוא בדרך כלל חומצה חלשה ומלח המכיל את הבסיס הצמוד אליה, או בסיס חלש ומלח המכיל את החומצה הצמודה אליו.

נתונה מערכת הבופר הבאה:

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

$$NaA_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

נבחן תוספות שונות לתמיסת הבופר.

א. הוספת חומצה – $H_3O^+_{(aq)}$ למערכת הבופר:

יוני ההידרוניום **ינוטרלו** על-ידי יוני $A^-_{(aq)}$ הקיימים בתמיסה בעודף לפי הניסוח הבא:

$$H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)} \rightleftarrows HA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

ולכן לא יהיה שינוי משמעותי בריכוז יוני ההידרוניום – $H_3O^+_{(aq)}$ ובהתאם לכך בדרגת ה-pH.

ב. הוספת בסיס – $OH^-_{(aq)}$ למערכת הבופר:

יוני ה-$OH^-_{(aq)}$ **ינוטרלו** על-ידי יוני ההידרוניום.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

תגובה זו תגרור אחריה פירוק נוסף של החומצה הבלתי מיוננת – $HA_{(aq)}$ ליונים, אשר יפצה על הירידה בריכוז יוני ההידרוניום (עקרון לה-שטליה).

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

יכולת ההגנה של בופר מוגבלת. אם נוסיף כמות גדולה מאוד של חומצה או בסיס, יחול שינוי ב-pH למרות התכונות המיוחדות של הבופר שהזכרנו.

לסיכום, מערכת הבופר כוללת שני מרכיבים עיקריים המגנים מפני שינוי גדול ב-pH, האחד $A^-_{(aq)}$ המגיב עם חומצה, והשני $HA_{(aq)}$ המתיינן בתגובה להוספת בסיס.

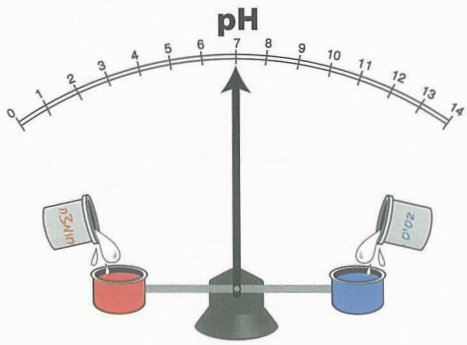
מאפיינים של בופר:

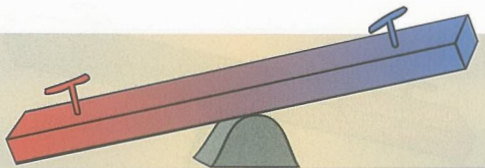
תחום ה-pH שבו הוא פועל, תלוי ב-Ka של החומצה וכן ביחס הריכוזים $A^-_{(aq)} / HA_{(aq)}$;

יכולת ההגנה של הבופר – קיבול הבופר – תלויה בכמות מרכיבי הבופר.

הנוסחה הבאה, הנקראת משוואת הנדרסון הסלבלך, מאפשרת לחשב את ה-pH של בופר.

$$pH = pKa + \log A^-_{(aq)} / HA_{(aq)}.$$





נחזור לקטע המידע בדבר מאזן חומצי-בסיסי בגוף הפותח את הפרק. לגה יש באפשרותנו לתת הסבר, לו חלקי, לדרך שבה שמירה על מאזן זה מתבצעת.

בגוף האדם פועלות כמה מערכות בופר. המערכת הביקרית השומרת על טווח צר של pH בדם (7.45-7.35) נקראת מערכת הביקרבונאט, H_2CO_3 / HCO_3^-, והיא כוללת כמה תגובות הפיכות המושפעות זו מזו.

1. תגובת ההמסה של פחמן-דו-חמצני גזי:

$$CO_{2(g)} \rightleftarrows CO_{2(aq)}$$

2. תגובה בין הפחמן-הדו-חמצני המומס ובין המים ליצירת חומצה פחמתית:

$$CO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_2CO_{3(aq)}$$

3. תגובת יינון של החומצה הפחמתית:

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

כאשר יש תוספת יוני היידרוקסיד - $OH^-_{(aq)}$ לדם, יוני ההידרוניום מגיבים אתם ומגדרים הטייה שיווי-המשקל של תגובת היינון של החומצה הפחמתית (לקרון לה-שטליה), ליצירת יוני היידרוניום. כך השינוי ב-pH מינימלי.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

כאשר יש תוספת של יוני היידרוניום – $H_3O^+_{(aq)}$ לדם, היונים הבסיסיים, יוני $HCO_3^-{}_{(aq)}$, מנטרלים אותם:

$$H_3O^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \rightleftarrows H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$

בתנאי תפקוד נורמלי של הגוף, הדם נחשף יותר לחומצות מאשר לבסיס, לכן התגובה האחרונה מתרחשת בשכיחות גבוהה. התגובה איננה מהווה שום סופי בשמירת המאזן החומצי-בסיסי, כי יש דרך לשחרר את הפחמן הדו חמצני המומס דרך הריאות ולהחזיר לדם את יוני ה- $HCO_3^-{}_{(aq)}$ שהגיבו, ובאות בלצרת הכליות. ניתן לסכם את תפקוד מערכת הביקרבונאט על-ידי האיור הבא:

חמצת ובססת – הרחבה

לעתים מערכות הבופר בגוף אינן עומדות בעומס ההגנה על ייצוב ה-pH. במצבים אלו ה-pH בדם אינו נשאר בתחום הנורמלי 7.35-7.45. כאשר ה-pH יורד מתחת לתחום הנורמלי, התופעה נקראת **חמצת** (acidosis), וכאשר הוא עולה – **בססת** (alkalosis). כמו כל חריגה בגוף מערכים נורמליים, גם אצידוזיס ואלקלוזיס גורמים למצבים המסכנים את הבריאות. אצידוזיס גורם לדיכוי מערכת העצבים המביא לעילפון, ובמצבים קיצוניים אף לתרדמת (coma). אלקלוזיס, גורם לגירוי יתר של מערכת העצבים המתבטא בהתכווצויות שרירים. אם האצידוזיס והאלקלוזיס נמשכים זמן רב, או שהחריגה מהערכים הנורמלים גדולה מאוד, הם עלולים לגרום למוות.

הגורמים לאצידוזיס

א. היפו-ונטילציה (תת-אוורור) – קשיי נשימה וסתימה בדרכי הנשימה בגלל דלקות, אסטמה ומחלות אחרות. מצב כזה מקטין את כמות ה-CO_2 היוצאת מהגוף דרך הריאות. ה-pH של הדם יורד מאחר שה-CO_2 נשאר בדם ומוריד את היחס $[HCO_3^-]/[H_2CO_3]$.

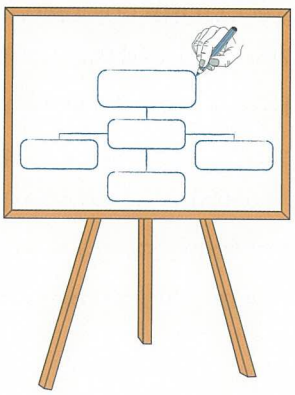
ב. גורמים מטבוליים – רעב, צום ממושך, דיאטות קיצוניות, פעילות מוגברת ומחלות. כאשר הגוף אינו מקבל מספיק מזון הוא מחמצן שומנים האגורים בו, תהליך שתוצריו החומציים חודרים לדם. מאמץ גופני מוגבר גורם, כידוע לכם, להיווצרות חומצת חלב בשרירים, שגם היא חודרת לדם ומורידה את ה-pH. גם מחלות, כמו סוכרת, הגורמים להיווצרות גופים קטוניים עלולים לגרום לאצידוזיס.

הגורמים לאלקלוזיס

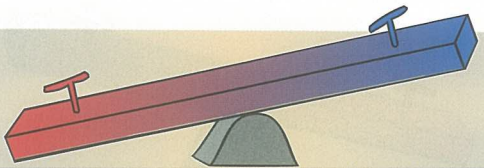
א. היפר-ונטילציה (אוורור יתר) – נשימה מהירה ועמוקה המופיעה במצבים של חום, דלקת, היסטריה ונטילת סמים מסוימים. זהו מצב הפוך לזה הקיים באצידוזיס הנשימתי. אובדן מואץ של CO_2 גורם לעלייה ביחס $[HCO_3^-]/[H_2CO_3]$, וכתוצאה מכך ה-pH עולה.

ב. גורמים מטבוליים – אלקלוזיס נגרם בעיקר על ידי מחלות. הקאות מרובות הגורמות לאובדן חומרים חומציים מהקיבה, שה-pH בה הוא 1.0-3.0, גורמות גם הן לעליית ה – pH בדם.

מפת המושגים



1. הכינו מאגר מושגים מתוך הפרק.
2. בנו מפת מושגים המקשרת בין המושגים במאגר.
3. רשמו מילות קישור מתאימות בין המושגים.
4. הוסיפו דוגמאות במידת האפשר.



פעילות בקבוצות

לקראת הפעילויות הבאות הכיתה תתחלק לקבוצות. כל קבוצה תקבל מטלה הדורשת הבנה ויישום של המושגים הבסיסיים בנושא חומצות ובסיסים שלמדתם בפרק. כמו כן, הקבוצה תרחיב ותעמיק את הידע שלה בנושא, אגב ניתוח וחקירה של עולם החומרים בתוכנו וסביבנו.

קבוצה א' – "מסע בהרי הרוקי" – על רוק, שיניים ועששת.

קבוצה ב' – אספירין ומשככי כאבים נוספים.

קבוצה ג' – אבקת אפייה – כימיה במטבח.

כל קבוצה תגיש דוח מקיף למשימה הכולל:

1. דוח ניסוי בתוספת תשובות לשאלות המלוות.
2. מפת מושגים מתאימה לפעילות.
3. תקציר הפעילות.
4. רשימת מקורות.

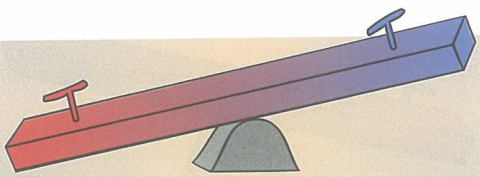
כל קבוצה תציג את עיקרי עבודתה בפני מליאת הכיתה.

קבוצה א: "מסע בהרי הרוקי" – על רוק, שיניים ועששת

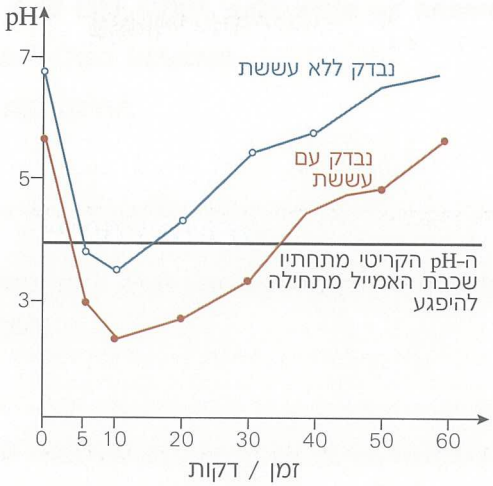
היכנסו לאתר המלווה את הספר שכתובתו: http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/chemin בחרו בדף הקישורים פרק ד' - השפעה של לעיסת מסטיק על רמת החומציות בפה, מאת נעמי חרמוני, וקראו את המאמר.

שאלות

1. האם נתקלתם בפרסומות נוספות העוסקות ב-pH? אם כן, מהן? תארו אותן בקצרה.
2. החומר הידרוקסיאפטיט, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, הוא מרכיב מרכזי באמייל השן. ציינו אם הוא חומר יוני או מולקולרי ואם הוא מתמוסס במים. נמקו את תשובתכם.
3. כיצד משפיעים החיידקים על שינוי ה-pH בפה? הסבירו את תשובתכם וציינו איזה חומר גורם לשינוי.
4. האם פגשתם בלימודיכם בעבר תהליך דומה לזה שמתרחש על-ידי החיידקים ושהוסבר על ידכם בשאלה הקודמת? אם כן, היכן הוא מתרחש?
5. התייחסו לתגובה של הידרוקסיאפטיט בסביבה חומצית וציינו אילו חומרים הם חומצות ואילו בסיסים.
6. האם אנרגיית השפעול של התהליך המתואר בשאלה הקודמת היא גבוהה או נמוכה? הסבירו את קביעתכם.



7. לפניכם גרף המתאר את רמת ה-pH בפיו של אדם עם עששת ובפיו של אדם ללא עששת. ציר X בגרף מתאר את הזמן בדקות לאחר שטיפת הפה בתמיסת גלוקוז.



תארו את הגרף במילים והסבירו את הדמיון והשוני בין נבדק עם עששת ובין נבדק ללא עששת.

8. הפרשה של רוק לחלל הפה בתהליך לעיסה מורידה את רמת החומציות בפה. נסחו תגובה מתאימה.

התייחסו לעבודת החקר המתוארת במאמר:

1. בעבודה מופיעות שתי שאלות חקר, לגבי כל אחת מהן ציינו מהו המשתנה הבלתי תלוי ומהו המשתנה התלוי.
2. הכינו בסיס מדעי לכל אחת מההשערות המופיעות בקטע.
3. הסבירו כיצד שלבי הניסוי המתואר בודקים את שאלות החקר.
4. הביעו את דעתכם – האם יש אמת בפרסום של מסטיק "אורביט"?

שלב החקר

1. אילו שאלות נוספות מתעוררות בקבוצה בעקבות קריאת המאמר? בחרו 5 שאלות לפחות.
2. בחרו שתי שאלות מתוך השאלות ששאלתם ונסחו אותן כשאלות חקר.
3. נסחו לכל אחת מהשאלות השערה מנומקת. חפשו במקורות מידע נוספים במידת הצורך.
4. תכננו ניסוי מתאים הבודק את שאלות החקר שלכם והכינו רשימה מתאימה של ציוד וחומרים.
5. קבלו את אישור המורה ובצעו את הניסוי.
6. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר.
7. ארגנו את התוצאות, פרשו ונתחו אותן.
8. הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר מכל התהליך שעברתם.
9. בעקבות כל מה שלמדתם עד עתה, ציינו חומר/חומרים שמהם הייתם מרכיבים שן מלאכותית עמידה בפני עששת.

לסיכום:

א. הכינו דוח הכולל את כל שלבי העבודה, הקפידו על דוח מאורגן ואסתטי והשתמשו בשפה מדעית.

ב. הכינו תקציר לעבודה הכולל בסיס מדעי רלוונטי, עיבוד וניתוח של התוצאות והמסקנות.

ג. הכינו מפת מושגים מתאימה לפעילות שביצעתם.

ד. הכינו את עבודתכם להצגה בפני הכיתה.

קבוצה ב': אבקת אפייה — כימיה במטבח

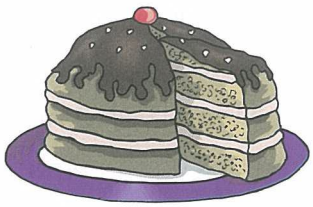
חומצות ובסיסים הם חומרים שאותם ניתן לפגוש בחיי היום-יום בתחומים שונים. פעילות זו תתרכז באבקת אפייה כנציגת החומצות והבסיסים במטבח.

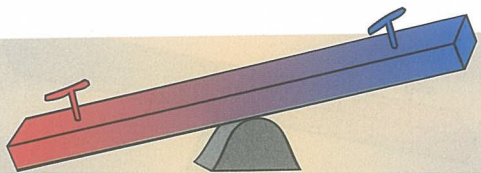
חלק א'

1. הסתכלו על רשימת החומרים המופיעים על האריזה של אבקת האפייה הביתית.
2. קראו בספר את הקטע העוסק ב-pH ותכננו ניסוי שבעזרתו תוכלו למיין את החומרים שבאבקת האפייה לחומצות, לבסיסים או לכאלה שאינם חומצות או בסיסים.
3. הזמינו מהמורה או מהלבורנט/ית ציוד וחומרים על-פי רשימה מתאימה.
4. קבלו את אישור המורה לניסוי שתכננתם ובצעו את הניסוי.
5. חפשו במקורות מידע שונים והכינו קטע מידע על אבקת אפייה כמתפיח בצק, כולל ניסוח תהליכים מתאימים.

שמרים מסייעים גם הם בתפיחה של בצק. בפרק ג' בספר יש התייחסות לשמרים ולנשימת שמרים.

6. היעזרו בספר, או בכל מקור מידע אחר, ותכננו ניסוי שבעזרתו תוכלו להשוות בין כושר התפיחה של אבקת אפייה ובין זה של שמרים.
7. הגישו למורה וללבורנט/ית תכנון ניסוי מפורט ורשימה מתאימה של ציוד וחומרים.
8. קבלו את אישור המורה ובצעו את הניסוי שתכננתם.
9. רשמו תצפיות רבות ככל האפשר וארגנו אותן.
10. פרשו ונתחו את התוצאות.
12. הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר.
13. נסו לברר כיצד בוחרים את סוג המתפיח לבצק.





חלק ב'

ניסוי הצימוקים

שימו לב: יש להרכיב משקפי מגן ולהשתמש בכפפות!

הוראות כלליות

- קראו היטב את כל ההנחיות לפני תחילת הניסוי.
- ודאו שנמצאים ברשותכם כל הציוד והחומרים הנחוצים לביצוע הניסוי.

כלים וחומרים

15 צימוקים קטנים

כוס בנפח 600 מ"ל

כ- 50 מ"ל תמיסת חומץ בריכוז 5%

כפית

אבקת $NaHCO_3$

מקל זכוכית

משטפת מים.

שלב א': מהלך הניסוי

א. צקו מים עד לגובה של $\frac{3}{4}$ הכוס.

ב. הוסיפו כפית אחת אבקת $NaHCO_3$. **אל תערבבו.**

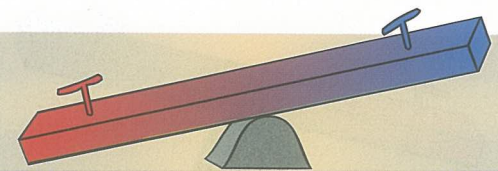
ג. הכניסו לכוס 15 צימוקים. **אל תערבבו.**

ד. הוסיפו כ-30 מ"ל תמיסת חומץ בריכוז של 5% **וערבבו קלות.**

ה. צפו במערכת במשך כ-10 דקות. תארו תצפיותיכם כל שתי דקות.

שלב ב': מהלך החקר

1. נסחו 5 שאלות רלוונטיות ומגוונות שמתעוררות בעקבות התצפיות שנערכו.
   - בחרו שאלה אחת מהשאלות שהעליתם ושברצונכם לחקור.
   - נסחו שאלה זאת כשאלת חקר, בצורה בהירה ובמידת האפשר כקשר בין שני משתנים.
   - נסחו בצורה בהירה ועניינית השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם לחקור.
   - נמקו את השערתכם על בסיס ידע מדעי, רלוונטי ונכון.
2. תכננו ניסוי שיבדוק את השערתכם.
   - פרטו את כל שלבי הניסוי, כולל שלב הבקרה.
   - פרטו את בקשתכם לציוד וחומרים על גבי טופס בקשת הציוד.
   - התייעצו במורה ושנו את תכנון הניסוי במידת הצורך.



- העבירו ללבורנט/ית את רשימת הציוד והחומרים.

3. **קבלו את אישור המורה** למהלך הניסוי שהצעתם.

- בצעו את הניסוי שהצעתם כפי שאושר על ידי המורה.
- הציגו את התצפיות והתוצאות בצורה מאורגנת (טבלה, תרשים, גרף).
- פרשו ונתחו את התוצאות.
- הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר על בסיס כל תוצאות הניסויים ונמקו.
- בדקו את הקשר בין שאלת החקר לבין המסקנות.

חלק ג'

- אבקת סודה לשתייה, $NaHCO_3$, היא חומר ביתי המשמש גם להתפחת בצק וגם להקלה של תחושת צרבת. הסבירו כיצד אבקת סודה לשתייה מתאימה לתפקידים שמייעדים לה.
- האופים ממליצים להתפיח בעזרת סודה לשתייה רק בצקים שיש בהם מיץ תפוזים או לימון, ובצקים אחרים – באבקת אפייה או בשמרים. מה דעתכם?

לסיכום:

א. הכינו דוח הכולל את כל שלבי העבודה. הקפידו על דוח מאורגן, אסתטי והשתמשו בשפה מדעית.

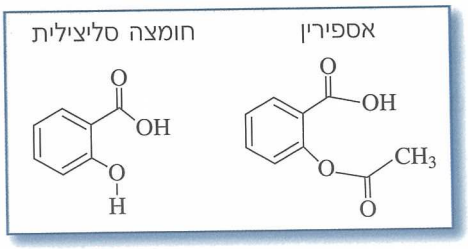
ב. הכינו תקציר לעבודה הכולל בסיס מדעי רלוונטי, עיבוד וניתוח של התוצאות והמסקנות.

ג. הכינו מפת מושגים מתאימה לפעילות שביצעתם.

ד. הכינו את עבודתכם להצגה בפני הכיתה.

קבוצה ג': אספירין ומשككי כאבים אחרים

התרופות הנפוצות ביותר שנמכרות ללא מרשם רופא משמשות לשיכוך כאבים, והמוכרת שבהן היא אצטיל חומצה סליצילית, או בשמה הידוע יותר – אספירין. אספירין מוריד חום, מקל על כאבים ודלקות ובנוסף מקטין את הסכנה ללקות בהתקפי לב.



לאספירין היסטוריה מעניינת שהתחילה לפני שנים רבות. כבר בשנות ה-200 לפנה"ס המליץ הרופא היווני היפוקרטס על מרקחת של עלי עץ הערבה כחומר מוריד חום ומקל על כאבים. לימים הסתבר שהערבה מכילה חומצה סליצילית. Salix הוא השם הלטיני של עץ הערבה, ומכאן שם החומר הפעיל שבו. במאה ה-19 זיהו והפיקו

את החומצה הסליצילית מצמח נוסף שהיה ידוע ברפואה העממית.

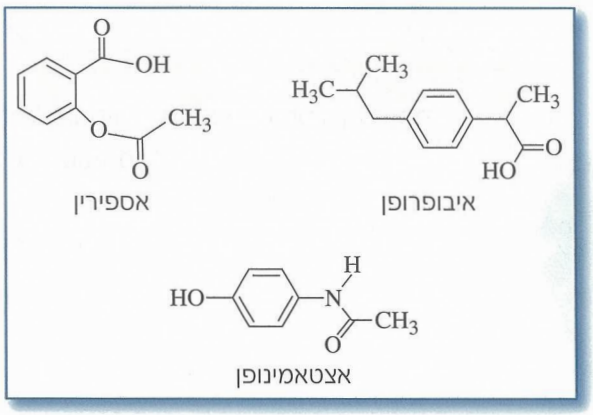
איסטור היא תגובת דחיסה המתרחשת בין קבוצה קרבוקסילית וקבוצה כוהלית, תוך יציאת מולקולת מים.

החומצה הסליצילית אכן פעלה בהורדת חום ובהפחתת כאבים ודלקות, אולם גרמה לגירויים בפה ובוושט. תופעות לוואי אלו הביאו את הכימאים לבצע שינויים במולקולה. בסוף המאה ה-19 סנתז פליקס הופמן, כימאי גרמני, את האצטיל חומצה סליצילית שקיבלה את השם המסחרי אספירין. חומר זה לא גרם לתופעות הלוואי הקשות במערכת העיכול כמו החומצה הסליצילית עצמה. התגובה שבה נוצר האספירין מהחומצה הסליצילית היא תגובת דחיסה הנקראת **איסטור**. כיום קיימות בעולם כ-200 תרופות המכילות אספירין והנושאות שמות שונים.

עץ ערבה

כאב, חום ודלקת הם איתותים לאדם הלוקה בהם כי משהו בגופו איננו תקין. התופעות הללו נגרמות בגוף על ידי קבוצת חומרים הנקראים פרוסטאגלנדינים (Prostaglandines). כל הפרוסטאגלנדינים נוצרים מחומר מוצא אחד – חומצה שומנית רב-לא-רוויה. האספירין מונע את התרחשות השלב הראשון בסינתזה של הפרוסטאגלנדינים על ידי כך שהוא מעכב את פעולת האנזים המזרז את השלב הזה. בכך מונע האספירין כאבים, חום ודלקות מסוגים שונים בגוף.

במהלך השנים פותחו תחליפים לאספירין שהידועים שביניהם הם איבופרופן (Ibuprofen) ואצטאמינופן (Acetaminophen). תרופות אלה מפסיקות גם הן את יצירת הפרוסטאגלנדינים, אולם בשלב מתקדם יותר מאשר האספירין. אין בכך כדי לפגום בפעילותם כמשככי כאבים, אך אין הם מגנים כמו האספירין מפני קרישת דם הגורמת להתקפי לב.



אמנם האספירין פוגע בקיבה ובוושט פחות מאשר חומצה סליצילית, אולם בגלל הקבוצה הקרבוקסילית הוא עשוי בכל זאת לגרום לגירוי באיברים אלו. כדי להתגבר על כך, פותחו שני סוגים של גלולות המקטינות את הפגיעה בקיבה. אחת מהן היא אספירין בתוספת בסיס חלש, והשנייה מצופה בחומר המתמוסס רק במעי הדק, וכך נמנע המגע של אספירין עם הקיבה.

שאלות

1. ערכו רשימת מושגים חדשים, המופיעים בקטע המידע, והגדירו או הסבירו כל אחד מהם בעזרת מקורות מידע שונים.
2. בדקו את נוסחת המבנה של החומצה הסליצילית. אילו קבוצות פונקציונליות ניתן לזהות?
3. א. לו הייתם הכימאים במאה ה-19, איזו קבוצה פונקציונלית הייתם משנים כדי שלא תיגרם אי הנעימות במערכת העיכול? נמקו.
   ב. האמנם זו הקבוצה ששונתה?
4. אספירין המאוחסן תקופה ממושכת מעלה עם הזמן ריח של חומצת חומץ.
   א. כיצד ניתן להסביר את הופעת הריח?
   ב. האם היכולת של האספירין לשכך כאבים פוחתת עם הופעת הריח? נמקו.
5. א. זהו ורשמו את המאפיינים הזהים במבנה של שלושת משככי הכאבים המופיעים בקטע.
   ב. האם כל שלוש התרופות הן חומצות?
   ג. על איזו מבין שלוש התרופות לשיכוך כאבים הייתם ממליצים לאדם בעל רגישות בקיבה?
6. הטבעת הבנזנית (מולקולה טבעתית שנוסחתה: C_6H_6) היא הידרופובית, וכך גם המרכיב העיקרי של קרומי התאים בגוף. שערו איזה תפקיד יש לטבעת במולקולה של התרופות הללו.

ניסוי אספירין

חומרים וכלים

3 סוגי אספירין – אספירין רגיל, אספירין עם בופר ואספירין מצופה
10 כוסות כימיות ממוספרות של 200 מ"ל
600 מ"ל מים מזוקקים
300 מ"ל תמיסת סודה לשתייה 5%
300 מ"ל חומץ 5%
נייר pH
מקפי מגן.

חלק א

1. לתוך כל אחת מהכוסות 1-3 הכניסו 100 מ"ל מים.
2. הכניסו לכוס מספר 1 טבלית של אספירין רגיל, למספר 2 – אספירין עם בופר ולכוס מספר 3 – אספירין מצופה.
3. חזרו על הסעיפים א-ג, אך במקום מים השתמשו בחומץ. בצעו את הניסוי בכוסות מספר 4-6.
4. חזרו על הסעיפים א-ג, אך במקום מים השתמשו בתמיסת סודה לשתייה. בצעו את הניסוי בכוסות מספר 7-9.

5. צפו במתרחש, העתיקו את הטבלה הבאה למחברתכם ורשמו כל 15 דקות את תצפיותיכם, עד להתייצבות.

טבלת תצפיות — התנהגות אספירין בממסים שונים

מס' כוס	סוג הממס	זמן / תכולה	0	5 ד'	10 ד'	15 ד'	30 ד'	60 ד'
.1	מים מזוקקים	אספירין						
.2	מים מזוקקים	אספירין עם בופר						
.3	מים מזוקקים	אספירין מצופה						
.4	חומץ	אספירין						
.5	חומץ	אספירין עם בופר						
.6	חומץ	אספירין מצופה						
.7	סודה לשתייה	אספירין						
.8	סודה לשתייה	אספירין עם בופר						
.9	סודה לשתייה	אספירין מצופה						
.10	מים מזוקקים	----------	------	------	------	------	------	------;

שאלות

1. מה המטרה של הכנסת טבליות האספירין השונות לשלושה ממיסים שונים?
2. באילו הבדלים צפיתם, אם בכלל, בהתנהגות הטבליות השונות עם מים, עם חומץ ועם תמיסה של סודה לשתייה?
3. ה-pH בקיבה הוא חומצי, ואילו במעי הדק הוא בסיסי. התבססו על תצפיותיכם וענו על השאלות הבאות:
   א. איזה סוג אספירין מתמוסס בקיבה ואיזה במעי הדק?
   ב. איזה סוג אספירין מומלץ למי שסובל מרגישות בקיבה? נמקו.

חלק ב

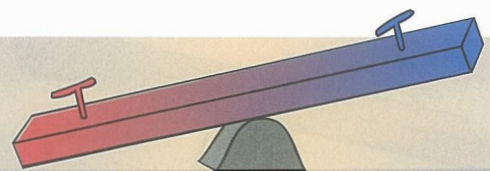
לאחר התייצבות מערכת הניסוי, בדקו את ה-pH בעזרת נייר pH בשלוש הכוסות שבהן המסתם טבליות במים (כוסות מספר 1-3).

בדקו את ה-pH בכוס מספר 10 המכילה מים מזוקקים בלבד.

רשמו את התוצאות.

שאלות

1. מה ניתן להסיק מהבדיקה שנערכה על שלושת סוגי האספירין?
2. האם מסקנותיכם תואמות את תצפיותיכם בשלב א' של הניסוי?
3. כיצד ניתן להסביר את ההבדלים?



חלק ג

חומרים וכלים

טבליות משלושת סוגי האספירין

חומצה סליצילית

אצטאמינופן (אקמול, דקסמול, תילנול או פאראמול)

תמיסת $FeCl_3$ 1%

5 מבחנות

מקלות זכוכית

משקפי מגן.

אספירין — חץ זמן

1500 לפנה"ס – במצרים משתמשים בעלים כתושים של צמח המכיל חומצה סליצילית.

200 לפנה"ס – ביוון היפוקרטס משתמש בקליפת עץ הערבה לשיכוך כאבים.

200 לספירה – ברומא רופאים מדווחים על שימוש בעלי ערבה.

בימי הביניים – אין שימוש בעץ הערבה לשיכוך כאבים.

1763 – רופא אנגלי מחדש את השימוש בקליפת הערבה.

1828 – בגרמניה החומצה הסליצילית מבודדת מקליפת עץ הערבה (Salix).

1874 – בגרמניה החומצה הסליצילית מיוצרת לראשונה באופן תעשייתי.

1897 – מיוצרת החומצה האצטיל סליצילית ונקראת אספירין.

מהלך העבודה

2. סמנו את המבחנות במספרים 1-5. הכניסו לתוך כל אחת מהמבחנות טבלית או אבקה אחרת ורשמו בטבלה.
3. הוסיפו לכל מבחנה 2-3 מ"ל תמיסת $FeCl_3$ 1%. צפו במתרחש ורשמו את תצפיותיכם בטבלה.

מספר מבחנה	טבלית או אבקה	תצפיות לאחר הוספת $FeCl_3$ 1%
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

שאלות

$FeCl_3$ הוא אינדיקטור שבעזרתו ניתן לזהות, בין היתר, חומצה סליצילית.

1. מה תפקיד הבדיקה של המבחנה המכילה חומצה סליצילית?
2. נסו להסביר את תצפיותיכם.
3. עיינו בדף המידע המצורף לתרופות משככות הכאבים וציינו מהו החומר הפעיל בכל אחת מהן? חפשו מידע על החומר הפעיל. ציינו קבוצות פונקציונליות בחומר הפעיל והתייחסו למשותף ולשונה בין חומרים פעילים שונים.

לסיכום

א. הכינו דוח הכולל את כל שלבי העבודה, הקפידו על דוח מאורגן ואסתטי והשתמשו בשפה מדעית.

ב. הכינו תקציר לעבודה הכולל בסיס מדעי רלוונטי, עיבוד וניתוח של התוצאות והמסקנות.

ג. הכינו מפת מושגים מתאימה לפעילות שביצעתם.

ד. הכינו את עבודתכם להצגה בפני הכיתה.

שאלות לסיכום לפרק ד'

1. מיינו את החומרים הבאים לחומצות ובסיסים ונסחו תהליכים מתאימים בסביבה מימית:

CH_3CH_2COOH , $RbOH$, HF , H_2SO_4 , CaO , $Mg(OH)_2$, H_3PO_4 , CH_3NH_2 , $HClO_4$, NH_3 , KOH.

2. לפניכם רשימה של תהליכים. ציינו לגבי כל אחד מהתהליכים את סוג התגובה: חומצה-בסיס, חמצון-חיזור, וקבעו מהי החומצה ומהו הבסיס, מהו המחמצן ומהו המחזר בהתאמה.

$$NH_{3(g)}+H_2O_{(l)} \rightarrow NH_4^+{}_{(aq)}+OH^-{}_{(aq)}$$

$$2NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)}+3H_{2(g)}$$

$$Ba^{+2}{}_{(aq)}+2OH^-{}_{(aq)}+2H_3O^+{}_{(aq)}+SO_4^{-2} \rightarrow 4H_2O_{(l)}+BaSO_{4(s)}$$

$$H_3O^+{}_{(aq)}+HCO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow H_2CO_{3(aq)}+H_2O_{(l)}$$

$$Cu^{2+}{}_{(aq)}+2Cl^{1-}{}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)}+Cl_{2(g)}$$

$$HSO_4^-{}_{(aq)}+CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)}+HCO_3^-{}_{(aq)}$$

$$3Li_{(s)}+\frac{1}{2}N_{2(g)} \rightarrow Li_3N_{(s)}$$

$$Li_{(s)}+H_2O_{(g)} \rightarrow LiOH_{(s)}+\frac{1}{2}H_{2(g)}$$

$$Li_3N_{(s)}+3H_2O_{(1)} \rightarrow 3Li^+{}_{(aq)}+3OH^-{}_{(aq)}+NH_{3(g)}$$

$$COCl_{2(g)}+2Na_{(s)} \rightarrow CO_{(g)}+2NaCl_{(s)}$$

3. מהם ההיגדים הנכונים לגבי תמיסת 0.2M HCl?

א. מולקולות מים קלטו פרוטונים ממולקולות המימן כלורי.

ב. התמיסה אינה מוליכה זרם חשמלי.

ג. pH של התמיסה גדול מ-7.

ד. ריכוז $0.2M = [H_3O^+(aq)] = [Cl^-{}_{(aq)}]$.

4. מהו הריכוז המולרי של:

א. מולקולות סוכר בתמיסת סוכר 0.1M?

ב. יוני $Cl^-{}_{(aq)}$ בתמיסת 0.1M HCl?

ג. יוני $H_3O^+{}_{(aq)}$ בתמיסת $0.1M\ H_2SO_4$?

ד. יוני $Cl^-{}_{(aq)}$ בתמיסת $0.1M\ FeCl_3$?

5. 55 מ"ל תמיסת חומצה כלורית, HCl, הגיבו עד תום עם 1.21 גרם מגנזיום מתכתי, $Mg_{(s)}$. נתון ניסוח מאוזן לתהליך שהתרחש:

$$Mg_{(s)}+2H_3O^+{}_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)}+Mg^{2+}{}_{(aq)}+2H_2O_{(l)}$$

א. מה היה ריכוז החומצה?

ב. מהו נפח הגז מימן שהשתחרר בתגובה?

6. נמצא ש-5 מ"ל תמיסת נתרן הידרוקסידי, NaOH, הספיקו לסתירה מלאה של 25 מ"ל חומצה גפרתית, H_2SO_4, בריכוז 0.01M.

א. מהו ריכוז תמיסת הבסיס?

ב. מהו הריכוז של כל אחד מהיונים הנמצאים בכלי בתום התגובה?

7. לפניכם התהליך הבא:

$$NH_{3(g)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

בתגובה הישירה מולקולות ה-NH_3 מתנהגות כבסיס ומולקולות המים כחומצה, ובתגובה ההפוכה יוני NH_4^+ מתנהגים כחומצה, ויוני OH^- מתנהגים כבסיס.

א. רשמו את הבסיסים הצמודים לחומצות:

$$HCO_3^- \ , \ H_2CO_3 \ , \ HSO_4^- \ , \ H_2SO_4 \ , \ HPO_4^{2-} \ , \ H_2PO_4^- \ , \ H_3PO_4$$

ב. רשמו את החומצות הצמודות לבסיסים:

$$H^- \ , \ S^{2-} \ , \ CO_3^{2-} \ , \ PO_4^{3-} \ , \ NH_2^-$$

8. 15 מ"ל תמיסת NaOH נסתרו באמצעות 7.5 מ"ל תמיסת HCl בריכוז 0.4M.

א. נסחו ואזנו את התגובה שהתרחשה.

ב. מהו הריכוז של תמיסת הבסיס?

ג. מהי מסת הנתרן הידרוקסידי שהומסה להכנת 1 ליטר תמיסה?

ד. מהו נפח תמיסת הבסיס הדרוש לסתירה מלאה של 20.22 מ"ל תמיסת H_3PO_4 בעלת ריכוז זהה לתמיסת ה-HCl?

9. לחמישה מדגמים של תמיסת 1M HCl, שנפחו של כל אחד מהם 10 מ"ל, הוסיפו:

א. 5 מ"ל תמיסת 1M HCl.

ב. 10 מ"ל תמיסת 0.1M HCl.

ג. 10 מ"ל מים מזוקקים.

ד. 0.05 גר' $Na_2O_{(s)}$.

ה. 0.005 גר' $Mg_{(s)}$.

כיצד משפיעה כל אחת מהפעולות על ה-pH של התמיסה המקורית? ציינו באיזה תחום יהיה ה-pH בכל אחד מהכלים לאחר ההוספה (גדול, קטן או שווה ל-7)?

10. בתגובה שבין 20 מ"ל תמיסת $Ca(OH)_2$ לבין 30 מ"ל תמיסת 0.1M HCl התקבלה תמיסה ניטרלית.

א. מהו ריכוז תמיסת ה-$Ca(OH)_2$?

ב. מהם ריכוזיהם של היונים המשקיפים בתום התגובה?

ג. האם התמיסה המתקבלת מוליכה חשמל? נמקו.

11. נתונים שלושה חומרים: $RbOH, HBr, CH_3CH_2OH$. המיסו כל אחד מהם ב-100 מ"ל מים (כל חומר בכלי נפרד).

א. רשמו ניסוחים מתאימים לתהליכי המסה/תגובה עם מים של כל אחד מהחומרים המופיעים בשאלה.

ב. קבעו מה יהיה תחום ה-pH של כל אחת מהתמיסות (נמוך, גבוה או שווה ל-7) ונמקו את קביעתכם.

ג. קבעו אם וכיצד ישתנה ה-pH כאשר נוסיף לכל אחת מהתמיסות 100 מ"ל מים מזוקקים. נמקו את קביעתכם.

ד. קבעו אם וכיצד ישתנה ה-pH של תמיסת RbOH כאשר נוסיף לה 100 מ"ל תמיסת HBr. נמקו את קביעתכם.

ה. קבעו אם וכיצד ישתנה ה-pH של תמיסת RbOH כאשר נוסיף לה 100 מ"ל תמיסת CH_3CH_2OH. נמקו את קביעתכם.

ו. על מנת לקבוע את ריכוז תמיסת ה-RbOH, הוסיפו ל-150 מ"ל תמיסה 100 מ"ל תמיסת H_3PO_4 בריכוז 1M. בסוף התגובה נמדד pH=7. חשבו את ריכוז התמיסה.

12. לשלושה כלים שכל אחד מהם מכיל 500 מ"ל גז אמוניה, $NH_{3(g)}$, בתנאי חדר הוסיפו:

50 מ"ל מים מזוקקים.

50 מ"ל תמיסת H_3PO_4 בריכוז 0.1M.

50 מ"ל תמיסת NaOH בריכוז 0.1M.

א. ציינו באיזה מהכלים התרחשה תגובה כימית ורשמו ניסוח מאוזן מתאים.

ב. כיצד משפיעה כל אחת מהפעולות 1-3 על ה-pH של התמיסה המקורית? נמקו את קביעתכם.

ג. באיזה תחום יהיה ה-pH בכל אחד מהכלים לאחר ההוספה (גדול, קטן או שווה ל-7)? נמקו את תשובתכם.

13. במעבדה ניתן להכין כמויות קטנות של מימן בתגובה בין חומצה לבין מתכת בעלת כושר גבוה לחזר.

בחרו שתי מתכות מתאימות לתגובה עם תמיסת H_2SO_4 בריכוז 0.5M.

א. נסחו ואזנו את התגובה המתרחשת בין כל אחת מהמתכות ובין החומצה.

ב. חשבו את נפח התמיסה הדרוש להפקת 100 מ"ל גז מימן בתנאי חדר (נפח של מול גז בתנאים אלו הוא 25 ליטר למול).

ג. חשבו את המסה של כל אחת מהמתכות שבחרתם ושדרושות לקבלת 100 מ"ל גז מימן בתנאי חדר.

14. לפניכם טבלה ובה נתונים של בדיקות שהתבצעו במעבדה לארבע התמיסות הבאות (תמיסות שוות ריכוז):

$NaCl$, Na_2CO_3 , HCl , $NaOH$

השלימו את הטבלה:

מספר מבחנה	1	2	3	4
נוסחת החומר בתמיסה				
pH	7	9		14
פנול פתלאין			חסר צבע	
מי-כרוב סגול		צהוב	אדום	ירוק
סוג התמיסה				

15. לעיסת מסטיק ללא סוכר מומלצת למניעת עששת מכיוון שהלעיסה גורמת להפרשה מוגברת של רוק הגורם להעלאת ה-pH בחלל הפה.

א. הציעו שתי דרכים שבהן הרוק גורם להעלאת ה-pH בחלל הפה.

ב. האם לעיסת מסטיק המכיל סוכר תהיה יעילה באותה מידה? הסבירו.

16. נתרן מימן פחמתי, "סודה לשתייה", משמש בין היתר להקלת תחושת הצרבת שנגרמת בגלל עודף חומציות במערכת העיכול.

התגובה המתרחשת במערכת העיכול היא:

$$NaHCO_{3(s)} + H_3O^+_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + Na^+_{(aq)}$$

א. הסבירו כיצד מקלה הסודה לשתייה על תחושת הצרבת.

ב. מדוע לדעתכם משהקים לאחר נטילת סודה לשתייה?

ג. תרופה נגד צרבת הנמכרת בבתי המרקחת מכילה, בין היתר, סידן הידרוקסידי, $Ca(OH)_2$.
נסחו תהליך נטו המתאר את התגובה המתרחשת בעת נטילת התרופה.

ד. כמה מ"ל תמיסת HCl בריכוז 1M ניתן לסתור באמצעות תרופה המכילה 2 גר' סידן הידרוקסידי?

ה. רמת ה-pH בקיבה היא 2. רמת ה-pH של משקה קולה נעה בסביבות 3.5.
האם שתייה של כוס קולה תשנה את רמת החומציות בקיבה? הסבירו את תשובתכם.

17. אבקת אפייה המשמשת להתפחת מאפים, מכילה תערובת של נתרן מימן פחמתי, $NaHCO_3$, ונתרן פירופוספאט, $Na_2H_2P_2O_7$. בהשפעת החום מתרחשת תגובת חומצה-בסיס שחלק מתוצריה הם אדי מים והגז פחמן דו-חמצני.

א. נסחו ואזנו את התהליך המתרחש.

ב. ציינו איזה חומר הוא החומצה ואיזהו הבסיס בתהליך שניסחתם.

ג. הסבירו את פעולת האבקה.

ד. להתפחת מאפים ניתן להשתמש גם בשמרים. נסחו ואזנו תהליכים המתארים את פעולת השמרים כחומר מתפיח, וציינו אם גם במקרה זה מתרחשים תהליכי חומצה-בסיס. נמקו את תשובתכם.

18. משימה בחלל* – אסטרונאוטים הנמצאים במשימות בחלל, פולטים בנשימתם פחמן דו-חמצני לאוויר בחללית, במעבורת החלל או בתחנת החלל. עלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באוויר עלולה לגרום לעלייה בקצב הנשימה ובקצב פעימות הלב, לאיבוד שמיעה, לדיכאון, לכאבי ראש, להרגשת סחרור, לבחילה ואף לאיבוד הכרה. לכן יש לדאוג לניטור רמת הפחמן הדו-חמצני באוויר החללית או במעבורת החלל ולסילוק עודפי הפחמן הדו-חמצני מן האוויר.

ישנן מספר שיטות אפשריות לסילוק הפחמן הדו-חמצני:

i. הפחמן הדו-חמצני יכול להגיב עם תמיסת מי סיד, תמיסה רוויה של $Ca(OH)_2$, אך שיטה זו אינה יעילה.

ii. הפחמן הדו-חמצני יכול להגיב עם תמיסה מרוכזת של ליתיום הידרוקסידי. בשיטה זו השתמשו, בין השאר, בחללית "אפולו 13".

iii. הפחמן הדו-חמצני יכול להגיב עם אמין המחובר לשרף מוצק. הפחמן הדו-חמצני נקשר לאמין, וכשהאמין רווי בו, היחידה נחשפת לחלל החיצון. מכיוון שבחלל שורר תת לחץ, הפחמן הדו-חמצני משתחרר מהשרף, והאמין פנוי לקליטה מחודשת של פחמן דו-חמצני.

א. נסחו ואזנו את התגובה המתרחשת בשיטה השנייה לנטרול פחמן דו-חמצני. היעזרו בניסוח הבא:

$$CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_2CO_{3(aq)}$$

ב. מהו סוג התגובה המתרחשת בשיטה השנייה?

ג. ציינו שני יתרונות של השיטה השלישית על פני שתי השיטות הקודמות.

ד. לפניכם טבלה המציגה את מסיסותם של מספר מלחים בטמפרטורת החדר:

המומס	מסיסות בגרמים ל-100 מ"ל מים
$Ca(OH)_2$	0.1
LiOH	12.8
NaCl	37
$Pb(NO_3)_2$	62
$CaCl_2$	90

הסבירו על סמך הנתונים בטבלה מדוע השיטה הראשונה אינה יעילה.

ה. מניחים כי כל אסטרונאוט פולט 1 ק"ג של פחמן דו-חמצני ביממה. כמה ק"ג של ליתיום הידרוקסידי יש לשים בחללית כדי לקלוט את הפחמן הדו-חמצני הנפלט בנשימתם של שני אסטרונאוטים במשימה בחלל שנמשכת שבעה ימים? פרטו את חישוביכם.

ו. כדי לבדוק אם מיכלי הליתיום ההידרוקסידי אכן עובדים, נוגעים בהם ומוודאים שחל שינוי בטמפרטורה. הסבירו מדוע המתקן משנה את הטמפרטורה שלו בזמן פעולתו.

* הקטע לקוח מתוך המאמר "מאמר לא מוכר", פנינה שפירא, "על-כימיה", גיליון מספר 5 עמ' 22

19. היפרוונטילציה (hyperventilation) הוא מצב לא תקין שבו במצב מנוחה הנשימה מהירה ועמוקה בגלל חילוף פגום של הגזים בריאות (נשימה מהירה היא תקינה במצב של מאמץ). על מנת להרגיע מצב זה מומלץ לנשוף ולשאוף לתוך שקית המוצמדת לפה, על מנת להעלות את הריכוז של פחמן דו-חמצני ולהוריד את ה-pH. הסבירו במונחים של חומצה-בסיס את הטיפול בהיפרוונטילציה.

20. תחמוצות הגפרית, $SO_{2(g)}$- ו-$SO_{3(g)}$ הנוצרות כתוצאה משרֵפת דלקים ופחם המכילים גפרית, נפלטות לאוויר. תרכובות אלו מגיבות עם מי הגשמים, ונוצרות חומצות המעלות את רמת החומציות של הגשם וגורמות לנזקים סביבתיים. התייחסו לתגובות הבאות וענו על השאלות הנלוות להן:

$$SO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{3(aq)}$$

$$SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$$

א. הסבירו בלווי ניסוחים מתאימים, מדוע משתנה ה-pH של הגשם בעקבות פליטה של תחמוצות גפרית לאוויר.

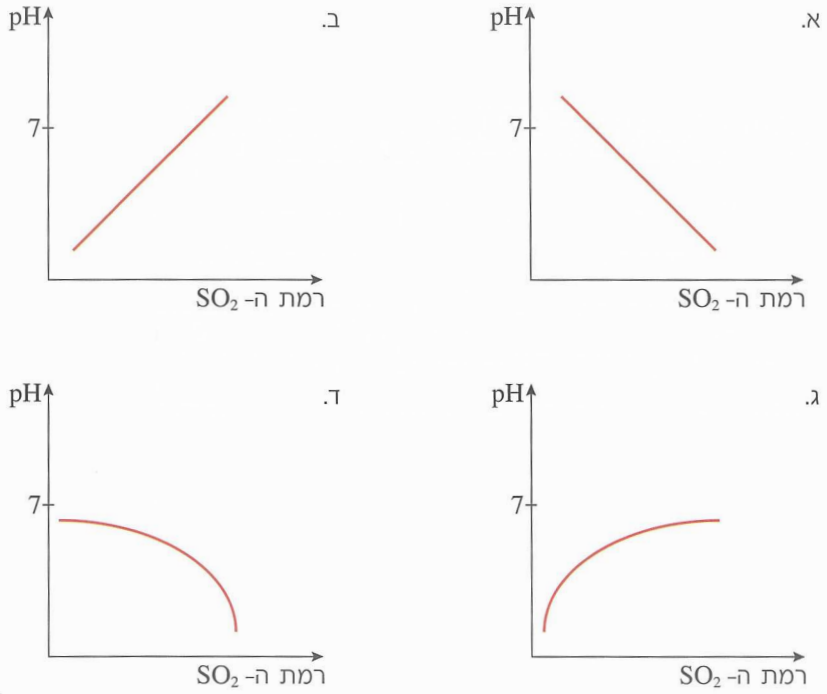
ב. מהם הנזקים הסביבתיים העלולים להיגרם, לדעתכם, כתוצאה מגשם חומצי?

ג. מדוע תחנות כוח נחשבות לגורם משמעותי בהיווצרות גשם חומצי?

ד. האם שימוש בדלק דל גפרית יקטין את נזקי הגשם החומצי או יגדיל אותם? הסבירו.

ה. רוב הקרקעות והאבק בישראל מכילים רמות גבוהות של גיר, $CaCO_{3(s)}$. האם עובדה זאת עשויה להגדיל או להקטין את נזקי הגשם החומצי? הסבירו בליווי ניסוחים מתאימים.

ו. לפניכם גרפים המתארים את תלות ה-pH של הגשם החומצי ברמת ה-$SO_{2(g)}$ באוויר. בחרו את הגרף המתאר בדרך המתאימה ביותר את הקשר בין המשתנים, נמקו!



ז. הציעו תרכובת נוספת אשר עשויה לתרום להיווצרות גשם חומצי, נמקו!

21. הגז גפרית דו-חמצנית שנוצר בשרֵפת דלק או פחם (אשר מכילים גפרית) גורם לזיהום הסביבה. אחת השיטות להרחקת הגפרית הדו-חמצנית מתבססת על התגובה עם מי סיד צלולים (תמיסה של סידן הידרוקסידי). אחד מתוצרי התהליך הוא סידן גפריתי מוצק, $CaSO_{3(s)}$, שניתן להפרדה באמצעות סינון. נסחו ואזנו את התהליך והסבירו את המתרחש במונחים של חומצה-בסיס ושיקוע.

22. לפניכם תיאור של ניסוי "הצימוקים הקופצים":

לתוך כוס כימית המכילה תמיסת חומץ ביתי ומי-כרוב אדום מוסיפים מספר צימוקים קטנים וכפית אבקת סודה לשתייה, $NaHCO_3$.

תצפיות הניסוי

- בועות של גז משתחררות בכלי.
- בועות של גז מצטברות על הצימוקים.
- חלק מהצימוקים עולים לשטח הפנים של הנוזל ולאחר זמן קצר יורדים חזרה לתחתית הכוס. ישנה תנועה של הצימוקים למעלה ולמטה.
- צבע התמיסה אדום ועם הזמן מתבהר.
- ניתן לראות לזמן קצר אזורים שבהם הופיע צבע ירוק בתמיסה.

א. הסבירו את תצפיות הניסוי המתוארות, לוו את ההסברים בניסוחים מתאימים.

ב. איזה מבין החומרים הבאים יוכל להחליף את תמיסת החומץ ששימשה בניסוי זה? נמקו.

$$NH_3\ ,\ C_2H_6\ ,\ HF\ ,\ CH_3OH\ ,\ CH_3COOH\ ,\ HCl$$

ג. הציעו חומר אחד לפחות שיוכל להחליף את הסודה לשתייה בניסוי, בלי לשנות את תצפיות הניסוי. נמקו את בחירתכם.

23. המסה ושיקוע במערת הנטיפים.

קראו את קטע המידע הבא, וענו על השאלות.

בשמורת שורק שבהרי יהודה, ממזרח לבית שמש, נמצאת מערת נטיפים מרשימה מאוד. המערה נוצרה (וממשיכה להיווצר) כתוצאה מתהליכי המסה ושיקוע של סלעי גיר, $CaCO_{3(s)}$ וסלעי דולומיט, $CaMg(CO_3)_{2(s)}$. מרבית הסלעים עמידים בפני מי גשם נקיים ואינם נמסים בהם. אך המצב שונה לגבי מי גשם שחדרו לקרקע. בקרקע השורשים נושמים, וחיידקים יוצרים תהליכי ריקבון של שורשים וחלקי צמחים. בתהליכים אלו נוצר, בין היתר, הגז פחמן דו-חמצני. מי הגשם החודרים לקרקע מגיבים עם הפחמן הדו-חמצני וה-pH שלהם הופך לנמוך מ-7. סלעי הגיר והדולומיט מגיבים עם מי הגשם החומצי:

1. $$CaCO_{3(s)} + H_3O^+_{(aq)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

2. $$CaMg(CO_3)_{2(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + Mg^{2+}_{(aq)} + 2HCO_3^-{}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

כאשר המים המכילים את היונים $Ca^{2+}_{(aq)}$ ו-$HCO_3^-{}_{(aq)}$ מגיעים לחלל של מערה, הם נתלים, לעתים, כטיפות

בתקרת המערה. אם המערה מאוררת, הפחמן הדו-חמצני מתנדף מהם לפי הניסוח בתגובה 3, וכך נוצרים הנטיפים. אם טיפות המים נופלות מתקרת המערה לקרקע, מתנדפת מהם שארית הפחמן הדו־חמצני, וכך נוצרים הזקיפים:

3. $Ca^{2+}_{(aq)} + 2HCO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow CaCO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$

א. למה הכוונה במושג "מי גשם נקיים"?

ב. לאיזה קבוצת חומרים הייתם משייכים את סלעי הגיר והדולומיט? האם הם מסיסים במים? הסבירו.

ג. נסחו תהליכים מתאימים המסבירים מדוע מי גשם החודרים לקרקע הם חומציים.

ד. מיינו את התגובות המופיעות בקטע (כולל אלה שניסחתם) לתגובות חמצון-חיזור, חומצה-בסיס, המסה ושיקוע.

ה. התגובה המתארת את יצירת המשקע במערה היא תגובה הפיכה. הסבירו היגד זה.

ו. אילו גורמים עשויים להשפיע על היווצרות נטיפים וזקיפים במערה?

ז. נסחו 3 שאלות חקר לפחות העולות מתיאור תופעת הנטיפים והזקיפים.

ח. האם כניסה של מבקרים למערה עשויה להשפיע על התהליכים המתרחשים בה? הסבירו את תשובתכם.

24. א. לפניכם חומרים היכולים לתפקד, בסביבה מימית, כחומצות או כבסיסים וחומרים היכולים לתפקד גם כחומצות וגם כבסיסים. התייחסו לחומרים הנתונים בשאלה ונסחו ניסוחים מתאימים.

חומרים היכולים לתפקד כחומצות: H_2CO_3 , H_2S

חומרים היכולים לתפקד כבסיס: CO_3^{2-} , SO_4^{2-}

חומרים היכולים לתפקד גם כחומצות וגם כבסיסים: HS^{1-} , HCO_3^{2-}.

ב. התייחסו למגיבים בכל אחד מהתהליכים הבאים ושערו לאיזה מהם Ka גבוה יותר. נמקו את השערתכם.

$$HCO_3^-{}_{(aq)} + HSO_4^-{}_{(aq)} \leftrightarrows H_2CO_{3(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$HS^-{}_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \leftrightarrows H_2S_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

ג. היעזרו בספר הנתונים ומצאו את קבוע החומצה המתאים לכל אחד מהמגיבים בתהליכים המופיעים בשאלה. האם הם תואמים את השערתכם מהסעיף הקודם?

ד. הסבירו את התהליכים המוצגים בשאלה בעזרת הנתונים שהוצאתם מספר הנתונים.

ה. דרגו את התהליכים לפי קבוע שיווי-המשקל שלהם, מהנמוך לגבוה.

25. בגוף האדם פועלות מערכות בופר שונות. אחת המערכות הפעילה בתוך התאים היא המערכת הזרחתית:

$$H_2PO_4^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows HPO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

א. הסבירו את עיקרון הפעולה של הבופר.

ב. איזה סוג חלקיקים במערכת עשוי להגן בפני חומצה ואיזה בפני בסיס? נמקו את תשובתכם.

הטבלה המחזורית

המספר האטומי של היסוד
סמל היסוד
מסה מולרית
שם היסוד בעברית

1 H 1.01 מימן																	2 He 4.00 הליום
3 Li 6.94 ליתיום	4 Be 9.01 ברילים											5 B 10.81 בור	6 C 12.01 פחמן	7 N 14.01 חנקן	8 O 16.00 חמצן	9 F 19.00 פלואור	10 Ne 20.18 ניאון
11 Na 22.99 נתרן	12 Mg 24.31 מגנזיום											13 Al 26.98 אלומינים	14 Si 28.09 צורן	15 P 30.97 זרחן	16 S 32.06 גפרית	17 Cl 35.45 כלור	18 Ar 39.95 ארגון
19 K 39.10 אשלגן	20 Ca 40.08 סידן	21 Sc 44.96 סקנדיום	22 Ti 47.90 טיטניום	23 V 50.94 ונדיום	24 Cr 52.00 כרום	25 Mn 54.94 מנגן	26 Fe 55.85 ברזל	27 Co 58.93 קובלט	28 Ni 58.71 ניקל	29 Cu 63.54 נחושת	30 Zn 65.37 אבץ	31 Ga 69.72 גליום	32 Ge 72.59 גרמניום	33 As 74.92 ארסן	34 Se 78.96 סלניום	35 Br 79.90 ברום	36 Kr 83.80 קריפטון
37 Rb 85.47 רובידיום	38 Sr 87.62 סטרונציום	39 Y 88.91 איטריום	40 Zr 91.22 זרקוניום	41 Nb 92.91 ניאוביום	42 Mo 95.94 מוליבדן	43 Tc (99) טכנציום	44 Ru 101.07 רותניום	45 Rh 102.91 רודיום	46 Pd 106.4 פלדיום	47 Ag 107.87 כסף	48 Cd 112.40 קדמיום	49 In 114.82 אינדיום	50 Sn 118.69 בדיל	51 Sb 121.75 אנטימון	52 Te 127.60 טלור	53 I 126.90 יוד	54 Xe 131.30 קסנון
55 Cs 132.91 צזיום	56 Ba 137.34 בריום	57-71 * 	72 Hf 178.49 הפניום	73 Ta 180.95 טנטלום	74 W 183.85 טונגסטן	75 Re 186.2 רניום	76 Os 190.20 אוסמיום	77 Ir 192.2 אירידיום	78 Pt 195.09 פלטינה	79 Au 196.97 זהב	80 Hg 200.59 כספית	81 Tl 204.37 תליום	82 Pb 207.19 עופרת	83 Bi 208.98 ביסמוט	84 Po (210) פולוניום	85 At (210) אסטטין	86 Rn (222) רדון
87 Fr (223) פרנציום	88 Ra 226.03 רדיום	89-103 ** 	104 Rf (261) רותפורדיום	105 Db (262) דובניום	106 Sg (266) סיבורגיום	107 Bh (264) בוהריום	108 Hs (269) הסיום	109 Mt (268) מטנריום	110 Ds (271) דרמשטטיום	111 Rg (272) רנטגניום	112 Cp (285) קופרניקיום	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus ***	118 Uuo

*** לא קיים עדיין

*	57 La 138.91 לנתן	58 Ce 140.12 צריום	59 Pr 140.91 פרסאודימיום	60 Nd 144.24 ניאודימיום	61 Pm (145) פרומתיום	62 Sm 150.35 סמריום	63 Eu 151.96 אירופיום	64 Gd 157.25 גדוליניום	65 Tb 158.92 טרביום	66 Dy 162.50 דיספרוסיום	67 Ho 164.93 הולמיום	68 Er 167.26 ארביום	69 Tm 168.93 תוליום	70 Yb 173.04 איטרביום	71 Lu 174.97 לוטציום
**	89 Ac (227) אקטיניום	90 Th 232.04 תוריום	91 Pa 231.04 פרוטאקטיניום	92 U 238.03 אורניום	93 Np 237.05 נפטוניום	94 Pu (242) פלוטוניום	95 Am (243) אמריציום	96 Cm (247) קיוריום	97 Bk (247) ברקליום	98 Cf (251) קליפורניום	99 Es (254) אינשטיניום	100 Fm (253) פרמיום	101 Md (256) מנדלביום	102 No (254) נובליום	103 Lr (257) לורנציום