



ב ח י נ ה ב כ י מ י ה  
ב מ ת כ ו נ ת ב ג ר ו ת

תשפ"ד - 07/06/2024

א. משך הבחינה: 3.5 שעות

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים.

40 נקודות	-	פרק ראשון – חובה – (20x2)
60 נקודות	-	פרק שני (20x3)
100 נקודות	-	סה"כ

ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון (כולל מחשבון גרפי).

ד. הוראות מיוחדות:

1. שימו לב: שבפרק הראשון יש תשע שאלות חובה.

בכל אחת מהשאלות 1-8 מוצגות ארבע תשובות ומהן יש לבחור תשובה נכונה אחת.

יש לסמן את התשובות הנכונות בגיליון התשובות.

בשאלה 9 יש לענות לפי ההנחיות.

א. אם הנבחן ענה לפחות 6 תשובות נכונות משאלות 1-8 הוא יקבל את מלוא הנקודות. לכל שאלה – 3 נקודות.

ב. יש לענות על סעיפי החובה בשאלת המאמר (9), ועל סעיף בחירה אחד מתוך 2 סעיפים, בכל בחירה שתינתן בשאלה.

2. בפרק השני יש לענות על שלוש מבין חמש שאלות.

נא לכתוב בראש הבחינה את מספרי השאלות שבחרת.

בכל שאלה יש לענות על סעיפי החובה ועל סעיף אחד מתוך 2 סעיפים, בכל בחירה שתינתן בשאלה.

ההוראות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים ומכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

הקפידו על ניסוחים מאוזנים ועל רישום נכון של היחידות.

ב ח ל צ ה ה

חומר עזר מצורף:

טבלה מחזורית

טבלת ערכי אלקטרוניקה

דף נוסחאות

פרק ראשון (40 נקודות)

חובה - ענו על שאלות 1-8

לפני שתענו, קראו את כל התשובות המוצעות.

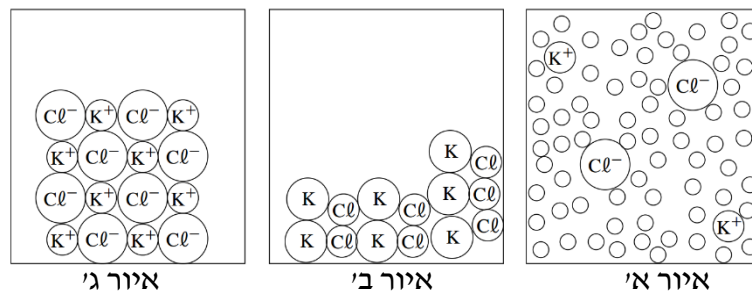
לכל שאלה מוצעות ארבע תשובות. בחרו בתשובה המתאימה ביותר.

את התשובה שבחרתם סמנו בדף תשובון המצורף ב - X.

כדי למחוק סימן יש למלא את כל המשבצת כך: ■.

### שאלה 1

נתונים 3 איורים המתארים תיאור מיקרוסקופי של אשלגן כלורי,  $KCl$ , במצבי צבירה שונים, או בתמיסה.



בחרו את ההיגד הנכון:

- א. כל האיורים מתארים תמיסות.
- ב. כל האיורים מתארים תרכובת בלבד.
- ג. איור א' מתאר תרכובת ואיור ב' מתאר תערובת.
- ד. איור א' מתאר תערובת ואיור ג' מתאר תרכובת.

בהתאם לאיורים:

איור א' (הימני) - מתאר את אשלגן כלורי ( $KCl$ ) בתמיסה, שבו היונים מפוזרים בצורה שווה בתוך המים.

איור ב' (האמצעי) - מתאר את אשלגן כלורי ( $KCl$ ) במצב נוזלי, שבו היונים נעים בחופשיות אך עדיין קרובים זה לזה.

איור ג' (השמאלי) - מתאר את אשלגן כלורי ( $KCl$ ) במצב מוצק, שבו היונים מסודרים בסדר קבוע.

ההיגד הנכון הוא:

ד. איור א' מתאר תערובת ואיור ג' מתאר תרכובת.

## שאלה 2

טמפרטורת הרתיחה של מימן,  $H_{2(g)}$ , נמוכה מאוד: 20 K. הסיבה לכך שטמפרטורת הרתיחה נמוכה כל כך היא:

- א. הקשר H-H הוא קשר יחיד ולא קוטבי.  
ב. אינטראקציות ון-דר-ולס בין שני אטומי המימן במולקולה חלשות, כי בקשר ביניהם יש רק שני אלקטרונים.

ג. אינטראקציות ון-דר-ולס בין מולקולות המימן חלשות בגלל ענן אלקטרוניים קטן.

ד. קשרי המימן בין מולקולות המימן חלשים, כי אטומי המימן אינם חשופים מאלקטרוניים. ההיגד הנכון הוא:

ג. אינטראקציות ון-דר-ולס בין מולקולות המימן חלשות בגלל ענן אלקטרוניים קטן.

הסיבה לכך שטמפרטורת הרתיחה של מימן נמוכה כל כך היא משום שהכוחות בין מולקולות המימן הם כוחות ון-דר-ולס חלשים, הנובעים מענן האלקטרוניים הקטן של המולקולה.

אלה הנימוקים לכך שההיגדים האחרים שגויים:

א. **\*\*הקשר H-H הוא קשר יחיד ולא קוטבי\*\***:

- זה נכון שהקשר H-H הוא קשר יחיד ולא קוטבי, אך זה לא ההסבר לטמפרטורת הרתיחה הנמוכה של המימן. טמפרטורת הרתיחה מושפעת מהאינטראקציות הבין-מולקולריות (כוחות ון-דר-ולס) ולא מטבע הקשר בתוך המולקולה.

ב. **\*\*אינטראקציות ון-דר-ולס בין שני אטומי המימן במולקולה חלשות, כי בקשר ביניהם יש רק שני אלקטרוניים\*\***:

- ההיגד הזה מתייחס לאינטראקציות בתוך המולקולה עצמה, בין שני האטומים, ולא לאינטראקציות בין מולקולות שונות. טמפרטורת הרתיחה נמוכה נובעת מהכוחות הבין-מולקולריים החלשים ולא מהכוח בתוך המולקולה.

ד. **\*\*קשרי המימן בין מולקולות המימן חלשים, כי אטומי המימן אינם חשופים מאלקטרוניים\*\***:

- מימן לא יוצר קשרי מימן בין מולקולות  $H_2$ . קשרי מימן מתרחשים כאשר מימן קשור לאטום אלקטרושלילי מאוד (כמו פלואור, חמצן או חנקן) ומתקשר עם זוג אלקטרוניים בלתי-קשור על אטום אלקטרושלילי במולקולה אחרת. במולקולות  $H_2$  אין אטומים כאלה, ולכן לא קיימים קשרי מימן בין מולקולות מימן.

לכן, התשובה הנכונה היא ג. אינטראקציות ון-דר-ולס בין מולקולות המימן חלשות בגלל ענן אלקטרוניים קטן.

### שאלה 3

השאלה הבאה מתייחסת לסגסוגות, בחרו את התשובה הנכונה ביותר

- א. סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ושליילים ולכן כשמנסים לרקע אותה היא נשברת.
- ב. סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ושליילים ולכן מוליכה חשמל במצב צבירה נוזלי.
- ג. **סגסוגת מורכבת מ"ים של אלקטרונים ניידים" ומיונים חיוביים בעלי רדיוסים שונים, ולכן השכבות אינן מחליקות זו על בקלות בעת ריקוע.**
- ד. סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ב"ים אלקטרונים" ניידים ולכן לא מוליכה חשמל במצב צבירה מוצק.

ההיגד הנכון ביותר לגבי סגסוגות הוא :

ג. סגסוגת מורכבת מ"ים של אלקטרונים ניידים" ומיונים חיוביים בעלי רדיוסים שונים, ולכן השכבות אינן מחליקות זו על בקלות בעת ריקוע.

הסבר :

סגסוגות הן תערובות של מתכות שונות או של מתכת ויסודות נוספים, והן מאופיינות ב"ים של אלקטרונים ניידים" המקיפים את היונים החיוביים של המתכות. השכבות של היונים החיוביים בעלי הרדיוסים השונים מקשות על החלקה זו על זו בעת ריקוע, מה שמקנה לסגסוגות חוזק ועמידות גבוהים יותר לעיוות מאשר מתכות טהורות.

נימוקים לכך שההיגדים האחרים שגויים :

א. **סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ושליילים ולכן כשמנסים לרקע אותה היא נשברת :**

סגסוגות אינן מורכבות מיונים חיוביים ושליילים כמו תרכובות יוניות. סגסוגות מורכבות מיונים חיוביים (מתכות) ו"ים של אלקטרונים" ניידים. סגסוגות נוטות להיות קשות יותר מרכיבים טהורים שלהן, אך הן אינן נשברות בקלות כמו תרכובות יוניות. בפועל, סגסוגות בדרך כלל גמישות יותר ועמידות לעיוות.

ב. **סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ושליילים ולכן מוליכה חשמל במצב צבירה נוזלי :**

סגסוגות מורכבות מיונים חיוביים ב"ים של אלקטרונים" ולא מיונים חיוביים ושליילים כמו תרכובות יוניות. סגסוגות מוליכות חשמל הן במצב מוצק והן במצב נוזלי בגלל האלקטרונים החופשיים שנמצאים בהן, ולא בגלל קיומם של יונים שליילים.

ד. **סגסוגת מורכבת מיונים חיוביים ב"ים של אלקטרונים" ניידים ולכן לא מוליכה**

**חשמל במצב צבירה מוצק :**

זהו היגד שגוי מכיוון שסגסוגות, כמו מתכות טהורות, מוליכות חשמל היטב במצב מוצק. הסיבה לכך היא קיומם של האלקטרונים הניידים ב"ים האלקטרוניים" המאפשרים הולכת חשמל. לכן, התשובה הנכונה היא ג. סגסוגת מורכבת מ"ים של אלקטרונים ניידים" ומיונים חיוביים בעלי רדיוסים שונים, ולכן השכבות אינן מחליקות זו על בקלות בעת ריקוע.

#### שאלה 4

אלומיניום גופרתי  $Al_2(SO_4)_3(s)$  הומס בתמיסה מימית של באריום כלורי,  $BaCl_2(s)$ . התרחשה תגובת שיקוע, שבה הגיבו כל היונים הגופרתיים. נוצרו 6 מול של המשקע  $BaSO_4(s)$ . כמה מולים של אלומיניום גופרתי הומסו בתמיסה?

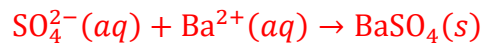
א. 2 מול

ב. 12 מול

ג. 3 מול

ד. 4 מול

ניסוח נטו של תגובת השיקוע:



כיוון שידוע שנוצרו 6 מולים של  $BaSO_4(s)$  ברור שהגיבו 6 מול של יוני  $SO_4^{2-}(aq)$  – תגובת ההמסה של אלומיניום גופרתי היא:



יחס המולים בין היונים הגופרתיים לבין אלומיניום גופרתי הוא 3:1 ולכן כדי לקבל 6 מולי יונים גופרתיים בתמיסה יש להמיס 2 מול אלומיניום גופרתי. התשובה הנכונה היא:

א. 2 מול

#### שאלה 5

8.8 גרם של פרופאן,  $C_3H_8(g)$  עוברים תגובת שריפה מלאה. מהו מספר מולקולות החמצן שנדרשות לתהליך? (מסה מולרית של פרופאן היא 44 g/mol)?

א.  $1.2 \cdot 10^{23}$

ב.  $6.02 \cdot 10^{23}$

ג. 1 מול

ד. 5 מול

כדי לפתור את השאלה, נבצע את השלבים הבאים:

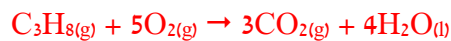
חישוב מספר המולים של פרופאן ( $C_3H_8$ ):

מסה מולרית של פרופאן היא 44 גרם למול.

מסת הפרופאן היא 8.8 גרם.

$$\text{מולים} = \frac{\text{מסה}}{\text{מסה מולרית}} = \frac{8.8 \text{ גרם}}{44 \text{ גרם/מול}} = 0.2$$

משוואת תגובת השריפה המלאה של פרופאן:



על פי יחס המולים בין פרופאן לחמצן, 1:5, יש צורך ב-1 מול חמצן.

חישוב מספר מולקולות החמצן הנדרשות:

$$O_2 \text{ מולקולות של } 1 \text{ מול } O_2 = 6.02 \times 10^{23}$$

## כלומר תשובה ב

### שאלה 6

צבע אינדיקטור חדש ולא מוכר, הוא ורוד ב- $pH < 7$ , סגול ב- $pH = 7$ , וירוק ב- $pH > 7$ . נתונות שלוש תמיסות:  $C_3H_7COOH_{(aq)}$ ,  $CH_3OH_{(aq)}$ ,  $NH_3_{(aq)}$  למי מהן צבע ורוד?

א.  $CH_3OH_{(aq)}$  ו-  $C_3H_7COOH_{(aq)}$

ב.  $CH_3OH_{(aq)}$  ו-  $NH_3_{(aq)}$

ג.  $C_3H_7COOH_{(aq)}$  בלבד.

ד.  $CH_3OH_{(aq)}$  בלבד.

כדי לקבוע לאיזה מהתמיסות יהיה צבע ורוד ב- $pH=7$  עלינו להעריך את ה- $pH$  של כל אחת מהתמיסות הנתונות:

$C_3H_7COOH_{(aq)}$  (חומצה פרופיונית):

חומצה חלשה, ולכן תמיסתה תהיה חומצית ( $pH < 7$ ).

$CH_3OH_{(aq)}$  (מתנול):

מתנול הוא כוהל ואינו משנה את ה- $pH$  של המים. לכן, ה- $pH$  של תמיסת מתנול הוא 7 ( $pH=7$ ).

$NH_3$  (אמוניה):

אמוניה היא בסיס חלש ולכן תמיסתה תהיה בסיסית ( $\text{pH} > 7$ ).  
בהתבסס על המידע הזה :

$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}_{(\text{aq})}$  היא תמיסה חומצית ולכן תהיה ורודה.

$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{aq})}$  לא ישנה את ה-pH והוא יישאר 7, ולכן יהיה סגול.

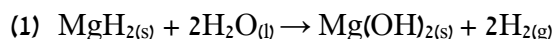
$\text{NH}_3_{(\text{aq})}$  היא תמיסה בסיסית ולכן תהיה ירוקה.

לכן, התשובה הנכונה היא :

ג.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}_{(\text{aq})}$  בלבד.

## שאלה 7

אפשר להפיק  $H_2(g)$  בתגובה בין מגנזיום מימני,  $MgH_2(s)$ , לבין מים,  $H_2O(l)$ , על פי תגובה (1).



קבע איזה מבין המשפטים הבאים **אינו** נכון:

א. במהלך התגובה דרגת החמצון של אטומי המימן משתנה מ (-1) במגיב  $MgH_2(s)$  ל- (0) בתוצר  $H_2(g)$ .

ב. במהלך התגובה דרגת החמצון של אטומי המימן משתנה מ- (+1) במגיב  $H_2O(l)$  ל (0) בתוצר  $H_2(g)$ .

ג. אין מעבר אלקטרונים, כי דרגת החמצון של מגנזיום לא השתנתה.

ד.  $H_2(g)$  הינו תוצר חימצון וגם תוצר חיזור

כדי לקבוע איזה מבין המשפטים אינו נכון, נבחן כל אחד מהם:

א. במהלך התגובה דרגת החמצון של אטומי המימן משתנה מ (-1) במגיב  $MgH_2(s)$  ל- (0) בתוצר  $H_2(g)$ .

נכון: במגנזיום מימני (הידריד),  $MgH_2(s)$ , דרגת החמצון של מימן היא -1, ובמימן מולקולרי  $H_2(g)$  דרגת החמצון היא 0.

ב. במהלך התגובה דרגת החמצון של אטומי המימן משתנה מ- (+1) במגיב  $H_2O(l)$  ל- (0) בתוצר  $H_2(g)$ .  
נכון: במים דרגת החמצון של המימן היא +1, ובמימן מולקולרי דרגת החמצון היא 0.

ג. אין מעבר אלקטרונים, כי דרגת החמצון של מגנזיום לא השתנתה.

לא נכון: למרות שדרגת החמצון של מגנזיום לא השתנתה, יש מעבר אלקטרונים כי דרגת החמצון של אטומי המימן השתנו. אטומי המימן במגנזיום מימני עברו מ -1 ל 0, ואטומי המימן במים עברו מ +1 ל 0.

ד.  $H_2(g)$  הינו תוצר חמצון וגם תוצר חיזור.

נכון  $H_2(g)$  נוצר הן מהחמצון של  $MgH_2(s)$  (המימן עבר מ -1 ל 0) והן מהחיזור של  $H_2O(l)$  (המימן עבר מ +1 ל 0).

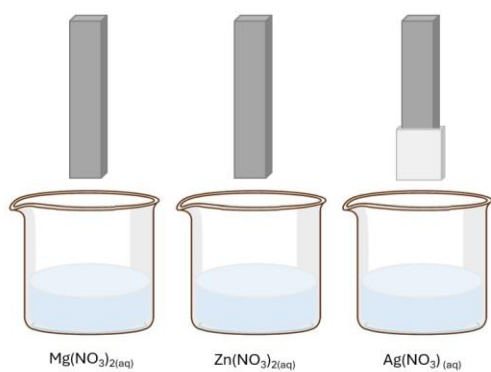
לכן, המשפט הלא נכון הוא:

ג. אין מעבר אלקטרונים, כי דרגת החמצון של מגנזיום לא השתנתה.

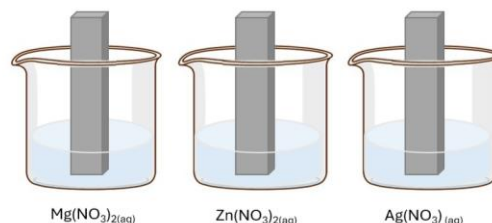
## שאלה 8



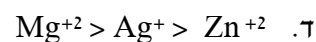
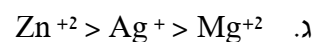
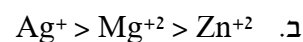
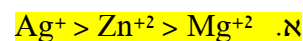
בתוך שלוש תמיסות המכילות את יוני המתכות  $Ag^+_{(aq)}$ ,  $Zn^{2+}_{(aq)}$ ,  $Mg^{2+}_{(aq)}$  הכניסו שלושה פסי אבץ,  $Zn_{(s)}$  (איור א'). לאחר כרבע שעה הוציאו את הפסים מהתמיסות. נצפו שינויים המתוארים באיור ב'. מהו הסדר הנכון של הכושר של יוני המתכות לחמצן?



איור ב'



איור א'



כדי לקבוע את הסדר הנכון של הכושר של יוני המתכות לחמצן (הכושר שלהם לעבור חיזור), נבחן את השינויים שקרו בפסי האבץ לאחר שהוכנסו לתמיסות ולאחר מכן הוצאו מהן (איור ב'). תמיסה של  $Mg(NO_3)_2$  עם פס אבץ  $Zn_{(s)}$ : לא נצפה שינוי משמעותי. אין תגובה, כלומר יוני  $Mg^{2+}$  לא מחמצנים את פס האבץ.

תמיסה של  $Zn(NO_3)_2$  עם פס אבץ:

לא נצפה שינוי. אין תגובה כי הפס הוא מאותו החומר של היונים בתמיסה.

תמיסה של  $AgNO_3$  עם פס אבץ:

נצפה שינוי משמעותי (נוצר שכבה אפורה על פס האבץ). זה מצביע על כך שתגובה כימית התרחשה,

שבה יוני  $Ag^+$  חמצנו את  $Zn_{(s)}$

מסקנות מהניסוי:

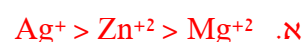
יוני  $Ag^+$  מסוגלים לחמצן את  $Zn_{(s)}$  ולגרום לשיקוע של כסף  $Ag_{(s)}$  על פני השטח של הפס. זה מצביע

על כך שלכסף יש כושר חיזור גבוה יותר מאשר לאבץ.

יוני  $Mg^{2+}$  לא מסוגלים לחמצן את  $Zn_{(s)}$  מה שמצביע על כך שלמגנזיום יש כושר חיזור נמוך יותר

מאשר לאבץ.

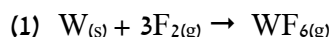
הסדר הנכון של הכושר של יוני המתכות לחמצן הוא:



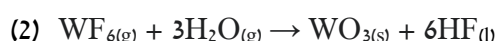
9. קראו את הקטע שלפניכם וענו על הסעיפים שאחריו לפי ההנחיות (שאלת חובה – 20 נקודות).

הגז הכבד ביותר בעולם (... כמעט)

היסוד טונגסטן, שסימנו הכימי W, הוא מתכת בצפיפות גבוהה מאוד, 19.25 גרם לסמ"ק. טונגסטן מגיב עם פלואור וליצירת החומר טונגסטן שש-פלואורי,  $WF_6(g)$ , על פי תגובה (1):

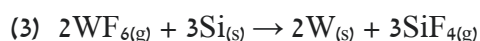


טונגסטן שש-פלואורי מורכב ממתכת ואל-מתכת, אבל החומר יוצא דופן והוא אינו חומר יוני אלא חומר מולקולרי בעל נקודת רתיחה של 17 מעלות צלסיוס. בטמפרטורת החדר החומר הוא גז כבד מאוד - צפוף פי 12 מהאוויר. הגז הוא חומר מסוכן מאוד, כשהוא בא במגע עם מים, אפילו אדי מים המצויים באוויר הוא מגיב בתגובה (2) המייצרת מימן פלואורי,  $HF(l)$ .

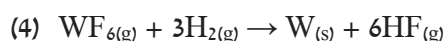


מימן פלואורי מגיב באופן הרסני עם רקמות חיות וגורם לכוויות קשות ביותר.

השימוש העיקרי בגז טונגסטן שש-פלואורי הוא בתעשיית המוליכים למחצה, המשמשים שבבים במחשבים. שבבי המחשב בנויים בדרך כלל מהיסוד סיליקון, או בעברית צורן,  $Si_{(s)}$ . גבישי הצורן אינם מוליכים חשמל, ולכן יש צורך בשילובם עם מתכות כדי ליצור חיבורים חשמליים. כדי ליצור חיבור חשמלי מצפים את גביש הצורן בשכבת טונגסטן מתכתית על ידי הזרמת הגז טונגסטן שש-פלואורי על גבי השבב (3):



כדי ליצור שכבה עבה יותר של טונגסטן, מזרימים את הגז יחד עם גז מימן על גבי השכבה הדקה שנוצרה באמצעות תגובה (3). שני הגזים מגיבים זה עם זה על גבי המשטח על פי תגובה (4) וכך מצטרפים לשכבה הקיימת עוד אטומי טונגסטן. בדרך כלל נוצרת שכבה בעובי של כמה ננומטרים. בטמפרטורות שבהן התגובה מתרחשת, התוצר הנוסף הוא מימן פלואורי במצב צבירה גז.



תעשיית השבבים העולמית, הכוללת גם את מפעלי אינטל בישראל, עושה שימוש בכ-200 טונות של טונגסטן שש-פלואורי בשנה.

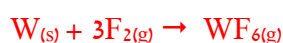
א. קבעו לגבי תגובות (1), (2), ו-(3), האם היא תגובת חמצון חיזור או. נמקו את

קביעתכם באמצעות דרגות חמצון. (3 נקודות)

כדי לקבוע אם תגובות (1), (2), ו-(3) הן תגובות חמצון-חיזור, יש לבדוק את דרגות החמצון של היסודות המשתתפים בתגובות לפני ואחרי התגובה.

נתחיל עם התגובות:

תגובה (1):



-דרגת החמצון של W במצב מוצק ( $W_{(s)}$ ) היא 0.

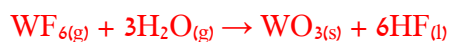
-דרגת החמצון של  $F_{2(g)}$  במצב גז היא 0.

ב- $WF_6$  דרגת החמצון של F היא 1- (פלואור תמיד בדרגת חמצון -1), ולכן דרגת החמצון של W היא +6.

במהלך התגובה W, עובר מדרגת חמצון 0 לדרגת חמצון +6 (חמצון), ו-F עובר מדרגת חמצון 0 לדרגת חמצון -1 (חיזור).

לכן, תגובה (1) היא תגובת חמצון-חיזור.

תגובה (2) :



-דרגת החמצון של W ב- $WF_6$  היא +6 ושל F היא -1.

-דרגת החמצון של O במים היא -2, ושל H במים היא +1.

-ב- $WO_3$  דרגת החמצון של W היא +6 (כי O בדרגת חמצון -2)

-ב, HF-דרגת החמצון של F היא -1 ו-H היא +1.

אין שינוי בדרגות החמצון של היסודות במהלך התגובה, ולכן תגובה (2) אינה תגובת חמצון-חיזור.

תגובה (3) :



-דרגת החמצון של W ב- $WF_6$  היא +6.

-דרגת החמצון של Si במצב מוצק ( $Si_{(s)}$ ) היא 0.

-ב- $W_{(s)}$  דרגת החמצון של W היא 0.

-ב- $SiF_4$  דרגת החמצון של F היא -1, ולכן דרגת החמצון של Si היא +4.

במהלך התגובה, W עובר מדרגת חמצון +6 ל-0 (חיזור), ו-Si עובר מדרגת חמצון 0 ל-+4 (חמצון).

לכן, תגובה (3) היא תגובת חמצון-חיזור.

לסיכום :

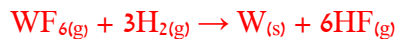
-תגובה (1) היא תגובת חמצון-חיזור.

-תגובה (2) אינה תגובת חמצון-חיזור.

- תגובה (3) היא תגובת חמצון-חיזור.

ב. בתגובה (4) קבעו מי המחזור ומי המחמצן. נמקו את קביעתכם. (2 נקודות)

כדי לקבוע מי המחזור ומי המחמצן בתגובה (4), נבדוק את דרגות החמצון של היסודות המשתתפים בתגובה לפני ואחרי התגובה. תגובה 4:



דרגת החמצון של W ב-WF<sub>6(g)</sub> היא +6 ועוברת ל-0 ב-W<sub>(s)</sub> כלומר, עובר חיזור.  
דרגת החמצון של H ב-H<sub>2</sub> היא 0 ועוברת ל-+1 ב-HF<sub>(g)</sub> כלומר, עובר חמצון  
לכן:  
H<sub>2(g)</sub> הוא המחזור (עובר חמצון).  
WF<sub>6(g)</sub> הוא המחמצן (עובר חיזור).

ג. הסבירו מבחינה מיקרוסקופית מדוע שכבת טונגסטן מתאימה ליצירת חיבורים חשמליים על גבי השבב. (3 נקודות)

שכבת טונגסטן מתאימה ליצירת חיבורים חשמליים על גבי השבב מבחינה מיקרוסקופית-אטומית בשל המבנה המיוחד שלה:

מודל של יונים חיוביים ו"ים" של אלקטרונים ניידים: במבנה האטומי של טונגסטן, האטומים מסודרים במבנה גבישי שבו יוני הטונגסטן (W) החיוביים נמצאים בעמדות קבועות ברשת הגבישית. מסביב ליונים החיוביים יש "ים" של אלקטרונים ניידים. אלקטרונים אלו אינם קשורים לאטום ספציפי אלא יכולים לנוע בחופשיות ברחבי הגביש.

מוליכות חשמלית גבוהה: האלקטרונים הניידים מאפשרים הולכה חשמלית מכיוון שהם יכולים לנוע בחופשיות בתוך החומר. האלקטרונים נושאים את המטען החשמלי שלהם, וכאשר מופעל שדה חשמלי חיצוני, הם מגיבים על ידי תנועה בכיוון המנוגד לשדה, מה שיוצר זרם חשמלי. במתכות, האלקטרונים נתקלים במעט התנגדות כשהם נעים דרך המבנה הגבישי, מה שמאפשר הולכה חשמלית יעילה.

המולקולות של טונגסטן שש-פלואורי הן מולקולות סימטריות. מולקולות החומר SiF<sub>4</sub> הן בצורת טטרהדר ונקודת הרתיחה של חומר זה היא 93- מעלות צלסיוס. מהו הגורם העיקרי להבדל בנקודת הרתיחה בין שני החומרים? (2 נקודות)

ההבדל בנקודת הרתיחה בין טונגסטן שש-פלואורי (WF<sub>6</sub>) לבין SiF<sub>4</sub> נובע בעיקר מכוחות בין-מולקולריים שונים הפועלים בין המולקולות של כל אחד מהחומרים.

טונגסטן שש-פלואורי (WF<sub>6</sub>):

מולקולות WF<sub>6</sub> הן מולקולות סימטריות בעלות מבנה אוקטהדרי.  
ל-WF<sub>6</sub> יש ענן אלקטרונים גדול יותר בגלל הנוכחות של אטום הטונגסטן הכבד והפלואור.

הכוחות הבין-מולקולריים הדומיננטיים בין מולקולות WF<sub>6</sub> הם כוחות ונדר ולס, שמתחזקים ככל שענן האלקטרונים גדול יותר, כיוון שהם תלויים בהתרחשויות רגעיות של דיפול רגעי במולקולה.

: SiF<sub>4</sub>

מולקולות  $\text{SiF}_4$  הן מולקולות סימטריות בעלות מבנה טטרהדרי. ל- $\text{SiF}_4$  יש ענן אלקטרוניים קטן יותר בהשוואה ל- $\text{WF}_6$ . הכוחות הבין-מולקולריים בין מולקולות  $\text{SiF}_4$  הם גם כוחות ונדר ולס, אך בגלל ענן האלקטרוניים הקטן יותר, כוחות אלה חלשים יותר בהשוואה ל- $\text{WF}_6$ .

#### **הגורם העיקרי להבדל בנקודת הרתיחה:**

ענן האלקטרוניים הגדול יותר של  $\text{WF}_6$  מוביל לכוחות ונדר ולס חזקים יותר בין המולקולות, מה שמצריך יותר אנרגיה (כלומר, טמפרטורה גבוהה יותר) כדי לשבור את הכוחות הבין-מולקולריים ולהפוך את החומר לנוזל או לגז. ולכן, נקודת הרתיחה של  $\text{WF}_6$  גבוהה יותר בהשוואה לנקודת הרתיחה של  $\text{SiF}_4$ .

ד. בטמפרטורה של 15 מעלות צלזיוס פלואור,  $\text{F}_2(\text{g})$ , הוא גז ואילו מימן פלואור,  $\text{HF}(\text{l})$ , הוא נוזל. מהו הגורם העיקרי להבדל במצב הצבירה בין שני החומרים? (2 נקודות)

הגורם העיקרי להבדל במצב הצבירה בין פלואור ( $\text{F}_2$ ) לבין מימן פלואורי ( $\text{HF}$ ) בטמפרטורה של 15 מעלות צלזיוס הוא סוג הכוחות הבין-מולקולריים הפועלים ביניהם.

#### **פלואור ( $\text{F}_2$ )**

מולקולות  $\text{F}_2$  הן מולקולות דו-אטומיות סימטריות ולא קוטביות. הכוחות הבין-מולקולריים העיקריים הפועלים בין מולקולות  $\text{F}_2$  הם כוחות ון דר ולס, שהם כוחות חלשים יחסית.

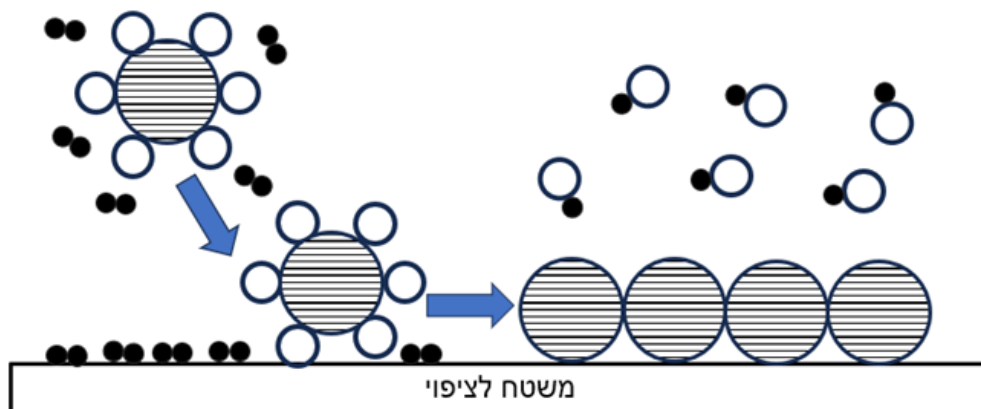
#### **מימן פלואורי ( $\text{HF}$ ):**

- מולקולות  $\text{HF}$  הן מולקולות קוטביות מאוד בגלל ההבדל הגדול באלקטרושליליות בין אטום המימן (H) לאטום הפלואור (F).  
- בנוסף לכוחות ון דר ואלס, בין מולקולות  $\text{HF}$  פועלים קשרי מימן, שהם כוחות בין-מולקולריים חזקים מאוד הנוצרים כאשר אטום מימן קשור לאטום פלואור, חמצן או חנקן, ויש לו קשר עם זוג אלקטרוניים לא קושר על אטום פלואור, חמצן או חנקן במולקולה שכנה.

#### **הגורם העיקרי להבדל במצב הצבירה:**

קשרי המימן החזקים במימן פלואורי ( $\text{HF}$ ) גורמים לכך שהמולקולות נמשכות זו לזו בכוח רב יותר בהשוואה לכוחות ונדר ואלס החלשים בין מולקולות הפלואור ( $\text{F}_2$ ). כתוצאה מכך, בטמפרטורה של 15 מעלות צלזיוס, מולקולות  $\text{HF}$  נמשכות זו לזו מספיק חזק כדי להישאר במצב נוזלי, בעוד שמולקולות  $\text{F}_2$  נשארות במצב גזי.

ה. לפניכם תיאור סכימטי לא מאוזן של תהליך ייצור שכבת טונגסטן מתכתית: קבעו לאיזו מן התגובות (1)-(4) מתאים האיור. נמקנו. (3 נקודות)



האיור מתאר את אחת התגובות (1)-(4) בייצור שכבת טונגסטן מתכתית. כדי לקבוע לאיזו תגובה מתאים האיור, נבחן את התגובות השונות ואת מרכיבי האיור.

האיור מראה מולקולות גדולות עם שישה קשרים אפשריים (כמו  $WF_6$ ) המגיבות עם מולקולות קטנות יותר, מה שנראה כמו מולקולות דו-אטומיות (כמו  $H_2$ ), על משטח ליצירת שכבה של חלקיקים גדולים יותר (כמו W).

התגובה שמתאימה ביותר לתיאור באיור היא תגובה (4).

- באיור רואים את הגז  $WF_6$  (המולקולה הגדולה עם 6 אטומים סביב המרכז) מגיב עם גז המימן  $H_2$  (המולקולות הקטנות), מה שמוביל לשקיעה של טונגסטן מתכתי (W) על המשטח.

התוצר הנוסף הוא גז HF (המולקולות הקטנות המרחפות).

1. חשבו מה מספר אטומי הפלואור הדרושים כדי להפיק את הכמות השנתית של  $WF_{6(g)}$  שדרושה לתעשיית השבבים העולמית. (1 טונה = 1,000,000 גרם). (4 נקודות)

כדי לחשב את מספר אטומי הפלואור הדרושים להפקת הכמות השנתית של  $WF_{6(g)}$  הדרושה לתעשיית השבבים העולמית, נבצע את השלבים הבאים:

נחשב את המסה המולרית של  $WF_6$ .

נחשב את כמות המולים של  $WF_6$  הנדרשת.

נחשב את מספר מולי הפלואור הדרושים.

נחשב את מספר אטומי הפלואור הדרושים.

**שלב 1: חישוב המסה המולרית של  $WF_6$**

מסה מולרית של W (טונגסטן) = 183.84 גרם/מול

מסה מולרית של F (פלואור) = 19 גרם/מול

מסה מולרית של  $WF_6$ :

$$M_{W(F_6)} = 183.84 + 6 * 19 = 183.84 + 114 = 297.84 \text{ גרם/מול}$$

**שלב 2: חישוב כמות המולים של  $WF_6$  הנדרשת**

הכמות השנתית של  $WF_6$  הדרושה היא 200 טונות (200,000,000 גרם).

כמות המולים של  $WF_6$  :

$$n(WF_6) = 200,000,000/297.84 = 671,717.52 \text{ mols}$$

**שלב 3: חישוב מספר מולי הפלואור הדרושים**

לכל מול של  $WF_6$  דרושים 6 מולים של אטומי פלואור.

מספר מולי הפלואור :

$$n(F) = 6 * 671,717.52 \text{ moles} = 4,030,305.12 \text{ moles}$$

**שלב 4: חישוב מספר אטומי הפלואור הדרושים**

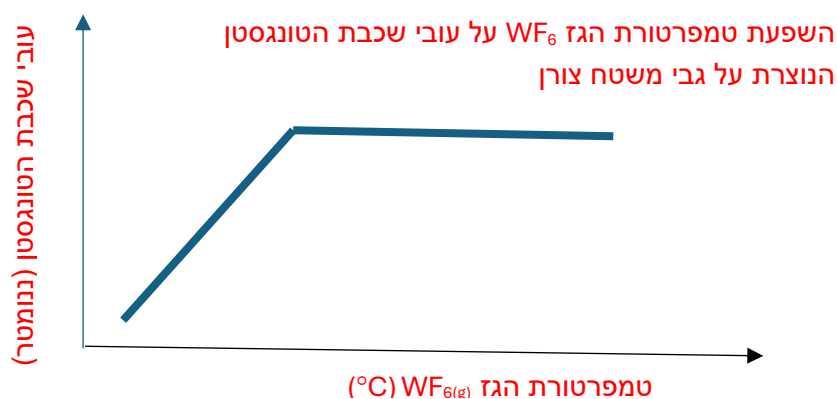
מספר אטומי הפלואור = מספר מולי הפלואור  $\times$  מספר אבוגדרו ( $6.02 \times 10^{23}$  אטומים/מול)

מספר אטומי הפלואור :

$$N(F) = 4,030,305.12 \text{ moles} * 6.022 * 10^{23} \text{ atoms/mole} = 2.43 * 10^{30} \text{ atoms}$$

**לסיכום, מספר אטומי הפלואור הדרושים להפקת הכמות השנתית של  $WF_6$  לתעשיית השבבים העולמית הוא כ-  $2.43 \times 10^{30}$  אטומים.**

ז. בניסוי שנערך במפעל לייצור שבבים בדקו כיצד שינו בטמפרטורה של הגז  $WF_6(g)$  משפיע על עובי שכבת הטונגסטן הנוצרת על גבי משטח צורן. התקבל הגרף הבא :



i. העתיקו את הגרף למחברת הבחינה והוסיפו כותרת לגרף וכותרות לצירים. (1.5 נקודות)

ii. נסחו מסקנה שאפשר להסיק מן הניסוי. (1.5 נקודות)

המסקנה שניתן להסיק מהניסוי היא :

"כאשר מעלים את הטמפרטורה של  $WF_6(g)$  עובי שכבת הטונגסטן הנוצרת על גבי משטח הצורן עולה עד לנקודה מסוימת. לאחר נקודה זו, עובי השכבה נשאר קבוע ואינו משתנה משמעותית עם עלייה נוספת בטמפרטורה".

מסקנה זו מצביעה על כך שיש טמפרטורה מסוימת שבה מתקבל עובי מקסימלי של שכבת הטונגסטן, ולאחר מכן המשך העלאת הטמפרטורה אינו משפיע על עובי השכבה.



פרק שני (60 נקודות)

ענו על שלוש מן השאלות 10-14 (לכל שאלה 20 נקודות).

### 10. מבנה החומר וקשרים בין-מולקולריים

במקצועות ספורט רבים, כגון הרמת משקולות, התעמלות קרקע וטיפוס, משתמשים בחומר למניעת החלקה. החומר מכונה בסלנג של עולם הספורט 'בלוק מגנזיום', אף על פי שהחומר המרכיב אותו הוא מגנזיום פחמתי,  $MgCO_{3(s)}$ .

א. i. רשמו את החלקיקים המרכיבים את החומר מגנזיום פחמתי. (2 נקודות)

מגנזיום פחמתי,  $MgCO_3$ , מורכב מהחלקיקים הבאים:

יון מגנזיום  $Mg^{2+}$

יון פחמתי  $CO_3^{2-}$

ii. קבעו מה סוג הקשר בין החלקיקים? (2 נקודות)

הקשר בין החלקיקים במגנזיום פחמתי הוא קשר יוני.

האיזוטופ הנפוץ ביותר של חמצן הוא  $^{16}O$ . לעתים רחוקות, אחד מאטומי החמצן במגנזיום פחמתי הוא האיזוטופ  $^{18}O$ .

ב. כמה פרוטונים וכמה ניוטרונים יש בכל אחד מהאיזוטופים של חמצן? (2 נקודות)

כדי לקבוע את מספר הפרוטונים והניוטונים בכל אחד מהאיזוטופים של חמצן,

נסתכל על המספרים האטומיים ומספרי המסה של האיזוטופים.

#### חמצן-16: ( $^{16}O$ )

המספר האטומי של חמצן הוא 8, כלומר יש לו 8 פרוטונים.

מספר המסה של חמצן-16 הוא 16, ולכן מספר הניוטונים הוא  $16-8=8$

כלומר, בחמצן-16 יש: 8 פרוטונים ו- 8 ניוטרונים

#### חמצן-18: ( $^{18}O$ )

המספר האטומי של חמצן הוא 8, כלומר יש לו 8 פרוטונים.

מספר המסה של חמצן-18 הוא 18, ולכן מספר הניוטונים הוא  $18-8=10$

כלומר, בחמצן-18 יש: 8 פרוטונים ו- 10 ניוטרונים

בשוק הספורט משווק מוצר דומה, המבוסס גם הוא על מגנזיום פחמתי, הקרוי 'גיר נוזלי'. העובדה שהמוצר נוזלי עשויה להפתיע.

ג. לפניכם שלושה היגדים. רשמו לגבי כל היגד האם הוא נכון או לא נכון. (3 נקודות)

i. העובדה שהמוצר הוא נוזלי מפתיעה, כי גודל ענן האלקטרונים של מולקולות

מגנזיום פחמתי גדול, ולכן היה צפוי שהחומר יהיה מוצק בטמפרטורת החדר.

לא נכון. גודל ענן האלקטרונים אינו גורם ישיר למצב הצבירה של החומר. מצב הצבירה

נקבע בעיקר על ידי הכוחות בין היונים בחומר.

ii. העובדה שהמוצר הוא נוזלי מפתיעה, כי בין חלקיקי המגנזיום הפחמתי יש משיכה חשמלית חזקה מאוד ולכן היה צפוי שהחומר יהיה מוצק בטמפרטורת החדר.

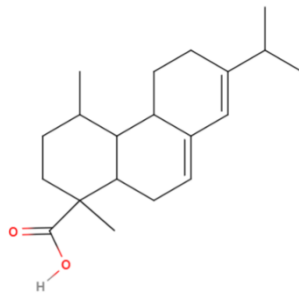
**נכון.** מגנזיום פחמתי הוא תרכובת יונית, והכוחות החשמליים בין היונים הם חזקים מאוד, מה שמוביל בדרך כלל למצב צבירה מוצק בטמפרטורת החדר.

iii. העובדה שהמוצר הוא נוזלי מפתיעה, כי בטמפרטורת החדר אין מספיק אנרגיה על מנת להרחיק את חלקיקי המגנזיום הפחמתי זה מזה, ולכן היה צפוי שהחומר יהיה מוצק בטמפרטורת החדר.

**נכון.** כמות האנרגיה בטמפרטורת החדר אינה מספיקה בדרך כלל כדי לשבור את הקשרים החזקים בין היונים במגנזיום פחמתי, ולכן היינו מצפים שהחומר יהיה מוצק.

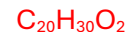
המוצר הנוזלי הוא תערובת של מגנזיום פחמתי, אתאנול,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(l)}$ , ושרף. אחד ממרכיבי השרף הוא חומצה אביאטית.

לפניכם ייצוג מקוצר לנוסחת המבנה של מולקולת חומצה אביאטית:



ד. רשמו את הנוסחה המולקולרית של חומצה אביאטית. (2 נקודות)

הנוסחה המולקולרית של חומצה אביאטית היא:



ה. רשמו שמות של שתי קבוצות פונקציונליות במולקולה של חומצה אביאטית. (3 נקודות)

במולקולה של חומצה אביאטית ישנן שתי קבוצות פונקציונליות בולטות:

קבוצה קרבוקסילית: (Carboxyl group,  $-\text{COOH}$ )

זוהי הקבוצה האחראית לתכונות החומציות של החומצה. היא מורכבת מאטום פחמן הקשור

בקשר כפול לאטום חמצן ובקשר יחיד לקבוצת הידרוקסיל ( $\text{OH}$ )

קשר כפול: (Double bond,  $\text{C}=\text{C}$ )

זוהי קבוצה המכילה קשר כפול בין שני אטומי פחמן במבנה המולקולרי של החומצה.

ו. חומצה אביאטית מתמוססת באתאנול, הסבירו מדוע. (3 נקודות)

חומצה אביאטית מתמוססת באתאנול בגלל שני סוגי קשרים בין-מולקולריים עיקריים: קשרי מימן וקשרי ון דר ולס. בהתחשב בכך שהמולקולות של חומצה אביאטית הן גדולות יחסית, שני סוגי הקשרים תורמים להתמוססות, אך קשרי ון דר ולס הם המשמעותיים יותר בתהליך זה.

קשרי מימן:

המולקולות של חומצה אביאטית מכילות קבוצות קרבוקסיליות ( $-\text{COOH}$ ) היכולות ליצור

קשרי מימן עם קבוצות ההידרוקסיל ( $-\text{OH}$ ) של מולקולות האתאנול. קשרי מימן הם חזקים

יחסית ומספקים משיכה משמעותית בין המולקולות של חומצה אביאטית ומולקולות

האתאנול.

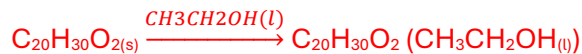
קשרי ון דר ולס:

מכיוון שהמולקולות של חומצה אביאטית הן גדולות, ענני האלקטרונים הגדולים במולקולות מאפשר יצירת אינטראקציות ון דר ולס רחבות יותר. שטח הפנים הגדול של המולקולות מאפשר יותר נקודות מגע בין המולקולות, מה שמגביר את כוחות ון דר ולס הכוללים. כוחות אלו, למרות שהם חלשים באופן יחסי, מצטברים על פני המולקולות הגדולות ותורמים משמעותית להתמוססות.

לכן, למרות שקשרי המימן משחקים תפקיד חשוב בהתמוססות בשל משיכתם החזקה, במקרה של חומצה אביאטית שהמולקולות שלה גדולות, קשרי ון דר ולס בין המולקולות של חומצה אביאטית ומולקולות האתאנול מהווים את הכוח המשמעותי יותר בתהליך ההתמוססות.

ז. נסחו את תגובת ההמסה של חומצה אביאטית באתאנול תוך שימוש בנוסחה

המולקולרית. (3 נקודות)



ח. אתאנול נוזל בטמפרטורת החדר ואילו חומצה אביאטית מוצקה. הסבירו עובדה זו תוך

שימוש במונחים של מבנה וקישור. (3 נקודות)

ט.	אתאנול	חומצה אביאטית
סוג סריג	מולקולרי	מולקולרי
קשרים בינמולקולריים	ונדוואלס+ מימן	בעיקר ונדרוואלס ומעט מימן
גודל ענן אלקטרונים	26 אלקטרונים	166 אלקטרונים
קוטביות המולקולה	קוטבית	מעט קוטבית

הקשרים הבינמולקולריים בין המולקולות החומצה האביאטית חזקים מהקשרים בין מולקולות האתאנול. בטמפרטורת החדר יש מספיק אנרגיה בשביל לנתק חלק מהקשרים בין מולקולות האתאנול ולא בין מולקולות החומצה האביאטית. הסיבה לכך נובעת מגודל ענן האלקטרונים שגודל משמעותי במולקולות החומצה האביאטית וגורם לכך שקשרי הון דר ולס ביניהן חזקים מקשרי המימן והון דר ולס בין מולקולות האתאנול

11. שומנים, סטוכיומטריה מבנה וקישור וחמצון חיזור.

בניגוד לרוב הפירות המכילים בעיקר פחמימות, פרי האבוקדו מכיל שומנים רבים המוסיפים לערכו התזונתי. תכולת השומן באבוקדו מגיע לכ-80% ממשקלו.

בטבלה שלפניכם מוצג ההרכב של חומצות השומן באבוקדו:

רישום מקוצר	אחוז משקלי מתוך כלל חומצות השומן (%)	סמל	חומצת השומן
C16:0	28.21	P	חומצה פלמיטית
C16:1 $\omega$ 7cis	5.69	PI	חומצה פלמיטולאית
C18:0	0.69	S	חומצה סטארית
C18:1 $\omega$ 9cis	50.95	O	חומצה אולאית
C18:2 $\omega$ 2cis,cis	13.87	L	חומצה לינולאית
C18:3 $\omega$ 3cis,cis,cis	0.58	Lc	חומצה לינולאנית

א. התבססו על הנתונים בטבלה וחשבו את האחוז המשקלי של חומצות השומן הרוויות ואת האחוז המשקלי של חומצות השומן החד-בלתי-רוויות בשמן אבוקדו. (4 נק' )

כדי לחשב את האחוז המשקלי של חומצות השומן הרוויות והחד-בלתי-רוויות בשמן אבוקדו, נסתמך על הנתונים בטבלה:

חומצות שומן רוויות:

חומצה פלמיטית 28.21% (P)

חומצה סטארית 0.69% (S)

סה"כ חומצות שומן רוויות = 28.21% + 0.69% = 28.90%

חומצות שומן חד-בלתי-רוויות:

חומצה פלמיטולאית 5.69% (PI)

חומצה אולאית 50.95% (O)

סה"כ חומצות שומן חד-בלתי-רוויות = 5.69% + 50.95% = 56.64%

לכן:

האחוז המשקלי של חומצות השומן הרוויות בשמן אבוקדו הוא 28.90%.

האחוז המשקלי של חומצות השומן החד-בלתי-רוויות בשמן אבוקדו הוא 56.64%.

ב. באבוקדו מצויות כמה חומצות השומן בעלות 18 אטומי פחמן.  
i. קבעו למי מבין החומצות האלה טמפרטורת ההיתוך הנמוכה ביותר וציינו את הגורם לכך שטמפרטורת ההיתוך שלה היא הנמוכה ביותר. (3 נק')  
באבוקדו מצויות ארבע חומצות שומן בעלות 18 אטומי פחמן:

חומצה סטארית(C18:0)

חומצה אולאית(C18:1 $\omega$ 9cis)

חומצה לינולאית(C18:2 $\omega$ 6cis,cis)

חומצה לינולאנית(C18:3 $\omega$ 3cis,cis,cis)

כדי לקבוע למי מבין החומצות האלה יש את טמפרטורת ההיתוך הנמוכה ביותר, נבחן את המבנה הכימי שלהן:

חומצה סטארית היא רוויה, כלומר אין בה קשרים כפולים, ולכן יש לה טמפרטורת היתוך גבוהה.

חומצה אולאית מכילה קשר כפול אחד בתצורה ציס, מה שמפחית את טמפרטורת ההיתוך שלה ביחס לחומצה סטארית, אך פחות מחומצות השומן בעלות יותר קשרים כפולים.

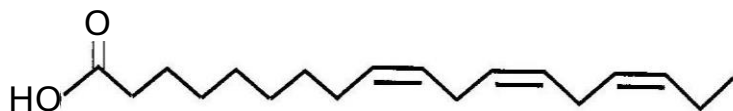
חומצה לינולאית מכילה שני קשרים כפולים בתצורה ציס, מה שמפחית עוד יותר את טמפרטורת ההיתוך שלה.

חומצה לינולאנית מכילה שלושה קשרים כפולים בתצורה ציס, מה שמפחית את טמפרטורת ההיתוך עוד יותר.

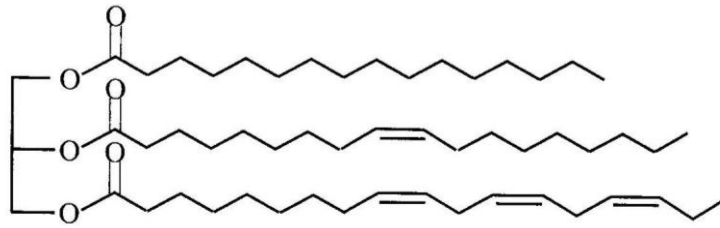
ככל שמספר הקשרים הכפולים בתצורה ציס גדל, כך המבנה המולקולרי נעשה פחות ישר ופחות קומפקטי, מה שמקטין את טמפרטורת ההיתוך של החומצה השומנית.

לכן, לחומצה לינולאנית (C18:3 $\omega$ 3cis,cis,cis) יש את טמפרטורת ההיתוך הנמוכה ביותר מבין החומצות השומן עם 18 אטומי פחמן באבוקדו, בגלל שלושת הקשרים הכפולים בתצורת ציס שלה.

ii. רשמו ייצוג מקוצר לנוסחת המבנה של המולקולה שמצאתם בסעיף ב' i. (3 נק')



לפניכם ייצוג מקוצר של טריגליצריד A, המכיל שלוש חומצות שומן שונות:



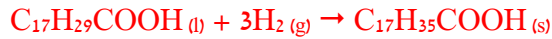
ג. היעזרו בטבלה וכתבו את שמות חומצות השומן המרכיבות את טריגליצריד A. (3 נק')  
 מלמעלה למטה: פלמיטית, אולאית, לינולאנית

ד. כתבו רישום מקוצר למולקולה של איזומר גאומטרי של חומצה פלמיטולאית, PI. (2 נק')

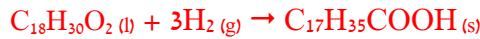


ה. i. נסחו ואזנו באמצעות נוסחאות מולקולריות את תגובת ההידרוגנציה המלאה של

חומצה לינולאנית, Lc (שימו לב: חומצות השומן נוזליות). (2 נק')



או:



כדי לנסח ולאזן את תגובת ההידרוגנציה המלאה של חומצה לינולאנית (Lc), נתחיל בזיהוי הנוסחה המולקולרית שלה ונציין את התגובה שלה עם מימן (H<sub>2</sub>).

חומצה לינולאנית (Lc) היא חומצת שומן רב-בלתי רוויה עם שלושה קשרים כפולים. הנוסחה המולקולרית שלה היא C<sub>18</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub>

בתגובה ההידרוגנציה מלאה, כל הקשרים הכפולים הופכים לקשרים יחידים עם הוספת מימן (H<sub>2</sub>). התוצר לאחר ההידרוגנציה המלאה יהיה חומצה סטארית (C<sub>18</sub>:0) שהיא חומצת שומן רוויה עם הנוסחה המולקולרית C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>.

ii. חשבו את מסת גז המימן הנדרשת להידרוגנציה מלאה של 139 גרם חומצה

לינולאנית, Lc. (3 נק')

$C_{17}H_{29}COOH (l) + 3H_2 (g) \rightarrow C_{17}H_{35}COOH (s)$			
1	3	1	
139/278=0.5	1.5		
	$m=1.5*2=3 \text{ gr}$		

הסבר מילולי:

השלים הם:

לחשב את המסה המולרית של חומצה לינולאנית.

לחשב את מספר המולים של חומצה לינולאנית ב-139 גרם.

לחשב את מספר המולים של מימן הנדרשים להידרוגנציה מלאה.

לחשב את מסת גז המימן.

המסה המולרית של חומצה לינולאנית : 278 גרם/מול

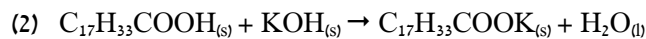
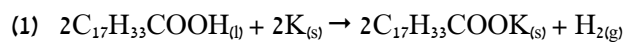
מספר המולים של חומצה לינולאנית ב-139 גרם :  $139/278=0.5 \text{ mol}$

מספר המולים של מימן להידרוגנציה מלאה על פי יחס המולים בתגובה 3 : 1 :  $0.5 \times 3 = 1.5 \text{ mols}$

מסה המימן :  $m \times Mw = 1.5 \times 2 = 3 \text{ g}$

כך, מסת גז המימן הנדרשת להידרוגנציה מלאה של 139 גרם חומצה לינולאנית היא 3 גרם.

כדי להכין סבון, אפשר להגיב חומצה אוליאית נוזלית באחת משתי התגובות (1) או (2) :



ו. קבעו לגבי כל אחת משתי התגובות (1) ו-(2) אם היא תגובת חמצון חיזור, או תגובת חומצה בסיס.

נמקו את קביעתכם. (3 נק')

כדי לקבוע את סוג התגובה (חמצון-חיזור או חומצה-בסיס) עבור כל אחת מהתגובות, נבחן את השינויים במצבי החמצון והאם מתרחש מעבר של פרוטונים ( $H^+$ )

תגובה (1) : נבחן את האלקטרונים :

אטום האשלגן (K) במצב היסודי (מצב חמצון 0) הופך לאשלגן יוני ( $K^+$ ) במלח, כלומר הוא מאבד אלקטרון (מחזור).

אטומי המימן בחומצה האולאית ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) הם במצב חמצון +1 והופכים למימן מולקולרי ( $H_2$ ), שבו מצב החמצון הוא 0 (מחמצן).

לכן, התגובה כוללת שינוי במצבי החמצון של האשלגן והמימן.

מסקנה : תגובה (1) היא תגובת חמצון-חיזור.

תגובה (2) : החומצה האולאית ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) מוסרת פרוטון ( $H^+$ ) ליון ההידרוקסיד ( $OH^-$ ) שב-KOH מה שיוצר מים ( $H_2O$ ) וחומר יוני ( $C_{17}H_{33}COOK_{(s)}$ ).

מסקנה : תגובה (2) היא תגובת חומצה-בסיס.

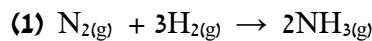
סיכום :

תגובה (1) היא תגובת חמצון-חיזור, כי יש שינוי במצבי החמצון של האשלגן והמימן.

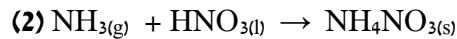
תגובה (2) היא תגובת חומצה-בסיס, כי מדובר בהעברת פרוטון ( $H^+$ ) בין החומצה לבסיס.

## 12. חמצון חיזור וסטויכיומטריה

חנקן מרכיב כ-80% מהאוויר אבל הצמחים אינם יכולים לנצל אותו באופן ישיר וקולטים את אטומי החנקן מתרכובותיו. בתחילת המאה ה-20 פותחה שיטה להפקת אמוניה,  $\text{NH}_3(\text{g})$ , ממימן והחנקן שבאוויר - **תגובה (1)**. השיטה קרויה על שם מפתחיה "תהליך האבר-בוש".



את האמוניה המתקבלת בתהליך האבר-בוש אפשר להגיב עם מימן חנקתי ( $\text{HNO}_3(\text{l})$ ) כדי לייצר את הדשן אמון חנקתי,  $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$  - **תגובה (2)** המשמש בחקלאות.



השאלה מתייחסת לשתי התגובות (1) ו-(2).

א. קבעו עבור תגובות (1) ו-(2), **כל תגובה בנפרד**, האם זאת תגובת חמצון-חיזור או תגובת חומצה-בסיס או תגובת שיקוע? הסבירו. (4)

**נבחן את שתי התגובות המצוינות ונקבע את סוג התגובה :**

**תגובה 1 : דרגות חמצון :**

$\text{N}_2$  דרגת חמצון 0.

$\text{H}_2$  : דרגת חמצון 0.

$\text{NH}_3$  דרגת חמצון של המימן היא +1 ושל החנקן -3.

**שינוי דרגות חמצון :**

חנקן : מ-0 ל-(3-) (עובר חיזור).

מימן : מ-0 ל-(1+) (עובר חמצון).

תגובה זו היא תגובת חמצון-חיזור.

תגובה 2 מעבר פרוטון :

$\text{NH}_3$  (בסיס) מקבל פרוטון ( $\text{H}^+$ ) מ-  $\text{HNO}_3$  (חומצה) ונהפך ל-  $\text{NH}_4^+$  ואילו  $\text{HNO}_3$  מאבד פרוטון ונהפך ל-  $\text{NO}_3^-$

תגובה זו היא תגובת חומצה-בסיס.

ב. מי מבין היונים המרכיבים את החומר אמון חנקתי יכול לשמש כמחזור בלבד. קבעו על פי אטום החנקן והסבירו. (2)

**נבחן את היונים המרכיבים את החומר אמון חנקתי ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) :**

היונים המרכיבים את  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  הם :

1. יון אמון ( $\text{NH}_4^+$ )

2. יון חנקתי ( $\text{NO}_3^-$ )

**דרגות חמצון של אטום החנקן :**



1. ביון האמון ( $\text{NH}_4^+$ ): דרגת החמצון של החנקן היא -3.
2. ביון החנקתי ( $\text{NO}_3^-$ ): דרגת החמצון של החנקן היא +5.

### גבולות דרגות החמצון האפשריות של חנקן:

- דרגת החמצון המינימלית האפשרית של החנקן היא -3 (כפי שנמצא ב- $\text{NH}_4^+$ ).
- דרגת החמצון המקסימלית האפשרית של החנקן היא +5 (כפי שנמצא ב- $\text{NO}_3^-$ ).

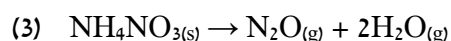
### דרגת חמצון מינימלית ומקסימלית:

- יון האמון ( $\text{NH}_4^+$ ) נמצא בדרגת חמצון מינימלית (-3) עבור החנקן. במצב זה, החנקן כבר נמצא בדרגת חמצון נמוכה מאוד ולכן יכול רק לחזור (לאבד אלקטרונים) ולהעלות את דרגת החמצון שלו.

- יון החנקתי ( $\text{NO}_3^-$ ) נמצא בדרגת חמצון מקסימלית (+5) עבור החנקן. במצב זה, החנקן כבר נמצא בדרגת חמצון גבוהה מאוד ולכן יכול רק לחמצן (לקבל אלקטרונים) ולהקטין את דרגת החמצון שלו.

לכן, יון האמון ( $\text{NH}_4^+$ ) יכול לשמש כמחזור בלבד מכיוון שהוא נמצא בדרגת חמצון מינימלית ויכול לעבור חמצון, כלומר לאבד אלקטרונים ולהעלות את דרגת החמצון שלו.

אמון חנקתי אינו חומר יציב, והוא נוטה להתפרק (בפיצוץ) על פי תגובה (3):



ג. מי המחמצן ומי המחזור בתגובה 3? נמקן באמצעות דרגות חמצון. (2)  
כדי לקבוע מי המחמצן ומי המחזור בתגובה (3), נבחן את דרגות החמצון של האטומים בתגובה. נחשב את דרגות החמצון של החנקן:

ב:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -

ביון האמון ( $\text{NH}_4^+$ ): דרגת החמצון של החנקן היא -3.

ביון החנקתי ( $\text{NO}_3^-$ ): דרגת החמצון של החנקן היא +5.

בתוצרים:

ב-  $\text{N}_2\text{O}$  דרגת החמצון של החנקן היא +1.

ב:  $\text{H}_2\text{O}$ - דרגת החמצון של המימן היא +1 ושל החמצן היא -2 (כרגיל במולקולת מים).

כעת נבחן את השינויים בדרגות החמצון של החנקן:

החנקן ב-  $\text{NH}_4^+$  משנה את דרגת החמצון שלו מ-3 ל-1+ (עובר חמצון, מאבד אלקטרונים).

החנקן ב-  $\text{NO}_3^-$  משנה את דרגת החמצון שלו מ-5+ ל-1+ (עובר חיזור, מקבל אלקטרונים).

קביעה:

המחזור: החנקן שב-  $\text{NH}_4^+$  כי הוא עובר חמצון ומאבד אלקטרונים (דרגת החמצון עולה מ-3-

ל-1+).

המחמצן: החנקן שב-  $\text{NO}_3^-$  כי הוא עובר חיזור ומקבל אלקטרונים (דרגת החמצון יורדת מ-5+

ל-1+).

ד. כמה מול אמוניה יתקבלו כאשר יגיבו 1 קילוגרם מימן בתהליך האבר-בוש (תגובה 1)? פרטו

חישובים (1 ק"ג = 1000 גרם). (3)

נחשב כמה מול אמוניה יתקבלו כאשר יגיבו 1 קילוגרם מימן בתהליך האבר-בוש (תגובה 1):  
המסה המולרית של  $H_2$  היא 2 גרם למול.

מספר המולים של מימן:

$$n = m/M_w = 1000/2 = 500 \text{ mol}$$

יחס המולים בין מימן ( $H_2$ ) לאמוניה ( $NH_3$ ) בתגובה הוא 2:3. כלומר, עבור כל 3 מול מימן, מתקבלים 2 מול אמוניה.

נחשב את מספר המולים של אמוניה:  $2/3$  מתוך 500 הם 333.33 מול אמוניה.  
לכן, כאשר יגיבו 1 קילוגרם מימן בתהליך האבר-בוש, יתקבלו כ-333.33 מול אמוניה.

ה. מהי מסת הדשן אמון חנקתי שניתן להפיק מכמות האמוניה שהתקבלה בסעיף ד? (3)  
כדי לחשב את מסת הדשן אמון חנקתי שניתן להפיק מכמות האמוניה שהתקבלה בסעיף ד,  
נשתמש בתגובה (2):



לפי תגובה (2), יחס המולים בין אמוניה ( $NH_3$ ) לדשן אמון חנקתי ( $NH_4NO_3$ ) הוא 1:1. כלומר, 1 מול של אמוניה יפיק 1 מול של אמון חנקתי. לכן, מספר המולים של אמון חנקתי שניתן להפיק הוא 333.33 מול.

המסה המולרית של אמון חנקתי היא 80 גרם למול.

נחשב את מסת הדשן:

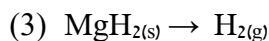
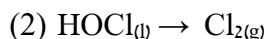
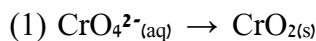
$$m = nXM_w = 333.33 \times 80 = 26666.4 \text{ g} = 26.67 \text{ Kg}$$

**מסת הדשן אמון חנקתי שניתן להפיק מכמות האמוניה שהתקבלה בסעיף ד היא 26.67 קילוגרם.**

דשן מלאכותי אינו המקור היחיד לתרכובות חנקן זמינות לצמחים. מקור נוסף הוא חיידקי קרקע שמבצעים את התהליך הבא:

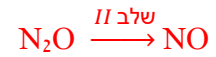


1. בשלב II בתהליך נוצר NO מ- $N_2O$ . קבעו מבין החומרים,  $CrO_4^{2-}(aq)$ ,  $HOCl(l)$  ו- $MgH_2(s)$  להגיב עם  $N_2O$  לביצוע שלב זה. הסתמכו על הניסוחים (1)-(3) והסבירו עבור כל חומר בנפרד. (שימו לב: תיתכן יותר מתשובה אחת). (4)



נבחן איזה מבין החומרים  $CrO_4^{2-}(aq)$ ,  $HOCl(l)$  ו- $MgH_2(s)$  יכול להגיב עם  $N_2O$  ליצירת NO בשלב II.

**שלב II:**



נבחן את דרגות החמצון של החנקן :

- ב-  $\text{N}_2\text{O}$  , דרגת החמצון של החנקן היא +1.

- ב-  $\text{NO}$  , דרגת החמצון של החנקן היא +2.

החנקן עובר חמצון בדרגת חמצון מ-+1 ל-+2. כלומר,  $\text{N}_2\text{O}$  צריך מחמצן כדי לבצע את שלב זה.

כעת נבחן את החומרים הנתונים :

1.  $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$  :

- דרגת החמצון של כרום ב-  $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$  היא +6.

- דרגת החמצון של כרום ב-  $\text{CrO}_2(\text{s})$  היא +4.

- כרום עובר חיזור, יורד בדרגת חמצון מ-+6 ל-+4, ולכן הוא מחמצן.

2.  $\text{HOCl}(\text{l})$  :

- דרגת החמצון של כלור ב-  $\text{HOCl}(\text{l})$  היא +1.

- דרגת החמצון של כלור ב-  $\text{Cl}_2$  היא 0.

- כלור עובר חיזור, יורד בדרגת חמצון מ-+1 ל-0, ולכן הוא מחמצן.

3.  $\text{MgH}_2(\text{s})$  :

- דרגת החמצון של מימן ב-  $\text{MgH}_2(\text{s})$  היא -1.

- דרגת החמצון של מימן ב-  $\text{H}_2$  היא 0.

- מימן עובר חמצון, עולה בדרגת חמצון מ-1 ל-0, ולכן הוא מחזור.

### מסקנה :

כדי לבצע את שלב II (חמצון  $\text{N}_2\text{O}$  ל- $\text{NO}$ ), נדרש מחמצן. החומרים שמתאימים לשמש כמחמצנים

הם :

-  $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$  (כיוון שהוא עובר חיזור)

-  $\text{HOCl}$  (כיוון שהוא עובר חיזור)

-  $\text{MgH}_2(\text{s})$  אינו מתאים כי הוא מחזור ולא מחמצן.

## החומרים שיכולים להגיב עם $N_2O$ לביצוע שלב זה הם $CrO_4^{2-}$ ו- $HOCl$ .

כאשר טובלים פס מגנזיום,  $Mg_{(s)}$ , בתמיסה מימית של ברזל חנקתי,  $Fe(NO_3)_3_{(aq)}$ , פס המגנזיום מתפורר ונוצרים גבישים אפורים בתחתית הכלי. לעומת זאת, כאשר מוסיפים פס נחושת,  $Cu_{(s)}$ , לתמיסת ברזל חנקתי לא נצפה שינוי.

ז. נסחו ואזנו את התגובה שהתרחשה בין פס המגנזיום לתמיסה. (2)



כדי לנסח את התגובה שהתרחשה בין פס המגנזיום ( $Mg$ ) לתמיסה מימית של ברזל חנקתי  $Fe(NO_3)_3$  נבחן את תגובת החמצון-חיזור. פס המגנזיום מתפורר ונוצרים גבישים אפורים בתחתית הכלי, מה שמצביע על כך שמגנזיום מחזר את יוני הברזל ( $Fe^{3+}$ ) ממצב חמצון  $+3$  לסיכום המתכתי.

ח. דרגו את המתכות ברזל, נחושת ומגנזיום על פי יכולתם לחזר (2)



נתוני השאלה:

מגנזיום ( $Mg$ ) מצליח לחזר את יוני הברזל ( $Fe^{3+}$ ) לברזל מתכתי ( $Fe$ ). כלומר, מגנזיום הוא מחזר טוב יותר מברזל.

נחושת ( $Cu$ ) אינה מחזרת את יוני הברזל ( $Fe^{3+}$ ) לברזל מתכתי ( $Fe$ ). כלומר, נחושת היא מחזרת פחות טובה מברזל.

מסקנה

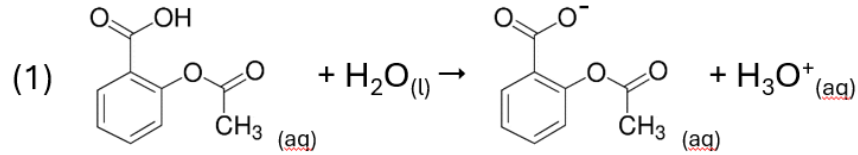
מגנזיום - ( $Mg$ ) המחזר הטוב ביותר, כי הוא מצליח לחזר את יוני הברזל ( $Fe^{3+}$ ) לברזל - ( $Fe$ ) פחות מחזר ממגנזיום, אבל מחזר טוב יותר מנחושת.

נחושת - ( $Cu$ ) המחזר הגרוע ביותר, כי היא אינה מחזרת את יוני הברזל ( $Fe^{3+}$ ) לסיכום:

מגנזיום ( $Mg$ ) מחזר טוב מברזל ( $Fe$ ) שמחזר טוב מנחושת ( $Cu$ ).

**13. חומצה-בסיס וסטויכיומטריה**

טבלית אספירין מורכבת מחומרים רבים. החומר הפעיל הוא חומצה אצטילסליצילית. כדי לקבוע במעבדה את המסה של החומר הפעיל בטבלייה אחת, הכינה ד"ר סימוני שלוש תמיסות בנפח שווה. בכל אחת מן התמיסות היא המיסה טבלייה אחת במים. בכל תמיסה התרחשה תגובה (1):



א. רשמו את הנוסחה המולקולרית של חומצה אצטילסליצילית וחשבו את המסה המולרית שלה. (2 נק'י)

הנוסחה המולקולרית של חומצה אצטילסליצילית היא  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$   
 המסה המולרית שווה ל:

$$Mw = 12 \times 9 + 1 \times 8 + 16 \times 4 = 180 \text{ gr/mol}$$

ב. רשמו את הקבוצות הפונקציונליות במולקולה של חומצה אצטילסליצילית. (3 נק'י)

במולקולה של חומצה אצטילסליצילית קיימות קבוצות פונקציונליות הבאות:

- קשרים כפולים
- קבוצה קרבוקסילית
- אסטר

ד"ר סימוני חילקה את התמיסות לקבוצות המחקר שלה. כל קבוצה קיבלה תמיסה אחת.

הקבוצה של תמר וראם הוסיפה לתמיסה שקיבלה תמיסת  $\text{NaOH}(\text{aq})$  בנפח של 12 מ"ל ובריכוז של 0.25M. התרחשה תגובה ובתום התגובה ה-pH של התמיסה היה 7.

ג. רשמו ניסוח נטו לתגובה שהתרחשה. (2 נק'י)



ד. היעזרו בתגובה שניסחתם בסעיף ג' וחשבו מהי המסה של חומצה אצטילסליצילית

בטבלית אספירין? פרטו את החישובים. (5 נק'י)

$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$	→	$2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	
1	:	1	:	2	יחס מולים
		0.25			ריכוז (M)
				$V = 12 \text{ ml} = 0.012 \text{ l}$	נפח
$3 \times 10^{-3} \text{ mol}$	1:1	$n = 0.25 \times 0.012 = 3 \times 10^{-3} \text{ mol}$			מס' מולים n (mol)

$$m(C_9H_8O_4) = n \times Mw = 3 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 180 \text{ gr/mol} = 0.54 \text{ gr}$$

הסבר מילולי:

כדי לחשב את המסה של חומצה אצטילסליצילית בטבלית אספירין, נשתמש במידע שניתן על תמיסת NaOH שהתווספה והתגובה שהתרחשה.

**מציאת מספר המולים של NaOH:** הנפח של תמיסת NaOH הוא 12 מ"ל (0.012 ליטר) והריכוז הוא 0.025 M.

$$n(\text{NaOH}) = \text{נפח התמיסה} \times \text{ריכוז} = CV = 0.025 \times 0.012 = 0.003 \text{ mols}$$

**קביעת מספר המולים של חומצה אצטילסליצילית:** כל מול של NaOH מנטרל מול אחד של  $H_3O^+$ , שנוצר מהחומצה האצטילסליצילית. לכן, מספר המולים של החומצה האצטילסליצילית הוא 0.003 מול.

**חישוב המסה של חומצה אצטילסליצילית:** המסה המולרית של חומצה אצטילסליצילית היא 180 גרם למול (כפי שחישבנו בסעיף א').

$$m = n \times Mw = 0.003 \times 180 = 0.54 \text{ g}$$

**לכן, המסה של חומצה אצטילסליצילית בטבלית אספירין היא 0.54 גרם.**

לטבליית אספירין מסה של 600 מ"ג. מהו אחוז החומצה האצטילסליצילית בטבלייה? פרטו את החישוב (1 גרם = 1000 מ"ג). (3 נק')

כדי לחשב את אחוז החומצה האצטילסליצילית בטבליית אספירין, נשתמש במידע שיש לנו: המסה של חומצה אצטילסליצילית בטבלייה היא 0.54 גרם או 540 מ"ג, והמסה של הטבלייה כולה היא 600 מ"ג.

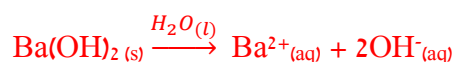
$$0.54 \text{ gr} = 540 \text{ mg}$$

$$\text{אחוז החומצה האצטילסליצילית בטבלייה} = \frac{540 \text{ mg}}{600 \text{ mg}} \times 100\% = 90\%$$

הקבוצה של אחמד ולירי בחרו להוסיף לתמיסה שקיבלה תמיסת בריום הידרוקסיד  $Ba(OH)_2(aq)$  בריכוז 0.125M.

ה. על סמך התוצאות שקיבלתם בסעיף הקודם, קבעו מהו הנפח של תמיסת באריום הידרוקסיד הנדרש לתגובה מלאה. נמקו או פרטו חישובים. (2 נק')

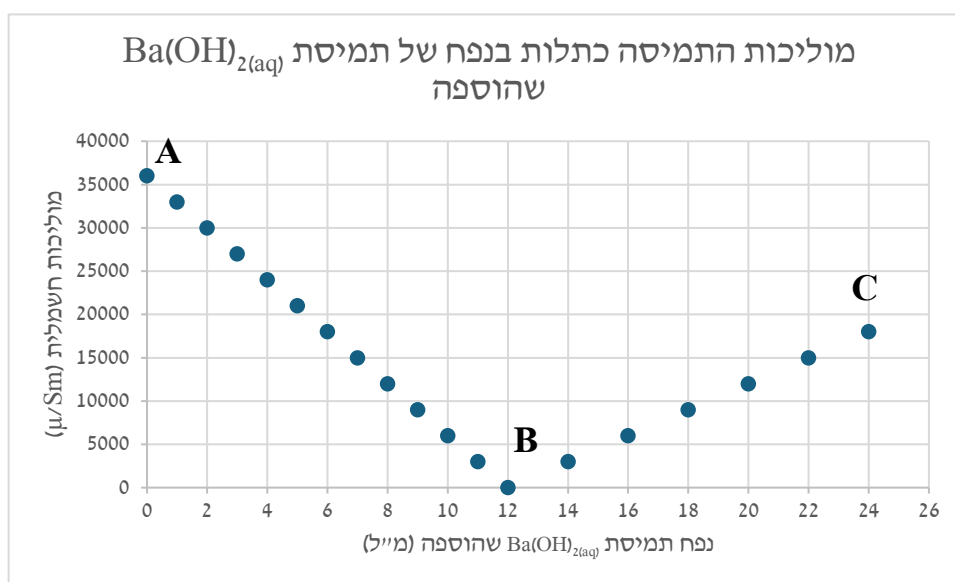
בריום הידרוקסיד בתגובה עם מים מתפרק ליונים של  $Ba^{2+}(aq)$  ו-  $OH^-(aq)$  ביחס 1 ל-2.



לכן לסתירה של אותה הכמות של חומצה שישנה בטבלייה יידרש אותו נפח של הבסיס.

$$V = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ mol}}{2 \times 0.125 \text{ M}} = 0.012 \text{ l}$$

הקבוצה של דוד ויהונתן בחרה לקבוע את מסת החומצה האצטילסיליציילית באמצעות טיטרציית מוליכות חשמלית. לתמיסה שקיבלו, הם הוסיפו בהדרגה תמיסת באריום הידרוקסיד,  $\text{Ba(OH)}_{2(aq)}$ , ומדדו את המוליכות החשמלית של התמיסה. במהלך הטיטרציה נוצר משקע והתקבל הגרף הבא:



במהלך הטיטרציה, ובנוסף למדידת המוליכות, דוד ויהונתן מדדו גם את ה-pH של התמיסה תוך כדי הוספת תמיסת באריום הידרוקסיד. הם מצאו שערך ה-pH בנקודה A בגרף נמוך מערך ה-pH של התמיסה בנקודה B.

1. הסבירו ממצא זה. (3 נק'')

במהלך הטיטרציה, בנקודה A, התמיסה מכילה עדיין יוני  $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$ , מה שהופך את התמיסה לחומצית עם pH נמוך.

בנקודה B, נקודת הסתירה, כל יוני  $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$  נוטרלו על ידי יוני  $\text{OH}^-_{(aq)}$  שנוספו מהבריום הידרוקסיד. בשלב זה התמיסה נייטרלית, ולכן ה-pH גבוה יותר מנקודה A. במקביל, בריום גופרתי ( $\text{BaSO}_{4(s)}$ ) שוקע בתמיסה.

השיקוע של בריום גופרתי תורם לירידה במוליכות החשמלית של התמיסה מכיוון שיון בריום ויון גופרתי יוצאים מהתמיסה ויוצרים מוצק שוקע.

בנקודה C, התמיסה מתחילה להיות בסיסית יותר כתוצאה מהוספת יתר של בריום הידרוקסיד, ומספר יוני  $\text{OH}^-_{(aq)}$  חופשיים עולה. לכן, ה-pH עולה, והמוליכות החשמלית מתחילה לעלות שוב בגלל תוספת יוני  $\text{OH}^-_{(aq)}$  שנמצאים בתמיסה ואינם קשורים בשיקוע.

לכן, הסיבה שערך ה-pH בנקודה A נמוך מערך ה-pH בנקודה B היא שבנקודה A התמיסה עדיין חומצית מאוד עם ריכוז גבוה של  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  בעוד שבנקודה B, כל יוני  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  נוטרלו על ידי יוני  $\text{OH}^-(\text{aq})$ , ונוסף על כך, שיקוע של בריום גופרתי מוריד את המוליכות, מה שגורם ל-pH נייטרלי יותר (בסביבות 7).

ז. הסבירו מדוע בנקודה B המוליכות של התמיסה זניחה. (3 נק'')

נקודה B היא נקודת הסיתירה בטיטרציה של חומצה אצטילסליצילית עם בריום הידרוקסיד, שבה כל יוני  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  נוטרלו על ידי יוני  $\text{OH}^-(\text{aq})$  להלן ההסבר מדוע בנקודה זו המוליכות של התמיסה זניחה:

1. נטרול יוני  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  ויוני  $\text{OH}^-(\text{aq})$

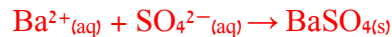
בנקודת הסיתירה,  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  מהחומצה ויוני  $\text{OH}^-(\text{aq})$  מהבסיס מגיבים זה עם זה ליצירת מים:



תגובה זו גורמת לירידה משמעותית במספר היונים החופשיים בתמיסה, מכיוון שהמים שנוצרים הם מוליכים חלשים מאוד של חשמל.

2. שיקוע של בריום גופרתי:  $\text{BaSO}_4(\text{s})$

בנוסף, בתמיסה ישנם גם יוני  $\text{Ba}^{2+}(\text{aq})$  ו- $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  (יונים גופרתיים). כאשר יוני  $\text{Ba}^{2+}(\text{aq})$  ו- $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  נפגשים, הם יוצרים את המשקע הבלתי מסיס בריום גופרתי  $\text{BaSO}_4(\text{s})$ :



תהליך השיקוע הזה מוריד עוד יותר את כמות היונים החופשיים בתמיסה.

3. ירידה במוליכות החשמלית:

כתוצאה משני התהליכים הללו - נטרול היונים ושיקוע הבריום הגופרתי - מספר היונים המומסים בתמיסה הוא מינימלי, מה שמוביל לירידה משמעותית במוליכות החשמלית. יונים חופשיים הם אלו שנושאים את הזרם החשמלי בתמיסה, ולכן כאשר יש מעט מאוד יונים חופשיים, המוליכות החשמלית היא זניחה.



14. מבנה וקישור וחומצות ובסיסים

חומצה זרחתית,  $H_3PO_4(l)$ , מצויה באופן טבעי בגוף האדם ובבעלי חיים אחרים ומשתתפת בשמירה על רמת ה-pH בדם. החומצה מאושרת על ידי מנהל המזון והתרופות האמריקאי (FDA) ומוגדרת בטוחה לשימוש. על כן היא משמשת גם בתעשיית המזון ומצויה במוצרים רבים, כמו קוקה קולה.

קבוצת תלמידי חמד"ע הכינו במעבדה תמיסה A על ידי המסה של 13.8 גרם חומצה זרחתית במים. התקבלה תמיסה בנפח 600 מ"ל. חומצה זרחתית היא חומצה תלת-פרוטית. בתגובת ההמסה במים נוצרים יון זרחתי, ויוני הידרוניום.

א. רשמו ניסוח מאוזן לתהליך המתרחש כאשר מכניסים חומצה זרחתית למים. (2 נק')

כאשר חומצה זרחתית ( $H_3PO_4$ ) מתמוססת במים, היא עוברת תהליך של התפרקות ומוסרת פרוטונים בשלבים. זהו ניסוח מאוזן לתהליך המתרחש:



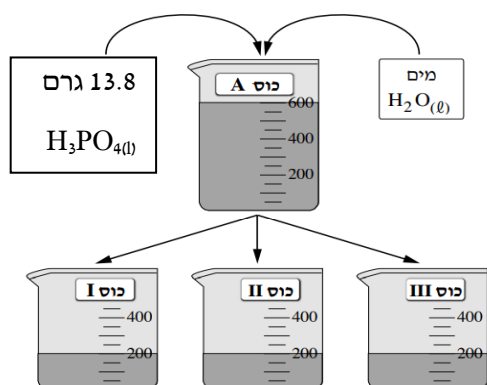
ב. רשמו מאפיין מאקרוסקופי אחד ומאפיין מיקרוסקופי אחד של תמיסה A. (2 נק')

**מאפיין מאקרוסקופי (מספיק אחד):** נוזלית, צלולה, מוליכה חשמל, ערך pH מתחת ל-7.  
**מאפיין מיקרוסקופי (מספיק אחד):** התמיסה מורכבת ממולקולות מים ומיוני הידרוניום ויונים זרחתיים. כל יון מוקף במולקולות מים (יונים ממוימים). המולקולות והיונים קרובים ולא מסודרים, ונעים בתנועה ובסיבוב.

חילקו את התמיסה A באופן שווה לשלושה כלים 1,2,3. בכל כוס 200 מ"ל תמיסה. כפי שמתואר באיור 1.

ג. לפניכם שני היגדים, i-ii, המתייחסים לתמיסות שבכוסות I, II, III. עבור כל אחד מן ההיגדים בחרו את המילה המתאימה מבין המילים המודגשות, כך שההיגד יהיה נכון.

(4 נק')



איור 1

i. מספר המולים של יוני הידרוניום בכל

אחת מן הכוסות **קטן/גדול/שווה** ממספר המולים של יוני הידרוניום בתמיסה שהייתה בכוס A.

ii. ריכוז התמיסה בכל אחת מן הכוסות

**קטן/גדול/שווה** מריכוז התמיסה שהייתה בכוס A.

i. מספר המולים של יוני הידרוניום בכל אחת מן הכוסות **קטן** ממספר המולים של יוני הידרוניום בתמיסה שהייתה בכוס A. מכיוון שכל כוס מכילה רק חלק מהתמיסה המקורית, מספר המולים של יוני הידרוניום בכל כוס יהיה **קטן** מהמספר המקורי בתמיסה A.

ii. ריכוז התמיסה בכל אחת מן הכוסות שווה לריכוז התמיסה שהייתה בכוס A. הריכוז תלוי במספר המולים של החומר בתמיסה ובנפח התמיסה. מכיוון שהתמיסה חולקה באופן שווה, הריכוז בכל אחת מהכוסות נשאר זהה לריכוז המקורי בתמיסה A.

הוסיפו לכל אחת מן הכוסות I, II, III, תמיסות שונות זו מזו.

לכלי I הוסיפו 200 מ"ל תמיסת  $C_2H_5OH_{(aq)}$  בריכוז 1.2 M.

ד. האם מספר המולים של יוני ההידרוניום לאחר הוספת התמיסה יהיה גדול ממספרם בכלי I

לפני הוספת התמיסה, קטן ממנו או שווה לו? נמקו. (3 נק')

אתנול הוא נוזל שאינו משנה את חומציות התמיסה באופן משמעותי, הוא לא מתפרק למתן יוני הידרוניום ( $H_3O^+$ ) ולכן אין לו השפעה ישירה על מספר המולים של יוני ההידרוניום בתמיסה.

נפח תמיסת האתנול: 200 מ"ל = 0.2 ליטר

לאחר הוספת תמיסת האתנול, הנפח הכולל בכלי I יגדל ל-400 מ"ל (0.4 ליטר).

**השפעת הוספת האתנול:**

למרות שהנפח גדל פי שניים, מספר המולים של יוני ההידרוניום אינו משתנה מכיוון שאין יצירת יוני הידרוניום נוספים. אבל, הריכוז של יוני ההידרוניום בכלי I יקטן פי שניים, מכיוון שהנפח הוכפל.

מסקנה:

**מספר המולים של יוני ההידרוניום לאחר הוספת התמיסה יהיה שווה למספרם בכלי I לפני הוספת התמיסה.** הנימוק לכך הוא שהאתנול אינו משנה את מספר יוני ההידרוניום בתמיסה אלא רק את הריכוז שלהם.

ה. קבעו האם בעקבות הוספת התמיסה לכלי I, ערך ה-pH של התמיסה עלה, ירד או לא השתנה.

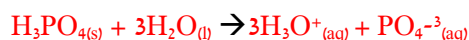
נמקו. (2 נק')

**ערך ה-pH של התמיסה עלה** בעקבות הוספת התמיסה. הנימוק לכך הוא שהריכוז של יוני ההידרוניום בתמיסה קטן עקב הגדלת הנפח, ולכן ה-pH עלה (התמיסה הפכה לפחות חומצית).

לכלי II הוסיפו 200 מ"ל תמיסת  $NH_3_{(aq)}$  בריכוז 0.5 M.

ו. קבעו האם בעקבות הוספת התמיסה לכלי II, ה-pH של התמיסה בכלי היה חומצי,

בסיסי או ניטרלי. פרטו את החישובים. (3 נק')



נדרש להשוות מספר מולים של יוני הידרוניום להידרוקסיד שהוסף

אחרי החלוקה ל 3 כלים שווים	יוני הידרוניום לפני החלוקה
$n=13.8/98=0.42\text{mol}/3=0.14\text{mol}$	$n=13.8/98=0.14\text{mol}$ תלת פרוטי ולכן: $n(\text{H}_3\text{O}^+)=0.42\text{mol}$

$$n=C*V=0.5*0.2=0.1\text{mol}$$

$$n(\text{OH}^-)<n(\text{H}_3\text{O}^+)$$

לאחר הוספת התמיסה לכלי II, יש עודף ביוני הידרוניום ולכן ה-pH לאחר הוספת

התמיסה בכלי היה חומצי.

בהתחשב בכך שחומצה זרחתית ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) היא חומצה תלת-פרוטית, היא יכולה לשחרר עד שלושה פרוטונים ( $\text{H}^+$ ) לכל מולקולה. נחשב את המולים של יוני הידרוניום בהינתן שכל שלושת הפרוטונים משתחררים.

נתונים:

- 13.8 גרם חומצה זרחתית ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) מומסים ב-600 מ"ל מים ליצירת תמיסה A.
- תמיסה A חולקה ל-3 כלים של 200 מ"ל כל אחד.
- לכלי II נוספו 200 מ"ל תמיסת  $\text{NH}_3$  בריכוז M.0.5
- נפח התמיסה הכולל לאחר ההוספה: 400 מ"ל (0.4 ליטר).

חישוב מספר המולים:

### 1. חומצה זרחתית: ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

- מסה מולרית של  $\text{H}_3\text{PO}_4$  היא 98 g/mol
- מספר המולים של  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ב-13.8 גרם:

$$13.8/98 = 0.141 \text{ moles}$$

- כל מול של  $\text{H}_3\text{PO}_4$  יכול לשחרר 3 פרוטונים:

$$0.141 \times 3 = 0.423 \text{ mols } \text{H}_3\text{O}^+$$

- כל כלי מכיל שליש מהתמיסה המקורית:

$$0.423 : 3 = 0.141 \text{ mols } \text{H}_3\text{O}^+$$

### 2. אמוניה: ( $\text{NH}_3$ )

- נפח התמיסה המוספת: 200 מ"ל = 0.2 ליטר
- ריכוז האמוניה: M.0.5
- מספר המולים של  $\text{NH}_3$ :

$$0.2 \text{ L} \times 0.5 \text{ M} = 0.1 \text{ moles}$$

השוואת מספר המולים :

- יוני ההידרוניום ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) : 0.141 מולים.
- אמוניה ( $\text{NH}_3$ ) : 0.1 מולים.

אמוניה היא בסיס חד-פרוטי שמגיב עם יוני ההידרוניום ביחס של 1:1

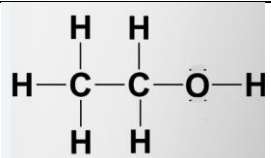
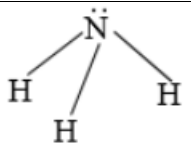
מאחר ומספר המולים של יוני ההידרוניום (0.141 מולים) גדול ממספר המולים של האמוניה (0.1 מולים), כל האמוניה תגיב עם חלק מיוני ההידרוניום, וישאר עודף של יוני ההידרוניום בתמיסה.

מסקנה :

**בעקבות הוספת תמיסת האמוניה לכלי II, התמיסה עדיין תהיה חומצית .**

ז. טמפרטורת הרתיחה של אתאנול,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , גבוהה מטמפרטורת הרתיחה של אמוניה

$\text{NH}_3$ , הסבירו עובדה זו. (3 נק') **נקי**

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{NH}_3$	החומרים
		נוסחאות מבנה או נוסחאות ייצוג אלקטרוניות
26e	10e	הגודל של ענני האלקטרונים במולקולות
מולקולות קוטביות	מולקולות קוטביות	קוטביות מולקולות
קשרי מימן	קשרי מימן	סוגי הכוחות הבין מולקולריים
אינטראקציות ון-דר-ואלס	אינטראקציות ון-דר-ואלס	
גודל ענן האלקטרונים לחומר $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ גדול יותר מחומר $\text{NH}_3$ , לכן אנטרקציות ו.ד.ו חזקות יותר. בנוסף קשרי המימן שבין המולקולות של $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ חזקים מקשרי המימן שבין המולקולות של $\text{NH}_3$ . האלקטרושליליות של אטום החמצן גבוהה מזו של אטום החנקן. אטום מימן שקשור לאטום חמצן חשוף יותר מאלקטרונים מאשר אטום מימן שקשור לאטום חנקן.		ניתוח החוזק היחסי של הכוחות הבין מולקולריים בחומרים
טמפרטורת הרתיחה של $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ גבוהה מטמפרטורת הרתיחה של $\text{NH}_3$ , כי טמפרטורת הרתיחה היא מדד לחוזק כוחות בין מולקולריים.		טמפרטורות הרתיחה של החומרים (נתונה)

**הסבר מילולי:**

### כוחות בין-מולקולריים:

1. אתאנול ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ):

- מולקולות אתאנול הן מולקולות קוטביות וכוללות קבוצת ההידרוקסיל (OH), המאפשרת היווצרות קשרי מימן חזקים בין מולקולות אתאנול.
- קשרי המימן נוצרים בין אטום המימן בקבוצת ההידרוקסיל של מולקולה אחת לבין אטום החמצן בקבוצת ההידרוקסיל של מולקולה שכנה.
- בנוסף לקשרי המימן, קיימים בין מולקולות אתאנול גם כוחות ואן דר ואלס בין החלקים הלא-קוטביים של המולקולה.

2. אמוניה (NH<sub>3</sub>):

- מולקולות אמוניה הן מולקולות קוטביות ויכולות ליצור ביניהן קשרי מימן, שכן הן מכילות אטום חנקן הקשור לאטומי מימן.
- קשרי המימן נוצרים בין אטום המימן במולקולה אחת לבין אטום החנקן במולקולה שכנה.
- עם זאת, קשרי המימן במולקולות אמוניה פחות חזקים מאלו שבמולקולות אתאנול מכיוון שחנקן פחות אלקטרושלילי מחמצן, דבר המוביל לקשרי מימן פחות חזקים.
- בנוסף, מולקולות אמוניה הן מולקולות קטנות יחסית עם כוחות ואן דר ואלס חלשים יחסית.

#### השוואת כוחות בין-מולקולריים:

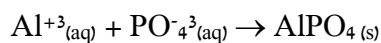
- קשרי מימן בין מולקולות אתאנול חזקים יותר מקשרי המימן בין מולקולות אמוניה עקב האלקטרושליליות הגבוהה יותר של אטום החמצן ביחס לחנקן.
- הכוחות הבין-מולקולריים הכלליים בין מולקולות אתאנול חזקים יותר מאשר בין מולקולות אמוניה עקב נוכחות קבוצת ההידרוקסיל והכוחות ון דר ולס חזקים יותר באתאנול.

מסקנה:

טמפרטורת הרתיחה של אתאנול (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) גבוהה יותר מטמפרטורת הרתיחה של אמוניה (NH<sub>3</sub>) מכיוון שמולקולות אתאנול יוצרות קשרי מימן חזקים יותר וכוחות ון דר ולס חזקים יותר בכלל, דבר המצריך יותר אנרגיה כדי לשבור את הקשרים הבין-מולקולריים ולהפוך את האתאנול מנוזל לגז.

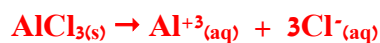
לכוס III הוסיפו 80 מ"ל תמיסת אלומיניום כלורי AlCl<sub>3(aq)</sub>. לאחר ההוספה מופיעה עכירות

בכלי. נתון ניסוח נטו לתגובה שהתרחשה. כל המגיבים הגיבו בשלמות. (4 נק' )



ח. חשבו את ריכוז תמיסת  $\text{AlCl}_3$  שהוסיפו לכוס III.

$\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{PO}_4^{3-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AlPO}_4(\text{s})$				$\text{AlCl}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$				
1	1	→	1		1	→	1 3	יחסי מולים
0.047	0.047	→			0.047	→	0.047	מסי מולים (מול) לפי חישוב בסעיף ו



$$V=0.08 \text{ l}$$

$$C=n/V=0.047/0.08=0.588\text{M}$$

הסבר מילולי

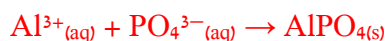
בהתבסס על הנתונים מסעיפים קודמים:

- בכלי III יש 0.047 מולים של חומצה זרחתית ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

- לכלי III נוספו 80 מ"ל תמיסת אלומיניום כלורי ( $\text{AlCl}_3$ ).

נתונים חשובים מהתגובה:

- תגובת השיקוע:



- כל המגיבים הגיבו בשלמות.

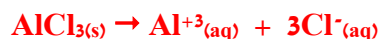
חישוב ריכוז תמיסת  $\text{AlCl}_3$ :

כדי שהתגובה תתרחש במלואה, מספר המולים של יוני האלומיניום ( $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ ) חייב להיות 0.047 מולים (כיוון שהמגיבים מגיבים ביחס 1:1).

נפח תמיסת  $\text{AlCl}_3$  שהוספה: 80 מ"ל = 0.08 ליטר

3. ריכוז תמיסת  $\text{AlCl}_3$ :

על פי תגובת ההמסה:



מספר המולים של  $\text{AlCl}_3$  בתמיסה שווה למספר המולים של  $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$  ולכן אפשר לחשב את ריכוז התמיסה:

$$C(\text{AlCl}_3) = n/v = 0.047/0.08 = 0.588\text{M}$$

ריכוז תמיסת  $\text{AlCl}_3$  שהוסיפו לכוס III הוא 0.588 מולר.