

**מדינת ישראל**

**משרד החינוך**

המזכירות הפדגוגית

###### אגף מדעים

**הפיקוח על הוראת הכימיה**

שאלון 37303 תשע"ב 2012

שאלה 2

ניתוח קטע ממאמר מדעי - חובה

קרא את הקטע שלפניך, וענה על כל הסעיפים שאחריו.



**כימיה במטבח - האבנית והסרתה**

דרך נוחה להרתיח מים להכנת קפה או תה היא באמצעות קומקום.

אם המים "קשים", במשך הזמן מצטברת בקומקום שכבה של מוצק לבן,

המכונה אבנית. המרכיב העיקרי של האבנית הוא סידן פחמתי, CaCO3(s) .

"מים קשים" הם מים עשירים ביוני סידן, Ca2+(aq), וביוני מימן

פחמתי HCO3−(aq) .

כאשר מרתיחים מים "קשים", מתרחשת תגובה (1) והאבנית שוקעת:

חימום

(1) Ca2+(aq) + 2HCO3−(aq) → CaCO3(s) + H2O(g) + CO2(g)

הסרת האבנית מתבצעת בסביבה חומצית. סידן פחמתי מגיב עם תמיסות מימיות של חומצות

על פי תגובה (2):

(2) CaCO3(s) + 2H3O+(aq) → Ca2+(aq) + 3H2O(l) + CO2(g)

כדי להסיר את האבנית אפשר להשתמש במסירי אבנית מסחריים, המכילים

חומצה זרחתית, H3PO4 , או חומצה סולפאמית, HSO3NH2. גם המוצרים הנמצאים בבית

OH

OH

OH

HO

O

O

O

כמו התבלין "מלח לימון", מיץ לימון או חומץ יכולים להסיר את האבנית.  
"מלח לימון" הוא גבישים של חומצת לימון, שנוסחתה:

לימון ופירות הדר אחרים מכילים חומצת לימון, המקנה להם את טעמם החמוץ

חומץ הוא תמיסה מימית של חומצה אצטית, CH3COOH(aq).

חומצה זו מקנה לחומץ את טעמו ואת ריחו האופייניים. החומצה האצטית היא נוזל בתנאי

החדר, CH3COOH(l) .

כדי להסיר את האבנית מקומקום, מכסים אותה בתמיסה של חומצת לימון או בחומץ.

כעבור שעה כל האבנית מגיבה. שופכים את התמיסה ושוטפים היטב את הקומקום במים.

סעיף א' תת-סעיף i

רשום ייצוג מלא לנוסחת המבנה של חומצת לימון.

**תשובה:**

O H

C

O H

H

C

C

C

C

C

H

H

H

O

O H

O

O

H O

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא הבנה**.

רוב התלמידים רשמו נכון את מספר אטומי הפחמן ואת מיקומם. הטעויות הופיעו ברישום אטומי מימן - היו תלמידים שלא רשמו אותם כלל והיו שרשמו רק חלק מאטומי מימן. תלמידים רבים לא רשמו קו המסמל קשר קוולנטי בין אטומי מימן וחמצן בתוך קבוצות -OH .

היו תלמידים שרשמו נוסחה מולקולרית במקום נוסחת מבנה.

הטעויות בשאלות מסוג זה נובעות מבלבול בין שיטות ייצוג שונות של מולקולות. מומלץ לסכם עם התלמידים צורות ייצוג של מולקולות ולתת להם דוגמאות שונות. למשל:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | צורת ייצוג של מולקולה | | |
| נוסחה מולקולרית | ייצוג מלא  של נוסחת מבנה | ייצוג מקוצר  של נוסחת מבנה |
| ייצוג האטומים המרכיבים את המולקולה ומספרם. אפשר לרשום בנוסחה זו את הקבוצה הפונקציונלית שבמולקולה כדי להדגיש את קיומה. | ייצוג של כל האטומים במולקולה (כולל אטומי פחמן ומימן) והקשרים ביניהם. | ייצוג הקשרים בין אטומים במולקולה (חוץ מקשרים עם אטומי מימן). ייצוג זה לא כולל אטומי פחמן ומימן, מלבד בקבוצות פונקציונליות. |
| דוגמאות | אתאן | C2H6 | CH3−CH3 | H − C − C − H  H  H  H  H  H − C − C − O − H  H  H  H  H  H − C − C − O − H  H  H  O  H − C − C − N − H  H  H  H  H  H  OH  COOH  NH2  OH  O |
| אתאנול | C2H6O  C2H5OH | CH3−CH2OH |  |
| חומצה אצטית | C2H4O2  CH3COOH | CH3−COOH |  |
| אתילאמין | C2H7N  C2H5NH2 | CH3−CH2NH2 |  |

**סעיף א' תת-סעיף ii**

הסבר מדוע בתנאי החדר חומצת לימון היא מוצק, ואילו חומצה אצטית היא נוזל.

**תשובה:**

במולקולות של חומצת לימון יש יותר מוקדים ליצירת קשרי מימן (אן יותר קבוצות -COOH ) מאשר במולקולות של חומצה אצטית. בין המולקולות של חומצת לימון נוצרים קשרי מימן רבים יותר מאשר בין המולקולות של חומצה אצטית, ולכן חומצת לימון היא מוצק בטמפרטורת החדר והחומצה האצטית היא נוזל.

קשרי המימן נוצרים בין אטום המימן החשוף מאלקטרונים במולקולה אחת לבין זוג אלקטרונים בלתי קושר על אטום החמצן במולקולה סמוכה.

(או: אטום מימן עם מטען חיובי חלקי גדול יחסית; או: אטום מימן הקשור בקשר קוולנטי לאטום חמצן.) (בנוסף: המולקולות של חומצת לימון גדולות יותר, ולכן אינטראקציות ון-דר-ולס בין המולקולות חזקות יותר מאשר בחומצה אצטית.)

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא אנליזה**.

הציון נמוך. תלמידים רבים לא הצליחו לקשר בין חוזק האינטראקציות הבין מולקולריות בחומר מסוים לבין מצב הצבירה שלו בתנאי החדר. ניתן למיין את הטעויות שאותרו בתת-סעיף זה למספר סוגים:

⬩ התייחסות לאינטראקציות ון-דר-ואלס בלבד:

• "למולקולות של חומצת לימון ענן אלקטרונים גדול יותר, לכן כוחות ון-דר-ואלס בין מולקולות חזקים יותר מאשר בחומצה אצטית."

• "חומצת לימון היא מוצק כי אינטראקציות ון-דר-ואלס בין המולקולות שלה חזקות יותר."

⬩ חוסר הבחנה בין אינטראקציות בין מולקולריות לבין קשרים קוולנטיים - תוך מולקולריים:

• "בחומצת לימון יש קשרים קוולנטיים כפולים החזקים יותר מקשר יחיד, לעומת החומצה האצטית שבין מולקולות שלה קשרים חלשים יותר."

• "בחומצת לימון קשרים תוך מולקולריים חזקים יותר מאלה שבחומצה אצטית."

⬩ התייחסות לחומצת לימון כאל חומר יוני, לעיתים עם הסברים שגויים על מבנה של חומר יוני:

• "חומצת לימון היא מלח, כלומר חומר יוני וחומרים יוניים הם מוצקים בטמפרטורת החדר. המולקולה בנויה מסריג של יונים חיוביים ושליליים וביניהם כוחות משיכה חזקים. חומצה אצטית היא חומר מוקולרי."

• "חומצת לימון מוצק כי זה חומר יוני. חומצה אצטית לא תרכובת יונית אלא חומצה רגילה, אין קשר חזק בין היונים שלה."

יתכן שהסיבה להתייחסות לחומצת לימון כאל חומר יוני היא השם המסחרי שלה "מלח לימון" (למרות שבקטע כתוב שזהו שם מסחרי). מאחר ואנו משתמשים בחומצת לימון במספר ניסויים, למשל בניסוי "חומרים בשקית", כדאי בכל ניסוי להדגיש לתלמידים שמדובר בחומצה ולא במלח.

⬩ הסברים הקושרים מצב צבירה של חומצה עם חוזק חומצה או עם פרוטיות שלה:

• "חומצה אצטית היא חומצה קרבוקסילית חלשה וריכוז יוני הידרוניום בתמיסה שלה נמוך מזה של חומצת לימון, שהיא חומצה חזקה. לכן צריך להשקיע אנרגיה כדי להתיך את החומר."

• "חומצת לימון היא מוצק כי היא תלת-פרוטית לעומת חומצה אצטית שהיא חד-פרוטית."

⬩ התייחסות לחומצות הנתונות כאל חומצות שומן:

• "חומצת לימון היא רוויה במימנים ולכן היא מוצק. חומצה אצטית נוזל כי אין בה כל כך הרבה מימנים."

• "חומצת לימון הינה חומצת שומן וחומצת שומן בתנאי החדר היא מוצק."

⬩ קביעת מצב צבירה על פי סוג החומר:

• "חומצה אצטית נוזל כי היא חומצה קרבוקסילית, וכל החומצות הקרבוסיליות נוזליות בטמפרטורת החדר."

מומלץ להדגיש את ההבדלים בתהליכי היתוך של חומרים יוניים וחומרים מולקולריים מבחינת הקשרים הניתקים במהלך ההתכה. למשל אפשר לבקש מהתלמידים להשלים את הטבלה הבאה:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| מצב צבירה מוצק | | | תהליך היתוך | | מצב צבירה נוזל | |
| נוסחת החומר המוצק | חלקיקים המרכיבים את הסריג | סוג הסריג | קשרים הניתקים במהלך ההתכה | ניסוח תהליך היתוך | חלקיקים ניידים בנוזל | מוליכות חשמלית (גבוהה או זניחה) |
| NaCl(s) | יוני Na+  יוני Cl− | יוני | קשרים יוניים | NaCl(s) → Na+(l) + Cl−(l) | יוני Na+  יוני Cl− | גבוהה |
| C2H5OH(s) | מולקולות  C2H5OH | מולקולרי | קשרי מימן  ואינטר-  אקציות  ון-דר-ואלס | C2H5OH(s) → C2H5OH(l) | מולקולות  C2H5OH | זניחה |
| O2(s) |  |  |  |  |  |  |
| K3PO4(s) |  |  |  |  |  |  |
| Br2(s) |  |  |  |  |  |  |
| CH3COOH(s) |  |  |  |  |  |  |
| Fe2(SO4)3(s) |  |  |  |  |  |  |

סעיף ב'

ב- 100 מ"ל חומץ ביתי יש 5.25 גרם חומצה אצטית, CH3COOH.

**תת-סעיף i**

חשב את מספר המולים של חומצה אצטית ב- 100 מ"ל חומץ ביתי. פרט את חישוביך.

**תשובה:**

gr

mol

60

5.25 gr

= 0.087 mol

gr

mol

60

המסה המולרית של חומצה אצטית:

מספר המולים של חומצה אצטית ב- 100 מ"ל חומץ:

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא הבנה**.

**תת-סעיף ii**

חשב את הריכוז המולרי של חומצה אצטית בחומץ ביתי. פרט את חישוביך.

**תשובה:**

0.087 mol × 1 liter

0.1 liter

= 0.87 mol

מספר המולים של חומצה אצטית בליטר חומץ:

הריכוז המולרי של חומצה אצטית בחומץ: 0.87 M

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא הבנה**.

הציונים של תת-סעיפים ii-i גבוהים. התלמידים ידעו לחשב את מספר המולים בכמות נתונה של החומר ואת הריכוז המולרי של החומר בתמיסה מימית על פי מספר מולי החומר בנפח מסוים של תמיסה. הופיעו טעויות מעטות בהצבה ובחישובים.

**תת-סעיף iii**

כמה גרם אבנית אפשר להסיר באמצעות 100 מ"ל של חומץ ביתי? פרט את חישוביך.

**תשובה:**

(מספר המולים של חומצה אצטית ב- 100 מ"ל חומץ: 0.087 mol )

מ- 1 מול CH3COOH(l) נוצר בתמיסה מימית 1 מול יוני H3O+(aq) .

לכן על פי תגובה (2) יגיבו0.087 מול יוני H3O+(aq) .

על פי יחס המולים בניסוח התגובה, 2 מול יוני H3O+(aq) מגיבים עם 1 מול CaCO3(s) ,

gr

mol

100 × 0.0435 mol = 4.35 gr

0.087 mol

2

= 0.0435 mol

gr

mol

100

לכן מספר המולים של CaCO3(s) שיגיבו:

המסה המולרית של CaCO3(s) :

המסה של CaCO3(s) שתגיב:

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא יישום**.

הציון נמוך. רוב התלמידים שטעו לא התייחסו ליחס המולים בניסוח התגובה (2): 2 מול יוני H3O+ מגיבים עם 1 מול CaCO3(s) , וחישבו על פי יחס המולים 1:1 . היו תלמידים שחישבו על פי יחס המסות של המגיבים ולא על פי יחס המולים.

סעיף ג'

במהלך ניסוי להסרת האבנית באמצעות חומץ ביתי נמדד הנפח של CO2(g) שנפלט.

קבע איזה מהגרפים I-III שלפניך, יכול לתאר נכון את הנפח של CO2(g) כתלות בזמן. נמק את קביעתך.

נפח CO2(g)

( מ"ל)

זמן (דקות)

נפח CO2(g)

( מ"ל)

זמן (דקות)

נפח CO2(g)

( מ"ל)

זמן (דקות)

60

60

60

0

0

0

I II III

**תשובה:**

גרף II .

ככל שכמות האבנית שמגיבה הולכת וגדלה, הנפח של CO2(g) הולך וגדל .

כעבור שעה, כשכל האבנית הגיבה אין יותר שינוי בנפח הגז.

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא יישום**.

רוב הטעויות שאותרו בסעיף זה נובעות מחוסר יכולת לקשר בין כמות הגז (מספר המולים של גז) לבין הנפח שלו. ניתן למיין את הטעויות האופייניות לשני סוגים עיקריים:

⬩ התייחסות לכל מרכיבי המערכת כאל גזים:

• "גרף ***I*** . יחס המולים בין אבנית ל- ***CO2(g)*** הוא ***1:1*** , לכן הנפחים של אבנית ו- ***CO2(g)*** שווים, והנפח הכולל לא משתנה."

⬩ חוסר הבחנה בין נפח הגז שנפלט לבין נפח הכלי:

• "גז טופס כל נפח הכלי שהוא נמצא בו. כאשר גז מתחיל להיפלט, הנפח נשאר קבוע ולא משתנה."

• "גרף ***I*** . החומר גזי, לכן הנפח לא יקטן ולא יגדל."

כדי להבהיר לתלמידים שיחס המקדמים בניסוח תגובה שווה ליחס המולים רק כשהמגיבים או התוצרים הם גזים, אפשר לבצע בכיתה את הפעילות הבאה:

ביצוע חישובים לפי ניסוח תגובה, שבה משתתפים גזים, בשתי דרכים:

לפי יחס המולים בניסוח תגובה ולפי יחס נפחים - מתקבלת אותה תשובה סופית.

דיון: מדוע התקבלה אותה תשובה - השערת אבוגדרו.

דיון: מדוע הדרך השנייה מתאימה רק לגזים - השערת אבוגדרו תקפה רק לגזים.

שאלה לדוגמה:

4NH3(g) + 5O2(g) → 4NO(g) + 6H2O(l)

א. מהו הנפח של O2(g) שנדרש לתגובה מלאה עם 1000 ליטר NH3(g) בתנאי החדר (נפח מולרי של גז הוא 25 ליטר)? פרט את חישוביך.

תשובה:

חישוב בדרך I:

מספר המולים של NH3(g) שהגיב:

1000 liter

liter

mol

25

= 40 mol

יחס המולים בניסוח התגובה בין O2(g) לבין NH3(g)  הוא 4:5 , לכן מספר המולים של O2(g)

הנדרש לתגובה מלאה:

liter

mol

25

50 mol × = 1250 liter

4 mol

40 mol × 5 mol

= 50 mol

הנפח של O2(g) שנדרש לתגובה מלאה:

יש להפנות את תשומת ליבם של התלמידים לכך שבפעולה ראשונה חילקנו בנפח מולרי ובפעולה

אחרונה כפלנו בנפח מולרי. לכן אפשר להשתמש ביחס מקדמים כיחס נפחים:

4 mol

1000 liter × 5 mol

= 1250 liter

הנפח של O2(g) שנדרש לתגובה מלאה:

ב. האם אפשר למצוא את הנפח של מים, H2O(l) , שנוצרו בתגובה זו, בדרך השנייה? נמק.

תשובה:

לא. כדי למצוא את הנפח של כמות מסוימת של נוזל יש לחלק את מסת הנוזל בצפיפות שלו.

(במקרה של המים הצפיפות היא 1 גרם למ"ל).

אפשר לבקש מהתלמידים לחשב את נפח המים המתקבלים בתגובה ולהשוות אתו לתוצאה השגויה

שמתקבלת אם מחשבים את נפח המים כמו נפח הגז - בדרך השנייה.

סעיף ד'

בטבלה שלפניך מוצגים ערכי pH של תמיסות מימיות של שלוש חומצות, המשמשות להסרת אבנית.

הריכוז של כל אחת מהתמיסות הוא 0.1M .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| החומצה | חומצת לימון | חומצה אצטית | חומצה סולפאמית |
| pH של התמיסה | 2.08 | 2.87 | 1.2 |

סדר את שלוש החומצות לפי סדר עולה של חוזק חומצה. נמק.

**תשובה:**

עלייה בחוזק החומצה

חומצה סולפאמית חומצת לימון חומצה אצטית

(שלוש החומצות הן חומצות חלשות, כלומר רק חלק מהמולקולות שלהן מגיב עם מים ליצירת יוני H3O+(aq) .)

(התמיסות הן שוות ריכוז) ככל שה- pH של התמיסה נמוך יותר, ריכוז יוני H3O+(aq) בתמיסה יותר גדול, והחומצה חזקה יותר.

**לדעתנו, רמת חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום היא יישום**.

ניתן למיין את הטעויות האופייניות שהופיעו בסעיף זה למספר סוגים:

⬩ אי הבנה של הקשר בין ה- pH של תמיסה מימית של חומצה מסוימת לחוזק של חומצה זו:

• "ככל שרמת ה- ***pH*** גדולה יותר כך יותר עולה יכולת של תמיסה להיות חומצית."

• "ככל שרמת ה- ***pH*** יותר גבוהה, כך ריכוז יוני ***H3O+(aq)*** גבוה יותר והחומצה חזקה יותר."

• "חומצה אצטית היא החזקה ביותר מכיוון שה- ***pH*** שלה הגבוה ביותר."

⬩ הסבר המבוסס על ההנחה שחוזק החומצה תלוי במסיסות החומצה במים - יצירת קשרי מימן עם המים:

• "חומצת לימון הכי חזקה, כי היא בעלת מספר אתרים רב יותר ליצירת קשרי מימן עם המים."

⬩ הסבר המבוסס על ההנחה שחוזק החומצה תלוי בפרוטיות החומצה:

• "חומצת לימון היא תלת-פרוטית, כלומר מוסרת שלושה פרוטונים, ולכן היא הכי חזקה."

⬩ קביעה נכונה המלווה בהסבר חלקי - ללא התייחסות לקשר בין pH התמיסה לבין ריכוז יוני H3O+(aq) .

⬩ התייחסות לכמות יוני H3O+(aq) ולא לריכוזם.

כדי להבהיר את הקשר בין pH התמיסה, ריכוז יוני H3O+(aq) ויוני OH−(aq) בתמיסה וחוזק חומצה, מומלץ להסביר לתלמידים - כהעשרה - את המושג "קבוע חומצה" על פי פרק ד' "שמירה על איזון - זה כל העניין!" בספר לימוד "כימיה... זה בתוכנו" מאת דבורה קצביץ, נעמי ארנסט, רונית ברד ודינה רפפורט, מכון ויצמן למדע. מומלץ לדון עם התלמידים באיורים בספר בעמודים 98-99 המתארים את הריכוזים של יוני H3O+(aq) ויוני OH−(aq) בתמיסות השונות ואת סולם pH . כמו כן מומלץ לעבור עם התלמידים על טבלה 18 - קבועי חומצות, בספר נתונים מאת ד"ר איטה כהן, מכון ויצמן למדע. יש לשים לב לחומצות חזקות ולהבדלים בקבועי חומצות חלשות.

שאלות לתרגול:

שאלה 1:

הכינו שלוש תמיסות שוות ריכוז של החומצות הבאות:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | חומצה | קבוע חומצה, Ka |
| 1 | CH3COOH | 1.8·10−5 |
| 2 | CCl3COOH | 2.1·10−1 |
| 3 | CF3COOH | 5.9·10−1 |

מהו ההיגד הנכון ?

א. ה- pH של שלוש התמיסות זהה, כי הן שוות ריכוז.

ב. ה- pH של תמיסות 2 ו- 3 זהה, כי לערכי הקבוע יש אותה חזקה.

ג. חומצה 3 היא החזקה ביותר, כי ערך קבוע החומצה שלה הכי גבוה.

ד. חומצה 1 היא החזקה ביותר, כי כל מולקולה שלה יכולה למסור 4 פרוטונים.

תיאור פעילות הקָשַר בכדורגל אמריקאי - פוטבול (שחקן שתפקידו להעביר כדור לשחקני ההתקפה) יכול לשמש אנלוגיה מתאימה לחוזק חומצה. קָשַרים חזקיםמשחררים את הכדור מהר מאוד ולכן, כשהמשחק נעצר, הכדור לא נמצא אצל קָשַרים - כמו פרוטונים שיוצאים ממולקולות של חומצה חזקה בתמיסה. לעומת זאת, קָשַרים חלשים מחזיקים את הכדור יותר זמן ולכן, כשהמשחק נעצר, רק קָשַרים מעטים נשארים בלי כדור - כמו פרוטונים מעטים שיוצאים ממולקולות של חומצה חלשה בתמיסה.

כדי להמחיש לתלמידים שאין בהכרח קשר בין מידת מסיסות החומצה במים (מספר אתרים להיווצרות קשרי מימן) לבין חוזקה, ניתן להשתמש במספר דוגמאות:

להלן נתונים לגבי מספר חומצות

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| מסיסות חומצה במים | Ka | נוסחת החומצה | שם החומצה |
| ללא הגבלה | 1.8•10−5 | CH3COOH | אצטית |
| 85.8 גרם ל- 100 מ"ל | 13•10−3 | CH2ClCOOH | כלורואצטית |
| ללא הגבלה | 5•10−2 | CHCl2COOH | דו-כלורואצטית |
| 1000 גרם ל- 100 מ"ל | 2.3•10−1 | CCl3COOH | תלת-כלורואצטית |

על סמך נתוני הטבלה:

א. ציין דוגמאות שחומצה עם מסיסות גבוהה יותר היא חומצה חזקה יותר.

ב. ציין דוגמאות שחומצה עם מסיסות גבוהה יותר היא חומצה חלשה יותר.

ג. רשום ייצוג מלא לנוסחת מבנה של מולקולות החומצה המופיעות בטבלה.

ד. האם קיים קשר בין מספר קשרי מימן שנוצרים בין מולקולה של חומצה למולקולות המים לבין חוזק החומצה? נמק.

ה. הצע הסבר לעלייה בחוזק החומצות.

שאלה 2:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| מסיסות חומצה במים | קבוע חומצה | נוסחת החומצה | שם החומצה |
| ללא הגבלה | 5.6•10−4 | HF | מימן פלואורית |
| 85.8 גרם ל- 100 מ"ל | - | HCl | מימן כלורית |
| ללא הגבלה | - | HBr | מימן ברומית |

א. האם קיים קשר חד-משמעי בין מסיסות החומצה במים לבין חוזקה? נמק על סמך נתוני הטבלה.

ב. חוזק החומצות עולה לפי הסדר הבא: HBr > HCl > HF

הסבר מדוע.

ג. הסבר מדוע לחומצה מימן כלורית ולחומצה מימן ברומית אין קבוע חומצה?