

**מדינת ישראל**

**משרד החינוך**

המזכירות הפדגוגית

###### אגף מדעים

**הפיקוח על הוראת הכימיה**

ניתוח תוצאות של בחינת הבגרות בכימיה

השלמה מ- 3 ל- 5 יחידות לימוד תשע"ד

שאלונים 037201 , 037202 , 037203

חלק I

**הוכן על-ידי: בוגרי הקורסים למורים מובילים**

**במסגרת המרכז הארצי למורי הכימיה**

**בראשות: זיוה בר-דב**

**צוות הכתיבה: חני אלישע**

**רחל אשר**

**אסתר ברקוביץ**

**מוחמד גרה**

**רים סאבא**

**קלודיה סאדר**

**אלה פרוטקין-זילברמן**

**מיכאל קויפמן**

**עדינה שינפלד**

**נאוה תמם**

**יעוץ מדעי ופדגוגי: מכון ויצמן למדע: ד"ר רחל ממלוק-נעמן**

**פרופ' ליאור קרוניק**

**משרד החינוך: ד"ר דורית טייטלבאום, מפמ"ר כימיה**

**מרץ 2015**

חלק I

# תוכן עניינים

עמ'

• תודות 3

• מבוא 4

• נושא חובה: אנרגיה ודינמיקה 1 8

• ברום ותרכובותיו 27

• פולימרים 46

• כימיה פיזיקלית - מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה 71

**אנו מודים לד"ר רון בלונדר ולאורית מולווידזון על יום העיון בנושא**

**"מטרות ההוראה". בעקבות יום עיון זה הגדרנו את המטלות בכל שאלה**

**כתוצרי למידה (ראו פירוט בהמשך).**

**תודה למשתתפי השתלמות קיץ בנושא "פולימרים", בהנחיה של**

**ד"ר מלכה יאיון, אסתר ברקוביץ ולואיזה קריכלי,**

**שהתקיימה במכון דוידסון, מכון ויצמן למדע, בקיץ תשע"ד,**

**עבור העזרה בניתוח שאלות 5-6 בנושא "פולימרים".**

ניתוח התוצאות של בחינת הבגרות בכימיה

השלמה מ- 3 ל- 5 יחידות לימוד תשע"ד

שאלונים 037201 , 037202 , 037203

ניתוח התוצאות של בחינת הבגרות נעשה על ידי מורים מנוסים, בעלי ניסיון רב בהכנה ובהגשה לבגרות, בוגרי הקורסים למורים מובילים. הקורסים התקיימו במרכז הארצי למורי הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, במכון ויצמן למדע.

החומר מופיע באתר המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע:

[http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter](http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/)

ובאתר המפמ"ר:

<http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut_Pedagogit/chimya>

בנוסף, ניתוחי הבגרות מהשנים תשנ"ח-תשע"ג נמצאים באתר המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע, בדף:

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=19>

השנה ניגשו לבחינת השלמה מ-3 ל-5 יחידות לימוד 7011 תלמידים.

הניתוח הנוכחי מתבסס על ממצאים סטטיסטיים של מכון סאלד (ציוני שאלות וציוני סעיפים), על תוצאות המדגם של 300 מחברות (ציוני תת-סעיפים) ועל טעויות אופייניות שאותרו על ידי מעריכי בחינת הבגרות.

איתור ואיסוף טעויות אלה כרוך במאמצים רבים מצד המעריכים ועל כך תודתנו הרבה.

**התשובות לשאלות שמופיעות בחוברת זו מבוססות על המחוון למעריכי בחינת הבגרות ומיועדות למורים.**

**תלמידים זקוקים לתשובות מפורטות יותר!**

בטבלה הבאה מופיעים ממוצעים משוקללים של הציונים בשלושת

השאלונים: 37201 , 37202 , 37203 , על פי ממצאים סטטיסטיים שדווחו

על ידי מכון סאלד. ממצאים אלה מתבססים על 7011 נבחנים.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| הנושא | | נושא חובה:  אנרגיה  ודינמיקה 1 | | ברום  ותרכובותיו | | פולימרים | | כימיה פיזיקלית -  מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה | |
| מס' שאלה | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ציון ממוצע | | 66 | 80 | 56 | 65 | 69 | 73 | 72 | 73 |
| % תלמידים  שבחרו בשאלה | | 54% | 46% | 3% | 3% | 33% | 23% | 8% | 18% |
| %  תלמידים  שציונם | 100-85 | 31 | 55 | 9 | 28 | 29 | 36 | 45 | 32 |
| 55-84 | 37 | 31 | 48 | 36 | 46 | 46 | 29 | 51 |
| 54-0  (40-0) | 32  (18) | 14  (7) | 43  (24) | 36  (14) | 25  (14) | 18  (9) | 26  (17) | 17  (8) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| הנושא | | כימיה  אורגנית מתקדמת | | כימיה של  חלבונים וחומצות גרעין | | כימיה של הסביבה | | תרמודינמיקה  שלב שני | | מיומנויות בנושאי מעבדות חקר |
| מס' שאלה | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| ציון ממוצע | | 69 | 78 | 74 | 75 | 72 | 72 | 71 | 84 | 85 |
| % תלמידים  שבחרו בשאלה | | 7% | 2.5% | 7% | 9.5% | 5% | 5% | 2.5% | 2% | \* |
| %  תלמידים  שציונם | 100-85 | 36 | 48 | 43 | 31 | 46 | 36 | 29 | 62 | 63 |
| 55-84 | 37 | 37 | 38 | 58 | 33 | 42 | 55 | 31 | 33 |
| 54-0  (40-0) | 27  (18) | 15  (7) | 19  (9) | 11  (3) | 21  (14) | 22  (11) | 16  (8) | 7  (4) | 4  (1) |

3.5% מהמספר הכללי של הנבחנים, 23% מהנבחנים בשאלון 037202

בעקבות **ההרצאה של ד"ר רון בלונדר ואורית מולווידזון "מטרות ההוראה"** הגדרנו את המטלות בכל שאלה **כתוצרי למידה** - מה יהיו התלמידים מסוגלים לעשות כתוצאה מפעילות הלמידה.

תוצרי למידה מבטאים את מה שמצופה מהתלמיד לבצע בתום תקופת הלמידה.

גישה המבוססת על תוצרי למידה היא גישה ממוקדת תלמיד

**הטקסונומיה של בלום בתחום הקוגניטיבי:**

• החשיבה מתחלקת לשש רמות מורכבות.

• תהליכי החשיבה השונים מאורגנים בסדר היררכי.

• כל רמה תלויה ביכולת לפעול ברמות שתחתיה.

• ההוראה והלמידה הן תהליכים מתמשכים.

• המורה צריך לגרות את התלמידים להניע את תהליכי החשיבה שלהם כלפי מעלה עד לשלבים הגבוהים של סינתזה והערכה.



בניתוח השאלות אנו מציגים **רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**, העשויה לעזור בתכנון לימודים ובהערכת הישגים. הטקסונומיה כוללת שש רמות חשיבה:

**ידע**: יכולת להיזכר או לזכור עובדות, יכולת של שליפת מידע מהזיכרון - פרטים, דרכים, אמצעים ועוד.

דוגמה לשאלה: מהי טמפרטורת הרתיחה של המים?

**הבנה**: יכולת להבין ולפרש מידע שנלמד, יכולת להשתמש בחומר הנלמד, הצגתו בדרך שונה מזו שנלמדה.

דוגמה לשאלה: קבע אם ההיגד הוא נכון: לאטומים של היסודות הנמצאים בטור השני, יש מספר זהה של אלקטרוני ערכיות.

**יישום**: יכולת להשתמש בחומר הנלמד במצבים חדשים, כלומר, להשתמש ברעיונות ומושגים לפתרון בעיות, יכולת ליישם את הידע הנרכש בהקשרים שונים ובמצבים חדשים.

דוגמה לשאלה: הסבר מדוע פרכלורואתן, C2Cl4 , הוא נוזל ואילו אתן, C2H4 , הוא גז.

**אנליזה (ניתוח)**: יכולת לפרק מידע למרכיביו, כלומר לחפש אחר קשרים פנימיים ורעיונות,

יכולת לנתח את הנתונים, להבחין בין עובדות להנחות, בין עיקר לטפל.

דוגמה לשאלה: ערבבו תמיסה המכילה יוני יודאט, IO3−(aq) , עם תמיסת מימן על חמצני, H2O2(aq) .

התרחשה תגובה. אילו תוצרים יכולים להתקבל בתגובה זו?

1. O2(g) ו- I2(aq)  2. O2(g) ו- IO4−(aq) 3. OH−(aq) ו- I2(aq) 4. OH−(aq) ו- IO−(aq)

**סינתזה**:יכולת לחבר חלקים יחדיו ולהבין באמצעותם את התמונה השלמה, יכולת להרכיב תוצר ממרכיביו - יכולת לשער, להמציא.

שאלה לדוגמה: לבקש מהתלמיד לתכנן ניסוי העשוי לאשר את השערתו.

**הערכה**: יכולת לשפוט ולהעריך מידע למטרה מסוימת, יכולת שיפוט איכותי וכמותי של תוצר על פי קריטריונים.

לדוגמה: שיפוט רעיון, המצאה מדעית.

שאלה 1

נושא חובה - אנרגיה ודינמיקה 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** | ציון  משוקלל |
| ציון | **71** | **62** | **66** | **66** |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 66 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 54% מהתלמידים**

41-54

14%

0-40

18%

55-84

37%

85-100

31%

**66**

**73**

**74**

**53**

**80**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ה ד ג ב א

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לזהות תגובות כהפוכות.

⮘ להסביר מהי אנרגיית שפעול של תגובה על פי תורת התנגשויות, תוך שימוש במושגים: התנגשויות והתנגשויות פוריות ביחידת זמן, תצמידים משופעלים.

⮘ להגדיר את המושגים: תגובה אנדותרמית ותגובה אקסותרמית.

⮘ לקבוע לפי ערכים של אנרגיות שפעול של תגובות הפוכות (המתרחשות באותה טמפרטורה), איזו מהתגובות היא אנדותרמית ואיזו אקסותרמית - עבור תגובות אלה אנרגיית השפעול של תגובה אנדותרמית גבוהה מזו של תגובה אקסותרמית.

⮘ להבדיל בין אנרגיית השפעול לבין השינוי באנתלפיה התקנית של התגובה.

⮘ חישוב השינוי באנטרופיה של המערכת, מערכתΔSo , על פי ערכים של אנטרופיה תקנית, , So של מגיבים ותוצרים בתגובה.

⮘ לקבוע אם התגובה הנתונה היא ספונטנית בתנאי הניסוי על פי סימן השינוי באנטרופיית היקום.

⮘ לקשר בין סוג התגובה - אנדותרמית או אקסותרמית, לבין השינוי באנטרופיה של הסביבה.

⮘ לחשב את השינוי באנטרופיית היקום.

⮘ לחשב טמפרטורה במעלות קלווין על פי טמפרטורה במעלות צלזיוס.

⮘ לחשב את הריכוזים של מרכיבי המערכת בכלי סגור, המכילה גזים, שמגיעה למצב שיווי-משקל - על פי ריכוז נתון של אחד המרכיבים.

⮘ לחשב קצב תגובה.

⮘ לקבוע באילו תנאים, השוררים בכלים, מערכת יכולה להגיע למצב שיווי-משקל.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| סעיף | תת-סעיף | רמת חשיבה לפי בלום |
| א | i | הבנה |
| ii | אנליזה |
| ב |  | יישום |
| ג | i | הבנה |
| ii | יישום |
| ד | i | יישום |
| ii | יישום |
| ה |  | יישום |

השאלה עוסקת בשתי תגובות הפוכות זו לזו, (1) ו- (2), המתרחשות באותה טמפרטורה.

נתונים ניסוחי התגובות והערך של אנרגיית השפעול, Ea , לכל תגובה.

(1) H2(g) + I2(g) → 2HI(g) Ea = 184 kJ

(2) 2HI(g) → H2(g) + I2(g) Ea = 195 kJ

**סעיף א' (הציון66 )**

**61**

**79**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 79)**

הסבר על פי תורת ההתנגשויות מהי אנרגיית שפעול של תגובה.

**התשובה:**

אנרגיית שפעול היא האנרגיה (הקינטית) המינימלית הדרושה לחלקיקי המגיבים המתנגשים כדי ליצור תצמידים משופעלים, שעשויים להפוך לתוצרים (או: התנגשויות פוריות).

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

רוב התלמידים הסבירו נכון - על פי תורת ההתנגשויות, מהי אנרגיית שפעול של תגובה.

הטעות האופיינית העיקרית, שאותרה בתת-סעיף זה, היא חוסר התייחסות להתנגשויות פוריות ולתצמידים משופעלים.

הטעויות הנוספות שאותרו הן:

⬩ הסברים חלקיים ללא התייחסות להתנגשויות:

• "אנרגיית שפעול מאפיינת כל תגובה."

• "אנרגיית שפעול היא אנרגיה שיש להשקיע אותה."

⬩ חוסר הבחנה בין גורמים תרמודינמיים לבין גורמים קינטיים:

• "כשהתגובה לא ספונטנית, דרושה אנרגיית שפעול."

⬩ חוסר הבחנה בין זרז לבין אנרגיית שפעול:

• "אנרגיית שפעול היא הזרז לתגובה."

⬩ הסברים הנובעים מחוסר ידע והבנה של הנושא:

• "צריך להוסיף אנרגיה לתגובה אנדותרמית, כדי שהיא תתרחש."

להמחשה של אנרגיית שפעול אפשר להשתמש באנלוגיה

של רכבת הרים:



מומלץ להראות לתלמידים סרטון "אנרגיית שפעול":

<https://www.youtube.com/watch?v=VbIaK6PLrRM>

ולדון איתם בתיאור דינמי של התרחשות תהליך אקסותרמי.

**תת-סעיף ii (הציון 61)**

קבע איזו משתי התגובות ההפוכות, (1) או (2), היא אקסותרמית ואיזו מהן היא אנדותרמית.

סרטט גרף המתאר את השתנות האנרגיה במהלך שתי התגובות, והסבר בעזרתו את קביעתך.

**התשובה:**

תגובה (1) אקסותרמית.

תגובה (2) אנדותרמית.

אנרגיה

(kJ)

2HI(g)

התקדמות התגובה

אנרגיית שפעול

של תגובה (2)

אנרגיית שפעול

של תגובה (1)

H2(g) + I2(g)

ΔHo

(2)

ΔHo

(1)

תצמיד

משופעל)

הסבר מילולי לאנרגיות שפעול ול- ΔHo1 ו- ΔHo2 (אם לא צוינו בגרף):

תגובות (1) ו- (2) הן תגובות הפוכות, לכן אחת מהן תהיה אקסותרמית ואחת אנדותרמית. אנרגיית השפעול של התגובה האנדותרמית גבוהה יותר, כלומר התגובה האנדותרמית היא תגובה (2), ואילו תגובה (1) היא האקסותרמית.

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

הציון נמוך. רוב התלמידים קבעו נכון שתגובה (1) היא אקסותרמית ותגובה (2) היא אנדותרמית.

הטעויות הופיעו בעיקר בגרף. הטעויות האופייניות הן:

⬩ ציור דיאגרמות שאינן משקפות את התקדמות התגובות:

2H(g) + 2I(g)

אנרגיה

H2(g) + I2(g)

2HI(g)

ΔHo

(1)

תגובה (1)

תגובה (2)

2H(g) + 2I(g)

אנרגיה

H2(g) + I2(g)

2HI(g)

ΔHo

(2)

⬩ ציור דיאגרמות ללא ציון אנרגיית השפעול:

2HI(g)

H2(g) + I2(g)

ΔHo

(1)

אנרגיה

ΔHo

(2)

⬩ חוסר של מרכיבי הגרף:

- אי-ציון סימנים של ΔHo1 ו- ΔHo2 בגרף וגם היעדר הסבר מילולי.

- חוסר של ציר אנרגיה.

- אי-רישום של נוסחאות המגיבים והתוצרים על העקומה.

⬩ ציון שגוי של מרכיבי הגרף:

- עקומה בצורה שגויה.

- רישום שגוי של המגיבים והתוצרים.

- סימנים שגויים של ΔHo1 ו- ΔHo2 .

⬩ בלבול בין מונחים "אקסותרמי" ו"אנדותרמי": קובעים שתגובה (1) אנדותרמית אך מסבירים עבור תגובה אקסותרמית:

• "תגובה ***(1)*** אנדותרמית - בה נפלטת אנרגיה."

מומלץ לבנות את התשובה לתת-סעיף זה יחד עם התלמידים בהרחבה: לצייר גרף ולהוסיף הסבר מילולי של כל המרכיבים. אפשר להתחיל מבניית שני גרפים, ורק לאחר מכן לאחד אותם לגרף אחד (על פי דרישת השאלה).

מומלץ לבקש מהתלמידים לבצע אנימציה "אנרגיית שפעול", הנמצאת באתר של המרכז הארצי למורי הכימיה, בדף: <http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=239>

מומלץ להיעזר בדגם הוראה למורי כימיה חט"ע בנושא הקינטיקה, הנמצא באתר המרכז הארצי למורי הכימיה, בדף: <http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=500>

פרק ג' בדגם: "אנרגיית שפעול וזרזים" מכיל רקע תיאורטי ושאלות להערכה.

**סעיף ב' (הציון73 )**

חשב את הערך של שינוי האנתלפיה התקנית,ΔHo , עבור תגובה (1). פרט את חישוביך.

**התשובה:**

(השינוי באנתלפיה התקנית,ΔHo , שווה להפרש בין אנרגיות השפעול.)

ΔHo(1) = 184 kJ − 195 kJ = −11 kJ

ΔHo(2) = 195 kJ −184 kJ = +11 kJ או:

ΔHo(1) = − ΔHo(2) = −11 kJ

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

חלק מהתלמידים התבלבלו בין הערכים של אנרגיית השפעול ושל שינוי האנתלפיה. הם לא הצליחו להשתמש נכון בנתונים שבגרף ולקבוע כיצד יש לחשב את הערך של שינוי האנתלפיה התקנית,ΔHo , עבור תגובה (1):

• ***ΔHo(1) = 184 kJ + 195 kJ = 379 kJ***

• ***ΔHo(1) = −184 kJ***

ציור גרף בתת-סעיף א' ii והוספת הסבר מילולי יעזרו לתלמידים להבין כיצד יש לחשב את שינוי האנתלפיה התקנית בתגובה על פי ערכים של אנרגיית השפעול של התגובה הישירה ושל התגובה ההפוכה.

**סעיף ג' (הציון74 )**

בטבלה שלפניך מוצגים ערכים של אנטרופיה תקנית, , So של המגיבים והתוצר בתגובה (1).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| החומר | HI(g) | I2(g) | H2(g) |
| אנטרופיה תקנית | 206.5 | 260.7 | 130.6 |

J

K·mol

( )

So

**88**

**64**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 88)**

חשב את השינוי באנטרופיה של המערכת, מערכתΔSo , עבור תגובה (1). פרט את חישוביך.

**התשובה:**

ΔSoמערכת = 2 mol × 206.5 −

J

K·mol

J

K

J

K·mol

J

K·mol

(1 mol ×130.6 + 1 mol × 260.7 ) = +21.7

( ΔSoמערכת = 2×SoHI(g) − (SoH2(g) + SoI2(g)) )

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

הציון גבוה. התלמידים חישבו נכון את השינוי באנטרופיה של המערכת, מערכתΔSo , על פי ערכים של אנטרופיה תקנית, , So של המגיבים והתוצר בתגובה (1). הטעויות המעטות שהופיעו בתת-סעיף זה הן בעיקר אי-הכפלה של SoHI(g) במקדם 2 , אי-התאמת יחידות וטעויות בסימנים.

**תת-סעיף ii (הציון 64)**

קבע אם תגובה (1) ספונטנית בתנאי תקן ב-298 K . נמק.

**התשובה:**

תגובה (1) ספונטנית.

השינוי באנטרופיה של המערכת הוא חיובי. תגובה (1) היא אקסותרמית, ולכן השינוי באנטרופיה של הסביבה הוא חיובי.

)סביבה ΔSo + מערכת ΔSo = יקום (ΔSo

השינוי באנטרופיה של היקום הוא חיובי, ולכן התגובה ספונטנית.

(ΔSoסביבה = − )

ΔHo

T

או:

J

K

ΔSoסביבה = − = +36.9

(−11000 J)

298 K

)סביבה ΔSo + מערכת ΔSo = יקום ΔSo)

תגובה (1) היא ספונטנית בתנאי תקן ב- 298 K , כי השינוי באנטרופיה של היקום הוא חיובי.

ΔSoיקום  = 21.7 + 36.9 = 58.6

J

K

J

K

J

K

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

הציון נמוך יחסית. הבעיה העיקרית היא חוסר ידע והבנה - כיצד קובעים אם התגובה הנתונה היא ספונטנית בתנאי הניסוי על פי סימן השינוי באנטרופיית היקום.

הטעויות האופייניות שאותרו:

⬩ קביעת הספונטניות של התגובה על פי הסימן של מערכתΔSo :

• "סימן ***ΔSo*** של המערכת חיובי, לכן התגובה ספונטנית."

⬩ קביעת הספונטניות של התגובה על פי הסימן של סביבהΔSo :

• "סימן סביבה***ΔSo*** חיובי, הדבר מצביע על כך שהתגובה ספונטנית."

⬩ קביעת הספונטניות של התגובה על פי סוג התגובה - אנדותרמית או אקסותרמית:

• "התגובה אקסותרמית ולכן היא ספונטנית."

**סעיף ד' (הציון53 )**

לתוך כלי סגור שנפחו 1 ליטר, המצוי בטמפרטורה 700 K, הוכנסו 0.01מול גז מימן יודי, HI(g) .

לאחר 16 דקות נמצאו בכלי 0.0044 מול HI(g) .

**49**

**56**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 56)**

חשב את ריכוז המימן, H2(g) , לאחר 16 דקות מתחילת הניסוי. פרט את חישוביך.

**התשובה:**

השינוי במספר המולים של HI(g) : 0.0044 mol − 0.01 mol = −0.0056 mol

+0.0056 mol

2

= +0.0028 mol

יחס המולים בין HI(g) ל- H2(g) הוא 1:2 ,

לכן השינוי במספר המולים של H2(g) :

(נפח הכלי 1 ליטר, ולכן) ריכוז H2(g) : 0.0028M

או:

2HI(g) H2(g) + I2(g)

מספר מולים התחלתי 0.01 0 0

השינוי במספר המולים −0.0056 +0.0028 +0.0028

מספר מולים לאחר16 דקות 0.0044 0.0028 0.0028

(נפח הכלי 1 ליטר, ולכן) ריכוז H2(g) : 0.0028M

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

הציון נמוך. תלמידים רבים התבלבלו בחישוב הריכוזים של מרכיבי המערכת בכלי סגור, המכילה גזים, שמגיעה למצב מיווי-משקל - על פי ריכוז נתון של אחד המרכיבים.

הטעות העיקרית, שהופיעה בתת-סעיף זה, היא התעלמות מהתהליך שהתרחש בכלי סגור מרגע ההכנסה של HI(g) , וכתוצאה מכך - דילוג על השלב הראשון של החישוב, הצבת

***0.0044 mol***

***2***

• ***[H2(g)] = = 0.0022 mol***

0.0044 מול מימן יודי במקום 0.0056 מול וחישוב שגוי של מספר המולים של התוצרים:

• ***2HI(g) H2(g) + I2(g)***

מספר מולים התחלתי : ***0.01 0 0***

מספר המולים לאחר ***16*** דקות : ***0.0044 0.0022 0.0022***

**תת-סעיף ii (הציון 49)**

חשב את הקצב של תגובה (2) במשך 16 דקות מתחילת הניסוי. פרט את חישוביך.

**התשובה:**

0.0028 M

16 min

(2) קצב תגובה = = 1.75·10−4  (= 2.9·10−6 )

M

min

M

sec

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

הציון נמוך מאוד. רוב התלמידים התקשו בחישוב של קצב תגובה.

בשנת הלימודים תשע"ה תלמידים לא ייבחנו על נושא זה.

**סעיף ה' (הציון80 )**

לשלושה כלים שנפחם שווה, הנמצאים באותה טמפרטורה, הכניסו אותה כמות של HI(g) .

כליI - פתוח

כליII - סגור ולא מבודד

כלי III - סגור ומבודד

קבע איזה מן ההיגדים שלפניך, a או b , הוא נכון. הסבר מדוע פסלת את ההיגד האחר.

a. המערכת הגיעה למצב שיווי-משקל בכל אחד משלושת הכלים I , II ו- III .

b. חצי שעה לאחר תום התגובה, הטמפרטורה בכלי II הייתה שונה מהטמפרטורה בכלי III .

**התשובה:**

היגד b - נכון.

היגד a - לא נכון, כי המערכת מגיעה למצב שיווי-משקל רק בכלי סגור (כלי I הוא פתוח).

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

הציון גבוה יחסית. רוב התלמידים הצליחו לקבוע באילו תנאים, השוררים בכלים, מערכת יכולה להגיע למצב שיווי-משקל. ניתן למיין את הטעויות האופייניות לשני סוגים עיקריים:

1. קביעה שגויה של היגד: "היגד ***a*** נכון", ובעקבותיה ניסיון לנמק פסילה של ההיגד האחר:

• "היגד ***b*** לא נכון. שני הכלים ***II*** ו- ***III*** סגורים, ולכן הטמפרטורות בשני הכלים, חצי שעה לאחר תום התגובה, יהיו זהות."

• "היגד ***b*** אינו נכון, מאחר וכלי ***II*** לא מבודד, כלומר יש מעבר של אנרגיה מהסביבה אל המערכת."

2. קביעה נכונה של היגד: "היגד ***b*** נכון", אך הסבר שגוי לכך שהיגד a אינו נכון:

• " היגד ***a*** אינו נכון. אם התגובה לא עברה את אנרגיית השפעול שלה, לא מתרחשת תגובה, ולכן המערכת לא הגיעה לשיווי-משקל."

• "התגובה היא אנדותרמית. בכלים ***I*** ו- ***II*** יש מעבר אנרגיה מהסביבה למערכת והתגובה מתרחשת. בכלי ***III*** אין מעבר אנרגיה (הכלי מבודד). המערכת אינה מקבלת אנרגיה על מנת שהתגובה תתרחש והיא לא יכולה להגיע לשיווי-משקל."

• "המערכת לא מגיעה לשיווי-משקל, כי יש מעבר אנרגיה." אין התייחסות למעבר חומר בכלי פתוח.

• "המערכת תגיע לשיווי-משקל רק בכלי ***III*** - כלי סגור ומבודד."

רוב הטעויות שאותרו בסעיף זה נובעות מחוסר ידע והבנה - מה מאפיין מערכת פתוחה, מערכת סגורה, אך לא מבודדת, ומערכת מבודדת.

מומלץ לבצע עם התלמידים את הניסוי "אנרגיה וטמפרטורה" המופיע בעמודים 22-18 , בספר לימוד "אנרגיה בקצב הכימיה" מאת ד"ר מרים כרמי וד"ר אדית וייסלברג, טכניון. הניסוי מבהיר את הקשר בין המושגים "אנרגיה" וטמפרטורה".

שאלה 2

נושא חובה - אנרגיה ודינמיקה 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ציון משוקלל | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** |  |
| **80** | **79** | **81** | **83** | ציון |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 80 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 46% מהתלמידים**

**77**

**82**

**76**

**88**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ד ג ב א

41-54

7%

0-40

7%

55-84

31%

85-100

55%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לקבוע אם התגובה הנתונה היא אנדותרמית או אקסותרמית.

⮘ לקשר בין ערכים של קבוע שיווי-משקל של המערכת בטמפרטורות שונות לבין סוג התגובה - אנדותרמית או אקסותרמית.

⮘ לתאר את המערכת במצב שיווי-משקל ברמה מאקרוסקופית וברמה מיקרוסקופית.

⮘ לקשר בין הערכים של קבוע שיווי-משקל עבור המערכת בטמפרטורות שונות לבין עוצמת הצבע של מרכיב המערכת הצבעוני.

⮘ לקשר בין הטמפרטורה השוררת במערכת לבן קצב התגובה. להסביר קשר זה בעזרת תורת ההתנגשויות.

⮘ לקבוע אם התגובה ספונטנית על פי שינוי האנטרופיה של היקום, ולשם כך לקשר בין גדלים תרמודינמיים: , ΔHo  סביבהΔSo , יקוםΔSo , מערכתΔSo .

⮘ לחשב את מנת הריכוזים, Q , ברגע הנתון.

⮘ לקבוע, על פי מנת הריכוזים וקבוע שיווי המשקל, אם המערכת נמצאת במצב שיווי-משקל.

במידה ולא - לקבוע איזו מן התגובות היא המועדפת עד להשגת מצב שיווי-משקל - הישירה או ההפוכה.

⮘ להסביר את הקשר בין אנרגיית השפעול של התגובה לבין הזרז המתאים הנוכח במערכת - כיצד נוכחות הזרז משפיעה על מנגנון התגובה.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| אנליזה | i | א |
| יישום | ii |
| יישום | iii |
| יישום |  | ב |
| יישום |  | ג |
| אנליזה |  | ד |

J

K

חנקן דו-חמצני, NO2(g) , משמש בין היתר דלק לטילים. NO2(g) מתקבל על פי תגובה (1):

→

←

(1) 2NO(g) + O2(g) 2NO2(g) ΔHo = −114 kJ ΔSoמערכת = −147

חנקן חד-חמצני, NO(g), וחמצן, O2(g) , הם גזים חסרי צבע, ואילו לגז חנקן דו-חמצני, NO2(g) ,

צבע חום.

נערכו שלושה ניסויים שבהם הכניסו לכלים ריקים NO(g) ו- O2(g) , וסגרו את הכלים.

בכל אחד מהכלים הריכוזים ההתחלתיים של שני הגזים היו שווים.

בכל אחד מהכלים המערכת הגיעה למצב שיווי-משקל.

בכל אחד מן הניסויים ביצעו את תגובה (1) בטמפרטורה אחרת וחישבו את ערכו של Kc .

הטמפרטורה שבה נערך כל ניסוי:

- ניסוי I ב- 298 K

- ניסוי II ב- 500 K

- ניסוי III ב- 1100 K

**סעיף א' (הציון77 )**

**65**

**80**

**84**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii iii

**תת-סעיף i (הציון 65)**

לפניך ערכים של קבועי שיווי-משקל, Kc , כפי שחושבו בניסויים:

- 4.9·10−2

- 4.8·1012

- 7.1·104

התאם לכל אחד מן הניסויים I-III את ערך Kc של המערכת. נמק.

**התשובה:**

ניסוי I ב- 298 K - Kc = 4.8·1012

ניסוי II - ב- 500 K - Kc = 7.1·104

ניסוי III ב- 1100 K - Kc = 4.9·10−2

תגובה (1) היא אקסותרמית. ככל שטמפרטורה בכלי גבוהה יותר, התגובה הישירה מועדפת פחות (או: התגובה הישירה מתרחשת במידה מועטה יותר) - ריכוז התוצר במצב שיווי-משקל נמוך יותר, לכן הערך של קבוע שיווי-משקל קטן יותר.

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

הציון נמוך יחסית. חלק מהתלמידים לא הצליחו לקשר בין ערכים של קבוע שיווי-משקל של המערכת בטמפרטורות שונות לבין סוג התגובה - אנדותרמית או אקסותרמית. לכן התייחסו לתגובה הנתונה כאל תגובה אנדותרמית (למרות שכתבו שהיא אקסותרמית).

הטעויות האופייניות העיקריות הן:

⬩ הפעלה של עקרון לה-שטליה כנימוק לקביעת התגובה המועדפת.

עקרון זה אומנם מאפשר לנבא את סוג ההתרחשות במערכת לקראת מצב שווי-משקל,

כתוצאה משינויי תנאים במערכת, אך אינו מהווה הסבר לקביעת התגובה המועדפת.

• "ניסוי ***I*** - ***Kc = 4.9·10−2***

ניסוי ***III*** - ***Kc = 4.8·1012***

התגובה הישירה אקסותרמית. בעת חימום המערכת התגובה האקסותרמית גוברת."

• "התגובה אקסותרמית, ולכן ככל שנחמם, על פי לה-שטליה, תועדף התגובה הישירה תקטין את ההפרעה."

⬩ חוסר הבחנה בין גורמים תרמודינמיים לגורמים קינטיים - בין קצב התגובה עד השגת שווי-משקל לבין השפעת שינוי הטמפרטורה עלKc במצב שיווי המשקל החדש.

• "ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, קצב התגובה גדול יותר, ולכן נוצרים יותר תוצרים. לכן ***Kc*** גדול יותר."

• "ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, ליותר חלקיקים יש אנרגיה המתאימה ליצירת תצמיד משופעל, ולכן ***K*** גדול יותר."

**תת-סעיף ii (הציון 80)**

קבע באיזה משלושת הניסויים עוצמת הצבע החום של תערובת הגזים שהתקבלה במצב שיווי-משקל היא הגדולה ביותר. נמק.

**התשובה:**

בניסוי I .

ערך Kc בניסוי I הוא הגדול ביותר.

בניסוי I ריכוז NO2(g) במצב שיווי-משקל הוא הגדול ביותר, לכן עוצמת הצבע החום של תערובת הגזים היא הגדולה ביותר.

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

רוב התלמידים הצליחו לקשר בין הערכים של קבוע שיווי-משקל עבור המערכת בטמפרטורות שונות לבין עוצמת הצבע של מרכיב המערכת הצבעוני. הטעויות האופייניות שאותרו הן:

⬩ חוסר ידע והבנה - כיצד ריכוזי המרכיבים של המערכת תלויים בערך של קבוע שיווי-משקל:

• "עוצמת הצבע שווה, כי כולם מגיעים לשיווי-משקל מצד המגיבים, ולכן עוצמת הצבע שווה בכולם. אנחנו בחצי הדרך של מגיבים ותוצרים."

• "במצב של שיווי-משקל ריכוז המגיבים שווה לריכוז התוצרים."

⬩ חוסר הבנה של משמעות הביטוי Kc :

• "ככל ש- ***Kc*** קטן יותר, כמות המגיבים ביחס לתוצרים קטנה יותר. בניסוי זה ככל ש- ***Kc*** קטן יותר, כך כמות התוצר ***NO2(g)*** תהיה גדולה יותר. לכן עוצמת הצבע החום הגדולה ביותר תהיה בניסוי ***III***."

**תת-סעיף iii (הציון 84)**

קבע באיזה משלושת הניסויים המערכת הגיעה למצב של שיווי-משקל בזמן הקצר ביותר.

נמק בעזרת תורת ההתנגשויות.

**התשובה:**

בניסוי III .

טמפרטורה היא מדד לאנרגיה הקינטית הממוצעת של החלקיקים (או: בטמפרטורה גבוהה יותר האנרגיה הקינטית הממוצעת של החלקיקים גבוהה יותר), ולכן בטמפרטורה גבוהה יותר גם המהירות הממוצעת של החלקיקים גבוהה יותר.

יש סיכוי גדול יותר להתנגשויות בין החלקיקים (תדירות ההתנגשויות ביניהם גבוהה יותר), ולכן גם סיכוי גדול יותר להתנגשויות פוריות (ביחידת זמן) (או: סיכוי גדול יותר להיווצרות תצמידים משופעלים).

שתי התגובות ההפוכות מתרחשות מהר יותר והמערכת מגיעה למצב שיווי-משקל בזמן קצר יותר.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הצליחו להסביר את הקשר בין הטמפרטורה השוררת במערכת לבן קצב התגובה - בעזרת תורת ההתנגשויות. הטעויות האופייניות שבכל זאת אותרו הן:

⬩ קביעה נכונה המלווה בנימוק שלא כולל את תורת ההתנגשויות.

• "בניסוי ***III*** המערכת מגיעה למצב שיווי-משקל בזמן קצר יותר, כי הטמפרטורה בניסוי זה היא הגבוהה ביותר."

⬩ קביעה שגויה עקב חוסר הבחנה בין גורמים תרמודינמיים לגורמים קינטיים:

• "בניסוי ***I*** המערכת תגיע לשווי משקל בזמן הקצר, כי זו תגובה אקסותרמית המעדיפה קור, וככל שהטמפרטורה נמוכה יותר קצב התגובה האקסותרמית גדול יותר."

**סעיף ב' (הציון82 )**

קבע אם תגובה (1) ספונטנית בתנאי תקן בטמפרטורה 1100 K . פרט את חישוביך ונמק.

**התשובה:**

תגובה (1) לא ספונטנית בטמפרטורה 1100 K .

(ΔSoסביבה = − )

ΔHo

T

ΔSoסביבה = = +103.6

(−114000 J)

1100 K

J

K

)סביבה ΔSo + מערכת ΔSo = יקום ΔSo)

ΔSoיקום  = −147 + 103.6 = −43.4

J

K

J

K

J

K

תגובה (1) לא ספונטנית בטמפרטורה 1100 K , כי השינוי באנטרופיית היקום במהלך התגובה הוא שלילי.

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

רוב התלמידים הצליחו לקשר ביו גדלים תרמודינמיים: , ΔHo  סביבהΔSo , יקוםΔSo , מערכתΔSo , ולקבוע אם התגובה ספונטנית על פי שינוי האנטרופיה של היקום. יחד עם זאת אותרו מספר טעויות אופייניות:

⬩ קביעה ספונטניות של התגובה על פי השינוי באנטרופיית המערכת בלבד או על פי השינוי באנטרופיית הסביבה בלבד:

• "התגובה לא ספונטנית, כי מערכת***ΔSo*** קטן מאפס."

• "תגובה ***(1)*** ספונטנית, כי סביבה***ΔSo*** חיובי."

⬩ אי התאמת יחידות והמרת יחידות שגויה:

• ***114 kJ = 0.114 J***

**סעיף ג' (הציון76 )**

***114***

***1100***

***J***

***K***

• ***ΔSoיקום  = −147 + = −146***

ערכו ניסוי נוסף בטמפרטורה 500 K . לכלי ריק הכניסו NO(g) ו- O2(g) , וסגרו את הכלי.

לאחר זמן מה נמצא כי הרכב המערכת הוא:

[NO(g)] = 0.12 M , [O2(g)] = 2.4 M , [NO2(g)] = 3.6 M

קבע אם המערכת בהרכב זה נמצאת במצב שיווי-משקל.

אם כן - נמק.

אם לא - קבע איזו מן התגובות היא המועדפת עד להשגת מצב שיווי-משקל - הישירה או

ההפוכה. נמק.

**התשובה:**

המערכת לא נמצאת במצב שיווי-משקל.

התגובה המועדפת עד להשגת מצב שיווי-משקל היא התגובה הישירה.

Q = = 375

3.62

0.122 × 2.4

Q =

[NO2(g)]2

[NO(g)]2 × [O2(g)]

(על פי התשובה בתת-סעיף א i בטמפרטורה 500 K קבוע שיווי המשקל הוא Kc = 7.1·104 .)

Q < Kc , ולכן המערכת לא נמצאת במצב שיווי-משקל.

עד להשגת מצב שיווי-משקל (בו Q= Kc) ריכוז התוצר צריך לעלות, ולכן מועדפת התגובה הישירה.

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

רוב התלמידים קבעו נכון שהמערכת לא נמצאת במצב שיווי-משקל ושעד להשגת מצב שיווי-משקל מועדפת התגובה הישירה. רוב התלמידים שטעו קבעו נכון, הטעויות נתגלו בנימוקים:

⬩ טעויות הנובעות מחוסר הבנה מה צריכים להיות ריכוזי המרכיבים במצב שיווי-משקל:

• "התגובה אינה בשיווי-משקל, מכיוון שריכוז התוצרים אינו שווה לריכוז המגיבים."

• "המערכת לא נמצאת בשיווי-משקל, כי ריכוז התוצרים גדול מריכוז המגיבים. התגובה המועדפת עד להשגת שיווי-משקל היא התגובה ההפוכה,מכיוון שהמערכת תפעל להגדלת ריכוז המגיבים כדי שיגיעו לרמת התוצרים."

⬩ חישוב נכון של מנת הריכוזים, אך המסקנה שגויה:

• "המערכת טרם לא נמצאת בשיווי-משקל. כדי להגיע אליו מועדפת התגובה ההפוכה."

⬩ רישום Kc במקום Q . הדבר גרם לבלבול בין מנת הריכוזים לקבוע שיווי-משקל.

**סעיף ד' (הציון88 )**

בתהליך הייצור של NO2(g) , תערובת גזים (המכילה שאריות של תחמוצות חנקן) עלולה להיפלט

ממכל התגובה לסביבה ולזהם את האוויר.

כדי לצמצם את זיהום האוויר מעבירים את תערובת הגזים דרך מתקן הנקרא ממיר קטליטי.

בממיר הקטליטי מתרחשת תגובה (2) בנוכחות זרז מתאים כגון פלטינה, Pt(s) .

תוצרי התגובה אינם מזיקים לסביבה.

(2) 6NO2(g) + 8NH3(g) → 7N2(g) + 12H2O(g) ΔHo < 0

איזה מהגרפים c-a שלפניך מתאר נכון את השתנות האנרגיה במהלך תגובה (2) בנוכחות זרז

וללא זרז?

הסבר מדוע פסלת את שני הגרפים האחרים.

ללא זרז

בנוכחות זרז

אנרגיה

התקדמות התגובה

מגיבים

תוצרים

תוצרים

אנרגיה

התקדמות התגובה

מגיבים

ללא זרז

בנוכחות זרז

אנרגיה

התקדמות התגובה

מגיבים

תוצרים

בנוכחות זרז

ללא זרז

**a b c**

**התשובה:**

גרף **b** הוא הגרף שמתאר נכון את השתנות האנרגיה במהלך תגובה (2).

גרף **a** אינו נכון, כי בו אנרגיית השפעול של התגובה, המתרחשת בנוכחות זרז, גבוהה מאנרגיית השפעול של התגובה, המתרחשת ללא זרז.

גרף **c** אינו נכון, כי הוא מתאר את השתנות האנרגיה במהלך תגובה אנדותרמית, ונתון שתגובה (2) היא אקסותרמית.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הצליחו לבחור בגרף הנכון ולהסביר מדוע שני הגרפים הנוספים אינם נכונים. הופיעו טעויות מעטות הנובעות מקריאת גרף לקויה, כגון בלבול בין אנרגיה לריכוז:

• "גרף ***c*** הוא המתאים, מכיוון שבתהליך זה ריכוז התוצרים חייב להיות גדול מריכוז המגיבים ...לכן ***b ,a*** נפסלו."

מומלץ להיעזר במצגת לפרק ד' "אנרגיה בקצב הכימיה" מאת ד"ר מרים כרמי וד"ר אדית וייסלברג, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון, הנמצאת בדף:

<http://edu.technion.ac.il/chemical-education/yehidot/energy/presentations.html>

אנו מביאים מספר המלצות לנושא החובה: אנרגיה ודינמיקה 1.

מומלץ להראות לתלמידים סרטון המתייחס למצב שיווי-משקל:

<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/animations/chang_7e_esp/kim2s2_5.swf>

מומלץ להיעזר בהוראת הפרק במצגות "הסדר שבאי-סדר או לדעת יותר על אנטרופיה" ו"שינויי אנטרופיה בתגובות כימיות" של אוטיליה רוזנברג, שהוכנו להרצאות שלה בהשתלמויות השונות. חומרים אלה מיועדים להעשרת המורים, לא כל מה שנמצא במצגות כלול בתוכנית הלימודים.

המצגות נמצאות באתר של המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע, בדף:

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=147>

באותו דף נמצא דף עבודה "פירוק של מים".

אפשר להיעזר בשאלות מתאימות מהחוברת: שאלות לתרגול בנושאי המבנית "אנרגיה בקצב הכימיה ברמות חשיבה מגוונות", שהוכנה בסדנה שהתקיימה במכון ויצמן:

###### <http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut_Pedagogit/Chimya/Mivnyot/Azarim+4-5.htm>

שאלה 3

ברום ותרכובותיו

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ציון משוקלל | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** |  |
| 56 | **54** | **56** | **59** | ציון |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 56 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 3% מהתלמידים**

41-54

24%

0-40

19%

55-84

48%

85-100

9%

**92**

**49**

**59**

**36**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ד ג ב א

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לזהות ברומידים על פי מסיסותם במים ועל פי השימושים שלהם.

⮘ להסביר מה הם מעכבי בערה, מהו מעכב בערה פעיל ומהו מעכב בערה מוסף.

⮘ לקבוע אם מעכב בערה נתון הוא פעיל או מוסף.

⮘ להסביר כיצד מעכב בערה מוסף, כגון NH4Br(s) , גורם לעיכוב הבערה.

⮘ לקבוע מהן התכונות של תמיסת CaBr2(aq) המאפשרות להשתמש בה לקידוחי נפט.

⮘ להסביר את הקשר בין הרכב התמיסה, המשמשת לקידוחי נפט, לבין הטמפרטורה באזור הקידוח.

⮘ לקבוע אם תוצר התגובה מסוג חמצון-חיזור הוא תוצר של חמצון או תוצר של חיזור.

⮘ לנסח תגובה על פי תיאור מילולי של המגיבים ושל התוצרים.

⮘ לצייר תרשים זרימה לייצור תרכובת, על פי התהליך המתואר בשאלה.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| יישום |  | א |
| יישום | i | ב |
| יישום | ii |
| הבנה | i | ג |
| אנליזה | ii |
| הבנה | i | ד |
| יישום | ii |
| יישום | iii |

השאלה עוסקת בברומידים.

בטבלה שלפניך מוצגים נתונים על שלושה ברומידים המסומנים באופן שרירותי באותיות A , B , C .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **אחד השימושים** | **המסיסות במים** | הברומיד |
| מעכב בערה | גבוהה | A |
| תמיסתו המימית משמשת בקידוחי נפט | גבוהה | B |
| בצילום (במצלמה לא דיגיטלית) | זניחה | C |

**סעיף א' (הציון92 )**

זהה את הברומידים המסומנים באותיות A , B , C מבין הברומידים:

סידן ברומי, CaBr2(s) ; אמוניום ברומי, NH4Br(s) ; כסף ברומי, AgBr(s) .

**התשובה:**

A - NH4Br(s)

B - CaBr2(s)

C - AgBr(s)

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

הציון גבוה מאוד. התלמידים הצליחו לזהות ברומידים על פי השימושים שלהם ו על פי מסיסותם במים. כמעט ולא אותרו טעויות.

**סעיף ב' (הציון49 )**

**37**

**61**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 61)**

קבע אם ברומיד A הוא מעכב בערה פעיל או מעכב בערה מוסף. נמק.

**התשובה:**

הברומיד A הוא מעכב בערה מוסף.

NH4Br(s) הוא חומר יוני ואין לחלקיקיו אפשרות להשתלב בפולימר בקשרים קוולנטיים.

או: לחומר NH4Br(s) אין קבוצות פונקציונליות שיכולות להיות מקושרות בשרשרות הפולימר.

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

הציון נמוך יחסית. חלק ניכר מהתלמידים לא הצליחו לקבוע אם מעכב בערה NH4Br(s) הוא פעיל או מוסף. הטעות העיקרית היא זיהוי NH4Br(s) כחומר מולקולרי בו יש קבוצה פונקציונלית -NH2

שיכולה להיקשר לשרשרת של פולימר:

• "***NH4Br(s)*** הוא מעכב בערה פעיל, כי יש לו קבוצה פונקציונלית שיכולה להיקשר קוולנטית לפולימר."

• "***NH4Br(s)*** הוא מעכב בערה פעיל, כי במולקולה שלו יש קבוצה פונקציונלית **-*NH2*** שהודות לה המולקולות יכולות להשתלב בשרשרות הפולימר."

היו תלמידים שקבעו נכון ש- NH4Br(s) הוא מעכב בערה מוסף, אך לא נימקו את הקביעה.

מומלץ להבהיר לתלמידים את ההבדלים בין מעכבי בערה פעילים לבין מעכבי בערה מוספים. בניגוד למעכב בערה פעיל, הוספת מעכב בערה מוסף אינה כרוכה בתהליך כימי הגורם לשינוי הפולימר. מומלץ להיכנס עם התלמידים לפרטים שנראים טכניים. לכן כדאי להכין עם התלמידים תרשים זרימה שיפרט את תהליך ייצור המוצר, כולל הוספת מעכב הבערה.

התלמיד צריך להכיר שיטות פלמור וצילוב. לכן אם המורה בוחר ללמד גם נושא "פולימרים", עדיף ללמדו לפני הנושא "ברום ותרכובותיו". אם הנושא "פולימרים" לא נלמד, מומלץ בעת לימוד הנושא "מעכבי בערה" להקדיש זמן להסבר על שיטות הפלמור - סיפוח ודחיסה, ועל עקרונות של יצירת קשרי צילוב. אפשר לתת דוגמאות של שילוב מעכבי בערה פעילים בפולימרים.

**תת-סעיף ii (הציון 37)**

ציין דרך אחת שבה ברומיד A גורם לעיכוב הבערה. הסבר.

**התשובה:**

אחת מהדרכים:

- בטמפרטורה גבוהה NH4Br(s) מתפרק. אחד מתוצרי הפירוק הוא HBr(g),

המגיב עם הרדיקלים החופשיים(HO• , H•) באזור הלהבה, ובכך גורם להאטת

קצב הבערה.

- הפירוק של NH4Br(s) הוא תהליך אנדותרמי, לכן נקלט חלק מהאנרגיה מאזור הבערה.

- HBr(g) , הנוצר בפירוק של NH4Br(s) , מדלל את הגזים הדליקים באזור הבערה.

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

הציון נמוך מאוד. רוב התלמידים לא הצליחו לתאר דרך שבה NH4Br(s) גורם לעיכוב הבערה.

חלק מהתלמידים דילגו על תת-סעיף זה. הטעות האופייניות העיקרית היא חזרה על כך ש- NH4Br(s) הוא מעכב בערה - במקום ציון דרך שבה הוא גורם לעיכוב הבערה:

• "זהו חומר שמעכב את הבערה - היא לא מתחילה מיד."

• " ***NH4Br(s)*** הוא מעכב בערה - לא נותן לה להתפתח."

בעיה נוספת היא תשובות חלקיות:

• " ***NH4Br(s)*** מתפרק בבערה."

• "מ-  ***NH4Br(s)*** נוצר ***HBr***(g) ."

על מנת להרחיב ידע בנושא "מעכבי בערה" מומלץ לעבור יחד עם התלמידים על החומרים להצגה של ד"ר מירי קסנר "מה למעכבי בערה ולהייטק?", שהוצגה במושב המורים בכנס הארצי של מורי הכימיה תשע"ה "כימטק - כימיה בהייטק", בחנוכה תשע"ה. בין היתר, בחומרים האלה נכללות הנחיות לתלמיד ולמורה לביצוע ניסוי חקר "האם נייר נדלק?", אותו מומלץ לבצע עם התלמידים. החומרים נמצאים באתר המרכז הארצי למורי הכימיה, בעמוד הכנס:

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=1226>

**סעיף ג' (הציון59 )**

**25**

**82**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 82)**

מבין התכונות שלפניך בחר בשתי תכונות של התמיסה המימית של ברומיד B , המאפשרות

להשתמש בה בקידוחי נפט.

- צפיפות נמוכה.

- תמיסה צלולה.

- נדיפות גבוהה

- טמפרטורת גיבוש נמוכה.

- יכולת שיתוך נמוכה.

- כושר חיזור נמוך.

**התשובה:**

שתיים מהתכונות:

- תמיסה צלולה

- טמפרטורת גיבוש נמוכה

- יכולת שיתוך נמוכה

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

הציון די גבוה. רוב התלמידים בחרו נכון בתכונות של תמיסת CaBr2(aq) , המאפשרות

להשתמש בה בקידוחי נפט. התלמידים שטעו בחרו בתכונות לא מתאימות:

• "כושר חיזור נמוך."

• "נדיפות גבוהה."

• "צפיפות נמוכה."

בחירה זו מצביעה על חוסר ידע והבנה - מהן התכונות המאפשרות להשתמש בתמיסת CaBr2(aq)

בקידוחי נפט.

**תת-סעיף ii (הציון 25)**

בקידוחי נפט משתמשים כיום בתמיסות מימיות המכילות, נוסף לברומיד B , מרכיבים כגון

תמיסת אבץ ברומי, ZnBr2(aq) .

הרכב התמיסה שמשתמשים בה נקבע בהתאם לטמפרטורה באזור הקידוח.

הסבר את הקשר בין הרכב התמיסה לבין הטמפרטורה באזור הקידוח.

**התשובה:**

הרכב התמיסה משפיע על טמפרטורת הגיבוש (או: קיפאון) של התמיסה. טמפרטורת הגיבוש צריכה

להיות נמוכה מטמפרטורה השוררת באזור הקידוח, אחרת חלק מהמלחים שבתמיסת הקידוח עלול

לשקוע ובכך לפגוע ביעילותה.

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

הציון נמוך ביותר. רוב התלמידים התקשו להסביר את הקשר בין הרכב התמיסה לבין הטמפרטורה באזור הקידוח. רובם לא התייחסו כלל להשפעת הרכב התמיסה על טמפרטורת הגיבוש שלה. חלק ניכר מהתלמידים דילגו על תת-סעיף זה. הבעיה העיקרית היא בלבול עם הקשר בין טמפרטורה לבין עדיפות לתגובה אנדותרמית או לתגובה אקסותרמית במערכות המגיעות למצב שיווי-משקל:

• "באזורים קרים יש לבחור בתגובה אקסותרמית, שתתרחש טוב יותר בקירור. באזורים חמים יש לבחור בתגובה אנדותרמית, שתתרחש טוב יותר בחימום."

• "התגובה היא אקסותרמית, ולכן בטמפרטורות גבוהות מאוד הרכב התמיסה צריך להיות כזה שתתרחש כמה שפחות הוצאת אנרגיה לסביבה."

בעיה נוספת היא תשובות כלליות וחלקיות, שלעיתים חוזרות על הנתון בשאלה:

• "הרכב התמיסה צריך להתאים לאקלים באזור."

• "קובעים את הרכב התמיסה על פי הטמפרטורה באזור הקידוח."

מומלץ, בנוסף ללימוד הנושא "תרכובות ברום בקידוחי נפט", על פי ספר לימוד "לא על הברום לבדו" מאת ד"ר מירי קסנר, מכון ויצמן למדע, להרחיב בנושא זה. אתרים מומלצים:

<http://www.bromorim.co.il/?p=203>

דפים על סידן ברומי ועל אבץ ברומי במאגר חומרים, באתר: כימיה ותעשייה כימית בשירות האדם:

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/learnchem/>

מומלץ להראות לתלמידים סרטון על תמיסות לקידוחי נפט:

<https://www.youtube.com/watch?v=3hOQ9E2b2HI&list=PLQoax2tM7zg5LsQEI1MmRmP1cwTThhW0T>

**סעיף ד' (הציון36 )**

תחליב צילום (אמולסיית צילום) מכיל גבישים קטנים של ברומיד C .

כאשר גבישים אלה נחשפים לאור מתרחשת תגובה שבה מתקבלת, בין היתר, מתכת.

נסמן מתכת זו באופן שרירותי באות ***M*** .

**42**

**28**

**36**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii iii

**תת-סעיף i (הציון 42)**

קבע אם המתכת ***M*** היא תוצר של חמצון או תוצר של חיזור. נמק.

**התשובה:**

המתכת (Ag(s)) היא תוצר של חיזור.

+1

0

דרגת החמצון של יוני Ag+ בברומיד היא ודרגת החמצון של אטומי הכסף במתכת Ag(s) היא (או: דרגת החמצון של חלקיקי הכסף יורדת במהלך התגובה).

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

הציון נמוך. תלמידים רבים לא הצליחו לענות לשאלה פשוטה זו - ברמה של 3 יחידות לימוד.

אותרו טעויות אופייניות משני סוגים עיקריים:

1. קביעה שגויה וניסיון לנמקה:

• "תוצר של חמצון. היא הפכה מיוני מתכת למתכת ***M***, כלומר העניקה אלקטרונים והייתה מחזרת, ולכן עברה חמצון."

2. קביעה נכונה ללא נימוק או מלווה בנימוק כללי ולא מדויק:

• "תוצר של חיזור, כי מתכת תמיד תוצר של חיזור."

• " תוצר של חיזור, כי זאת מתכת."

**תת-סעיף ii (הציון 28)**

כשמערבבים תמיסת נתרן ברומי, NaBr(aq) , עם תמיסת ***M***NO3(aq) מתרחשת בתגובת שיקוע

ומתקבל הברומיד C .

התבסס על הנתונים שבשאלה ורשום ניסוח נטו לתגובה זו. והשתמש בנוסחאות החומרים

ולא בסימונים השרירותיים C ו- ***M*** .

**התשובה:**

Ag+(aq) + Br−(aq) → AgBr(s)

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

הציון נמוך ביותר. רוב התלמידים לא הצליחו לנסח תגובה על פי התיאור המילולי של המגיבים ושל התוצרים. הופיעו ניסוחים שגויים כגון:

• ***Ag+(aq) + NO3−(aq) + Na+(aq) + Br−(aq) → NaNO3(aq) + AgBr(aq)***

• ***Ag+(aq) + Br−(aq) → AgBr(aq)***

שני תת-סעיפים אלה מתייחסים לחומר המתאים ל- 3 יחידות לימוד. מומלץ לחזור עם התלמידים על הנושאים העיקריים מ- 3 יחידות לימוד. תרכובות ברום, כנושא תעשייתי, מתבסס בעיקר על נושאים של 3 יחידות.

**תת-סעיף iii (הציון 36)**

צייר תרשים זרימה לייצור ברומיד C מוצק בתעשייה, על פי התהליך המתואר בתת-סעיף ד ii .

**התשובה:**

NaNO3(aq)

AgBr(s)

## מכל

## תגובה

NaBr(aq)

AgNO3(aq)

## סינון

NaNO3(aq)

## ייבוש

AgBr(s)

רטוב

AgBr(s)

יבש

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

הציון נמוך מאוד. רוב התלמידים לא הצליחו לצייר תרשים זרימה לייצור AgBr(s) , על פי התהליך המתואר בתת-סעיף ד' ii . חלק ניכר מהתלמידים התעלמו מכך שמדובר בייצור חומר מוצק ולא ציירו את השלבים של סינון וייבוש. בעיה נוספת היא חוסר הבנה כיצד מבצעים תהליך תעשייתי, מהם עקרונות ההפרדה של החומרים השונים, וכתוצאה מכך ציור מגיבים ותוצרים בשני מכלים:

***AgNO3(aq) + NaBr(aq)***

***Ag+(aq) + Br−(aq)***

***AgBr(s)***

אחסון

חלק מהתלמידים אינם מבינים את העקרונות של תהליכי ההפרדה. הנושא "שיטות הפרדה" חשוב מאוד להבנה של מבנה חומרים ותכונותיהם. מומלץ להכניס נושא זה בשלבים שונים של הוראת הכימיה בכל הזדמנות. עבור חלק משיטות ההפרדה ניתן ומומלץ לבצע ניסויים שונים להיכרות עם שיטות אלה. מומלץ להיעזר בדוגמאות לתהליכי הפרדה שונים, שהבאנו בחוברת ניתוח תוצאות של בחינת הבגרות בכימיה, השלמה מ- 3 ל- 5 יחידות לימוד תשע"א.

כמו כן מומלץ להשתמש באוסף פעילויות בנושא "שיטות הפרדה", הנמצא באתר הלימודי: כימיה ותעשייה כימית בשירות האדם, מכון ויצמן למדע, בדף:

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/learnchem/main.asp?pagekind=4&ID=02_17_02>

שאלה 4

ברום ותרכובותיו

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ציון משוקלל | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** |  |
| **65** | **66** | **52** | **70** | ציון |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 65 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 3% מהתלמידים**

**73**

**90**

**72**

**48**

**57**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ה ד ג ב א

41-54

22%

0-40

14%

55-84

36%

85-100

28%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לציין שיקולים בבחירת חומרי הגלם בתעשייה כימית.

⮘ לשקול באילו חומרי גלם לבחור לביצוע תהליך תעשייתי מסוים.

⮘ לנתח דרגות ניקיון של חומרי גלם שונים ואת השפעתן על דרגת ניקיון של תוצר התהליך ועל השימושים שלו.

⮘ לבצע חישובים סטויכיומטריים עבור תהליכים תעשייתיים.

⮘ ליישם את המושגים: המרה וניצולת. לחשב אחוז המרה ואחוז ניצולת.

⮘ לנתח את הגורמים המשפיעים על ניצולת התהליך.

⮘ להשוות בין שיטות שונות לביצוע תהליך תעשייתי.

⮘ לנתח מאפיינים של תהליכים תעשייתיים שונים ולבחור בתהליך המתאים למפעל מסוים.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| יישום |  | א |
| יישום |  | ב |
| אנליזה |  | ג |
| יישום | i | ד |
| יישום | ii |
| יישום | i | ה |
| אנליזה | ii |

בתכנון של תהליך ייצור בתעשייה כימית יש חשיבות לבחירת חומרי הגלם.

**סעיף א' (הציון 73 )**

ציין שלושה שיקולים בבחירת חומרי הגלם בתעשייה כימית.

**התשובה:**

שלושה מבין השיקולים:

- עלות חומרי הגלם

- זמינות חומרי הגלם

- השימוש שנעשה בתוצר

- דרגת הניקיון של חומרי הגלם (או: דרגת הניקיון של התוצר)

- בטיחות - עד כמה מסוכן לעבוד עם החומר

- מורכבות הטיפול בתוצרי לוואי

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

הבעיה העיקרית בסעיף זה היא חוסר הבנה - מהו חומר גלם. הטעויות האופייניות הן:

⬩ בלבול בין חומרי גלם לחומרי מבנה של מתקנים:

• "חומרי גלם צריכים להיות עמידים מפני לחצים ומפני חומצות."

⬩ בלבול בין חומרי גלם לבין תוצר התגובה:

• "חומרי גלם שנוצרים בתגובה צריכים להיות קלים להעברה ידידותיים לסביבה."

סעיפים ב-ה עוסקים בתהליכי ייצור שחומר הגלם בהם הוא תמיסת מימן ברומי,HBr(aq)  .

תמיסתHBr(aq)  מתקבלת על ידי ספיגתHBr(g)  במים.

במפעל "תרכובות ברום" יש שני מקורות ל-HBr(g) :

מקור I - HBr(g)  שהוא תוצר בתגובה בין מימן, H2(g) , לברום, Br2(g) .

מקור II - HBr(g)  שהוא תוצר לוואי בתהליכי ייצור של תרכובות פחמן המכילות ברום.

**סעיף ב' (הציון90 )**

באיזה משני המקורות, I או II , שלHBr(g)  כדאי להשתמש כדי לקבל תמיסתHBr(aq)  בדרגת

ניקיון גבוהה יותר? נמק.

**התשובה:**

במקור I .

במתקן לייצור HBr(g) משתמשים בחומרי גלם נקיים.

או: התוצר עובר תהליכי הפרדה משאריות של ברום ומימן.

או: HBr(g) , המתקבל כתוצר לוואי בתהליכים אחרים במפעל, מכיל אי-ניקיונות.

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

הציון גבוה. לא אותרו טעויות בקביעה. אותרו רק נימוקים חלקיים מעטים.

**סעיף ג' (הציון 72 )**

בתמיסת HBr(aq) ממקור I משתמשים בתהליך הייצור של תמיסת ליתיום ברומי, LiBr(aq) ,

המשמשת במערכות קירור ומיזוג אוויר.

בתמיסת HBr(aq) ממקור II משתמשים בתהליך הייצור של תמיסת סידן ברומי, CaBr2(aq) .

הסבר מדוע בתהליך הייצור של תמיסת LiBr(aq) משתמשים בתמיסתHBr(aq)  ממקור I ,

בעוד שבתהליך הייצור של תמיסת CaBr2(aq) משתמשים בתמיסתHBr(aq)  ממקור II .

בתשובתך התייחס לשימושים השונים של תמיסות החומרים.

**התשובה:**

תמיסת CaBr2(aq) מוזרמת לבאר הקידוח, ולכן היא לא חייבת להיות בדרגת ניקיון גבוהה.

מספיקה דרגת הניקיון של התמיסה המתקבלת כתוצר לוואי.

במערכות קירור משתמשים בתמיסות בדרגת ניקיון גבוהה, ולכן בייצור תמיסת LiBr(aq) משתמשים בתמיסה המתקבלת במתקן לייצור מימן ברומי.

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

מטלה רב-שלבית זו הייתה קשה לחלק מהתלמידים. הם התקשו להסביר את הקשר בין שימוש בתוצר התגובה לבין דרגת הניקיון של חומר גלם - תמיסת HBr(aq) , ובין דרגת הניקיון של תמיסת HBr(aq) לבין אופן הייצור שלה. הופיעו הסברים לא מתאימים ולא הגיוניים, כגון:

• "משתמשים במקור ***I*** במערכות קירור כדי למנוע שיתוך של מתכת ליתיום."

• "בתהליך הייצור של תמיסת סידן ברומי משתמשים במקור ***II***, כי השימושים שלו רבים יותר."

מומלץ לבנות יחד עם התלמידים תשובה מפורטת לסעיפים ב'-ג':

**מקור II:**

**HBr(g)  הוא תוצר לוואי בתהליכי ייצור**

**שבהם חומרי גלם אינם נקיים -**

**תרכובות פחמן המכילות ברום,**

**לכן דרגת הניקיון של HBr(g) נמוכה**

**ייצור תמיסת HBr(aq) מ-HBr(g)  -**

**חומר הגלם אינו נקי,**

**לכן דרגת הניקיון של HBr(aq) נמוכה**

**ייצור תמיסת CaBr2(aq)**

**מתמיסת HBr(aq) לא נקייה -**

**התוצר אינו נקי**

**תמיסת CaBr2(aq) מתאימה לשימוש**

**בבארות הקידוח, שמספיקה לו**

**דרגת ניקיון נמוכה של התמיסה**

**מקור I:**

**HBr(g)  הוא תוצר בתגובה**

**שבה חומרי גלם נקיים -**

**מימן, H2(g) , וברום, Br2(g)**

**לכן דרגת הניקיון של HBr(g) גבוהה**

**ייצור תמיסת HBr(aq) מ-HBr(g)  -**

**חומר הגלם נקי,**

**לכן דרגת הניקיון של HBr(aq) גבוהה**

**ייצור תמיסת LiBr(aq)**

**מתמיסת HBr(aq) נקייה -**

**התוצר נקי**

**תמיסת LiBr(aq) מתאימה לשימוש**

**במערכות קירור, הדורש**

**דרגת ניקיון גבוהה**

**סעיף ד' (הציון48 )**

תמיסת סידן ברומי, CaBr2(aq) , מיוצרת במפעל על פי תגובה (1):

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

**41**

**50**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 50)**

במכל התגובה מתקבלת תמיסת CaBr2(aq) שריכוזה 48% , כלומר בכל 100 גרם תמיסה

יש 48 גרם CaBr2 .

מהי המסה של סידן פחמתי, CaCO3(s) , הדרושה להפקת 1000 ק"ג תמיסת CaBr2(aq) ?

הנח שאחוז ההמרה הוא 100% ואחוז הניצולת 95%. פרט את חישוביך.

**התשובה:**

המסה של CaBr2 ב-1000 ק"ג תמיסה:

1000 kg × 48%

100%

= 480 kg = 4.8·105 gr



המסה המולרית של CaBr2 :

gr

mol

200



4.8·105 gr

gr

mol

200

= 2400 mol

מספר המולים של CaBr2 ב- 1000 ק"ג תמיסה:



מספר המולים של CaBr2 שהיו צריכים להתקבל ב- 100% ניצולת:

2400 mol × 100%

95%

= 2526 mol



על פי ניסוח התגובה, יחס המולים בין CaBr2 לבין CaCO3(s) הוא 1:1 .

על פי 100% המרה, מספר המולים של CaCO3(s) שהגיבו: 2526 mol

gr

mol

100

המסה המולרית של CaCO3(s):



gr

mol

2526 mol × 100 = 252600 gr = 252.6 kg

המסה של CaCO3(s) שהגיבה:

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

הציון נמוך. חצי מהתלמידים לא הצליחו לפתור נכון את שאלת החישוב. המושגים "המרה" ו"ניצולת" אינם ברורים לחלק מהתלמידים, לכן הם מתבלבלים בחישוב הדורש התייחסות לאחוז ההמרה ולאחוז הניצולת.

טעויות אופייניות נוספות הן: חישוב שגוי של מספר המולים של סידן ברומי ב- 1000 ק"ג תמיסה, בגלל הקושי לעבוד עם ריכוז התמיסה המבוטא באחוזים; דילוג על שלב הקביעה של מספר המולים של CaCO3(s)  על פי יחס המולים בניסוח התגובה.

מומלץ לדרוש מהתלמידים להסביר כל אחד משלבי החישוב, ולא להסתפק בחישוב על פי נוסחאות. אפשר לתת לתלמידים תרגיל "הפוך":

במכל התגובה מתקבלת תמיסת CaBr2(aq) .

המסה של סידן פחמתי, CaCO3(s) , הדרושה להפקת 1000 ק"ג תמיסת CaBr2(aq) , היא 252.6 kg .

א. מהו הריכוז המולרי של תמיסת CaBr2(aq) ? פרט את חישוביך.

ב. מהו הריכוז באחוזים של תמיסת CaBr2(aq) המתקבלת במכל? פרט את חישוביך.

הנח שאחוז ההמרה הוא 100% ואחוז הניצולת 95%.

מומלץ להדגיש שההמרה מתייחסת למגיבים בלבד ולהסביר לתלמידים שיש להבחין בין תגובות המתרחשות עד תום, שבהן יש אפשרות להגיע ל- 100% המרה, לבין תגובות שמגיעות למצב של שיווי-משקל. בתגובות אלה אי אפשר להגיע ל- 100% המרה.

מומלץ להדגיש שהניצולת מתייחסת לתוצרים בלבד ולהסביר את הקשר בין תגובות לוואי ותוצרי לוואי לבין הניצולת.

להבהרת המושגים: המרה וניצולת ומשמעותם מומלץ להיעזר בנספח א' לספר לימוד "לא על הברום לבדו" מאת ד"ר מירי קסנר, מכון ויצמן למדע.

**תת-סעיף ii (הציון 41)**

הסבר מדוע בתהליך זה אחוז הניצולת קטן מ- 100%.

**התשובה:**

הניצולת בתגובה (1) נמוכה מ- 100% , כיוון שבתגובה זו נפלט גז CO2(g) שעלול לסחוף איתו חומרים המצויים במכל התגובה.

(אובדן מגיבים או תוצרים גורם לירידה בניצולת).

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

הציון נמוך. תלמידים רבים התקשו לקשר את הירידה בניצולת לאובדן חומרים המצויים במכל תגובה. חלק מהתלמידים דילגו על תת-סעיף זה וחלק חזרו על נתוני השאלה:

• "אחוז הניצולת נמוך כי היא יורדת."

היו תלמידים שהתייחסו לתוצר לוואי ולתגובות לוואי, אך לא הצליחו להסביר במדויק מדוע הניצולת יורדת:

• "נוצר ***CO2(g)*** שהוא תוצר לוואי."

• "יתכן וישנה תגובת לוואי אשר מקטינה את הניצולת."

• "יתכן שמתרחשת תגובת לוואי עקב דרגת ניקיון נמוכה של חומר גלם."

**סעיף ה' (הציון57 )**

במפעל "תרכובות ברום" מייצרים אמוניום ברומי, NH4Br(s) , על פי תגובה (2):

(2) 8NH3(g) + 3Br2(l) → 6NH4Br(s) + N2(g)

אפשר לייצר NH4Br(s) גם על ידי אידוי המים מתמיסת NH4Br(aq) המיוצרת על פי תגובה (3):

(3) NH3(g) + H3O+(aq) + Br−(aq) → NH4+(aq) + Br−(aq) + H2O(l)

**44**

**70**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 70)**

ציין יתרון אחד לשיטת הייצור המבוססת על תגובה (3) לעומת שיטת הייצור המבוססת על תגובה (2).

**התשובה:**

אחד מהיתרונות:

- לא נפלט גז שעלול לסחוף חומרים ממכל התגובה (ולהוריד אחוז הניצולת).

- מתקבל תוצר יחיד - התוצר הדרוש.

(או: תהליכי הפרדה פחות מסובכים; או: אין צורך לספוג את שאריות של ברום ולנקות את

הגז לפני שמשחררים אותו).

- חומרי המבנה למתקנים פחות יקרים (או: ברום הוא חומר משתך, ולכן יש צורך במתקנים יקרים, העשויים מזכוכית).

- אפשר להשתמש בתמיסת HBr(aq) שהיא תוצר לוואי בתהליך ייצור במפעל.

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

הציון בינוני. רוב התלמידים הצליחו לציין יתרון לשיטת הייצור המבוססת על תגובה (3).

הטעות העיקרית היא קריאה שגויה של ניסוח תגובה (3) - תלמידים רבים התייחסו

ליוני Br−(aq) בנפרד מהחומצה HBr(aq) , ואז השוו עלויות:

• "החומרים שמגיבים בשיטה ***(3)*** זולים יותר, כי יון הברומיד זול מברום, משום שהברומיד נמצא בתמיסה ולא צריך להפרידו."

• "יוני ***Br−(aq)***  זולים יותר, כי מקורם בים המלח."

הסיבה לטעויות מסוג זה היא חוסר ידע והבנה של נושא "מבנה וקישור".

**תת-סעיף ii (הציון 44)**

למרות היתרונות לשיטה המבוססת על תגובה (3), בחרו במפעל "תרכובות ברום" לייצר NH4Br(s)

על פי תגובה (2). הסבר מדוע.

**התשובה:**

מעדיפים את תגובה (2), כי חומר הגלם בתגובה (2) הוא Br2(l) שהוא זול יותר מחומר הגלם HBr(aq) בתגובה (3), כי HBr(aq) מיוצר מ- Br2(l) .

לקבל גם: בתגובה (2) מתקבל תוצר מוצק ואין צורך בשלבי הפרדה נוספים (אין צורך בייבוש).

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

הציון נמוך. רוב התלמידים לא הצליחו להסביר מדוע בחרו במפעל "תרכובות ברום" לייצר

NH4Br(s) על פי תגובה (2). הסיבה לרוב הטעויות היא חוסר הבנה של עקרונות תהליכים תעשייתיים וחוסר יכולת להתמודד עם תהליך לא מוכר. היו תלמידים שלא ענו כלל והיו שניסו לאלתר, לדוגמה:

• "חנקן הוא תוצר שיכול לשמש במפעל לייצור תרכובות אחרות."

• "ברום הוא תוצר לוואי במפעל, לכן אין צורך לייצר אותו במיוחד לתהליך הנתון."

• "שלושה מול ברום נותנים שש מול תוצר, לכן שיטה זו עדיפה."

הציונים של חלק מהסעיפים בשאלות 3-4 נמוכים, במיחד בשאלה 3 . הסיבה לכך היא חוסר הבנה של היבטים טכנולוגיים הקשורים בתהליכים תעשייתיים, חוסר העמקה מספקת בלימוד הנושא. במקרים רבים התלמידים משננים מערכת של סיסמאות שאותן הם משבצים בתשובותיהם. חוסר הבנה של המושגים המרה וניצולת גורם לטעויות גם בשאלות חישוב וגם בשאלות הדורשות יישום, כגון כיצד להגדיל המרה וניצולת.

מומלץ להקצות זמן הדרוש להוראה וללמידה ולהרבות בתרגול, להבהיר את המושגים הבעייתיים, לבקש מהתלמידים לצייר תרשימי זרימה של תהליכים תעשייתיים, לנתח כל תהליך מההיבט התרמודינמי ומההיבט הקינטי, להביא דוגמאות לשילוב כל אחד מפרקי הסילבוס כפי שהוא בא לידי יישום בתעשייה הכימית.

הנושא התעשייתי הוא אינטגרטיבי ולכן מיישמים בו עקרונות וידע שנלמדים בכל היחידות האחרות.

שאלה 5

פולימרים

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ציון משוקלל | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** |  |
| **69** | **65** | **73** | **75** | **ציון** |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 69 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 33% מהתלמידים**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ה ד ג ב א

**89**

**65**

**67**

**49**

**73**

41-54

11%

0-40

14%

55-84

46%

85-100

29%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לקבוע את שיטת הייצור של הפולימר - דחיסה או סיפוח, על פי נוסחת הפולימר.

⮘ להבחין בין שיטות לייצור פולימרים - סיפוח ודחיסה.

⮘ לרשום את נוסחת המבנה של המונומר על פי נוסחת הפולימר שנוצר בפלמור על ידי דחיסה.

⮘ להבחין בין הנוסחאות השונות המתייחסות לאותו פולימר: נוסחאות מונומרים שמהם מתקבל הפולימר, נוסחת היחידה החוזרת של הפולימר, נוסחת הקטע המייצג של הפולימר, נוסחת הפולימר.

⮘ להסביר את ההבדל בין טמפרטורות ההיתוך של שני פולימרים - לנתח את השפעת הגורמים השונים על טמפרטורות ההיתוך של פולימרים.

⮘ להשוות בין חוזק האינטראקציות הפועלות בין שרשרות של פולימרים שונים ובין שרשרות של אותו פולימר באזורים שונים.

⮘ להסביר את ההבדל בין אזורים אמורפיים לבין אזורים גבישיים בפולימר.

⮘ לתאר התרחשות של תהליך ההידרוליזה בפוליאסטר: להסביר מדוע ההידרוליזה מתרחשת תחילה באזורים האמורפיים של הפולימר ורק לאחר מכן באזורים הגבישיים.

⮘ לקבוע מהם הקשרים המתנתקים במהלך הפירוק של הפולימר על ידי ההידרוליזה.

⮘ להשוות את השפעת סוגים שונים של כוחות בין שרשרתיים על קצב פירוק של הפולימר על ידי ההידרוליזה.

⮘ לרשום קטע מייצג של קופולימר, כשנתונות נוסחאות של שני הפולימרים.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| הבנה | i | א |
| הבנה | ii |
| יישום |  | ב |
| אנליזה | i | ג |
| הבנה | ii |
| יישום | iii |
| יישום |  | ד |
| יישום | i | ה |
| יישום | ii |

**סעיף א' (הציון89 )**

בשנים האחרונות התרחב השימוש בפולימרים מתכלים בתחומים רבים. שניים מהפולימרים

המתכלים הנפוצים הם פולי-חומצה לקטית (PLA) ופולי-חומצה גליקולית (PGA).

נתונות נוסחאות המבנה של שני הפולימרים:

**PGA** **PLA**

⎯O⎯CH2⎯C⎯

⎯

⎯

O

[ ]n

⎯

CH3

⎯O⎯CH⎯C⎯

⎯

⎯

O

[ ]n

**88**

**91**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 91)**

קבע עבור כל אחד משני הפולימרים באיזו שיטה הוא הוכן - דחיסה או סיפוח.

**התשובה:**

שני הפולימרים הוכנו בשיטת הדחיסה.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים לא התקשו לקבוע את שיטת הייצור של הפולימר - דחיסה או סיפוח, על פי נוסחת הפולימר. הופיעו טעויות בודדות בלבד.

מומלץ לבצע עם התלמידים את הניסוי "היווצרות חוט הניילון", שמדגים את תהליך הפלמור על ידי דחיסה.

**תת-סעיף ii (הציון 88)**

עבור כל אחד מהפולימרים PLA ו- PGA רשום את נוסחת המבנה של המונומר.

**התשובה:**

⎯

⎯

O

⎯

CH3

HO−CH−C−OH

⎯

⎯

O

HO−CH2−C−OH

המונומר של PLA:

המונומר של PGA:

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

הציון גבוה. רוב התלמידים רשמו נכון את נוסחת המבנה של המונומר על פי נוסחת הפולימר שנוצר בפלמור על ידי דחיסה. אותרו טעויות מעטות:

⬩ רישום נוסחה נכונה של מונומר, אך בתוך סוגריים המתאימות לרישום נוסחת הפולימר:

⎯

⎯

***O***

• [***HO−CH2−C−OH]n***

⬩ רישום קטע מייצג של הפולימר או יחידה חוזרת שלו במקום מונומר.

בטבלה שלפניך מוצגים ערכי Tm של שני הפולימרים.

|  |  |
| --- | --- |
| **טמפרטורת היתוך**  **Tm (oC)** | **הפולימר** |
| 160 | PLA |
| 220 | PGA |

**סעיף ב' (הציון65 )**

הסבר את ההבדל בין ערכי Tm של שני הפולימרים.

**התשובה:**

בשרשרות הפולימר PGA אין קבוצות צדדיות.

שרשרות הפולימר יכולות להיערך באריזה צפופה ומסודרת.

לכן האינטראקציות בין השרשרות באזורים הגבישיים של הפולימר, חזקות יותר.

(לכן Tm של הפולימר PGA גבוה מ- Tm של הפולימר PLA .)

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

הציון נמוך יחסית. חלק מהתלמידים התקשו להסביר את ההבדל בין ערכי Tm של שני הפולימרים. הטעות העיקרית היא התייחסות להבדל בין מידת הפיתול האקראי של שרשרות הפולימרים - הדבר מתאים להסבר הבדלים בערכי ה- Tg של הפולימרים, ולא של ה- Tm:

• "ל- ***PLA*** יש קבוצה צדדית ***-CH3*** , היא מהווה גורם מפריע לפיתול האקראי. כלומר, פולימר ***PLA*** יהיה מסודר יותר, ולקשרים שלו יהיה "קל" יותר להינתק. לכן ה- ***Tm*** שלו נמוכה יותר. לעומת זאת ל- ***PGA*** אין גורמים שישפיעו על הפיתול האקראי, לכן השרשרת תהיה מפותלת מאוד ה- ***Tm*** שלו גבוה יותר."

• "ב- ***PLA*** יש קבוצה צדדית נפחית שמגבילה את הפיתול האקראי וגורמת ליצירת אזורים אמורפיים בפולימר."

• "השרשרת של ***PGL*** מסודרת יותר, מה שבמידה רבה מפריע לפיתול אקראי."

בעיה נוספת בסעיף זה היא הסברים חלקיים - אזכור של קבוצות צדדיות בפולימר PLA , ללא התייחסות להשוואת היכולת של שרשרות הפולימרים להיערך באריזה צפופה ומסודרת ו/או השוואה בין חוזק האינטראקציות בין השרשרות באזורים הגבישיים של הפולימר.

**סעיף ג' (הציון67 )**

פולימרים מתכלים הם פולימרים אשר בתנאים מתאימים הרכבם מאפשר פירוק בתוך פרק זמן

מסוים.

הפולימרים PLA ו- PGA מתפרקים בתהליך הידרוליזה שנמשך ימים רבים. במהלך ההידרוליזה

שרשרות הפולימרים מתקצרות בהדרגה, ולאחר זמן מה מתקבלות מולקולות המונומרים.

**74**

**50**

**66**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii iii

**תת-סעיף i (הציון 74)**

נמצא כי ההידרוליזה מתרחשת תחילה באזורים האמורפיים של הפולימר ולאחר מכן באזורים

הגבישיים. הסבר מדוע ההידרוליזה מתרחשת תחילה באזורית האמורפיים.

**התשובה:**

ההידרוליזה מתרחשת קודם באזורים האמורפיים של הפולימר, כי באזורים אלה האינטראקציות בין שרשרות הפולימר חלשות יותר (או: המרחק בין השרשרות גדול יותר). מולקולות המים חודרות בין השרשרות ומגיבות עם קבוצות האסטר בקלות רבה יותר.

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

הבעיה העיקרית בסעיף זה היא חוסר הבנה לעומק:

- מהם האזורים האמורפיים ומהם האזורים הגבישיים

- מהו ההבדל בין חוזק האינטראקציות הפועלות בין שרשרות הפולימר באזורים אמורפיים ובאזורים גבישיים

- מהו תהליך ההידרוליזה

- מהו הקשר בין מבנה השרשרות של הפולימר לבין יכולת של מולקולות המים לחדור בין השרשרות ולהגיב עם קבוצות אסטר.

הטעויות האופייניות הן:

⬩ התייחסות לפיתול אקראי של שרשרות ולערך ה- Tg בלבד:

• "כי באזור זה פיתול אקראי גדול ביותר."

• "כי אזורים אמורפיים קשורים ל- ***Tg***."

⬩ חוסר התייחסות לאינטראקציות בין שרשרתיות באזורים שונים של הפולימר, תוך תיאור מוטעה של אזורים אמורפיים:

• "אזור אמורפי הוא ג'ל, ולכן חלש."

• "כי הם הידרופיליים."

• "כי באזורים אמורפיים התגובה עם ***H3O+*** חזקה יותר."

⬩ התייחסות לקשרי מימן כאל תנאי מקדים של הידרוליזה:

• "באזורים אמורפיים יכולים להיווצר קשרי "מימן, ולכן ההידרוליזה תתרחש תחילה באזורים אלה."

⬩ חזרה על נתוני השאלה במקום הסבר:

• "מכיוון שהם האזורים הקלים ביותר להתרחשות ההידרוליזה ולאחר מכן -האזורים הגבישיים."

מומלץ להשתמש בדוגמאות, בציורים ובמודלים להמחשת אזורים אמורפיים ואזורים גבישיים.

כמו כן לתרגל תגובות הידרוליזה והתגובה ההפוכה, להדגיש את סוג הקשרים הניתקים והקשרים הנוצרים, גם במים וגם בפולימר. רצוי לסמן את הקשרים הקוולנטיים הניתקים בצבע אחד ואת הקשרים הנוצרים בצבע אחר, ולציין גם את האינטראקציות שניתקות. ואז לבקש מהתלמידים לנסח את תהליך ההידרוליזה ולציין את הקשרים הניתקים והקשרים הנוצרים.

**תת-סעיף ii (הציון 50)**

רשום קטע מייצג לפולימר PLA .

**התשובה:**

⎯

CH3

⎯O⎯CH⎯C⎯

⎯

⎯

O

⎯

CH3

O⎯CH⎯C⎯

⎯

⎯

O

⎯

CH3

O⎯CH⎯C⎯

⎯

⎯

O

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

הציון נמוך. מחצית מהתלמידים לא הצליחו לרשום קטע מייצג של הפולימר שנוסחתו נתונה בשאלה. הופיעו נוסחאות של יחידה חוזרת אחת ולעיתים רק חלקים ממנה:

⎯

***CH3***

• ***⎯O⎯CH⎯C⎯***

⎯

⎯

***O***

⎯

***CH3***

• ***⎯CH⎯C⎯***

⎯

⎯

***O***

• ***[ ]n***

⎯

***CH3***

***⎯O⎯CH⎯C⎯***

⎯

⎯

***O***

⎯

***CH3***

***O⎯CH⎯C⎯***

⎯

⎯

***O***

⎯

***CH3***

***O⎯CH⎯C⎯***

⎯

⎯

***O***

טעות נוספת היא רישום של קטע מייצג בסוגריים עם אות n :

מומלץ לתרגל עם התלמידים את הנוסחאות השונות המתייחסות לאותו פולימר:

- נוסחת מונומר / נוסחאות מונומרים שמהם מתקבל הפולימר

- נוסחת היחידה החוזרת של הפולימר

- נוסחת הפולימר

- נוסחת הקטע המייצג של הפולימר

וגם להבהיר לתלמידים מהי המשמעות של הסוגריים, ומה מסמלת האות n .

אפשר לתת לתלמידים נוסחאות שגויות ולבקש לתקן. לדוגמה, ארבעת הנוסחאות הנ"ל

עבור פולימר PGA :

⎯

⎯

O

HO−CH2−C−OH

⎯O⎯CH2⎯C⎯

⎯

⎯

O

⎯O⎯CH2⎯C⎯

⎯

⎯

O

[ ]n

⎯O⎯CH2⎯C

⎯

⎯

O

⎯O⎯CH2⎯C

⎯

⎯

O

⎯O⎯CH2⎯C⎯

⎯

⎯

O

- נוסחת מונומר:

- נוסחת היחידה החוזרת של הפולימר:

- נוסחת הפולימר:

- נוסחת הקטע המייצג של הפולימר:

**תת-סעיף iii (הציון 66)**

בחר שניים מהקשרים או האינטראקציות מהרשימה שלפניך שניתקים במהלך הפירוק

של הפולימר PLA. נמק כל אחת מן בחירות.

- קשרי C − C

- קשרי C − O

- קשרי C = O

- קשרי C − H

- אינטראקציות ון-דר-ואלס

**התשובה:**

אינטראקציות ון-דר-ואלס.

בין שרשרות הפולימר יש אינטראקציות ון-דר-ואלס, הניתקות כאשר מולקולות המים מפרידות

בין השרשרות.

קשרי C − O

מולקולות המים מגיבות עם הקבוצות האסטריות בשרשרת הפולימר.

הקשר C − O בקבוצה האסטרית ניתק.

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

הציון נמוך יחסית. הטעויות שאותרו נובעות מחוסר הבנה של התרחשות תהליך ההידרוליזה שהתוצאה שלו היא פירוק הפולימר. הטעויות האופייניות הן:

• "קשרים ***C−H***,כי אלהקשרים הידרופיליים, ותהיה אינטראקציה שלהם עם מים בהידרוליזה."

• "קשרי ***C=O*** במהלך פירוק הפולימר."

• "קשרי ***C−C*** .הם ניתקים בגלל הניתוק של קבוצה צדדית."

• "קשר ***C−H*** . קשר זה מתנתק בהוצאת מולקולת מים."

תלמידים מעטים בלבד ציינו את אינטראקציות ון-דר-ואלס כניתקים במהלך הפירוק.

מומלץ לבנות עם התלמידים מודל של פולימר PLA, המכיל מספר שרשרות, ומודלים של מולקולות במים, ולבצע את הסימולציה של תהליך הפירוק של הפולימר על ידי ההידרוליזה, החל מניתוק אינטראקציות ון-דר-ואלס, כאשר מולקולות המים חודרות ומפרידות בין השרשרות.

לאחר מכן אפשר לתת לתלמידים מספר תרגילים בנושא זה - על פולימרים נוספים.

**סעיף ד' (הציון49 )**

בדומה לפולימר PLA , גם הפולימר ניילון 4 מתפרק בתהליך הידרוליזה המתחיל באזורים

⎯N⎯CH2⎯CH2⎯CH2⎯C⎯

O

⎯

H

[ ]n

האמורפיים. לפניך נוסחת מבנה של ניילון 4:

נמצא שתהליך ההידרוליזה של ניילון 4 נמשך זמן ארוך יותר מזה של PLA . הסבר ממצא זה.

**התשובה:**

בין שרשרות ניילון 4 יש קשרי מימן שהם חזקים יותר מאינטראקציות ון-דר-ואלס שבין שרשרות PLA .

קשרי מימן מקשים על הפרדת השרשרות וחדירת מולקולות המים הדרושות לביצוע ההידרוליזה.

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

הציון נמוך. תלמידים רבים כלל לא התייחסו לכוחות בין שרשרתיים - קשרי מימן, בנוסף לאינטראקציות ון-דר-ואלס בניילון 4 . במקום זאת הופיעו ניסיונות להשוות את חוזק הקשרים הקוולנטיים:

• "בניילון ***4*** הקשרים בין היחידות החוזרות הם ***C−N*** וב- ***PLA*** הקשרים הם ***C−O*** . קשר ***C−N*** חזק יותר מ- ***C−O*** ולכן ייקח זמן רב יותר לנתק אותו."

הסברים שלא מתבססים על נתוני השאלה:

• "לניילון שרשרת ארוכה יותר של פחמימנים, ולכן ההידרוליזה נמשכת זמן רב יותר."

בלבול בין קשר אמידי לבין קשרי מימן:

• "בהידרוליזה של ניילון ***4*** מולקולות המים מפרקות קשר אמידי, הקשר האמידי הוא קשר מימני."

**סעיף ה' (הציון73 )**

הכינו קופולימר אקראי מהמונומרים של ניילון 4 ו- PLA .

**95**

**64**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 64)**

רשום נוסחת מבנה לקטע מייצג של הקופולימר.

**התשובה:**

⎯O⎯CH⎯C⎯

⎯N⎯CH2⎯CH2⎯CH2⎯C

O

⎯

H

⎯

CH3

O

⎯

CH3

O⎯CH⎯C

⎯

⎯

O

⎯N⎯CH2⎯CH2⎯CH2⎯C⎯

O

⎯

H

לדוגמה:

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

הציון נמוך יחסית. חלק ניכר מהתלמידים לא הפנימו מהו קופולימר אקראי, לא הבחינו בין קטע מייצג לבין יחידה חוזרת, ורשמו נוסחאות לא מתאימות, בעיקר:

• ***⎯N⎯CH2⎯CH2⎯CH2⎯C⎯O⎯CH⎯C⎯***

***O***

⎯

***H***

⎯

***CH3***

***O***

טעויות נוספות: רישום קטע מייצג של אחד מהפולימרים - ניילון 4 או PLA ; רישום נכון של קטע מייצג, אך עם תוספת סוגריים ואות n .

**תת-סעיף ii (הציון 95)**

קבע איזה פולימר מתכלה בזמן קצר יותר - ניילון 4 או הקופולימר.

**התשובה:**

הקופולימר.

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

הציון גבוה מאוד. התלמידים ידעו ליישם את הנתון מסעיף ד' - ההידרוליזה של ניילון 4 נמשך זמן ארוך יותר מזה של PLA . כמעט ולא אותרו טעויות.

מומלץ לדון עם התלמידים, מהי המשמעות של פולימר מתכלה, איזה תהליך הוא עובר ברמה המיקרוסקופית. כמו כן מומלץ להציג בפני תלמידים דוגמאות נוספות של פולימרים מתכלים.

שאלה 6

פולימרים

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ציון משוקלל | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** |  |
| **73** | **71** | **74** | **75** | ציון |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 73 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 23% מהתלמידים**

**80**

**72**

**63**

**61**

**87**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ה ד ג ב א

41-54

9%

0-40

9%

55-84

46%

85-100

36%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ להסביר את ההבדל בין Tg של שני פולימרים - לנתח את השפעת הגורמים השונים על Tg של הפולימרים.

⮘ לקבוע את הגורם העיקרי להבדל בערכי Tg של שני פולימרים.

⮘ להסביר את תפקיד היזם בפלמור על ידי סיפוח.

⮘ לקשר בין כמות היזם לבין מספר השרשרות של הפולימר שנוצר, ולקבוע:

- באיזו מנה של פולימר מספר שרשרות גדול יותר.

- באיזו מנה של פולימר האורך הממוצע של שרשרות גדול יותר.

⮘ לחשב את המסה המולרית הממוצעת של הפולימר.

⮘ להבחין בין אזורים גבישיים ואזורים אמורפיים בפולימר.

⮘ לקשר בין מבנה הפולימר לבין אחוז הגבישיות שלו.

⮘ לקשר בין מבנה הפולימר לבין התכונות שלו: שקיפות, חדירות לחמצן, ספיגת המים.

⮘ להבחין בין היחידות החוזרות של מרכיבי הקופולימר הנתון.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| יישום | i | א |
| יישום | ii |
| אנליזה | i | ב |
| אנליזה | ii |
| יישום | iii |
| יישום |  | ג |
| יישום |  | ד |
| יישום |  | ה |

## בטבלה שלפניך מוצגים נתונים על שלושה פולימרים מסוג פוליאקרילט.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **נוסחת היחידה החוזרת**  **של הפולימר** | **טמפרטורה**  **זגוגית**  **Tg (oC)** | **שם הפולימר** | סימון **הפולימר** |
| ⎯CH2⎯C⎯  COOCH2CH3  ⎯  CH3  ⎯  ⎯CH2⎯C⎯  COOCH3  ⎯  CH3  ⎯  ⎯CH2⎯CH⎯  COOCH3  ⎯ | 9 | פולימתיל אקרילט  (PMA) | A |
|  | 105 | פולימתיל מתאקרילט  (PMMA) | B |
|  | 65 | פוליאתיל מתאקרילט  (PEMA) | C |

**סעיף א' (הציון80 )**

**67**

**84**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 84)**

## הסבר מדוע ערך ה- Tg של פולימר B גבוה מערך ה- Tg של פולימר A .

**התשובה:**

בשרשרות של שני הפולימרים, בכל יחידה חוזרת יש קבוצה צדדית גדולה -COOCH3 ,

אך בכל יחידה חוזרת של פולימר B יש קבוצה צדדית נוספת -CH3 .

לכן ההפרעה לפיתול האקראי של שרשרות פולימר B באזורים אמורפיים גדולה יותר,

וערך ה- Tg שלו גבוה יותר.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הסבירו נכון את ההבדל בין Tg של שני פולימרים. הם ידעו לקשר בין ערך Tg של הפולימר לבין מידת ההפרעה לפיתול האקראי של שרשרות הפולימר באזורים אמורפיים. הטעויות המעטות שאותרו נובעות מבלבול בין Tg ו- Tm - התלמידים מקשרים בין אחוז גבישיות של הפולימר ו/או בין צפיפות האריזה של השרשרות לבין Tg:

• "ככל שהשרשרת תהיה יותר מוגבלת להתפתל תוכל להיארז יותר בצפיפות, וחוזק הקשרים בין המולקולות הן באזורים האמורפיים והן באזורים הגבישיים יעלה."

• "לפולימר ***B*** יש שתי קבוצות צדדיות נפחיות. שרשרות הפולימר פרושות יותר וארוזות באריזה צפופה יותר. על כן עולה אחוז הגבישיות. כיוון שאחוז הגבישיות של ***B*** גבוה יותר ה- ***Tg*** שלו גבוה יותר."

**תת-סעיף ii (הציון 67)**

## מהו הגורם העיקרי להבדל בערכי ה- Tg של פולימרים B , C ?

**התשובה:**

הגורם העיקרי הוא אורך השרשרת בקבוצה הצדדית.

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

הציון נמוך יחסית. חלק מהתלמידים התקשו לקבוע מהו הגורם העיקרי להבדל בערכי ה- Tg של שני פולימרים. היו תלמידים שדילגו על תת-סעיף זה, והיו שציינו גורמים לא מתאימים:

• "בפולימר ***B*** אריזת השרשרות צפופה יותר."

• "אחוז הגבישיות בפולימר ***B*** גדול יותר."

כמו כן הופיעו תשובות חלקיות:

• "הגורם הוא קבוצה צדדית."

**סעיף ב' (הציון72 )**

## במעבדה הכינו שתי מנות, I ו- II , של פולימר C . שתי המנות הוכנו מכמויות שוות של המונומר.

## מנה I הוכנה בנוכחות כמות גדולה של יזם. דרגת הפלמור הממוצעת של הפולימר שהתקבל

## הייתה DP = 80 . מנה II הוכנה בנוכחות כמות קטנה של יזם.

**82**

**64**

**67**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii iii

**תת-סעיף i (הציון 82)**

## קבע אם מספר שרשרות הפולימר שהתקבלו במנה II גדול ממספר שרשרות הפולימר שהתקבלו

## במנה I , קטן ממנו או שווה לו. נמק.

**התשובה:**

מספר שרשרות הפולימר במנה II קטן ממספר שרשרות הפולימר במנה I .

(תפקידו של היזם - לפתוח את הקשר הכפול במולקולות מונומר ובכך לגרום להתחלת תגובת הפלמור.)

בנוכחות כמות קטנה של יזם נוצרות שרשרות מעטות של פולימר - יש מעט חלקיקי יזם המתחילים את השרשרות.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הצליחו לנתח את נתוני השאלה, לקשר בין כמות היזם לבין מספר השרשרות של הפולימר שנוצר, ולקבוע באיזו מנה של פולימר מספר שרשרות גדול יותר.

יחד עם זאת לחלק מהתלמידים לא ברור תפקיד היזם בתהליך הפלמור על ידי ספוח.

הופיעו קביעות שגויות וניסיונות לנמקן:

• "במנה ***II*** היו יותר שרשרות מאשר ב- ***I ,*** כי ב- ***II*** השתמשו באחוז קטן של יזם מאשר ב- ***I***."

• "מספר השרשרות במנה ***II*** גדול יותר כי כמות קטנה של יזם מפחיתה את ההסתעפויות."

**תת-סעיף ii (הציון 64)**

## קבע אם דרגת הפלמור הממוצעת, DP , של הפולימר במנה II גדולה מ- 80 , קטנה מ- 80

## או שווה ל- 80 . נמק.

**התשובה:**

דרגת הפלמור הממוצעת של הפולימר ממנה II גדולה מ- 80 .

(שתי המנות הוכנו מכמויות שוות של המונומר.) במנה II נוצרו פחות שרשרות הפולימר, לכן בכל שרשרת יש יותר יחידות חוזרות.

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

הציון נמוך יחסית. חלק ניכר מהתלמידים התקשו להשוות בין דרגת פלמור ממוצעת בשתי מנות של הפולימר. הסיבות לכך הן ניתוח לקוי של נתוני השאלה וחוסר הבנה - מהו תפקיד היזם ומהי דרגת פלמור ממוצעת. דוגמאות לתשובות שגויות:

• "תהיה קטנה מ- **80** , כיוון שככל שיהיה יותר יזם מספר מולקולות פולימר גדול יותר - דרגת פלמור תהיה גדולה יותר, ובמנה ***I*** יש הרבה יותר יזם מאשר במנה ***II*** ."

• "קטנה מ- ***80*** ,כי שרשרות נסגרות מהר יותר אם יש פחות יזם."

על מנת להתגבר על קשיי למידה בנושא של השפעת היזם על האורך הממוצע של שרשרות

הפולימר מומלץ לבצע ניסוי מעבדה מס' 3 בעמוד 33 בספר הלימוד "פולימרים סינתטיים

חומרים כבקשתך" מאת נאוה מילנר, מכון ויצמן למדע. לאחר הניסוי מומלץ לדון עם

התלמידים בקשר בין האורך הממוצע של שרשות הפולימר לבין תכונות הפולימר.

דרך נוספת להמחיש את השפעת כמות היזם הרדיקלי על האורך הממוצע של שרשרות הפולימר המתקבל מכמות נתונה של מולקולות המונומר, היא בעזרת איור סכמתי שלפניכם:

מקרא: מולקולת המונומר

חלקיק היזם

על מנת להבין כיצד כמות היזם משפיעה על אורך השרשרות מומלץ לפתור שאלה 6

בעמוד 42 , בספר "פולימרים סינתטיים חומרים כבקשתך" מאת נאוה מילנר.

אפשר לסכם את כללי ההשפעה של כמות היזם על שרשרות הפולימר בטבלה הבאה:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| כמות יחסית של יזם המוספת בפלמור | מספר יחסי של שרשרות הפולימר שנוצרו | אורך יחסי של שרשרות הפולימר שנוצרו | DP | M |
| כמות גדולה | גדול | קצר | נמוכה | קטנה |
| כמות קטנה | קטן | ארוך | גבוהה | גדולה |

**תת-סעיף iii (הציון 67)**

## הכינו מנה נוספת, III , של פולימר C . לשם כך הכניסו לכלי התגובה 3.42 גרם של מונומר

## ו- 2.5·10−4 מול של יזם. החומרים הגיבו בשלמות.

## נתון כי מספר השרשרות הצומחות היה כפול ממספר חלקיקי היזם.

חשב את המסה המולרית הממוצעת של פולימר C במנה III . פרט את חישוביך.

**התשובה:**

מספר המולים של השרשרות שייווצרו: 2.5·10−4 mol × 2 = 5·10−4 mol

המסה המולרית הממוצעת של פולימר C:

gr

mol

= 6840

3.42 gr

5·10−4 mol mol

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

הציון נמוך יחסית. חלק מהתלמידים לא הפנימו את הדברים הבאים:

- מכל מול יזם יכולים להיווצר שני מול רדיקלים.

- חישוב מסה מולרית ממוצעת של פולימר זהה לחישוב מסה מולרית, כפי שלמדו בסטויכיומטריה.

על פי הסילבוס המעודכן לשנת תשע"ה, התלמיד לא צריך לחשב מסה מולרית ממוצעת של פולימר.

## לפניך חלק מהתכונות הנדרשות מפולימר כדי שיתאים להכנת עדשות מגע:

## - שקיפות

## - חדירות לחמצן

## - יכולת לספוג את המים שבנוזלי העין.

## פולימר B הוא הפולימר הראשון שממנו יצרו עדשות מגע קשות.

**סעיף ג' (הציון63 )**

## פולימר B שקוף, כי הוא פולימר אמורפי - אחוז הגבישיות שלו נמוך.

## הסבר מדוע אחוז הגבישיות של פולימר B נמוך.

**התשובה:**

בכל יחידה חוזרת של פולימר B יש שתי קבוצות צדדיות. קבוצות אלה מפריעות להתארגנות השרשרות באריזה צפופה ומסודרת. (לכן הפולימר הוא אמורפי - אחוז הגבישיות נמוך.)

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

חלק ניכר מהתלמידים התקשה לקשר בין מבנה הפולימר לאחוז גבישיות נמוך של הפולימר.

אותרה כאן אותה טעות, כמו בסעיפים קודמים - בלבול בין Tg ל- Tm של הפולימר.

הופיעו הסברים המתייחסים לפיתול האקראי ול- Tg:

• "מפני שיש לו שתי קבוצות צדדיות, אחת בעלת ענן אלקטרוני גדול, המפריעות לפיתול אקראי."

• "משום שלפולימר ***B***יש קבוצות צדדיות גדולות הגורמות להפרעה לפיתול אקראי ושרשרת פחות פרושה, ופחות גבישית - הפולימר יהיה יותר אמורפי."

• "בפולימר ***B*** אין קטעים קשיחים בשלד (כמו טבעת הבנזן) שגורמים לקשיחות ולגבישיות. יש קבוצות צד נפחיות שתורמות לפיתול אקראי."

• "יש פיתול אקראי בגלל קבוצות הצד, ואין קשרי מימן, אלא רק אינטראקציות ון-דר-ואלס."

**שרשרות מאורגנות בצפיפות**

**(ארוזות בצפיפות)**

**בין השרשרות המאורגנות**

**פועלות אינטראקציות**

**ון-דר-ואלס חזקות יחסית**

**Tm מבטא את חוזק**

**הכוחות הבין מולקולריים**

**מבנה גבישי של פולימר**

מומלץ להראות לתלמידים כיצד אחוז הגבישיות של הפולימר מבטא את מידת הארגון של שרשרות הפולימר:

**סעיף ד' (הציון61 )**

## החדירות לחמצן של פולימר B אינה טובה, לכן עברו לשימוש בקופולימר D .

## לפניך נוסחת מבנה לקטע מייצג של קופולימר D :

··· ···

CH3⎯Si⎯O⎯Si⎯O⎯Si⎯CH3

( )3

( )3

O⎯Si⎯CH3

( )3

C O

O

CH3

⎯

⎯

CH3

⎯

CH3

⎯

CH3

⎯

C O

O

CH3

⎯

⎯

C O

O

(CH2)3

⎯

⎯

⎯CH2⎯C⎯CH2⎯C⎯CH2⎯C⎯

## 

## הסבר מדוע החדירות לחמצן של קופולימר D טובה מהחדירות לחמצן של פולימר B .

## בהסברך התייחס למבנה של קופולימר D ופולימר B .

**התשובה:**

בקופולימר D קבוצות צדדיות גדולות יותר (או: נפחיות יותר) מקבוצות צדדיות בפולימר B .

גודל הקבוצות הצדדיות מונע הצמדת שרשרות זו לזו. יש מרחקים גדולים בין השרשרות, ולכן חמצן יכול בקלות לחדור בין שרשרות הקופולימר.

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

הציון נמוך. תלמידים רבים לא הפנימו מספיק את המושג "קופולימר" ואת התכונות אותן מקנים לפולימר קשרי צילוב:

• "לקופולימר ***D*** יש קשרי צילוב מצד אחד, ומצד שני אלה לא קשרים צפופים. לעומתו בפולימר ***B*** יש פחות לקשרים עם מולקולות מים."

• "קופולימר ***D*** הוא מוצלב. זאת אומרת שיש קשרים קוולנטים בין שרשרות הפולימר."

• "לפולימר ***D*** קשרי צילוב מעטים, ולכן גם חלשים יחסית. וכך ניתן להחדיר חמצן לפולימר ***D*** בקלות לעומת פולימר ***B*** ששרשרותיו יותר קרובות זו לזו."

**סעיף ה' (הציון 87 )**

## כיום משתמשים בעיקר בעדשות מגע רכות, שהן נוחות בהרבה מעדשות קשות.

## אחד מסוגי העדשות הרכות מיוצר מפוליהידרוקסיאתיל מתאקרילט (PHEMA), שנוסחתו:

⎯CH2⎯C⎯

COOCH2CH2OH

⎯

CH3

⎯

[ ]n

## יכולת ספיגת המים של PHEMA גבוהה מאוד. הסבר מדוע.

**התשובה:**

יכולת ספיגת המים של PHEMA גבוהה מאוד, כי יכולים להיווצר קשרי מימן בין המולקולות של PHEMA לבין מולקולות המים, כי בקבוצות הצדדיות מוקדים רבים ליצירת קשרי מימן.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הצליחו לקשר בין מבנה הפולימר לבין יכולת ספיגת המים שלו.

הדבר מצביע על הבנת הקשר בין מבנה הפולימר לבין תכונותיו. מורגשת כאן הבנה ברמה המאקרוסקופית בעזרת ניתוח ברמה המיקרוסקופית, דבר שלא בא לידי ביטוי בסעיפים הקודמים של השאלה.

בתשובות לשתי השאלות בנושא הפולימרים הופיעו טעויות הנובעות מחוסר הבחנה בין טמפרטורה זגוגית, Tg , וטמפרטורת היתוך, Tm , של הפולימר, ובין הגורמים המשפיעים על ערכים של Tg ו- Tm .

מומלץ להבהיר לתלמידים שערכו של Tg תלוי בחופש הפיתול של קטעי שרשרות באזורים אמורפיים. ככל שהשרשרות גמישות יותר וההגבלות לפיתול קטנות יותר ה- Tgנמוך יותר.

אפשר לסכם את הגורמים העיקריים המשפיעים על ערך Tg בסכמה הבאה:

בדרך כלל

לפעמים

**גורמים עיקריים המשפיעים על ערכי Tg של פולימרים**

עלייה בערך Tg של הפולימר

נוכחות אזורים קשיחים

בעמודי השדרה של

**שרשרות הפולימר**

נוכחות קבוצות

צדדיות גדולות

בשרשרות הפולימר\*

קשרי מימן

בין שרשרות

הפולימר

כו כוחות ון-דר-ואלס

בין קבוצות צדדיות

קוטביות בשרשרות

הפולימר הסמוכות

הפרעות לפיתול האקראי של שרשרות הפולימר

אינטראקציות

משמעותיות בין

שרשרות הפולימר

ירידה בערך Tg

של הפולימר

\* לנוכחות קבוצות צדדיות גדולות בשרשרות הפולימר יכולה להיות השפעה מנוגדת על ערך Tg של הפולימר. מצד אחד זוהי הפרעה לפיתול אקראי הגורמת לעלייה בערך Tg , אך מצד שני קבוצות צדדיות גדולות גורמות להרחקת השרשרות ולהחלשת כוחות בין מולקולריים, ולפיכך לירידה בערך Tg של הפולימר.

ערכו של Tm תלוי במידת התארגנות של שרשרות הפולימר באריזה צפופה ומסודרת. ככל שהשרשרות ישירות יותר והאינטראקציות ביניהן חזקות יותר ה- Tmגבוה יותר.

אפשר לסכם את הגורמים העיקריים המשפיעים על ערך Tm בסכמה הבאה:

התארגנות של שרשרות הפולימר

באריזה צפופה ומסודרת

**גורמים עיקריים המשפיעים על ערכי Tm של פולימרים**

עלייה בערך Tm של הפולימר

נוכחות אזורים קשיחים

בעמודי השדרה של

#### שרשרות הפולימר

נוכחות קבוצות

צדדיות גדולות

בשרשרות הפולימר\*

קשרי מימן

בין שרשרות

הפולימר

כוחות ון-דר-ואלס

בין קבוצות צדדיות

קוטביות בשרשרות

הפולימר הסמוכות

אינטראקציות

משמעותיות בין

שרשרות הפולימר

ירידה בערך Tm

של הפולימר

בדרך כלל

לפעמים

\* לנוכחות קבוצות צדדיות גדולות בשרשרות הפולימר יכולה להיות השפעה מנוגדת על ערך Tm של הפולימר. מצד אחד נוכחות קבוצות אלה גורמת להתיישרות השרשרות, להתקרבותן ולעלייה בערך Tm , אך מצד שני קבוצות צדדיות גדולות גורמות להרחקת השרשרות ולהחלשת כוחות בין מולקולריים, ולפיכך לירידה בערך Tm של הפולימר.

מומלץ להיעזר בהוראת הנושא פולימרים במצגות ובהצעות לניסויים, הנמצאות באתר של המרכז הארצי למורי הכימיה, בדף:

[**http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=362**](http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=362)

**אילנה זוהר הכינה מצגת סיכום על פי הספר של נאוה מילנר "פולימרים סינתטיים חומרים כבקשתך" בהוצאת מכון ויצמן למדע. המצגת עברה עריכה והרחבה על ידי ד"ר מלכה יאיון וחולקה למספר מצגות על-פי פרקי הספר. המצגות מתאימות להוראת הנושא בכיתה וכוללות גם קטעי העשרה.**

כדי לגשר בין הפערים שהתגלו בשאלות בנושא הפולימרים מומלץ לתת לתלמידים תרגיל מסכם, שיעסוק בקשר בין תכונות הפולימר לבין המבנה שלו ברמת המיקרו. ניתן לבחור מוצר מסוים ולהיעזר בבחינות בגרות שעוסקות באותו מוצר. לאחר התרגיל יש רשימת בחינות הבגרות בציון הנושאים הרלוונטיים לתרגיל.

**דף עבודת: סיכום הנושא "פולימרים" - ייצור מוצר**

הפעילות עוסקת בקשר בין מבנה ותכונות של פולימר, מתבצעת בקבוצה של שלושה - ארבעה תלמידים כעבודה מסכמת.

**רשימת מוצרים פלסטיים:**

* + רהיטי גן
  + חומרים לאריזת מזון
  + עדשות מגע
  + פולימרים לתיקון עצמות
  + חוטים לתפירה כירורגית
  + כבלים
  + חיתולים

1. **הנכם יצרנים של מוצרים פלסטיים ומתמחים ביצור של אחד המוצרים שברשימה.   
   כדי לעמוד במטלה:**
2. בחרו מוצר שברצונכם לייצר (יתכן שהמוצר יהיה מורכב ממספר פולימרים).
3. היעזרו בטבלה הבאה ורשמו את תכונות ברמת המאקרו וברמת המיקרו של המוצר שבחרתם לייצר.

|  |  |
| --- | --- |
| **תכונות מאקרוסקופיות של פולימר** | **תכונות מיקרוסקופיות של פולימר** |
| * - קשיחות * - גמישות * - שקיפות * - עבירות לגזים מסוימים * - מסיסות במים / בממסים אורגניים * - כושר ספיגת מים * - התנהגות כימית (אדיש לחומרים * כימיים או מגיב איתם) * - Tg גבוה או נמוך * - Tm גבוה או נמוך * - מתכלה / לא מתכלה | * - גבישי (אחוז גבישיות גבוה) * - אמורפי (אחוז גבישיות נמוך) * - אורך שרשרות * - בעל הסתעפויות בשרשרות * - מידת הפיתול האקראי * - סדירות המבנה * - סוג הקשרים הבין מולקולריים בין שרשרות * - קבוצות צדדיות הידרופיליות/ הידרופוביות, * ארוכות/קצרות, נפחיות * - קשרי צילוב   - הידרוליזה / חמצון / תהליך אחר |

**חומרים העומדים לרשותכם:**

* פוליאתילן גבה צפיפות, HDPE
* פוליפרופילן
* פולימתיל מתאקרילט,PMMA
* פוליהידרוקסיד מתאקרילט, PHEMA
* פוליאתילן טרפתלאט, PET
* פוליסטירן, PS
* פולימר המיוצר מהמונומרים: חומצה גליקולית HO−CH2−COOH

וחומצת חלב CH3−CH(OH)–COOH

* פוליאתילן נמוך צפיפות, LDPE
* נתרן פוליאקרילט - קופולימר של חומצה אקריליט, CH2CHCOOH , ונתרן אקרילט CH2CHCOONa

1. רשמו נוסחה מתאימה לפולימרים הנתונים.
2. בדקו את הנתונים לגבי הפולימרים הנתונים בטבלה 1 בעמוד 183 בספר הלימוד.
3. קראו את הנספח לפרק ו' עמודים 142-159 ועמודים 98-99.
4. בחרו בפולימר שמתאים לייצור המוצר שבחרתם.   
   נמקו את בחירתכם, תוך התייחסות למאפייני הפולימר הרצויים על ידי התאמה בין מאפייני המבנה של הפולימר / הפולימרים שבחרתם לבין תכונות שבחרתם עבור המוצר הנבחר .

**ארגנו תשובתכם בצורת טבלה.**

1. **התייחסו לקשייכם בהתאמת הפולימר למוצר הדרוש.**

* אם יש יותר מפולימר אחד שלפי דעתכם מתאים למטרה, התייחסו אליו לפי אותם הקריטריונים .
* אם קיימות התלבטויות שתפו את המורה.
* **השוו בין יתרונות של הפולימר לבין חסרונותיו להתאמתו ליצור מוצר שבחרתם.**

***עבודה נעימה!***

* **התאמת שאלות מבחינות הבגרות על פי שימושים של פולימרים**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **שנת הבגרות** | **מספר שאלה** | **נושא** |
| 1994  2014 | 8  6 | עדשות מגע |
| 1995  2002 | 8  7 | חוטי תפירה כירורגיים |
| 1996 | 7 | סיליקון |
| 1997  2001 | 8  7 | חיתולים |
| 2000 | 8 | גומי |
| 2001 | 7 | ניילון |
| 2002 | 7 | סיבים |
| 2002  2011  2012 | 7 , 8  6  6 | סיבים |
| 2003 | 8 | מרכך שער |
| 2005 | 8 | סיבים אלסטיים |
| 2006  2014 | 8  5 | פולימרים מתכלים |
| 2007 | 7 | גומי לעיסה |
| 2008 | 6 | דבק סופר גלו |
| 2008 | 5 | PVC |
| 2009 | 5 | צמיג |
| 2010 | 6 | בנית ציפורניים |
| 2011 | 5 | חיתולים |

שאלה 7

כימיה פיזיקלית - מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** | ציון  משוקלל |
| ציון | **74** | **65** | **74** | **72** |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 72 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 8% מהתלמידים**

**87**

**76**

**69**

**62**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ד ג ב א

41-54

9%

0-40

17%

55-84

29%

85-100

45%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ לחשב את האנרגיה של כל אחת מארבע הרמות הראשונות של אטום המימן, על פי הנוסחה הנתונה.

⮘ לסרטט את דיאגרמת רמות האנרגיה עבור ארבע הרמות הראשונות של אטום המימן.

⮘ להסביר מהו אטום מעורר.

⮘ לקשר בין אורך הגל של הקרינה ואנרגיית הפוטון של הקרינה - לחשב את אנרגיית הפוטון כשנתון אורך גל של הקרינה.

⮘ לחשב את הפער בין רמות האנרגיה.

⮘ לקבוע אם קרינה מסוימת מאפשרת את עירור האלקטרון מרמת היסוד לרמה הנתונה.

⮘ לקשר בין בליעת הקרינה לעירור אלקטרוני של אטומים.

⮘ להבחין בין ספקטרום בליעה לבין ספקטרום פליטה של אטומים.

⮘ לקשר בין ירידה לרמות אנרגיה אלקטרוניות נמוכות יותר לבין פליטה של קרינה אלקטרומגנטית.

⮘ לקבוע מספר קווים שיכולים להופיע בספקטרום פליטה של אטום מסוים, כשנתון ספקטרום בליעה של אותו אטום.

⮘ לקבוע, מבין מעברי האלקטרון האפשריים באטום מסוים, מהו המעבר שעבורו האנרגיה הנפלטת היא הקטנה ביותר.

⮘ לקשר בין אורך הגל של הקרינה הנפלטת לבין צבע האור המתקבל בתחום של האור הנראה.

⮘ לציין באיזו אורביטל מאוכלסים האלקטרונים במולקולה H2 .

⮘ להשתמש בחישובים במספר אבוגדרו.

⮘ לקשר בין פירוק מולקולה לאנרגיית קשר בין אטומים.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| יישום | i | א |
| יישום | ii |
| אנליזה |  | ב |
| הבנה | i | ג |
| יישום | ii |
| יישום | iii |
| יישום | iv |
| הבנה | i | ד |
| יישום | ii |

**סעיף א' (הציון87 )**

לפי מודל בוהר לאטום המימן, הנוסחה לחישוב האנרגיה של האלקטרון ברמות אנרגיה (במסלולים) היא: . n הוא המספר של רמת האנרגיה, R הוא הקבוע במודל בוהר.

En = −

R

n2

**80**

**98**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 98)**

חשב את האנרגיה של כל אחת מארבע הרמות הראשונות של אטום המימן, ביחידות eV .

היעזר בנוסחה הנתונה.

**התשובה:**

n = 2 E2 = = −3.4 eV

−13.6 eV

22

n = 3 E3 = = −1.51 eV

−13.6 eV

32

n = 4 E4 = = −0.85 eV

−13.6 eV

42

n = 1 E1 = = −13.6 eV

−13.6 eV

12

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

הציון גבוה מאוד. התלמידים ידעו להציב במשוואה את הערכים המתאימים ולחשב את האנרגיה של כל אחת מארבע הרמות הראשונות של אטום המימן. כמעט שלא אותרו טעויות. תלמידים בודדים לא רשמו סימן מינוס.

**תת-סעיף ii (הציון 80)**

סרטט את דיאגרמת רמות האנרגיה עבור ארבע הרמות הראשונות של אטום המימן.

**התשובה:**

אנרגיה

(−1.51 eV)

(−13.6 eV)

(−3.4 eV)

(−0.85 eV)

E1

E2

E3

E4

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

רוב התלמידים הצליחו לסרטט נכון את דיאגרמת רמות האנרגיה עבור ארבע הרמות הראשונות של אטום המימן. הטעויות האופייניות שאותרו בתת-סעיף זה הן:

⬩ סרטוט של דיאגרמת רמות אנרגיה עם ציון רמת אנרגיה אפס: Eo=0 .

⬩ סרטוט מרווחים שווים שאינם מתאימים לתוצאות החישוב בתת-סעיף א' i .

⬩ סרטוט ללא סימון של רמות אנרגיה.

מומלץ לתרגל בכיתה ייצוג גרפי של רמות אנרגיה. שאלה לדוגמה: סעיף א' משאלה 9 - בחינת בגרות תשס"ט.

בניסוי העבירו קרינה המכילה את כל אורכי הגל בין 100 nm ל- 150 nm , דרך מכל ובו אטומי

מימן, H(g) .

**סעיף ב' (הציון76 )**

קבע אם הקרינה המועברת מאפשרת את עירור האלקטרון מרמת היסוד לכל אחת מהרמות 2 , 3 , 4 .

פרט את חישוביך ונמק.

**התשובה:**

האנרגיה המתאימה לקצוות של תחום אורכי הגל של הקרינה המועברת:

E = = 1.326·10−18 J = 8.3 eV

150×10−9 m

6.63·10−34 J·sec × 3·108

m

sec

##### (E = )

λ

hc

##### (1 eV = 1.6·10−19 J)

E = = 2.0·10−18 J = 12.5 eV

100×10−9 m

6.63·10−34 J·sec × 3·108

m

sec

חישוב פערים בין רמות אנרגיה:

הפער בין רמת היסוד לבין רמה 2: −3.4 eV − (−13.6 eV) = 10.2 eV

הפער בין רמת היסוד לבין רמה 3: −1.51 eV − (−13.6 eV) = 12.09 eV

הפער בין רמת היסוד לבין רמה 4: −0.85 eV − (−13.6 eV) = 12.75 eV

הקרינה המועברת (12.5 eV) מאפשרת את עירור האלקטרון:

מרמה 1 לרמה 2 (10.2 eV)

מרמה 1 לרמה 3 (12.09 eV),

אך אינה מאפשרת את עירור האלקטרון מרמה 1 לרמה 4 (12.75 eV).

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

המטלה בתת-סעיף זה מורכבת משלושה שלבים:

1. חישוב של אנרגיית הפוטון כשנתון אורך גל.

2. חישוב הפער בין רמות האנרגיה.

3. קביעה אם קרינה מסוימת מאפשרת את עירור האלקטרון מרמת היסוד לרמה הנתונה.

רוב התלמידים הצליחו לבצע נכון את כל שלבי המטלה, אך הופיעו גם טעויות. הטעויות האופייניות הן:

בשלב הראשון הופיעו טעויות חישוב ואי-התאמת יחידות - m ו- nm .

בשלב השני אותרו טעויות בסימנים.

בשלב השלישי חלק מהתלמידים התייחסו לאנרגיה של רמת אנרגיה במקום לפער בין רמות אנרגיה.

בנושא כימיה פיזיקלית יש מספר נוסחאות אותן צריך התלמיד להכיר. מומלץ לתרגל חישובים שבהם צריך להשתמש בנוסחאות אלה. למשל לתת לתלמידים תרגילים שבהם יש מעברים מאורך גל של הקרינה לפער אנרגיה ומפער אנרגיה לאורך גל. בכל תרגיל מומלץ לבקש שבתשובה תינתן ביחידות האנרגיה גם ב- J וגם ב- eV .

**סעיף ג' (הציון69 )**

**93**

**56**

**67**

**68**

## i ii iii iv

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

**תת-סעיף i (הציון 93)**

אטומי המימן המעוררים שבמכל פולטים אנרגיה. הסבר מדוע.

**התשובה:**

אטומי מימן מעוררים הם בעלי אנרגיה גבוהה, ולכן אינם יציבים. כדי להגיע למצב יציב אלקטרון

בכל אטום יורד לרמות אנרגיה נמוכות יותר. בתהליך זה נפלטת אנרגיה.

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

הציון גבוה. התלמידים הצליחו להסביר מדוע אטומים מעוררים פולטים אנרגיה.

הופיעו טעויות מעטות - הסברים לא ברורים כגון:

• "האטומים בולעים אנרגיה כשהם עוברים מרמת היסוד לרמות מעוררות, ולכן הם פולטים כי על כל אנרגיה שבולעים גם נפלטת אנרגיה."

בעיה נוספת היא חוסר התייחסות לכך שמצב מעורר הוא לא יציב.

**תת-סעיף ii (הציון 56)**

כמה קווים יכולים להופיע בספקטרום הפליטה של אטומי המימן המעוררים שבמכל? נמק.

**התשובה:**

שלושה קווים.

על פי הקביעה בסעיף ב, עירור האלקטרון אפשרי לרמה 2 ולרמה 3.

לכן בתהליך הפליטה המעברים האפשריים הם:

מרמה 2 לרמה 1 , מרמה 3 לרמה 1 , מרמה 3 לרמה 2 .

לכן בספקטרום הפליטה של אטומי מימן אלה יכולים להופיע שלושה קווים.

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

הציון נמוך. חלק ניכר מהתלמידים לא הצליחו לקבוע כמה קווים יכולים להופיע בספקטרום פליטה של אטומי מימן על פי הנתונים על ספקטרום בליעה. הטעויות האופייניות הן:

⬩ חוסר התייחסות לנתונים שנקבעו בסעיף ב' וקביעה שבספקטרום יכולים להופיע 6 קווים:

• "***6*** קווים: ***4-1*** , ***4-3*** , ***4-2*** , ***3-1*** , ***3-2*** , ***2-1*** ."

⬩ חוסר הבחנה בין ספקטרום בליעה לבין ספקטרום פליטה של אותם אטומים:

• "שני קווים מרמת ***3*** ו- ***2*** לרמת היסוד."

⬩ אי-ציון של מספר קווים ומתן הסברים כלליים ולא מדויקים:

• "מכל רמה שבה האלקטרון המעורר נמצא הוא יכול לרדת למטה לאיזו רמה שהיא, תלוי במספר הפוטונים שהוא פולט."

שאלה לתרגול:

יסודX בלע פוטון הגורם לעירור אלקטרון מרמת אנרגיה נמוכה - רמת היסוד (ראשונה) לרמת

אנרגיה רביעית.

א. איזה מן הספקטרה שלפניך, I או II , עשוי לתאר נכון את ספקטרום הפליטה של האטום המעורר של יסוד X ? נמק את קביעתך.

עוצמת

פליטה

אורך גל (nm)

280 310 690 950

ספקטרום I

עוצמת

פליטה

אורך גל (nm)

280 310 370 520 690 950

ספקטרום II

ב. בספקטרום שבחרת, קבע עבור כל אחד מאורכי הגל לאיזה תחום של הספקטרום האלקטרומגנטי הוא שייך.

ג. איזה מאורכי הגל מתאים למעבר של אלקטרון מרמת האנרגיה הרביעית לרמת היסוד? נמק.

**תת-סעיף iii (הציון 67)**

מבין מעברי האלקטרון האפשריים באטומי המימן שבמכל, קבע מהו המעבר שעבורו האנרגיה

הנפלטת היא הקטנה ביותר.

**התשובה:**

המעבר מתרחש מרמה 3 לרמה 2 .

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

חלק ניכר מהתלמידים התקשו לקבוע את המעבר שעבורו האנרגיה הנפלטת היא הקטנה ביותר.

הטעות העיקרית בתת-סעיף זה היא חוסר התייחסות לנתונים שבסעיף ב', וכתוצאה מכך קביעה שהמעבר הקטן ביותר הוא מרמה 4 לרמה 3 .

**תת-סעיף iv (הציון 68)**

המעבר שקבעת בתת-סעיף ג iii מתאים לפליטת קרינה בתחום הנראה.

מהו צבע האור המתקבל? פרט את חישוביך.

**התשובה:**

−1.51 eV − (−3.4 eV) = 1.89 eV = 3.024·10−19 J

##### (λ= )

E

hc

λ = = 6.59·10−7 m = 659 nm

3.024·10−19 J

6.63·10−34 J·sec × 3·108

sec

m

צבע האור - אדום.

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

הבעיה העיקרית בתת-סעיף זה היא חישוב האנרגיה שנפלטת במעבר הנבחר. טעויות נוספות הן טעויות חישוב ואי-התאמת יחידות בחישוב של אורך הגל.

**סעיף ד' (הציון62 )**

בניסוי אחר מועברת קרינה באותו תחום של אורכי גל (150 nm - 100 nm) דרך מכל שבו

מולקולות מימן, H2(g) .

**66**

**53**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**תת-סעיף i (הציון 53)**

רשום באיזה אורביטל / באילו אורביטלים מאוכלסים האלקטרונים במולקולה H2 .

**התשובה:**

σ1s

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

הציון נמוך. תלמידים רבים לא הצליחו לקבוע באיזו אורביטל מאוכלסים אלקטרונים

במולקולה H2 . רוב הטעויות שאותרו נובעות מחוסר הבחנה בין אורביטלים אטומיים לבין אורביטלים מולקולריים:

• ***1S***

טעות נוספת היא תשובה חלקית:

• ***σ***

**תת-סעיף ii (הציון 66)**

האנרגיה הדרושה לפירוק מול מולקולות מימן היא 436 .

התבסס על חישוביך בסעיף ב וקבע אם בקרינה המועברת דרך המכל יש פוטונים שיש להם

אנרגיה מספקת לפירוק מולקולה אחת של מימן. פרט את חישוביך ונמק.

נתון: מול מולקולות מכיל 6.02·1023 מולקולות.

kJ

mol

**התשובה:**

האנרגיה הדרושה לפירוק מולקולה אחת של מימן:

436 × 1000 J

6.02·1023

= 7.24·10−19 J = 4.525 eV

אנרגיית הפוטונים של הקרינה היא מ- 8.3 eV עד 12.5 eV )מ- 1.326·10−18 J עד 2.0·10−18 J).

אנרגיה של כל אחד מהפוטונים של הקרינה גדולה מהאנרגיה הדרושה לפירוק מולקולה אחת של מימן. לכן כל אחד מהפוטונים של הקרינה יכול לפרק מולקולת מימן.

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

הציון נמוך יחסית. הפתרון של תת-סעיף זה מכיל שני שלבים:

1. חישוב האנרגיה הדרושה לפירוק מולקולה אחת של מימן.

2. השוואה בין אנרגיה זו לבין טווח האנרגיה של הפוטונים של הקרינה, שחושב בסעיף ב', והקביעה.

הטעויות האופייניות הן:

⬩ דילוג על השלב הראשון - התייחסות לאנרגיה הדרושה לפירוק מול מולקולות מימן כאל אנרגיה הדרושה לפירוק של מולקולה אחת.

⬩ חישוב נכון של אנרגיה הדרושה לפירוק של מולקולה אחת של מימן, אך טעויות בהשוואה בין אנרגיה זו לבין טווח האנרגיה של הפוטונים של הקרינה.

מומלץ לעמוד על ההבדל בין תהליכי סף, כגון ניתוק קשר קוולנטי במולקולה על ידי קרינה אלקטרומגנטית, לבין תהליכים רזונטיביים, כגון עירור אלקטרוני.

תהליכי סף: יינון, אפקט פוטואלקטרי, ניתוק קשר קוולנטי במולקולה, צילום.

התרחשות תהליך סף תלויה בלעדית באנרגיה של פוטון בודד - היא צריכה להיות שווה או גדולה מהאנרגיה הדרושה לתהליך.

תהליכים רזונטיביים: בליעה ופליטה של פוטונים. התהליך יתרחש רק אם אנרגיה של פוטון תהיה שווה לאנרגיה הדרושה לתהליך (לא קטנה יותר ולא גדולה יותר).

בשל טעויות בחישובים הנדרשים בשאלה זו, מומלץ:

• לתרגל חישובים עם חזקות שבהם מתקשים חלק מהתלמידים. לעיתים התלמידים אינם יודעים להקליד מספרים עם חזקות במחשבון ולעיתים מעתיקים לא נכון את התשובה המתקבלת במחשבון. למשל רושמים 5.45−19 במקום 5.45•10−19 .

מומלץ לבדוק אם תלמידי הכיתה יודעים להשתמש נכון במחשבון.

• לתרגל חישוב של אנרגיית הקרינה הנבלעת או הנפלטת לפי אורך הגל של הקרינה.

• לתרגל חישוב האנרגיה של רמות אנרגיה על פי הנוסחה הנתונה בתחילת השאלה.

שאלה 8

כימיה פיזיקלית - מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **שאלון**  **37201** | **שאלון**  **37202** | **שאלון**  **37203** | ציון  משוקלל |
| ציון | **74** | **74** | **72** | **73** |

**ציון ממוצע על פי מכון סאלד: 73 פיזור ציונים**

**ציונים ממוצעים של סעיפי השאלה: בחרו בשאלה 18% מהתלמידים**

**78**

**71**

**71**

**66**

**84**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## ה ד ג ב א

41-54

9%

0-40

8%

55-84

51%

85-100

32%

**כדי לענות על שאלה זו על התלמיד:**

⮘ להסביר את ההבדל בין אטום במצב יסודי לבין אטום במצב מעורר.

⮘ לרשום היערכות אלקטרונים של אטום במצב יסודי ושל אטום במצב מעורר.

⮘ לקשר בין אורך גל של פוטון הקרינה לצבע האור המתקבל.

⮘ להעביר יחידות של אורכי גל ממטר לננומטר.

⮘ לזהות תחומים של אורכי גל השייכים לאור הנראה, אולטרא-סגול ואינפרא-אדום.

⮘ לתאר את המבנה הבסיסי של דיודה פולטת אור.

⮘ לקשר בין המבנה הבסיסי של דיודה פולטת אור לאופן פעולתה.

⮘ לקבוע מהם סוגי החומרים המתאימים להכנת דיודה פולטת אור.

⮘ להסביר את הקשר בין מבנה המולקולות ואורך הכרומופור לבין צבע החומר. ההסבר צריך לכלול: אורך כרומופור, מספר קשרים כפולים מצומדים, השפעת מספר הקשרים הכפולים המצומדים על המרווח בין HOMO ל- LUMO , השפעת המרווח האנרגטי על תדירות או אורך הגל של הפוטון הנבלע וקביעת אור מפוזר כאור שלא נבלע.

⮘ לקשר בין צבע החומר לבין תחום אורכי הגל שבו החומר בולע.

⮘ להסביר את הקשר בין שינוי באורך הכרומופור לשינוי בצבע החומר.

⮘ לנתח ספקטרום בליעה נתון, ולהתאים חומר לספקטרום.

**רמות חשיבה על פי הטקסונומיה של בלום**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| רמת חשיבה לפי בלום | תת-סעיף | סעיף |
| יישום | i | א |
| הבנה | ii |
| הבנה | i | ב |
| יישום | ii |
| אנליזה | iii |
| יישום |  | ג |
| יישום | i | ד |
| יישום | ii |
| יישום |  | ה |

**סעיף א' (הציון 78 )**

מנורות נתרן, המכילות Na(g) , משמשות לתאורת רחובות, גשרים ומנהרות.

בספקטרום הפליטה של נתרן בתחום הנראה יש קו עיקרי באורך גל 589 nm.

ההסבר לכך הוא מעבר אלקטרון באטום הנתרן מאורביטל 3p אל אורביטל 3s .

**70**

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**97**

**תת-סעיף i (הציון 70)**

רשום את היערכות האלקטרונים:

- באטום נתרן במצב אלקטרוני יסודי.

- באטום נתרן במצב אלקטרוני מעורר.

**התשובה:**

היערכות האלקטרונים באטום הנתרן במצב יסודי: 1s22s22p2x2p2y2p2z3s1

היערכות האלקטרונים באטום הנתרן במצב מעורר (על פי הנתון בשאלה): 1s22s22p2x2p2y2p2z3p1x

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

הציון בינוני. הטעויות האופייניות שאותרו הן:

⬩ צורת כתיבה שגויה:

• ***s12s22p26s31***

• ***s12s22p26s32***

⬩ רישום של היערכות אלקטרונים ללא ההיערכות באורביטלים המנוונים:

• ***1s22s22p63s1***

⬩ רישום היערכות אלקטרונים שגויה במצב מעורר:

• ***1s22s22p2x2p2y2p2z3s2***

⬩ רישום היערכות של יון חיובי ויון שלילי במקום אטום במצב יסודי ואטום במצב מעורר.

⬩ רישום היערכות לפי הנלמד ברמה של 3 יח"ל:

• "במצב יסודי: ***2,8,1*** ובמצב מעורר: ***2,8,2*** ."

⬩ רישום נכון של אכלוס אלקטרונים אבל בדיאגרמת רמות אנרגיה.

היו תלמידים שרשמו חיצים בתוך משבצות כפי שמופיע בספר הלימוד:

1s 2s px py pz 3s

↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓

**תת-סעיף ii (הציון 97)**

מהו צבע האור המתקבל ממנורות נתרן?

**התשובה:**

צבע האור המתקבל ממנורות נתרן הוא צהוב.

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

הציון גבוה מאוד. התלמידים לא התקשו לקבוע את צבע האור המתקבל על פי אורך גל של הקו העיקרי בספקטרום הפליטה של נתרן בתחום הנראה. אותרו טעויות בודדות:

⬩ קביעה כי מתקבל אור כתום.

⬩ קביעה כי מתקבל אור כחול שהוא ההופכי של כתום.

**סעיף ב' (הציון71 )**

בניסוי הכינו שלוש דיודות פולטות אורLED) ) השונות בהרכבן ובפערי האנרגיה שלהן.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| III | II | I | דיודה פולטת אור |
| 4.0 | 2.1 | 1.6 | **פער אנרגיה** (eV) |
| 3.10·10−7 | 5.91·10−7 | 8.28·10−7 | **אורך גל** (m) |

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii iii

**75**

**88**

**62**

**תת-סעיף i (הציון 75)**

קבע איזו מהדיודות I-III פולטת קרינה בתחום האור הנראה. נמק.

**התשובה:**

דיודה II .

כאשר E = 1.6 eV : 8.28·10−7 m = 828 nm

כאשר E = 2.1 eV : 5.91·10−7 m = 591 nm

כאשר E=4 eV : 3.10·10−7 m = 310 nm

אורך הגל 591 nm הוא היחיד המתאים לתחום האור הנראה.

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

הציון בינוני. חלק מהתלמידים לא הצליחו לזהות את תחום האור הנראה על פי אורך גל.

הטעויות האופייניות הן:

⬩ קביעה נכונה ללא נימוק או עם נימוק חלקי.

⬩ קביעה שגויה ללא נימוק.

⬩ חישוב אורך גל מתאים לדיודה אחת בלבד - זו שבחרו, מבלי להתייחס לדיודות האחרות.

**תת-סעיף ii (הציון 88)**

מהו הצבע של האור הנפלט מהדיודה שקבעת בתת-סעיף ב i ?

**התשובה:**

הצבע של האור הנפלט הוא צהוב.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים לא התקשו לקבוע את צבע האור הנפלט מהדיודה.

הופיעו קביעות שגויות מעטות:

• "הצבע הנפלט הוא כתום."

• "הצבע הנפלט הוא סגול - בולע צהוב ופולט סגול."

**תת-סעיף iii (הציון 62)**

עבור כל אחד מן ההיגדים b-a שלפניך קבע אם הוא נכון או לא נכון. נמק כל קביעה.

.a בכל דיודה פולטת אור יש מוליך למחצה מסוג N ומוליך למחצה מסוג P .

.b נתרן הוא המרכיב העיקרי בדיודה שקבעת בתת-סעיף ב i .

**התשובה:**

היגד a - נכון.

בכל דיודה פולטת אור קיימים גבישים מסוגN ומסוג P . האור נפלט כאשר אלקטרונים הנמצאים בפס ההולכה (גביש N) עוברים אל חורים בפס הערכיות (גביש P).

היגד b - לא נכון.

נתרן הוא מתכת מוליכה ולא מל"מ.

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

הציון נמוך. חלק ניכר מהתלמידים התקשו לקבוע אם ההיגדים נכונים, במיוחד היגד b .

הטעויות האופיניות שאותרו הן:

**לגבי היגד a:**

⬩ קביעה שגויה וניסיון להסבירה:

• "מל"מ ***N*** ו- ***P*** נועדו ליצירת צומת ***PN*** ולהעברת אנרגיה בצורה נכונה.

***P***  ו- ***N*** הם מזהמים הגורמים להסממה בחומרים מוליכים למחצה."

⬩ קביעה נכונה ללא נימוק.

⬩ קביעה נכונה עם נימוק חלקי:

• "מל"מ ***P*** ומל"מ ***N*** הפוכים במטענם ועקב המשיכה זה של זה הם מוליכים חשמל."

⬩ קביעה נכונה עם נימוק כללי:

• "בכל דיודה יש מל"מ ***N*** ומלמ ***P*** ."

**לגבי היגד b:**

⬩ קביעה שגויה וניסיון לנמקה:

• "האור הנפלט נראה צהוב וגם הצבע המתקבל ממנורת נתרן הוא צהוב."

• "לנתרן מוסיפים מזהם בכמות קטנה לעומת כמות הנתרן על מנת שיהפוך למוליך."

• "***Na*** מל"מ מסוג ***N*** כי יש בו עודף של אלקטרונים."

⬩ קביעה נכונה ללא נימוק.

⬩ קביעה נכונה עם נימוק שגוי:

- נימוק המתייחס למבנה הדיודה:

• "נתרן שייך לטור ***1*** בטבלה המחזורית ולכן יכול לשמש מוליך למחצה מסוג ***P*** בלבד, כלומר חסר מל"מ מסוג ***N***."

• "נתרן לא המרכיב העיקרי, כי כדי ליצור מל"מ ***N*** ו- ***P*** יש צורך במרכיבים נוספים מטור ***3*** או ***5*** ."

- נימוק המתייחס לאורך הגל של הקרינה הנפלטת. הצבע הצהוב הודגש בשאלה והדבר

תרם לכך התלמידים לא שמו לב לכך שנתרן בעצם מוליך:

• "הנתרן אחראי רק על צבע הדיודה (על פליטת האנרגיה), ולא על מבנה הדיודה כולה."

• "אילו נתרן היה המרכיב העיקרי, אז הדיודה הייתה פולטת בדיוק ב- ***589***  ננומטר. קו הפליטה הבא של נתרן גבוה מ- ***589*** , ולכן מעברי רמות אנרגיה אחרות לא יכולות להסביר קיום אור שונה בדיודה."

מומלץ להבהיר לתלמידים שדרך החוטים יכולים לזרום רק אלקטרונים. החורים אינם זורמים. "תנועתם" היא לא תנועה אמיתית אלא שינוי מיקום הנובע מתנועת אלקטרונים.

כדאי להראות לתלמידים מעגל חשמלי רגיל עם מנורה ולהשוותו למעגל חשמלי עם דיודה, כדי להסביר את ההיבט המאקרוסקופי.

הסרטוט שבשאלה הוא הבסיס להבנת המל"מ. כדאי לתרגל בניית סרטוט בצורות שונות. למשל, להעתיק את הסרטוט תוך השמטת חלקים, ולבקש מהתלמידים להשלים את החלק החסר ולהסביר את תפקידו. למשל השלמת המטענים בסוללה.

מומלץ להציג לתלמידים סרטונים על דיודות פולטות אור:

<https://www.youtube.com/watch?v=BH9LI973H8w>

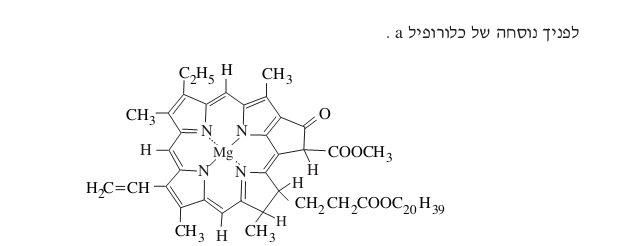
<https://www.youtube.com/watch?v=WjvUVjuHRtc>

<https://www.youtube.com/watch?v=GodkGafZsh4>

לפניך נוסחאות המבנה של שני חומרים צבעוניים: בטא קרוטן וכלורופיל.

**בטא קרוטן**

**כלורופיל**



CH2CH2COOCH2CH=C(CH2CH2CH2CH)3CH3

CH3

CH3

CH3

H3C

CH3

CH3

H

H

H

O

CH2CH3

COOCH3

H2C=CH

**סעיף ג' (הציון71 )**

התייחס למבנה המולקולות של בטא קרוטן וכלורופיל, והסבר מדוע שני החומרים הם צבעוניים.

**התשובה:**

במולקולות של בטא קרוטן וכלורופיל יש רצף ארוך של קשרי C=C מצומדים הגורמים לצמצום הפער האנרגטי בין אורביטליHOMO לאורביטליLUMO , נדרשת פחות אנרגיה לעירור אלקטרון, לכן האור הנבלע יכול להיות בתחום האור הנראה.

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

הציון בינוני. חלק ניכר מהתלמידים לא הצליחו להסביר את הקשר בין מבנה המולקולות ואורך הכרומופור לבין צבע החומר. הטעויות האופייניות שאותרו הן:

⬩ הסברים שגויים, לדוגמה:

• "המולקולות מצומדות. ככל שהמולקולה יותר מצומדת הפער בין ***HOMO*** ל- ***LUMO*** קטן ואז פוטון יכול לעבור בקלות לבלוע או לפלוט קרינה בתחום הנראה. כלומר קרינה בתחום הנראה מספיקה כדי להעביר פוטון מ- ***HOMO*** ל- ***LUMO*** ולהיפך."

• " מכיוון שבשני החומרים קיימים אטומי פחמן מחוברים בקשרים כפולים ויחידים לחילופין והמבנה הזה מאפשר פליטת קרינה באור נראה."

⬩ הסברים חלקיים:

• "מכיל כרומופורים ארוכים."

• "מכיל קשרים כפולים מצומדים מקרבים את המרחק בין ***HOMO*** ל- ***LUMO*** ."

⬩ התייחסות למבנה המולקולה בלבד ללא הסבר:

• "חומר צבעוני, כי הוא מכיל יותר מחמישה קשרים כפולים מצומדים."

⬩ חלק התלמידים כתבו "קשרים כפולים **ו**מצומדים" - דבר המעיד על כך שהמושג "קשרים כפולים מצומדים" אינו ברור להם.

קליפות של בננות מכילות צבענים (פיגמנטים) המשפיעים על הצבע שלהן: כלורופיל - ירוק,

משפחת הקרוטנואידים - צהוב-כתום. בטא קרוטן הוא צבען ממשפחת הקרוטנואידים.

**סעיף ד' (הציון66 )**

בתהליך ההבשלה קליפת הבננה משנה את צבעה מירוק לצהוב. נמצא שבמהלך ההבשלה

הכלורופיל הירוק הופך לחומר חסר צבע.

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

## i ii

**53**

**75**

**תת-סעיף i (הציון 75)**

איזה שינוי במבנה של מולקולות הכלורופיל גורם להפיכתן למולקולות של חומר חסר צבע?

**התשובה:**

מספר קשרי C=C המצומדים ירד.

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

הציון בינוני. הבעיה העיקרית בתת-סעיף זה היא חוסר יכולת של חלק מהתלמידים לקשר בין שינוי באורך הכרומופור לשינוי בצבע החומר. הופיעו הצעות לא מתאימות:

• "שבירת קשרים."

• "שבירת קשרי מימן כפולים והפיכתם ליחידים."

• "יצירת קשרים כפולים שיגרמו לאורך הגל הנבלע לגדול עד שיגיע לתחום אינפרא-אדום."

אותרו גם הצעות הכוללות רעיונות הגיוניים, אך חלקיות ולא מדויקות:

• "מולקולות הכלורופיל מתקצרות."

• "שינוי במספר הקשרים הכפולים מצומדים נובע מכך שהקשרים הכפולים משנים את מקומם וכעת הם לא מצומדים."

**תת-סעיף ii (הציון 53)**

הסבר מדוע צבע הקליפה משתנה במהלך הבשלת הבננות.

**התשובה:**

מולקולות הכלורופיל משתנות למולקולות של חומר חסר צבע, לכן הצבע של בטא קרוטן

(או: קרוטנואידים) קובע את הצבע של קליפות הבננות.

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

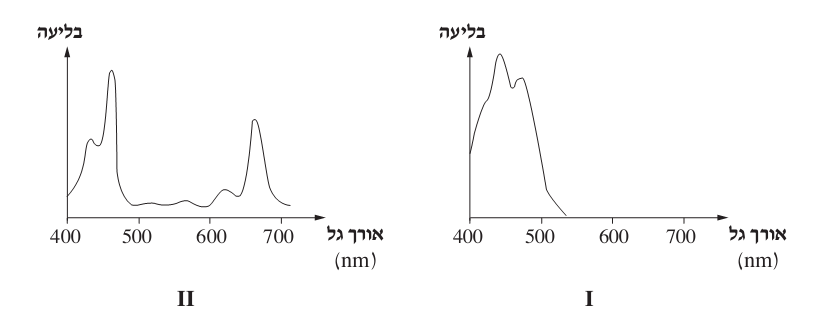
הציון נמוך. תלמידים רבים נתקלו בקושי רב בתשובה על תת-סעיף זה. רוב ההסברים התעלמו מנתוני השאלה המתייחסים לכך שהכלורופיל הופך לחסר צבע. הופיעו הסברים שגויים, כגון:

• "הצבע משתנה כי בתהליך זה מולקולות הכלורופיל מתפרקות ונוצרות מולקולות בטא קרוטן אשר פולטות קרינה באורכי גל שונים."

חלק מההסברים הם כלליים, למשל:

• "הצבע משתנה כי במולקולות הכלורופיל הכרומופור מתקצר ולכן הן בולעות באורכי גל יותר קצרים מה שמתאים לצבע הצהוב."

**סעיף ה' (הציון 84)**



לפניך שני ספקטרה בליעה I ו- II, האחד של כלורופיל והאחר של בטא קרוטן.

קבע לכל אחד משני החומרים מהו הספקטרום המתאים לו.

**התשובה:**

ספקטרום I מתאים לבטא קרוטן, וספקטרום II מתאים לכלורופיל.

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

הציון גבוה. רוב התלמידים הצליחו לנתח את שני הספקטרה ולהתאים כל אחד מהם לחומר המתאים. היו תלמידים שטעו בבחירה וניסו לנמק את בחירתם ללא הצלחה.

ההסבר של הקשר בין מבנה המולקולות ואורך הכרומופור לבין צבע החומר, צריך לכלול:

• מספר קשרים כפולים מצומדים - אורך הכרומו פור.

• השפעת מספר הקשרים הכפולים המצומדים על המרווח בין HOMO ל- LUMO .

• השפעת גודל המרווח על אנרגיית הפוטון הנדרשת כדי להעלות אלקטרון מרמת ה-HOMO לרמת ה-LUMO .

• הקשר בין התדירות או אורך הגל של הפוטון הנבלע לאנרגיה.

• וסעיף חשוב שתלמידים רבים שוכחים להתייחס אליו - קביעת צבע החומר לפי אור מפוזר, כלומר האור שלא נבלע.