

ה. תשובות לשאלות בגוף הספר

התשובות לשאלות בספר מאורגנות במדריך למורה על פי סדר הופעת השאלה בספר לתלמיד. עבור כל פרק, מופיעות תחילה השאלות המופיעות בגוף הפרק ואחר כך מופיעות התשובות לשאלות סוף הפרק.

עמוד 17: ריכוז יוני עופרת.... א.

$$\text{C}_{\text{ppm}} = 1 \text{ mg/liter}$$

$$0.001 \text{ גר} = 1 \text{ מ"ג}$$

$$1 \mu\text{g} = 0.000001 \text{ g}$$

$$80 \mu\text{g} = 0.08 \text{ mg}$$

$$0.02 \text{ ppm} = 0.08 \text{ mg/5 liter}$$

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

$$0.02 \text{ ppm} = 20 \text{ ppb}$$

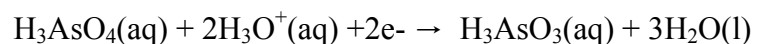
- ב. המדגם שבסעיף א מכיל 20 ppb, ולכן הריכוז בו עולה על הריכוז המקסימלי של יוני עופרת המותר במי שתייה. לכן מדגם המים אינו מתאים לדרישות המינימום.
- ג. הריכוז המולרי של יוני עופרת המותר הוא 0.01 מ"ג/ליטר.

עמוד 25: האם יש סכנות...

א.

- השימוש במים קשים אינו מלווה סכנות בריאותיות.
- השימוש במים מזוקקים כרוך בסיכונים. הגוף שלנו צריך מלחים לתפקוד יעיל. ללא מלחים אלה מערכות הגוף ייפגעו.
- ב. ספקי המים אינם דואגים לריכוך המים משום שמים קשים אינם מהווים סכנה בריאותית מחד, ומשום שהתהליך של ריכוך המים כרוך בעלויות כספיות מאידך.

עמוד 26: תגובה a

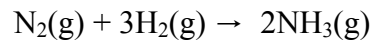


זוהי תגובת חיזור.

- אטום הארסן משנה את דרגת החמצון מ-(+5) ל-(+3).
- אטום הארסן מקבל אלקטרונים, ולכן הוא מחמצן.

עמוד 30: כ-80%...

מולקולת החנקן אדישה כימית משום שמתקיים קשר משולש בין אטומי החנקן, ונדרשת אנרגיה רבה כדי לשבור אותו.



	$\text{N}_{2(\text{g})}$	$3\text{H}_{2(\text{g})}$	$\text{NH}_{3(\text{g})}$
אנרגיות הקשר קילוגאול/מול	945	436	391

$$\Delta H^0 = 945 + 3 \cdot 436 - 6 \cdot 391 = 93 \text{ KJ}$$

על הקושי בפירוק מולקולות חנקן במערכות ביולוגיות מתגברים באמצעות מיקרואורגניזמים המסוגלים לפרק את מולקולות החנקן.

על הקושי בפירוק מולקולות החנקן בתעשייה מתגברים באמצעות זרז וגורמים נוספים כמו טמפרטורה ולחץ, עד להשגת התנאים המיטביים לתגובה, לפי עקרון לה שטלייה.

שאלות לפרק א (עמוד 67)

1.

$$1000000 \text{ גר} = 1000 \text{ ק"ג} = 1 \text{ טון}$$

$$1.5 \cdot 10^{12} \text{ גר} = 1.5 \cdot 10^9 \text{ פחם}$$

מתוך נתוני השאלה:

$$1 \cdot 10^9 \text{ גר} = 1 \text{ פחם יש } 50 \text{ מ"ג כספית}$$

$$1.5 \cdot 10^{12} \text{ פחם יש } 75000 \text{ מ"ג כספית שהם } 75 \text{ גר}.$$

2. בתשובה לשאלה זו, על התלמידים להפיק מתוך הטבלה בעמוד 66 את היתרונות והחסרונות

בשתייה של מים מינרליים. לאחר מכן, על התלמידים לבסס החלטה באם לשתות מי ברז או מים מינרליים אשר מבוססת על כל הנתונים שכתבו בסעיף הראשון.

3. א.

$$20 \text{ ppb} = 0.02 \text{ ppm} : \text{דוגמה 1}$$

$$0.003 \text{ mg} = 3 \text{ ppm} : \text{דוגמה 2}$$

לפיכך ריכוז יוני העופרת בדוגמה 2 גבוה יותר.

ב. התקן הישראלי ליוני עופרת הוא: 0.01 מ"ג/ליטר

4. א.

דוגמה	בליעה	ריכוז ppm
1	0.50	38
2	0.05	3
3	0.3	18

ב. תמיסה בריכוז גבוה מ-40ppm יכולה להיות מחוץ לתחום הלינארי של הגרף, ולכן יש

למהול אותה כדי שריכוז התמיסה יהיה בתחום הלינארי של הגרף.

5. ריכוז יוני הסידן הוא 55 מ"ג/ליטר.
המסה של יוני הסידן היא 40 גר"/למול.

המסה של $\text{CaCO}_3(\text{aq})$ היא 100 גר"/מול.
מכאן שאם בליטר אחד ריכוז יוני הסידן הוא 55 מ"ג/ליטר, הרי שריכוז $\text{CaCO}_3(\text{aq})$ יהיה 137.5 מ"ג/ליטר.

6. לא, משום שריכוז של 350 מ"ג/ליטר הוא 350ppm, וזהו ריכוז גבוה בהרבה לעומת 10ppm.

7. א. פחם פעיל מסלק בעיקר תרכובות אורגניות ממי השתייה, ולכן ניתן לראות שכאשר המים הכילו צבע מאכל בורדו (צבע מאכל הוא חומר אורגני), ירדה עוצמת הצבע. זאת משום שרוב החומר האורגני נספח על מצע הפחם הפעיל. מאחר שפחם פעיל אינו סופח קטיונים או אניונים, ניתן לראות בתוצאות הניסוי שמים קשים שסוננו על ידי פחם פעיל נותרו קשים, ושגם ריכוז יוני $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$ זהה לזה שנמדד לפני הסינון בפחם פעיל.

מחליף קטיונים מוריד את ריכוז יוני ה- $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ המומסים במים משום שהוא מחליף את יוני ה- $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ שבמים הקשים ביונים אחרים כמו יוני $\text{Na}^+(\text{aq})$. ניתן לראות שסינון מים קשים דרך מחליף קטיונים הופך את המים הקשים לרכים.

מחליף אניונים מוריד את ריכוז האניונים במים הקשים. האניונים אינם מדד בקביעת קשיות מים, ולכן לא יהיה שינוי כתוצאה מסינון באמצעות מחליף אניונים.

ב. טיטרציה עם EDTA היא שיטה כמותית לקביעת ריכוז יוני הסידן. כאשר מוסיפים EDTA לתמיסה שבה מומסים יוני סידן ומגנזיום וכן אינדיקטור מתאים, יעברו יוני הסידן והמגנזיום צימוד עם ה-EDTA בהעדפה. לאחר שכל יוני הסידן והמגנזיום יצומדו על ידי ה-EDTA המוסף, ישתנה צבע התמיסה מאדום יין לכחול. זוהי נקודת הסיום של הטיטרציה. לאחר שמתברר הריכוז של תמיסת ה-EDTA, ניתן לחשב את ריכוז יוני הסידן והמגנזיום, ועל הבסיס הזה, לחשב את קשיות המים באופן כמותי.

ג. ערך X יהיה קטן מ-50ppb משום שמחליף הקטיונים ספח חלק גדול מיוני הבדיל. ערך Y יהיה שווה ל-50ppb משום שמחליף אניונים סופח אניונים ומוריד את ריכוזם ואינו משפיע על ריכוז הקטיונים.

ד. ככל שגודל החלקיקים יהיה קטן יותר, יעילות המסנן תעלה משום ששטח הפנים של הפחם הפעיל יהיה גדול יותר והוא יספח ביעילות גבוהה יותר.

8. א. $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$

ב. $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$

ג. יון Ca^{2+}

ד. אני אעדיף להשתמש ב-ppm. ppm מבטא מ"ג/ליטר כך שניתן לדעת את המסה של החומר הנבדק, וכך יחידת המסה אינה דורשת תרגום נוסף והיא ברורה יותר לקהל רחב יותר. לעומת זאת יחידת המול ברורה רק לכימאים, וכדי להסבירה לקהל יש צורך בתרגום.

9. א. 1

מספר דגימה	הבליעה ב-220nm	ריכוז מ"ג/ליטר
1	1.5	15
2	1.7	17
3	2.0	20.5

2. מ"ג/ליטר $= (15+17+20.5)/3 = 17.5$ = הריכוז הממוצע

3. מ"ג/ליטר $= (13+12+11)/3 = 12$ = הריכוז הממוצע

ב. 1. הבדיקה הראשונה הספקטרוסקופית היא המדויקת יותר, משום שהיא קרובה יותר לתוצאה המדווחת.

2. הבדיקה השנייה היא המהימנה יותר, משום ששלוש התוצאות קרובות יותר האחת לאחרת.

ג. 1. נראה שריכוז יוני הניטראט במים הנבדקים נמוך מסף יכולת המדידה של השיטה.

2. ניתן לבדוק זאת על ידי ריכוז (על ידי נידוף חלק מהמים) הדוגמה. כאשר ריכוז יוני הניטרט יהיה גבוה יותר, ניתן יהיה לבדוק אותו באמצעות השיטה המוצעת.

10. א. מים קשים אינם מסוכנים לשתייה, הם אינם גורמים לנזק בריאותי. הגוף יודע להיפטר מעודף היונים.

ב. מים מינרליים אינם עדיפים על פני מי ברז. מי ברז בארץ בטוחים מספיק לשתייה. לעומת זאת מים מינרליים הם יקרים יותר ממי ברז, והם יוצרים מפגע סביבתי כתוצאה משימוש בבקבוקי פלסטיק.

ג. לא נכון. מים מינרליים מקורם ממעיינות ולא מזיקוק מי ברז (מים מזוקקים).

ד. לא נכון. מאחר שמקורם של מים מינרליים שונים הוא ממקורות שונים. כל מעיין נמצא במיקום גאוגרפי שונה, וגם הרכב הקרקע סביב המעיין הוא שונה. הרכב הקרקע הוא שקובע את הרכב המומסים, ולכן מים מינרליים ממקורות שונים יהיו בעלי הרכב מומסים שונה.

ה. לא נכון. הוספת כלור היא הכרחית במקרים רבים לצורך טיהור ולצורך שמירה על איכות המים מפני מיקרואורגניזמים. כמות גדולה מדי של כלור יכולה להשפיע על טעמם של המים.

11. א. הריכוז של יוני $K^+_{(aq)}$ הוא 0.7 מ"ג/ליטר.

ב. לא, משום שיתכן ובעוצמת פליטה של 1.5, הגרף אינו לינארי. במקרה כזה ניתן למהול את התמיסה כך שהריכוז המתקבל ייבלע בעוצמה הנמצאת בתחום הלינארי של הגרף. השאלות הבאות מתאימות בעיקר לפרק ב.

12. א. $9\text{ppm CO}_{(g)}$ הם $9\text{ מולקולות CO}_{(g)}$ מתוך מיליון מולקולות אוויר. כלומר, 0.000001 חלקיקים הם 0.0001% מתוך מיליון חלקיקים.
- ב. 79% הם 79 חלקיקים מתוך 100 שהם 790000 חלקיקים מתוך 1000000 . כלומר, 79% הם 790000ppm .
- ג. 0.05% מולקולות $\text{CO}_{(g)}$ משמעו 5 חלקיקים מתוך 10000 חלקיקים. במיליון חלקיקים יש 500 מולקולות $\text{CO}_{(g)}$, כלומר, $500\text{ppm CO}_{(g)}$.
- ד. 5000ppm הם 5000 מולקולות של $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ מתוך מיליון חלקיקים שהם 0.5% .
13. על פי נתוני השאלה, מתוך מיליון מולקולות יש 0.12 מולקולות של $\text{O}_{3(g)}$ שהן 12 מולקולות $\text{O}_{3(g)}$ מתוך 10^8 מולקולות. מכאן שב- $2 \cdot 10^{22}$ מולקולות יהיו $24 \cdot 10^{14}$ מולקולות אוזון.
14. א. 0.118ppm הם 118ppb . לכן נוכל להריח אוזון בטרופוספירה.
- ב. גם בריכוז של 25ppm נוכל להריח את האוזון.

פרק ב

עמוד 82:

- א. חלקה מוחזר על ידי העננים עוד לפני שהיא מגיעה לקרקע.
- ב. משום שגזי החממה מונעים מהאנרגיה שנפלטת מהקרקע לחזור מיד לחלל.
- ג. בלילות מעוננים אדי המים שהם גזי חממה בולעים חלק מהאנרגיה שחוזרת מהקרקע. לעומת זאת בלילות בהירים יש פחות אדי מים ולכן יותר אנרגיה שחוזרת מהקרקע נפלטת חזרה לחלל.

עמוד 86:

1. מכשירים שפועלים באמצעות קרינה אלקטרומגנטית: מיקרוגל, מכשירי רדיו, טלפונים ניידים.

2.

$$\nu = 91.8\text{Mhz}$$

$$c = \lambda \cdot \nu$$

$$300000 \text{ ק"מ/שניה} = \lambda \cdot 91.8 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$300000 \text{ ק"מ/שניה} = \lambda \cdot 91.8 \cdot 10^6 \text{ 1/sec}$$

$$\lambda = 300000 / 91.8 \cdot 10^6 = 3000 / 918 = 3.268\text{m}$$

כל הגלים האלקטרומגנטיים נעים במהירות האור שהיא 300000 ק"מ/שניה .

3.

$$\lambda = 700\text{nm} = 700 \cdot 10^{-9}\text{m}$$

$$300000\text{Km/sec} = 700 \cdot 10^{-9}\text{m} \cdot \nu$$

$$v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec} / 7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v = 0.43 \cdot 10^{15} \text{ sec}^{-1} = 4.3 \cdot 10^8 \text{ MHz}$$

4. ככל שהתדירות גבוהה יותר כך האנרגיה של הגל גבוהה יותר.
לגלי מיקרו תדירות נמוכה יותר מזו של האור הנראה ולכן לאור הנראה אנרגיה גבוהה יותר.
5. א. ניתן לסכם שככל שאורך הגל גדול יותר התדירות נמוכה יותר.
ב. ככל שהתדירות גבוהה יותר האנרגיה של הקרינה גבוהה יותר.

עמוד 91:

1. א. אור לבן מורכב מכל אורכי הגל. חשיפה של נייר צילום לכל אורכי הגל תשחיר אותו לגמרי.
ב. לא ניתן לקבוע משום שצריך לדעת האם נייר הצילום משחיר כתוצאה מהקרנה בכל אחד ואחד מצבעים אלה. על פי הנתונים איננו יכולים לקבוע מאיזה אורך גל מתרחשת השחירה.
2. גוף שקוף – הקרינה הפוגעת בו עוברת דרך העצם לצד הנגדי למקור הפגיעה של הקרינה.
גוף אטום – הקרינה הפוגעת אינה מועברת דרך העצם אלא שטח פני העצם מחזיר את הקרינה.
3. לא ניתן לגדל צמחים באור ירוק משום שהצמח בולע את כל אורכי הגל פרט לירוק ולכן הצבע של הצמח הוא ירוק. כך שאם נקרין באור ירוק הצמח לא יבלע את האנרגיה המתאימה לאורך הגל הירוק.
4. שחור משום שבאורן סגור אין קרינה ולכן לא יראה צבע.
5. כאשר נקרין את נייר הצילום באור אדום נייר הצילום לא ישחיר. כאשר התדירות נמוכה יותר הנייר אינו משחיר. תדירות האור האדום נמוכה מזו של הכתום כך שאם הנייר לא השחיר באור כתום הוא בוודאי לא ישחיר באור אדום. כאשר נקרין את נייר הצילום באור כחול נייר הצילום ישחיר. תדירות האור הירוק נמוכה מזו של האור הכחול. כלומר הנייר ישחיר בכל תדירות שהיא גבוהה מזו של הירוק.
6. לא. התדירות של גלי האור הכתום נמוכה מזו של האור הכחול ולכן אם האור הכתום הוציא אלקטרונים ממתכת אור בעל תדירות גבוהה יותר כלומר אנרגיה גבוהה יותר גם כן יוציא אלקטרונים.

שאלות לפרק ב

1. א. גלי מיקרו ← גלי אינפרא-אדום ← אור נראה ← אולטרה-סגול
ב. ב- 10^{15} סדרי גודל.

$$v = 2.45 \cdot 10^9 \text{ sec}^{-1}$$

$$c = v \cdot \lambda$$

$$3 \cdot 10^8 \text{ m/sec} = \lambda \cdot 2.45 \cdot 10^9 \text{ sec}^{-1}$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 / 2.45 \cdot 10^9 = 1.22 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

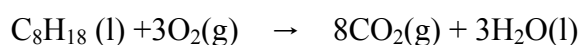
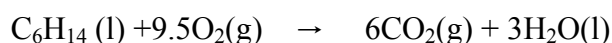
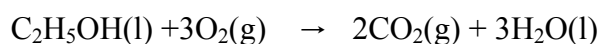
מכאן שתדירות זו היא בעלת אנרגיה גבוהה יותר מזו של גלי רדיו ונמוכה יותר מזו של קרינה אינפרה-אדומה.

3. א. המים בולעים קרינה בתחום גלי המיקרו, וזאת אנחנו יודעים מניסיונו האישי כאשר אנו מחממים אוכל במיקרוגל.

המים אינם בולעים בתחום האור הנראה, הקרינה רק עוברת דרכם, ולכן המים נראים שקופים וחסרי צבע.

ב. מאחר והמים בולעים קרינה בתחום גלי המיקרו הם מתחממים במיקרוגל. זכוכית כמעט ואינה בולעת בתחום אורכי גל אלו ולכן היא כמעט ואינה מתחממת.

4. א.



ב. מ-1 מול אתאנול נפלט 2 מול $\text{CO}_2(\text{g})$.

מ-1 מול הקסאן נפלט 6 מול $\text{CO}_2(\text{g})$.

מ-1 מול אוקטאן נפלט 8 מול $\text{CO}_2(\text{g})$.

5. לא בהכרח, משום שקיימים גורמים נוספים המשפיעים על מזג האוויר.

6. א.



ב-1 מול פחם יש 1620 גרם פחמן.

ב-1920 גרם פחם יש 1620 גרם פחמן.

ב-15000000000 גרם פחם יש 1270000000 גרם פחמן שהם 1.27 טון פחמן.

ב. 1.5 טון פחם הם $1.5 \cdot 10^9$ (1500000000) גר' פחם. מכאן שכמות האנרגיה הנפלטת היא:

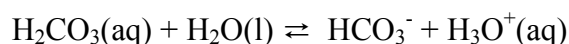
$$\Delta H = 1.5 \cdot 10^9 \cdot 30 = 4.5 \cdot 10^{10} \text{ KJoul}$$

ג. ב-1.5 טון פחם יש 1.27 טון פחמן שהם $1.27 \cdot 10^9$ שהם $1.06 \cdot 10^8$ מול פחמן. זוהי גם הכמות

במולים של $\text{CO}_2(\text{g})$ שתיפלט, שהיא 4657000000 גרם $\text{CO}_2(\text{g})$ שהם 4.66 מיליון טון.



תיווצר חומצה פחמתית שמתפרקת במים על פי התהליך הבא:

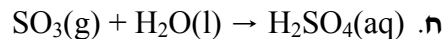
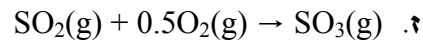


כלומר, חומציות המים תעלה.

ה. ב-1920 גרם פחם יש 32 גרם גפרית.

ב- $1.5 \cdot 10^9$ גרם פחם יש $4.7 \cdot 10^8$ גרם גפרית.

ו. מסת ה- $\text{SO}_2(\text{g})$ שתתקבל: $4.7 \cdot 10^8$ גרם גפרית הם $1.5 \cdot 10^7$ מול שייצרו $9.4 \cdot 10^7$ גרם $\text{SO}_2(\text{g})$.



תיווצר חומצה גפרתית שהיא חומצה חזקה והיא קורוזיבית מאוד (כלומר, גורמת לקורוזיה).

7. א. כמות הקלוריות בשנה היא $650000 \text{kcal} \cdot 365 = 23725000 \text{Kcal}$.

כמות זו מתקבלת מ-65 חביות, כלומר, כל חבית מספקת:

$$23725000 \text{Kcal} / 65 = 3650000 \text{Kcal}$$

בכל חבית יש 159 ליטר נפט, כלומר, כל ליטר מספק:

$$3650000 / 159 = 22956 \text{Kcal}$$

ב. בחבית יש 3650000 קילו קלוריות

$$23725000 \text{Kcal} / 16 \text{ton} = 1482812 \text{Kcal/ton} \quad \text{ג. בטון פחם:}$$

$$1482812 \text{Kcal} / 1000 \text{Kg} = 1482.8 \text{Kcal/Kg} \quad \text{ב-1 ק"ג פחם:}$$

$$\text{ד. 1 ליטר נפט} = 0.48 \text{ ק"ג.}$$

0.48 ק"ג נפט מספקים 22956 קילו קלוריות.

1 ק"ג נפט מספק 47749 קילו קלוריות.

כלומר, היחס בכמות האנרגיה הזמינה ב-1 ק"ג נפט לעומת 1 ק"ג הוא:

$$47749 \text{Kcal} / 1482.8 \text{Kcal} = 32.2$$

כלומר, מ-1 ק"ג נפט מקבלים פי 32.2 קילו קלוריות ממה שמקבלים מ-1 ק"ג פחם.

8. נורת להט 75W תצרוך אנרגיה של 75W/שעה. ב-10000 שעות היא תצרוך 750000 וואט*שעה

שהם 750 קילו וואט*שעה.

החיסכון לשעה במקרה זה הוא:

$$75 \text{W} - 18 \text{W} = 57 \text{W}$$

ב-10000 שעות החיסכון הוא 570000 וואט שהם 570 קילוואט. מחיר 1 קילוואט שעה הוא 0.50

אג'. מכאן שהחיסכון הכספי מגיע ל-285 שקלים.

9. נחשב את השינוי באנטלפיה של האטמוספירה כתוצאה מהשינוי בטמפרטורה:

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t = 5.1 \cdot 10^{21} \cdot 1 \cdot 10 = 5.1 \cdot 10^{22} \text{joul}$$

כעת נבחן מה יהיה שינוי הטמפרטורה באוקיינוסים כתוצאה מתוספת זו של אנרגיה:

$$5.1 \cdot 10^{22} \text{joul} = 1.7 \cdot 10^{24} \cdot 4.2 \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = 0.71 \cdot 10^{-2}$$

כלומר, שינוי של 10° באטמוספירה יגרור שינוי של 0.0070° באוקיינוסים.

10. בלילה בהיר, משום שאין מעטפת של אדי המים (העננים) שמונעת את בריחת האנרגיה הנפלטת משטח פני כדור הארץ.

11.א. אפקט החממה – גזים בולעים קרינה אינפרא-אדומה שחוזרת משטח פני כדור הארץ. בגלל חילוף האנרגיה הקבוע והדינמי בין כדור הארץ, האטמוספירה והחלל, נוצר איזון שבאמצעותו נשמרת הטמפרטורה על פני כדור הארץ.

ב. בשל אפקט החממה הטמפרטורה על פני כדור הארץ מגיעה בממוצע ל- 15°C . ללא אפקט החממה הייתה הטמפרטורה מגיעה ל- 18°C וכדור הארץ היה כדור קרח.
ג. הגברה של אפקט החממה נתפסת כשלילית, משום שככל שיש יותר גזי חממה באטמוספירה, הם לוכדים יותר אנרגיה שנפלטת מפני כדור הארץ וכתוצאה מכך גורמים לעלייה בטמפרטורה המיטבית של כדור הארץ.

12.א.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\Delta G = -19900 + 298 \cdot 96 = 8708\text{J} > 0$$

ΔG גדול מ-0, לכן התהליך אינו ספונטני בתנאים אלה.

ב. כאשר הטמפרטורה עולה, ריכוז ה- $\text{CO}_2(\text{aq})$ במי האוקיינוסים יורד, משום שתהליך ההמסה הוא אקזותרמי. כאשר הטמפרטורה עולה, מכאן ואילך לא מובן לי ויש בעיה גם עם המבנה. כדאי להתחיל כך, והיתר השלימי: כאשר הטמפרטורה עולה, יתרחש תהליך של הורדת האנרגיה, כלומר, ... להשלים יתרחש התהליך בכיוון של הורדת האנרגיה (על פי עיקרון לה שטלייה) כלומר תהליך האנדותרמי כלומר לכיוון $\text{CO}_2(\text{g})$.