



ממד"ע - מרכז לחינוך מדעי

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

## השלמה מ- 3 ל- 5 יחידות לימוד

תשע"ד - 2014

### הוראות לנבחן

משך הבחינה: שעה וחצי

מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים.

פרק ראשון	50 נקודות
פרק שני	50 נקודות
סה"כ	100 נקודות

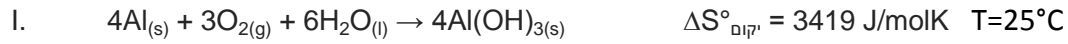
כתבו בדפי הבחינה בלבד. כתבו כל מה שברצונכם לכתוב בטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה) על עמודים נפרדים. כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה.  
**הקפידו על ניסוחים מאוזנים ועל רישום נכון של היחידות.**

ב ח ל צ ה ח ה

## נושא חובה - אנרגטיקה ודינמיקה

ענו על אחת מן השאלות 1 – 2.

1. השאלה עוסקת בסוללות אלומיניום-אוויר המשמשות בעיקר במערכות צבאיות. הסוללות האלה מתבססות על תגובה בין אלומיניום ובין חמצן האוויר (תגובה I):



- א. קבע ללא חישוב מה סימנו של  $\Delta S^\circ$  של המערכת? נמק את קביעתך. (5 נקודות)  
 במגיבים של התגובה יש 3 מול חמצן גזי, בתוצרים אין גזים, ולכן אפשר לקבוע בוודאות שהאנטרופיה של המערכת יורדת עם התגובה, מספר הדרכים המיקרוסקופיות לתאר מוצק קטנות ממספר הדרכים לתאר 3 מול גז. כלומר הסימן של  $\Delta S^\circ$  מערכת שלילי.
- ב. קבע ללא חישוב האם התגובה אקסותרמית או אנדותרמית. נמק. (5 נקודות)  
 אנו מכירים את הנוסחה

$$\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} + \Delta S^\circ_{\text{מערכת}}$$

התגובה ספונטנית, שינוי האנטרופיה ביקום חיובי. מכיוון ששינוי האנטרופיה במערכת שלילי, אז שינוי האנטרופיה בסביבה חייב להיות חיובי.  
 הסימן של  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}}$  הפוך מסימנו של  $\Delta H^\circ_{\text{מערכת}}$ , כלומר סימנו שלילי, והתגובה אקזותרמית.

הטבלה הבאה מציגה נתונים של ערכי אנטרופיה מולרית תקנית של המגיבים ושל התוצרים בתגובה:

החומר	אנטרופיה מולרית תקנית, $S^\circ$ , J/molK
$\text{Al}_{(s)}$	28
$\text{O}_{2(g)}$	205.1
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	70
$\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$	71.1

- ג. חשב את שינוי האנטרופיה במערכת,  $\Delta S^\circ$ . פרט את חישוביך (7 נקודות)
- $$\Delta S^\circ_{\text{מערכת}} = \sum S^\circ_{\text{תוצרים}} - \sum S^\circ_{\text{מגיבים}} = 4 \times 71.1 - [4 \times 28 + 3 \times 205.1 + 6 \times 70]$$
- $$= 284.4 - 1147.3 = -862.9 \text{ J/molK}$$
- ד. חשב את שינוי האנטלפיה במערכת,  $\Delta H^\circ$ . פרט את חישוביך (7 נקודות)
- $$\Delta S^\circ_{\text{יקום}} = \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} + \Delta S^\circ_{\text{מערכת}}$$
- $$-862.9 + \Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = 3419$$

$$\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = 3419 + 862.9 = 4281.9 \text{ J/molK}$$

נשתמש בנוסחה:

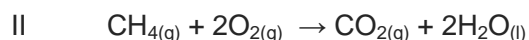
$$\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -\Delta H^\circ / T$$

$$T = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta H^\circ = -T\Delta S^\circ_{\text{סביבה}} = -298 \times 4281.9 = -1,276,000 \text{ J} = -1,276 \text{ KJ}$$

ה. ככל שהתגובה ספונטנית יותר, כך המתח המופק מן הסוללה גבוה יותר. (6 נקודות)  
 בהתבסס על החישובים ועל הנתונים, האם הסוללה תספק מתח גבוה יותר בטמפרטורות גבוהות מטמפרטורת החדר או בטמפרטורות נמוכות יותר. נמק.  
 $\Delta S^\circ_{\text{מערכת}}$  הוא גודל שלילי המוריד את הספונטניות של התגובה ולא תלוי בטמפרטורה.  
 לעומת זאת  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}}$  הוא גודל חיובי, ככול שהוא גדול יותר כך התגובה ספונטנית יותר.  
 ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר הערך של  $\Delta S^\circ_{\text{סביבה}}$  קטן (כי הטמפרטורה מופיעה בנוסחה במכנה) ולכן הספונטניות תרד והסוללה תספק מתח נמוך יותר.

דרך נוספת להפקת חשמל היא בתא דלק המבוסס על התגובה הזאת (תגובה II):



הטבלה הבאה מציגה את אנתלפיות הקשר הבאות:

קשר	אנתלפיית קשר kJ/Mol
C-H	416
O=O	497
C=O	803
O-H	463

נתונה תגובת הרתיחה של מים (תגובה III):



ו. חשב את אנתלפיית התגובה שעליה מבוסס תא הדלק (תגובה II). (10 נקודות)  
 צריך לשבור את הקשרים של המגיבים ליצור את הקשרים של התוצרים, ומכיוון שמים מופיעים בתגובה במצב נוזלי, נתחשב גם באנתלפיית הרתיחה של מים הנתונה בתגובה III. בחישוב נחבר את אנתלפיות הקשר של המגיבים, ונחסר את אנתלפיות הקשר של התוצרים ונחסר גם פעמיים אנתלפיית הרתיחה של מים (כי יש 2 מולים)  

$$\Delta H^\circ = [4(\text{C-H}) + 2(\text{O=O})] - [2(\text{C=O}) + 4(\text{O-H}) + 2\Delta H^\circ_{\text{b}}] =$$

$$4 \times 416 + 2 \times 497 - [2 \times 803 + 4 \times 463 + 2 \times 44] =$$

$$2658 - 3546 = -888 \text{ KJ}$$

תגובה I שימשה לחימום 1000 גרם סגסוגת של מתכת. כאשר בתגובה I הגיב 1 מול של אלומיניום טמפרטורת הסגסוגת עלתה מ-25 מעלות צלסיוס ל-1,595 מעלות.

ז. מהו הקיבול האנרגיה הסגולי, C, של הסגסוגת. פרט חישובים. (10 נקודות)

נשתמש בנתונים של תגובה I, ונשים לב לכך שהיא מנוסחת ל-4 מול אלומיניום ולכן עבור מול אחד של אלומיניום.

חישבנו שהערך של  $\Delta H^\circ$  של תגובה I הוא  $-1,276 \text{ KJ}$  ל-4 מול, כלומר  $-319 \text{ kJ}$  עבור מול אחד. ולכן Q הוא  $319,000 \text{ J}$ .

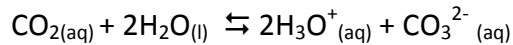
$$Q = Cm\Delta T$$

$$\Delta T = 1595 - 25 = 1570 ; m = 1000 \text{ g} ; Q = 319,000 \text{ KJ}$$

נציב:

$$C = Q/m\Delta T = 319000/1570 \times 1000 = 0.2 \text{ J/gK}$$

2. פחמן דו חמצני, CO<sub>2</sub>, הנוצר בתאים, מפונה לדם באמצעות התגובה הבאה :



תגובה זו מתרחשת בדם, כלומר בסביבה מימית.

א. הצע כיצד ניתן לעקוב אחר קצב התגובה.

הדרך הנוחה ביותר היא לעקוב אחר ה-pH של התמיסה, ובדרך זו לעקוב אחרי שינוי הריכוז של יוני ההידרוניום, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>.

ב. רשום ביטוי לקצב התגובה לפי הצעת המדידה שלך.

$$\text{קצב} = 1/2 \Delta[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]/\Delta t$$

מצורפים נתונים על ריכוז יוני ההידרוניום, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (aq), במערכת זו.

ריכוז יוני H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq) [M]	זמן בדקות
0	0
0.0072	2

ג. חשב את קצב התגובה ההתחלתי. פרט חישובים.

הקצב בשתי הדקות הראשונות :

$$\text{קצב} = 1/2 \Delta[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]/\Delta t = 1/2 [0.0072-0]/[2-0] = 1/2 \times 0.0036 = 1.8 \times 10^{-3} \text{ M/min}$$

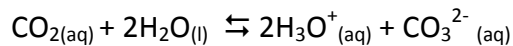
נמצא כי בעת מנוחה, במצב פיזיולוגי תקין, נשמרים הריכוזים של המרכיבים בתגובה קבועים לאורך זמן. מדענים שחקרו את התגובה הניחו שמערכת הדם היא מערכת סגורה.

ד. ההסבר מדוע הריכוזים נשארים קבועים ונמק ברמה המיקרוסקופית.

בהנחה שמערכת הדם היא מערכת סגורה, הריכוזים נשארים קבועים מפני שהמערכת הגיעה לשיווי משקל, כלומר קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה. במצב כזה ריכוזי החומרים הם כאלה שמספר ההתנגשויות הפוריות ליחידת זמן בין המגיבים שווה למספר ההתנגשויות הפוריות בין חלקיקי התוצרים.

ה. רשום את הביטוי לקבוע שיווי המשקל עבור התגובה הנתונה.

מים הם נוזל ולכן לא מופיעים בביטוי :



$$K = [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]_{\text{eq}}^2 [\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})]_{\text{eq}} / [\text{CO}_2(\text{aq})]_{\text{eq}}$$

התגובה המתוארת משמשת גם כמנגנון השומר את ה-pH בדם קבוע למדי. בעת פעילות גופנית מפרישים השרירים H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> לדם.

ו. כיצד תשפיע הפרשת החומצה H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> לדם על ריכוזי המרכיבים השונים במערכת? התייחס לכל מרכיב בנפרד.

הפרשת יוני ההידרוניום היא הפרעה למערכת שיווי המשקל. על פי עקרון לה-שטלייה המערכת תחזור לשיווי משקל תוך העדפת התגובה שתקטין את ההפרעה. מכיוון שיוני ההידרוניום הם תוצר בתגובה, העלאת ריכוזם תגרום להעדפת התגובה ההפוכה. כתוצאה מכך לאחר שריכוז ההידרוניום עלה הוא ירד (אבל לא יגיע לריכוזו ההתחלתי). ריכוז היונים הפחמתיים,  $\text{CO}_3^{2-}$ , יירד. ריכוז הפחמן הדו-חמצני המומס יעלה.

ז. הסבר ברמה המיקרוסקופית כיצד משפיע השינוי על ריכוז  $\text{CO}_2$  ?

קצב התגובה ההפוכה יגדל כי ריכוז ההידרוניום עלה ולכן תעלה תדירות ההתנגשויות הפוריות בין יוני ההידרוניום ליונים הפחמתיים ולכן ייווצרו יותר מולקולות של פחמן דו-חמצני וריכוזו יעלה.

על מנת לבחון את התגובה ערכו אותה בתנאי מעבדה :

בכלי סגור עם מים בנפח של 2 ליטר המיסו 0.2 מול פחמן דו חמצני  $\text{CO}_2$ . לאחר זמן מה נמצא ריכוז קבוע של 0.004M של יונים פחמתיים,  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ .

ח. חשב את קבוע שיווי המשקל עבור התגובה. פרט חישובים. נפח הכלי הוא 2 ליטר ולכן נחלק את מספר המולים ההתחלתיים של פחמן דו-חמצני ב-2 [הנתונים ההתחלתיים צבועים בצהוב]

	$\text{CO}_2(\text{aq})$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
ריכוז התחלתי (M)	0.1	0	0
הפרש ריכוזים (M)	-0.004	+0.008	+0.004
ריכוז בשי"מ (M)	0.096	0.008	0.004

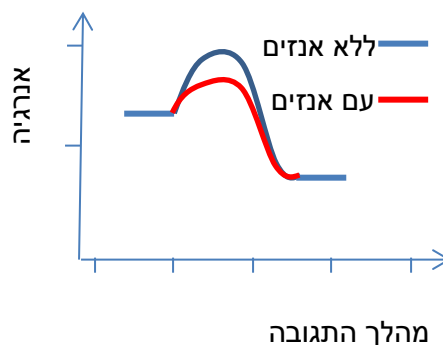
$$K = [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]_{\text{eq}}^2 [\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})]_{\text{eq}} / [\text{CO}_2(\text{aq})]_{\text{eq}}$$

$$K = 0.008^2 \times 0.004 / 0.096 = 2.67 \times 10^{-6}$$

ט. כאשר ביצעו את התגובה בטמפרטורה שונה. נמצא שהמערכת הגיעה לשיווי משקל בזמן קצר יותר וקבוע שיווי המשקל ירד. קבעו האם התגובה אנדותרמית או אקזותרמית? הסבר.

אם המערכת הגיעה לשיווי משקל בזמן קצר יותר, אז העלו את הטמפרטורה. ירידת קבוע שיווי המשקל מראה שכתוצאה מכך הועדפה התגובה ההפוכה. כלומר התגובה ההפוכה אנדותרמית והתגובה הישירה אקזותרמית.

י. במקומות מסוימים בגוף התגובה מתרחשת באמצעות האנזים carbonic anhydrases (זרז ביולוגי). שרטט דיאגרמת אנרגיה של מהלך התגובה ללא נוכחות האנזים. ועל גבי אותה דיאגרמה הוסף את הגרף המתאר את מהלך התגובה בנוכחות האנזים.



## פרק שני: כימיה פיזיקלית – מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה

(50 נקודות)

ענה על אחת מן השאלות 3 או 4

3. זוהר הקוטב הוא תופעת טבע המתרחשת בקרבת הקטבים ומאופיינת בהופעה של אורות בצבעים שונים בשמי הלילה. הזוהר נוצר כתוצאה מפליטת אור ממולקולות מעוררות כמו חמצן,  $O_2$  וחנקן,  $N_2$ .

א. רשום הערכות אלקטרונית עבור אטום חמצן ועבור מולקולת החמצן.

עבור אטום חמצן:  $1s^2, 2s^2, 2p^4$

עבור מולקולת חמצן:  $\sigma_{1s}^2 \sigma_{1s}^{*2} \sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \sigma_{2p}^2 \pi_{2p}^2 \pi_{2p}^{*1} \pi_{2p}^{*1}$

ב. חלק ממולקולות החמצן באטמוספירה טעונות. רשום הערכות אלקטרונית עבור

מולקולה טעונה  $O_2^-$ . ציין מהי רמת ה-HOMO

מולקולת חמצן טעונה תוספת של אלקטרון אחד:

$\sigma_{1s}^2 \sigma_{1s}^{*2} \sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \sigma_{2p}^2 \pi_{2p}^2 \pi_{2p}^{*2} \pi_{2p}^{*1}$

רמת ה-HOMO:  $\pi_{2p}^*$

ג. לאיזה מהמולקולות  $O_2$  או  $O_2^-$  סדר קשר גבוה יותר ומי מהן יציבה יותר?

סדר קשר עבור מולקולת חמצן לא טעונה:  $(10-6)/2=2$

סדר קשר עבור מולקולת חמצן טעונה:  $(10-7)/2=1.5$

הלא טעונה יציבה יותר.

בספקטרום פליטה של מולקולת חמצן קיימים מספר קווים ביניהם קווי הפליטה הבאים:

$4.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ,  $4.7 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ,  $5.4 \times 10^{14} \text{ Hz}$

ד. הסבר מדוע מולקולות החמצן המעוררות פולטות קרינה. במולקולה מעוררת יש אלקטרון הנמצא ברמת אנרגיה גבוהה יותר מרמת האנרגיה בה הוא נמצא במצב היסודי. כאשר האלקטרון יורד לרמה זו, הוא פולט את עודף האנרגיה בצורת קרינה אלקטרומגנטית.

ה. מצא את קו הפליטה בעל האנרגיה הנמוכה ביותר, הסבר.

כל שהתדירות נמוכה יותר, כך האנרגיה נמוכה יותר. קו הפליטה המתאים לכן הוא:

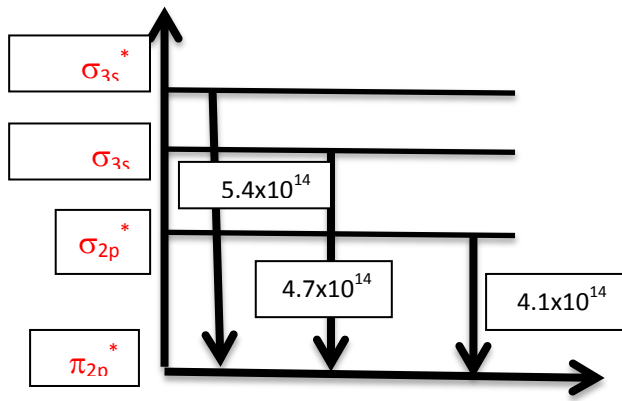
$4.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$

חשב את האנרגיה המתאימה:  $E=h\nu = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Jsec} \times 4.1 \times 10^{14} \text{ 1/sec} = 2.7 \times 10^{-19}$

ו. הנח ששלושת הקווים נובעים ממעברים לאותה רמת אנרגיה של מולקולת החמצן (רמת

ה-HOMO). שרטט דיאגרמת רמות אנרגיה סכמתית נוספת, ועל גבי הדיאגרמה שרטט

את קווי הפליטה המתאימים.

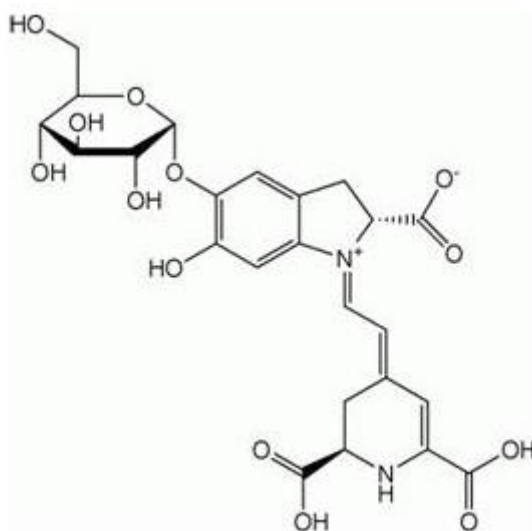


- ז. על גבי אותה דיאגרמה מן הסעיף הקודם, רשום את שמות האורביטלים המולקולרים המתאימים לכל רמה.
- ח. מניחים שמולקולות החמצן אחראיות לצבע הירוק המופיע בזוהר הקוטב. מי מבין הקווים הנתונים אחראי להופעת הצבע הירוק? הסבר.  
**מחשבים את אורכי הגל של קוי הפליטה:**

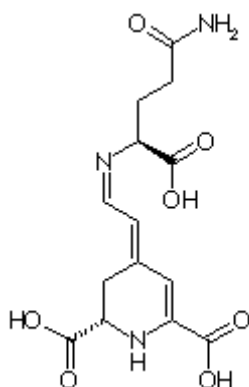
$$\lambda = c/\nu = 3 \times 10^8 / 5.4 \times 10^{14} = 556 \text{ nm} - \text{ירוק}$$



4. השאלה עוסקת בצבע האדום של הסלק שנגרם מנוכחות הצבען בטאנין שנוסחתו מוצגת כאן :



בנוסף לסלק האדום יש גם זנים צהובים. הצבע הצהוב נובע מן הצבען Vulgaxanthin שנוסחתו מצורפת כאן :



א. כיצד אפשר להסביר על פי מבנה המולקולה את התאמתו של הבטאנין לשמש כצבען בתחום האור הנראה?

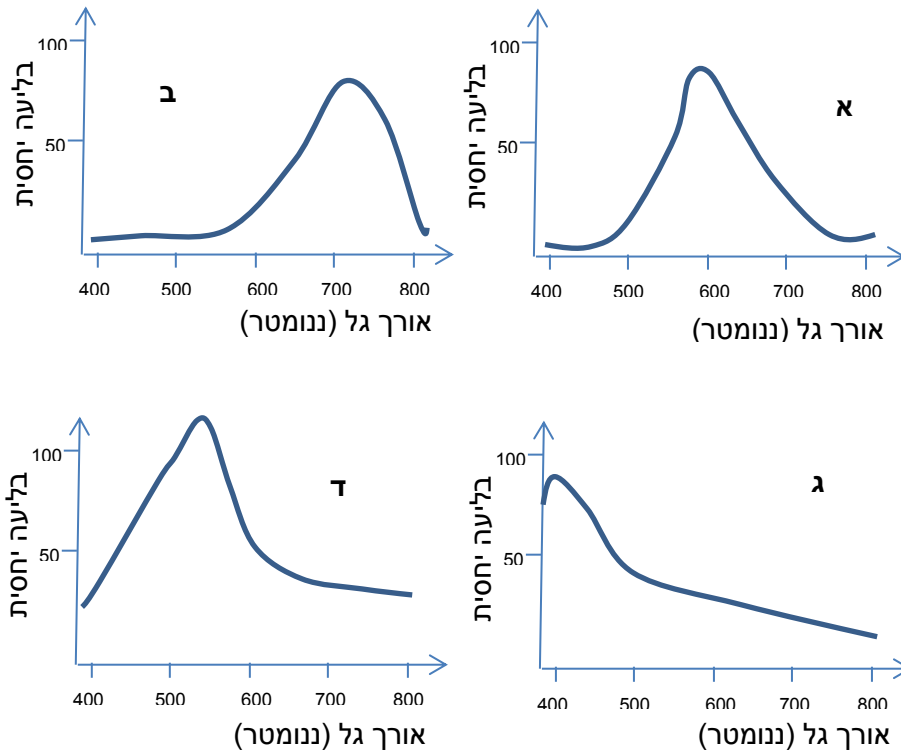
לבטאנין כרומופור הכולל 7 קשרים כפולים מצומדים, במערכת כזאת הפרש האנרגיה בין האורביטל המולקולרי המאוכלס הגבוה ביותר, HOMO, לבין האורביטל המולקולרי הבלתי-מאוכלס הנמוך ביותר, LUMO, הוא קטן. ולכן, דרוש פוטון בעל אנרגיה נמוכה יחסית כדי לגרום מעבר בין האורביטלים האלה, כלומר באורך גל גדול יחסית – או באור הנראה (לעומת UV בקשר כפול רגיל)

ב. הסבר כיצד ההבדל במבנה המולקולות של Vulgaxanthin ושל בטאנין מסביר את העובדה שהבטאנין אדום וה-Vulgaxanthin הוא צהוב.

ב-Vulgaxanthin יש כרומופור בעל 4 קשרים כפולים מצומדים בלבד לעומת 7 בבטאנין. כשהכרומופור קצר יותר, הפרש האנרגיה בין ה-HOMO ל-LUMO גדול יותר, ולכן ייבלע פוטון בעל אנרגיה גדולה יותר ואורך גל קטן יותר.

בסלק אדום, הבליעה היא באור הירוק. בסלק צהוב הבליעה היא באור סגול שהוא אכן בעל אורך גל קטן יותר.

ג. לפניך כמה גרפים המתארים ספקטרום בליעה של צבענים שונים. איזה מהם מתאים לבטאנין האדום? ואיזה מתאים ל – Vulgaxanthin. הסבר את בחירתך.



כאמור סלק אדום בולע באור הירוק, בליעה כזאת מתאימה על פי גלגל הצבעים לגרף ד'. סלק צהוב בולע בתחום הסגול המתאים לגרף ג'.

ד. היעזר בגרף שבחרת עבור הבטאנין וחשב את ההפרש בין אורביטל ה-HOMO לבין אורביטל ה-LUMO של בטאנין.

אורך הגל של הבליעה על פי גרף ד' הוא בערך 530 ננומטר. נחשב את האנרגיה של פוטון זה, השווה להפרש האנרגיה בין האורביטלים:

$$\lambda = 530 \text{ nm} = 5.3 \times 10^{-7} \text{ m}$$

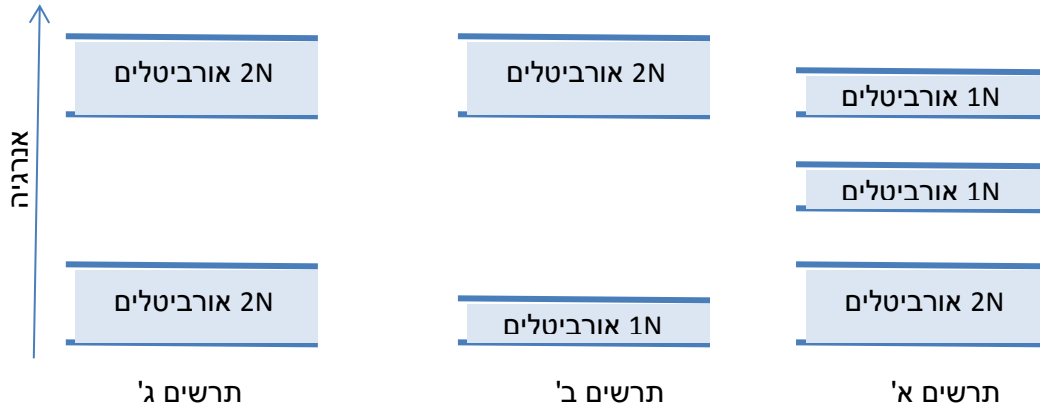
$$\nu = c/\lambda = 3 \times 10^8 / 5.3 \times 10^{-7} = 5.66 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E_{\text{photon}} = h\nu = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.66 \times 10^{14} = 3.75 \times 10^{-19} \text{ J}$$

כדי לשפר את גידול הסלק, נהוג להאיר את החממות בנורות LED אדומות. נורות LED

מבוססות על מוליכים למחצה, כגון סיליקון Si.

ה. לפניך שלושה תרשימי אנרגיה המתארים מבנה פסים של אלקטרוני ערכיות של N אטומים של יסודות. קבע איזה מבין התרשימים האלה יכול להתאים ליסודות סיליקון, Si, יהלום, C, ואלומיניום Al. התאם כל אחד מן התרשימים ליסוד המתאים נמק את הסיווג (שים לב ייתכן שליסוד מסוים יכול להתאים יותר מתרשים אחד):



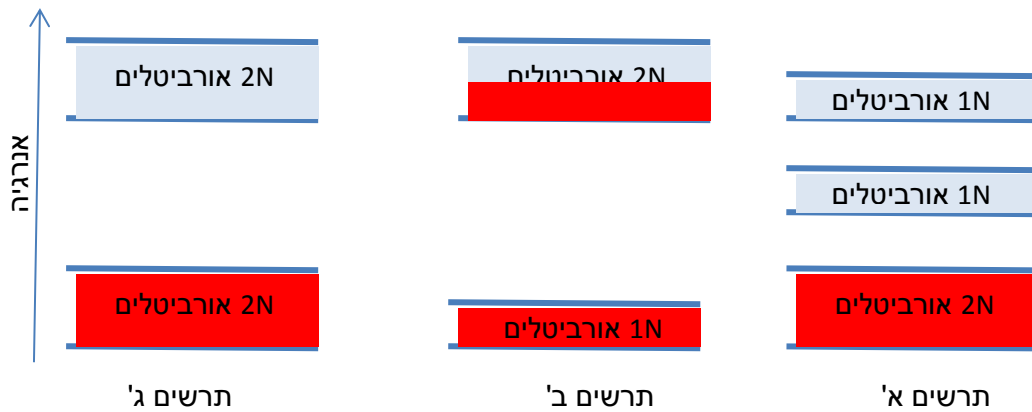
נתחיל בסיליקון, Si. לאטום סיליקון 4 אלקטרוני ערכיות, ולכן ב-N אטומים אנחנו צריכים לאכלס 4N אלקטרוניים בפסים. 4N אלקטרוניים יאכלסו 2N אורביטלים.

משיקולים דומים, ומכיוון שפחמן מצוי גם הוא בטור הרביעי בטבלה המחזורית, גם כאן יש צורך לאכלס 2N אורביטלים.

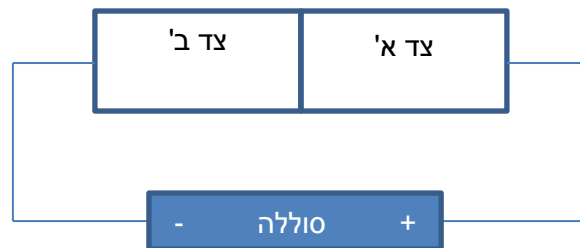
מכיוון שסיליקון הוא מוליך למחצה ויהלום מבודד, הפרש האנרגיה בין פס הערכיות לפס ההולכה בסיליקון אמור להיות קטן מזה של יהלום. אפשר לראות שתרשים א' מתאים לסיליקון ותרשים ג' מתאים לאלומיניום.

נבדוק כעת את האלומיניום: Al היא מתכת מוליכה בטור 3, כלומר יש לאכלס 3 אלקטרוני ערכיות של N אטומים, או 3N אלקטרוניים. אלה יתפסו 1.5N אורביטלים. מכיוון שבמתכת מוליכה אין הפרש בין פס הערכיות לפס ההולכה, אפשר לראות שכל התרשימים מתאימים לאלומיניום. מכיוון שתרשים א' הותאם לסיליקון, ותרשים ג' ליהלום, אז תרשים ב' מתאים לאלומיניום.

ראו את האיור: האורביטלים המאוכלסים צבועים באדום:



לפניך תרשים של מעגל חשמלי סגור ובו נורת LED פועלת המבוססת על סיליקון, שני המלבנים החוליים מתארים צומת P-N :



- ו. כדי לייצר את נורת LED בצעו הסממה, באמצעות אטומי זרחן (P) ואטומי אלומיניום (Al). באיזה צד של הצומת בצעו הסממה בזרחן, ובאיזה צד באלומיניום? הסבר את קביעתך בפירוט.  
הנורה דולקת, כלומר הקוטב השלילי צריך להיות מחובר למוליך מסוג N, והקוטב החיובי אמור להיות מחובר למוליך מסוג P.
- ולכן צד א' הוא מוליך P, כלומר מוסמם באטומים בעלי אלקטרון חסר (חור) או Al מטור 3 לעומת סיליקון מטור 4.
- צד ב' הוא מוליך מסוג N, כלומר מוסמם באטומי בעלי אלקטרון עודף, או זרחן, P.
- ז. התקבלה הצעה להשתמש בחומר המוליך למחצה גליום ארסניד (GaAs) שפער האנרגיה שלו, בין פס הערכיות לפס ההולכה הוא 1.42eV. האם חומר זה מתאים לנורה אדומה? פרט את חישוביך.

$$1.42 \text{ eV} = 2.272 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h\nu = \Delta E = 2.272 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\nu = 2.272 \times 10^{-19} / 6.63 \times 10^{-34} = 3.427 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = c/\nu = 3 \times 10^8 / 3.427 \times 10^{14} = 8.75 \times 10^{-7} \text{ m} = 875 \text{ nm}$$

אורך הגל גדול מטווח האור הנראה, כלומר תהיה זאת נורה IR, ולא תתאים לאור אדום.

ח. במקומות חשוכים נהוג לעיתים לסמן שבילים באמצעות מקלות זוהרים אדומים. הסבירו מה ההבדל הבסיסי בין צבעו האדום של הסלק לבין צבעו האדום של המקלות הזוהרים.

צבעו האדום של הסלק נובע מהחזרת הסלק בולע את האור בצבע הנגדי בגלגל הצבעים, כלומר אור ירוק, ומחזיר את כל שאר הצבעים, שהמוח שלנו מתרגם בסך הכול לאדום. צבעם האדום של המקלות הזוהרים נובע מפליטת אור – כלומר החומרים פולטים באופן ישיר פוטונים אדומים.