



חמד"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"ה - 2015

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 כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה) על עמודים נפרדים. כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה.
הקפידו על ניסוחים מאוזנים ועל רישום נכון של היחידות.

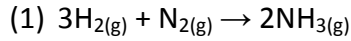
ב ח ל צ ה ח ה

פרק ראשון (50 נקודות)

נושא חובה - אנרגטיקה ודינמיקה

ענה על אחת מן השאלות 1 – 2.

1. אמוניה היא גז המשמש כחומר גלם להפקת דשנים וחומרי נפץ. בתעשייה מכינים אמוניה בתהליך המכונה תהליך האבר-בוש. התהליך מתרחש בטמפרטורה של 450 מעלות צלסיוס:



המהנדסים חששו שבתנאים מסוימים עלולה להתרחש תגובה אחרת, ליצירת הידרזין:



נתונים שני ערכי שינוי אנטרופיה, ΔS° :

- -198.2 J/K
- 9-331.4 J/K

א. התאם כל ערך לשינוי האנטרופיה במערכת של תגובה המתאימה, (1) או (2), ונמק את בחירתך.

בתגובה 1 מתקבלים שני מול גז מארבעה מול גז ולכן שינוי האנטרופיה במערכת שלילי.
בתגובה 2 מתקבל מול נוזל משלושה מול גז ולכן שינוי האנטרופיה במערכת שלילי אף יותר.
ולכן:

$$\Delta S_1^\circ = -198.2 \text{ J/K}; \text{ מערכת} \quad \Delta S_2^\circ = -331.4 \text{ J/K}; \text{ מערכת}$$

ב. הוכח בעזרת חישוב שהתגובה ליצירת הידרזין אינה ספונטנית בטמפרטורה שבה עורכים את התהליך, ולכן אין חשש שהיא תפריע ליצירת אמוניה.

הידרזין מתקבל בתגובה 2: מצאנו

$$\Delta S_2^\circ = -331.4 \text{ J/K}; \text{ מערכת}$$

נתון

$$\Delta H_2^\circ = +50.6 \text{ kJ/mol} = 50,600\text{J}; T=450^\circ\text{C} = 723 \text{ K}$$

$$\Delta S_2^\circ = -\Delta H_2^\circ/T = -50,600\text{J} / 723 \text{ K} = -70 \text{ J/K}; \text{ סביבה}$$

$$\Delta S_2^\circ = \Delta S_2^\circ + \Delta S_2^\circ = -331.4 - 70 = -401.4 \text{ J/K}; \text{ יקום}$$

שינוי האנטרופיה בסביבה שלילי, ועל פי החוק השני של התרמודינמיקה התגובה אינה ספונטית בטמפרטורה זו.

לפניך טבלה עם נתוני אנתלפיות קשר:

H-N	N≡N	H-H	
391	945	436	ΔH (kJ/mol) קשר אנתלפיי

ג. חשב את השינוי באנתלפיה בתגובה מספר 1, ΔH_1^0 .



כל המגיבים והתוצרים גזים.

שינוי האנתלפיה לפירוק הקשרים במגיבים:

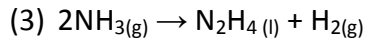
$$3 \times \Delta H_{\text{H-H}} + \Delta H_{\text{N=N}} = 3 \times 436 + 945 = 2,253 \text{ KJ}$$

שינוי האנתלפיה בהרכבת הקשרים בתוצרים:

$$6 \times -\Delta H_{\text{H-N}} = 6 \times -391 = -2,346$$

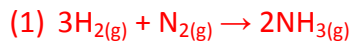
$$\Delta H_1^0 = 2253 - 2346 = -93 \text{ KJ}$$

הידרזין, $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$, משמש כדלק טילים. מכיוון שהתגובה ליצירתו ממימן וחנקן אינה ספונטנית, שקלו ליצרו בתגובה הזאת:

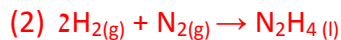


ד. חשב את השינוי באנתלפיה בתגובה מספר 3, ΔH_3^0 .

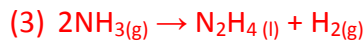
נחשב על פי חוק הס בהסתמך על התשובה לסעיף ג':



$$\Delta H_1^0 = -93 \text{ kJ/mol}$$

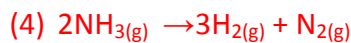


$$\Delta H_2^0 = +50.6 \text{ kJ/mol}$$



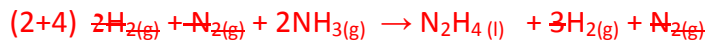
$$\Delta H_3^0 = ?$$

נהפוך את תגובה 1, ונשאיר את תגובה 2 כפי שהיא:



$$\Delta H_4^0 = +93 \text{ kJ/mol}$$

סכום תגובה 2 ותגובה 4 ייתן את תגובה 3:



$$\Delta H_3^0 = \Delta H_2^0 + \Delta H_4^0 = +50.6 + 93 = +143.3 \text{ kJ/mol}$$

ה. האם תגובה 3 ספונטנית בתנאי השאלה? הסבר.

אפשר לראות ללא חישוב שתגובה 3 אינה ספונטנית:

מספר מולי הגז בתגובה יורד מ-2 ל-1, ולכן שינוי האנטרופיה במערכת שלילי

התגובה אנדותרמית כפי שקבענו בסעיף ד' ולכן גם שינוי האנטרופיה בסביבה שלילי.

מכאן שגם סכום שינויי האנטרופיה, כלומר שינוי האנטרופיה ביקום, שלילי, ועל פי החוק

השני של התרמודינמיקה התגובה אינה ספונטנית.

ו. הצע שלוש דרכים שונות לזירוז תגובת האבר-בוש. הסבר מבחינה מיקרוסקופית מדוע השיטות שהצעת מזרזות את התגובה.

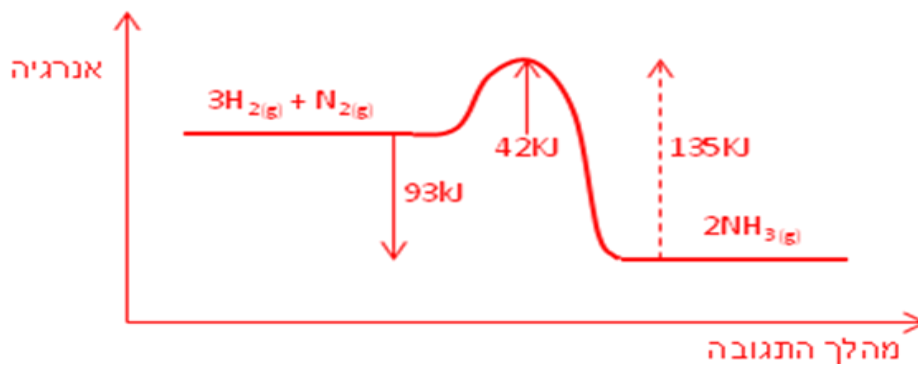
א. העלאת הטמפרטורה: הדבר יגדיל את האנרגיה הקינטית של החלקיקים, ולכן לאחוז

גבוה יותר תהיה אנרגיה פנימית גבוהה מאנרגיית השפעול, ולכן אחוז ההתנגשויות

הפוריות ביחידת זמן יעלה, וקצב התגובה יגבר. כמו כן, תנועה מהירה יותר של

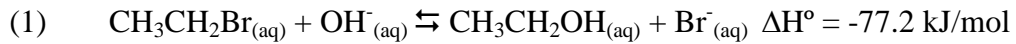
המולקולות תגביר את הסיכוי להתנגשויות.

- ב. שימוש בזרז : זרז יאפשר מסלול תגובה אחר בעל אנרגיית שפעול נמוכה יותר. במצב זה לאחוז גבוה יותר תהיה אנרגיה פנימית גבוהה מאנרגיית השפעול ה"חדשה", ולכן אחוז ההתנגשויות הפוריות ביחידת זמן יעלה.
- ג. הגדלת ריכוז המימן או החנקן (או שניהם) : הגדלת הריכוז תגביר את הסיכוי להתנגשות בין החלקיקים ולכן תגביר גם את הסיכוי להתנגשויות פוריות בין החלקיקים ביחידת זמן. הדבר יגביר את קצב התגובה.
- ז. אנרגיית השפעול של תהליך האבר בוש היא 42 קילוג'אול למול. צייר דיאגרמה המתארת את השינוי באנרגיה של החומרים המשתתפים בתגובה במהלך התגובה.



- ח. תהליך האבר בוש הוא תהליך הפיך. מהי אנרגיית השפעול של התגובה ההפוכה? כפי שאפשר לראות באיור, בחץ המקווקו, אנרגיית השפעול של התגובה ההפוכה היא 135 קילוג'אול למול

2. נתונה התגובה :



לתוך כוס כימית שהכילה מים בנפח 100 מ"ל, הכניסו 0.1 מול של כל אחד מן הרכיבים במערכת, הכוס הכימית הוטבלה בכלי חיצוני שהכיל מים בטמפרטורת החדר. במהלך התגובה ירד ערך ה-pH של התמיסה והתייצב לאחר 10 דקות.

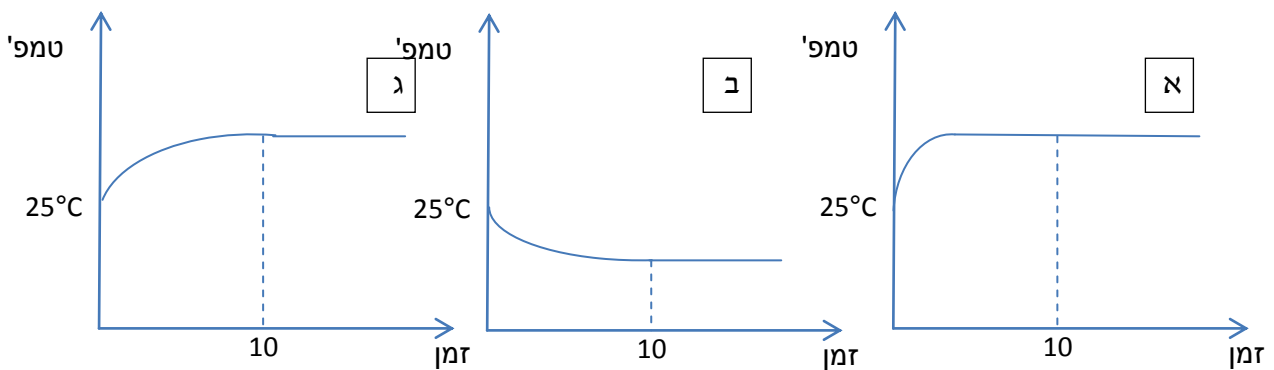
א. איזו תגובה, הישירה או ההפוכה, התרחשה בקצב מהיר יותר ב-10 הדקות הראשונות?

ערך ה-pH של התגובה נקבע על ידי ריכוז היון ההידרוקסיד, $\text{OH}^-_{(\text{aq})}$, המצוי במגיבים. כלומר, בתחילת התגובה ה-pH גבוה מ-7. ב-10 הדקות הראשונות ה-pH יורד, כלומר גם ריכוז ההידרוקסיד יורד. מכאן ניתן להסיק שב-10 הדקות האלה התגובה הישירה מהירה יותר.

ב. איזו תגובה, הישירה או ההפוכה, התרחשה בקצב מהיר יותר לאחר הדקה ה-10.

על פי ניסוח התגובה מדובר בתגובה הפיכה (תץ כפול). נתון שלאחר 10 דקות ה-pH, שהוא תכונה מאקרוסקופית, התייצב - כלומר המערכת הגיעה לשיווי משקל דינמי. במצב זה קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה.

לפניך שלושה גרפים המתארים את שינוי הטמפרטורה של המים בכלי החיצוני :



ג. איזה גרף מתאר באופן נכון את שינוי הטמפרטורה – נמק מדוע בחרת בגרף הזה, ומדוע פסלת את הגרפים האחרים.

על פי הנתונים התגובה אקזותרמית (שינוי האנתלפיה שלילי), כלומר אנרגיה עברה מן המערכת (כל התגובה) אל הסביבה (כלי המים החיצוני), ולכן טמפרטורת המים עלתה - הדבר פוסל את גרף ב'.
ג.

הסקנו בסעיפים הקודמים שהמערכת הגיעה לשיווי משקל לאחר 10 דקות. ולכן, גם הטמפרטורה התייצבה לאחר 10 דקות ולא לפני כן. לכן גרף ג' נכון וגרף א' אינו נכון.

ד. האם המערכת היא מערכת פתוחה, סגורה או מבודדת? הסבר

הניסוי נערך בתמיסה ונמשך כ-10 דקות, בתנאים אלא מתאפשר חילוף אנרגיה עם הסביבה אבל לא חילוף חומר, ולכן המערכת סגורה. (לו הייתה פתוחה היא לא הייתה מגיעה לשיווי משקל).

ה. רשום את הביטוי של קבוע שיווי-המשקל עבור התגובה הנתונה.

$$K_{eq} = [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(aq)}][\text{Br}^-_{(aq)}] / [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}_{(aq)}][\text{OH}^-_{(aq)}]$$

כל הריכוזים בשיווי משקל

ו. לאחר 12 דקות נקבע שריכוז ה-Br בכלי הוא 1.2 מולר. חשב את ערך קבוע שיווי המשקל של התגובה בטמפרטורת החדר.

נתון בשאלה שהכניסו 0.1 מול של כל אחד מן החומרים לתמיסה שנפחה 100 מ"ל - ולכן הריכוז ההתחלתי של כולם הוא 1 מולר.

נבנה טבלה: (הנתונים באדום הם נתונים התחלתיים, הנתונים ברקע צהוב מחושבים)

ריכוז מולרי	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}_{(aq)}$	$\text{OH}^-_{(aq)}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(aq)}$	$\text{Br}^-_{(aq)}$
התחלתי	1	1	1	1
הפרש	-0.2	-0.2	+0.2	+0.2
בשיווי משקל	0.8	0.8	1.2	1.2

$$K_{eq} = [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}_{(aq)}][\text{Br}^-_{(aq)}] / [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}_{(aq)}][\text{OH}^-_{(aq)}] = 1.2 \times 1.2 / 0.8 \times 0.8 = 2.25$$

ז. אם יבצעו את הניסוי בטמפרטורה נמוכה יותר. האם ערך קבוע שיווי המשקל יהיה שווה לזה שחישבת בסעיף ו', נמוך ממנו או גבוה ממנו – נמק.

נתון שהתגובה אקזותרמית. הורדת הטמפרטורה תגביר את הכיוון האקזותרמי, כלומר את הכיוון הישיר, ולכן K יהיה גדול יותר.

ז. החוקרים ביצעו את הניסוי בארבעה כלים נפרדים בטמפ' החדר. לאחר שה-pH של הכלים התייצב, ביצעו החוקרים שינוי במערכת ועקבו אחר המתרחש בכלי באמצעות מעקב אחרי ריכוז OH^- . ציין האם בעקבות השינוי שנערך במערכת ריכוז OH^- עלה או ירד או לא השתנה. נמק.

1. הוסיפו אלכוהול, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

אלכוהול הוא תוצר, על פי עיקרון לה שטלייה, הגדלת ריכוזו תגרום להעדפת התגובה ההפוכה, כלומר להגדלת ריכוז ההידרוקסיד.

בזמן שיווי משקל, קצב התגובה הישירה שווה לקצב התגובה ההפוכה. הגדלת ריכוז האלכוהול תגדיל את הסיכוי להתנגשויות פוריות עם יוני הברום ולכן תגביר את קצב התגובה ההפוכה, בעוד שברגע ההוספה קצב התגובה הישירה לא ישתנה. ולכן תועדף התגובה ההפוכה.

אפשר לנמק גם על פי מנת הריכוזים, Q. העלאת ריכוז האלכוהול יגדיל את המונה, ולכן Q ייעשה גדול מ-K ובמצב זה מועדפת התגובה ההפוכה.

2. הוסיפו יונים של Ag^+ שגרמו לשיקוע של יוני Br^-

שיקוע יוני הברום יקטין את ריכוזם ועל פי עיקרון לה-שטלייה הדבר יגביר את התגובה הישירה ותוריד את ריכוז יוני ההידרוקסיד.

הנימוק דומה לסעיף אחד, בהיפוך. הורדת ריכוז יוני הברום תקטין את הסיכוי להתנגשות עם מולקולות האלכוהול ותקטין את קצב התגובה ההפוכה. התגובה הישירה (שהקצב שלה לא השתנה) תיעשה מהירה ממנה.

או בנימוק על פי Q: המונה ייקטן.

3. העלו את הטמפרטורה.

העלאת הטמפרטורה תגביר את קצב שתי התגובות, הישירה וההפוכה, אך תגביר יותר את התגובה האנדותרמית, שהיא במקרה הזה התגובה ההפוכה, והדבר יגדיל את ריכוז יוני ההידרוקסיד.

4. הוסיפו זרז.

זרז לא ישנה את ריכוז ההידרוקסיד כי הוא יגביר את קצב שתי התגובות במידה זהה.

פרק שני: כימיה פיזיקלית – מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה

(50 נקודות)

ענה על אחת מן השאלות 3 או 4

3. פרס נובל בפיזיקה לשנת 2014 הוענק לשלושה מדענים יפניים על המצאת נורת ה-LED הכחולה. עד להמצאתם היו בשוק נורות לד אדומות וירוקות. הנורה הכחולה אפשרה ליצור באמצעות שלושת הצבעים אור לבן, ובכך נסללה הדרך לטלוויזיות לד הנפוצות כיום.

א. נורות הלד בצבעים השונים מבוססות על מוליכים למחצה (מל"מ) שונים. מל"מ נעשה מוליך כשמעלים את הטמפרטורה שלו. סדר את שלוש נורות הלד המופיעות בטקסט בסדר עולה של הטמפרטורה שבה הוא מתחיל להוליך. הסבר את הסידור.

ככל שפער האנרגיה בין פס הערכיות לפס ההולכה קטן יותר, אנרגיית הפוטון הנפלטת קטנה יותר, ואורך הגל שלו ארוך יותר.

סדר אורכי הגל (מהקצר לארוך) הוא כחול - ירוק - אדום

ולכן, סדר פער האנרגיה גם הוא (מהגדול לקטן): כחול - ירוק - אדום.

ככל שפער האנרגיה קטן יותר המל"מ יוליך בטמפרטורה נמוכה יותר, ולכן המל"מ של הלד האדום מוליך בטמפי הנמוכה ביותר, אחריו המל"מ של הלד הירוק ואחר כך של הלד הכחול שיוליך בטמפי הגבוהה ביותר.

המצאת נורת הלד הכחולה אפשרה גם לייצר פנסי לד לבנים המורכבים משילוב של לד כחול וחומר נוסף.

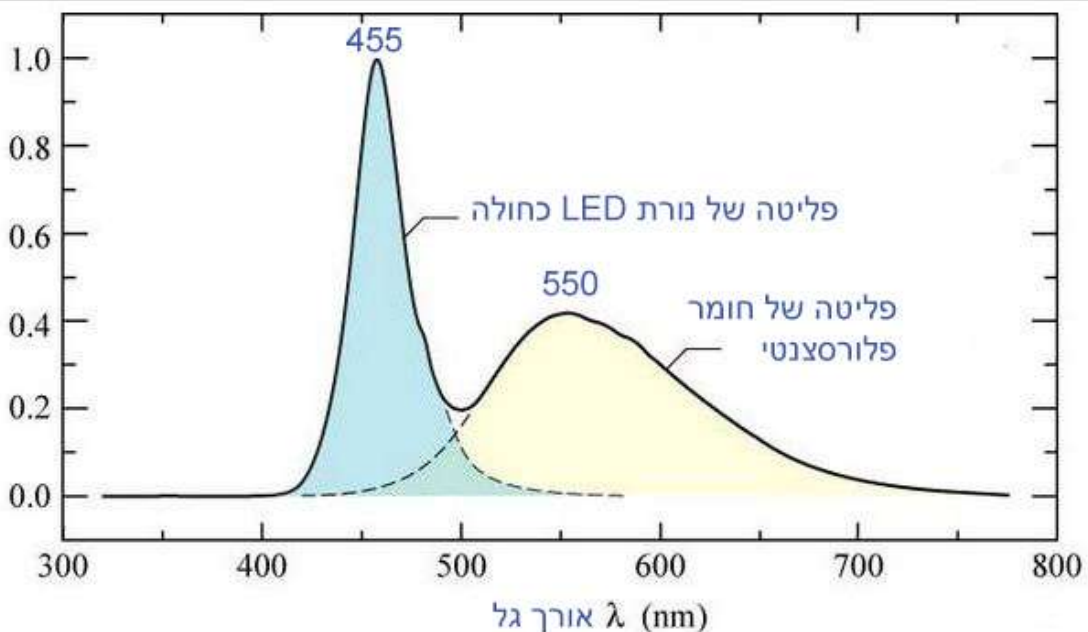
ב. מדוע אי אפשר לייצר נורת לד יחידה שתאיר באור לבן?

אור לבן מכיל לפחות שלושה צבעים (אדום, ירוק וכחול) או צבעים בכל הספקטרום הנראה.

נורת לד פולטת אור בצבע יחיד, המתאים באנרגיית הפוטון שלו לפער האנרגיה בין פס

הערכיות לפס ההולכה של המל"מ המרכיב אותה.

לפניך ספקטרום פליטה של פנס לד לבן:



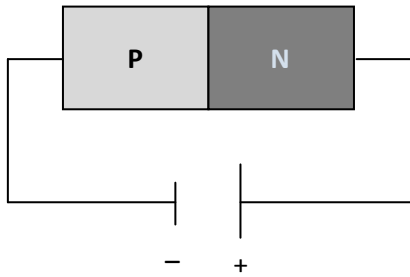
ג. חשב את פער האנרגיה האסור בנורת ה-LED הכחולה פרט חישוביך.

$$E = 1240/455 = 272 \text{ eV}$$

חומרים פלורסצנטיים הם חומרים הבולעים אור באנרגיה גבוהה, ופולטים כתוצאה מכך אור באנרגיה נמוכה יותר.

ד. מהו צבע האור שהחומר הפלורסצנטי בפנס לד לבד בולע ומהו צבע האור שהוא פולט. הסבר. החומר הפלורסצנטי בולע אור כחול, של הלד הכחול שהוא בעל האנרגיה הגבוה יותר בספקטרום. הוא פולט אור באורך גל של 550 ננומטר, אור צהוב.

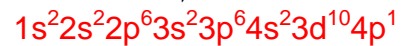
לפניך איור של מעגל חשמלי שבו משובצת נורת LED :



ה. האם נורת ה-LED מחוברת באופן שתפיץ אור? הסבר. לא. הקוטב החיובי של הסוללה ימשוך אלקטרונים מפס ההולכה של מל"מ N הקרוב אליה, והקוטב השלילי ימשוך את ה"חורים" החיובים בפס הערכיות של המל"מ מסוג P הקרוב אליה. הדבר ירחיק את האלקטרונים מן החורים וייצור "איזור ריקון" שיתנגד להולכה ויימנע פליטת אור.

הזיודה הכחולה מבוססת על החומר גליום חנקני, GaN. כדי לשפר את תפקודה חקרו המדענים את המתכת גליום, Ga ואת היסוד חנקן, N.

ו. רשום הערכות אלקטרונית של אטום Ga.



לפניך מבני פסי אנרגיה המתאים לרמה 3, ציין מי מבין התרשימים מתאים לשריג המכיל N אטומי גליום. הסבר.

1N אורביטלים	1N אורביטלים	1N אורביטלים
1.5N אורביטלים	0.5N אורביטלים	0.5N אורביטלים
0.5N אורביטלים	1.5N אורביטלים	1N אורביטלים
A	B	C

גליום נמצא בטור 3 ובשורה 3, ולכן לאטום גליום שלושה אלקטרוני ערכיות ברמה 3, ולכן ב-N אטומים יש 3N אלקטרונים ברמה זו, המאכלסים 1.5N אורביטלים.

כמו כן נתון (וידוע) שגליום היא מתכת, כלומר אין הפרש בין פס הערכיות לפס ההולכה.

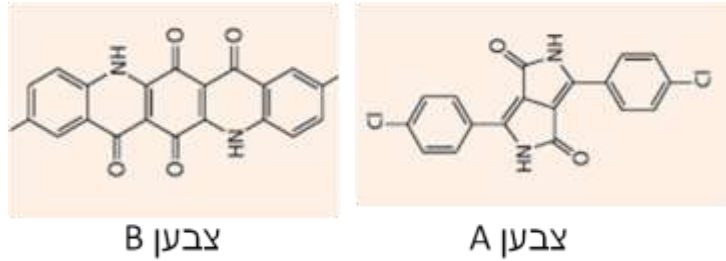
אכלוס 1.5N אורביטלים באיור A עונה על דרישה זו. באיורים B ו-C ייווצר פער אנרגיה אסור.

כשמחממים גליום חנקני הוא מתפרק ומשתחררת תערובת של המולקולות N_2 ו- N_2^+

ז. מי מבין שתי המולקולות יציבה יותר? הסבר באמצעות היערכות האלקטרוניים שלהן.

יש צורך למלא את דיאגרמת הרמות המתאימה ב-10 אלקטרוניים (5 אלקטרוני ערכיות מכל אטום חנקן), ולחשב את סדר הקשר. בחנקן, סדר הקשר הוא 3. ביון החיובי, מוציאים אלקטרון מרמה קושרת, ולכן סדר הקשר יותר ל-2.5 ולכן הוא יציב פחות.

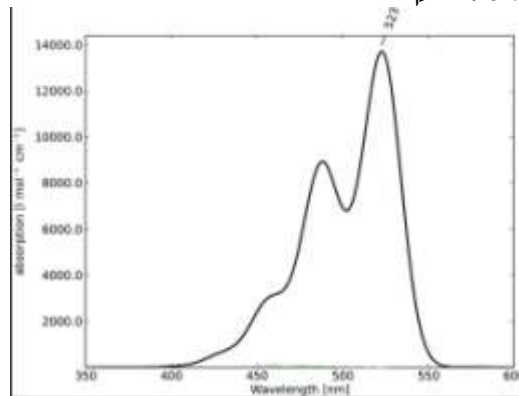
4. דיו שחור, הנוזל שבו אנו כותבים בעט או מדפיסים במדפסת, מכיל תערובת של צבענים (פיגמנטים) בצבעים שונים. לפניך נוסחת מבנה של שני פיגמנטים המשמשים בדיו:



א. הסבר מדוע שני החומרים מתאימים לשמש כצבענים בדיו? בשני החומרים יש מערכת ארוכה של קשרים כפולים מצומדים. במערכת כזו יש חפיפה של אורביטלי p_z שיוצרת סדרה של אורביטלים מולקולריים מסוג פאי (מאוכלסים) ומסוכ פאי כוכב (ריקים). במערכת כזו הפרש האנרגיה בין האורביטל המולקולרי המאוכלס הגבוה ביותר, HOMO, לבין האורביטל המולקולרי הריק הנמוך ביותר באנרגיה, LUMO, קטן. פוטון שייבלע במעבר בין ה-HOMO לבין ה-LUMO יהיה באור הנראה, ולכן המולקולה תהיה צבעונית ותתאים לדיו.

ב. מדוע לדעתך דיו שחור מכיל כמה צבענים שונים? בדרך כלל כל פיגמנט בולע אור בחלק מן הספקטרום הנראה, ולכן יש לו צבע מסוים. דיו שחור בולע בכל הספקטרום, ולכן צריך צירוף של צבענים כדי לכסות את כל טווח האור הנראה.

ג. לפניך ספקטרום בליעה של צבען B:



- i. מהו צבעו של צבען B? הצבען בולע באורך גל של 523 ננומטר, כלומר בתחום הצבע הירוק, ולכן הצבע שיפזר/יחזיר יהיה הצבע הנגדי, אדום.
- ii. חשב את הפרש האנרגיה ביחידות של ג'אול בין אורביטל HOMO לבין אורביטל LUMO במולקולה של צבען B. חישוב א':

$$\lambda = 523 \text{ nm} = 5.23 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\nu = c/\lambda = 3 \times 10^8 / 5.23 \times 10^{-7} = 5.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E_{\text{photon}} = h\nu = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.74 \times 10^{14} = 3.8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

חישוב ב' – נחשב ב-eV בלי לעבור דרך התדירות, ונמיר לג'אולים:

$$E_{\text{photon(eV)}} = 1240/523 = 2.37 \text{ eV}$$

$$E_{\text{photon(J)}} = 2.37 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ד. האם צבעו של צבען A עשוי להיות אדום או צהוב? נמק את קביעתך.
 בכרומופור של צבען B יש 12 קשרים כפולים מצומדים.
 בכרומופור של צבען A יש 10 קשרים כפולים מצומדים – קצר יותר.
 מכיוון שהכרומופור של צבען A קצר יותר, ההפרש בין רמת ה-HOMO לבין רמת ה-LUMO בכרומופור זה גדול יותר, ולכן אנרגיית הפוטון הנבלע תהיה גדולה יותר, כלומר אורך הגל הנבלע יהיה קצר יותר.
 מכיון שהצבען בלע בתחום הירוק, בליעה באורך גל ארוך יותר תהיה למשל בתחום הכחול, ואז החומר יהיה כתום.

צבען A המצוי בדיו מכיל כלור. במסגרת בקרת האיכות במפעל הדיו, מודדים את כמות הכלור באמצעות ספקטרומטר-להבה, מכשיר ששורף דוגמה זעירה של דיו ומודד את ספקטרום הפליטה של אטומי הכלור שעוברים עירור בלהבה.

ה. הסבר מדוע מסוגל המכשיר להבדיל בין אטומי הכלור לבין אטומים של יסודות אחרים. ספקטרום פליטה נובע ממעברי אנרגיה בין רמות האנרגיה של האטום. מכיוון שלכל אטום רמות אנרגיה ייחודיות רק לו, יהיה לו ספקטרום ייחודי (מעין "טביעת אצבע") ולכן הספקטרופוטומטר יוכל לזהות את אטומי הכלור.

ו. כתוב את היערכות האלקטרונים של כלור במצב היסוד.
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

ז. באמצעות קרן לייזר באורך גל מדויק, שהאנרגיה שלו היא 10.3eV , עוררו אלקטרונים של אטומי כלור מרמת היסוד לרמה 4P.
 i. האם תוכל לראות את צבעו של הלייזר? הסבר
 נחשב את אורך הגל של הלייזר:

$$\lambda_{nm} = 1240 / E_{\text{eV}} = 1240 / 10.3 = 120.4 \text{ nm}$$

זהו אורך גל בתחום ה-UV ולכן לא נראה את הלייזר.

ii. צייר את תרשימי רמות האנרגיה של כלור מהרמה המאוכלסת הגבוהה ביותר ועד רמה 4p.

צייר על גבי התרשים את קו הבליעה ואת קווי הפליטה של אטומי הכלור שעברו עירור באמצעות הלייזר.
 רמת היסוד היא 3p:

