# קורס הכנה בפיזיקה לכיתה יב בשפה הערבית



# תוכן העניינים:


פרק 1 - מבנה החומר ..... 1
פרק 2 - השדה החשמלי- ..... 1
פרק 3 - הכוח החשמלי- ..... 1
פרק 4 - חוק גאוס (ברמה כמותית ובהרחבה מעבר לרמה הנדרשת בבגרות)- ..... 1
פרק 5 - תנועה בשדה חשמלי אחיד - ..... 1
פרק 6 - מוליכים- ..... 1
פרק 7 - חוק גאוס -( ) ..... 1
פרק 8 - מתח ופוטנציאל- ..... 1
פרק 9 - זרם מתח והתנגדות- ..... 1
פרק 10 - אנרגיה והספק במעגל חשמלי- ..... 1
פרק 11 - ..... 1
פרק 12 - חומרים דיאלקטריים- ..... 1
פרק 13 - קבלים- ..... 1
פרק 14 - השדה המגנטי- ..... 1
פרק 15 - הכוח המגנטי- ..... 1
פרק 16 - חוק פארדיי והשראות מגנטית- , ..... 1
פרק 17 - בגרות בחשמל-פתרון בשפה הערבית ..... 1
פרק 18 - גלי מים (גלים דו ממדיים) ..... 1
פרק 19 - התאבכות גלי אור- גלים תלת ממדיים ..... 12
פרק 20 - גלי אור- גלים אלקטרו-מגנטיים ..... 32
פרק 21 - האפקט הפוטואלקטרי ..... 32
פרק 22 - האטום- התפתחות הסטורית ומודל האטום של בוהר ..... 52
פרק 23 - גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות ..... 71
פרק 24 - שאלון חקר- ..... 95

# קורס הכנה בפיזיקה לכיתה יב בשפה הערבית

## פרק 18

# גלי מים (גלים דו ממדיים)

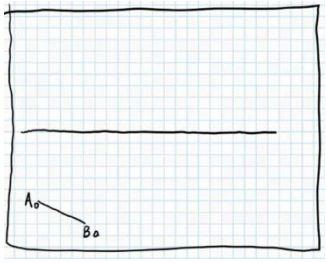
תכונות גלי מים ..... 1
התאבכות גלי מים ..... 4

# תכונות גלי מים:

## שאלות:

**1) תרגיל החזרה גלים דו ממדיים**

נתון אמבט הגלים הבא בו מתקדם גל ישר $A_0B_0$ . באמבט קיים גם מחסום.




א. הוסף לתרשים חץ המתאר את כיוון התקדמות הגל $A_0B_0$ .

ב. הוסף לתרשים את חזית הגל לאחר שהוחזרה מהמחסום.

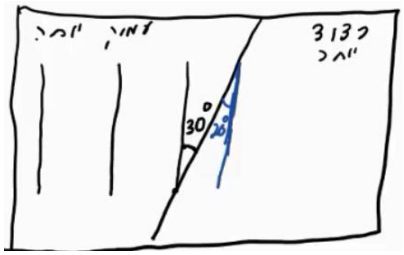
ג. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לאור.

ד. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לגלי מים.

ה. הוסיפו לתרשים את חזית הגל, ברגע שבו אמצע חזית הגל נוגעת במחסום.

**2) תרגול מעבר תווך גלי מים**

נתון אמבט גלים בו נע גל לפי התרשים הבא.
במרכז האמבט מוקם מחסום כך שגובה המים בחלק הימני נמוך יותר.
מקור גלים בקצה השמאלי של האמבט מייצר גל ישר מחזורי בתדירות 4 הרץ.
מהירות הגל במים בחלק העמוק היא 20 ס״מ לשנייה.
הגל מתקדם ועובר לתווך הימני כמתואר בתרשים.




א. מה מהירות גל המים בתווך הרדוד יותר?

ב. מהו אורך הגל $\lambda_1$ בחלק העמוק?

ג. מהו אורך הגל $\lambda_2$ בחלק הרדוד?

ד. הוסיפו לתרשים (איכותית) עוד 2 אורכי גלים לאחר מעבר גל המים לתווך הרדוד.

**3) תרגול אנרגיה ומשרעת של גל**

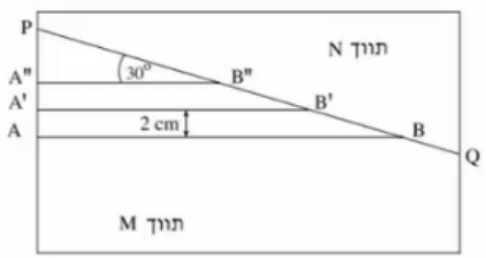
גל מעגלי מתפשט באמבט גלים. משרעתו, כשהיה מעגל ברדיוס 3cm , הייתה 1cm .

א. פי כמה תהיה קטנה האנרגיה שלו כשיתפשט לרדיוס של 15cm?

ב. מה תהיה משרעתו במצב זה?

**4) בגרות 2003**

התרשים שלפניך מתאר מבט מלמעלה על אמבט גלים ובו מים.




קו ההפרדה PQ מפריד בין תווך M לתווך N. עומק המים בתווך M שונה מעומק המים בתווך N. גודל מהירות הגלים הוא $10\frac{m}{sec}$ בתווך M, ו- $15\frac{m}{sec}$ בתווך N.

הקווים: $AB$ , $A'B'$ ו- $A"B"$ מתארים שלושה קווי שיא עוקבים של גל הנפלט ממקור הגלים. המרחק בין שני קווי שיא עוקבים, לדוגמא בין $AB$ ל- $A'B'$, הוא $2cm$ , והזווית בין כל אחד מקווי השיא ובין הקו PQ היא $30°$.

א. מהי התדירות של מקור הגלים?

ב. מהו אורך הגל בתווך N?

ג. חשב את זווית השבירה של הגל בתווך N.

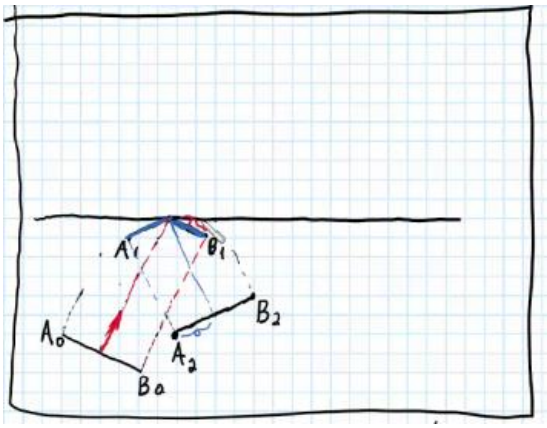
ד. העתק את התרשים למחברתך, והוסף לו את המשך קווי השיא $A'B'$ ו- $A"B"$ בתווך N. סמן בחץ את כיוון ההתקדמות של הגל בתווך N, וסמן את זווית השבירה.

חוזרים על הניסוי במערכת שבה הזווית בין קווי השיא בתוך M ובין קו ההפרדה PQ היא $60°$.

ה. ציין מהו הכיוון של התקדמות הגל במקרה זה, והסבר אותו. (אפשר להיעזר בסרטוט).

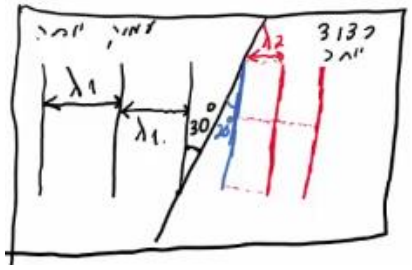
## תשובות סופיות:

**1)**




**2)** א. $v_2 = 13.7\frac{cm}{sec}$. ב. $\lambda_1 = 5cm$. ג. $\lambda_2 = 3.42cm$.

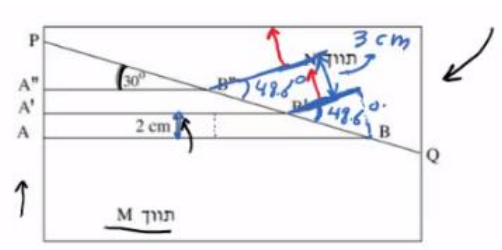
ד.




**3)** א. 5. ב. $0.45cm$.

**4)** א. $f = 500Hz$ ב. $\lambda_2 = 3cm$ ג. $\theta_2 = 48.6°$

ד.



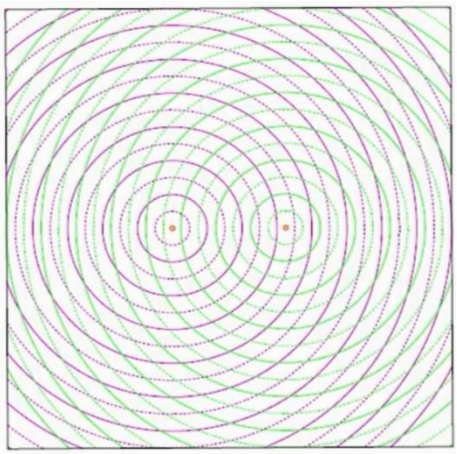

ה. $\theta_2 = X$, אין פתרון לשבירה, הגל רק יוחזר.

# התאבכות גלי מים:

## שאלות:

**1) התאבכות גלי מים – תרגיל 1**

נתון תרשים של אמבט גלים ובו 2 מקורות בעלי אורך גל זהה ושווי מופע.
קווים רציפים מייצגים שיא בגל וקווים מקווקוים – שפל.
זהו את קווי המקסימום והמינימום בתרשים.



**2) התאבכות גלי מים – תרגיל 2**

נתון אמבט גלים בו 2 מקורות שהמרחק ביניהם 7 ס״מ.
המקורות מכים במים במופע זהה בתדירות 20 הרץ.
מהירות התקדמות הגלים באמבט היא 25 ס״מ לשנייה.

א. מה אורך הגל של הגלים שיוצרים המקורות?

ב. קבע, לגבי כל אחת מהנקודות הבאות: A, B, C, D בתרשים, האם היא על קו מקסימום, על קו מינימום או נק׳ ביניים:

i. A - מרחקה מהמקור הראשון - 4 ס״מ ומהמקור השני - 2.8 ס״מ.

ii. B - מרחקה מהמקור הראשון - 5 ס״מ ומהמקור השני - 3.2 ס״מ.

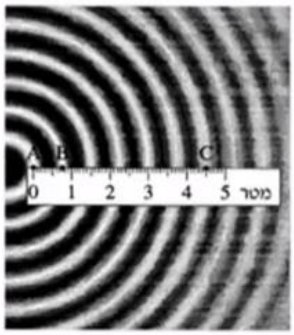
iii. C - מרחקה מהמקור הראשון - 7 ס״מ ומהמקור השני - 3.4 ס״מ.

iv. D - מרחקה מהמקור הראשון - 8 ס״מ ומהמקור השני - 6.5 ס״מ.

ג. כמה קווי מקסימום וכמה קווי מינימום יופיעו באמבט?

**3) בגרות מים 2017**

תלמיד חקר גלים מכניים באמצעות תכנת סימולציה. בתכנה הוא קבע תדירות הגל: $f = 400Hz$, וקיבל את תבנית הגלים הנראית בתרשים 1 שלפניך.




תרשים 1

א. התלמיד חישב את אורך הגל בעזרת תרשים 1 (שים לב ליחידות של הסרגל).

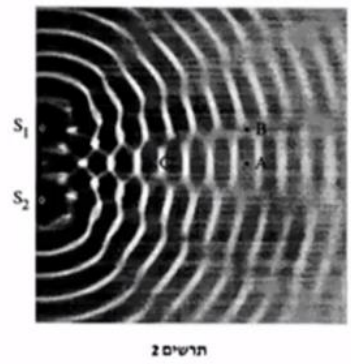
i. התלמיד מדד את אורך הקטע AB ואת אורך הקטע AC.
מבין שתי המדידות, איזו מדידה מאפשרת חישוב מדויק יותר של אורך הגל?
הסבר מדוע.

ii. חשב את אורך הגל.

ב. חשב את מהירות הגל.

ג. לפי התרשים, קבע אם התווך שהגלים מתקדמים בו הוא אחיד. נמק את קביעתך.

בניסוי אחר הגדיר התלמיד בתכנת הסימולציה שני מקורות $S_1$ ו- $S_2$ המייצרים גלים זהים. הוא מודד את עוצמת האות שהתקבלה בשלוש נקודות שונות: A, B, C (ראה תרשים 2).




תרשים 2

ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע את סוג ההתאבכות (בונה/הורסת/אחרת) בכל אחת משלוש הנקודות.

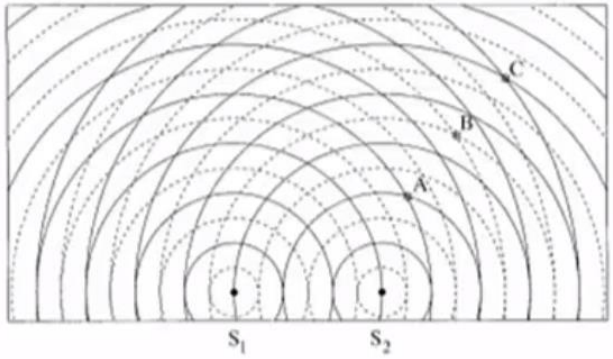
ii. עבור כל אחת מן הנקודות, בטא באמצעות אורך הגל את ההפרש בין מרחק הנקודה מן המקור $S_1$ ובין המרחק שלה מן המקור $S_2$.

ה. דרג את שלוש הנקודות לפי עוצמת האות שנמדדה בהן, מן העוצמה הגבוהה לעוצמה הנמוכה. הסבר את תשובתך.

ו. קבע מה יהיה סוג ההתאבכות בכל אחת משלוש הנקודות, אם הפרש המופע בין המקור $S_1$ ובין המקור $S_2$ יהיה חצי זמן מחזור.

**4) בגרות מים 2016**

בתרשים שלפניך מוצג סרטוט של אמבט גלים, ובו 2 כדורים קטנים $S_1$ ו- $S_2$ הרוטטים בתדירות של: $f=10Hz$. שני הכדורים הם מקורות שווי מופע לגלים. המעגלים המוצגים בקו רציף מציינים את השיאים של הגלים ברגע נתון, והמעגלים המוצגים בקו מקווקו מציינים את השפלים של הגלים באותו רגע. המרחק בין הכדור $S_1$ לכדור $S_2$ הוא $6cm$.



תרשים 1

א. על פי תרשים 1, מצא את אורך הגל $\lambda$ של הגלים הנוצרים באמבט. פרט את חישובייך.

ב. חשב את המהירות v של הגלים באמבט.

ג. בנוגע לכל אחת מהנקודות: A , B , C המסומנות בתרשים 1, ענה על התת-סעיפים i-ii:

i. בטא באמצעות אורך הגל $\lambda$ את הפרשי המרחקים:
$AS_1-AS_2$ , $BS_1-BS_2$ , $CS_1-CS_2$.

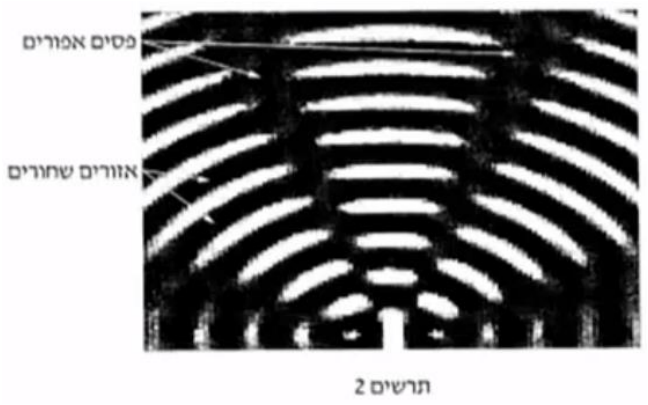
ii. על פי הפרשי המרחקים שמצאת, קבע את סוג ההתאבכות (בונה/הורסת/אחרת) בכל אחת מהנקודות. הסבר את קביעותיך.

ד. נקודה D, שאינה מסומנת בתרשים, נמצאת על קו מקסימום מהסדר השני. נתון: המרחק של הנקודה D מן המקור $S_2$ הוא: $8.2cm$.

חשב את מרחקה של נקודה D מן המקור $S_1$.

שים לב: יש שתי תשובות אפשרויות. מצא את שתיהן.

בתרשים 2 שלפניך מוצג תצלום של אמבט גלים אחר.
נתון: התדירות של כל אחד משני המקורות: $f=10Hz$.



תרשים 2

צילמו את האמבט פעם נוספת 0.55 שניות לאחר הצילום הראשון.
התצלום השני אינו מוצג.

ה. ענה על הסעיפים הבאים:

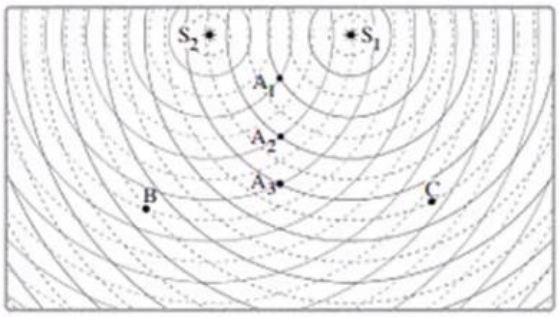
i. קבע אם המיקום של הפסים האפורים בתצלום השני שונה ממקומם בתצלום הראשון. נמק את קביעתך.

ii. קבע אם המיקום של האזורים השחורים בתצלום השני שונה ממקומם בתצלום הראשון. נמק את קביעתך.

**5) בגרות 2014**

באמבט גלים נמצאים שני כדורים המתגודדים בתדירות $25Hz$.
הכדורים משמשים שני מקורות נקודתיים: $S_1$ ו- $S_2$, לגלים מעגליים שווי מופע.
מקומן של נקודות השיא (מקסימום) של כל גל בנפרד ברגע מסוים מסומנות בתרשים שלפניך בקווים רציפים, ומקומן של נקודות השפל (מינימום) של כל גל בנפרד באותו רגע מסומנות בקווים מקווקווים.

הגל שיוצר כל אחד משני הכדורים מתפשט במים במהירות: $50\frac{cm}{sec}$.




א. חשב את אורך הגל, $\lambda$, שיוצר כל אחד משני הכדורים.

ב. בתרשים מסומנות שלוש הנקודות: $A_1$ , B ו-C. קבע אם נוצרת בכל אחת משלוש הנקודות האלה התאבכות בונה או התאבכות הורסת או שהנקודה היא נקודת ביניים. נמק את קביעותיך.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע על פי התרשים, כמה קווי מקסימום יש בתבנית ההתאבכות?

ii. מהו הסדר המרבי של קווי המקסימום?

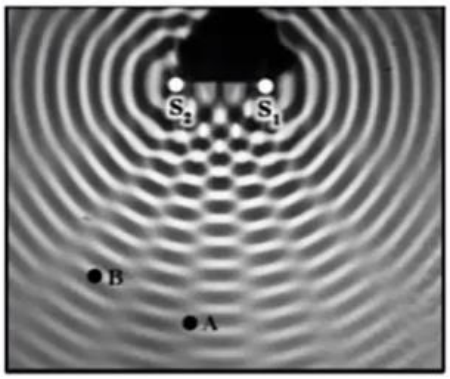
ד. היעזר בתרשים וקבע אם המרחק $A_3$ , $A_2$ גדול מאורך הגל $\lambda$, קטן ממנו או שווה לו. נמק.

ה. הנח שאין איבוד אנרגיה לסביבה, וקבע אם ברגע המתואר בתרשים גובה פני המים בנקודה $A_3$ גדול יותר, קטן יותר או שווה לגובה פני המים בנקודה $A_1$.

**6) בגרות 2006**

תלמיד הציב על שולחן אמבט גלים ובו שני כדורים קטנים, שכל אחד מהם מתנודד בתדירות של 25Hz. הכדורים מהווים שני מקורות נקודתיים שווי-מופע ושווי-משרעת של גלי מים.

לפניך תצלום של תמונת הגלים שהתפשטו על פני המים. $S_1$ ו- $S_2$ מסמנים את שני מקורות הגלים.




א. התלמיד מצא כי מרחק הנקודה A (ראה תצלום) מ- $S_1$ הוא 34 ס"מ, ומרחקה מ- $S_2$ הוא 33 ס"מ.

מהו אורך הגל של כל אחד מהגלים הנוצרים על ידי המקורות?

ב. מהו הפרש המרחקים של הנקודה B (ראה תצלום) משני המקורות $S_1$ ו- $S_2$?

ג. מהי מהירות ההתפשטות של הגלים?

ד. אם שני מקורות הגלים יתנודדו במופע מנוגד ("אנטי פאזה"), האם תבנית ההתאבכות תהיה שונה מזו המוצגת בתצלום? אם לא – הסבר מדוע.

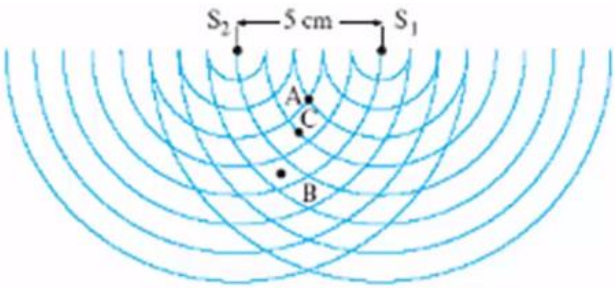
אם כן – מה יהיה השוני בין שתי התבניות?

ה. תאר מערכת ניסוי שבאמצעותה אפשר לראות תבנית התאבכות של אור על מסך.

ו. מדוע אי-אפשר לראות תבנית התאבכות של גלי אור על מסך כאשר הוא מואר בשני פנסים שונים, אף אם הם מונוכרומטיים והמרחק ביניהם קטן מאוד?

**7) בגרות 1999**

שני כדורים מתנודדים, כל אחד בתדירות $25Hz$. הכדורים טובלים באמבט גלים, ומשמשים כשני מקורות נקודתיים $S_1$ ו- $S_2$ לגלים מעגליים. המרחק בין המקורות הוא: $5cm$. התרשים שלפניך מתאר ברגע $t=0$ את חזיתות הגלים המתאימות לנקודות שנמצאות בשיא הגובה מעל פני המים (כפי שהיו במנוחה). ברגע זה כל אחד מהכדורים נמצא בנקודת שיא הגובה מעל פני המים.




א. על פי התרשים, הסבר מדוע אורך הגל שיוצר כל מקור הוא: $1cm$.

ב. לגבי כל אחת מהנקודות שבתת סעיפים i-v שלהלן, ציין אם נוצרת בה התאבכות בונה, התאבכות הורסת או שהיא נקודת ביניים:

i. הנקודה A, המסומנת בתרשים. נמק.

ii. הנקודה B, המסומנת בתרשים. נמק.

iii. הנקודה C, המסומנת בתרשים. נמק.

iv. נקודה E, הנמצאת במרחק $38cm$ מהמקור $S_1$ ובמרחק $39.5cm$ מהמקור $S_2$. נמק.

v. נקודה F, הנמצאת במרחק $24cm$ מהמקור $S_1$ ובמרחק $28.2cm$ מהמקור $S_2$. נמק.

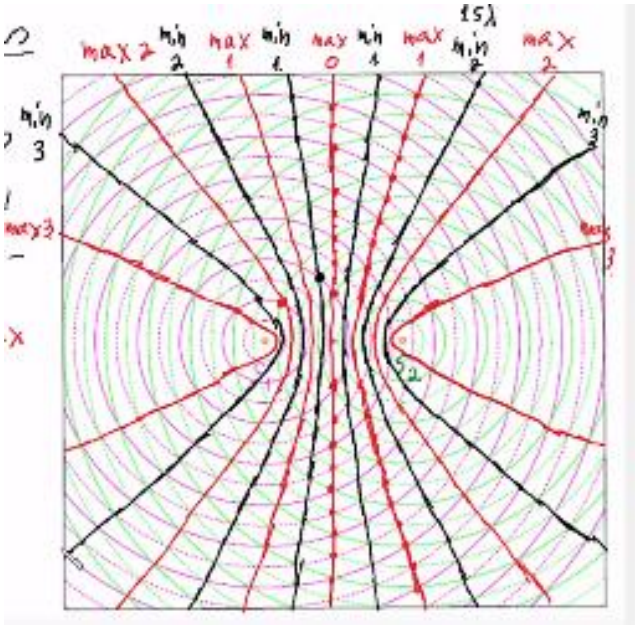
ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את זמן המחזור T של הגל הנוצר על ידי אחד המקורות.

ii. משרעת הגל (אמפליטודה) בנקודה A שיוצר כל מקור היא: $0.4cm$.
סרטט גרף של העתק הנקודה A כפונקציה של הזמן מרגע $t=T$ (זמן של מחזור אחד). רשום מספרים על הצירים. נקודת האפס למדידת העתק הגל תהיה פני המים במצב שבו אין גלים באמבט.

## תשובות סופיות:

**1)**



**2)** א. 1.2 ס"מ.

ב.i. A - נק' מקסימום מסדר ראשון.

ii. B - נק' צומת מסדר שני.

iii. C - נק' מקסימום מסדר שלישי, נק' על קו מקסימום.

iv. D - נק' ביניים.

ג. 11 קווי מקסימום, 12 קווי מינימום.

**3)** א.i. AC. ב. $V = 300\frac{m}{sec}$. ג. תווך אחיד.

ii. $\lambda = 0.75m$.

ד.i. A: בונה, B: הורסת, C: בונה.

ii. A: $S_1A - S_2A = 0 = \Delta r$,

B: $S_2B - S_1B = 0.375m$, C: $S_1C - S_2C = 0 = \Delta r$.

ה. עוצמה גבוהה: $E_C$, עוצמה בינונית: $E_A$, עוצמה נמוכה: $E_B = 0$.

ו. A, C: נקודת צומת (מקסימום ← צומת), B: נקודת מקסימום- התאבכות בונה מסדר ראשון ((צומת ← מקסימום).

**4)** א. $\lambda = 2cm$. ב. $v = 20\frac{cm}{sec}$. ג.i. A: $AS_1 - AS_2 = 2\lambda$,

B: $BS_1 - BS_2 = 2\lambda$, C: $CS_1 - CS_2 = 2\lambda$.

ii. התאבכות בונה בכל הנקודות.

ד. $S_1D = 12.2cm / 4.2cm$. ה.i. לא. ii. כן.

**5)** א. $\lambda = 2cm$. ב. A, B: התאבכות בונה, C: נקודת ביניים.

ג.i. 7. ii. סדר שלישי. ד. גדול. ה. קטן.

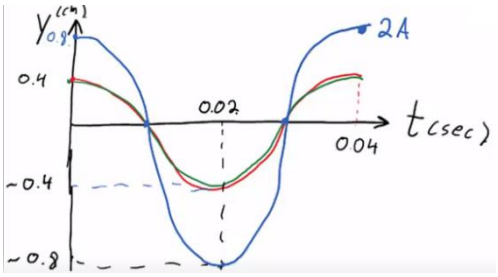
**6)** א. $\lambda = 2cm$ . ב. $\Delta r = 4cm$ . ג. $V = 0.5\frac{m}{sec}$ . ד. כן.

ה. ראה סרטון. ו. ראה סרטון.

**7)** א. $d = 5\lambda = 5cm \rightarrow \lambda = 1cm$ . ב.i. בונה. ii. בונה.

iii. הורסת. iv. הורסת.

v. ביניים. ג.i. $T = 0.04sec$ . ii.



# קורס הכנה בפיזיקה לכיתה יב בשפה הערבית

## פרק 19

# התאבכות גלי אור- גלים תלת ממדיים


התאבכות אור מ2- סדקים ..... 12
התאבכות אור במספר סדקים, וסריג עקיפה ..... 14
התאבכות אור בסדק יחיד + סיכום נושא ..... 16
התאבכות אור- בגרויות ..... 17

# התאבכות אור מ-2 סדקים:

## שאלות:

**1) התאבכות אור תרגיל 1**

מאירים בלייזר בעל אורך גל 500 ננומטר לוחית בעלת 2 סדקים בעלי $d = 0.2mm$ . במרחק $L = 3m$ נמצא מסך.

א. מהו רוחב פס אור כל עוד אנחנו בזויות קטנות?
ב. מהו מרחקו ממרכז התבנית של מרכז פס האור מסדר רביעי?
ג. מהו מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של קו החושך מסדר שביעי?
ד. מה מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של מרכז פס האור מסדר 200?

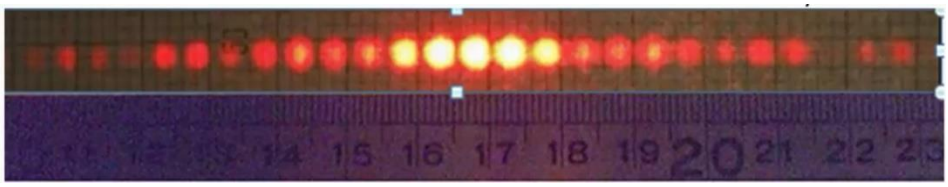
**2) התאבכות אור תרגיל 2**

מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל לא ידוע על לוחית ובה 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.15 מ״מ. מניחים מסך שאורכו $h = 1m$ במרחק 3 מטר מהלוחית כך שמרכז המסך בדיוק מול הסדקים. הזווית למקסימום מסדר חמישי נמדדת ושווה ל-1 מעלה.

א. מה אורך הגל של הלייזר?
ב. מה מרחקו של המינימום מסדר חמישי ממרכז המסך?
ג. כמה קווי חושך התקבלו על המסך?
ד. אם נחליף המסך במסך ארוך מאוד שיונח באותו מיקום, כמה פסי אור ייווצרו על המסך?

**3) התאבכות אור תרגיל 3**

לוקחים לייזר אדום בעל אורך גל לא ידוע ומציבים לפניו לוחית בעלת 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.25 מ״מ. ממקמים מסך במרחק 1.8 מטר מהלוחית.
על המסך מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה, לצד סרגל שהודבק למסך מראש.



א. מצא את אורך הגל של הלייזר בדרך המדויקת ביותר.
ב. איזה מהנקודות בצילום הינה נקודת המקסימום המרכזי?
ג. לאיזה נקודה בצילום מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-3 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
ד. לאיזה נקודה על המסך מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-4.5 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
ה. מהן 3 הדרכים אשר ניתן לצופף בהן את תבנית ההתאבכות?

## תשובות סופיות:

**1)** א. $7.5\,nm$ ב. 3 ס"מ. ג. $\theta = 0.93°$ ד. $x_{200} = 1.73$

**2)** א. 524 נ"מ. ב. 4.72 ס"מ. ג. 94 קווי חושך. ד. 573 פסי מקסימום.

**3)** א. 5 מ"מ. ב. $\lambda = 694$ ג. $3\lambda$ ד. $4.5\lambda$ ה. ראה סרטון.

# התאבכות אור במספר סדקים וסריג עקיפה:

## שאלות:

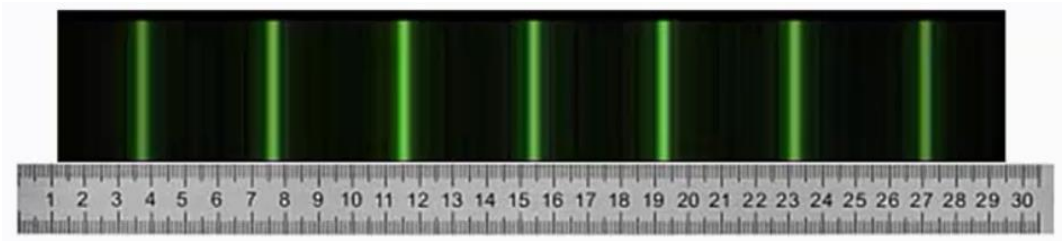
**1) התאבכות אור בסריג – תרגיל 4**

מאירים בלייזר בעל אורך גל לא ידוע על סריג בעל קבוע של 100 חריצים למ״מ.
מציבים מסך במרחק 1 מטר מהסריג כך שמרכזו מול מרכז הסריג ומול קרן הלייזר.
אורך המסך 4 מטר.
מיקומו של קו המקסימום הראשון נמדד ושווה ל-6.5 ס״מ ממרכז המסך.

א. מהו אורך הגל של הלייזר?
ב. מה מיקומו של קו המקסימום מסדר שני?
ג. מה מיקומו של קו המקסימום מסדר חמישי?
ד. כמה קווי מקסימום יתקבלו על המסך?
ה. בהנחה שמחליפים מסך זה במסך ארוך מאוד באותו המיקום, כמה קווי מקסימום יתקבלו עליו?

**2) התאבכות אור בסריג – תרגיל 5**

מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל 550 ננומטר על סריג בעל קבוע לא ידוע, ומציבים מסך במרחק 2.5 מטר מהסריג.
על המסך שעליו מודבק סרגל מתקבלת התמונה הבאה:




א. מצאו את קבוע הסריג בדרך המדויקת ביותר.
ב. באיזה זווית ביחס לאנך האמצעי יתקבל קו המקסימום מסדר 20?
ג. מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נחליף את הלייזר הירוק בלייזר כחול?

**3) התאבכות אור בסריג – תרגיל 6**

אור לבן פוגע בסריג עקיפה בעל קבוע 300 חריצים למ״מ.
מסך ארוך מונח במרחק 2 מטר מהסריג.

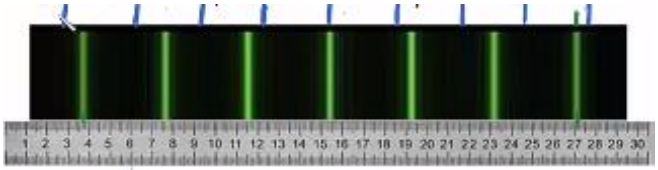
א. מה רוחב הפס הצבעוני מסדר ראשון?
ב. מה הזווית שנפתחת בין המקסימום האדום מסדר שני, והסגול מסדר שני?
ג. הוכח שקיימת חפיפה בצבעים בין הסדר השני לסדר השלישי.

## תשובות סופיות:

**1)** א. 649 נ״מ. ב. 13 ס״מ. ג. 34.3 ס״מ. ד. 27 קווים. ה. 31 קווים.

**2)** א. $282\frac{\text{haritsim}}{\text{cm}}$ ב. $18.1°$

ג.



**3)** א. 0.188 מ׳. ב. $10.9°$ ג. הוכחה.

# התאבכות אור בסדק יחיד + סיכום נושא:

## שאלות:

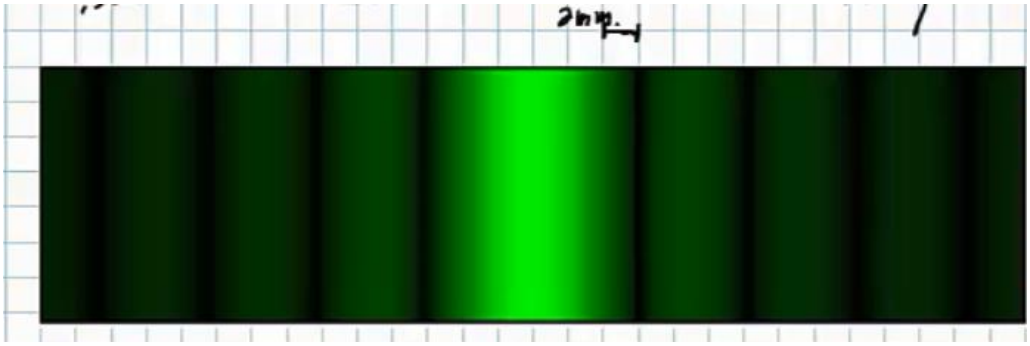
**1) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 1**

תלמיד מאיר בלייזר אדום בעל אורך גל 670 ננומטר סדק שרוחבו 0.3 מ״מ.
תבנית עקיפה מתקבלת על מסך במרחק 1.5 מטר.

א. מה רוחבו של המקסימום המרכזי?
ב. מה רוחבו של מקסימום משני, מסדר נמוך?

**2) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 2**

לוקחים לייזר ירוק בעל אורך גל 530 ננומטר. מציבים אותו לפני סדק בעל רוחב לא ידוע, ועל מסך משבצות במרחק 3 מטר מהסדק מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה:



נתון שרוחב משבצת על הלוח הוא 2 מ״מ.

א. מה רוחב הסדק?
ב. כמה קווי צומת יתקבלו על מסך ארוך מאוד?
ג. מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נגדיל את רוחב הסדק?

## תשובות סופיות:

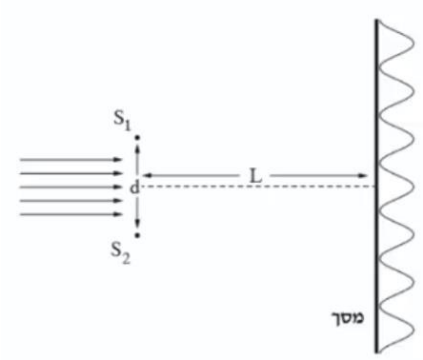
**1)** א. 6.7 מ״מ. ב. 3.35 מ״מ.
**2)** א. 0.265 מ״מ. ב. 1,000 קווי צומת בתבנית.
ג. האור ינוע בקווים ישרים ולא מבצע עקיפה.

# התאבכות אור - בגרויות:

## שאלות:

**1) בגרות 2020**

תלמידים ערכו ניסוי במעבדה באמצעות מערכת המתוארת בתרשים שלפניך. אלומה מקבילה של אור מונוכרומטי פוגעת בלוחית שבה זוג סדקים צרים במרחק d זה מזה. כיוון האור הפוגע ניצב למישור הסדקים. במרחק L מן הסדקים מוצב מסך במקביל ללוחית. על המסך מתקבלת תבנית התאבכות.




באמצעות החלפת לוחיות שינו התלמידים את המרחק d בין הסדקים, ובעקבות זאת השתנה רוחב פס האור, $\Delta x$. בטבלה שלפניך מוצגות תוצאות הניסוי:

| $d(cm)$ | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta x(cm)$ | 0.61 | 0.29 | 0.20 | 0.17 | 0.12 | 0.10 |
| **המשתנה החדש** | | | | | | |

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום ביטוי של רוחב פס האור, $\Delta x$, כפונקציה של המרחק בין הסדקים, d.

ii. החליפו את המשתנה d במשתנה חדש, שהקשר בינו לבין $\Delta x$ הוא קשר לינארי. מהו המשתנה החדש?

ב. העתק את הטבלה למחברתך, והוסף בה את הערכים של המשתנה החדש ואת היחידות המתאימות.

ג. סרטט גרף (דיאגרמת פיזור) של $\Delta x$ כפונקציה של המשתנה החדש, והוסף בו קו מגמה ליניארי.

נתון: $L = 120cm$.

ד. חשב את אורך הגל באמצעות השיפוע של קו המגמה.

ה. ענה על הסעיפים הבאים:

i. העתק למחברתך (בקירוב) את התרשים שבפתיח, וסמן בו את המרחק בין המקסימום המרכזי ($n=0$) לבין המקסימום מסדר 2 ($n=2$).

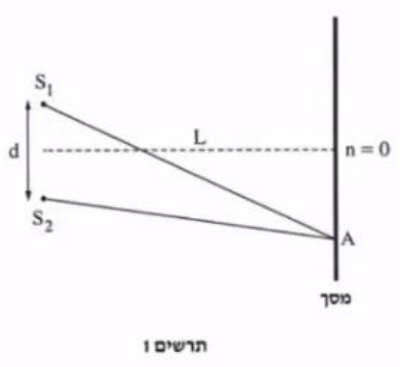
ii. חשב את המרחק הזה עבור: $d=0.015cm$, באמצעות נקודה מקו המגמה.

**2) בגרות 2019**

תלמידים עורכים שלושה ניסויים.

בניסוי הראשון, אלומה מקבילה של אור מונוכרומטי בעל אורך גל: $\lambda_1=600nm$

פוגעת בניצב בלוחית שבה שני חריצים, $S_1$ ו- $S_2$. החריצים צרים מאוד ביחס למרחק d שביניהם. על מסך המקביל ללוחית מתקבלת תבנית התאבכות. המסך נמצא במרחק L מן הלוחית (ראה תרשים 1).




תרשים 1

הנח כי מתקיים קירוב של זוויות קטנות.

א. קבע אם בנקודה שבה הפרש הדרכים משני החריצים שווה 18 חצאי אורך גל מתקיימת התאבכות בונה, התאבכות הורסת או נקודת ביניים. נמק את קביעתך.

נתון שהמרחק בין מרכז המקסימום מסדר $n=0$ לבין מרכז המקסימום מסדר $n=8$ שווה $12cm$.

ב. חשב את הרוחב של פס האור, $\Delta x$.

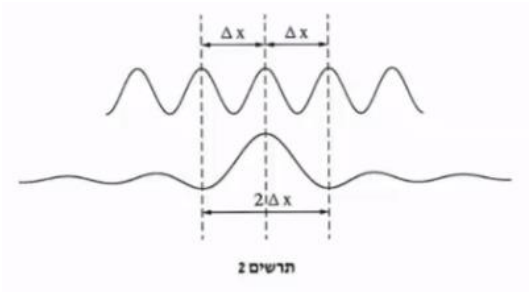
בניסוי השני, מאירים את החריצים $S_1$ ו- $S_2$ באלומה מקבילה של אור מונוכרומטי שאורך הגל שלו הוא $\lambda_2$. במקרה זה רוחב פס האור קטן פי 1.2.

ג. חשב את אורך הגל $\lambda_2$.

הנקודה A נמצאת במרחק של $3.75cm$ ממרכז המקסימום מסדר $n=0$.

ד. עבור כל אחד מאורכי הגל $\lambda_1$ ו- $\lambda_2$, קבע אם בנקודה A תיווצר התאבכות בונה, התאבכות הורסת או נקודת ביניים. נמק את קביעותיך.

בניסוי השלישי, האלומה המקבילה של אור מונוכרומטי, שאורך הגל שלו: $\lambda_1 = 600nm$, פוגעת בניצב בלוחית שבה יש חריץ אחד בלבד, ברוחב w.
על מסך המקביל ללוחית נוצר מקסימום מרכזי, שרוחבו פי 2 מרוחב פס האור שהתקבל משני החריצים $S_1$ ו- $S_2$ בניסוי הראשון (ראה תרשים 2).
המרחק בין הלוחית למסך בניסוי השלישי שווה למרחק L שבין הלוחית למסך בניסוי הראשון.



תרשים 2

ה. הוכח שבניסוי זה, רוחב החריץ w שווה למרחק d בין $S_1$ ו- $S_2$.

נתון כי המרחק בין הלוחית למסך הוא: $L = 1.5m$.
ו. חשב את רוחב החריץ, w.

**3) בגרות 2018**

בתרשים שלפניך מוצג סרטוט של תבנית התאבכות. התבנית נוצרה על ידי אלומה מקבילה של אור מונוכרומטי שעברה דרך זוג חריצים מקבילים בלוחית אטומה. אורך הגל של האלומה הוא $\lambda$.
האלומה פגעה בלוחית בכיוון ניצב למישור החריצים, והתבנית התקבלה על מסך המקביל למישור החריצים. פסי האור שהתקבלו מסומנים באותיות א-ט.
פס האור ה הוא הפס המרכזי.




א. קבע לאיזה פס אור (או לאילו פסי אור) מבין הפסים א-ט הגיע אור מאחד החריצים. במסלול שהוא ארוך בשלושה אורכי גל מן המסלול שעבר האור שהגיע מן החריץ האחר. נמק את תשובתך.
ב. קבע לאיזה מקום (או לאילו מקומות) הגיע אור מאחד החריצים, במסלול שהוא ארוך באורך גל וחצי מן המסלול שעבר האור שהגיע מן החריץ האחר. בתשובתך השתמש באותיות המציינות את פסי האור.

המרחק בין החריצים הוא: $d = 0.2mm$, ומרחק המסך ממישור החריצים הוא: $1.2m$.
בתחתית הסרטוט של תבנית ההתאבכות הוסיפו סרגל. הערכים של הסרגל נתונים ביחידה סנטימטר.

ג. חשב את הרוחב של פס האור בדרך שבה השגיאה היחסית במדידה תהיה קטנה ככל האפשר. פרט את תשובתך.

ד. חשב את אורך הגל של אלומת האור.

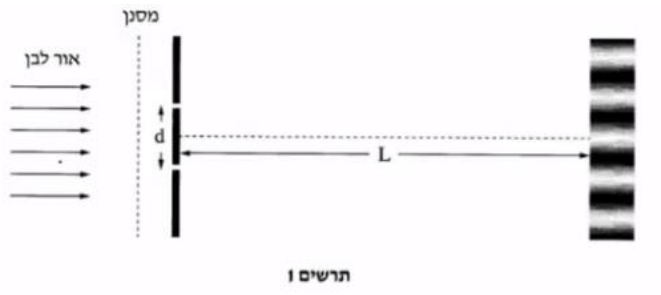
ה. הסבר מדוע עדיף להשתמש בסריג עקיפה במקום בזוג חריצים, כדי למדוד בצורה מדויקת ככל האפשר את אורך הגל.

נתון סריג עקיפה שבו המרחק בין כל זוג חריצים סמוכים שווה למרחק d שבין זוג החריצים המוצג בשאלה.

ו. קבע אם המרחק שבין נקודות המקסימום שבתבנית המתקבלת מזוג החריצים גדול מן המרחק שבין נקודות המקסימום הראשיות שבתבנית המתקבלת מסריג העקיפה, קטן ממנו או שווה לו. נמק את קביעתך.

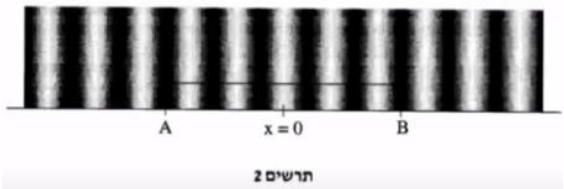
**4) בגרות 2017**

בניסוי דמוי יאנג מקרינים אור לבן דרך מסנן המעביר אור באורך גל מסוים. לאחר שהאור דרך המסנן, הוא עובר דרך שני סדקים זהים שהמרחק ביניהם הוא d. האור מגיע למסך שנמצא במרחק L מן הסדקים ועל המסך מתקבלת תבנית התאבכות (ראה תרשים 1).
חוזרים על הניסוי כמה פעמים, ובכל פעם משתמשים במסנן המעביר אור באורך גל אחר.



תרשים 1

בתבנית ההתאבכות המתקבלת בכל אחד מאורכי הגל מודדים את הרוחב של 5 פסי אור הקרובים למרכז התבנית (קטע AB). $x = 0$ מסמן את מרכז התבנית (ראה תרשים 2).



תרשים 2

בטבלה שלפניך מוצגות תוצאות המדידות:

| $\lambda(\mu m)$ | 0.47 | 0.52 | 0.58 | 0.61 | 0.65 |
|---|---|---|---|---|---|
| $AB(mm)$ | 14 | 15.8 | 17.4 | 18.1 | 19.5 |

א. בלי להסתמך על תוצאות המדידות שבטבלה, בטא את המרחק AB באמצעות הפרמטרים: $\lambda$ , d , L.

ב. לפי תוצאות המדידות סרטט במחברתך גרף של המרחק AB כפונקציה של אורך הגל.

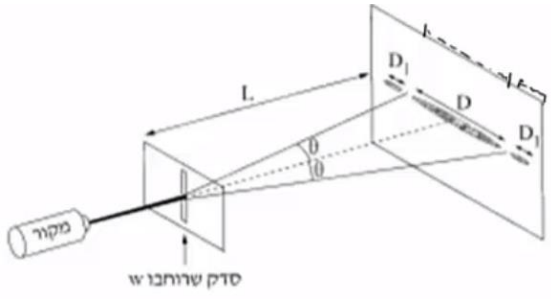
נתון: $L = 3m$.

ג. היעזר בביטוי שפיתחת בסעיף א' ובגרף שסרטטת בסעיף ב', וחשב את המרחק d בין הסדקים.

ד. בערכת הניסוי היה מסנן נוסף שמעביר אור באורך גל לא ידוע.
כאשר משתמשים בו מתקבל: $AB = 15mm$.
מצא את אורך הגל שמסנן זה מעביר. פרט את שיקוליך.

**5) בגרות 2016**

תופעת העקיפה באור ניתנת להסבר רק באמצעות המודל הגלי של האור.
כשאלומה דקה של אור מונוכרומטי עוברת דרך סדק מלבני (ראה תרשים) מתקבלת על מסך תבנית עקיפה אופיינית.
שים לב: התרשים שלפניך אינו מסורטט בקנה מידה מדויק (L>>D).




א. ציין שלושה פרמטרים המשפעים על הרוחב D של כתם האור המרכזי הנראה על המסך.

במעבדה לפיזיקה ערכו תלמידים סדרת ניסויים לחקירת תופעת העקיפה.
נתון: המרחק בין הסדק למסך: $L = 1.7m$.
בטבלה שלפניך מוצגות תוצאות המדידות:

| 0.15 | 0.10 | 0.08 | 0.04 | $w(mm)$ |
|---|---|---|---|---|
| 14 | 24 | 26 | 54 | $D(mm)$ |
| 6.7 | 10 | 12.5 | 25 | $\frac{1}{w}\left(\frac{1}{mm}\right)$ |

ב. סרטט במחברתך גרף של $\frac{1}{w}$ כפונקציה של D.

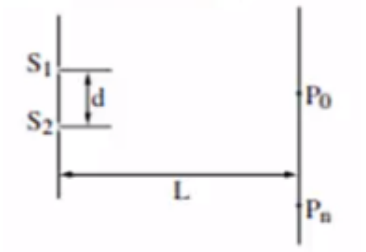
ג. הנח שהזווית $\theta$ קטנה $(\sin\theta \approx \tan\theta)$. היעזר בגרף וחשב את אורך הגל $\lambda$ שנפלט ממקור האור.

ד. חשב את הרוחב של כתם האור מסדר ראשון, $D_1$, כאשר רוחב הסדק: $w = 0.04mm$.

ה. ציין שני שינויים שיחולו בכתם האור המרכזי, אם מקור האור המונוכרומטי יוחלף במקור אור לבן. נמק את תשובתך.

**6) בגרות 2015**

בתרשים שלפניך מתוארת לוחית אטומה שבה שני חריצים צרים ומקבילים זה לזה: $S_1$ ו- $S_2$. המרחק בין החריצים הוא d. אלומה מונוכרומטית ומקבילה של אור צהוב פוגעת בניצב ללוחית. אורך הגל של האור הצהוב מסומן ב- $\lambda_{yellow}$.
על מסך המקביל ללוחית, הנמצא במרחק L ממנה, מתקבלת תבנית התאבכות של האלומה. $P_0$ היא מרכז תבנית ההתאבכות, ו- $P_n$ היא נקודת מקסימום מסדר n של התבנית.




א. בטא את הפרש המרחקים: $S_1P_n - S_2P_n$ באמצעות הפרמטרים שבפתיח (או באמצעות חלק מהם).
שים לב: $S_1P_n > S_2P_n$.

ב. בניסויים של התאבכות אור (אור נראה) משני חריצים מקבילים מוצאים את אורך הגל באמצעות נוסחה מקורבת. הסבר מדוע אין משתמשים בסרגל למדידות של: $S_1P_n$ ו- $S_2P_n$ ובביטוי שמצאת בסעיף א', אף על פי שביטוי זה אינו מקורב.

מחליפים את האלומה של האור הצהוב באלומה של אור כחול, שאורך הגל שלו : $\lambda_{blue}$ , מקיים : $\lambda_{blue} < \lambda_{yellow}$ . גם אלומה זו מונוכרומטית, מקבילה ופוגעת בניצב ללוחית.

ג. האם המרחק בין מרכז תבנית ההתאבכות, $P_0$ , ובין נקודת המקסימום מסדר $n$ באור כחול גדול מן המרחק בין הנקודות האלה באור צהוב, קטן ממנו או שווה לו? נמק.

ד. נתון : $d = 0.06mm$ , $\lambda_{blue} = 440nm$ ו- $L = 0.8m$ .
חשב את הרוחב של פס מקסימום בתבנית ההתאבכות שהתקבלה באור כחול.

ה. מחליפים את אלומת האור הכחול באלומה מקבילה של אור לבן.
כיצד ייראה פס המקסימום מסדר אפס? הסבר מדוע.

**7) בגרות 2014**

המודל הגלי של האור התבסס במאה ה-19, בעקבות תוצאות ניסויים שנמצא בהם כי לאור יש מאפיינים של גלים מכניים. הפיזיקאי הצרפתי אוגוסטין פרנל שחקר את תופעת העקיפה השתמש בניסוייו באור השמש ובתילי מתכת.
פרנל מצא שכאשר אלומה מקבילה של אור פוגעת בתיל שקוטרו קטן, מתקבלת על מסך תבנית עקיפה הדומה לתבנית המתקבלת כאשר אלומת האור עוברת מבעד לסדק. כלומר שאשפר להתייחס אל התיל כאל סדק שרוחבו שווה לקוטר התיל.

א. תלמידים עורכים שלושה ניסויים i-iii, ובכל אחד מהם מוקרנת אלומת אור שאורך הגל שלה הוא $\lambda$ על תילים בעלי קטרים שונים. לאחר פגיעת האור בתילים הוא ממשיך להתקדם ופוגע במסך.
לפניך קוטרי התילים בשלושת הניסויים :

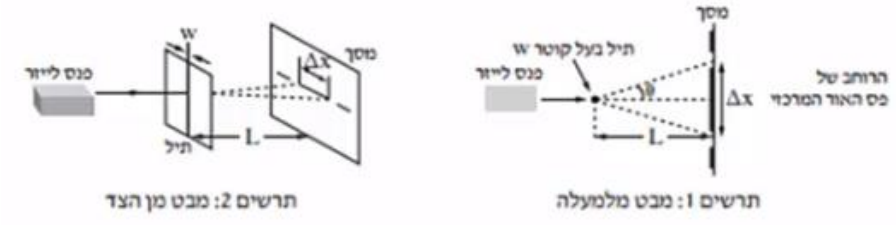
i. $W = 10\lambda$ .

ii. $W = 100\lambda$ .

iii. $W = 1,000\lambda$ .

קבע באיזה משלושת הניסויים רוחב פס האור המרכזי שמתקבל על המסך הוא הגדול ביותר. נמק את קביעתך.

התלמידים משחזרים את ניסוי פרנל באמצעות המערכת שמוצגת בתרשימים 1, 2 שלפניך :




תרשים 1: מבט מלמעלה

תרשים 2: מבט מן הצד

הזווית $\theta$ מגדירה את הרוחב של פס האור המרכזי (ראה תרשים 1).

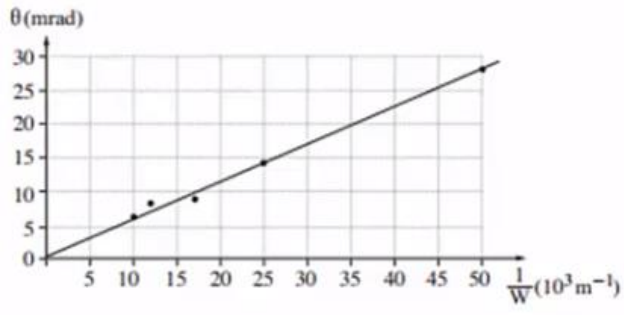
$\lambda$ - אורך הגל של מקור האור (הלייזר).
L - מרחק התיל מן המסך.
W - קוטר התיל.
$\Delta x$ - הרוחב של פס האור המרכזי.
נתון כי בתנאי הניסוי $\sin\theta \approx \tan\theta$.

ב. הוכח שבמערכת הניסוי מתקיים הקשר: $\Delta x = 2\frac{\lambda L}{W}$.

התלמידים משתמשים בתילים בעלי קטרים שונים, ומודדים עבור כל תיל את הזווית $\theta$ שעבורה מתקבלת על המסך נקודת הצומת הראשונה. את תוצאות המדידות הם מציגים בגרף של הזווית $\theta$ (במילי-רדיאן, mrad) כפונקציה של $\frac{1}{W}$.

קוטר התיל W נמדד במילימטרים ($10^{-3}$m).

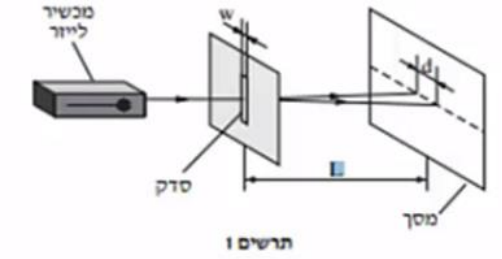
שים לב: בזוויות קטנות הנמדדות ברדיאנים $\sin\theta \approx \theta$.



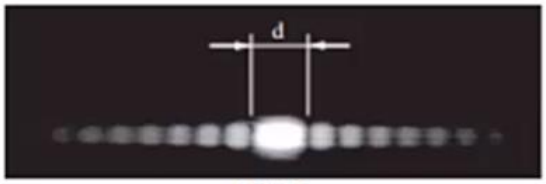

ג. הסבר מדוע העקומה היא קו ישר.
ד. חשב את אורך הגל של האור הנפלט מן הלייזר, ואת תדירותו.
ה. בסוף הניסוי אמר אחד התלמידים: "פרנל השתמש בניסוי שלו באור השמש, ולכן על המסך שלו התקבלה תבנית שאינה זהה לתבנית שאנחנו קיבלנו". האם צדק התלמיד? נמק את תשובתך.

**8) בגרות 2013**

לצורך חקירה של קרינת לייזר (מקור אור קוהרנטי) משתמשים במערכת המוצגת בתרשים 1, שבה קרינת הלייזר פוגעת בניצב ללוחית עם סדק יחיד. על המסך מתקבלת התמונה שבתרשים 2.



תרשים 1



תרשים 1

א. כאשר מעבירים אור באורך גל נתון דרך סדק, לא תמיד אפשר להבחין בתופעת העקיפה (גם אם המסך מספיק רחב).
איזה תנאי צריך להתקיים כדי שיהיה אפשר להבחין בתופעת העקיפה?

ערכו ניסוי ששינו בו את המרחק בין הסדק למסך, L, ומדדו את הרוחב של כתם האור המרכזי שהתקבל, d. ראה תרשים 1.
תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שלפניך:

| 2.00 | 1.70 | 1.50 | 1.00 | 0.50 | $L(m)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 24.6 | 21 | 19 | 13 | 6.5 | $d(mm)$ |

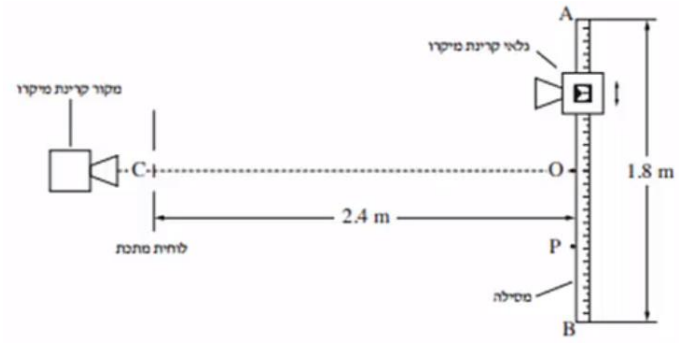
ב. סרטט גרף המתאר את הרוחב של הכתם המרכזי, d, כפונקציה של המרחק בין הסדק למסך, L.

ג. בעזרת הגרף שסרטטת מצא את אורך הגל כאשר רוחב הסדק הוא: $w = 100\mu m$ $\left(100\times10^{-6}\,m\right)$. פרט את חישוביך.

ד. היעזר בגרף וחשב את הזווית בין האנך המרכזי לבין קו הצומת השני (מינימום מסדר שני). שמתקבל כאשר הרוחב של כתם האור המרכזי הוא: $d = 20mm$. פרט את חישוביך.

**9) בגרות 2012**

אלומה צרה של קרינת מיקרו עוברת דרך לוחית מתכת ובה שני סדקים זהים.
המרחק בין מרכזי הסדקים הוא: $4cm$. גלאי של קרינת מיקרו מוזז לאורך מסילה ישרה AB שאורכה: $1.8m$ ונקודת האמצע שלה O. המסילה מקבילה ללוחית ומרחקה ממנה: $2.4m$ (ראה תרשים).



OC הוא אנך אמצעי לישר המחבר בין הסדקים. כאשר הגלאי מוזז מנקודה O לעבר הקצה B, הנקודה P היא הנקודה השנייה שבה נקלטת בגלאי עוצמת קרינה מינימלית. המרחק OP הוא: $45cm$.

א. הוכח שהתדירות של מקור קרינת המיקרו היא בקירוב: $6\cdot10^{10}Hz$.

ב. חשב בכמה נקודות בין A ל-B יקלוט הגלאי עוצמת קרינה מקסימלית.

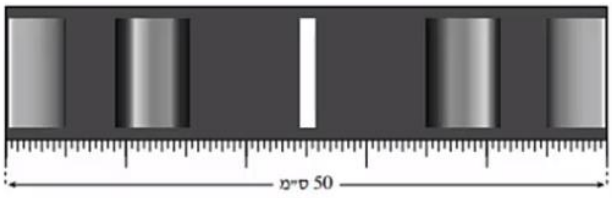
ג. מה צריך להיות המרחק המינימלי בין המסילה ללוחית (OC), כדי שהגלאי יקלוט עוצמת קרינה מקסימלית (התאבכות בונה) בין A ל-B רק בנקודה O? הסבר.

נתון כי רוחב הסדקים הוא: $2cm$ והמרחק בין הלוחית למסילה: $2.4m$.
מכסים את הסדק התחתון (הסדק שנמצא מול הקטע OB שבמסילה).
מזיזים את הגלאי לאורך המסילה מהנקודה O אל הנקודה A.

ד. חשב באיזה מרחק מהנקודה O יקלוט הגלאי לראשונה עוצמת קרינה מינימלית.

**10) בגרות 2011**

כדי למצא את תחום התדירויות של האור הנראה הנפלט מנורת להט, משתמשים בסריג עקיפה בעל 80 חריצים למ"מ. מקרינים אלומה מקבילה של האור על סריג העקיפה במאונך לו. במרחק: $L=3m$ מהסריג, ובמקביל לו, נמצא מסך לבן שרוחבו 50 ס"מ.
באמצע המסך מתקבל פס אור מרכזי לבן. בכל אחד מצדי פס האור המרכזי רואים שני אזורי ספקטרום רציף, כמתואר בתרשים שלפניך (צילום בשחור-לבן).




א. קצה אחד של הספקטרום הרציף מהסדר הראשון הוא אדום, וקצהו השני הוא סגול. ידוע שתדירות האור האדום קטנה מתדירות האור הסגול.
האם הפס האדום הוא בקצה הספקטרום הרחוק מאמצע המסך או הקרוב אליו? הסבר.

ב. היעזר בתרשים וקבע את הגבולות של תחום התדירויות של האור הנראה הנפלט מהנורה.

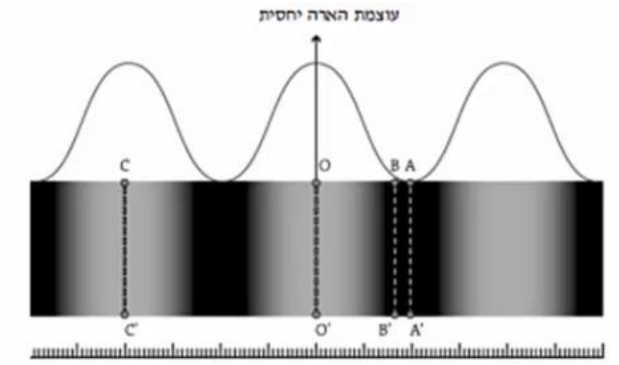
ג. הקצה הימני והקצה השמאלי של המסך נראים ירוקים.
חשב את התדירות של אור ירוק זה.

ד. מחליפים את הסריג בסריג אחר, בלי לשנות את מרחק הסריג מהמסך. כעת, בכל אחד מצדי פס האור המרכזי הלבן מתקבל על המסך אזור ספקטרום רציף אחד בלבד.
האם קבוע הסריג החדש גדול מקבוע הסריג הקודם, קטן ממנו או שווה לו? נמק.

ה. אפשר לקבל הפרדה לצבעים של אור הנורה גם על ידי העברת האור דרך מנסרת זכוכית משולשת. הסבר מדוע המעבר של האור דרך המנסרה גורם להפרדתו לצבעים.

**11) בגרות 2009**

מבצעים ניסוי שבו אלומה מקבילה של אור מונוכרומטי פוגעת בניצב ללוחית שבה שני חריצים מלבניים מקבילים. המרחק בין שני החריצים הוא: $d = 0.02mm$. החריצים צרים מאוד ביחס למרחק ביניהם. תבנית ההתאבכות של האור שעובר דרך החריצים מתקבלת על מסך המקביל ללוחית, ונמצא במרחק: $L = 1.5m$ ממנה. בתרשים שלפניך מתואר חלק מתבנית ההתאבכות שמתקבלת על המסך – פס אור מסדר אפס ושני פסי אור מסדר ראשון. (אזורי האור מסומנים בתרשים בלבן, אף על פי שאין מדובר באור לבן אלא באור מונוכרומטי). מעל התבנית מוצג גרף המתאר את עוצמת ההארה היחסית לאורך תבנית ההתאבכות שהתקבלה על המסך. מתחת לתבנית ההתאבכות מוצג סרגל שבו המרחק בין כל שתי שנתות סמוכות הוא 1 מ״מ.




א. מצא את רוחב פס האור מסדר אפס.

ב. חשב את אורך הגל של האור.

ג. עבור כל אחד מהקווים בתת-הסעיפים i-iv, ציין אם בנקודות שעל הקו מתרחשת התאבכות בונה או התאבכות הורסת, או אם הנקודות שעל הקו הן נקודות ביניים. הסבר את תשובותיך באמצעות המרחקים של הנקודות על הקו משני החריצים.

i. הקו $OO'$.

ii. הקו $CC'$.

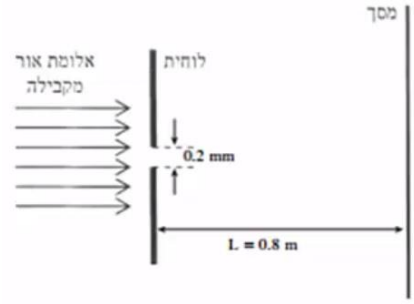
iii. הקו $AA'$.

iv. הקו $BB'$.

ד. חוזרים על ניסוי ההתאבכות עם אור בעל אורך גל קצר יותר. ציין הבדל אחד (מלבד הצבע) בין תבנית ההתאבכות שתתקבל ובין התבנית המוצגת בתרשים.

**12) בגרות 2008 שאלה 3**

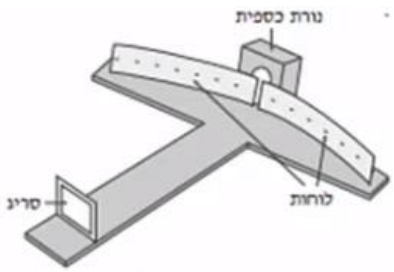
אלומה מונוכרומטית ומקבילה של אור שאורך הגל שלו : $\lambda = 500nm$ $(5000A)$
מוקרנת לעבר לוחית שבה חריץ מלבני שרוחבו : $w = 0.2mm$ . האלומה עוברת דרך החריץ ופוגעת במסך המקביל למישור החריץ ונמצא במרחק : $L = 0.8m$ ממנו (ראה תרשים).




א. חשב את הרוחב (על המסך) של פס המקסימום המרכזי.
ב. חשב את הרוחב (על המסך) של פס מקסימום משני.
ג. מה ההבדל בין תבנית עקיבה זו ובין תבנית העקיבה שהייתה מתקבלת, אילו היו מחליפים את אלומת האור באלומה מקבילה של קרינה שאורך הגל שלה 0.2mm (0.2 מילימטר)? הסבר.
ד. הסבר מדוע גלי רדיו – בניגוד לגלי אור – עוקפים בניינים.

**13) בגרות 2008 שאלה 2**

בתרשים שלפניך מוצג ספקטרומטר סריג, המורכב משני לוחות קשתיים שביניהם רווח צר, וסריג עקיפה שחריציו אנכיים והקבוע שלו 5000 חריצים לס״מ. כל חלקי הספקטרומטר צבועים בשחור.
תלמיד מפעיל נורת כספית ורואה (ישירות, ולא דרך הספקטרומטר) שצבע הנורה סגול. התלמיד מציב את נורת הכספית מאחורי הרווח שבין שני הלוחות הקשתיים (ראה תרשים), ומתבונן דרך הסריג בתבנית העקיפה שהסריג יוצר.
בסדר הראשון הוא מבחין בארבעה קווים ספקטרליים.
זוויות הסטייה של קווים אלה מהקו המחבר את אמצע הסריג עם אמצע הרווח שבין הלוחות הן : $17.9°$ , $16.9°$ , $13.2°$ , $12.3°$.




א. חשב את אורכי הגל של ארבעת הקווים הספקטרליים.
ב. מהו צבע האור בסדר אפס (פס המקסימום המרכזי) שהתלמיד רואה דרך הסריג? נמק.

ג. התלמיד מחליף את נורת הכספית בנורת להט (הפולטת אור לבן) ומתבונן דרך הסריג בספקטרום שמתקבל.

i. איזה שינוי יחול בסדר אפס לעומת סדר האפס שהתקבל בניסוי עם נורת הכספית?

ii. האם אופי הספקטרום של הסדר הראשון בנורת להט שונה מאופי הספקטרום של הסדר הראשון בנורת כספית? אם כן – תאר את השוני. אם לא – הסבר מדוע.

ד. ציין שימוש אחד בקרינה על-סגולה בחיי היום-יום.

**14) בגרות 2007**

גלי מיקרו נכללים בספקטרום הגלים האלקטרומגנטיים, והתדירות שלהם היא בין: $1\cdot10^9\,Hz$ ל- $300\cdot10^9\,Hz$.

א. מהו אורך הגל המינימלי של גלי מיקרו בריק, ומהו אורך הגל המקסימלי של גלים אלה בריק?

ב. לפניך ארבעה היגדים i-iv. קבע לכל היגד אם הוא נכון או לא נכון:

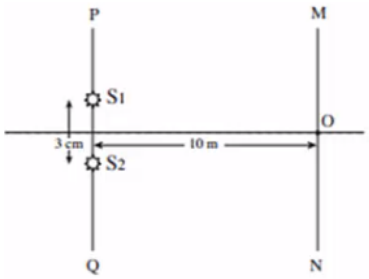
i. המהירות של גלים אלקטרומגנטיים בריק תלויה בתדירות שלהם.

ii. גלים אלקטרומגנטיים הם גלי אורך.

iii. גלי רדיו נכללים בספקטרום הגלים האלקטרומגנטיים.

iv. גלים מחזוריים באמבט גלים נכללים בספקטרום הגלים האלקטרומגנטיים.

בניסוי בגלי מיקרו משתמשים בשני מקורות נקודתיים, $S_1$ ו- $S_2$, שפולטים גלי מיקרו שווי-מופע ושווי-משרעת. אורך הגל של כל אחד משני הגלים הוא: $1.2cm$. שני המקורות נמצאים על ישר PQ, במרחק: $3cm$ זה מזה. גלאי יכול לנוע לאורך מסילה MN, שמקבילה לישר PQ (ראה תרשים). המרחק בין המסילה MN לישר PQ הוא: $10m$. נקודה O, שעל המסילה MN, נמצאת במרחקים שווים משני המקורות.




ג. כשהגלאי נמצא בנקודה O הוא קולט עוצמת גל מקסימלית. הסבר מדוע.

ד. מזיזים את הגלאי לאורך המסילה מנקודה O לעבר הנקודה M, עד שעוצמת הגל הנקלט היא שוב מקסימלית. חשב את המרחק שהגלאי עובר.

ה. הגלאי הוזז מהנקודה M אל הנקודה N לאורך המסילה MN, שהיא ארוכה מאוד. בכמה נקודות לאורך המסילה נקלטה עוצמת גל מקסימלית? הסבר.

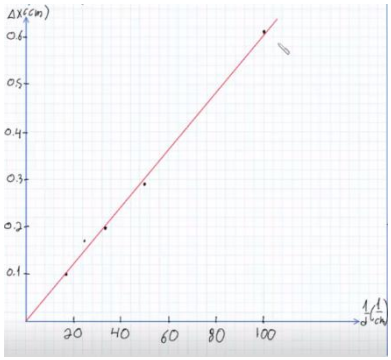
ו. ציין שני שימושים טכנולוגיים בגלי מיקרו.

## תשובות סופיות:

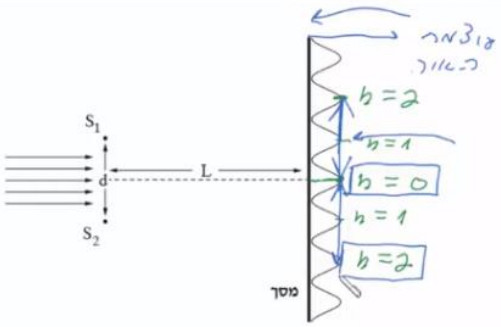
**1)** א. i. $\Delta x = \frac{\lambda \cdot L}{d}$ . ii. $\frac{1}{d}$ .

ב.

| $\Delta x\,(cm)$ | 0.61 | 0.29 | 0.20 | 0.17 | 0.12 | 0.10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{d}\left(\frac{1}{m}\right)$ | 100 | 50 | 33.3 | 25 | 20 | 16.7 |

ג. 


ד. $\lambda = 500nm$ .

ה. i. 


ii. $h = 0.82cm$ .

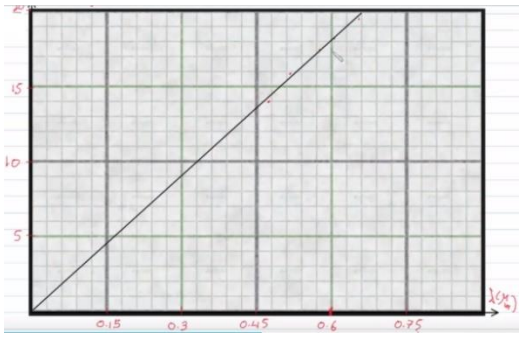
**2)** א. התאבכות בונה. ב. $\Delta x = 1.5cm$ . ג. $\lambda_2 = 500nm$ .

ד. $\lambda_1$ : התאבכות הורסת , $\lambda_2$ : התאבכות בונה. ה. הוכחה.

ו. $w = 0.06mm$ .

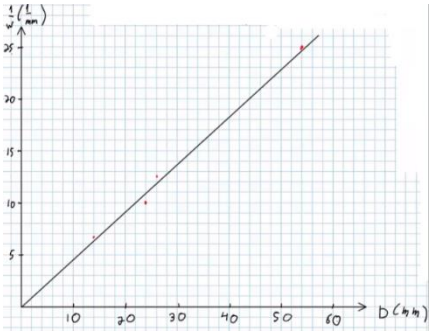
**3)** א. ב + ח. ב. ג $\leftrightarrow$ ד , ו $\leftrightarrow$ ז. ג. $x = 0.355cm$ . ד. $\lambda = 5.93 \cdot 10^{-7} m$ .

ה. ראה סרטון. ו. שווה.

**4)** א. $AB = \frac{5\lambda \cdot L}{d}$ . ב. 


ג. $d = 0.5mm$ .

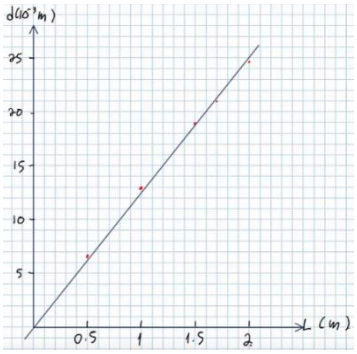
ד. $\lambda = 500nm$ .

**5)** א. $\lambda$ , L , w .
ב. 
ג. $\lambda = 648nm$ .
ד. $D_1 = 27.5mm$ .
ה. ראה סרטון.

**6)** א. $S_1P - S_2P = n \cdot \lambda$ .
ב. ראה סרטון.
ג. קטן.
ד. $\Delta x = 5.87mm$ .
ה.



**7)** א. ניסוי i.
ב. הוכחה.
ג. ראה סרטון.
ד. $\lambda = 571nm$ .
ה. כן.

**8)** א. $\lambda \cong w$ .
ב. 
ג. $\lambda = 625nm$ .
ד. $\theta_2 = 0.716°$ .

**9)** א. הוכחה.
ב. $n_{max} = 2$ .
ג. $L \geq 7.29m$ .
ד. $0.626m$ .

**10)** א. רחוק.
ב. $4.51 \cdot 10^{14} Hz \leq f \leq 7.2 \cdot 10^{14} Hz$ .
ג. $f = 5.78 \cdot 10^{14} Hz$ .
ד. גדול.
ה. ראה סרטון.

**11)** א. $\Delta x = 0.04m$ .
ב. $\lambda = 533nm$ .
ג. i. בונה.
ii. בונה.
iii. הורסת.
iv. נקודת ביניים.
ד. פסי אור צרים וצופים יותר.

**12)** א. $\Delta x = 4mm$ .
ב. $\Delta x = 2mm$ .
ג. ראה סרטון.
ד. ראה סרטון.

**13)** א. $\lambda_{17.9°} = 615nm$ , $\lambda_{16.9°} = 581nm$ , $\lambda_{13.2°} = 457nm$ , $\lambda_{12.3°} = 426nm$ .
ב. סגול (תערובת של הצבעים).
ג. i. אור לבן.
ii. שונה.
ד. טיהור מזון ומים.

**14)** א. $1mm \leq \lambda \leq 0.3m$ .
ב. i. לא נכון.
ii. לא נכון.
iii. נכון.
iv. לא נכון.
ג. ראה סרטון.
ד. $x_1 = 4.36m$ .
ה. $n_{max} = 2$ .
ו. חימום מזון במיקרו , מכ"מ.

# קורס הכנה בפיזיקה לכיתה יב בשפה הערבית

## פרק 21

# האפקט הפוטואלקטרי

האפקט הפוטואלקטרי- הסבר ותרגילים ..... 32
האפקט הפוטואלקטרי- בגרויות ..... 35

# האפקט הפוטואלקטרי:

## שאלות:

**1) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 1**

תא פוטואלקטרי מסוים מוקרן באור בתדירויות משתנות.

ברגע שהוא מוקרן באור בתדירות: $f = 8 \cdot 10^{14} Hz$, מתחילים להיפלט אלקטרונים מהקתודה.

א. מה פונקציית העבודה של התא?

ב. כעת מקרינים את התא באור באורך גל של 300 ננומטר.
מה תהיה האנרגיה המקסימלית של האלקטרונים הנפלטים?

ג. מה תהיה מהירותם?

ד. האם כל האלקטרונים הנפלטים בעלי מהירות זו? נמקו.

**2) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 2**

לתא פוטואלקטרי מסוים שורטט אופיין.

א. הסבר כיצד ישתנה אופיין זה אם נאיר את התא עם 2 מנורות זהות לבודדה שהארנו בה קודם.

ב. הסבר מה ישתנה באופיין אם נשתמש במקור אור בעל אורך גל ארוך יותר.

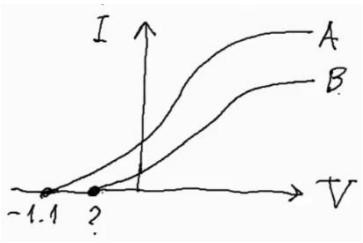
ג. כיצד ישתנה האופיין אם נחליף הלוח הפולט במתכת בעלת פונקציית עבודה קטנה יותר.

**3) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 3**

בוצעו 2 ניסויים בתא פוטואלקטרי:

בפעם הראשונה התא הואר באור באורך גל: $\lambda_1 = 500$, ובפעם השנייה הואר באור באורך גל: $\lambda_2 = 550$.

תוצאות האופיין של 2 הניסויים לפניך.




א. לאיזה מהאופיינים מתאים כל אחד מאורכי הגל?

ב. מצא את פונקציית העבודה של המתכת.

ג. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים הנפלטים באופיין B.

ד. מצא את ערך סימן השאלה באופיין.

ה. תאר כיצד ייראה אופיין B, אם נרחיק מעט את מקור האור שלו מהתא.

**4) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 4**

תוצאות הניסוי של מיליקן מ-1916 מופיעות בטבלה הבאה:

| $f\left(10^{14}\,Hz\right)$ | $E_k\left(eV\right)$ |
|---|---|
| 11.84 | 2.57 |
| 9.60 | 1.67 |
| 8.22 | 1.09 |
| 7.41 | 0.73 |
| 6.91 | 0.55 |

א. שרטט גרף של האנרגיה הקינטית כתלות בתדירות.

ב. מצא מהגרף את:

i. קבוע פלנק.

ii. את פונקציית העבודה של המתכת.

iii. את תדירות הסף של המתכת.

ג. הסבר את תוצאות המדידה האחרונה.

**5) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 5**

מנורה שהספקה 60 וואט מאירה באורך גל מונוכרומטי של 620 ננומטר על תא פוטואלקטרי. ידוע שהאור עוקר אלקטרונים מהקתודה.

א. מה אנרגיית פוטון בודד של נורה זו?

ב. מה הזרם שיראה האמפרמטר שמחובר לתא, אם 1% מהפוטונים שנפלטים מהנורה מגיעים לתא, 2% מהפוטונים שמגיעים לתא עוקרים אלקטרונים ו-5% מהאלקטרונים הנעקרים מגיעים לאנודה?

ג. מהו זרם הרוויה של התא?

## תשובות סופיות:

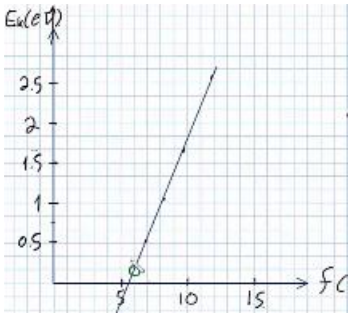
**1)** א. $3.31eV$ ב. $0.82eV$ ג. $V = 5.37 \cdot 10^5 \frac{m}{sec}$ ד. לא.

**2)** ראה סרטון.

**3)** א. $\lambda_1 = A$ , $\lambda_2 = B$ ב. $B = 1.38eV$ ג. $1.4 \cdot 10^{-19} J$ ד. $0.87V$

ה. ראה סרטון.

**4)** א.




ב.i. $4.16 \cdot 10^{-15} eVS$ ii. $2.33eV$ iii. $5.6 \cdot 10^{14} Hz$

ג. ראה סרטון.

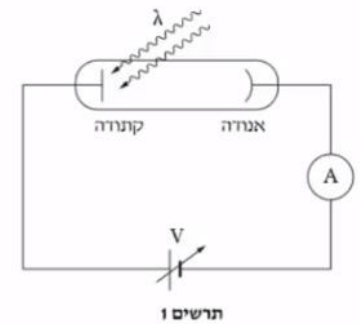
**5)** א. $2eV$ ב. $3 \cdot 10^{-4} A$ ג. $6mA$

# האפקט הפוטואלקטרי - בגרויות:

## שאלות:

**1) בגרות 2020**

מקרינים אלומה של אור מונוכרומטי על קתודה של תא פוטואלקטרי, כמתואר בתרשים 1. האנרגיה של כל פוטון היא: $2.75eV$. אורך גל הסף (המקסימלי) שמאפשר לאלקטרונים להיפלט מקתודה זו הוא: $\lambda_0 = 551nm$.



תרשים 1

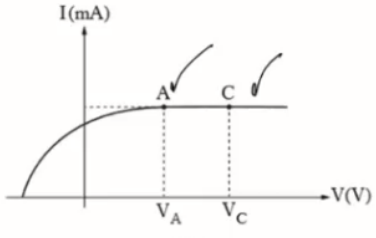
א. חשב את התדירות של האור המוקרן.

בעקבות פגיעת האור בקתודה, נפלטים ממנה אלקטרונים.

ב. חשב את האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים שנפלטים.

ג. הסבר את משמעותו של "מתח העצירה", וקבע את ערכו.

בתרשים 2 שלפניך מתואר גרף של עוצמת הזרם בתא הפוטואלקטרי כפונקציה של המתח על התא.

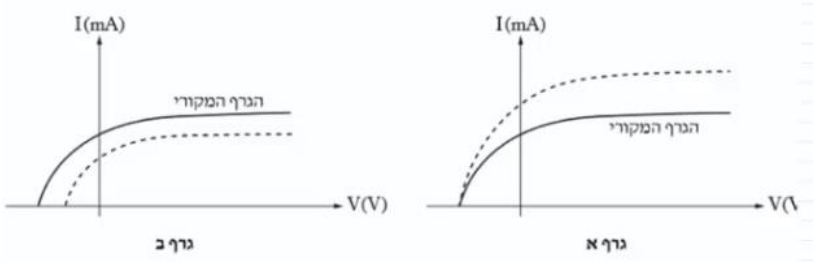


תרשים 2

ד. בגרף שבתרשים 2 עוצמות הזרמים בנקודות A ו-C שוות זו לזו (זרם רוויה), אף שהמתח בנקודה C גדול מן המתח בנקודה A. הסבר תופעה זו.

מקרינים על הקתודה הנתונה שתי אלומות אור מונוכרומטיות אחרות בזו אחר זו. השוני בין האלומות יכול להיות באורך הגל או בעוצמת האור של האלומה או בשניהם. הגרפים א-ב שלפניך מתארים את עוצמת הזרם כפונקציה של המתח בתא הפוטואלקטרי.

בכל גרף על אותה מערכת צירים מוצגות שתי עקומות, אחת בקו רציף – על פי הנתונים של האלומה המקורית שבפתיח של השאלה, ואחת בקו מקווקו – של האלומה האחרת.



גרף ב גרף א

ה. בנוגע לכל אחד משני הגרפים א-ב:

i. קבע אם אורך הגל של האלומה האחרת גדול מאורך הגל המקורי, קטן ממנו או שווה לו. נמק את קביעותיך.

ii. קבע אם עוצמת האור של האלומה האחרת גדולה מעוצמת האור של האלומה המקורית, קטנה ממנה או שווה לה. נמק את קביעותיך.

ו. לפניך ארבעה היגדים i-iv. קבע מהו ההיגד הנכון. נמק את קביעתך:

i. אלקטרונים שנפלטו מן הקתודה יגיעו אל האנודה רק אם קיים מתח האצה בין האנודה לקתודה.

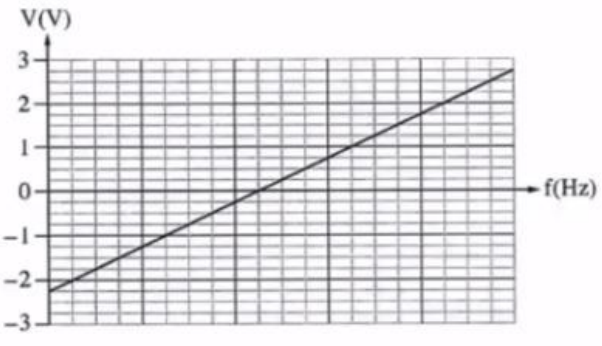
ii. מספר גדול של פוטונים מוסרים את האנרגיה שלהם כדי לעקור אלקטרון בודד מן הקתודה.

iii. בתדירות מסוימת, האנרגיה הקינטית של אלקטרונים שנפלטים מן הקתודה תלויה בעוצמת האור.

iv. הרחקת מקור האור (המנורה) מן הקתודה גורמת להקטנת זרם הרווייה.

**2) בגרות 2019**

תלמידים ערכו שני ניסויים באמצעות תא פוטואלקטרי שברשותם.
בניסוי הראשון הם האירו את הקתודה (הפולט) של התא בכמה אלומות אור מונוכרומטי, זו אחר זו, ומדדו – לכל אלומה בנפרד – את מתח העצירה (המתח המינימלי שעבורו לא זרם זרם בתא).
על סמך תוצאות הניסוי סרטטו התלמידים גרף. הגרף מוצג בתרשים 1.



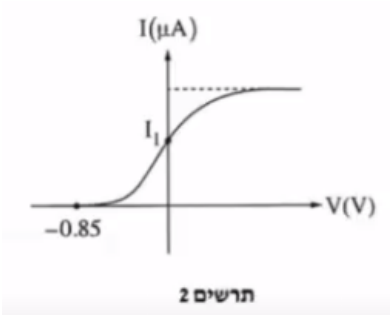
תרשים 1

א. הגדר את המושג "תדירות הסף $f_0$".

ב. מצא באמצעות הגרף את פונקציית העבודה B של הקתודה. פרט את שיקוליך.

ג. חשב את אורך הגל המרבי שעבורו מתרחש האפקט הפוטואלקטרי בתא זה.

בניסוי השני האירו התלמידים את הקתודה באלומת אור מונוכרומטי שתדירותה $f_1$, ומדדו את הזרם I בתא עבור ערכים שונים של המתח V בין האנודה לקתודה.
תוצאות הניסוי השני מוצגות בתרשים 2.



תרשים 2

ד. חשב את התדירות $f_1$.

ה. חשב ביחידות של ג'אול את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים המהירים ביותר ברגע שהם נעקרו מן הקתודה המוארת באלומת האור שתדירותה $f_1$.

המשיכו להאיר את התא הפוטואלקטרי באלומה שתדירותה $f_1$ ובו זמנית האירו אותה באלומה נוספת, שתדירותה $f_2$.
מדדו את הזרם הכולל I בתא, עבור ערכים שונים של המתח V בין האנודה לקתודה.
נתון כי: $f_0 < f_2 < f_1$.

ו. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע אם הערך המוחלט של המתח שעבורו יתאפס הזרם I גדול מ- $0.85V$, קטן ממנו או שווה לו. נמק את קביעתך.

ii. קבע אם הזרם I עבור המתח $V = 0$ יגדל, יקטן או לא ישתנה לעומת הזרם $I_1$ המסומן בתרשים 2. נמק את קביעתך.

**3) בגרות 2018**

האירו את הפולט (קתודה) של תא פוטואלקטרי בשלוש אלומות אור זו אחר זו.
אורכי הגל של האלומות הם: $\lambda_1 = 200nm$ , $\lambda_2 = 450nm$ , $\lambda_3 = 650nm$.
אורך גל הסף (המתאים לתדירות הסף) הוא: $\lambda_0 = 539nm$.

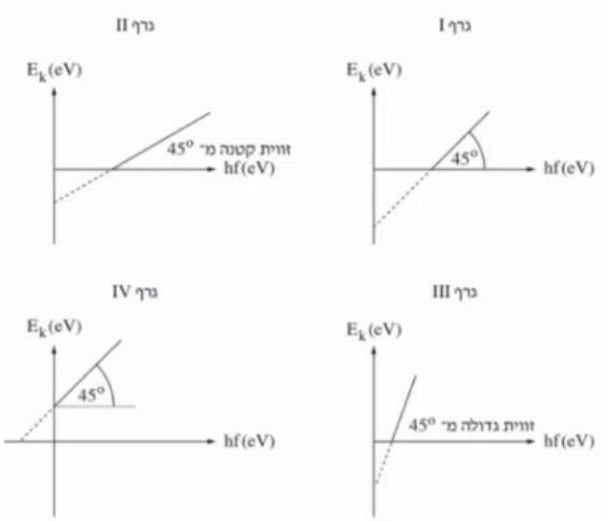
א. עבור כל אחת מן האלומות, קבע אם נוצר זרם בתא הפוטואלטרי.
אם לא נוצר זרם – נמק מדוע.

ב. הגדר את המושג "פונקציית עבודה" (אנרגיית קשר) של מתכת.

ג. חשב את פונקציית העבודה של המתכת שהפולט עשוי ממנה.

ד. חשב את תדירות האור שיגרום לפליטת אלקטרונים שיש להם אנרגיה קינטית מרבית: $E_k = 0.5eV$.

גרפים I-IV שלפניך מתארים אנרגיה קינטית של אלקטרון $E_k(eV)$ כפונקציה של אנרגיית פוטון $hf(eV)$. שני הצירים מסורטטים על פי אותו קנה מידה.



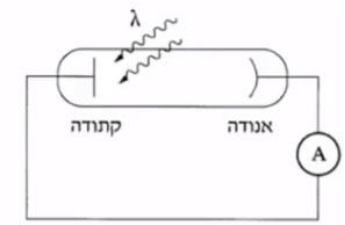

ה. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע איזה גרף מתאר נכון את התלות של האנרגיה הקינטית של אלקטרון שנפלט מן הפולט באנרגיית פוטון שפגע בפולט.

ii. העתק למחברתך את הגרף הנכון.
הוסף לגרף שבמחברתך ערכים מספריים בנקודות החיתוך של העקומה (הלינארית) עם הציר האופקי $(hf)$ ועם הציר האנכי $(E_k)$.
פרט את שיקוליך.

**4) בגרות 2017**

מערכת מורכבת מתא פוטואלקטרי, מד זרם (רגיש מאוד) ותילים אידיאליים.
פונקציית העבודה של הקתודה שבתא: $B = 2eV$.
אלומת אור באורך גל $\lambda$ פוגעת בקתודה (ראה תרשים 1).



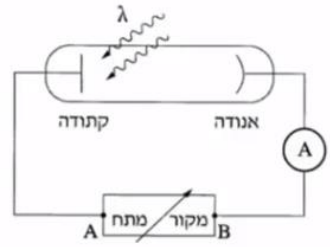

תרשים 1

א. חשב באיזה טווח של אורכי גל יזרום זרם במעגל.

נתון כי מד הזרם מורה על: $2 \cdot 10^{-8} A$.
ב. חשב את המספר המינימלי של פוטונים שפוגעים במשך שנייה אחת בקתודה.

נתון: אורך הגל של אלומת האור שפוגעת בקתודה הוא: $\lambda = 420nm$.
ג. חשב את המהירות המקסימלית של האלקטרונים שנפלטים מן הקתודה.

מוסיפים למערכת מקור מתח V שערכו ניתן לשינוי. הנקודות A ו-B שבתרשים 2 מסמנות את ההדקים של מקור המתח.




תרשים 2

במתח $V_{AB}$ מסוים עוצמת הזרם במעגל מתאפסת.
ד. קבע אם ההדק A חיובי או שלילי. הסבר את קביעתך.
ה. מהו המתח (בערך מוחלט) בין ההדקים של מקור המתח? פרט את שיקוליך.

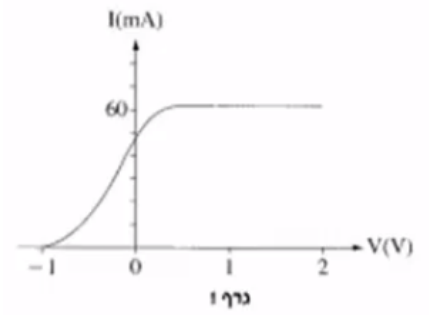
**5) בגרות 2016**

תלמידי פיזיקה חקרו את האפקט הפוטואלקטרי בשלושה ניסויים A, B ו-C.
בכל הניסויים השתמשו באותו תא פוטואלקטרי.

בניסוי A הם השתמשו במקור הפולט קרינה שתדירותה: $f = 7 \cdot 10^{14}\,Hz$
והספקה: $P = 1W$.

א. חשב את מספר הפוטונים שנפלטו מהמקור במשך דקה אחת.

האופיין של התא הפוטואלקטרי שנבדק בניסוי A, מוצג בגרף 1 שלפניך:



גרף 1

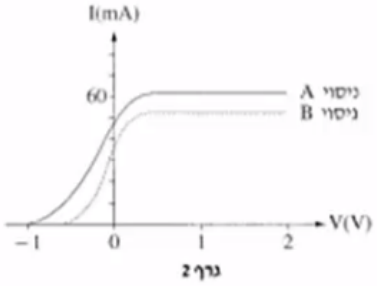
היעזר בגרף, וענה על הסעיפים ב'-ד'.

ב. חשב את מספר הפוטונים שגרמו לפליטת אלקטרונים מהקתודה במשך דקה אחת.

ג. מצא את האנרגיה הקינטית המרבית של האלקטרונים שנפלטו.
נמק את תשובתך.

ד. חשב את אורך הגל המרבי של קרינה שגורמת לפליטת אלקטרונים מקתודה זו.

ה. בגרף 2 מוצגות התוצאות של שניים משלושת הניסויים: ניסוי A המתואר בפתיח לשאלה וניסוי B.



גרף 2

i. קבע אם בניסוי B השתמשו התלמידים במקור הפולט קרינה שתדירותה קטנה מתדירות הקרינה בניסוי A, גדולה ממנה או זהה לה.
נמק את קביעתך.

בניסוי C התלמידים קירבו את אותו מקור קרינה שהשתמשו בו בניסוי B אל התא הפוטואלקטרי, וכך גדלה עוצמת האור שפגעה בקתודה.

ii. קבע אם מתח העצירה שנמדד בניסוי C שונה ממתח העצירה שנמדד בניסוי B. נמק את קביעתך.

**6) בגרות 2015**

קרינה אלקטרומגנטית מונוכרומטית, שבה לכל פוטון יש אנרגיה של $5eV$, פוגעת במתכת מסוימת ועוקרת ממנה אלקטרונים. האנרגיה הקינטית של האלקטרונים האנרגטיים ביותר שנעקרו היא: $2eV$.

א. הגדר את המושג "פונקציית עבודה" (אנרגיית קשר של מתכת).

ב. חשב את "פונקציית העבודה" של המתכת המוזכרת בפתיח.

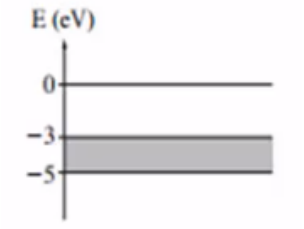
ג. חשב את גודל המהירות של האלקטרונים האנרגטיים ביותר שנעקרו מן המתכת.

לאלקטרונים החופשיים במתכת יש ערכי אנרגיה שונים, בין ערך מקסימלי לערך מינימלי.

לפניך דיאגרמת אנרגיה של מתכת מסוימת. דיאגרמה זו דומה לדיאגרמת רמות אנרגיה אטומיות, אך אין מדובר בקווים בדידים, אלא ברצף של קווים צפופים מאוד שאפשר להתייחס אליהם כאל פס יחיד שיש לו עובי.

בדיאגרמת האנרגיה שלפניך ערך האנרגיה המקסימלי של פס האנרגיה הוא: $-3eV$, וערך האנרגיה המינימלי שלו: $-5eV$. לכל אלקטרון חופשי במתכת המסוימת מיוחסת אנרגיה E המקיימת: $-5eV \le E \le -3eV$.

לאלקטרון שנמצא במנוחה מחוץ למתכת יש אנרגיה אפס (ראה תרשים).

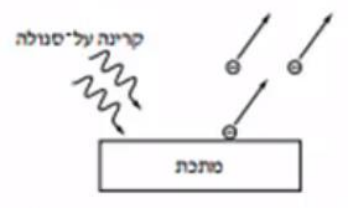



ד. מקרינים על המתכת קרינה מונוכרומטית שבה לכל פוטון יש אנרגיה של: $4eV$. קרינה זו עוקרת מן המתכת אלקטרונים חופשיים.
מהו תחום ערכי האנרגיה הקינטית של האלקטרונים האלה לאחר שנעקרו?

ה. הסבר מדוע חשוב להדגיש בפתיח שבראש העמוד שהאנרגיה הקינטית: $2eV$ היא של האלקטרונים האנרגטיים ביותר.

**7) בגרות 2014**

בשנת 1887 גילה היינריך הרץ כי אם מטילים קרינה על-סגולה על מתכת שהאוויר סביבה הוא ניטרלי מבחינה חשמלית, האוויר שבקרבת המתכת נטען במטען חשמלי שלילי (ראה תרשים).
לאחר כמה שנים כונתה תופעה זו "האפקט הפוטו-אלקטרי".




קבוצה I וקבוצה II של תלמידי פיזיקה החליטו לשחזר את הניסוי של הרץ.
לשם כך הם ערכו ניסויים שבהם הטילו על לוח מתכת בלתי טעון אלומות קרינה מונוכרומטיות שהתדירויות שלהן ידועות. האלומות הוטלו זו אחר זו, ועבור כל תדירות של אלומה מדדו התלמידים את הפוטנציאל של לוח המתכת אחרי התייצבותו לעומת מצבו ההתחלתי (הבלתי טעון). פוטנציאל הלוח נמדד באמצעות מכשיר מדידה מיוחד ללא צורך בחיבור המתכת למעגל חשמלי.
תוצאות המדידות של קבוצה I מוצגות בטבלה 1:

| **תדירות הקרינה** $(10^{14}\,\mathrm{Hz})$ | 9.0 | 9.5 | 10.0 | 10.5 | 11.0 | 11.5 | 12.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **פוטנציאל הלוח** $(\mathrm{V})$ | 0 | 0 | 0.03 | 0.3 | 0.5 | 0.67 | 0.86 |

א. על פי ערכי טבלה 1, סרטט גרף של הפוטנציאל של לוח המתכת כפונקציה של תדירות הקרינה הפוגעת בו.
ב. בגרף שסרטטת, מהי המשמעות הפיזיקאלית של נקודת החיתוך של החלק הנטוי של העקומה עם הציר האופקי?
ג. באמצעות הגרף שסרטטת מצא את פונקציית העבודה של המתכת.
הסבר את שיקוליך.
ד. באחד השלבים של הניסוי, פוטנציאל הלוח היה: $0.3\mathrm{V}$. התלמידים הקרינו על הלוח אלומת קרינה בתדירות של: $11.0\cdot10^{14}\,\mathrm{Hz}$ (ראה טבלה 1).
i. הסבר מדוע השתחררו אלקטרונים מלוח המתכת.
ii. מה קרה לפוטנציאל הלוח בעקבות השתחררות האלקטרונים?

קבוצה II רצתה לאמת את ממצאי הניסויים של קבוצה I.
על לוח מתכת אחר, בלתי טעון, הטילו תלמידי קבוצה זו אלומות בתדירויות המוצגות בטבלה 1, זו אחר זו, ומדדו גם הם עבור כל תדירות את ערכי הפוטנציאל של הלוח לעומת מצבו ההתחלתי.
תוצאות המדידות מוצגות בטבלה 2:

| **תדירות הקרינה** $(10^{14}\,\text{Hz})$ | 9.0 | 9.5 | 10.0 | 10.5 | 11.0 | 11.5 | 12.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **פוטנציאל הלוח** $(\text{V})$ | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0.3 | 0.5 | 0.67 |

ה. כפי שעולה מטבלה 1 ומטבלה 2, יש הבדלים בין תוצאות המדידות של שתי הקבוצות.
התלמידים הציעו כמה הסברים להבדלים אלה.
קבע איזה מן המשפטים i-iv שלפניך יכול לספק הסבר נכון להבדלים האלה, ונמק את קביעתך.

i. בקבוצה I השתמשו בקרינה שעוצמתה גבוהה מזו שהשתמשו בה בקבוצה II.

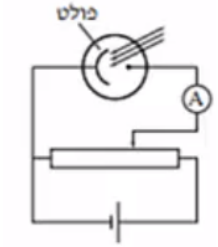
ii. בקבוצה I השתמשו בקרינה שעוצמתה נמוכה מזו שהשתמשו בה בקבוצה II.

iii. בקבוצה I השתמשו בלוח העשוי מתכת אחרת מזו שהשתמשו בה בקבוצה II.

iv. קבוצה I הציבה את לוח המתכת קרוב יותר למקור הקרינה מאשר הציבה אותו קבוצה II.

**8) בגרות 2013**

בתרשים שלפניך מעגל חשמלי שאפשר למדוד בו את זרם הרוויה בתא פוטואלקטרי. מקרינים אור בתדירות קבועה f על תא פוטואלקטרי.




א. נסמן ב- $n_e$ את מספר האלקטרונים הנפלטים בכל שנייה מהפולט.
פתח ביטוי לחישוב של $n_e$ באמצעות עוצמת זרם הרוויה I וערך המטען היסודי e.

ב. הסבר מדוע שינוי בהספק של מקור האור גורם לשינוי ב- $n_e$.

ג. הנוסחה לחישוב הספק היא: $P=\frac{\Delta E}{\Delta t}$.
פתח ביטוי המקשר בין ההספק של מקור האור P ובין $n_e$, בהנחה שכל

פוטון בעל תדירות f שיוצא ממקור האור משחרר אלקטרון.

למעשה, לא כל פוטון משחרר אלקטרון.
נסמן ב- $\eta$ (נצילות) את היחס בין מספר הפוטונים המשחררים אלקטרונים בכל שנייה ובין מספר הפוטונים שמקור האור פולט בכל שנייה: $\eta = \frac{n_e}{n_{photons}}$.

ד. הוכח שהקשר בין מספר הפוטונים המשחררים אלקטרונים בכל שנייה ובין מספר הפוטונים שמקור האור פולט בכל שנייה מוצג בנוסחה: $\eta = \frac{hf \cdot n_e}{P}$.

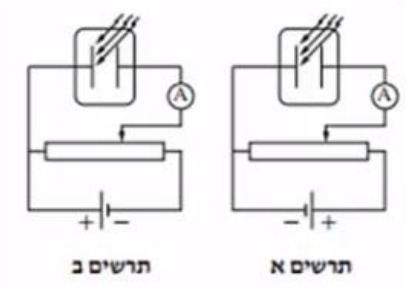
P – הספק מקור האור.
f – תדירות האור.

ה. במעגל המתואר בתרשים, הגדלת המתח על התא הפוטואלקטרי גורמת להגדלת הזרם, עד גבול מסוים שהוא זרם הרוויה. הסבר תופעה זו.

**9) בגרות 2012**

תלמידי פיזיקה ערכו ניסוי בתא פוטואלקטרי, והאירו את הפולט (הקתודה) באור שתדירותו: $6.67 \cdot 10^{14}\,Hz$. התלמידים בודקים את התלות של זרם הרוויה בהספק האור הפוגע בפולט.

א. באיזה משני המעגלים המוצגים בתרשימים א' ו-ב' השתמשו התלמידים בניסוי? נמק.




ב. בניסוי התלמידים הגדילו את הספק האור הפוגע בפולט.
האם כתוצאה מכך זרם הרוויה הנמדד גדל, קטן או לא השתנה? נמק.

נסמן ב- $\eta$ את יעילות התא הפוטואלקטרי, המבטאת את היחס בין מספר הפוטונים שגרמו לפליטת אלקטרונים ובין מספר הפוטונים שפגעו בפולט.
כשהספק האור הפוגע בפולט היה: $6 \cdot 10^{-3}\,W$, מדדו התלמידים זרם רוויה של: $2.16 \cdot 10^{-7}\,A$.

ג. חשב את מספר האלקטרונים שנפלטים מהפולט בכל שנייה.

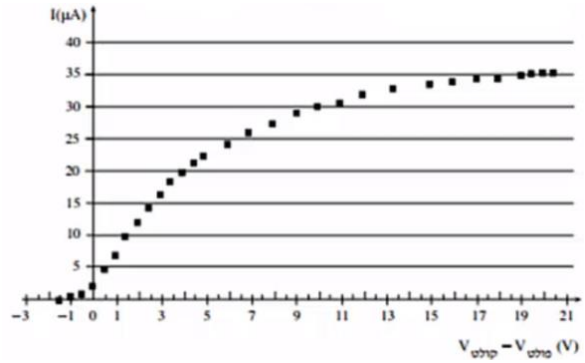
ד. חשב את יעילות התא הפוטואלקטרי.

ה. בתרשים ג' שתי עקומות א' ו-ב'. בעקומות מוצג הקשר בין זרם הרוויה, I, ובין הספק האור הפוגע בפולט, P, עבור שני תאים פוטואלקטריים שיעילותם שונה. איזה משתי העקומות מתאימה לתא שיעילותו גבוהה יותר? נמק.

**10) בגרות 2011**

תלמידה מבצעת ניסוי לקבלת אופיין של תא פוטואלקטרי. לשם כך היא בונה מעגל חשמלי מתאים, ומקרינה על הפולט (קתודה) של התא אור לבן, הכולל את כל אורכי הגל בין: $400nm - 700nm$.

על סמך המדידות סרטטה התלמידה את האופיין, והוא מוצג בתרשים שלפניך:
עוצמת הזרם, I, כפונקציה של הפרש הפוטנציאלים (פולט V – קולט V).
(קרא משמאל לימין).




א. הסתמך על הגרף ותאר כיצד הגדלת הפרש הפוטנציאלים משפיעה על עוצמת הזרם הנמדד. התייחס לטווח: $0V - 21V$.

ב. חשב את מספר הפוטונים שגורמים לעקירת אלקטרונים מהפולט בכל שנייה.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. קבע את הערך של האנרגיה הקינטית המקסימלית של אלקטרונים הנעקרים מהפולט.

ii. מהו אורך הגל של הפוטון שגרם לעקירת אלקטרונים עם אנרגיה זאת?

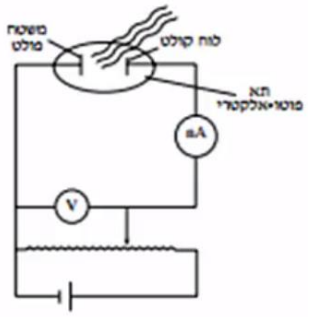
ד. חשב את פונקציית העבודה של המתכת שממנה עשוי הפולט הנתון.

ה. האם אלקטרונים נעקרים מהפולט גם כאשר הפרש הפוטנציאלים הוא אפס? הסבר.

**11) בגרות 2010**

תלמיד ביצע ניסוי כדי לחקור אפקט פוטואלקטרי. לרשותו עמדו, מקור אור לבן, מסננים בצבעים שונים (על כל מסנן כתוב אורך הגל המינימלי, $\lambda_0$, המועבר על ידי המסנן) ותא פוטואלקטרי.

התלמיד הרכיב מעגל חשמלי המתואר בתרשים. בכל פעם הוא הציב בדרכה של אלומת האור הלבן את אחד המסננים, ומדד את מתח העצירה (V).



הנתונים שהתקבלו מוצגים בטבלה שלפניך:

| אורך הגל המינימלי $\lambda_0$ (nm) | מתח העצירה (V) |
|---|---|
| 650 | 0.4 |
| 620 | 0.5 |
| 560 | 0.7 |
| 540 | 0.8 |
| 500 | 1.0 |
| 460 | 1.2 |
| 400 | 1.6 |

א. ענה:

i. בלי להסתמך על תוצאות הניסוי, פתח ביטוי המתאר את מתח העצירה (V) כפונקציה של אורך הגל המינימלי ($\lambda_0$).

ii. האם הקשר שהתקבל הוא ליניארי? נמק.

ב. ענה:

i. העתק את הטבלה למחברתך, והוסף לה עמודה שבה תרשום את הערכים המתאימים של $\frac{1}{\lambda_0}$.

ii. סרטט גרף של מתח העצירה, V, כפונקציה של $\frac{1}{\lambda_0}$.

ג. ענה:

i. מצא על פי הגרף את קבוע פלנק. פרט את חישוביך.

ii. מצא על פי הגרף את אורך הגל המקסימלי שעבורו תתקבל פליטת אלקטרונים מן המשטח הפולט. פרט את שיקוליך ואת חישוביך.

ד. הסבר מדוע קיים אורך גל מקסימלי שעבורו תתקבל פליטת האלקטרונים מן המשטח הפולט.

**12) בגרות 2008**

אלקטרוסקופ הוא מתקן לבדיקת מטען של גופים שונים. לאלקטרוסקופ שני חלקים עיקריים. חלק אחד הוא מוט מתכת הקבוע במקומו, כך שהקצה העליון של המוט – "ראש" האלקטרוסקופ – בולט מעל גוף האלקטרוסקופ. החלק האחר הוא מחוג עשוי ממתכת המחובר במרכזו למוט הקבוע, והוא צמוד אליו כאשר האלקטרוסקופ אינו טעון. כאשר מביאים גוף טעון במגע עם "ראש" האלקטרוסקופ – האלקטרוסקופ נטען, ומחוג האלקטרוסקופ סוטה ממצבו האנכי, ונוצרת זווית גדולה מאפס בין המחוג ובין המוט הקבוע. תלמיד ערך חמישה ניסויים, כמפורט להלן.

א. בניסוי הראשון הרכיב התלמיד על "ראש" האלקטרוסקופ לוח אבץ, וטען את האלקטרוסקופ במטען חשמלי שלילי (ראה תרשים), ומחוג האלקטרוסקופ סטה.




לאחר מכן כיוון התלמיד פנס שפלט קרינה על-סגולה על לוח האבץ. בדיוק ברגע שהקרינה פגעה בלוח האבץ, החלה פריקת האלקטרוסקופ, והסטייה של מחוג האלקטרוסקופ הלכה וקטנה.
הסבר את התופעה.

ב. בניסוי השני הגדיל התלמיד את המרחק בין הפנס לבין לוח האבץ, וערך שוב את הניסוי הראשון.
האם גם הפעם, כמו בניסוי הראשון, החלה פריקת האלקטרוסקופ בדיוק ברגע שבו פגעה הקרינה בלוח האבץ? נמק.

ג. בניסוי השלישי טען התלמיד את האלקטרוסקופ במטען חשמלי חיובי, ורק לאחר מכן הקרין באותו פנס שהשתמש בו קודם (בניסוי הראשון והשני). לאחר ההקרנה הסטייה של מחוג האלקטרוסקופ לא השתנתה (האלקטרוסקופ לא נפרק). הסבר מדוע.

ד. בניסוי הרביעי טען התלמיד את האלקטרוסקופ במטען חשמלי שלילי, וכיוון אל לוח האבץ פנס הפולט אור נראה. הסטייה של מחוג האלקטרוסקופ לא השתנתה. ציין סיבה אפשרית לכך.

ה. בניסוי החמישי הסיר התלמיד את לוח האבץ והרכיב במקומו לוח ברזל, טען את האלקטרוסקופ במטען שלילי, וכיוון אל לוח הברזל את הפנס שהשתמש בו בניסוי הראשון הפולט קרינה על-סגולה. הסטייה של מחוג האלקטרוסקופ לא השתנתה. ציין סיבה אפשרית לכך.

ו. ציין יישום אחד בחיי היומיום של תופעת האפקט הפוטואלקטרי.

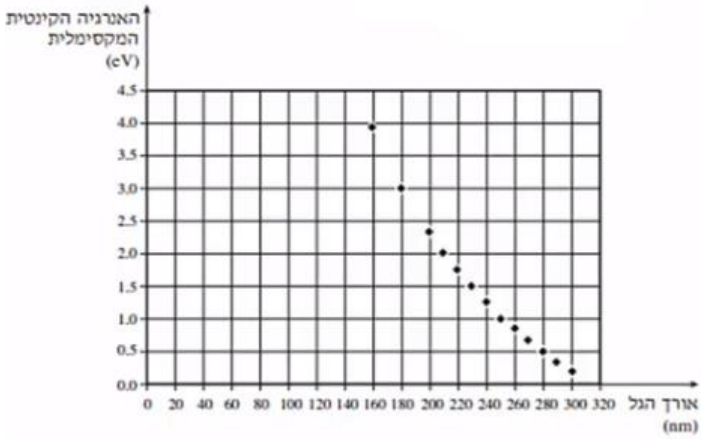
**13) בגרות 2007**

עורכים ניסוי בתא פוטואלקטרי ומאירים את הפולט (הקתודה) באלומות מונוכרומטיות של קרינה על-סגולה, בזו אחר זו. האלומות שונות זו מזו באורכי הגל שלהן.

לכל אלומה מודדים את האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים שנעקרים.

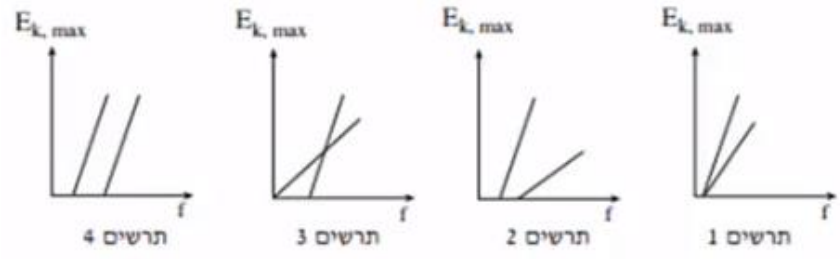
א. מסרטטים גרף של האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים הנעקרים, כפונקציה של אורך הגל של האלומות הפוגעות.
קבע על סמך התאוריה, אם גרף זה צפוי להיות לינארי. נמק את קביעתך.

ב. הגרף שלפניך מציג את האנרגיה הקינטית המקסימלית של האלקטרונים הנעקרים, כפונקציה של אורך הגל של האלומה הפוגעת, כפי שהתקבלה בניסוי.
בחר בשתי נקודות מהגרף, וחשב בעזרתן את פונקציית העבודה של המתכת המוארת ואת קבוע פלאנק.




ג. הגדר את המושג "מתח עצירה", וחשב את גודלו של מתח העצירה הדרוש כאשר מאירים את הפולט של התא בקרינה בעלת תדירות: $1.25\cdot10^{15}\,Hz$.
השתמש בערך של קבוע פלאנק שקיבלת בסעיף ב'.

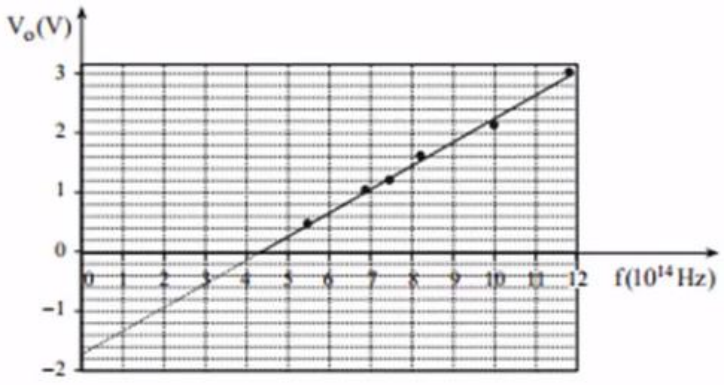
ד. בחלק האחרון של הניסוי משתמשים בשני תאים פוטואלקטריים שונים, ומסרטטים במערכת צירים אחת עבור שני התאים את הגרפים של האנרגיה הקינטית המקסימלית, $E_{k_{max}}$, של האלקטרונים הנעקרים, כפונקציה של תדירות הקרינה f.
איזה מהתרשימים 1-4 שלפניך מציג נכון את תוצאות הניסוי? הסבר.



**14) בגרות 2006**

בניסוי לחקר האפקט הפוטואלקטרי, הטילו אלומות קרינה מונוכרומטיות, בזו אחר זו, על הפולט (קתודה) של תא פוטואלקטרי העשוי מנתרן, ומדדו את המתח העוצר, $V_0$. האלומות נבדלות זו מזו בתדירותן, f.

לפניך גרף של המתח העוצר, $V_0$ (הנמדד בוולטים), כפונקציה של התדירות, f, ביחידות: $10^{14}\,Hz$.




א. מצא את פונקציית העבודה של נתרן.

ב. בטבלה שלפניך מוצגים שלושה מקרים:

| | המתח בין הפולט לקולט $V_{קולט} - V_{פולט}$ | תדירות הקרינה הפוגעת (Hz) |
|---|---|---|
| **מקרה (1)** | -0.5 | $3\cdot10^{14}$ |
| **מקרה (2)** | 0.7 | $8\cdot10^{14}$ |
| **מקרה (3)** | 2.8 | $8\cdot10^{14}$ |

ענה על הסעיפים i-iii, בנוגע לכל אחד מהמקרים (3)-(1).

i. קבע אם אלקטרונים נפלטים או אינם נפלטים מן הפולט. הסבר.

ii. אם אלקטרונים נפלטים מן הפולט, קבע אם הם יכולים לפגוע בקולט או אינם יכולים לפגוע בו. הסבר.

iii. אם אלקטרונים נפלטים מן הפולט אך אינם פוגעים בפולט, קבע אם צריך להגיל את המתח $V_{קולט} - V_{פולט}$ או להקטין אותו, כדי שהאלקטרונים הנפלטים יגיעו אל הקולט. הסבר.

ג. ציין תופעה הקשורה לאפקט הפוטואלקטרי שאי אפשר להסביר אותה באמצעות מודל הגלים האלקטרומגנטיים של האור. נמק.

## תשובות סופיות:

**1)** א. $f = 6.64 \cdot 10^{14}\,Hz$. ב. $E_{k_{max}} = 8 \cdot 10^{-20}\,J$. ג. $0.5volt$. ד. ראה סרטון.

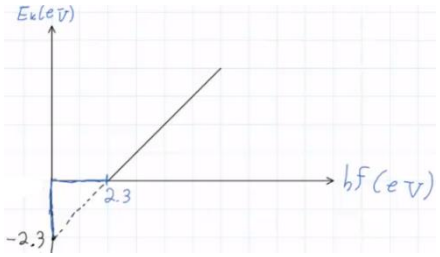
ה.i. גרף א: שווה, גרף ב: גדול. ii. גרף א: גדול, גרף ב: קטן. iv. ו.

**2)** א. ראה סרטון. ב. $B = 3.6 \cdot 10^{-19}\,J$. ג. $\lambda_{max} = 552.5nm$. ד. $f_1 = 7.48 \cdot 10^{14}\,Hz$.

ה. $E_k = 1.36 \cdot 10^{-19}\,J$. i.ו. שווה. ii. יגדל.

**3)** א. $\lambda_1$: כן, $\lambda_2$: כן, $\lambda_3$: לא. ב. ראה סרטון. ג. $B = 2.3eV$.

ד. $f = 6.76 \cdot 10^{14}\,Hz$. ה.i. I. ii.




**4)** א. $\lambda \le 622nm$. ב. $N_{ph} = 1.25 \cdot 10^{11}$. ג. $V_{max} = 5.78 \cdot 10^5 \frac{m}{sec}$.

ד. $V_A > V_B$. ה. $|V_{BA}| = 0.95$.

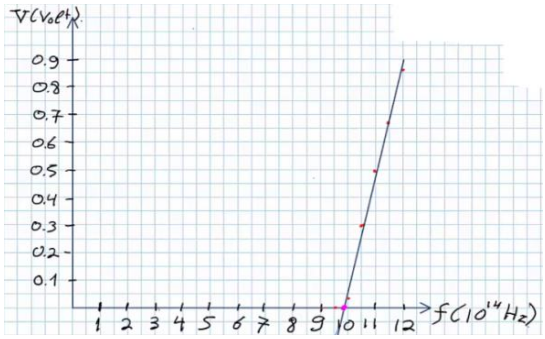
**5)** א. $1.29 \cdot 10^{20}$. ב. $Ne = 2.25 \cdot 10^{19}$. ג. $E_k = 1eV$. ד. $\lambda_{max} = 654nm$.

ה.i. קטן. ii. זהה.

**6)** א. ראה סרטון. ב. $B = 3eV$. ג. $V = 8.39 \cdot 10^5 \frac{m}{sec}$. ד. $1eV \ge E_k \ge 0$.

ה. ראה סרטון.

**7)** א.




ב. ראה סרטון. ג. $B = 4.2eV$.

ד.i. $E_{k_\infty} > 0$. ii. גדל. ה. iii.

**8)** א. $n_e = \frac{I}{e}$. ב. ראה סרטון. ג. $P = n_e \cdot h \cdot f$. ד. הוכחה.

ה. ראה סרטון.

**9)** א. תרשים א'. ב. גדל. ג. $1.35 \cdot 10^{12}$. ד. $\eta \approx 0.01\%$.

ה. עקומה א'.

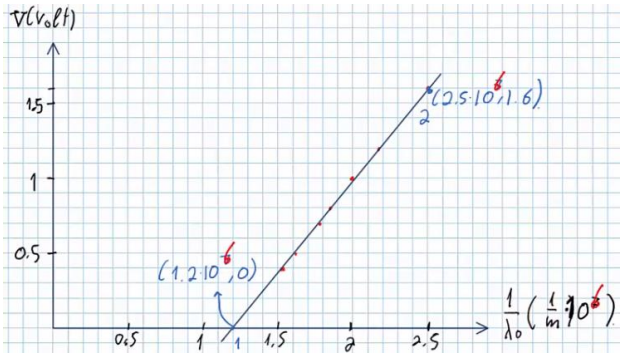
**10)** א. ראה סרטון. ב. $1.875 \cdot 10^{13}$. ג.i. $E_k = 1.5eV$. ii. $\lambda_{min} = 400nm$.

ד. $B = 1.6eV$. ה. כן.

**11)** א.i. $V=\frac{hc}{e}\cdot\frac{1}{\lambda_0}-\frac{B}{e}$ . ii. לא. ב.i.

| $\frac{1}{\lambda_0}\left(\frac{1}{m}\right)$ |
|---|
| $1.54\cdot10^6$ |
| $1.61\cdot10^6$ |
| $1.79\cdot10^6$ |
| $1.85\cdot10^6$ |
| $2\cdot10^6$ |
| $2.17\cdot10^6$ |
| $2.5\cdot10^6$ |

ii.




ג.i. $h=6.56\cdot10^{-34}\,J\cdot sec$ . ii. $\lambda_{max}=833nm$ . ד. ראה סרטון.

**12)** א. ראה סרטון. ב. כן. ג. ראה סרטון. ד. ראה סרטון.
ה. ראה סרטון. ו. מנגנון בקרת סגירת דלת במעלית.

**13)** א. לא. ב. $h=6.72\cdot10^{-34}\,J\cdot sec$ , $B=6.4\cdot10^{-19}\,J$ . ג. $V=1.25V$ .
ד. תרשים 4.

**14)** א. $B=1.7eV$ . ב.i. (1) – לא , (2) – כן , (3) – כן.
ii. (1) - כן , (2) – כן , (3) – לא.
iii. (3) – להקטין לפחות מ- $1.615V$ .
ג. ראה סרטון.

פרק 22

# האטום- התפתחות הסטורית ומודל האטום של בוהר

התפתחות הסטורית ומודל האטום של בוהר ..... 52
מודלים של האטום- בגרויות ..... 56

# התפתחות היסטורית ומודל האטום של בוהר:

## שאלות:

**1) תרגיל 1 – אטום מימן**

איזו אינטראקציה תתרחש בין גז מימן ברמת היסוד ובין:

א. אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 12 אלקטרון וולט?

ב. פוטונים בעלי אנרגיה של 12 אלקטרון וולט?

ג. פוטונים בעלי אנרגיה של 15 אלקטרון וולט?

ד. אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 15 אלקטרון וולט?

היעזרו בדיאגרמה לרמות אנרגיה של אטום מימן.

**2) תרגיל 2 – אטום מימן**

בניסוי מסוים העבירו דרך גז מימן חד אטומי ברמת היסוד אלקטרונים שהואצו לאנרגיה קינטית של 13 אלקטרון וולט.

א. כיצד ייראה ספקטרום הפליטה של גז זה?

ב. מה הערכים האפשריים של האנרגיה הקינטית לאלקטרונים שהואצו לאחר מעברם בגז?

ג. מה השינוי ברדיוס של האלקטרונים הקשורים שעוררו לרמה הגבוהה ביותר?

**3) תרגיל 3 – אטום מימן**

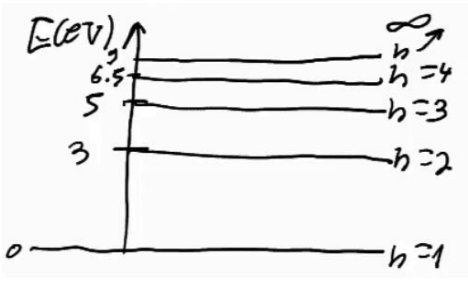
בניסוי נוסף הקרינו גז מימן ברמת היסוד בפוטונים בעלי אורך גל גדול ושווה מ-100 ננומטר, וקטן או שווה מ-400 ננומטר.

א. כיצד ייראה ספקטרום הבליעה של הגז?

ב. כיצד ייראה ספקטרום הפליטה של הגז?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון האנרגטי ביותר?

**4) גזים אחרים – תרגיל 1**




נתונה דיאגרמת רמות האנרגיה של גז מסויים:

א. איזו אינטראקציה תתרחש אם נקרין את הגז בפוטונים בעלי אנרגיה של 6 אלקטרון וולט?

ב. איזו אינטראקציה תתרחש אם נאיץ אל הגז אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 6 אלקטרון וולט?

ג. במידה ותתרחש אינטראקציה עם הגז, תאר מה יקרה לאחר מכן.

**5) גזים אחרים – תרגיל 2**

מעבירים דרך גז לא ידוע אור בטווח אורכי גל של: $180\text{nm} \le \lambda \le 700\text{nm}$.

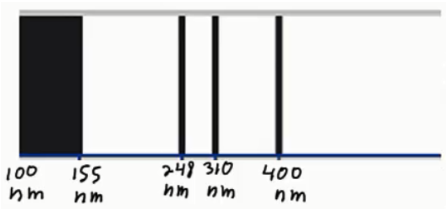
מקבלים ספקטרום בליעה בו חסרים 3 אורכי גל: $\lambda_1 = 620\text{nm}$ , $\lambda_2 = 400\text{nm}$ , $\lambda_3 = 248\text{nm}$.

א. חשבו ושרטטו את דיאגרמת רמות האנרגיה של גז זה.

ב. כמה קווים ספקטרליים יהיו בספקטרום הפליטה במצב המתואר למעלה?

ג. מאיצים אלקטרונים במתח של 5.5 וולט ולאחר מכן מכוונים אותם לתוך גז זה שנמצא מחדש ברמת היסוד.
עם איזה אנרגיה קינטית יכולים האלקטרונים החופשיים להמשיך לאחר מעברם בגז?

**6) גזים אחרים – תרגיל 3**




בניסוי מסוים הוקרן גז לא ידוע באור בספקטרום רציף בתחום אורכי הגל של: $100\text{nm} \le \lambda \le 500\text{nm}$.
ספקטרום הבליעה של הגז כולל 3 קווים דקים חשוכים, ותחום רציף חשוך כמתואר בתרשים.

א. חשבו את הפרשי האנרגיה של 3 הרמות המעוררות האפשריות לחישוב ביחס לרמת היסוד.

ב. ענו על הסעיפים הבאים:

i. הסבירו מדוע קיימת בליעה רציפה - $\lambda \le 155\text{nm}$.

ii. חשבו את האנרגיה הדרושה ליינון אטום זה.

ג. שרטטו דיאגרמת רמות אנרגיה לאטום. בחרו את אנרגיית רמת היסוד כרצונכם.

ד. חשבו את אורכי הגל הנפלטים באטום זה.

ה. מה המהירות המקסימלית של אלקטרון שייפלט מאטום זה?

**7) אטומים דמויי מימן – תרגיל**

א. שרטטו את 5 רמות האנרגיה הראשונות של הליום דמוי מימן + רמת היינון.

ב. מאיצים אלקטרונים חופשיים במתח של 50 וולט ואז יורים אותם לתוך גז זה.

i. עד איזה רמה יעוררו האלקטרונים הקשורים?

ii. עם איזה אנרגיה קינטית יכולים לצאת האלקטרונים החופשיים?

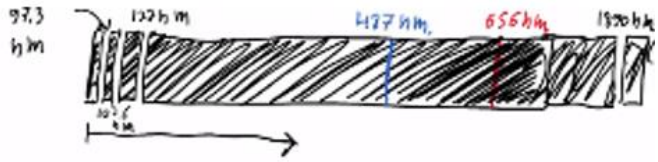
ג. כמה קווי פליטה יהיו בספקטרום הפליטה של הליום זה, ומה אורכי הגל שלהם?

ד. מאירים על גז זה בפוטונים בעלי אורך גל 62 ננומטר. תארו מה יקרה.

## תשובות סופיות:

**1)** ראה סרטון.

**2)** א. 6 קווים בספקטרום הפליטה.



ב. **1.** $E_k = 13eV$ - לא תהיה מסירה.

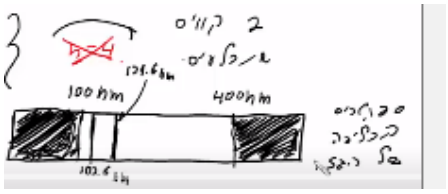
**2.** מסירה של $10.2eV$ $\leftarrow$ : $2 \leftarrow 1$ . $E_k = 2.8eV$ .

**3.** מסירה של $12.09eV$ $\leftarrow$ : $3 \leftarrow 1$ . $E_k = 0.91eV$ .

**4.** מסירה של $12.75eV$ $\leftarrow$ : $4 \leftarrow 1$ . $E_k = 0.25eV$ .

ג. $7.93 \cdot 10^{-10}\ m$

**3)** א.

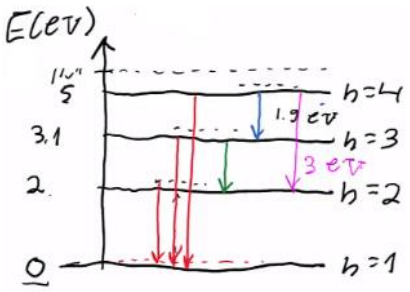


ב. ראה סרטון.

ג. $2.42 \cdot 10^{-19}\ J$

**4)** ראה סרטון.

**5)** א. $E_1 = 2eV$ , $E_2 = 3.1eV$ , $E_3 = 5eV$ .



ב. 6 קווים בספקטרום הפליטה.

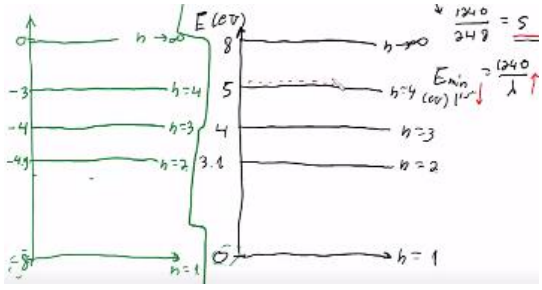
ג. ראה סרטון.

**6)** א. $\Delta E_{1\to2} = 3.1eV$ , $\Delta E_{1\to3} = 4eV$ , $\Delta E_{1\to4} = 5eV$

ב.i. ראה סרטון.

ב.ii. $8eV$ .

ג.

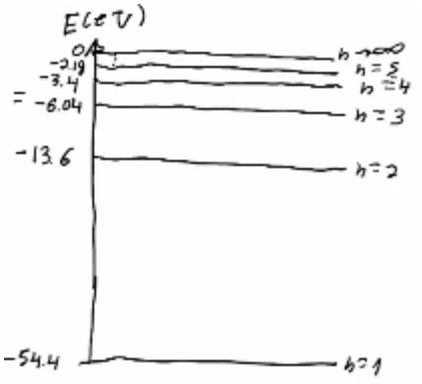


ד. $\lambda_{1_{4\to3}} = 1240nm$ , $\lambda_{2_{4\to2}} = 653nm$ , $\lambda_{3_{4\to1}} = 248nm$ , $\lambda_{4_{3\to2}} = 1378nm$ ,

$\lambda_{5_{3\to1}} = 310nm$ , $\lambda_{6_{2\to1}} = 400nm$ .

ה. $1.24 \cdot 10^6 \frac{m}{sec}$ .

**7)** א.




ב.i. עירור עד רמה $n=4$.

ii. $E_k=52eV$ , $E_{k_{1\to2}}=11.2eV$, $E_{k_{1\to3}}=3.64eV$, $E_{k_{1\to4}}=1eV$.

ג. 6 קווים ספקטרליים:

$\lambda_1=470nm$ , $\lambda_2=122nm$ , $\lambda_3=24.3nm$ , $\lambda_4=164nm$ , $\lambda_5=25.6nm$ , $\lambda_6=30.4nm$.

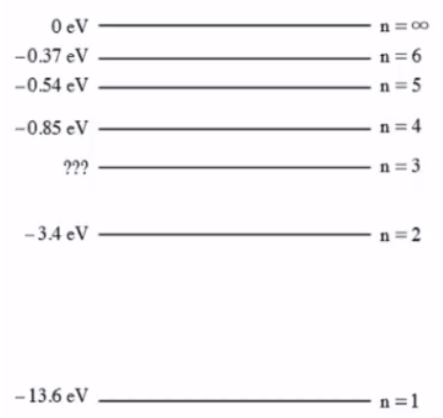
ד. ראה סרטון.

# מודלים של האטום – בגרויות:

## שאלות:

**1) בגרות 2020**

בתרשים שלפניך מתוארות כמה מרמות האנרגיה של אטום המימן:




א. חשב את האנרגיה המתאימה לרמה $n=3$.

פוטון שהאנרגיה שלו: $12.5eV$ פוגע באטום המימן שנמצא ברמת היסוד.

ב. קבע אם הפוטון יכול לעודד את האלקטרון באטום המימן לרמה $n=3$. הסבר את קביעתך.

סדרת בלמר היא סדרה של קווים ספקטרליים הנפלטים מאטום מימן בעקבות ירידה של אלקטרון לרמה $n=2$.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את אורך הגל הארוך ביותר בסדרה זו.

ii. חשב את אורך הגל הקצר ביותר בתחום: $400nm < \lambda < 700nm$ בסדרה זו.

אלומת אלקטרונים שהואצו ממנוחה במתח $12.5V$ חודרת לאזור שבו נמצאים אטומי מימן במצב היסוד שלהם.

ד. במצב זה, חשב את אורכי הגל שיופיעו בספקטרום הקרינה שתיפלט מאטומי המימן.

באטמוספרה של השמש יש אטומי מימן. בגלל הטמפרטורה הגבוהה של השמש קיימים בה אטומי מימן מעוררים.

ה. קבע את אנרגיית היינון של אטום מימן לאלקטרון הנמצא ברמה $n=2$. הסבר את תשובתך.

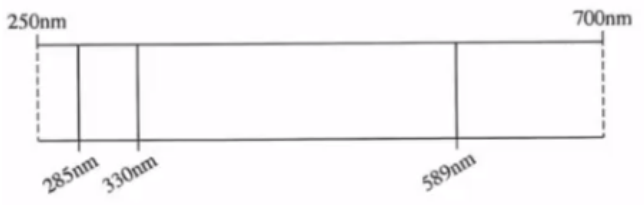
**2) בגרות 2019**

בכמה מן הכבישים בישראל משתמשים לצורך תאורה בנורות נתרן שפולטות אור בצבעי צהוב-כתום. דרך שפופרת, המכילה גז דליל של נתרן, Na , העבירו קרינה מונוכרומטית באורך גל של: 200nm . קרינה זו מיוננת את אטום הנתרן, ונפלט אלקטרון שהאנרגיה הקינטית שלו היא: 1.06eV .

א. הגדר את המושג אנרגיית יינון.

ב. חשב את אנרגיית היינון של הנתרן.

במקרה אחר, העבירו דרך השפופרת קרינה אלקטרומגנטית בתחום: $250\text{nm} < \lambda < 700\text{nm}$ וקיבלו את ספקטרום הבליעה של גז נתרן בתחום זה (ראה תרשים).




ג. סרטט דיאגרמה של רמות האנרגיה של נתרן (כולל רמת היינון) על פי הנתונים בשאלה. פרט את חישוביך.

ד. קבע אם הקו 589nm שנראה בספקטרום הבליעה הוא שחור (בקירוב טוב) או בצבע. נמק את קביעתך.

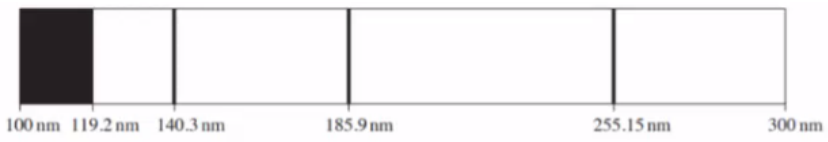
ה. הוסף לדיאגרמה שסרטטת בסעיף ג' חיצים המייצגים את הקווים הספקטרליים של ספקטרום הפליטה.

ו. על פי הנתונים בשאלה, חשב את אורכי הגל של הקרינה הנפלטת מן השפופרת בתחום האור הנראה $(400\text{nm} < \lambda < 700\text{nm})$.

**3) בגרות 2018**

חוקרים ערכו ניסוי למדידת רמות אנרגיה של אטום כספית. לשם כך הם הקרינו קרינה על-סגולה דרך שפופרת המכילה גז דליל של אטומי כספית. כל אטומי הכספית היו ברמת היסוד.

אורכי הגל של הקרינה העל-סגולה שהקרינו היו בתחום: $300\text{nm} - 100\text{nm}$ . באמצעות ספקטרומטר קיבלו החוקרים את ספקטרום הבליעה של אטומי הכספית המוצג בתרשים שלפניך:




ספקטרום הבליעה כולל רצף כהה בתחום: $119.2\text{nm} - 100\text{nm}$ וכן שלושה קווים ספקטרליים בדידים, המתאימים לאורכי הגל: 140.3nm , 185.9nm , 255.15nm .

א. הסבר מדוע בספקטרום הבליעה תמיד מתקבלים קווים כהים.

ב. חשב את אנרגיית היינון של אטומי הכספית.
ג. סרטט במחברתך דיאגרמה של ארבע רמות האנרגיה של אטום הכספית שהתקבלו בניסוי, וחשב את האנרגיה של כל אחת מן הרמות.
פרט את חישוביך.
ד. חשב את המהירות המרבית של האלקטרונים שהשתחררו מאטומי הכספית בניסוי זה.

החוקרים חישבו גם את ספקטרום הפליטה של אטומי הכספית עבור רמות האנרגיה שהתקבלו בניסוי.
ה. ענה על הסעיפים הבאים:
i. הוסף לדיאגרמה שסרטטת בסעיף ג' חיצים שמייצגים את כל הקווים של ספקטרום הפליטה.
ii. חשב את האנרגיה של הפוטונים שנפלטו, שאורכי הגל שלהם בתחום האור הנראה $(700\text{nm}-400\text{nm})$.

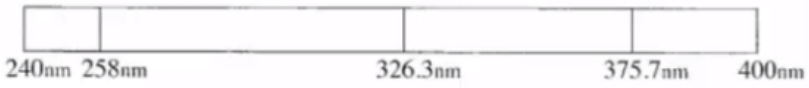
**4) בגרות 2017**

בשנת 1913 פרסם הפיזיקאי נילס בוהר מאמר, ובו הציע מודל של אטום מימן.
מודל זה הוא ההמשך של המודל הפלנטרי שהציע ארנסט רתרפורד.
המודל שהציע בוהר הוא המודל הראשון שנעשה בו שימוש בעקרונות קוונטים.
א. הסבר את המושג "רמת אנרגיה" לפי המודל של בוהר.
ב. סרטט את דיאגרמת רמות האנרגיה של אטום מימן, ובה 4 הרמות הראשונות ורמת היינון.

אלקטרון באטום המימן ירד מרמת אנרגיה $n=4$ לרמה $n=2$.
בתוך כדי ירידתו של האלקטרון נפלט פוטון אחד.
ג. חשב את תדירות הפוטון שנפלט.
ד. חשב את מהירות האלקטרון ברמת האנרגיה $n=2$.
ה. על פי מודל רתרפורד אי אפשר להסביר את ספקטרום הבליעה של המימן.
הסבר מדוע.

**5) בגרות 2016**

תלמידי פיזיקה רצו לבדוק את רמות האנרגיה של אטומים מיסוד מסוים.
לשם כך הכניסו דגימה מהיסוד לתוך מכל, וערכו שני ניסויים זה אחר זה.
הנח שכל האטומים נמצאים ברמת היסוד.
בניסוי הראשון העבירו דרך המיכל קרינה אלקטרומגנטית על-סגולה (UV) בתחום: $240\text{nm} \le \lambda \le 400\text{nm}$. התלמידים בדקו באמצעות ספקטרומטר את הקרינה אחרי שעברה דרך המכל.
בספקטרום שהתקבל לא הופיעו: כל אורכי הגל בתחום: $240\text{nm} \le \lambda \le 258\text{nm}$,
וכן שני אורכי הגל: 326.3nm ו-375.7nm (ראה תרשים).




א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. מהו סוג הספקטרום שנבדק (בליעה או פליטה)? נמק את תשובתך.

ii. הסבר מדוע החלק הרציף של הקרינה העל-סגולה בתחום: $240\text{nm} \le \lambda \le 258\text{nm}$ לא הופיע בספקטרום שהתקבל.

ב. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את אנרגיית היינון של אטום מהדגימה.

ii. חשב את האנרגיה של שתיים מן הרמות המעוררות של אטום זה.

בניסוי השני העבירו דרך המכל אלומת אלקטרונים שהואצו (מחוץ למיכל) במתח $3.1\text{V}$. באלומה שיצאה מן המיכל התגלו אלקטרונים באנרגיות: $0.1\text{eV}$ , $1\text{eV}$ ו- $3.1\text{eV}$.

ג. חשב את האנרגיה של שתי הרמות המעוררות שהתגלו בניסוי השני.

ד. על פי התוצאות של שני הניסויים, סרטט את דיאגרמת רמות האנרגיה של האטום הנבדק, ובה חמש רמות האנרגיה שמצאת.

במקביל בדקו התלמידים באמצעות ספקטרומטר את הקרינה האלקטרומגנטית שנפלטה מהמכל בניסוי השני. הם גילו שהתקבלו שני אורכי גל בתחום הנראה $\left(400\text{nm} \le \lambda \le 700\text{nm}\right)$.

ה. חשב את שני אורכי הגל שהתקבלו בניסוי.

**6) בגרות 2015**

א. ספקטרום הפליטה של אטום המימן הוא בדיד. כיצד אפשר להסביר עובדה זו באמצעות "מודל האטום של בוהר"?

ב. בעזרת "מודל האטום של בוהר" אפשר לחשב את אנרגיית האלקטרון ברמות האנרגיה השונות של אטום המימן. כאשר רמת הייחוס לאנרגיה פוטנציאלית חשמלית נבחרה באין-סוף $\left(U_\infty = 0\right)$, האנרגיה של המערכת גרעין-אלקטרון היא שלילית.
הסבר מהי המשמעות הפיזיקלית של היות האנרגיה שלילית.

ג. קבע איזו מן האפשרויות i-iii היא האפשרות הנכונה להשלמת המשפט שלפניך.
על פי מודל בוהר, כאשר אלקטרון עובר מרמה מעוררת לרמת היסוד:

i. האנרגיה של האטום גדלה.

ii. כוח המשיכה החשמלי הפועל על האלקטרון גדל.

iii. אין שינוי באנרגיית האטום.

נמק את קביעתך.

ד. אלומת פוטונים פוגעת באטום מימן. מצא מהי התוצאה של אינטראקציה בין פוטון מן האלומה ובין אלקטרון הנמצא ברמת היסוד $n=1$, בכל אחת משתי התדירויות:

i. תדירות הפוטון: $f=4\cdot10^{15}\,Hz$.

ii. תדירות הפוטון: $f=2\cdot10^{15}\,Hz$.

ה. שני פוטונים A ו-B נפלטים בעקבות מעבר אלקטרונים בין שתי רמות אנרגיה באטום מימן. פוטון A נפלט במעבר בין הרמות 2 ו-1, ופוטון B נפלט במעבר בין הרמות 3 ו-2.

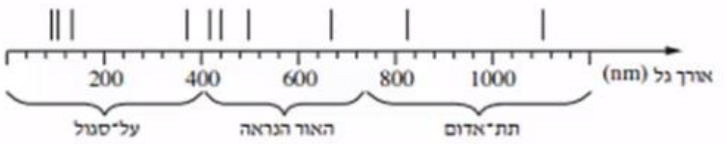
i. האם האנרגיה של פוטון A גדולה מן האנרגיה של פוטון B, קטנה ממנה או שווה לה? הסבר מדוע.

ii. על פי תשובתך על תת-סעיף ה (i), קבע אם אורך הגל של פוטון A גדול מאורך הגל של פוטון B, קטן ממנו או שווה לו.

**7) בגרות 2014**

א. חשב את האנרגיה של ארבע רמות האנרגיה הראשונות של אטום המימן, ואת אנרגיית היינון שלו. פרט את חישוביך, והצג את תוצאות החישוב בדיאגרמת רמות אנרגיה.

כוכב הוא גרם שמיים לוהט, המפיק בליבה שלו קרינה אלקטרומגנטית בתחום רחב ורציף של אורכי גל, ופולט אותה. כאשר הקרינה עוברת דרך אטמוספרת הכוכב נבלעים בה כמה אורכי גל. ניתוח של ספקטרה (לשון רבים של ספקטרום) הקרינות המגיעות מכוכבים לארץ מספק מידע על ההרכב הכימי של אטמוספרות הכוכבים. מתברר שיש אטומי מימן באטמוספרה של רוב הכוכבים.
בתרשים שלפניך מוצג ציר אורכי הגל, ועליו חלק מספקטרום הבליעה של הגז מימן חד-אטומי.




ב. הסבר מדוע בספקטרה של קרינת הכוכבים יש קווי בליעה באורכי גל מסוימים, כפי שמוצג בתרשים.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את אורך הגל שיכול להעביר אטום מימן מרמת היסוד לרמה המעוררת הראשונה.

ii. היעזר בתרשים וקבע לאיזה תחום של הספקטרום שייך אורך גל זה – אור נראה, קרינה על-סגולה או קרינה תת-אדומה.

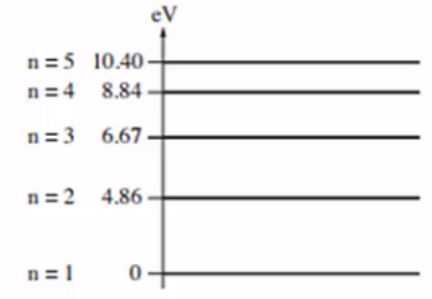
ידוע כי ככל שהטמפרטורה של פני הכוכב גבוהה יותר, כך גדל הסיכוי שאטומי הגז של האטמוספרה שלו יהיו ברמות מעוררות גבוהות יותר.

ד. קו הבליעה הספקטרלי בעל אורך הגל הגדול ביותר בתחום האור הנראה, מתקבל כאשר האלקטרונים יוצאים מהרמה $n=2$.
לאיזו רמה עברו האלקטרונים כשהתקבל קו בליעה זה? נמק.

ה. מדענים מצאו שבספקטרום של כוכב אי אפשר לראות בבת אחת את כל קווי הבליעה המתאימים לאטום המימן.
יש כוכבים שבספקטרה שלהם נראים קווי הבליעה של מימן בתחום התת-אדום בלבד. האם הכוכבים האלה חמים יותר או קרים יותר מכוכבים אחרים, שבספקטרום שלהם מופיעים קווי בליעה בתחום האור הנראה והעל-סגול? נמק את תשובתך.

**8) בגרות 2013**

אדי כספית בלחץ נמוך נתונים בתוך שפופרת. הנח שאטומי הכספית נמצאים ברמת היסוד. דרך השפופרת עוברת אלומה של קרינה אלקטרומגנטית, שאורכי הגל שלה, $\lambda$, נמצאים בתחום הרציף: $170\text{nm} \le \lambda \le 260\text{nm}$.
לפניך דיאגרמה של רמות האנרגיה הראשונות של אטום כספית:




א. חשב את אורכי הגל מהאלומה שנבלעים על ידי אטומי הכספית.
ציין לאיזו רמת אנרגיה עוררה הקרינה את אטומי הכספית, עבור כל אחד מאורכי הגל שמצאת. הזנח את הסיכוי שאטום כספית מעורר יבלע פוטון.

ב. חשב את אורכי הגל של ספקטרום הפליטה המתקבל מאטומי הכספית שבשפופרת, ועבור כל אורך גל ציין בין אילו רמות אנרגיה עבר האטום.

ג. במעבר הקרינה דרך השפופרת, אטומי הכספית פולטים תוך זמן קצר את אורכי הגל שנבלעו. הקרינה שנבלעת נפלטת לכל הכיוונים.
על סמך תיאור זה, הסבר מדוע מופיעים בספקטרום הבליעה קווים כהים.

ד. בדיאגרמה של רמות האנרגיה, כל רמת אנרגיה מאופיינת על ידי ערך מספרי מסוים. (לדוגמה, הרמה המעוררת הראשונה מאופיינת על ידי הערך: $4.86\text{eV}$).
ציין מה הם סוגי האנרגיה שהערך המספרי מתקבל מהם.

**9) בגרות 2012**

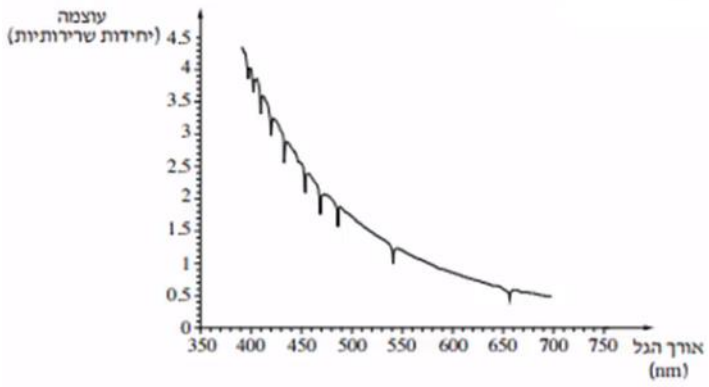
בספקטרום הפליטה של מימן יש רק ארבעה קווים: $H_\alpha$ , $H_\beta$ , $H_\gamma$ ו- $H_\delta$ , בתחום האור הנראה $(400nm < \lambda < 700nm)$. קווים אלה מתקבלים כשאטומי המימן המעוררים חוזרים לרמת האנרגיה $n = 2$ של האטום.

אורך הגל של הקווים: $H_\beta$ , $H_\gamma$ ו- $H_\delta$ הוא: $\lambda_\beta = 487nm$ , $\lambda_\gamma = 435nm$ ו- $\lambda_\delta = 411nm$.

א. הקו $H_\alpha$ מתקבל במעבר של האלקטרון מרמת האנרגיה השלישית לרמת האנרגיה השנייה.
מבין ארבעת הקווים בתחום האור הנראה, קו זה הוא הקו שאורך הגל שלו מרבי.
הסבר עובדה זו בלי לחשב.

ב. חשב את אורך הגל של הקו $H_\alpha$.

באטמוספרה של רוב הכוכבים, שהטמפרטורה שלהם גבוהה מאוד, נמצאים אטומי מימן רבים במצב מעורר.
מודדים את עוצמת הקרינה האלקטרומגנטית הנפלטת מכוכב מסוים לאחר שעברה דרך האטמוספרה שלו.
בגרף שלפניך מתוארת עוצמת הקרינה בתחום האור הנראה (ביחידות שרירותיות), כתלות באורך הגל שלה:




ג. הסבר מדוע מופיעות בגרף ירידות חדות בעוצמת האור באורכי גל מסוימים.

משערים שבאטמוספרה של הכוכב יש מימן.

ד. היעזר בגרף והסבר אם יש הצדקה להשערה זו.

ה. האם ייתכן שבאטמוספרה של הכוכב יש גזים נוספים? הסבר את תשובתך.

**10) בגרות 2011**

כדי ללמוד על תהליכי העירור ועל ספקטרום הפליטה של אטום מימן אפשר להיעזר בסימולציית מחשב הבנויה על פי המודל של בוהר. בסימולציה נתון מכל ובו גז מימן חד-אטומי במצב היסוד.

א. הסימולציה מדמה עירור של אטומי המימן בשתי שיטות: האחת על ידי אלומה של קרינה אלקטרומגנטית, והשנייה על ידי התנגשות של אטומי הגז בחלקיקים שהואצו עוד קודם כניסתם למכל. אטומי המימן עוררו מרמת היסוד לרמה $n=3$.
איזה ערך או אילו ערכים של אנרגיה יכול/יכולים להיות:
   i. לפוטון באלומת הקרינה האלקטרומגנטית? נמק.
   ii. לחלקיק שהתנגש באטום מימן? נמק.

ב. האטומים שעוררו לרמה $n=3$ חוזרים למצב היסוד, והסימולציה מציגה ספקטרום פליטה.
   i. סרטט דיאגרמה של רמות האנרגיה של אטום המימן, שתכלול את רמת היסוד, את שתי הרמות המעוררות הראשונות ואת רמת היינון (סה"כ – ארבע רמות). רשום ליד כל רמה את ערך האנרגיה.
   ii. סמן בדיאגרמה חצים המייצגים את המעברים בין הרמות, שיתאימו לאורכי הגל בספקטרום הפליטה המתקבל.

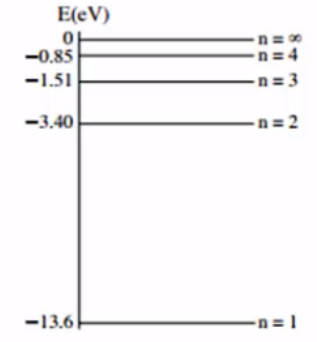
ג. חשב את אורכי הגל בספקטרום פליטה זה.

ד. לפני השימוש בסימולציה התבקשו התלמידים לשער מהו אורך הגל של פוטון שיגרום ליינון של אטומי המימן שבמכל.
לפניך ההשערות שהעלו שלושה תלמידים.
תלמיד A: ליינון אטומי המימן שבמכל יגרום רק פוטון שאורך הגל שלו: $\lambda = 91.18nm$.
תלמיד B: ליינון אטומי המימן שבמכל יגרום כל פוטון שאורך הגל שלו: $\lambda \le 91.18nm$.
תלמיד C: ליינון אטומי המימן שבמכל יגרום כל פוטון שאורך הגל שלו: $\lambda \ge 91.18nm$.
קבע איזו מההשערות של התלמידים היא הנכונה, ונמק את קביעתך.

ה. חשב את האנרגיה הקינטית של האלקטרון באטום המימן כאשר הוא נמצא ברמה $n=3$

**11) בגרות 2010**

מבצעים שני ניסויים עם גז מימן חד-אטומי.
בניסוי הראשון אלומת קרינה אלקטרומגנטית שאורכי הגל שלה בתחום: $200nm-100nm$ עוברת דרך מכל עם גז מימן לא מעורר.
חלק מהקרינה האלקטרומגנטית נבלע.
לפניך דיאגרמה חלקית של רמות האנרגיה של אטום מימן.




א. הקרינה האלקטרומגנטית בתחום הנתון אינה מיוננת אטומי מימן הנמצאים ברמת היסוד. הסבר מדוע.

בתשובותיך לסעיפים ב-ה יש להזניח את בליעת האנרגיה על ידי אטום מימן מעורר.

ב. ענה:
   i. חשב את אורכי הגל של הקרינה שנבלעה.
   ii. העתק את הדיאגרמה למחברתך, וסמן בה חצים שמייצגים מעברים בין הרמות המתאימים לבליעת אורכי הגל שחישבת.

ג. בניסוי השני אלקטרונים מואצים עוברים דרך אותו מכל עם גז מימן לא מעורר.
   i. חשב את המתח המינימלי הדרוש להאצת האלקטרונים ממנוחה, כדי שיוכלו לגרום ליינון של אטומי המימן.
   ii. האם ייתכן שאלקטרון שהואץ במתח שחישבת בתת-סעיף ג (i), יגרום לעירור האטום (ולא ליינון)? נמק.

ד. כאשר אטום מימן בולע קרינה אלקטרומגנטית, האם רדיוס המסלול של האלקטרון גדל, קטן או אינו משתנה? נמק.

ה. אחת ההנחות שעליהן מבוסס מודל בוהר לאטום מימן היא הקשר: $m_e vr = n\frac{h}{2\pi}$. הראה כי הנחה זו של בוהר שקולה להנחה שהיקף המסלול המעגלי של האלקטרון באטום מימן הוא כפולה שלמה של אורך גל דה-ברויי של האלקטרון.

**12) בגרות 2009**

על פי מודל האטום של בוהר, אנרגיה של אלקטרון באטום היא גודל קוונטי.

א. הסבר את משמעות המשפט: "האנרגיה של אלקטרון באטום היא גודל קוונטי".

ב. הסבר בעזרת מודל בוהר את העובדה שספקטרום הפליטה של מימן הוא בדיד (קווי).

ג. סדרת בלמר כוללת קווים ספקטרליים שמתקבלים עבור אטומי מימן כשאלקטרון עובר מרמה $m\ (m>2)$ לרמה $n=2$.
מהו אורך הגל המרבי של קו ספקטרלי מסדרה זו? פרט את חישוביך.

ד. אנרגיית היינון של אטום מימן שווה ל- $13.6eV$.
i. הסבר את המשמעות של קביעה זו.
ii. חשב את האנרגיה הדרושה ליינון אטום מימן מרמה $n=2$.

ה. אלקטרון באטום המימן עובר מרמה $n=2$ לרמה $n=1$. בטבלה שלפניך מוצגות ארבע אפשרויות לשינוי הגודל של האנרגיה הכוללת ושל האנרגיה הקינטית של האלקטרון.
איזו מבין האפשרויות 1-4 נכונה? הסבר את בחירתך.

| אפשרות / אנרגיה | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| **כוללת** | קטנה | גדלה | קטנה | לא משתנה |
| **קינטית** | גדלה | קטנה | קטנה | גדלה |

**13) בגרות 2007**

א. הסבר כיצד ספקטרום הפליטה של מימן תומך במודל האטום של בוהר ואינו תומך במודל האטום של רתרפורד.

ב. חשב את האנרגיה הכוללת של אטום המימן כאשר האלקטרון נמצא במסלול שרדיוסו גדול פי 25 מרדיוס המסלול המתאים לרמת היסוד.

ג. בעקבות בליעת פוטון, עבר אלקטרון של אטום מימן מרמת היסוד לרמה שחישבת בסעיף ב'.
חשב מהי האנרגיה שהייתה לפוטון.

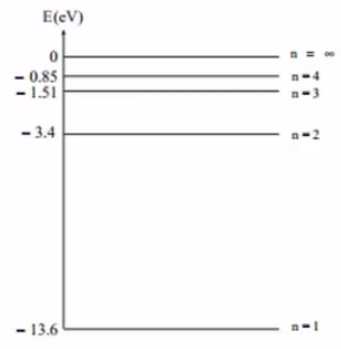
ד. כמה אורכי גל שונים (אינך נדרש לחשב את אורכי הגל) עשויים להיפלט מאטומי גז המימן המעוררים לרמה שחישבת בסעיף ב'?
נמק את תשובתך בעזרת סרטוט.

ה. בשפופרת נמצאים אטומי מימן ברמת היסוד.
מה עשוי לקרות לאטומי המימן, אם דרך השפופרת תעבור אלומת פוטונים, שלכל פוטון בה יש אנרגיה כפולה מהאנרגיה שחישבת בסעיף ג'?

**14) בגרות 2006**

גז של אטומי מימן ברמת היסוד $(n=1)$ נתון בתוך כלי.

ארבע רמות האנרגיה הראשונות של אטומי המימן מתוארות בדיאגרמה שלפניך.




תלמיד מעביר בזו אחר זו אלומות שונות של אלקטרונים דרך הגז, כמתואר בסעיפים א'-ג'.

א. לכל אלקטרון באלומה אנרגיה של 11eV.
האם אלקטרונים אלה יכולים לעורר את אטומי המימן שבכלי?
אם לא – הסבר מדוע. אם כן – מצא את האנרגיה של אלקטרון מהאלומה לאחר שהוא גורם לעירור.

ב. ערכי האנרגיה של האלקטרונים באלומה נמצאים בין 10eV ל-12.5eV.
כמה קווים ספקטרליים יהיו בספקטרום של האור הנפלט מאטומי המימן?
הסבר את תשובתך בעזרת דיאגרמת רמות האנרגיה: העתק למחברתך את הדיאגרמה, וסמן בה חצים להצגת המעברים.

ג. לכל אלקטרון באלומה אנרגיה של: 15eV.
האם אלקטרונים אלה יכולים ליינן את אטומי המימן שבכלי?
אם לא – הסבר מדוע. אם כן – מצא איזה ערך או אילו ערכים של אנרגיה יכול/יכולים להיות, לאחר היינון, לאלקטרונים שגרמו ליינון.

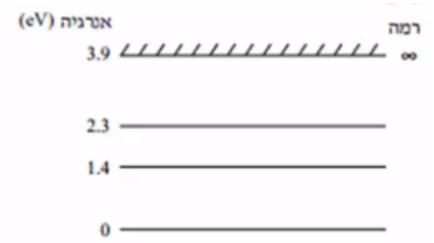
תלמיד אחר מעביר בזו אחר זו אלומות שונות של פוטונים דרך הגז, כמתואר בסעיפים ד-ה.

ד. לכל פוטון באלומה אנרגיה של: 11eV.
האם פוטונים אלה יכולים לעורר את אטומי המימן שבכלי? הסבר.

ה. ערכי האנרגיה של הפוטונים באלומה נמצאים בין 10eV ל-12.5eV.
כמה קווים ספקטרליים מופיעים בספקטרום הבליעה?
הסבר את תשובתך בעזרת דיאגרמת רמות האנרגיה: העתק למחברתך את הדיאגרמה, וסמן בה חצים להצגת המעברים.

**15) בגרות 2005**

נתונה שפופרת של אדי צזיום בטמפרטורה גבוהה.
התרשים שלפניך מציג חלק מרמות האנרגיה של אטום צזיום.
הנח כי כל מעברי האנרגיה בין רמות אלה מותרים.




א. חלק מאטומי הצזיום בשפופרת נמצאים ברמת היסוד, והשאר ברמה המעוררת הראשונה, ולכן נפלטת מהשפופרת קרינה אלקטרומגנטית מונוכרומטית. חשב את אורך הגל של קרינה זו.

אלומה של אלקטרונים שהאנרגיה שלהם היא: $2.4\cdot10^{-19}\,J$ עוברת דרך השפופרת, וחלק מהאלקטרונים מתנגשים באטומי הצזיום.

ב. חשב את אורכי הגל של כל קווי ספקטרום הפליטה היכולים להתקבל מאטומי הצזיום שבשפופרת.

ג. במקום אלומת האלקטרונים מעבירים בשפופרת אלומת פוטונים שהאנרגיה שלהם היא: $0.9eV$.
מה הם אורכי הגל של כל קווי הספקטרום שיתקבלו כעת מאטומי הצזיום שבשפופרת?

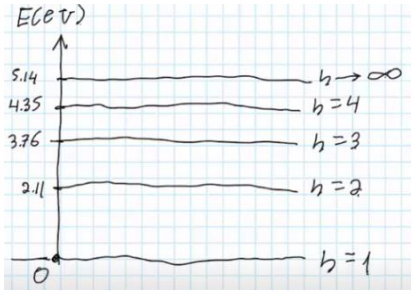
## תשובות סופיות:

**1)** א. $E_{n=3}=-1.51eV$ . ב. לא. ג.i. $\lambda=656.1nm$ . ii. $\lambda_{6\to2}=409.2nm$ .

ד. $\lambda_{3\to2}=656.1nm$ , $\lambda_{3\to1}=102.6nm$, $\lambda_{2\to1}=121.6nm$ . ה. $\Delta E=3.4eV$ .

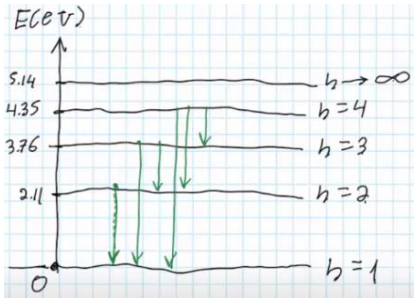
**2)** א. האנרגיה שיש להשקיע כדי לעקור אלקטרון מהאטום של החומר.

ב. $E=5.14eV$ . ג.




ד. שחור בקירוב.

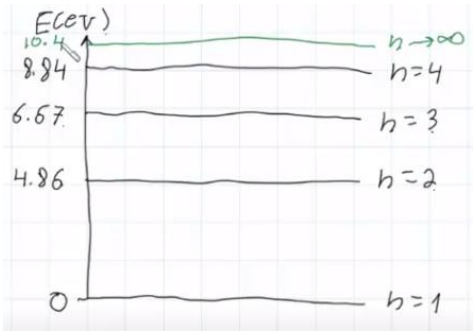
ה.




ו. $\lambda_1=588nm$ , $\lambda_2=554nm$ .

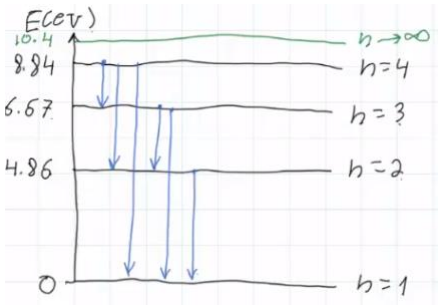
**3)** א. ראה סרטון. ב. $E=10.4eV$ .

ג.




ד. $V=8.39\cdot10^5\frac{m}{sec}$ .

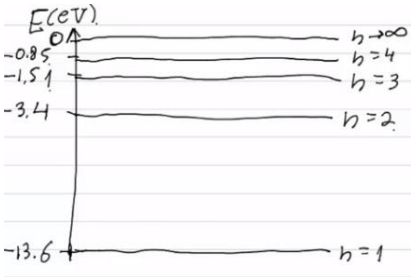
ה.i.




ii. $E_{3\to2}=1.81eV$ , $E_{4\to3}=2.17eV$ .

**4)** א. ראה סרטון.

ב.



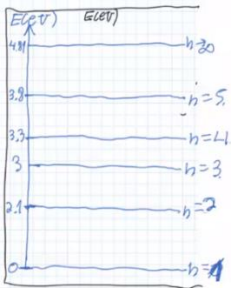

ג. $f=6.15\cdot10^{14}Hz$ .

ד. $V=1.095\cdot10^6\frac{m}{sec}$ . ה. ראה סרטון.

**5)** א.i. בליעה. ii. ראה סרטון. ב.i. $4.81eV$.

ii. $E_3 = 3.8eV$ , $E_2 = 3.3eV$.

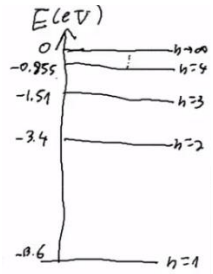
ג. $\Delta E_1 = -2.1eV$ , $\Delta E_{0.1} = -3eV$.

ד. 

ה. $\lambda_2 = 590.5nm$ , $\lambda_1 = 413.3nm$.

**6)** א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. ii. ד. ראה סרטון.

ה.i. $E_A > E_B$. ii. $\lambda_A < \lambda_B$.

**7)** א.  ב. ראה סרטון. ג.i. $\lambda = 121.6nm$. ii. קרינה על-סגולה.

ד. $n = 3$. ה. חמים יותר.

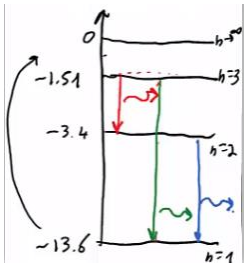
**8)** א. $2 \leftarrow 1$ : $\lambda = 255nm$ , $E_{ph} = 4.86eV$ , $3 \leftarrow 1$ : $\lambda = 186nm$ , $E_{ph} = 6.67eV$.

ב. $2 \leftarrow 3$ : $\lambda = 685nm$ , $1 \leftarrow 3$ : $\lambda = 186nm$ , $1 \leftarrow 2$ : $\lambda = 255nm$.

ג. ראה סרטון. ד. ראה סרטון.

**9)** א. ראה סרטון. ב. $\lambda_{3\to2} = 656nm$. ג. ראה סרטון. ד. כן.

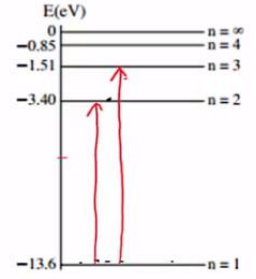
ה. כן, הליום.

**10)** א.i. $E_{ph} = 12.09eV$. ii. $12.75eV \geq E_e \geq 12.09eV$. ב. 

ג. $\lambda_{2\to1} = 121.6nm$ , $\lambda_{3\to2} = 656nm$ , $\lambda_{3\to1} = 102.6nm$.

ד. ההשערה של תלמיד B. ה. $E_k = 1.51eV$.

**11)** א. ראה סרטון. ב.i. $\lambda_{1\to3} = 102.6nm$ , $\lambda_{1\to2} = 121.6nm$.

ii. 

ג.i. $V_{min} = 13.6volt$. ii. כן. ד. גדל.

ה. הוכחה.

**12)** א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. $\lambda_{3\to2}=656nm$. ד. i. ראה סרטון.

ii. $E=3.4eV$. ה. אפשרות 1.

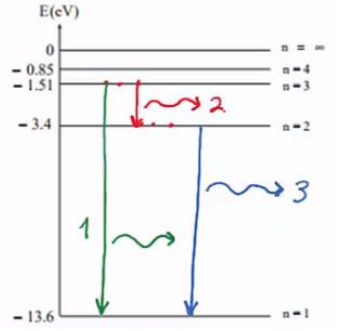
**13)** א. ראה סרטון. ב. $E_g=-0.544eV$. ג. $E_{ph}=13.06eV$. ד. 10 קווים.

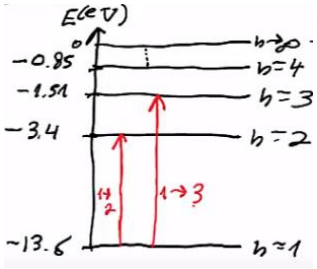
ה. ראה סרטון.

**14)** א. כן, $E=0.8eV$. ב. 3 קווי פליטה שונים,

ג. כן, $0\le E_k\le 1.4eV$. ד. לא.

ה. 2 קווים ספקטרליים,




**15)** א. $\lambda=886nm$. ב. $\lambda_{3\to2}=1378nm$, $\lambda_{3\to1}=539nm$, $\lambda_{2\to1}=886nm$.

ג. כמו סעיף ב'.

פרק 23

# גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות

הגרעין- הסבר ..... 71
אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים ..... 76
רדיואקטיביות ..... 77
תגובות גרעיניות ..... 80
גרעין- בגרויות ..... 81

# אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים

## שאלות

**1)** חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

**2)** מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

## תשובות סופיות

**1)** $\Delta E = 39.2\,\text{MeV}$

**2)** $E = 7.684$

# רדיואקטיביות

## שאלות

**1) תרגיל 1**

תוריום 228 מתפרק התפרקות אלפא ונוצר גרעין בת של רדיום 224.

א. השלם את משוואת התהליך: $^{228}_{90}Th \rightarrow ^{?}_{?}Ra + ?$.

ב. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית האפשרית שתהיה לתוצר החסר.

נתון שמסתו האטומית של תוריום 228 היא $228.0287411u$,
ומסתו האטומית של רדיום 224 היא $224.020186u$.

ג. הסבר מדוע כמעט בכל המקרים האנרגיה הקינטית של התוצר השני תהיה קטנה מהערך שחישבת בסעיף ב.

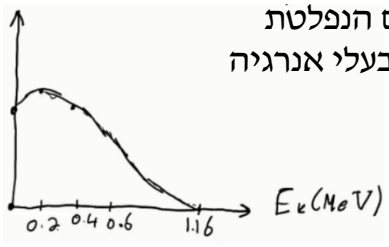
**2) תרגיל 2**

עורכים ניסוי עם חומר רדיואקטיבי בשם ביסמוט $\left(^{210}_{83}Bi\right)$.

נמצא, שחומר זה מתפרק התפרקות בטא מינוס לחומר לא-ידוע בשם פולוניום $(Po)$.

א. כתוב את משוואת ההתפרקות.

ב. בניסוי המשך עם חומר זה מודדים את מהירות החלקיקים הנפלטת מהגרעין, ומשרטטים גרף של מספר החלקיקים הנפלטים בעלי אנרגיה קינטית מסוימת, כתלות באנרגיה קינטית זו.
התקבל הגרף הבא:




נתון שמסתו האטומית של ביסמוט זה היא $209.98412u$,
ושמסתו האטומית של פולוניום זה היא $209.98287u$.

i. הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.

ii. הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

**3) תרגיל 3**

נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל $10^{10}$ גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.

א. כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?

ב. כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?

ג. כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?

ד. מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

**4) תרגיל 4**

נתון מדגם של נתרן 24 $\left(^{24}_{11}\mathrm{Na}\right)$ שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום $\left(\mathrm{Mg}\right)$.

מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא $23.990962u$.

זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

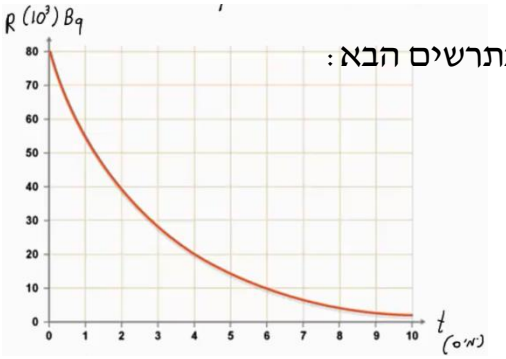
א. כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.

ב. מה פעילות מדגם זה ברגע $t=0$?

ג. מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?

ד. כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

**5) תרגיל 5**




חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:

א. מהו זמן מחצית החיים של החומר?

ב. מתי תהיה פעילותו $10^4$ בקרל?

ג. מה תהיה פעילותו ברגע $t=17\ \mathrm{days}$?

ד. הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך, כתלות בזמן.

**6) תרגיל 6**

אורניום 235 $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.

אותו $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת $\left(^{207}_{82}\mathrm{Pb}\right)$.

ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

**7) תרגיל 7**

פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.

א. i. מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?

ii. לפני 11,472 שנה?

ב. פעילותה של עריכת חומר (1 ק״ג) שנחפרה באפריקה נמדדה, ונמצא כי היא שווה ל-160 בקרל.
מתי הפסיק לתפקד חומר זה?

ג. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני שבוע?

ד. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני 65 מיליון שנה?

## תשובות סופיות

**1)** א. $^{228}_{90}\mathrm{Th}\rightarrow^{224}_{88}\mathrm{Ra}+^{4}_{2}\mathrm{He}$ ב. $Ev_{max}=-5.55\,\mathrm{MeV}$ ג. $Ev_{max}<-5.55\,\mathrm{MeV}$

**2)** א. $^{210}_{83}Bi\rightarrow^{210}_{84}Po+^{0}_{-1}e+\bar{V}$ ב. הסברים בסרטון.

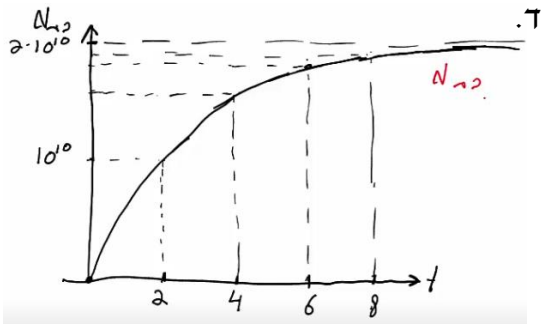
**3)** א. $5\cdot10^{9}$ ב. $8.75\cdot10^{9}$ ג. $8.25\cdot10^{8}$ ד. $2645\mathrm{Bq}$

**4)** א. $^{24}_{1}\mathrm{Na}\rightarrow^{24}_{12}\mathrm{Mg}+^{0}_{-1}e+\bar{V}$ ב. $6.43\cdot10^{17}\,\mathrm{Bq}$ ג. $1.61\cdot10^{17}\,\mathrm{Bq}$

ד. $4.3\cdot10^{22}$

**5)** א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. $221\mathrm{Bq}$

ד.




**6)** א. $^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ ב. 7 התפרקויות אלפא ו-4 בטא.

**7)** א1. $115.5\mathrm{Bq}$ א2. $57.75\mathrm{Bq}$ ב. לפני 3,031 שנה בערך.

ג. אי אפשר לדעת. ד. $R\rightarrow0$

# תגובות גרעיניות

## שאלות

**1) תרגיל 1**

יורים על גרעין $^{27}_{13}\mathrm{Al}$ , שמסתו האטומית $26.981538\mathrm{u}$ , גרעין הליום.

בתגובה נוצר גרעין לא ידוע, שמסתו $29.9783138\mathrm{u}$ , וחלקיק נוסף – נויטרון.

א. כתוב את משוואת התגובה הגרעינית, והשלם את המספרים לגרעין הלא-ידוע שסימונו $\mathrm{P}$ .

ב. כמה אנרגיה מינימלית יש לתת לחלקיק האלפא בתגובה, כדי שתתרחש תגובה זו?

ג. נותנים לו אנרגיה כפולה מהאנרגיה שחישבנו בסעיף ב.
לאן תלך אנרגיה זו לאחר התגובה?

**2) תרגיל 2**

נתונה התגובה הבאה: $^{2}_{1}\mathrm{H}+^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{3}_{2}\mathrm{H}+?$ .

א. השלם את התגובה.

ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטוריום $\left(^{2}_{1}\mathrm{H}\right)$ היא $1.11226\,\mathrm{MeV}$,
ולהליום 3 $\left(^{3}_{2}\mathrm{H}\right)$ היא $2.5727\,\mathrm{MeV}$ .
מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

## תשובות סופיות

**1)** א. $^{27}_{13}\mathrm{Al}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{30}_{15}\mathrm{P}+^{1}_{0}\mathrm{h}$ ב. $\Delta E=2.65\,\mathrm{MeV}$

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.

**2)** א. $^{2}_{1}\mathrm{H}+^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{3}_{2}\mathrm{H}+^{1}_{0}\mathrm{n}$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).

# אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים:

## שאלות:

1) **תרגיל 1**
חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

2) **תרגיל 2**
מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

## תשובות סופיות:

1) $\Delta E = 39.2\,MeV$

2) $E = 7.684$

# רדיואקטיביות:

## שאלות:

**1) תרגיל 1**

תוריום 228 מתפרק התפרקות אלפא ונוצר גרעין בת של רדיום 224.

א. השלם את משוואת התהליך: $^{228}_{90}Th \rightarrow ^{?}_{?}Ra + ?$.

ב. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית האפשרית שתהיה לתוצר החסר.

נתון שמסתו האטומית של תוריום 228 היא: $228.0287411u$, ומסתו האטומית של רדיום 224 היא: $224.020186u$.

ג. הסבר מדוע כמעט בכל המקרים האנרגיה הקינטית של התוצר השני תהיה קטנה מהערך שחישבת בסעיף ב'?

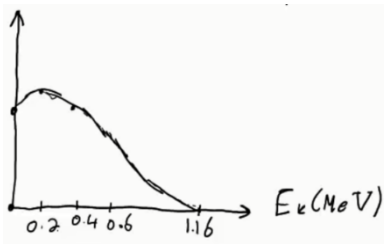
**2) תרגיל 2**

עורכים ניסוי עם חומר רדיואקטיבי בשם ביסמוט $\left(^{210}_{83}Bi\right)$.

נמצא, שחומר זה מתפרק התפרקות בטא מינוס לחומר לא-ידוע בשם פולוניום $(Po)$.

א. כתוב את משוואת ההתפרקות.

ב. בניסוי המשך עם חומר זה מודדים את מהירות החלקיקים הנפלטת מהגרעין, ומשרטטים גרף של מספר החלקיקים הנפלטים בעלי אנרגיה קינטית מסוימת, כתלות באנרגיה קינטית זו.
התקבל הגרף הבא:




נתון שמסתו האטומית של ביסמוט זה היא: $209.98412u$, ושמסתו האטומית של פולוניום זה היא: $209.98287u$.

i. הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.

ii. הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

**3) תרגיל 3**

נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל $10^{10}$ גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.

א. כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?

ב. כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?

ג. כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?

ד. מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

**4) תרגיל 4**

נתון מדגם של נתרן 24 $\left(^{24}_{11}\mathrm{Na}\right)$ שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום $\left(\mathrm{Mg}\right)$.

מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא: $23.990962\mathrm{u}$.

זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

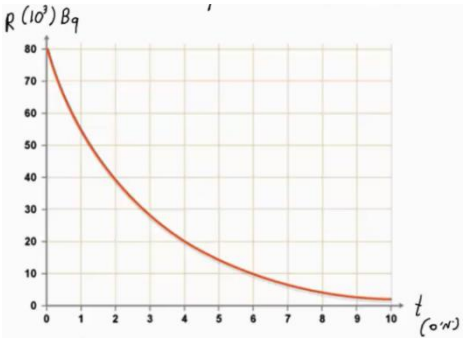
א. כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.

ב. מה פעילות מדגם זה ברגע $t=0$?

ג. מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?

ד. כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

**5) תרגיל 5**




חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:

א. מהו זמן מחצית החיים של החומר?

ב. מתי תהיה פעילותו $10^4$ בקרל?

ג. מה תהיה פעילותו ברגע $t=17\ \mathrm{days}$?

ד. הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך, כתלות בזמן.

**6) תרגיל 6**

אורניום 235 $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.

אותו $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת $\left(^{207}_{82}\mathrm{Pb}\right)$.

ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

**7) תרגיל 7**

פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?

ii. לפני 11,472 שנה?

ב. פעילותה של ערימת חומר (1 ק״ג) שנחפרה באפריקה נמדדה, ונמצא כי היא שווה ל-160 בקרל.
מתי הפסיק לתפקד חומר זה?

ג. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני שבוע?

ד. מה תהיה פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני 65 מיליון שנה?

## תשובות סופיות:

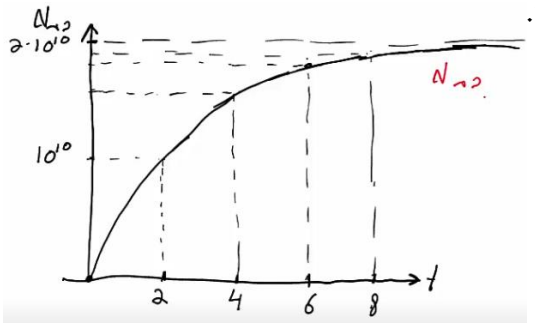
**1)** א. ${}^{228}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{224}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ ב. $Ev_{max} = -5.55\,MeV$ ג. $Ev_{max} < -5.55\,MeV$

**2)** א. ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\mathrm{Po} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu}$ ב. הסברים בסרטון.

**3)** א. $5\cdot10^{9}$ ב. $8.75\cdot10^{9}$ ג. $8.25\cdot10^{8}$
ד. 2645Bq

**4)** א. ${}^{24}_{1}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu}$ ב. $6.43\cdot10^{17}\,Bq$ ג. $1.61\cdot10^{17}\,Bq$
ד. $4.3\cdot10^{22}$

**5)** א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. 221Bq
ד.




**6)** א. ${}^{223}_{88}\mathrm{Ra}$ ב. 7 התפרקויות אלפא ו-4 בטא.

**7)** א.i. 115.5Bq א.ii. 57.75Bq ב. לפני 3,031 שנה בערך.
ג. אי אפשר לדעת. ד. $R \rightarrow 0$

# תגובות גרעיניות:

## שאלות:

**1) תרגיל 1**

יורים על גרעין $^{27}_{13}Al$, שמסתו האטומית: $26.981538u$, גרעין הליום.

בתגובה נוצר גרעין לא ידוע, שמסתו: $29.9783138u$, וחלקיק נוסף – נויטרון.

א. כתוב את משוואת התגובה הגרעינית, והשלם את המספרים לגרעין הלא-ידוע שסימונו $P$.

ב. כמה אנרגיה מינימלית יש לתת לחלקיק האלפא בתגובה, כדי שתתרחש תגובה זו?

ג. נותנים לו אנרגיה כפולה מהאנרגיה שחישבנו בסעיף ב'.
לאן תלך אנרגיה זו לאחר התגובה?

**2) תרגיל 2**

נתונה התגובה הבאה: $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+?$.

א. השלם את התגובה.

ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטוריום $\left(^{2}_{1}H\right)$ היא: $1.11226\,MeV$,

ולהליום 3 $\left(^{3}_{2}H\right)$ היא: $2.5727\,MeV$.

מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

## תשובות סופיות:

**1)** א. $^{27}_{13}Al+^{4}_{2}He\rightarrow^{30}_{15}P+^{1}_{0}h$ ב. $\Delta E=2.65\,MeV$

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.

**2)** א. $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+^{1}_{0}n$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).

# גרעין – בגרויות:

## שאלות:

**1) בגרות 2020**

בבקעת תמנע ליד אילת, סמוך למכרות נחושת עתיקים, נמצאו לאחרונה ערמות פסולת מימי הפקתה של הנחושת. מדידות הפעילות של פחמן רדיואקטיבי, $^{14}C$, בפיסת עץ שנמצאה בערמות הפסולת אפשרו לקבוע באיזו תקופה היסטורית המכרות היו פעילים, כך הוכח, מעל לכל ספק, שמכרות הנחושת האלה פעלו בימיו של שלמה המלך.

שאלה זו עוסקת בקביעת גיל של פיסת עץ בעזרת האיזוטופ הרדיואקטיבי של פחמן $^{14}C$.

האיזוטופ $^{14}C$ נוצר באטמוספרה, משוואת ההיווצרות היא: $^{14}_{7}N+^{1}_{0}n\rightarrow^{14}C+^{1}_{1}p$.

א. הסתמך על משוואת היווצרותו של $^{14}C$ באטמוספרה, וקבע מהו מספר הפרוטונים ומהו מספר הניטרונים בגרעין של $^{14}C$. הסבר את קביעותיך.

$^{14}C$ מתפרק התפרקות רדיואקטיבית ל-$^{14}N$.

ב. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את משוואת ההתפרקות הרדיואקטיבית של $^{14}C$, וציין את סוג הקרינה הנפלטת.

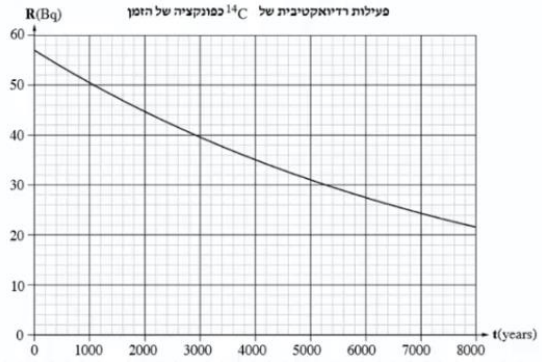
ii. מהו חוק השימור שהסתמכת עליו כדי לקבוע את סוג הקרינה הנפלטת בהתפרקות רדיואקטיבית זו?

אחוז הפחמן הרדיואקטיבי, $^{14}C$, בכל יצור נשאר קבוע כל עוד הוא חי.

כאשר היצור מת, $^{14}C$ מתחיל להתפרק התפרקות רדיואקטיבית. מדענים מדדו את הפעילות של $^{14}C$ בזמן $t=0$ בפיסת עץ שנלקחה מעץ חי, באותה מסה ומאותו סוג עץ כמו פיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת, ומצאו כי: $R(0)=57Bq$.

נתון: זמן מחצית החיים של $^{14}C$ הוא: $T_{\frac{1}{2}}=5730_{years}$.

לפניך גרף הפעילות הרדיואקטיבית, R, של $^{14}C$ כפונקציה של הזמן, $t$.



המדענים מדדו את הגיל של פיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת בבקעת תמנע בשתי שיטות שרמת הדיוק שלהן שונה. בשיטה הראשונה הם מדדו בזמן $t_1$ את הפעילות של פיסת עץ שנמצאה בערמת הפסולת בבקעת תמנע ומצאו כי: $R(t_1)=40Bq$.

ג. קבע באמצעות הגרף את הגיל של פיסת העץ על פי השיטה הראשונה. נמק את קביעתך.

בשיטה השנייה, המדויקת יותר, הם מדדו את $N(t_1)$ - מספר גרעיני $^{14}C$ שנשארו בזמן $t_1$ בפיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת, וחשבו את $\Delta N$ - מספר הגרעינים שהתפרקו מתחילת ההתפרקות עד הזמן $t_1$.

המדענים מצאו כי: $\Delta N_{^{14}C}=N(0)-N(t_1)=4.63\cdot10^{12}$.

ד. חשב את קבוע הדעיכה $\lambda$ ביחידות של $\frac{1}{sec}$.

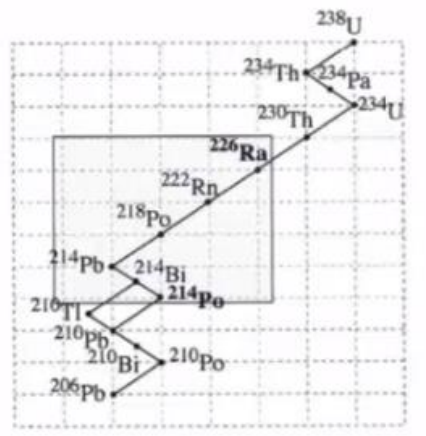
ה. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את הפעילות $R(t_1)$ המתקבלת על פי השיטה השנייה.

ii. קבע את הגיל של פיסת העץ באמצעות הגרף ובאמצעות $R(t_1)$ שחישבת בתת-סעיף i.

**2) בגרות 2019**

היום ידועות ארבע סדרות רדיואקטיביות. שאלה זו עוסקת בסדרת אורניום 238. רדיוס 226 $\left(^{214}_{84}Po\right)$ הם איזוטופים רדיואקטיביים טבעיים השייכים לסדרה זו. פולוניום 214 הוא תוצר בשרשרת ההתפרקויות של רדיום 226 (ראה תרשים).



א. קבע את מספר התפרקויות $\alpha$ ואת מספר התפרקויות $\beta^-$ שמתרחשות בשרשרת ההתפרקויות מרדיום 226 לפולניום 214. הסבר את קביעותיך.

באחד השלבים של השרשרת המתוארת נוצר האיזוטופ הרדיואקטיבי רדון 222 $\left(^{222}_{86}\mathrm{Rn}\right)$.
בשל הנזק שגז הרדון גורם לבריאות כשהוא מצטבר במקומות סגורים (כגון מרתפים ומקלטים), הוא מעורר עניין מדעי וטכנולוגי רב.

ב. קבע את המספר האטומי ואת מספר המסה של גרעין הבת $Y$ הנוצר מהתפרקותו של רדון 222.

מדידות של מדגם רדון 222 הראו כי הפעילות הרדיואקטיבית שלו פוחתת פי 8 במשך 11,475 ימים.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את זמן מחצית החיים, $T_{\frac{1}{2}}$, של איזוטופ זה.

ii. חשב את קבוע הדעיכה $\lambda$ של איזוטופ זה.

אנרגיות הקשר הגרעיניות של האיזוטופים רדיום 226 ופולוניום 214 הן: $E_{B(Ra)}=1732.62MeV$ , $E_{B(Po)}=1666.02MeV$.

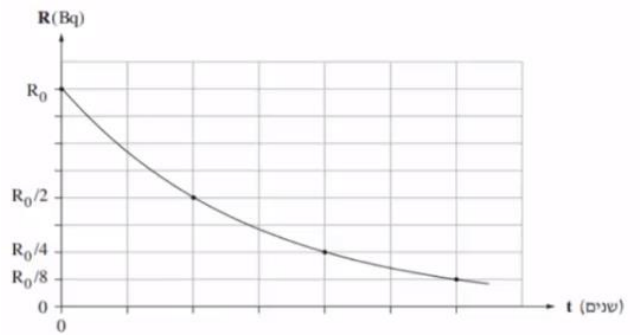
ד. קבע איזה משני האיזוטופים יציב יותר. נמק את קביעתך.

**3) בגרות 2018 שאלה 5**

סטרונציום טבעי הוא יסוד מתכתי יציב שהתגלה בשנת 1790.
האיזוטופ הרדיואקטיבי $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ התגלה במהלך ניסויים גרעיניים שנערכו בשנות הארבעים של המאה ה-20.

א. ציין את המשמעות של המספרים 38 ו-90 המופיעים בסימון $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$.

נערכו שני ניסויים, ניסוי I וניסוי II.
ניסוי I נערך על מדגם של $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ שמסתו 2gr. זמן מחצית החיים של מדגם זה הוא 29 שנים. בגרף שלפניך מוצגת הפעילות R (ב- Bq - התפרקויות לשנייה) כפונקציה של הזמן $t$ (בשנים) עבור מדגם זה.



ב. חשב לאחר כמה זמן ירדה הפעילות ל- $\frac{R_0}{8}$. פרט את חישובך.

ג. חשב (בקירוב) את מספר הגרעינים במדגם ברגע $t=0$ עבור מדגם זה שמסתו $2gr$.

ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את קבוע הדעיכה ביחידה $\frac{1}{sec}$.

ii. חשב את הפעילות $R_0$ (הפעילות ברגע $t=0$).

ניסוי II נערך על מדגם של האיזוטופ $^{90}_{38}Sr$ שמסתו $1gr$.

ה. העתק את הגרף למחברתך, וסמן את העקומה בספרה I.
הוסף למערכת הצירים שבמחברתך את העקומה עבור ניסוי II, וסמן אותה בספרה II.

**4) בגרות 2018 שאלה 4**

נתון הגרעין $^4_2He$ של האיזוטופ הליום 4.

א. מדוע גרעין זה נשאר יציב על אף כוחות הדחייה החשמליים הפועלים בו?

ב. כתוב דוגמה לגרעין שהוא איזוטופ נוסף של הליום (גם אם איזוטופ זה לא באמת קיים במציאות).

ג. נכנה את הגרעין $^4_2He$ "מערכת חלקיקים במצב 1". מפרקים את הגרעין $^4_2He$ עד שכל מרכיביו נמצאים במנוחה במרחק רב אלה מאלה. נכנה את מערכת החלקיקים הזו "מערכת חלקיקים במצב 2".
האם האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 גדולה מזו שבצב 2, קטנה או שווה לה?
העתק למחברתך את התשובה הנכונה מבין התשובות i-iv שלפניך, ונמק את תשובתך:

i. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 גדולה מזו שבמצב 2.

ii. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 שווה לזו שבמצב 2.

iii. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 קטנה מזו שבמצב 2.

iv. אי אפשר לדעת, כי התשובה תלויה במצב שבו בוחרים את רמת האפס של האנרגיה.

נתון כי המסה האטומית של $^4_2He$ היא: $M\left(^4_2He\right)=4.002602u$, מסת אלקטרון היא: $m_e=0.000549u$, מסת פרוטון היא: $m_p=1.007276u$ ומסת ניוטרון היא: $m_n=1.008665u$.

ד. חשב את אנרגיית הקשר הגרעינית של גרעין איזוטופ ההליום $^4_2He$.

ה. נתונים שני גרעינים שונים. כיצד אפשר לקבוע איזה מן הגרעינים יציב יותר?
העתק למחברתך את התשובה הנכונה מבין התשובות i-iv שלפניך.
אין צורך לנמק.

i. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית.
ii. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית חלקי מספר הנוקלאונים.
iii. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית חלקי מספר הפרוטונים.
iv. על פי מספר הנוקלאונים.

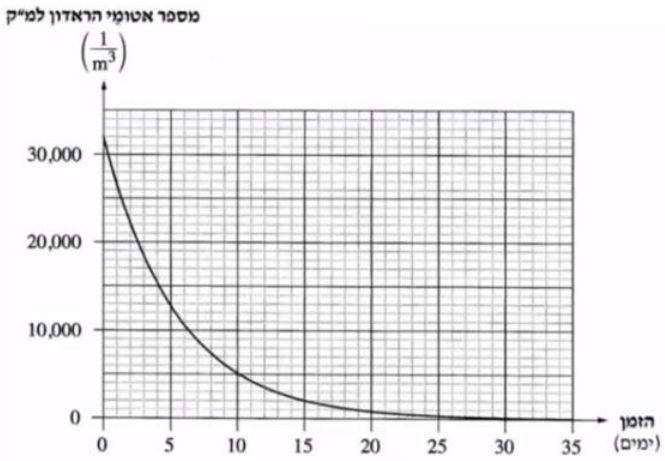
**5) בגרות 2017**

ראדון, $^{222}_{86}Rn$, הוא יסוד רדיואקטיבי טבעי שמקורו בקרקע והוא נמצא בכמויות קטנות גם במים. הראדון מתפרק לפולוניום, $Po$, שגם הוא יסוד רדיואקטיבי, ונפלטת קרינת אלפא.
האנרגיה של קרינת אלפא גבוהה מספיק כדי לגרום לפגיעה במולקולות בגוף האדם, וכך קרינה זו עלולה לגרום נזק לבריאות.
המשרד להגנת הסביבה קבע תקן לרמת האקטיביות (פעילות) המרבית המותרת של ראדון למ"ק (מטר מעוקב) במבני מגורים בישראל: $200\frac{Bq}{m^3}$, $\left(Bq=\frac{1}{sec}\right)$.

א. הסבר את המשמעות הפיזיקלית של המשפט: "רמת האקטיביות המרבית המותרת של הראדון למ"ק במבני מגורים בישראל היא: $200\frac{Bq}{m^3}$".

ב. בהתפרקות של גרעין ראדון לפולוניום נפלט חלקיק אלפא יחיד.
כתוב את המשוואה של התפרקות זו, וציין את מספר המסה ואת המספר האטומי של גרעין הפולוניום.

לפניך גרף של מספר אטומי ראדון למ"ק של דגימת ראדון כפונקציה של הזמן.
בתחילת המדידה מספר אטומי הראדון למ"ק היה: $32,000\frac{1}{m^3}$.



ג. על פי הגרף, קבע בקירוב את זמן מחצית החיים של הראדון. פרט את שיקוליך.
ד. ענה על הסעיפים הבאים:
   i. רשום נוסחה המתארת אקטיביות כפונקציה של זמן.
   ii. חשב כעבור כמה זמן מתחילת המדידה תגיע רמת האקטיביות למ״ק של דגימת הראדון אל התקן שקבע המשרד להגנת הסביבה.

**6) בגרות 2015 שאלה 5**

$^{235}_{92}U$ הוא איזוטופ רדיואקטיבי של אורניום. בתהליך שבו נויטרון איטי פוגע בגרעין $^{235}_{92}U$ הגרעין עשוי להתבקע. אחת האפשרויות לתוצרי ביקוע: איזוטופ של קסנון, $^{140}_{54}Xe$, איזוטופ של סטרונציום $^{93}_{38}Sr$ ונויטרונים אחדים.

א. ענה על הסעיפים הבאים:
   i. רשום את משוואת התהליך, ומצא את מספר הנויטרונים המשתחררים במהלך הביקוע.
   ii. נמק בעזרת אחד מחוקי השימור מדוע לא ייתכן שאחד החלקיקים המשתחררים במהלך ביקוע זה הוא פרוטון.
ב. הגדר מהי ״אנרגיית קשר ממוצעת לנוקלאון בגרעין״.

אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון בגרעין של סטרונציום, $^{93}_{38}Sr$, היא: $8.61MeV$,
ובגרעין של אורניום, $^{235}_{92}U$, היא: $7.59MeV$.

ג. האם אתה מצפה שאנרגיית הקשר לנוקלאון בגרעין של קסנון, $^{140}_{54}Xe$, תהיה גדולה מזו שבאורניום, $^{235}_{92}U$, קטנה ממנה או שווה לה? נמק.
ד. האנרגיה הקינטית הכוללת של התוצרים בתהליך המתואר בפתיח גדולה ב-$178MeV$ מסך כל האנרגיה הקינטית של המגיבים.
חשב את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון באיזוטופ $^{140}_{54}Xe$.

**7) בגרות 2015 שאלה 4**

בלוטת התריס שבגוף האדם מנצלת יוד, I, ליצירת הורמון המשפיע על קצב חילוף החומרים בתאי הגוף. אם קיימים בבלוטה אזורים פגומים – היוד אינו מגיע אליהם.
לצורך אבחון של פגמים בבלוטה על הנבדקים לשתות תמיסה המכילה איזוטופ רדיואקטיבי של יוד, ועל פי הקרינה הנפלטת אפשר לזהות את האזורים הפעילים של הבלוטה.

א. בהכנת היוד הרדיואקטיבי משתמשים באיזוטופ לא יציב של טלור (tellurium), $^{131}_{52}Te$, שפולט קרינת $\beta^-$ והופך לאיזוטופ רדיואקטיבי של יוד.
זמן מחצית החיים של טלור הוא 25 דקות.
כמה פרוטונים וכמה נויטרונים נמצאים בגרעין של האיזוטופ הרדיואקטיבי של היוד שנוצר?

ב. האיזוטופ הרדיואקטיבי של היוד שנוצר מטלור מתפרק ל- $^{131}_{54}\text{Xe}$.
זמן מחצית החיים של איזוטופ היוד הוא 8 ימים.
רשום את המשוואה של התהליך הרדיואקטיבי הזה.

בתחילת התהליך, ברגע $t=0$, היו $2\cdot10^{18}$ גרעיני $^{131}_{52}\text{Te}$.
ברגע מסוים, $t_1$, הפרידו לשתי מבחנות את ה- $^{131}_{52}\text{Te}$ שנותר ואת היוד הרדיואקטיבי שנוצר. ברגע ההפרדה מספר גרעיני הטלור היה שווה למספר גרעיני היוד ($10^{18}$ גרעינים בכל מבחנה).

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. הגדר את המושג "פעילות רדיואקטיבית", $R_{(t)}$, וציין יחידות מתאימות.

ii. לאיזה משני החומרים יש פעילות גדולה יותר ברגע ההפרדה? חשב פי כמה.

ד. הסבר מדוע הזמן $t_1$ ארוך במקצת מזמן מחצית החיים של טלור.

ה. חשב מהו אחוז גרעיני יוד שיישארו במבחנת היוד ומהו אחוז גרעיני טלור שיישארו במבחנת הטלור כעבור יממה (24 שעות) מרגע ההפרדה.

**8) בגרות 2014**

כאשר מפציצים אלומיניום $(\text{A}\ell)$ בחלקיקי $\alpha$, אחת התגובות שיכולה להתרחש בעקבות זאת היא היווצרות של איזוטופ זרחן $(\text{P})$, המלווה בפליטה של נויטרון.
תגובה זו מתוארת במשוואה שלפניך: $^{27}_{13}\text{A}\ell+^{4}_{2}\text{He}\rightarrow^{30}_{15}\text{P}+^{1}_{0}\text{n}$.

א. הראה כי במשוואה זו מתקיימים שימור של מספר הנוקלאונים ושימור של המטען החשמלי.

בשנת 1932 גילה הפיזיקאי האמריקני קארל אנדרסון את הפוזיטרון, שהוא ה"אנטי חלקיק" של האלקטרון. מסת הפוזיטרון שווה למסת האלקטרון, אך המטען החשמלי של הפוזיטרון הוא חיובי, ושווה בגודלו לגודל של מטען האלקטרון.

ב. איזוטופ הזרחן שנזכר בפתיח לשאלה הוא רדיואקטיבי. הוא מתפרק על ידי פליטה של פוזיטרון $^{0}_{+1}\text{e}$, ומתקבל איזוטופ יציב של צורן, Si.

i. הסבר את המושג "רדיואקטיביות".

ii. רשום את המשוואה המייצגת את תגובת הפירוק של איזוטופ הזרחן.

ג. זמן מחצית החיים של איזוטופ הזרחן הוא: 150 sec. חשב איזה חלק מדגימה של איזוטופ הזרחן יישאר ממנה 450 sec לאחר יצירתה.

ד. זמן החיים של פוזיטרון שנוצר בתגובה המתוארת בסעיף ב' הוא קצר. בתגובה שלו עם אלקטרון, הפוזיטרון והאלקטרון מתאיינים (מתחסלים), ונוצרים שני פוטוני גמא בעלי אותה תדירות.

i. הסבר כיצד תגובה זו מתיישבת עם עקרון שימור האנרגיה.

ii. חשב את האנרגיה של כל אחד משני הפוטונים שנוצרים.

**9) בגרות 2013**

רוב הכורים הגרעיניים מבוססים על תהליך הביקוע של גרעיני אורניום 235. בעקבות ההתפרקות של גרעין האורניום נוצרים גרעינים של יסודות אחרים, וכמה ניוטרונים. אחת האפשרויות של התפרקות גרעין האורניום היא היווצרות גרעיני סלניום $(Se)$ וצריום $(Ce)$ (ראה טבלה) ושחרור כמה ניוטרונים.

| הגרעין | $^{235}_{92}U$ | $^{146}_{58}Ce$ | $^{85}_{34}Se$ |
|---|---|---|---|
| **המסה האטומית** $(u)$ | 234.9935 | 145.8782 | 84.9033 |

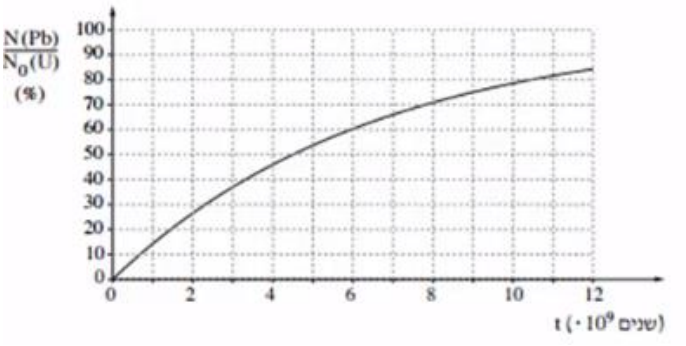
א. כתוב את המשוואה של תהליך ההתפרקות.
ב. מצא כמה אנרגיה משתחררת בתהליך הביקוע של גרעין אורניום אחד.
ג. בתהליך הביקוע חלק מאנרגיית הקשר הגרעינית הופכת לאנרגיה אחרת. הבא שתי דוגמאות לפחות לאנרגיות המתקבלות בתהליך הביקוע.
ד. הגדר "מהי אנרגיית קשר ממוצעת לנוקלאון".
ה. ביקוע גרעיני והיתוך (מיזוג) גרעיני הם שני תהליכים שאנרגיה משתחררת בהם. הסבר את ההבדל בין שני התהליכים, בהסברך התייחס לאנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון.

**10) בגרות 2012**

סדרת האורניום היא סדרה של התפרקויות רדיואקטיביות המתחילה בגרעין $^{238}_{92}U$.

א. הגרעין $^{238}_{92}U$ מתפרק לגרעין תוריום $Th$, תוך כדי פליטת חלקיק $\alpha$.
כתוב את המשוואה של התפרקות זו. ציין בה את מספר המסה ואת המספר האטומי של גרעין התוריום ושל חלקיק $\alpha$.
ב. סדרת האורניום מסתיימת כאשר מתקבל איזוטופ של עופרת $^{206}_{82}Pb$.
חשב את המספר של התפרקויות $\alpha$ ואת המספר של התפרקויות $\beta^-$ בסדרה זו.

בעקבות גילוי הרדיואקטיביות בתחילת המאה הקודמת, הציע רתרפורד לקבוע גיל של קרקע בעזרת ההתפרקות של אורניום 238 לעופרת 206.
במעבדה נבדקה דגימת קרקע. אפשר להניח שבקרקע שנדגמה לא היו אטומי $^{206}_{82}Pb$ בזמן $t=0$ (רגע היווצרות הקרקע), ושהמקור של אטומי $^{206}_{82}Pb$ המצויים בה הוא רק באטומי $^{238}_{92}U$ שהתפרקו.
נסמן: $N(Pb)$ הוא מספר אטומי העופרת ברגע מסוים, $N_0(U)$ הוא מספר אטומי האורניום שהיו בדגימה ברגע $t=0$.
בתרשים שלפניך גרף תאורטי ובו מוצג היחס $\frac{N(Pb)}{N_0(U)}$ כתלות בזמן.




ג. מהו האחוז של אטומי האורניום שהתפרקו לאטומי עופרת במהלך $6\cdot10^9$ השנים שחלפו מהזמן $t=0$? הסבר את תשובתך.

ד. מהו זמן מחצית החיים של $^{238}_{92}U$? הסבר את תשובתך.

ה. בקרקע שנדגמה נמצא שמפר אטומי העופרת הוא $\frac{2}{3}$ ממספר אטומי האורניום. חשב את גיל הקרקע בדגימה על פי נתון זה.

**11) בגרות 2011**

הגרעין $^{107}_{47}Ag$ קולט נויטרון והופך לגרעין חדש, $^{108}_{47}Ag$, שהוא רדיואקטיבי.

הגרעין $^{108}_{47}Ag$ מתפרק ופולט חלקיק $\beta^-$. מתהליך ההתפרקות מתקבל גרעין X.

א. כמה פרוטונים וכמה נויטרונים יש בגרעין $^{107}_{47}Ag$?

ב. האם הגרעין X הוא איזוטופ של היסוד Ag? הסבר.

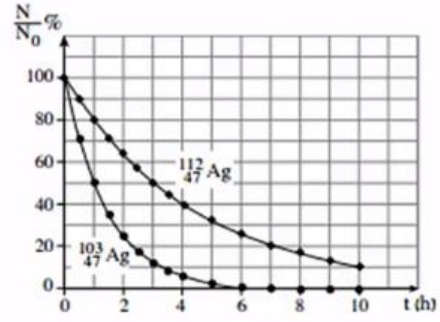
ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את המשוואות של שני התהליכים הגרעיניים המתוארים (קליטת הנויטרון ופליטת החלקיק $\beta^-$).

ii. ציין שני חוקי שימור שהשתמשת בהם בכתיבת המשוואות.

בתרשים שלפניך מוצגים שני גרפים: $\frac{N}{N_0}$ (באחוזים) כפונקציה של זמן, $t$, המתארים את תהליך ההתפרקות של האיזוטופים $^{103}_{47}Ag$ ו-$^{112}_{47}Ag$.

$N_0$ - מספר גרעיני האב ברגע $t=0$, $N$ - מספר גרעיני האב ברגע $t$.



ד. נמצא שברגע $t=3h$, במדגם של איזוטופ $^{103}_{47}Ag$, נשארו $N=4\cdot10^{28}$ גרעיני אב.
חשב את מספר גרעיני האב $N_0$ במדגם זה ברגע $t=0$.

ה. במעבדה הכינו מדגמים של שני איזוטופים: $^{103}_{47}Ag$ ו- $^{112}_{47}Ag$.
פעילות (מספר התפרקויות בשנייה) של שני המדגמים ברגע $t=0$ שווה.
חשב את היחס בין מספר גרעיני האב בשני המדגמים ברגע $t=0$.

**12) בגרות 2009**

בשנת 1934 ערכו בני הזוג אירן קירי ופרדריק ז'וליו ניסוי. הם הטילו אלומה של חלקיקי $\alpha$ על רדיד אלומיניום - $^{27}_{13}A\ell$, והתרחשה תגובה גרעינית שהתקבל בה איזוטופ הזרחן, $^{30}_{15}P$, וחלקיק נוסף.

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את משוואת התהליך הגרעיני שהתרחש בעת הטלת חלקיקי ה- $\alpha$ על רדיד האלומיניום.

ii. ציין מהו החלקיק הנוסף שהתקבל בתגובה הגרעינית.

ב. ציין שני גדלים פיזיקליים שנשמרים בתגובה גרעינית.

ג. מסת האטום של האיזוטופ $^{27}_{13}A\ell$ היא: $M\left(^{27}_{13}A\ell\right)=26.981539u$.

נתון כי:

מסת אלקטרון: $m\left(^{0}_{-1}e\right)=0.000549u$.

מסת נויטרון: $m\left(^{1}_{0}n\right)=1.008665u$.

חשב את אנרגיית הקשר של גרעין $^{27}_{13}A\ell$.

ד. אנרגיית הקשר של גרעין $^{40}_{20}Ca$ היא: $342.073MeV$, ואנרגיית הקשר של גרעין $^{235}_{92}U$ היא: $1,783.963MeV$.
איזה משני גרעינים אלה יציב יותר? נמק.

**13) בגרות 2008**

א. תוצאות ניסוי רתרפורד (פיזור חלקיקי $\alpha$ על ידי עלה זהב) שוללות את מודל מבנה האטום שהציע תומסון (מודל המכונה לעיתים "מודל עוגת הצימוקים").
הסבר מדוע הן שוללות מודל זה.

ב. בהתפרקות רדיואקטיבית גרעין פולוניום $\left(_{84}Po\right)$ מתפרק לגרעין עופרת 214 $\left(^{214}Pb\right)$. גרעין העופרת מתפרק בהתפרקות $\beta^-$ לגרעין ביסמוט $^{214}_{83}Bi$.
רשום את משוואת התגובה הגרעינית שבה גרעין הביסמוט נוצר מגרעין העופרת.
ציין במשוואה גם את המספר האטומי של העופרת.

ג. מהו סוג ההתפרקות הרדיואקטיבית (המתוארת בסעיף ב'), שבעקבותיה גרעין העופרת נוצר מגרעין הפולוניום? רשום את המשוואה של התפרקות זו.
ציין במשוואה גם את מספר המסה של גרעין הפולוניום.

ד. הכינו במעבדה מדגם של איזוטופ עופרת 214. בתום הכנתו מצאו כי פעילות המדגם היא: $30,000Bq$ (כלומר 30,000 התפרקויות בשנייה).
כעבור מחצית השעה מצאו כי פעילות המדגם היא: $13,900Bq$.
i. חשב את זמן מחצית החיים של עופרת 214.
ii. חשב את מספר גרעיני עופרת 214 שהיו במדגם בתום הכנתו (כאשר פעילותו הייתה: $30,000Bq$).

**14) בגרות 2004**

הדויטריום הוא איזוטופ של מימן שגרעינו מורכב מפרוטון וניוטרון.
גרעין הדויטריום נקרא דויטרון.
א. הראה, בעזרת נתונים מהנספח, כי מסת הדויטרון שווה ל- $2.013552u$.
(הזנח את אנרגיית הקשר בין האלקטרון לגרעין).
ב. חשב, בעזרת נתונים ונוסחאות מהנספח, את אנרגיית הקשר הגרעינית של הדויטרון. הצג את תשובתך ביחידות של $MeV$.
ג. האם ייתכן שהדויטרון יהיה תוצר התפרקות $\beta^-$ של גרעין אטום כלשהו? הסבר.

הטריטיום הוא איזוטופ של מימן $(H)$ שמספר המסה שלו הוא 3. המסה של גרעין הטריטיום היא: $3.015500u$, והוא מתפרק בהתפרקות רדיואקטיבית לאיזוטופ של הליום $(He)$, שמסת הגרעין שלו היא: $3.014931u$.
ד. ענה על הסעיפים הבאים:
i. רשום את הנוסחה של תהליך ההתפרקות.
ii. חשב את האנרגיה הקינטית הכוללת של תוצרי ההתפרקות.
הצג את תשובתך ביחידות $MeV$.

**15) בגרות 2002**

גרעין ביסמוט $^{211}_{83}Bi$ הוא גרעין רדיואקטיבי. לגרעין זה שני אופני התפרקות:
באחד נוצר גרעין הבת פולוניום $^{211}_{84}Po$, ובאחר נוצר גרעין הבת טליום $^{207}_{81}Tl$.
א. רשום את הנוסחה המתארת את התהליך הרדיואקטיבי המביא להיווצרות של כל אחד מגרעיני בת אלה.
ב. האם אפשר לקבוע מראש, לגבי גרעין ביסמוט $^{211}_{83}Bi$ מסוים, אם הוא עתיד להתפרק לגרעין $^{211}_{84}Po$ או לגרעין $^{207}_{81}Tl$? הסבר.
ג. חלק מגרעיני הבת שהתקבלו מהתפרקות הביסמוט ממשכים להתפרק בתהליך $\alpha$ לאיזוטופ יציב של עופרת, $^{}_{82}Pb$.
חלק אחר מגרעיני הבת שהתקבלו מהתפרקות הביסמוט מתפרק בתהליך $\beta$, לאותו איזוטופ של עופרת.
כתוב את הנוסחאות המתארות את שני התהליכים. ציין את מספרי המסה ואת המספרים האטומיים של כל הגרעינים המעורבים בכל אחד מהתהליכים.

ד. זמן מחצית החיים של גרעין $^{211}_{84}Po$ הוא 0.52 שניות.

זמן מחצית החיים של גרעין $^{207}_{81}T\ell$ הוא 4.77 דקות.

ברגע מסוים נמצאים במדגם של גרעיני ביסמוט שבתהליך התפרקות $10^{18}$ גרעיני $^{211}_{84}Po$ ו-$10^{21}$ גרעיני $^{207}_{81}T\ell$.

i. חשב, עבור אותו רגע, את קצב ההצטברות של גרעיני האיזוטופ היציב של העופרת, שמקורם בגרעיני ה-$^{211}_{84}Po$ (ביחידות של גרעינים לשנייה).

ii. חשב, עבור אותו רגע, את קצב ההצטברות של גרעיני האיזוטופ היציב של העופרת, שמקורם בגרעיני ה-$^{207}_{81}T\ell$.

## תשובות סופיות:

**1)** א. 6 פרוטונים , 8 נויטרונים.

ב.i. $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$ , $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{-}B$ , הקרינה הנפלטת היא אלקטרון (או $B^{-}$).

ii. חוק שימור המטען. ג. $T \approx 2900_{years}$. ד. $T\frac{1}{2} = 3.836 \cdot 10^{-10}\frac{1}{\sec}$.

ה.i. $R(t) = 39.2Bq$. ii. 3000 שנה.

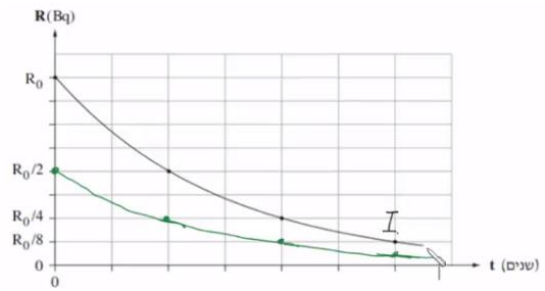
**2)** א. $\alpha$ - 3 התפרקויות , $\beta^{-}$ - 2 התפרקויות. ב. מספר אטומי – 84 , מספר מסה – 218.

ג.i. $T_{\frac{1}{2}} = 3.825_{\text{days}}$. ii. $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6}\frac{1}{\sec}$. ד. פולניום.

**3)** א. 38 – המספר האטומי (פרוטונים) , 90 – מספר המסה (נוקלואינים).

ב. 87 שנים. ג. $N = 1.34 \cdot 10^{22}$. ד.i. $\lambda = 7.57 \cdot 10^{-10}\frac{1}{\sec}$.

ii. $R_0 = 1.01 \cdot 10^{13}Bq$. ה.




**4)** א. ראה סרטון. ב. $^{3}_{2}He$. ג. iii. ד. $\Delta 28.3MeV$ ה. ii.

**5)** א. ראה סרטון. ב. $^{222}_{86}R_n \rightarrow ^{218}_{84}Po + ^{4}_{2}He$. ג. $T_{\frac{1}{2}} = 3.8_{\text{days}}$.

ד.i. $R = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. ii. $t = 18.5_{\text{days}}$. ה. ראה סרטון.

**6)** א.i. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{93}_{38}Sr + 3 \cdot ^{1}_{0}n$. ii. ראה סרטון.

ב. האנרגיה שיש להשקיע או לתת לגרעין מסוים בממוצע כדי לעקור ממנו נוקלאון בודד. ג. גדולה. ד. $\frac{E_{B\,Xe}}{A} = 8.29MeV$.

**7)** א. $^{131}_{52}Te \rightarrow ^{131}_{53}I$. ב. $^{131}_{53}I \rightarrow ^{131}_{54}Xe + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ג.i. קצב התפרקות יסוד רדיואקטיבית / כמה התפרקויות ביחי' זמן (שניה), $B_q \leftarrow \frac{1}{\sec}$.

ii. $R_{Te} > R_I$. ד. ראה סרטון. ה. יוד : 91.7% , טלור : $4.58 \cdot 10^{-16} \rightarrow 0$.

**8)** א. ראה סרטון. ב.i. חומר שהגרעין שלו אינו יציב והוא מתפרק/ יכול להתפרק בפרק זמן מסוים לגרעין אחר. ii. $^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{0}_{+1}e + \nu$.

ג. $\frac{1}{8}$. ד.i. ראה סרטון. ii. 511keV כל פוטון.

**9)** א. $^{235}_{92}U \rightarrow ^{146}_{58}Ce + ^{85}_{34}Se + 4^{1}_{0}n$. ב. $\Delta E = 1105MeV$.

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים , אנרגיה של פוטונים שנפלטים מהגרעין.

ד. האנרגיה שיש להשקיע כדי לעקור בממוצע נוקלאון בודד מהגרעין.
ה. ראה סרטון.

**10)** א. $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$. ב. $N_{\alpha} = 8$ , $N_{\beta^-} = 6$.

ג. 40%. ד. $T_{\frac{1}{2}} = 4.54 \cdot 10^{9}_{years}$. ה. $t = 3.35 \cdot 10^{9}_{years}$.

**11)** א. פרוטונים: 47 , נויטרונים: 60. ב. לא.

ג.i. תהליך 1: $^{107}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{108}_{47}Ag$ , תהליך 2: $^{108}_{47}Ag \rightarrow ^{108}_{48}X + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ii. חוק שימור המטען, חוק שימור מס' הנוקלאונים הכולל.

ד. $N_0 = 3.2 \cdot 10^{29}$. ה. $\frac{1}{3}$.

**12)** א.i. $^{27}_{13}A\ell + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$. ii. נויטרון.

ב. חוק שימור המטען, חוק שימור מספר הנוקלאומים. ג. $E_b = 225MeV$ ד. $^{40}_{20}Ca$.

**13)** א. ראה סרטון. ב. $^{214}_{82}Pb \rightarrow ^{214}_{83}Bi + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ג. התפרקות $\alpha$, $^{218}_{84}Po \rightarrow ^{214}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$. ד.i. $T_{\frac{1}{2}} = 0.45_{hours}$.

ii. $N_0 = 7.02 \cdot 10^{7}$.

**14)** א. הוכחה. ב. $\Delta E = 2.23MeV$. ג. לא. ד.i. $^{3}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ii. $\Delta E = 0.0186MeV$.

**15)** א. התפרקות $\beta^-$: $^{211}_{83}Bi \rightarrow ^{211}_{84}Po + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$ , התפרקות $\alpha$: $^{211}_{83}Bi \rightarrow ^{207}_{81}Te + ^{4}_{2}He$.

ב. לא. ג. $^{211}_{84}Po \rightarrow ^{207}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$ ו- $^{207}_{81}Te \rightarrow ^{207}_{82}Pb + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ד.i. $R_{Po} = 1.33 \cdot 10^{18}Bq$. ii. $R_{Te} = 2.42 \cdot 10^{18}Bq$.