

יסודות הפיזיקה ב 2014 ו 20124



תוכן העניינים

1	1. השדה המגנטי
4	2. חוק אמפר
5	3. הכוח המגנטי (חוק לורנץ)
12	4. חוק פארדיי
15	5. גלים
32	6. אופטיקה
48	7. מעגלי זרם חילופין
55	8. טמפרטורה התפשטות תרמית וחוק הגז האידיאלי
59	9. התיאוריה הקינטית של הגזים
60	10. יחסות פרטית -
76	11. תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום
100	12. גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 1 - השדה המגנטי

תוכן העניינים

1. הסברים ודוגמאות.....1
2. סיכום ותרגילים נוספים.....3

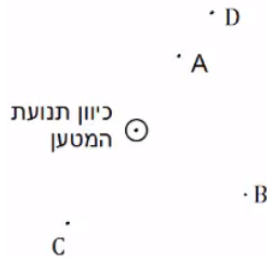
הסברים ודוגמאות:

שאלות:

(1) דוגמה 1

מטען נע מהדף אלינו.

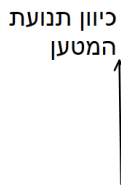
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A, B, C, D.



(2) דוגמה 2

מטען נע במישור הדף כלפי מעלה.

מה כיוון השדה המגנטי שיוצר המטען משני הצדדים של הקו עליו נע המטען?



(3) דוגמה 3 - שדה בפינת משולש

במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים

הנושאים זרם $I_0 = 2A$.

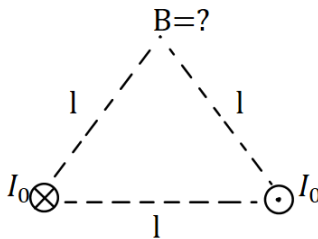
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש

שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 20\text{ cm}$.

התיילים מונחים במקביל כך שבאחד הזרם

נכנס לתוך הדף ובשני הזרם יוצא מן הדף.

חשב את השדה המגנטי בקודקוד השלישי של המשולש (גודל וכיוון).



(4) דוגמה 4 - שדה במרכז ריבוע

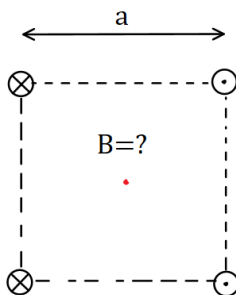
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים

בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע $a = 10\text{ cm}$.

גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל- $I = 3A$.

כיוון הזרם מתואר באיור.

מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

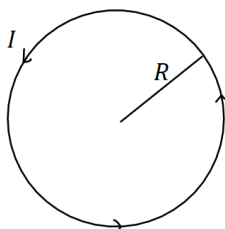


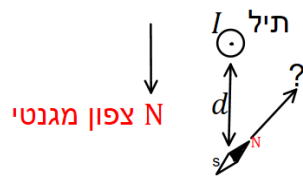
(5) דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת

מצא את גודל וכיוון השדה המגנטי במרכז הטבעת שבאיור.

רדיוס הטבעת הוא $R = 5\text{ cm}$ והזרם בה הוא $I = 0.2A$.

בכיוון השעון.





6) דוגמה 6 - שדה של תיל וכדה"א

תיל ארוך מונח במאונך לפני כדור הארץ

ונושא זרם $I = 5A$ במרחק $d = 5c.m$.

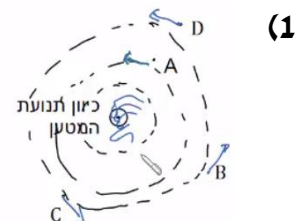
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,

המוחזק אופקית לכדור הארץ.

מצא את הכיוון אליו תצביע המחט.

(רכיב השדה המגנטי המקביל לפני כדה"א הוא : $B_t = 2.9 \cdot 10^{-5} T$).

תשובות סופיות:



2) מצד ימין השדה נכנס, מצד שמאל השדה יוצא.

$$\vec{B} = -2 \cdot 10^{-6} \hat{y} \quad (3)$$

$$\vec{B} = -24.24 \cdot 10^{-6} T \hat{y} \quad (4)$$

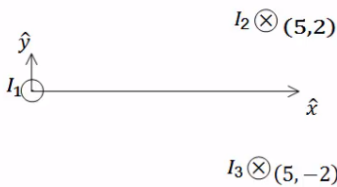
$$B = 8\pi \cdot 10^{-7} T \quad (5)$$

$$\theta \approx 55.4^\circ \quad (6)$$

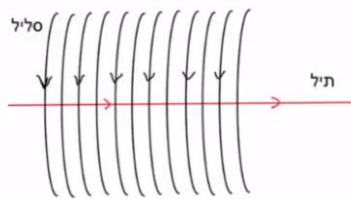
סיכום ותרגילים נוספים:

שאלות:

- (1) שדה של שלושה תילים אינסופיים
שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- z
מונחים במיקומים הבאים: $\vec{r}_1(0,0)$, $\vec{r}_2(5,2)$, $\vec{r}_3(5,-2)$.
הזרמים בתילים הם: $I_1 = 3A$ החוצה מהדף, $I_2 = 5A$ לתוך הדף, $I_3 = 4A$ גם כן לתוך הדף.
מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- x מתאפס
הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?



(2) תיל בתוך סליל



- סליל ארוך מאוד מונח כך שהציר המרכזי שלו
לאורך ציר z . צפיפות הליפופים בסליל היא 15
ליפופים לס"מ והזרם בו הוא 2.5mA.
מניחים תיל ארוך מאוד בתוך הסליל ולאורך
הציר המרכזי. הזרם בתיל הוא 0.8A.
כיווני הזרמים מתוארים בתרשים.
א. מהו המרחק הרדיאלי מהציר בו השדה המגנטי שנוצר יהיה בזווית 30
מעלות עם ציר ה- z ?
ב. מהו גודלו של השדה בנקודה זו?

תשובות סופיות:

- (1) $x_1 = -2.76$, $x_2 = 5.26$
(2) א. $r = 5.9 \text{ cm}$. ב. $B_T \approx 5.4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

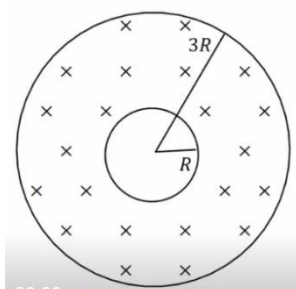
פרק 2 - חוק אמפר

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים..... 4

הסבר ותרגילים:

שאלות:



1) שדה בתוך מעטפת גלילית עבה

נתונה מעטפת גלילית עבה ואינסופית בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $3R$. במעטפת זורם זרם I בהתפלגות (צפיפות) אחידה לתוך הדף.

א. מצא את השדה המגנטי במרחק $2R$ ממרכז הקליפה.

ב. מוסיפים תיל אינסופי במרכז המעטפת, מה צריך להיות הזרם בתיל (גודל וכיוון) כך שהשדה ב- $2R$ יתאפס?

ג. מה השדה במרחק $5R$ של המערכת (גליל + תיל שחישבת בסעיף הקודם)?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } B = \frac{3\mu I}{32\pi R} \quad \text{ב. } I' = \frac{3}{8}I, \text{ החוצה מהדף.} \quad \text{ג. } B = \frac{\mu I}{16\pi R}$$

יסודות הפיזיקה ב 2014 ו 20124

פרק 3 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

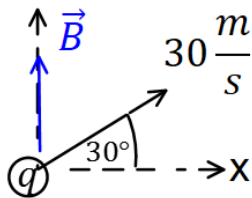
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה. 5
2. יישומים של הכוח המגנטי (ללא ספר) 7
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תילים. 7
4. סיכום (ללא ספר) 9
5. תרגילים נוספים. 9

הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

(1) דוגמה 1



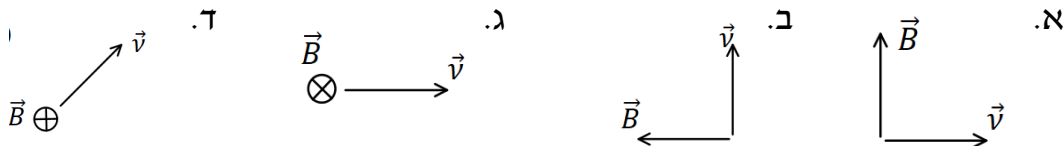
מטען $q = 2c$ נע במהירות $v = 30 \frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- x החיובי.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B} = 4T \hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

(2) דוגמה 2

מטען $q = 3c$ נע במהירות $\vec{v} = 2 \frac{m}{sec} \hat{x} + 4 \frac{m}{sec} \hat{y}$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B} = 5T \hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

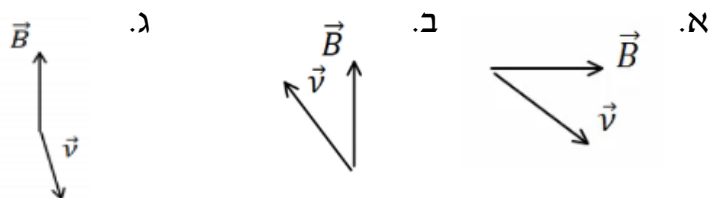
(3) דוגמה 3

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

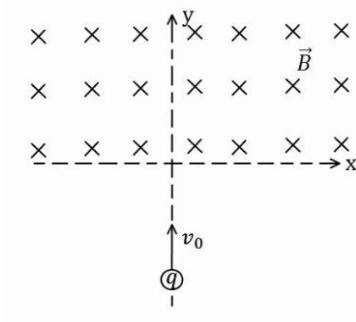


(4) דוגמה 4

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:



(5) דוגמה 5



מטען $q = 4c$ נע מ- $y = -\infty$ לאורך הכיוון החיובי של ציר ה- y . בכל התחום $y > 0$ קיים שדה מגנטי אחיד $B = 5T$ לתוך הדף.
מסת המטען היא $m = 10gr$ ומהירותו

$$v_0 = 20 \frac{m}{sec}$$

א. שרטט את תנועת המטען.

ב. מצא את המיקום בו יצא המטען מהתחום בו נמצא השדה המגנטי.

תשובות סופיות:

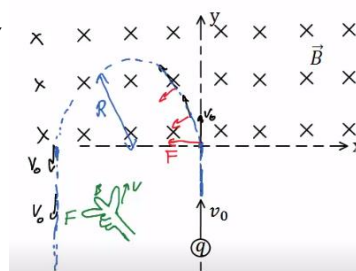
(1) $F_B \approx 207.8N$

(2) $F_B = 30N$

(3) א. $\vec{F} \odot$ ב. $\vec{F} \odot$ ג. $\vec{F} \uparrow$ ד. $\vec{F} \swarrow$

(4) א. $\vec{F} \odot$ ב. $\vec{F} \otimes$ ג. $\vec{F} \odot$

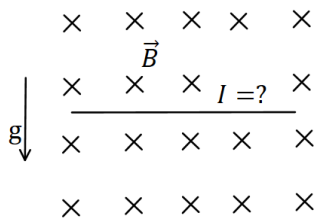
(5) א. ב. $x = -2cm, y = 0$



כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

שאלות:

(1) דוגמה 7

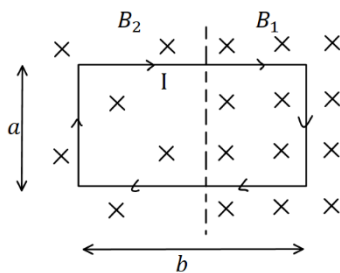


תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

היא $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}$

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל, כך שהתיל ירחף באוויר.

(2) דוגמה 8



מסגרת מלבנית בעל צלעות a, b נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף.

גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

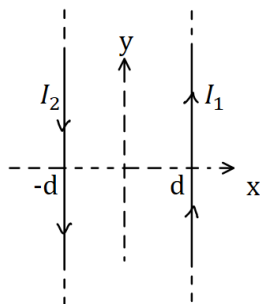
המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא

בשדה $B_1 = 4 \text{ T}$, וחלק השני נמצא בשדה $B_2 = 3 \text{ T}$.

במסגרת זורם זרם $I = 2 \text{ A}$ עם כיוון השעון.

מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת ($a = 0.5 \text{ m}$).

(3) דוגמה 9



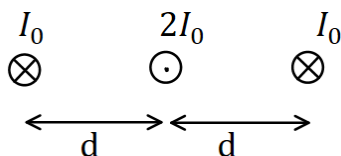
תיל ארוך מאוד מונח במקביל לציר ה- y וב- $x = d$. בתיל זורם זרם $I_1 = 1 \text{ A}$ בכיוון.

תיל ארוך נוסף מונח גם כן במקביל לציר ה- y וב- $x = d$.

הזרם בתיל זה הוא $I_2 = 2 \text{ A}$ בכיוון הפוך לציר ה- y .

מהו הכוח ליחידת אורך על כל תיל, אם $d = 20 \text{ cm}$?

(4) דוגמה 10



שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.

המרחקים בין התיילים קבועים ושווים ל- d .

הזרם בתיל האמצעי הוא $2I_0$ החוצה מהדף,

והזרם בתיילים האחרים הוא I_0 לתוך הדף.

מהו הכוח על כל תיל?

תשובות סופיות:

$$(1) \text{ כיוון: ימינה, גודל: } I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$(2) \sum F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

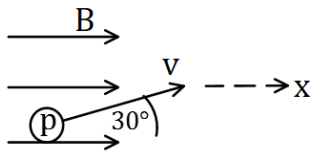
$$(3) F_1 = 10^{-6} \hat{x}, F_2 = -10^{-6} \hat{x}$$

$$(4) \sum F_1 = \frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}, \sum F_2 = 0, \sum F_3 = -\frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) תרגיל 1



פרוטון נכנס לאזור בו ישנו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו $10T$ בכיוון ציר ה- x . מהירות הפרוטון היא $10^6 \frac{m}{sec}$ וכיוונה בזווית 30 מעלות ביחס לשדה.

א. מהו גודל וכיוון הכוח הפועל על הפרוטון?

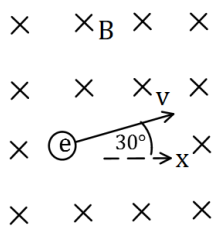
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

נתון: $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C$, $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$

(2) תרגיל 2

אלקטרון נמצא בשדה מגנטי אחיד שגודלו $5T$ וכיוונו לתוך הדף.

לאלקטרון מהירות $v_0 = 10^5 \frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- x .



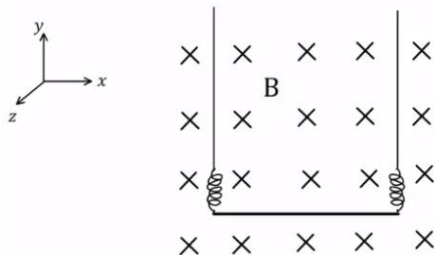
א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון ברגע זה (גודל וכיוון)?

ב. צייר את תנועת האלקטרון בשדה.

מהו רדיוס הסיבוב?

נתון: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$, $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$

(3) תיל תלוי על שני קפיצים-ביולוגיה תא



תחל מוליך נושא זרם תלוי לאורך ציר x על ידי שני תילים דקים ושני קפיצים זהים.

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד לתוך הדף. אורך התיל המוליך הוא $0.4m$ ומסתו היא $0.03kg$. גודל השדה המגנטי הוא $B = 0.2T$

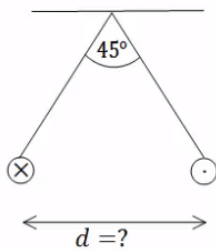
וקבוע הקפיץ הוא $k = 10 \frac{N}{m}$, ניתן להזניח את השדות שיוצרים התילים האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

א. מהו גודל וכיוון הזרם בתיל אם ידוע שהתיל בשיווי משקל כאשר

הקפיצים רפויים (לא מפעילים כוח)?

ב. בכמה יתארכו הקפיצים אם יהפכו את הזרם בתיל? תזכורת: גודל הכוח

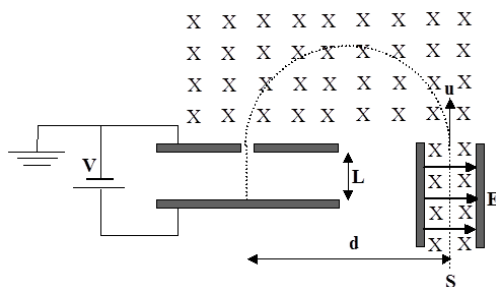
שמפעיל קפיץ הוא $F = k\Delta l$ כאשר Δl היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.

**(4) שני תילים תלויים**

שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זורם זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת

$$\mu = 2 \frac{gr}{m}$$

אורך היא $\mu = 2 \frac{gr}{m}$. מצא את המרחק בין התילים.

**(5) בורר מהירויות ומתח עצירה**

חלקיקים, בעלי מטען $+q$ ומסה m , נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל. בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$ שכיוונו ימינה, ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המכוון אל תוך הדף, כמו בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל. במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל נמצא נקב קטן, דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני, אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה V . ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L . ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על חלקיקים. נתונים: $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$.

- באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- מהו המרחק d (ראה ציור)?
- תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V , המופעל על הקבל השני, כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- מחברים את הקבל השני לסוללה, שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

תשובות סופיות:

(1) א. $F = 8 \cdot 10^{-13} \text{ N}$, כיוון: לתוך הדף. ב. $a = 4.79 \cdot 10^{14} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

(2) א. $F = 8 \cdot 10^{-11} \text{ N}$, כיוון 60° מתחת לציר ה-x. ב. $R = 1.14 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

(3) א. $I = 3.75 \text{ A}$, כיוון: חיובי של ציר x. ב. $\Delta l = 0.03 \text{ m}$

(4) $d = 0.241 \text{ m}$

(5) א. $u = \frac{E}{B}$ ב. $d = \frac{2mE}{qB^2}$ ג. $t = \frac{\pi}{qB} \text{ m}$ ד. $V = \frac{mE^2}{2qB^2}$ ה. $t = \frac{BL}{E}$

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 4 - חוק פארדיי

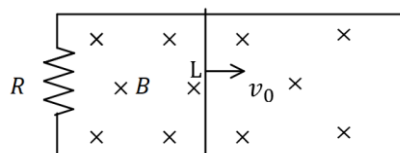
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 12

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

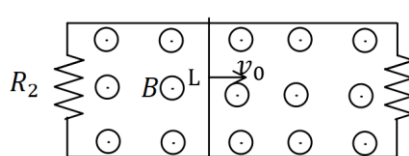
(1) מוט נע על מסילה



מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן.
בקצה המסילה ישנו נגד R . מהירות המוט היא v_0
ואורכו L . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף B .

- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- מהו הכוח המגנטי הפועל על המוט?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

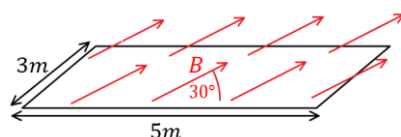
(2) המסילה מחוברת משני הצדדים



מוט מוליך נע על מסילה, העשויה ממוליכים גם כן.
בשני קצוות המסילה ישנם נגדים: $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 3\Omega$.
מהירות המוט היא: $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ואורכו: $L = 20\text{cm}$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד החוצה מהדף $B = 1\text{T}$.

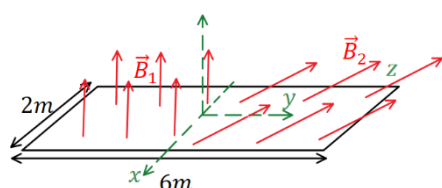
- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

(3) חישוב שטף אחיד



באיור הבא נתון כי השדה המגנטי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).
גודלו הוא $B = 2\text{T}$ והזווית בינו למשטח היא 30° .
אורך המשטח הוא 5m ורוחבו הוא 3m.
מצא מהו השטף דרך המשטח.

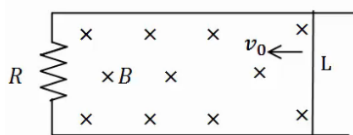
(4) חישוב שטף מפוצל



באיור הבא נתון משטח המונח על מישור xy .
אורך המשטח הוא 6m ורוחבו הוא 2m.
השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח
הוא: $\vec{B}_1 = 2\text{T}\hat{z}$, שדה אחיד.
בחציו הימני של המשטח השדה הוא: $\vec{B}_2 = 7\text{T}\hat{y} + 3\text{T}\hat{z}$.
מצא מהו השטף דרך המשטח.

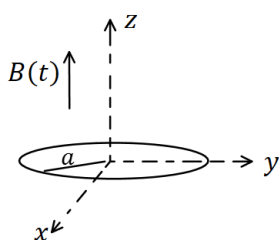
5) עוד מוט ומסילה

מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד R , מהירות המוט היא v_0 ואורכו L . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף B .



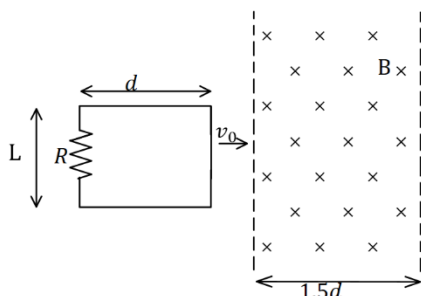
- מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

6) טבעת ושדה משתנה בזמן



- טבעת עשויה מחומר מוליך מונחת על מישור xy . רדיוס הטבעת הוא a והתנגדותה הכוללת R . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד בכיוון z , המשתנה בזמן לפי הנוסחה $B(t) = \alpha t$ כאשר α קבועה.
- מצא את הכא"מ בטבעת.
- מהו הזרם בטבעת גודל וכיוון.

7) מסגרת נכנסת לשדה



- מסגרת מלבנית בעלת אורך d ורוחב L , נעה במהירות קבועה v_0 , לכיוון אזור בו שורר שדה מגנטי אחיד B . אורך האזור הוא $1.5d$ ורוחבו ארוך מאוד.
- למסגרת התנגדות כוללת R .
- הנח כי ב- $t = 0$ הצלע הימנית של המסגרת נכנסת לאזור עם השדה.

- מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).
- מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת, על מנת שתנוע במהירות קבועה.
- מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \varepsilon = BLv_0 \quad \text{ב. נגד כיוון השעון,} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R}$$

$$F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \quad \text{ד.}$$

$$(2) \quad \varepsilon = 1V \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.5A, I_2 = \frac{1}{3}A, I_3 = \frac{5}{6}A \quad \text{ג.} \quad F = \frac{1}{6}N$$

$$(3) \quad \phi_B = 15T \cdot m^2$$

$$(4) \quad \phi_B = 30T \cdot m^2$$

$$(5) \quad \text{א. עם כיוון השעון,} \quad |\varepsilon| = |BLv_0| \quad \text{ב.} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad \varepsilon = BLv_0$$

$$(6) \quad \text{א.} \quad |\varepsilon| = \alpha \pi a^2 \quad \text{ב.} \quad I = \frac{\alpha \pi a^2}{R}$$

$$(7) \quad \varepsilon = \begin{cases} -BLv_0 & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ BLv_0 & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{א.}$$

$$I = \begin{cases} \frac{BLv_0}{R} \text{ anticlockwise} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{BLv_0}{R} \text{ clockwise} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ב.}$$

$$P = I^2 R = \begin{cases} \frac{B^2 L^2 v_0}{R} & x < d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R^2} & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{F} = \begin{cases} \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \hat{x} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \hat{x} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ג.}$$

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 5 - גלים

תוכן העניינים

1. גלים והתאבכות גלים 15

גלים והתאבכות גלים:

שאלות:

(1) תרגול גל 1

פולס נע ימינה בחבל.



מתוארת צורתו בשני זמנים שונים: $t = 0$, $t = 2\text{sec}$.

א. מה משרעת הפולס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

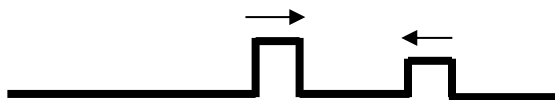
ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע $t = 0$?

ד. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה B ברגע זה?

(2) תרגול גל 2

מציירים בחבל שתי הפרעות כמתואר בתרשים: $v = 10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

שרטט את החבל בזמנים הבאים:



א. $t = 8\text{sec}$

ב. $t = 16\text{sec}$

ג. $t = 18\text{sec}$

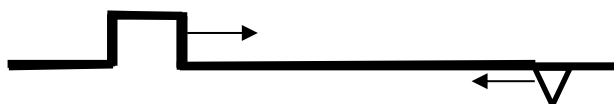
ד. $t = 22\text{sec}$

(3) תרגול גל 3

בחבל מייצרים שתי הפרעות שונות בשני קצותיו שמתקדמות אחת לקראת

השנייה, כמתואר בתרשים: $v = 0.5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

שרטט את צורת החבל בזמנים הבאים:



א. $t = 8\text{sec}$

ב. $t = 12\text{sec}$

ג. $t = 13\text{sec}$

ד. $t = 16\text{sec}$

(4) תרגול גל 4

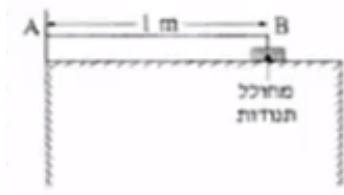
פולס משולש נע בחבל ומגיע לקצהו. שרטט את החבל + הפולס במקרים הבאים:

א. קצה החבל קשור לקיר.

ב. קצה החבל מולבש על טבעת חופשיה למנוע על פני ציר שעובר דרכה.

ג. קצה החבל קשור לחבל כבד יותר.

ד. קצה החבל קשור לחבל קל יותר.

(5) תרגול גל עומד

חוט AB, שאורכו 1m, קשור בקצהו B למחולל תנודות, ובקצהו A למוט קבוע (ראה תרשים).
 כאשר תלמיד מפעיל את מחולל התנודות, נוצר בחוט AB גל, שמוחזר מהקצה A.
 התלמיד מגדיל ברציפות את תדירות מחולל התנודות ורושם את התדירויות בכל פעם שנוצר בחוט AB גל עומד.
 תוצאות הניסוי רשומות בטבלה שלפניך:

$\frac{1}{\lambda} (\text{m}^{-1})$	$\lambda (\text{m})$	צורת הגל העומד	f - תדירות התנודות (Hz)
			24
			45
			67
			88

התייחס לנקודה B כנקודת צומת.

א. העתק את הטבלה למחברתך, ורשום בעמודה את אורך הגל λ , לכל אחד מארבעת הגלים העומדים שנוצרו בחוט?

ב. רשום בעמודה המתאימה בטבלה את הערך $\frac{1}{\lambda}$ לכל אחד מארבעת הגלים,

וסרטט גרף של התדירות f כפונקציה של $\frac{1}{\lambda}$.

ג. מצא בעזרת הגרף את מהירות התפשטותו של גל בחוט AB.

ד. התלמיד ממשיך להגדיל את תדירות מחולל התנודות.

מהי התדירות הראשונה (הגבוהה מ-88Hz) שייווצר בה גל עומד בחוט AB? נמק.

(6) תרגול גל מחזורי 1

מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסוים.

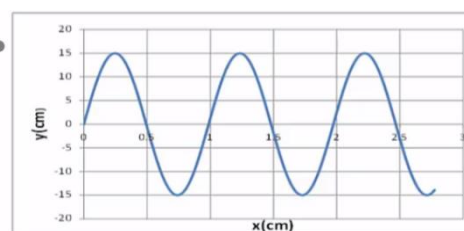
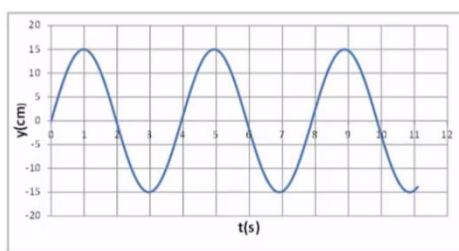
א. מהי משרעת הגל?

ב. מהו אורך הגל המתקדם בחבל?

ג. מה זמן המחזור של הגל?

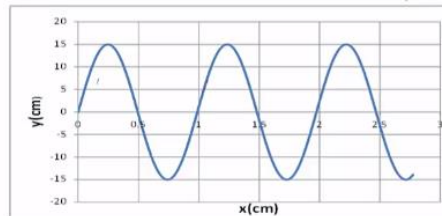
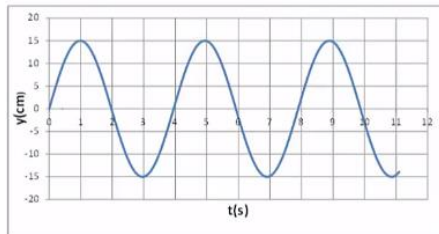
ד. מה מהירות הגל?

ה. לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גרף ההעתק זמן (השמאלי)?



7) תרגול גל מחזורי 2

לפניכם גרף העתק-מקום והעתק-זמן של הגוף מהשאלה הקודמת.
 מכפילים את תדירות מחולל הגלים (מקור).
 שרטטו את גרף העתק-זמן והעתק-מקום החדשים.


8) תרגול גל מחזורי 3

- לפניך שני תצלומים (נראים זהים). הימני : גל מתקדם, השמאלי : גל עומד בקהל.
- קבע את אורך הגל של כל אחד מהגלים בחבל.
 - שרטט את החבל $\frac{1}{4}$ זמן מחזור לאחר תצלום זה.
 - שרטט את החבל $\frac{1}{2}$ זמן מחזור לאחר תצלום זה.
 - בחר בכל תצלום נקודה מימין ומשמאל למשרעת, וצייר את כיוון תנועתה מיד לאחר צילום זה.


9) תרגיל 1

מהירות גל במיתר מתוח 25 מטר בשנייה. קושרים את היתר בין שני כנים שהמרחק ביניהן 3 מטר.
 מניעים את המיתר בעזרת מתנד.
 באיזו תדירות יש לנדנד אותו כך שיווצר בו גל עומד עם 12 נקודות צומת (כולל הקצוות)?

- 45.8 הרץ.
- 70 הרץ.
- 8.3 הרץ.
- 75 הרץ.
- 80.7 הרץ.

(10) תרגיל 2

מיתר בעל אורך 90 ס"מ קשור בשני קצותיו. כשמנדנדים אותו בתדירות 150 הרץ, נוצר בו גל עומד עם 8 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהירות גל במיתר הנ"ל:

א. $15.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב. $38.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג. $17 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ד. $34.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

(11) תרגיל 3

מנדנדים מיתר מתוח הקשור בשני קצותיו בתדירות 100 הרץ. אורך המיתר 3 מטר. במיתר נוצר גל עומד עם 5 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהי מהירות הגל במיתר?

א. $150 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב. $100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג. $330 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ד. $20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ה. $340 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

(12) תרגיל 4

מיתר של גיטרה משמיע עם הפריטה עליו צליל בתדירות של 300 הרץ. אם רוצים להפיק מהמיתר צליל בעל תדירות של 900 הרץ:

א. אין כל דרך להפיק את התדירות הנ"ל מהמיתר.

ב. יש להקטין את המתיחות במיתר פי 3.

ג. יש לקצר את המיתר פי 3.

ד. יש להאריך את המיתר פי 3.

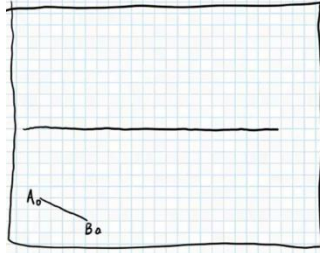
ה. יש להגדיל את המתיחות פי 2.

(13) תרגיל החזרה גלים דו ממדיים

נתון אמבט גלים 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 שהחזרה 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.

(14) 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.

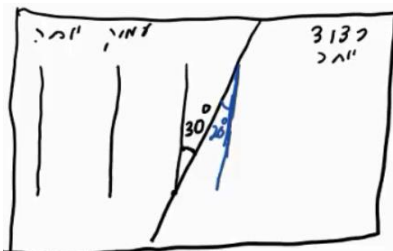
א. מה מהירות גל המים בתווך הרדוד יותר?

ב. מהו אורך הגל λ_1 בחלק העמוק?

ג. מהו אורך הגל λ_2 בחלק הרדוד?

ד. הוסיפו לתרשים (איכותית) עוד 2 אורכי גלים לאחר

מעבר גל המים לתווך הרדוד.


(15) תרגול אנרגיה ומשרעת של גל

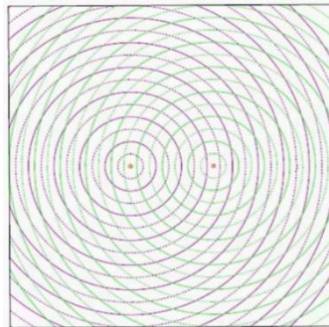
גל מעגלי מתפשט באמבט גלים. משרעתו, כשהיה מעגל ברדיוס 3cm, הייתה 1cm.

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

ב. מה תהיה משרעתו במצב זה?

16) 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.


17) 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?

18) שאלה 1 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות (0,0) ו-(6,0). המקורות משדרים באורך גל של 1cm לכל הכיוונים. על ציר y מתקבלת התאבכות בונה בנקודות הבאות (המספרים בס"מ):

- א. (0,1.1) (0,2.5) (0,4.5) (0,8) (0,17.5).
- ב. (0,1) (0,2) (0,4) (0,8) (0,16) (0,32).
- ג. (0,6) (0,12) (0,18) (0,24) (0,30).
- ד. (3,2) (4,17.5) (4,8) (4,4.5).
- ה. (0,4.2) (0,8.7) (0,16.5) (0,0).
- ו. (0,4.5) (0,8) (0,17.5).

19) שאלה 2 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים ושווי מופע ממוקמים בנקודות $(0,0)$ ו- $(5,0)$ (הערכים בס"מ). אורך הגל של כל אחד מהם 2 ס"מ. היכן על ציר y תתקבל התאבכות בונה מסדר ראשון? (הערכים בס"מ).

- א. $(5, 2.5)$.
- ב. $(0, 5.25)$.
- ג. $(0, 6)$.
- ד. $(0, 2.5)$.
- ה. $(0, -5.25)$.

20) שאלה 3 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות $(0,5)$ ו- $(0,-5)$. בנקודה $(10,10)$ מתקבלת התאבכות בונה מסדר ראשון (כל המספרים נתונים בס"מ) אורך הגל הוא בקירוב:

- א. 8.5 ס"מ.
- ב. 5 ס"מ.
- ג. 7.3 ס"מ.
- ד. 15 ס"מ.
- ה. 6.8 ס"מ.

21) שאלה 4 בהתאבכות גלי מים

באמבט גלים ממקמים שני מתנדים בשתי נקודות $(4,2)$ ו- $(7,6)$. המתנדים רוטטים בתדירות זהה ובאותו מופע. בנקודה $(10,10)$ מתקבלת התאבכות בונה מסדר שלישי. מהו אורך הגל? (הגדלים המספריים במטרים).

- א. 1.67m.
- ב. 0.62m.
- ג. 2.79m.
- ד. 6.83m.
- ה. 1.23m.

(22) התאבכות אור תרגיל 1

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

- מהו רוחב פס אור כל עוד אנחנו בזווית קטנות?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית של מרכז פס האור מסדר רביעי?
- מהו מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של קו החושך מסדר שביעי?
- מה מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של מרכז פס האור מסדר 200?

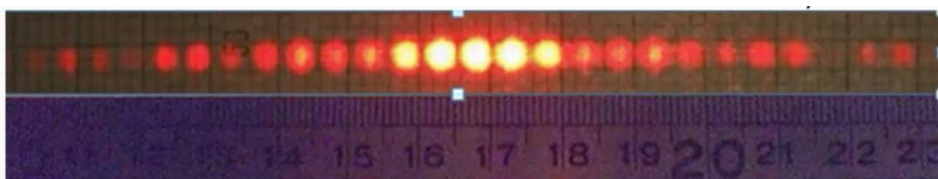
(23) התאבכות אור תרגיל 2

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

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

(24) 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.



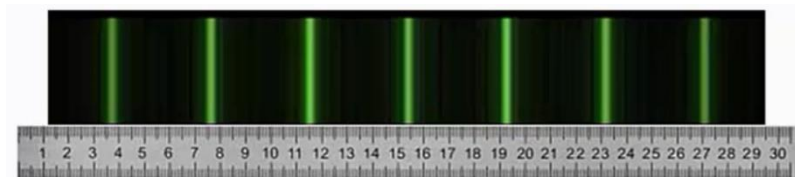
- מצא את אורך הגל של הלייזר בדרך המדויקת ביותר.
- איזה מהנקודות בצילום הינה נקודת המקסימום המרכזי?
- לאיזה נקודה בצילום מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-3 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- לאיזה נקודה על המסך מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-4.5 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- מהן 3 הדרכים אשר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

(25) 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.
- מהו אורך הגל של הלייזר?
 - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר שני?
 - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר חמישי?
 - כמה קווי מקסימום יתקבלו על המסך?
 - בהנחה שמחליפים מסך זה במסך ארוך מאוד באותו המיקום, כמה קווי מקסימום יתקבלו עליו?

(26) 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:



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

(27) התאבכות אור בסריג – תרגיל 6

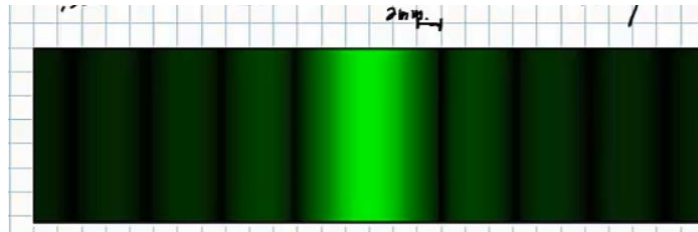
- אור לבן פוגע בסריג עקיפה בעל קבוע 300 חריצים למ"מ. מסך ארוך מונח במרחק 2 מטר מהסריג.
- מה רוחב הפס הצבעוני מסדר ראשון?
 - מה הזווית שנפתחת בין המקסימום האדום מסדר שני, והסגול מסדר שני?
 - הוכח שקיימת חפיפה בצבעים בין הסדר השני לסדר השלישי.

(28) 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.
- מה רוחבו של המקסימום המרכזי?
 - מה רוחבו של מקסימום משני, מסדר נמוך?

29) 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:

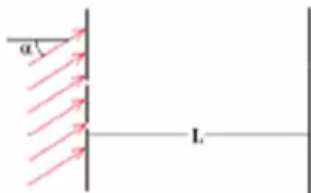


נתון שרוחב משבצת על הלוח הוא 2 מ"מ.

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

30) שאלה בהתאבכות גלי אור

דרך משטח מישורי עם שני סדקים צרים מאוד מעבירים גל מישורי בעל אורך גל λ המתקדם בכיוון היוצר זווית קטנה α עם האנך למשטח (ראו ציור).



המרחק בין הסדקים הוא d כאשר $d \gg \lambda$. מודדים את העוצמה במרכז לוח מישורי הנמצא במרחק $L \gg d$ מהמשטח עם הסדקים, כלומר בנקודה הנמצאת מול נקודת האמצע בין שני הסדקים. העוצמה הנמדדת היא 0.

מהי הזווית הקטנה ביותר α המסבירה מדידה זו?

- א. $\alpha = 0$.
- ב. $\alpha = \frac{\lambda}{2d}$.
- ג. $\alpha = \frac{2\lambda}{\pi d}$.
- ד. $\alpha = \frac{2\lambda}{d}$.
- ה. $\alpha = \frac{2\pi\lambda}{d}$.
- ו. $\alpha = \frac{\lambda}{\pi d}$.

(31) שאלה 2 בהתאבכות גלי אור

שני גלים אלקטרומגנטיים העוברים כל אחד דרך סדק צר יוצרים תבנית התאבכות

על פני מסך רחוק. הגל העובר דרך הסדק הראשון מתואר ע"י: $\vec{E}_1 = A_1 \cdot e^{i(kz - \omega t)} \hat{x}$

הגל העובר דרך הסדק השני מתואר ע"י: $\vec{E}_2 = A_1 \cdot e^{i(kz - \omega t)} (-\hat{y})$

היחס בין העוצמה המקסימלית לעוצמה המינימלית הוא:

א. $\sqrt{2}:1$

ב. $1:0$

ג. $1:1$

ד. $2:1$

ה. $4:1$

ו. $3:2$

(32) שאלה 1 – גלי קול

אם נניח, כי עוצמת סף השמע היא: $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

מהי העוצמה ביחידות הנ"ל בסף הכאב 140dB (כלומר, כמה $\frac{W}{cm^2}$ יש ב-140dB)?

א. $14 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

ב. $10^{-14} \frac{W}{cm^2}$

ג. $140 \frac{W}{cm^2}$

ד. $10^4 \frac{W}{cm^2}$

ה. $10^{-2} \frac{W}{cm^2}$

(33) שאלה 2 – גלי קול

פי כמה גדולה עוצמת קול של 100 דציבל מעוצמת קול של 10 דציבל?

א. פי 10

ב. פי 100

ג. פי 1,000

ד. פי 10,000

ה. פי 1,000,000

ו. פי 1,000,000,000.

ז. פי 10,000,000,000.

34) שאלה 3 – גלי קול

אם עוצמת הקול המינימאלית שבני אדם מסוגלים לשמוע (סף השמע)

היא: $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$, מהי עוצמת הקול באותן יחידות ב-130 דציבל (סף הכאב),

וכמה אנרגיה פוגעת בעור התוף החשוף לעוצמה הזו (130dB) במשך שעה? נתון ששטחו של עור התוף כ-0.7 סמ"ר.

א. העוצמה: $10^{-13} \frac{W}{cm^2}$, וסה"כ אנרגיה בשעה: 5.3J.

ב. העוצמה: $10^{-3} \frac{W}{cm^2}$, וסה"כ אנרגיה בשעה: 5.3J.

ג. העוצמה: $130 \frac{W}{cm^2}$, וסה"כ אנרגיה בשעה: 75J.

ד. העוצמה: $1.3 \cdot 10^{-3} \frac{W}{cm^2}$, וסה"כ אנרגיה בשעה: 2.52J.

ה. העוצמה: $0.001 \frac{W}{cm^2}$, וסה"כ אנרגיה בשעה: 2.52J.

35) שאלה 4 – גלי קול

אם נניח כי עוצמת סף השמע היא: $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ ($\frac{W}{cm^2}$ = ווט לסמ"ר),

מהי העוצמה I ביחידות הנ"ל ב-120dB, וכמה אנרגיה E פוגעת בעור התוף של אוזנו של אדם, החשוף לעוצמת קול זו במשך 4 שעות? הניחו ששטחו של עור התוף 0.7 סמ"ר.

א. $E = 5.8 \text{ Joule}$ ו- $I = 12 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$.

ב. $E = 5.8 \text{ Joule}$ ו- $I = 13 \cdot 10^{-14} \frac{W}{cm^2}$.

ג. $E = 1.01 \text{ Joule}$ ו- $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$.

ד. $E = 10.1 \text{ Joule}$ ו- $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$.

ה. $E = 1.2 \cdot 10^6 \text{ Joule}$ ו- $I = 120 \frac{W}{cm^2}$.

(36) שאלה 5 – גלי קול

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא: $2.5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.
 מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 20 דקות?

- א. 0.08 Joule .
- ב. 0.75 Joule .
- ג. 25 Joule .
- ד. $2.5 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$.
- ה. $5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.

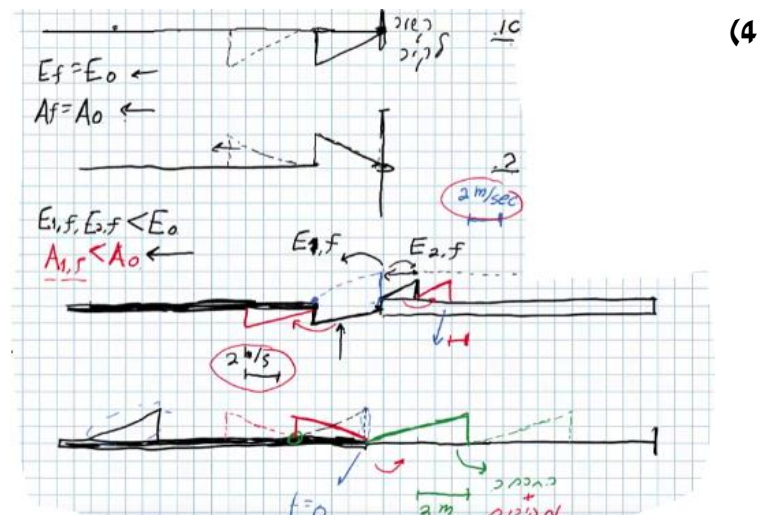
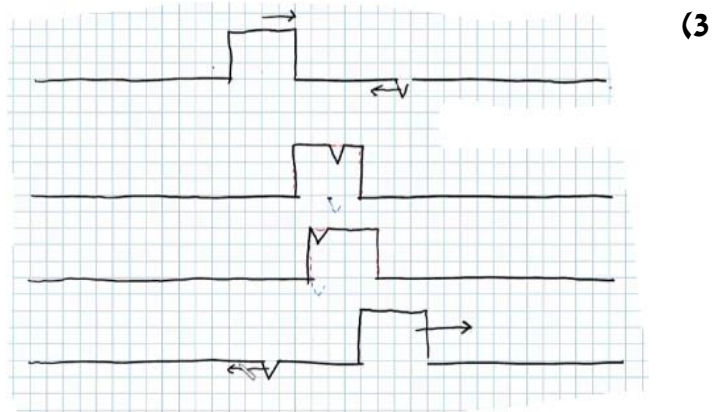
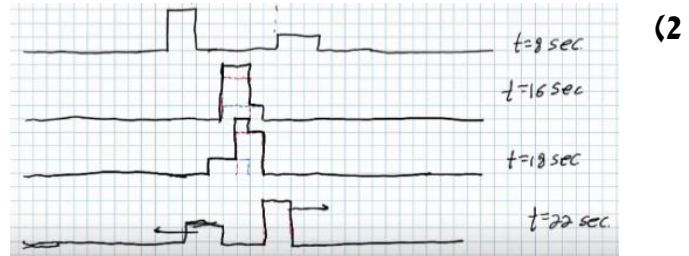
(37) שאלה 6 – גלי קול

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא: $2.5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.
 מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 30 דקות?

- א. 0.125 Joule .
- ב. 1.130 Joule .
- ג. 37.52 Joule .
- ד. $3.8 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$.
- ה. $7.5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.

תשובות סופיות:

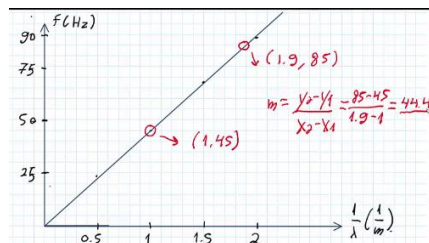
- (1) א. $A = 0.3 \text{ m}$ ב. $V = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ג. למעלה. ד. למטה.



(5) א.

$\frac{1}{\lambda} (\text{m}^{-1})$	$\lambda (\text{m})$	צורת הגל העומד	f - תדירות התנודות (Hz)
0.5	2		24
1	1		45
1.5	2/3		67
2	1/2		88

א. $f = 111 \text{ Hz}$ ב. $f = v \frac{1}{\lambda}$

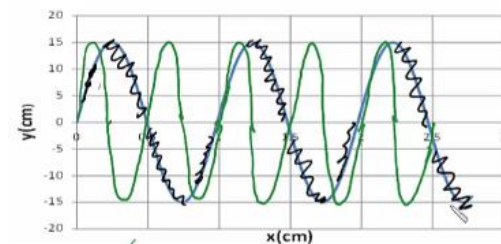
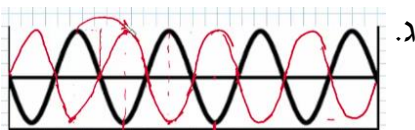


ב.

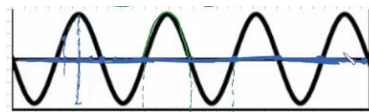
א. $A = 0.15 \text{ m}$ ב. $\lambda = 1 \text{ m}$ ג. $t = 4$ ד. $v = 25 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

ה. $(0.5, 0)$, $(1.5, 0)$, $(2.5, 0)$

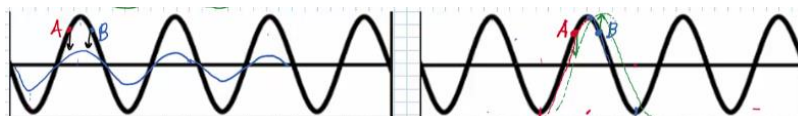
(7) הגל הירוק בשרטוט:

(8) א. מתקדם: $\lambda_1 = 80 \text{ cm}$, עומד: $\lambda_2 = 80 \text{ cm}$.

ג.



ב.



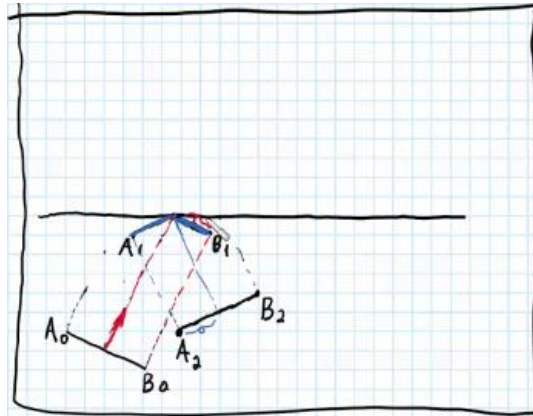
ד.

(9) א.

(10) ב.

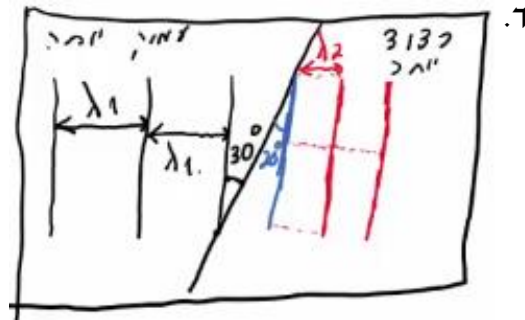
(11) א.

(12) ג.



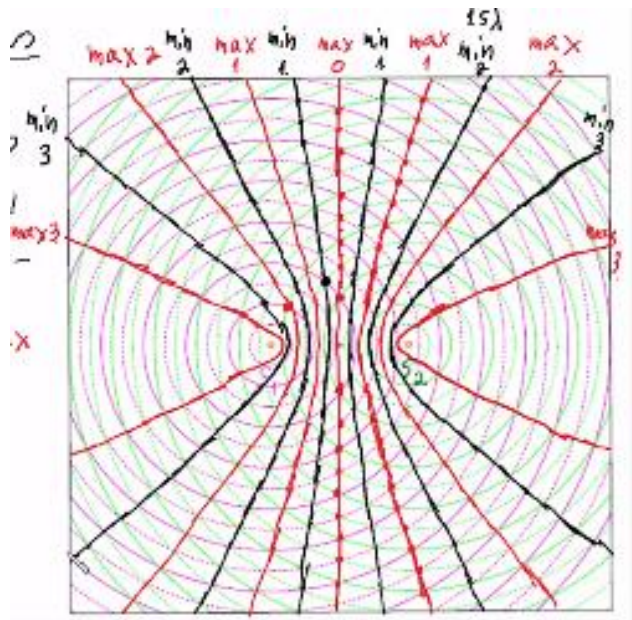
(13)

(14) א. $v_2 = 13.7 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ ב. $\lambda_1 = 5 \text{ cm}$ ג. $\lambda_2 = 3.42 \text{ cm}$



ד.

(15) א. 5 ב. 0.45 cm



(16)

(17) 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.

(18) א' מלאה ו-ו' חלקית.

(19) ב' ו-ה.

(20) ה.

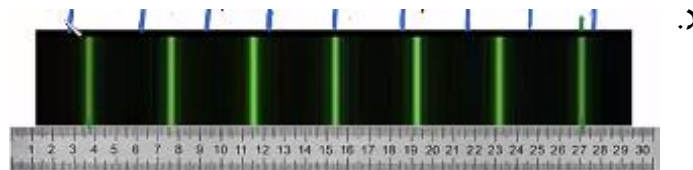
(21) א'.

(22) א. 7.5nm ב. 3 ס"מ. ג. $\theta = 0.93^\circ$ ד. $x_{200} = 1.73$

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

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

(25) א. 649 נ"מ. ב. 13 ס"מ. ג. 34.3 ס"מ. ד. 27 קווים. ה. 31 קווים.

(26) א. $282 \frac{\text{haritsim}}{\text{cm}}$ ב. 18.1° (27) א. 0.188 מ'. ב. 10.9° ג. הוכחה.

(28) א. 6.7 מ"מ. ב. 3.35 מ"מ.

(29) א. 0.265 מ"מ. ב. 1,000 קווי צומת בתבנית.

ג. האור ינוע בקווים ישרים ולא מבצע עקיפה.

(30) ב'.

(31) ג'.

(32) ה.

(33) ו'.

(34) ה.

(35) ג'.

(36) א'.

(37) א'.

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 6 - אופטיקה

תוכן העניינים

1. מבוא לאופטיקה 32

מבוא לאופטיקה:

שאלות:

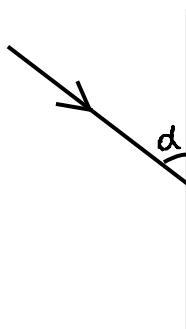
(1) תרגול אור במרחב

- מציבים מקור אור נקודתי מול מסך במרחק 4m מהמסך.
 במרחק 1m ממקור האור מציבים מחסום בגובה 1.5m.
 א. שרטט את הבעיה בקנה מידה לבחירתך.
 ב. מצא את גודלו של הצל על הקיר:
 i. בעזרת שרטוט.
 ii. בעזרת חישוב.
 ג. היכן היה צריך למקם המחסום, כדי שגודל הצל יהיה 2.5m?
 ד. מוסיפים מקור אור זהה (בניסוי המקורי), במרחק של 1m מתחת למקור הראשון.
 מצא, בעזרת שרטוט, את אזורי האור והצל השונים שמתקבלים.

(2) תרגול אור במרחב 2

- מהירות האור בריק היא: $C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.
 א. היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוך כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירח – אל כדור הארץ.
 ב. מצא תוך כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
 ג. אם אני מדליק פנס עכשיו, וחבר נמצא במרחק 3m ממני, תוך כמה זמן יגיע אליו האור מהפנס, מרגע שהדלקתי אותו?
 ד. שנת אור מוגדרת כמרחק שאור עובר בשנה.
 מצאו מהי שנת אור בעזרת הגדרה זו.

(3) החזרה תרגיל 1



- נתון מקור אור הפולט אור ומולו מוצבת מראה.
 הזווית α בשרטוט שווה 76° .
 א. מה זווית ההחזרה של הקרן המשורטטת בתרשים?
 ב. מצא, בעזרת שתי קרניים נוספות לבחירתך, את מיקום הדמות המדומה של העצם הנ"ל.
 ג. מצא את שדה הראייה של העצם הנ"ל.
 ד. מכסים בבד סגול את החצי העליון של המראה.
 האם עדיין תיווצר דמות של העצם?

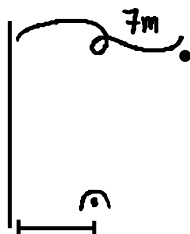
(4) החזרה תרגיל 2



- נתון התרשים הבא, בו נער בגובה 1.7m עומד לפני מראה.
 א. שרטט קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער, פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את הקרן/ הקרניים, שבזכותן הנער רואה את ידו במראה).
 ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.
 ג. מציבים מאחורי המראה מסך סגול. האם עדיין יראה הנער את דמותו?

- ד. מה הגובה המינימאלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?
 ה. מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער. כיצד תשתנה תשובתך לסעיף ד'?

(5) החזרה תרגיל 3



- מציבים מטבע מול מראה, במרחק 7m ממנה, כמתואר בתרשים.
 אדם שנמצא במורד התרשים רואה את המטבע בזווית 30° ,
 ביחס לקו המקביל למראה, ואת דמותו של המטבע בזווית 50° .
 חשב את מרחקו של האדם מהמראה.

(6) תרגול חוק סנל 1

- קרן לייזר מתקדמת במים ($n_{\text{water}} = 1.33$), ופוגעת במשטח זכוכית ($n_{\text{glass}} = 1.5$).
 חלק מהקרן נשבר לזכוכית וחלק מוחזר.
 הזווית בין פני המים והקרן הפוגעת היא 60° .
 א. חשבו את זווית השבירה.
 ב. שרטטו את המקרה הנ"ל.

(7) תרגול חוק סנל 2

- תלמיד שלח קרני אור בזוויות שונות מאוויר לעבר חומר שקוף בעל מקדם שבירה לא ידוע, ומדד את זוויות הפגיעה והשבירה המתאימה לה לזוויות פגיעה שונות. תוצאות המדידות בטבלה שלפניך:

θ_1	θ_2
0	0
10	7.33
20	14.57
30	21.57
40	28.21
50	34.28
60	39.55
70	43.71
80	46.40

- א. האם גרף $\theta_2(\theta_1)$ מצופה שיצא לינארי?
 ב. הגדר משתנים עבורם כן תצפה לקבל גרף לינארי.
 ג. שרטט גרף לינארי זה.
 ד. מצא, בעזרת הגרף, את מקדם השבירה של החומר השקוף הלא ידוע.

8) החזרה גמורה תרגיל 1

קרן אור מתקדמת בזכוכית ($n = 1.5$), ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים ($n = 1.33$), בזוויות:

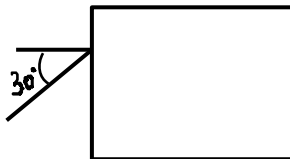
א. $\theta_1 = 0^\circ$

ב. $\theta_1 = 30^\circ$

ג. $\theta_2 = 70^\circ$

שרטט את המשך מהלך הקרן, לאחר הפגיעה, בכל אחד משלושת המקרים.

9) החזרה גמורה תרגיל 2



נתון מלבן מפרספקס $n = 1.5$, כמתואר בתרשים.
 קרן אור, המגיעה משמאל, פוגעת בפרספקס בזווית פגיעה של 30° .
 השלם את מהלך הקרן בתוך הפרספקס.

10) עדשה מרכזת - תרגיל 1

נתונה עדשה מרכזת בעלת מוקד $f = 8\text{cm}$.
 נתון עצם, בגובה $H_0 = H\text{cm}$, המונח במרחק 12cm מהעדשה.

- א. מצא בעזרת שרטוט את:
- מיקום הדמות הנוצרת.
 - גובה הדמות.
 - ההגדלה הקווית.
- ב. מצא בעזרת חישובים את:
- מיקום הדמות.
 - גובה הדמות.
 - מצא מה אופי הדמות.
- ד. שרטט שתי קרניים היוצאות ממרכז העצם, פוגעות בעדשה וממשיכות לצדה השני.

11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

- לעדשה מרכזת מרחק מוקד של 11cm .
 מציבים עצם, שגובהו 5cm , במרחק 4cm מעדשה זו.
- א. מצא בעזרת שרטוט את:
 - i. מרחק הדמות מהעדשה.
 - ii. גובה הדמות.
 - iii. ההגדלה הקווית.
 - ב. מצא בעזרת חישוב מספרי את:
 - i. מרחק הדמות מהעדשה.
 - ii. גובה הדמות.
 השווה תשובותיך לסעיף ב, עם אלה של סעיף א.
 - ג. מניחים מסך במיקום הדמות.
 האם ניתן לראות את הדמות על המסך?
 - ד. מניחים וילון שחור על המחצית העליונה של העדשה (מכסים אותה).
 האם ניתן לראות את הדמות?
 - ה. מסירים וילון זה. ומניחים אותו בין העצם ודמותו.
 האם עכשיו ניתן לראות את דמות העצם?

12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

- נתונה עדשה שעוצמתה $C = 10D$.
 לפני העדשה, במרחק $u = 8\text{cm}$, מניחים עצם שגובהו $H_0 = 4\text{cm}$.
- א. מצא בעזרת חישוב את:
 - i. מיקום הדמות.
 - ii. גובהה.
 - iii. אופי הדמות.
 - ב. מצא בעזרת שרטוט את:
 - i. מיקום הדמות.
 - ii. גובהה.
 - ג. מהיכן ניתן לראות את הקצה העליון של דמות העצם (שדה ראייה)?

(13) בגרות 2017 שאלה 6

רמי ישב ליד בריכה ריקה. בתחתית הבריכה הונח מטבע, אבל ממקום מושבו של רמי לא היה אפשר לראות את המטבע כשהבריכה ריקה. התחילו למלא את הבריכה במים, וברגע מסוים ראה רמי את המטבע (רמי והמטבע לא זזו). מקדם השבירה של המים הוא: $n = 1.33$.

א. הגדר את תופעת השבירה של האור, וציין את סיבתה.

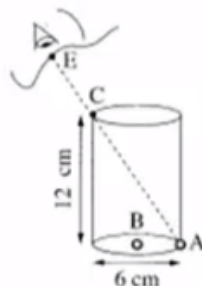
ב. הסבר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה התמלאה חלקית במים. לווה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

נתון: קרן היוצאת מן המטבע ומגיעה לעין של רמי עוברת בתוך המים מרחק $d = 0.61\text{m}$. זווית השבירה של קרן זו היא: $\beta = 13.6^\circ$.

ג. חשב את עומק המים.

(14) בגרות 2016 שאלה 7

בתרשים שלפניך מוצב כלי ריק שצורתו גליל. גובה הכלי 12cm וקוטרו 6cm . בתחתית הכלי מונחים שני חרוזים קטנים מאוד: חרוז A צמוד לדופן הכלי וחרוז B במרכז התחתית של הכלי.



תלמיד הביט אל תוך הכלי בכיוון EC (הנקודה C נמצאת על שפת הכלי). כאשר הכלי היה ריק התלמיד ראה את חרוז A בלבד. מילאו את הכלי עד שפתו בנוזל שקוף. התלמיד הסתכל באותו כיוון וראה את חרוז B בלבד.

א. העתק את תרשים הכלי והעין למחברתך בלי הקו המקווקו. הוסף לתרשים שבמחברתך קרן אור שמגיעה מחרוז B, עוברת בתוך הנוזל אל נקודה C ומגיעה לעין התלמיד.

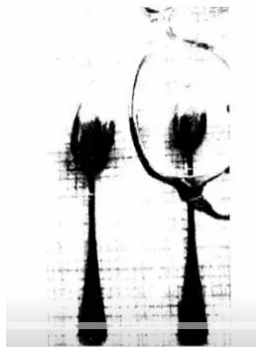
סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה (α) ואת זווית השבירה (β) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

ג. קבע אם חרוז B נראה לתלמיד בעומק האמיתי שהוא היה בו, גבוה יותר או נמוך יותר. נמק את קביעתך באמצעות סרטוט תרשים נוסף של הכלי ומהלך הקרניים.

15) בגרות 2016 שאלה 6

תלמידה רצתה לבדוק את סוג העדשות במשקפיים של דודתה. לשם כך הניחה התלמידה שתי כפיות זהות על השולחן, והניחה עדשה של המשקפיים מעל אחת הכפיות. בתרשים שלפניך נראה תצלום הכפיות והמשקפיים שצילמה התלמידה.



- א. בכל אחת מן האפשרויות i-iii שלפניך, קבע מהו המאפיין הנכון של דמות הכפית הנראית מבעד לעדשה:
- ישרה או הפוכה.
 - ממשית או מדומה.
 - מוגדלת או מוקטנת.
- ב. האם העדשה מרכזת או מפזרת? נמק את תשובתך.
- ג. מצא את דמות הכפית באמצעות סרטוט מדויק של מהלך שלוש קרניים. נתון: רוחק מוקד העדשה: $|f| = 12\text{cm}$, מרחק העצם מהעדשה 6cm , גובה העצם 3cm .
- בסרטוט השתמש בקנה מידה של 1cm משבצת 1cm ס"מ.
- ד. חשב באמצעות נוסחאות את גובה הדמות ואת מרחקה מהעדשה. האם תוצאות החישוב מתאימות לאותם ערכים שהתקבלו בסרטוט?

16 בגרות 2015 שאלה 7

ילד הלוּבש חולצה שעליה מודפסת האות F עומד מול מראה מישורית התלויה על קיר (ראה איור).



- א. מהי התופעה הפיזיקאלית שגורמת להשתקפות הילד רק במראה ולא בקיר?
 ב. המרחק של הילד מן המראה היה 1 מטר, והוא החל להתקרב אליה

$$v = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- במהירות קבועה:
 חשב בתוך כמה זמן יהיה המרחק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.
 ג. לפניך ארבע צורות IV-I של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במראה רואה אותה.


17 בגרות 2014 שאלה 6

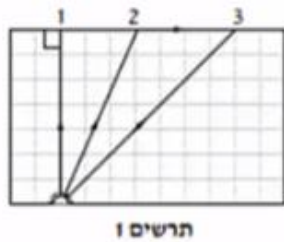
- יאיר ישב במכונית ורצה לעיין במפה שבידיו (זה היה לפני עידן ה-G.P.S).
 בחוץ שרר חושך, ולכן יאיר הדליק נורה בתוך המכונית.
 א. כדי שיראה היטב את המפה, האם על יאיר לכוון את אלומת האור מן הנורה לעבר עיניו או לעבר המפה? נמק.

- לאחר שיאיר הדליק את הנורה הוא התבונן בשמשת החלון של מכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבחוץ, אלא את דמותו המשתקפת בשמשת החלון.
 ב. הסבר באמצעות תרשים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשמשת החלון.

יאיר מאס בפקקי התנועה שבכבישים, והחליט לנסוע ברכבת. בתוך קרון הרכבת דלק אור, ומחוץ לרכבת שרר חושך. יאיר הבחין בשתי דמויות שלו המשתקפות בחלון הרכבת. חלון הרכבת מורכב משני לוחות זכוכית מקבילים וביניהם מרווח שבו שכבת אוויר.
 אפשר להזניח את העובי של לוחות הזכוכית.

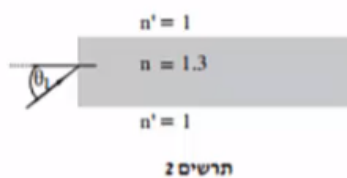
- ג. מדוע ברכבת הבחין יאיר בשתי דמויות, ולא בדמות אחת, כפי שראה במכוניתו? פרט את תשובתך.
 ד. באותם תנאי תאורה הכניסו נייר שחור למרווח שבין שני לוחות הזכוכית. הנייר אוטם את כל המרווח. כמה דמויות השתקפו בחלון? נמק.

18) בגרות 2014 שאלה 7



מקור אור נקודתי נמצא בתוך מנסרה מלבנית (תיבה) העשויה מחומר שקוף. המנסרה נמצאת באוויר. בתרשים 1 מוצג חתך של המנסרה המקביל לשתיים מדופנות המנסרה, וכן מוצג בו מהלכן של שלוש קרניים 1, 2, 3, שמקורן במקור האור. זווית השבירה של קרן 2 היא 90° בקירוב.

- א. העתק את תרשים 1 למחברתך, והשלם בו במדויק את המשך המהלך של קרן 1 ושל קרן 3. הסבר את שיקולך.
- ב. על פי התרשים, חשב את הזווית הגבולית (קריטית) למעבר אור מן החומר השקוף לאוויר.

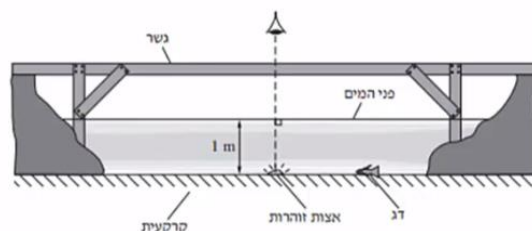


אפשר להעביר מידע למרחקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשים 2 מתואר חתך של סיב אופטי העשוי מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו: $n = 1.3$, וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה θ_1 .

- ג. כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשים 2), זווית הפגיעה θ_1 צריכה להיות קטנה מ- 57° כדי למנוע דליפת (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך היעזר בתרשים.

19) בגרות 2013 תרגיל 1

בגן חיות יש בריכה ובה דגים ויצורי מים מיוחדים. מושבה של אצות זוהרות (פולטות אור) נחה על קרקעית הבריכה, בעומק של 1 מטר. מקדם השבירה של מי הבריכה ביחס לאוויר הוא: $n = 1.33$. מעל הבריכה נמתח גשר שממנו המבקרים יכולים לצפות בבריכה (ראה תרשים). התייחס למושבת האצות כאל מקור אור נקודתי.

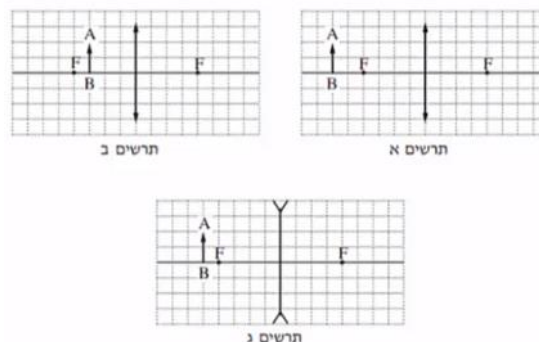


- א. האור שנפלט ממושבת האצות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. היעזר בתרשים מתאים.
- ב. חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.
- ג. אדם הניצב על הגשר בדיוק מעל מושבת האצות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

- ד. דג השוחה על קרקעית הבריכה, בעומק 1 מטר, רואה את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות מפני המים. חשב את המרחק (האופקי) המינימלי בין הדג לבין מושבת האצות, שהוא יכול לראות בו את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות בהחזרה מלאה.
- ה. כאשר הדג בעומק של 1 מטר, אבל המרחק בינו לבין מושבת האצות קטן יותר מהמרחק שחיבת בסעיף ד', הוא עדיין רואה את השתקפות האצות בפני המים. הסבר מדוע.

(20) בגרות 2013 שאלה 6

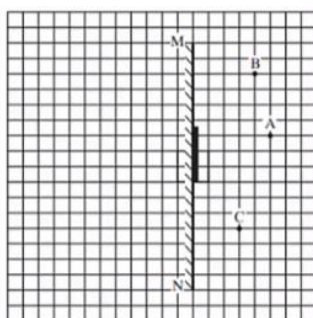
- אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזות זהות רואה בעזרתם את הדמות המדומה של עצם.
- א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מדומה", בהסברך תוכל להיעזר בתרשימים.
- ב. בתרשימים אי-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם. קבע איזה תרשים מתאים לתיאור שבפתיח. נמק את קביעתך.



- ג. עוצמת העדשה היא 2 דיופטריות. מהו רוחק המוקד של העדשה?
- ד. המרחק בין הדמות לעדשה הוא 60cm. חשב את המרחק בין העצם לעדשה.

(21) בגרות 2012 שאלה 1

- עצם ניצב לפני משטח מישורי.
- א. מה צריך להתקיים כדי שתיווצר דמות של העצם על ידי המשטח?
- ב. כאשר נוצרת דמות של העצם על ידי המשטח, איזה תנאי חייב להתקיים כדי שצופה המתבונן במשטח יראה בו את הדמות של העצם?
- באיור שלפניך מתואר חתך של מראה מישורית MN המכוסה במרכזת בכיסוי בד אטום. בנקודה A נמצא עצם נקודתי.
- בכל אחת מהנקודות B ו-C נמצא צופה (צופה B, צופה C). הנקודות A, B, C נמצאות על אותו מישור.



העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

ג. האם צופה B וצופה C רואים את הדמות A באותו מקום? הסבר.

ד. צלע של משבצת אחת מייצגת מרחק של 20 ס"מ במציאות. חשב את

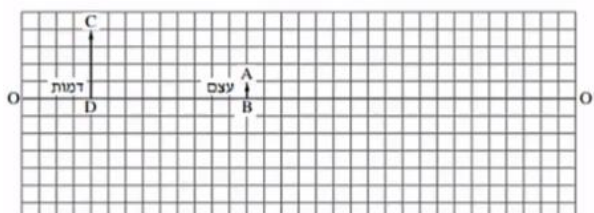
המרחק של הצופה הנמצא בנקודה C מהדמות של העצם A.

ה. צופה C מביט אל עבר המראה, אך אינו רואה בה את דמות העין של צופה B.

האם צופה B המביט אל עבר המראה רואה בה את דמות העין של צופה C? הסבר.

22) בגרות 2011 שאלה 1

בתרשים שלפניך הקטע OO' מסמן ציר אופטי של עדשה דקה (העדשה אינה מוצגת בתרשים). הקטע AB מסמן עצם, והקטע CD מסמן את הדמות של העצם הנוצרת בעזרת העדשה. הצלע של כל משבצת בתרשים – 1 ס"מ .



א. מדוע הדמות המתוארת בתרשים יכולה להיווצר רק בעזרת עדשה מרכזת?

העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטטת כדי לענות על סעיפים ב'–ג'.

ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסף אותה לתרשים.

ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:

i. סרטוט של מהלך קרני האור.

ii. חישוב.

ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים u_1 , נוצרת דמות הפוכה

ביחס לעצם. קבע מהו u_1 .

ה. כשהמרחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים u_2 , הגדול מ- u_1 , נוצרת

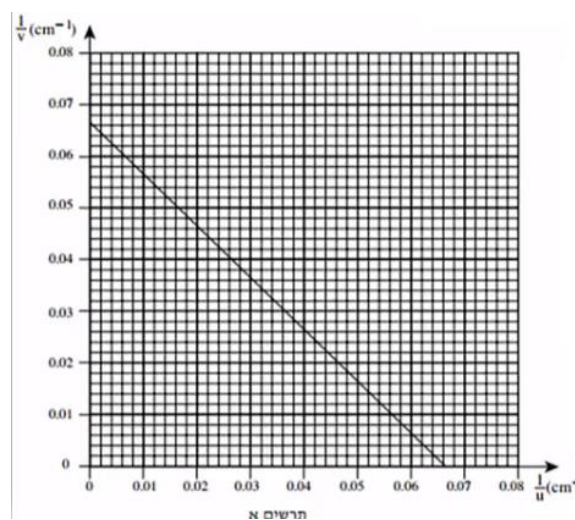
דמות באותו גובה של הדמות CD שבתרשים. מצא את u_2 .

(23) בגרות 2009 שאלה 1

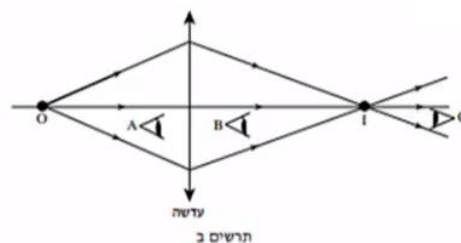
ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה (u), ואת המרחק של המסך שעליו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה (v). לאחר מכן הוא חישב את ערכי $\frac{1}{u}$ ו- $\frac{1}{v}$, ועל פי ערכים אלה סרטט גרף של $\frac{1}{v}$ (ביחידות cm^{-1}) כפונקציה

של $\frac{1}{u}$ (ביחידות cm^{-1}).

הגרף מוצג בתרשים א'.



- א. הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.
- ב. מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.
- ג. כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.
- ד. בתרשים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמותו I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת דקה.



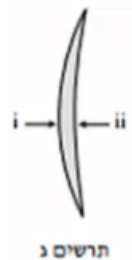
האם אפשר לראות את הדמות I גם ללא מסך?
 אם כן – באיזו מהנקודות A, B או C צריכה להימצא העין (על פי כיווני ההסתכלות שלה המתוארים בתרשים) כדי לראות את הדמות I?

אם לא – היעזר בתרשים ב', והסבר מדוע אי-אפשר לראות את הדמות ללא מסך.

ה. בתרשים ג' שלפניך מתואר חתך של עדשה קמורה-קעורה דקה עשויה מזכוכית. מטילים על העדשה פעמיים אלומת אור מקבילה ואופקית, המתפשטת באוויר:

במקרה i אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקמור.

במקרה ii אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקעור.



העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים i-iv שלפניך:

- i. העדשה מרכזת את האור בשני המקרים.
- ii. העדשה מרכזת את האור במקרה i ומפזרת אותו במקרה ii.
- iii. העדשה מפזרת את האור במקרה i ומרכזת אותו במקרה ii.
- iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

24 בגרות 2007 שאלה 2

על ספסל אופטי המונח על שולחן, מציבים מקור אור שצורתו מלבן (מלבן מלא). עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה הוא: $f = 30\text{cm}$, ומסך.

מקור האור, העדשה והמסך מקבילים זה לזה. שתיים מהצלעות של מקור האור המלבני מאונכות לשולחן. הדמות של מקור האור מתקבלת על המסך, וגובהה גדול פי 2 מהגובה של מקור האור.

- א. חשב את המרחק של מקור האור מן העדשה.
- ב. פי כמה גדול שטח הדמות מהשטח של מקור האור? נמק.
- ג. מציבים את מקור האור במרחק 160cm מן המסך. באיזה מרחק ממקור האור יש להציב את העדשה, כדי שתתקבל על המסך דמות חדה שלו? אם יש יותר מאפשרות אחת, כתוב את כולן.

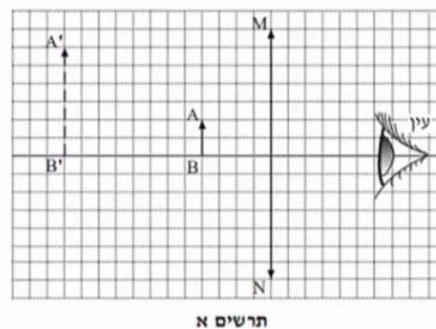
האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מישורית המונחת על לוח עץ, ופנס הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות אור נוספים.



ד. מדוע המראה שבתצלום נראית חשוכה, ואילו החלק של לוח העץ שבו פוגעת אלומת האור נראה מואר?

25) בגרות 2004 שאלה 1

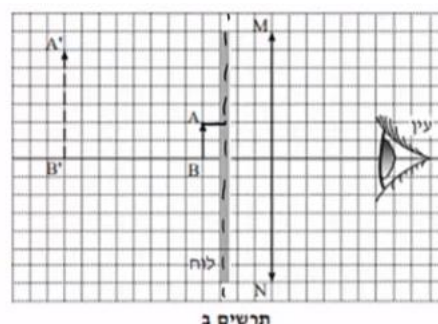
בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת, MN , הציר האופטי שלה, בול דואר, AB , הדמות של הבול, $A'B'$, הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול. אורך הצלע של כל משבצת בתרשים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



א. ענה על הסעיפים הבאים:

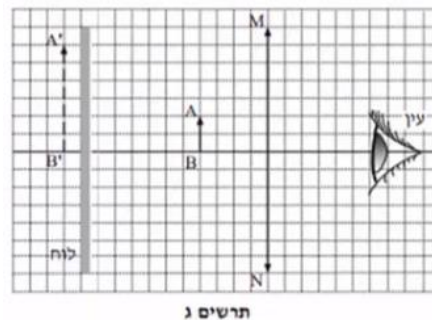
- i. מצא את אורך מוקד העדשה.
- ii. חשב את עוצמת העדשה. הצג את תשובתך בדיופטר.

באותה מערכת מציבים לוח אטום לאור לפני הבול, בין הבול לעדשה (ראה תרשים ב').



ב. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

את הלוח האטום לאור מעבירים אל מאחורי הבול, כמוצג בתרשים ג'.



ג. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

ד. מסלקים את הלוח האטום. הבול, העדשה והעין נשארים במקומם. הצופה מתבונן בבול דרך העדשה (ראה תרשים א'), ואחר כך הוא מסלק את העדשה ומתבונן בבול.

באיזה משני המצבים (עם העדשה או בלי העדשה) הבול נראה לצופה גדול יותר? הסבר את תשובתך במונחים של זוויות ראייה.

ה. העתק למחברתך את תרשים א'. (כל משבצת בתרשים תהיה משבצת במחברת). סרטט קרן, המופצת מראש הבול (A), עוברת בעדשה, וחודרת למרכז האישון של עין הצופה.

תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן שסרטטת.

תשובות סופיות:

- (1) א. ראה סרטון. ב. i. 6m ii. 6m ג. 2.4m ד. ראה סרטון.
- (2) א. $t = 1.28 \text{ sec}$ ב. $t \cong 8 \frac{1}{3} \text{ min}$ ג. $t = 10^{-9}$ ד. $9.47 \cdot 10^{15} \text{ m}$
- (3) ראה סרטון.
- (4) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m
- (5) 2.43m
- (6) א. 26.3° ב. ראה סרטון.
- (7) א. לא. ב. $\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$ ג. ראה סרטון. ד. 1.353
- (8) ראה סרטון.
- (9) ראה סרטון.
- (10) א. ראה סרטון. ב. i. $V = 24 \text{ cm}$ ii. $H_i = 8 \text{ cm}$ ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- (11) א. ראה סרטון. ב. i. $V \approx 6.5 \text{ cm}$ ii. $H_i \approx 7.95 \text{ cm}$ ג. לא. ד. כן. ה. כן.
- (12) א. i. $V = -4.4 \text{ cm}$ ii. $H_i = 2.2 \text{ cm}$ iii. מדומה, מוקטנת, ישרה. ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון.
- (13) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. $h = 0.6 \text{ m}$
- (14) א. ראה סרטון. ב. 1.85 ג. נמוך יותר.
- (15) א. i. ישרה. ii. מדומה. iii. מוקטנת. ב. מפזרת. ג. ראה סרטון. ד. $V = 0.4 \text{ cm}$, $H_i = 2 \text{ cm}$, כן.
- (16) א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות במפגש הקרניים המוחזרות. ב. 1.5sec ג. IV.
- (17) א. לעבר המפה. ב. ראה סרטון. ג. כל משטח מתפקד כמראה עצמאית. ד. דמות 1.
- (18) א. ראה סרטון. ב. $\theta_c = 23.2^\circ$ ג. ראה סרטון.
- (19) א. ראה סרטון. ב. $r = 1.14 \text{ m}$ ג. ראה סרטון. ד. $x = 2.28 \text{ m}$ ה. ראה סרטון.
- (20) א. דמות ממשית – מתקבלת במפגש המשכי הקרניים הממשיות. דמות מדומה – מתקבלת בנקודת מפגש המשכי הקרניים המדומות. ב. תרשים ב'. ג. 50cm ד. $u = 27.3 \text{ cm}$

- (21) א. 1. קרניים שיצאו מהסוף, 2. ההחזרה מהמשטח תהיה מסודרת.
 ב. הצופה יימצא בשדה בראייה של הדמות. ג. כן. ד. $2m$.
 ה. לא.
- (22) א. הדמות לא יכולה להיווצר בעדשה מפזרת. ב. ראה סרטון.
 ג. $4cm$. ד. $u > f$. ה. $u_2 = 8cm$.
 (23) א. ראה סרטון. ב. $15.1cm$. ג. ראה סרטון.
 ד. כן. ה. i.
 (24) א. $u = 45cm$. ב. פי 4. ג. $u_1 = 120cm$, $u_2 = 40cm$.
 ד. ראה סרטון.
 (25) א. i. $f = 30cm$. ii. $C = 3.33D$. ב. לא. ג. כן.
 ד. ראה סרטון. ה. ראה סרטון.

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 7 - מעגלי זרם חילופין

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 48

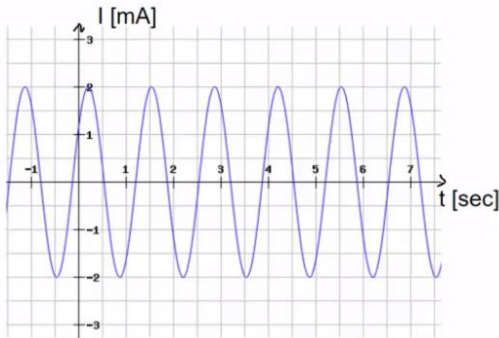
הרצאות ותרגילים:

שאלות:

(1) חישוב נוסחה

- מקור מתח חילופין מספק מתח מקסימלי של 220 וולט בתדירות 50 הרץ.
 א. מהו זמן המחזור של הפונקציה ומהי התדירות הזוויתית?
 ב. רשום נוסחה למתח כתלות בזמן.

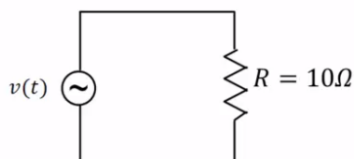
(2) גרפים



- בניסוי עם מעגל זרם חילופין הזרם במעגל נמדד באמצעות אמפרמטר המחובר למחשב. הזרם כפונקציה של הזמן ניתן מהמחשב בגרף הבא.
 א. מהו הזרם המקסימאלי במעגל?
 ב. מהו זמן המחזור של המקור ומהי התדירות הזוויתית?
 ג. מהי זווית המופע של הזרם?
 ד. רשום את הפונקציה של הזרם כתלות בזמן.

(3) נגד ומקור בלבד

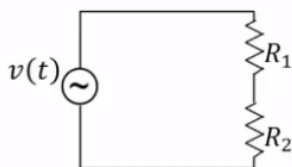
נגד בעל התנגדות של 10 אוהם מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 50 הרץ.



- א. מהי התדירות הזוויתית של המקור?
 ב. רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
 ג. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

(4) שני נגדים בטור

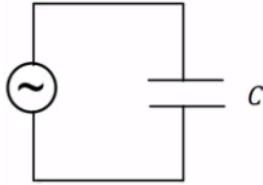
במעגל הבא שני נגדים: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$ המחוברים בטור למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימלי 5V ותדירות 10Hz.



- א. מהו המתח כתלות בזמן של המקור?
 ב. מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?
 ג. מהו הזרם בכל אחד מהנגדים?
 ד. מהו המתח כתלות בזמן על כל נגד?

(5) קבל ומקור

מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 100 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול $C = 150\mu\text{F}$.



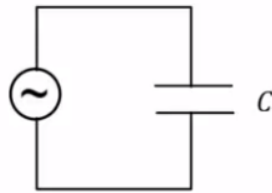
- מצא את המתח של המקור כתלות בזמן.
- חשב את ההיגב של הקבל.
- מצא את הזרם בקבל כתלות בזמן.

(6) חישוב קיבול מהיגב

במעגל של מקור אידיאלי וקבל בלבד נתון כי

מתח המקור הוא: $V_s(t) = 3\sin\left(120t - \frac{\pi}{2}\right)$ בוולט,

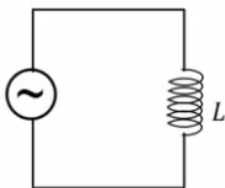
והזרם הוא: $I(t) = 0.02\sin(120t)$ באמפר.



- מצא את ההיגב של הקבל.
- חשב את הקיבול של הקבל.

(7) סליל ומקור

סליל בעל השראות $L = 30\text{mH}$ מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימאלי של 8 וולט ותדירות של 40 הרץ.



- רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
- חשב את העכבה של הסליל ואת הזרם המקסימאלי.
- מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

(8) מצא את המתח

במעגל עם מקור מתח חילופין מחברים אמפרמטר בטור לסליל. השראת הסליל היא: $L = 50\text{mH}$. מדידת האמפרמטר מראה כי הזרם כתלות בזמן הוא: $I(t) = 0.03\sin(20\pi \cdot t)$.

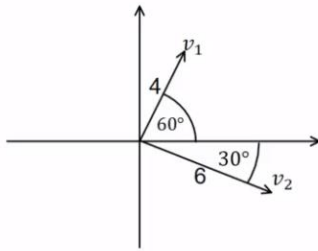
- חשב את העכבה של הסליל.
- מהו המתח על הסליל כתלות בזמן?

(9) בניית פאזורים

צייר את הפאזור המתאים לכל אחת מהפונקציות הבאות על מערכת צירים:

א. $v_1(t) = 2\sin\left(50t + \frac{\pi}{6}\right)$

ב. $v_2(t) = 4\sin\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$

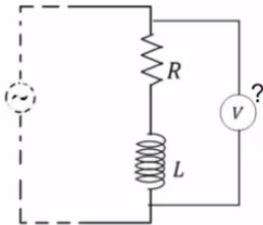
**(10) חישוב הפונקציות מהפאזורים**

חשב את הפונקציה המתאימה לפאזורים הבאים אם ידוע כי תדירות המקור היא 50 הרץ.

(11) חיבור שתי פונקציות

חבר את הפונקציות הבאות באמצעות פאזורים ובדוק כי התוצאה שקיבלת נכונה עבור הזמן $t = 1 \text{ sec}$:

$$V_1(t) = 5 \sin\left(20t + \frac{\pi}{6}\right), \quad V_2(t) = 8 \sin\left(20t - \frac{\pi}{4}\right)$$

(12) חיבור סליל ונגד

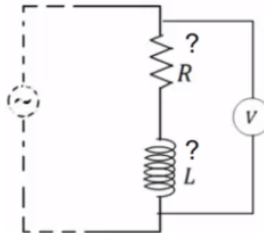
סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.

המתח על הסליל כתלות בזמן הוא: $V_L(t) = 4 \sin\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$

והמתח על הנגד כתלות בזמן הוא: $V_R(t) = 3 \sin(50t)$.

מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.

מהי פונקציית המתח כתלות בזמן שיראה מד המתח?

(13) פירוק של סליל ונגד

סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.

מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.

המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן

הוא: $V_{LR}(t) = 20 \sin\left(20t + \frac{\pi}{3}\right)$ כאשר הפאזה היא

ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).

מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח

כתלות בזמן של הסליל?

(14) פירוק קבל ונגד

קבל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.

מד מתח מודד את המתח על הקבל והנגד ביחד.

פונקציית המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן היא: $V_{RC}(t) = 5 \sin\left(10t - \frac{\pi}{5}\right)$

כאשר הפאזה היא ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).

מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח כתלות בזמן

של הקבל?

(15) חישוב מתחים RLC

במעגל RLC נתון: $R = 100\Omega$, $L = 30\text{mH}$, $C = 330\mu\text{F}$ והזרם כתלות בזמן הוא: $I(t) = 0.03\sin(2\pi \cdot 40 \cdot t)$ באמפר.
מצא את המתח כתלות בזמן בכל רכיב.

(16) חישוב זרם

מקור מתח חילופין מחובר בטור לנגד סליל וקבל.
נתון כי: $R = 10\Omega$, $L = 33\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$.
תדירות המקור היא 50Hz והמתח המקסימאלי שלו הוא 5V .
א. חשב את העכבה של המעגל.
ב. מה יהיה הזרם המקסימאלי במעגל?
ג. נגדיר את זווית המופע של הזרם להיות אפס, רשום נוסחה לזרם כתלות בזמן.

(17) חישוב עכבה של סליל ונגד בלבד

נגד וסליל מחוברים בטור למקור מתח חילופין. התנגדות הנגד היא R , השראת הסליל היא L והתדירות הזוויתית של המקור היא ω .
חשב את העכבה של המעגל (התייחס לפרמטרים בשאלה כנתונים).

(18) חישוב מתח מקור כתלות בזמן

במעגל מתח חילופין המכיל נגד, סליל וקבל המחוברים בטור נתון: $R = 20\Omega$, $L = 30\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$.
הזרם במעגל כתלות בזמן הוא: $I(t) = 0.1\sin(20\pi t)$ באמפר.
א. מצא את המתח כתלות בזמן בנגד, בקבל ובסליל.
ב. מצא את העכבה של המעגל וזווית המופע של המקור.
ג. רשום נוסחה למתח של המקור כתלות בזמן.

(19) מתח מקסימאלי בארהב

בארה"ב המתח בשקע הוא 110 וולט, מהו המתח המקסימאלי בשקע אמריקאי?

(20) תרגיל 1

מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי 120V ותדירות 40 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול של $100\mu\text{F}$. המתח של הקבל בזמן אפס הוא אפס.
א. רשום ביטוי למתח על הקבל כפונקציה של הזמן.
ב. רשום ביטוי לזרם בקבל כתלות בזמן.
ג. מהו המתח האפקטיבי והזרם האפקטיבי במעגל?

21) תרגיל 2

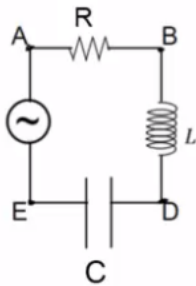
- מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 110 וולט ותדירות 40 הרץ מחובר לסליל של 100mH עם התנגדות פנימית של 30Ω .
 הנח כי הזרם בזמן אפס שווה לאפס.
 א. חשב את העכבה של המעגל.
 ב. מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?
 ג. מה הביטוי למתח של הסליל ומתח המקור כתלות בזמן?

22) תרגיל 3

- מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 200 וולט ותדירות 50 הרץ מחובר לסליל של 80mH עם התנגדות פנימית של 50Ω .
 הנח כי מתח המקור שווה לאפס בזמן אפס.
 א. מה הביטוי למתח על הסליל כתלות בזמן?
 ב. מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?
 ג. מה הקבל שיביא את המעגל לתהודה?

23) תרגיל 4

נתון המעגל שבאיור.



$$V_s(t) = 110 \sin(200t), \quad R = 50\Omega, \quad L = 50\text{mH}, \quad C = 70\mu\text{F}$$

- א. מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות AD?
 ב. מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות BE?
 ג. מהו הפרש המופע בין הזרם ל- V_{AD} ?
 ד. מהו הפרש המופע בין הזרם במעגל לבין V_{BE} ?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad V(t) = 220v \sin(314 \cdot t) \quad \text{ב.} \quad T = 0.02 \text{ sec}, \quad \omega = 314 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{א.}$$

$$(2) \quad I_{\max} = 2 \text{ mA} \quad \text{א.} \quad T = \frac{4}{3} \text{ sec}, \quad \omega = 1.5\pi \quad \text{ב.} \quad \theta = 0.675 \text{ rad} \quad \text{ג.}$$

$$I(t) = 2 \text{ mA} \sin(1.5\pi \cdot t + 0.675) \quad \text{ד.}$$

$$(3) \quad \omega \approx 314 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad V(t) = 5v \sin(314 \cdot t) \quad \text{ב.} \quad I = 0.5 \text{ A} \sin(314 \cdot t) \quad \text{ג.}$$

$$(4) \quad V(t) = 5 \cdot \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{א.} \quad I_R = \frac{1}{3} \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{ב.}$$

$$I_1 = I_2 = I_R = \frac{1}{3} \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{ג.} \quad V_1(t) = \frac{5}{3} \sin(62.8 \cdot t), \quad V_2(t) = \frac{10}{3} \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{ד.}$$

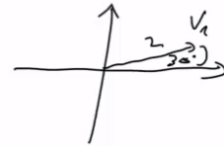
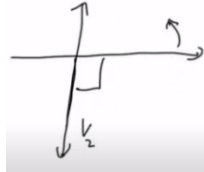
$$(5) \quad V_s(t) = 5 \sin(628t) \quad \text{א.} \quad x_C \approx 10.3 \Omega \quad \text{ב.} \quad I_C(t) = 0.485 \text{ A} \sin\left(628t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ג.}$$

$$(6) \quad x_C = 150 \Omega \quad \text{א.} \quad C = 55.6 \mu\text{F} \quad \text{ב.}$$

$$(7) \quad V_s(t) = 8 \sin(251t) \quad \text{א.} \quad x_L = 7.56 \Omega, \quad I_{\max} \approx 1.06 \text{ A} \quad \text{ב.} \quad I(t) = 1.06 \sin\left(251t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ג.}$$

$$(8) \quad x_L = 3.14 \Omega \quad \text{א.} \quad V_L(t) = 9.42v \sin\left(20\pi \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ב.}$$

$$(9) \quad \text{א.} \quad \text{ב.}$$



$$V_1(t) = 4 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right), \quad V_2(t) = 6 \sin\left(314t - \frac{\pi}{6}\right) \quad (10)$$

$$V_3(t) = 12.9 \sin(20t + 0.684) \quad (11)$$

$$V_{LR}(t) = 5 \sin(50t + 0.93) \quad (12)$$

$$V_R(t) = 10 \sin(20t), \quad V_L(t) = 10\sqrt{3} \cdot \sin\left(20t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (13)$$

$$V_R(t) = 4.05 \sin(10t), \quad V_C(t) = 2.94 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (14)$$

$$V_R(t) = 3 \sin(2\pi \cdot 40 \cdot t), \quad V_L(t) = 0.226 \sin\left(2\pi \cdot 40 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right), \quad V_C(t) = 0.317 \sin\left(2\pi \cdot 40 \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (15)$$

$$(16) \quad \omega = 23.7 \Omega \quad \text{א.} \quad I_{\max} \approx 0.211 \text{ A} \quad \text{ב.} \quad I(t) = 0.211 \sin(314t) \quad \text{ג.}$$

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (17)$$

$$V_R(t) = 2 \sin(20\pi t), V_L(t) = 0.188 \sin\left(20\pi t + \frac{\pi}{2}\right), V_C(t) = 15.9 \sin\left(20\pi t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{א.} \quad (18)$$

$$V_S(t) = 16 \sin(20\pi t + 1.45) \quad \text{ג.} \quad z = 160\Omega \quad \text{ב.}$$

$$V_{\max} \approx 156V \quad (19)$$

$$I(t) = 3.02A \sin\left(80\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ב.} \quad V_C(t) = 120V \sin(80\pi \cdot t) \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$V_{\text{eff}} \approx 84.85V, I_{\text{eff}} \approx 2.135A \quad \text{ג.}$$

$$I(t) = 2.81A \sin(80\pi t) \quad \text{ב.} \quad z_{Lr} = 39.1\Omega \quad \text{א.} \quad (21)$$

$$V_{LR}(t) = 110V \sin(80\pi t + 0.696) \quad \text{ג.}$$

$$I(t) = 3.574 \cdot \sin(100\pi t - 55.96) \quad \text{ב.} \quad V_{Lr}(t) = 200 \sin(100\pi \cdot t) \quad \text{א.} \quad (22)$$

$$C = 127\mu F \quad \text{ג.}$$

$$\theta_{AD} \approx 0.198\text{rad} \quad \text{ג.} \quad V_{BEff} \approx 60.3V \quad \text{ב.} \quad V_{ADeff} = 50.1V \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$\theta_{BE} = -\frac{\pi}{2} \quad \text{ד.}$$

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 8 - סמפרטורה התפשטות תרמית וחוק הגז האידיאלי

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 55

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

(1) דוגמה-טמפרטורה שווה

- א. גוף נמצא בטמפרטורה של 37°C .
מה הטמפרטורה של הגוף בפרנהייט?
ב. מודדים את הטמפרטורה של גוף פעם אחת בצלזיוס ופעם אחת בפרנהייט
ומקבלים שכמות הערך הנמדד זהה (כלומר אותו מספר בצלזיוס ובפרנהייט).
מהי טמפרטורת הגוף?

(2) דוגמה-בלון הליום

- א. מהי המסה האטומית של אטום הליום (He) בעל שני פרוטונים ושני נויטרונים?
ב. חשב את המסה המולקולרית של הליום?
ג. כמה מולים יש בבלון המכיל 50 גרם הליום?
ד. כמה אטומים של הליום יש בבלון?

(3) דוגמה-ערבוב הליום עם מימן

- ערבבו 50 מול של מימן עם 30 מול של הליום 4.
מהי מסת החומר לאחר הערבוב?

(4) דוגמה-בקבוק מים

- בקבוק מים מכיל 2 ליטר מים. הנח שצפיפות המים היא: $1\text{k} \frac{\text{g}}{\text{L}}$.
א. חשב את המסה המולקולרית של מים (H_2O).
ב. כמה מולים של מים יש בבקבוק?
הצליחו לפרק כל מולקולה בבקבוק לשני אטומים של מימן ואטום של חמצן.
ג. כמה מולים של מימן וכמה מולים של חמצן יש בבקבוק?

(5) דוגמה-חנקן דו חמצני

- חנקן דו חמצני (NO_2) מורכב מאטום חנקן ושני אטומי חמצן.
רוצים להכין 50 מול של חנקן דו חמצני ע"י ערבוב של מיכל המכיל חמצן (O_2)
בלבד ומיכל המכיל חנקן בלבד.
א. כמה מולים צריכים להיות בכל מיכל לפני הערבוב?
ב. כמה מולים היו צריכים להיות במיכל החמצן אם חמצן היה גז חד אטומי
(כלומר כל חלקיק בגז היה מורכב מאטום יחיד של חמצן)?
ג. מהי מסת החמצן ומהי מסת החנקן לפני הערבוב?

(6) דוגמה-מחממים גז במיכל סגור

גז מוחזק במיכל ברזל סגור בלחץ של 1 atm ובטמפ' של 25°C .
מחממים את המיכל לטמפ' של 100°C .
מה יהיה הלחץ של הגז במיכל?

(7) דוגמה-נפח של מול ב-STP

מצא מהו הנפח של מול אחד של גז כלשהו ב-STP?

(8) מנפחים בלון

מנפחים בלון בגז הליום עד אשר הוא מגיע לנפח של 2 L ב-STP.
א. מהו מספר המולים של הליום שהוכנסו לבלון?
ב. מהי מסת הגז שהוכנסה לבלון?
ג. מהי התשובה לסעיף א' אם הטמפרטורה היא טמפרטורת החדר (בערך 27°C).

(9) לחץ בצמיג

מנפחים צמיג לפני נסיעה ללחץ של 32 psi ($1 \text{ psi} \approx 6,895 \text{ Pa}$) ביום בו הטמפרטורה היא 27°C . לאחר נסיעה ארוכה טמפרטורת הצמיג עולה כתוצאה מחיכוך עם הכביש ל- 60°C .
מה יהיה הלחץ החדש בצמיג ב- psi ?
(שים לב שהלחץ הנמדד בצמיג הוא ביחס ללחץ אטמוספרי).

(10) דוגמה-מולקולות בנשימה

הערך כמה מולקולות ישנם בנשימה אחת אם בערך נפח האוויר בנשימה הוא ליטר אחד.

(11) סרט מדידה

סרט מדידה עשוי מברזל, הסרט כויל בטמפרטורה של 15°C .
מודדים עם הסרט ביום בו הטמפרטורה היא 35°C .
א. האם המדידה שיראה הסרט נמוכה או גבוהה מהאורך האמיתי?
ב. חשב את אחוז הטעות במדידה של הסרט.

**(12) צוללן מנפח ריאות**

צוללן מנפח את הריאות לנפח מקסימלי של 5 L כאשר הוא 7 מטר מתחת לפני המים.
מה יהיה נפח הריאות של הצוללן אם יעלה לפני המים ויחזיק את נשימתו עצורה?
הערה: לחץ בתוך מים גדל ב- 9.8 Pa לכל מילימטר גובה (או עומק) מתחת לפני המים.

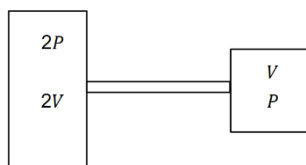
(13) מתי למלא דלק

הצפיפות של דלק ב- 0°C היא: $0.68 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

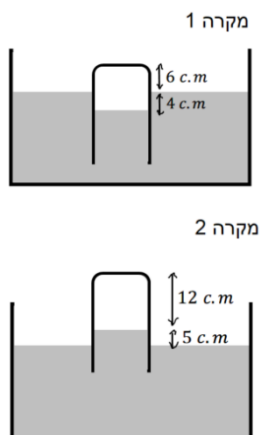
- מה הצפיפות של דלק ביום חם בו הטמפרטורה היא 40°C ?
- מה אחוז השינוי בצפיפות?
- אם מחיר הדלק נקבע לפי ליטרים (כלומר לפי הנפח) מתי עדיף למלא דלק ביום קר או חם?

(14) שני מיכלים מחוברים בצינור

שני מיכלים מלאים בגזים שונים ונמצאים באותה הטמפרטורה. נפח מיכל אחד הוא V והלחץ בו P ונפח המיכל השני הוא $2V$ והלחץ בו $2P$. מחברים את המיכלים בצינור בעל נפח זניח. בעת הערבוב כל מולקולה ממכל



אחד מתרכבת עם מולקולה ממיכל 2 ונוצרת מולקולה אחת חדשה (לא כל המולקולות במיכל 2 מתרכבות). מה הלחץ במיכלים לאחר החיבור בהנחה כי הטמפרטורה לא משתנה? (הבא תשובתך באמצעות P).

(15) צינורית במיכל כספית

מיכל גדול מאוד מכיל כספית ונמצא בחדר לחץ בו לחץ האוויר אינו ידוע. טובלים במיכל צינורית זכוכית דקה הסגורה בחלקה העליון. כאשר מחזיקים את הקצה העליון של הצינורית בגובה 6 ס"מ מעל פני הכספית במיכל, גובה הכספית בצינורית הוא 4 ס"מ מתחת לפני הכספית במיכל. כאשר מחזיקים את הקצה העליון של הצינורית בגובה 17 ס"מ מעל פני הכספית במיכל, גובה הכספית בצינורית הוא 5 ס"מ מעל לפני הכספית במיכל. הנח שגובה פני הכספית במיכל קבוע.

- מהו לחץ האוויר בחדר?
- באיזה גובה צריך להחזיק את קצה הצינורית מעל המיכל כך שפני הכספית בצינורית יהיו בגובה הכספית של המיכל?

תשובות סופיות:

- (1) א. 98.6°F ב. -40°C
- (2) א. $m_a \approx 4_u$ ב. $M = 4\text{gr}$ ג. 12.5mol ד. $7.53 \cdot 10^{24}$ אטומים
- (3) 170gr
- (4) א. $18u$ ב. 111mol ג. 111mol חמצן, 222mol מימן
- (5) א. 50mol חמצן, 50mol חנקן ב. 100mol חמצן ג. 0.7kg חנקן, 1.6kg חמצן
- (6) $\approx 1.25\text{atm}$
- (7) $\approx 22.41\text{L}$
- (8) א. 0.0892mol ב. 0.359gr ג. 0.0812mol
- (9) $\approx 37\text{psi}$
- (10) $\approx 2.45 \cdot 10^{22}$
- (11) א. נמוכה ב. 0.024%
- (12) $\approx 8.42\text{L}$
- (13) א. $0.655 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ב. $\approx 3.68\%$ ג. ביום קר
- (14) א. $\frac{4}{3}p$
- (15) א. 0.656atm ב. 10.8c.m

יסודות הפיזיקה ב 20114 ו 20124

פרק 9 - התיאוריה הקינטית של הגזים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגול 59

הסברים ותרגול:

שאלות:

- (1) **דוגמה-אנרגיה של מולקולה**
מהי האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולה של גז אידיאלי בטמפרטורת החדר (בערך 20°C)?
- (2) **מהירות של מולקולה באוויר**
מצא את גודל ה- v_{rms} של מולקולת חמצן O_2 ושל מולקולת חנקן N_2 באוויר, בטמפרטורת החדר 20°C .
- (3) **דוגמה-שינוי בנפח ובטמפרטורה**
גז המקיים את חוקי הגז האידיאלי נמצא במיכל סגור שיכול לשנות את נפחו.
א. מה יהיה השינוי v_{rms} של מולקולה בגז אם מכפילים את נפח המיכל כאשר מחזיקים את הלחץ והטמפרטורה קבועים.
ב. פי כמה צריכה להשתנות הטמפרטורה של הגז בשביל שה- v_{rms} תגדל פי 2?
- (4) **דוגמה-מיכל הליום ממלא בלונים**
משתמשים במיכל הליום על מנת לנפח בלונים.
עם כל בלון שמנפחים מספר המולים של הגז במיכל קטנים.
האם מהירות המולקולות תגדל, תקטן או לא תשתנה?

תשובות סופיות:

- (1) $E_k = 6.07 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
- (2) $v_{\text{rms O}_2} \approx 478 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_{\text{rms N}_2} \approx 513 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$
- (3) א. v_{rms} לא ישתנה. ב. פי 4.
- (4) v_{rms} לא ישתנה, P יקטן.

יסודות הפיזיקה ב 2014 ו 20124

פרק 10 - יחסות פרטית -

תוכן העניינים

60	1. דינמיקה יחסותית.....
63	2. טרנספורמציות לורנץ למיקום והזמן.....
65	3. טרנספורמציות לורנץ למהירות.....
66	4. תרגילים לטרנספורמציות מיקום ומהירות.....
69	5. תרגילים לדינמיקה יחסותית.....
71	6. תרגילים נוספים.....
74	7. כוחות ודינמיקה יחסותית.....

דינמיקה יחסותית:

שאלות:

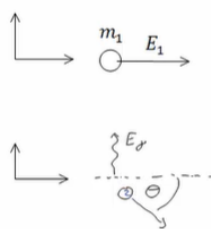
(1) הגעת נויטרון ממרחקים

מצא את האנרגיה הדרושה לנויטרון להגיע לכדור הארץ ממרחק של 5 שנות אור בהינתן שזמן החיים של נויטרון הוא 881 שניות והמסה שלו היא: $M_n = 940 \text{ MeV} \frac{V}{c^2}$.

(2) התנגשות בסיסית

חלקיק בעל מסה m מתנגש בחלקיק בעל מסה $3m$.
לחלקיק הראשון אנרגיה כוללת לפני ההתנגשות $5mc^2$ ונתון כי התנע הכולל שלהם במערכת המעבדה הוא אפס. כתוצאה מההתנגשות שני החלקיקים מושמדים ונוצר חלקיק חדש הנמצא במנוחה.
א. מצאו את האנרגיה הקינטית של החלקיק הראשון.
ב. מצאו את פקטור לורנץ של החלקיקים לפני ההתנגשות ואת האנרגיה הקינטית של החלקיק השני.
ג. מצאו את מסת החלקיק הנוצר לאחר ההתנגשות.

(3) חלקיק מתפרק לפוטון וחלקיק נוסף



חלקיק בעל אנרגיה כוללת E_1 ומסת מנוחה m_1 נע במעבדה בכיוון החיובי של ציר ה- x .
ברגע מסוים מתפרק החלקיק לפוטון וחלקיק נוסף.
אנרגיית הפוטון נתונה E_y וידוע כי הפוטון נע בציר ה- y , בכיוון החיובי.
א. מהו התנע של החלקיק הראשון לפני ההתפרקות?
ב. מהי הזווית של התנע של חלקיק 2 ביחס לציר ה- x ?
ג. מצא מערכת ייחוס חדשה S' שבה הפוטון יפלט בכיוון נגדי לכיוון תנועתו של חלקיק מס' 2.
מה מהירותה של מערכת זו ביחס למערכת המעבדה?

(4) פוטון פוגע בפרוטון ויוצר פיון

פוטון פוגע בפרוטון הנמצא במנוחה במערכת המעבדה.
נתונות מסת הפרוטון והפיון M_p, M_π .
מהי האנרגיה המינימלית הדרושה לפוטון על מנת שלאחר ההתנגשות ייווצרו פרוטון ופיון (π)?

(5) **דוגמה - חישוב תנע ואנרגיה קינטית של אלקטרון ופרוטון**
 חשבו את התנע והאנרגיה הקינטית של פרוטון ואלקטרון בעלי אנרגיה של 1 GeV במערכת המעבדה.

(6) **דוגמה - גמה וביטה של אלקטרון**
 מסת האלקטרון היא: $9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ומהירות האור היא: 299792458 m/sec .
 מצאו בדיוק של 6 ספרות את γ ו- β של אלקטרון שהאנרגיה הקינטית שלו היא: $K = 100.000 \text{ MeV}$ במערכת המעבדה.

(7) **בטה של מיואונים מתפרקים**
 מסת מיואון היא פי 207 ממסת האלקטרון.
 זמן מחצית החיים הממוצע של מיואון הוא $2.20 \mu\text{s}$.
 מיואונים נעים ביחס למעבדה בניסוי כלשהו.
 זמן החיים הנמדד של המיואונים ביחס למערכת המעבדה הוא: $6.90 \mu\text{s}$.
 מהם β , התנע והאנרגיה הקינטית של המיואונים ביחידות $\frac{\text{MeV}}{c}$?

תשובות סופיות:

$$E_n = 1.69 \cdot 10^8 \text{ MeV} \quad (1)$$

$$m_3 = 6.91 \text{ m} \quad \text{ג.} \quad \gamma_1 = 5, \gamma_2 = \sqrt{\frac{11}{3}}, E_{k_2} = 3mc \left(\sqrt{\frac{11}{3}} - 1 \right) \quad \text{ב.} \quad E_{k_1 = 4mc^2} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\tan \theta = -\frac{E_\gamma}{\sqrt{E_1^2 - m_1^2 c^4}} \quad \text{ב.} \quad \vec{p}_1 = \sqrt{\left(\frac{E_1}{c}\right)^2 - m_1^2 c^2} \cdot \hat{x} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$v_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_1 c^2}{E_1}\right)^2} \cdot c \quad \text{ג.}$$

$$E_\gamma = \frac{1}{2m_p} (m_\pi^2 + 2m_\pi m_p) c^2 \quad (4)$$

$$K = 0.999 \text{ GeV}, P = 1 \frac{\text{GeV}}{c} \quad \text{אלקטרון:} \quad (5)$$

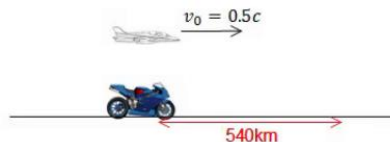
$$K = 0.062 \text{ GeV}, P = 0.347 \frac{\text{GeV}}{c} \quad \text{פרוטון:}$$

$$\gamma = 196.695, \beta = 0.999987 \quad (6)$$

$$\beta = 0.898, P = 314 \frac{\text{MeV}}{c}, K = 226 \text{ MeV} \quad (7)$$

טרנספרמציית לורנץ למיקום והזמן:

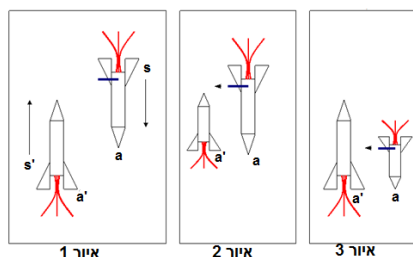
שאלות:



(1) מציאת מהירות ומיקום אופנוע

אופנוע נוסע במהירות קבועה בקו ישר. צופה על הקרקע מודד כי האופנוע נסע מרחק של 540km.

- צופה הנע במטוס ממש מהיר $v = 0.5c$, בכיוון נסיעת האופנוע, מודד כי משך זמן נסיעת האופנוע היה 0.01 שניה.
- א. מצא את מהירות האופנוע במערכת כדה"א.
- ב. מצא את המרחק שעבר האופנוע כפי שמדד הצופה במטוס.



(2) בדיקת ירי

שתי חלליות בעלות אורך מנוחה זהה, עוברות זו במקביל לזו במהירות גבוהה. בזנב החללית S מצוי תותח המכוון בניצב לכיוון תנועת החללית ולעבר מסלול התנועה של החללית s' (איור 1).

בחללית S מתבצעת בדיקת ירי בתותח ברגע שהנקודה a בראש החללית מתלכדת עם הנקודה a' (זנב s'). מכיוון שאורך החללית s' קצר מהאורך העצמי בחללית ב-S מניחים כי הטיל יפספס את החללית השנייה (איור 2). אולם במערכת s' אורך החללית S קצר מהאורך העצמי ולכן כאשר a ו- a' מתלכדות האסטרונאוט S יפגע (איור 3). ישב/י את הפרדוקס.

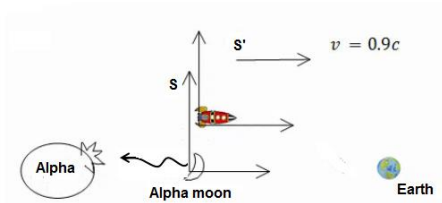
(3) מוט פולט אור לסירוגין

מוט בעל אורך l_0 נע במהירות V נתונה ביחס לכדה"א. נתון כי ב- $t = 0$ הקצה השמאלי של המוט נמצא ב- $x = x' = 0$. ברגע זה המוט פולט אור מקצהו הימני.



לאחר זמן τ המוט פולט אור מקצהו הימני. מצא את הפרש הזמנים כפי שרואה אותם צופה מכדה"א (הפרש הזמנים בין הגעת האור משני המאורעות לראשית).

(4) פיצוץ בכוכב אלפה



החללית אנטרייז יוצאת מכוכב אלפה חזרה לכדה"א. בדרך היא עוברת ליד הירח של כוכב אלפה ורואה פולס אלקטרו מגנטי חזק יוצא לכיוון הכוכב. ידוע שבירח ישנה קבוצת חייזרים תוקפניים בשם ה"קליגונים". 1.3 שניות מאוחר יותר היא רואה פיצוץ בכוכב. המרחק בין הכוכב לירח שלו הוא 500 מיליון מטרים כפי שנמדד במערכת החללית. מהירות החללית ביחס לכוכב ולירח היא $0.9c$.

- א. מהו מרווח הזמן בין גילוי הגל לפיצוץ במערכת הכוכב והירח?
- ב. מה משמעות הסימן בהפרש הזמן?
- ג. האם הפולס גרם לפיצוץ או להיפך?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } v = 5.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב. } x'_2 = -10.32 \cdot 10^5 \text{ m}$$

(2) ראה סרטון.

$$(3) \quad \Delta t = \gamma_0 \left(1 + \beta \right) \left(\tau - \frac{l_0}{c} \right)$$

$$(4) \quad \text{א. } t_3 = -3.525 \text{ sec} \quad \text{ב. הפיצוץ היה לפני הגעת הגל לכוכב וגם לפני ירי הגל.}$$

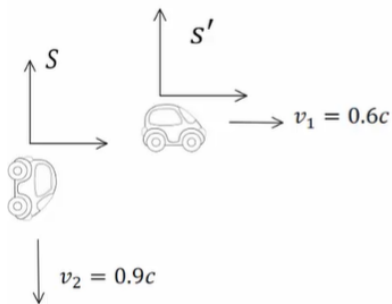
ג. לא יכול להיות שהפיצוץ גרם לירי של הפולס, $x_2 = 11.47 \cdot 10^8 \cdot \text{m} > 10.575 \cdot 10^8 \text{ m}$

טרנספורמציית לורנץ למהירות:

שאלות:

(1) מהירות יחסית בין מכוניות

שתי מכוניות נוסעות האחת במאונך לשנייה כך שמהירות המכונית הראשונה היא $0.6c$ ומהירות המכונית השנייה היא $0.9c$. מצא את המהירות היחסית.



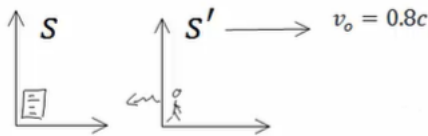
תשובות סופיות:

$$v'_{2x} = -0.6c, v'_{2y} = -0.72c \quad (1)$$

תרגילים לטרנספרמציית מיקום ומהירות:

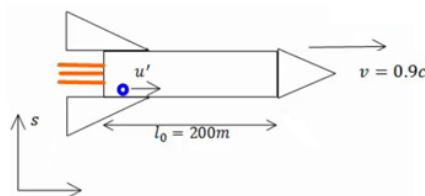
שאלות:

(1) דודה יוצאת לטיול



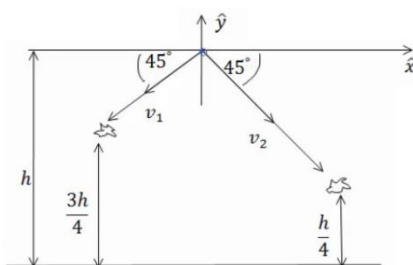
המבחן בפיזיקה התחיל בשעה 9:00 והמשגיחה יצאה לטיול במהירות $0.8c$ (דודה זריזה במיוחד). לאחר שעה לפי שעונה היא שולחת לסטודנטים אות רדיו לסיים את הבחינה. כמה זמן ארכה הבחינה עבור הסטודנטים?

(2) כדור מתגלגל בחללית



חללית בעלת אורך עצמי של 200 מטר נעה במהירות $0.9c$ ביחס למערכת אינרציאלית S . כדור קטן מתגלגל לאורכה במהירות $u' = 0.04c$ בכיוון ציר x , כפי שנמדד ע"י צופה בחללית. א. מהי מהירות הכדור כפי שנמדדת ע"י צופה ב- S ? (הבא את התשובה ביחידות של c).
 ב. מהו הזמן שייקח לכדור לעבור מקצה לקצה של החללית כפי שנמדד ב- S ? (הבא את התשובה במיליוניות שנייה).
 ג. איזה מרחק עבר הכדור לפי צופה במערכת S ? (ביחידות של ק"מ).

(3) חלקיקים נוצרים בגובה ומתפרקים



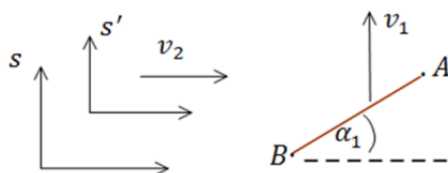
שני חלקיקים נוצרים בגובה h מעל הקרקע. אחד נפלט בזווית 225 מעלות עם ציר ה- x והשני בזווית 45- מעלות עם ציר ה- x . החלקיק הראשון מתפרק לאחר זמן T בגובה $\frac{3h}{4}$ והחלקיק השני מתפרק לאחר זמן T_2 בגובה $\frac{h}{4}$. התעלם מהכבידה בבעיה.

- הבע את מהירויות החלקיקים באמצעות h ו- T .
- מצא את זמן החיים העצמי של כל חלקיק (זמן החיים במערכת המנוחה).
- מצא מערכת S' הנעה בכיוון החיובי של ציר ה- x בה ההתפרקות מתרחשות באותו הזמן.
- מה המרחק בין ההתפרקות במערכת S' ?

(4) מיואון מתפרק ליד אלקטרון

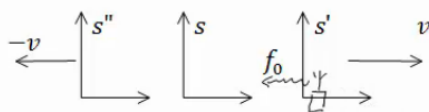
- מיואון (μ) נוצר ברגע מסוים ונע במהירות $0.7c$ ביחס לקרקע. המיואון מתפרק לאחר שנע 3 ק"מ ממקום היווצרו.
- א. כמה זמן חי המיואון במערכת העצמית שלו? אלקטרון נע במקביל למיואון ובמהירות $0.5c$ ביחס למעבדה.
- ב. מהי מהירות המיואון ביחס לאלקטרון?
- ג. איזה מרחק נע המיואון ביחס לאלקטרון.

(5) זווית של מוט נע



- מוט בעל אורך l (לא נתון) נע במהירות v_1 בכיוון ציר ה- y ביחס לצופה הנמצא במעבדה. הצופה במעבדה מודד זווית α_1 של המוט ביחס לציר ה- x .
- איזו זווית ימדוד צופה הנע במהירות $\hat{x}v_2$ ביחס למעבדה?

(6) תדר יחסי



- במערכת s' הנעה במהירות v ביחס למערכת המעבדה S , נמצא משדר רדיו הפולט אותות בתדירות f_0 ?

- א. מה תהיה התדירות שתיקלט במעבדה?
- ב. מה תהיה התדירות שתיקלט במערכת s'' הנעה במהירות $\vec{v} = -v\hat{x}$ ביחס למעבדה?

תשובות סופיות:

$$\Delta t = 1.08 \cdot 10^4 \text{ sec} \quad (1)$$

$$x_1 = 10.78 \text{ km} \quad \text{ג.} \quad t_1 = 39.62 \mu\text{s} \quad \text{ב.} \quad v_x = 0.907c \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\tau_1 = T \sqrt{1 - \frac{h^2}{8T^2 c^2}}, \quad \tau_2 = 2T \sqrt{1 - \frac{9h^2}{64T^2 c^2}} \quad \text{ב.} \quad v_1 = \frac{h}{2\sqrt{2}T}, \quad v_2 = \frac{3h}{4\sqrt{2}T} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$d'^2 = \frac{\frac{5h^4}{4} - 3c^2 T^2 h^2 + c^4 T^4}{h^2 - c^2 T^2} \quad \text{ד.} \quad v_0 = \frac{c^2 T}{h} \quad \text{ג.}$$

$$\Delta x_{12} = 0.98 \text{ km} \quad \text{ג.} \quad V_{12} = 0.31c \quad \text{ב.} \quad \tau = 10^{-5} \text{ sec} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\tan \alpha' = \gamma_2 \left(\tan \alpha_1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right) \quad (5)$$

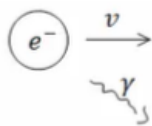
$$f'' = \sqrt{\left(\frac{1-\beta}{1+\beta} \right)^2} f_0 \quad \text{ב.} \quad f_s = \sqrt{\frac{1-\frac{v}{c}}{1+\frac{v}{c}}} f_0 \quad \text{א.} \quad (6)$$

תרגילים לדינמיקה יחסותית:

שאלות:

(1) חלקיק מתפרק לשני חלקיקים

חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה מתפרק לשני חלקיקים בעלי מסות מנוחה m_1, m_2 .
מה יהיו האנרגיה והתנע של החלקיקים שנוצרו? (כל המסות נתונות).



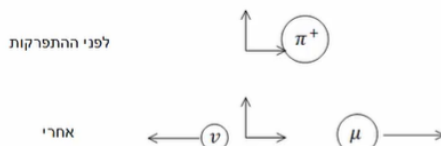
(2) אלקטרון חופשי פולט פוטון

הראו כי אלקטרון חופשי הנע בואקום אינו יכול לפלוט פוטון בודד.

(3) התנגשות חלקיקים זהים ויצירת חלקיקים

חלקיק בעל מסת מנוחה m פוגע בחלקיק זהה לו הנמצא במנוחה. כתוצאה מההתנגשות נוצרים שני חלקיקים בעלי מסות מנוחה m_1, m_2 . מצא את אנרגיית הסף ליצירת ריאקציה זו. (הנח ש: $(m_1 + m_2) > 2m$).

(4) פיון מתפרק



פיון (π^+) מתפרק למיואון חיובי ($M_\mu = 160 \text{ MeV} \frac{V}{c^2}$) וניטרינו חסר מסה.

מצא את מסת המנוחה של הפיון אם למיואון אנרגיה קינטית של 5 MeV .

(5) פוטון מתנגש אלסטית באלקטרון



אלקטרון נע במהירות v ומתנגש בפוטון בעל אנרגיה E_γ הנע לקראתו. מצא את הערך של v אם ידוע כי הפוטון מוחזר באותה אנרגיה בה פגע. הנח כי מסת האלקטרון ידועה.

תשובות סופיות:

$$, E_1 = m_1 c^2 \gamma_1 = \frac{c^2}{2m} (m^2 + m_1^2 - m_2^2), p_1 = c \sqrt{\frac{1}{2m} (m^2 + m_1^2 - m_2^2)^2 - 1} \quad (1)$$

$$E_2 = m_2 c^2 \gamma_2 = \frac{c^2}{2m} (m^2 + m_2^2 - m_1^2), p_2 = m_2 c \sqrt{\gamma_2^2 - 1} = c \sqrt{\frac{1}{2m} (m^2 + m_2^2 - m_1^2)^2 - 1}$$

שאלת הוכחה. (2)

$$E_{\min} = \frac{1}{2m} c^2 ((m_1 + m_2)^2 - 2m^2) \quad (3)$$

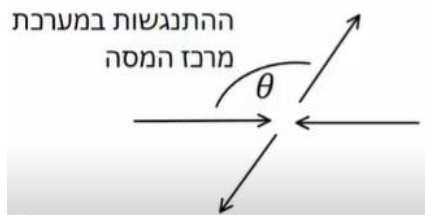
$$M_\pi = 144 \frac{\text{MeV}}{c^2} \quad (4)$$

$$v=c \left| 1 - \left(\left(\frac{E_\gamma}{m_e c^2} \right)^2 + 1 \right)^{-1} \right|^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) פוטון מתנגש ומעבר למרכז מסה



פוטון עם אנרגיה E_0 מתנגש אלסטית עם חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה (במערכת המעבדה).

א. מצא את מהירות מערכת מרכז המסה של המערכת פוטון פלוס חלקיק.

ב. מצא את התנע והאנרגיה של החלקיק והפוטון לפני ההתנגשות במערכת מרכז המסה.

מצא את התנע והאנרגיה של הפוטון והחלקיק אחרי ההתנגשות אם ידוע שהפוטון מפורז בזווית θ ביחס לכיוון בפגיעה במערכת מרכז המסה (ראה איור).

ג. מהם האנרגיה והערך המוחלט של התנע של הפוטון והחלקיק לאחר ההתנגשות במערכת המעבדה?

ד. מצא את הזווית θ עבורה האנרגיה של הפוטון במערכת המעבדה תהיה מינימלית.

(2) שאלה 1

נתונים שני גופים הנעים בניצב זה לזה. ידוע כי מסת הגופים זהה ושווה ל- M ,

וכן כי התנעים של הגופים הם: p_1, p_2 .

ברגע מסוים, הגופים מתנגשים ומופיעים ארבעה גופים חדשים.

מסות הגופים החדשים שנוצרו הן: $m, 2m, 3m, 4m$.

מהו m המקסימלי האפשרי?

נתון: $p_1 = 6Mc, p_2 = 17Mc$.

(3) שאלה 2

נתונים שני חלקיקים בעלי מסה m , וכן נתונות האנרגיות שלהם E_1, E_2 .

החלקיקים נעים זה אל עבר זה, ומתנגשים.

חשבו את מסת החלקיק M הנוצר כתוצאה מהתנגשות החלקיקים.

נתון: $E_1 = 4mc^2, E_2 = 7mc^2$.

(4) שאלה 3

שתי חלליות יוצאות מאותה נקודה, בכיוון ניצב אחת לשנייה. חללית א' טסה במהירות v_1 , וחללית ב' טסה במהירות v_2 . חשבו את וקטור המהירות של חללית ב' ביחס לחללית א'. נתון: $v_1 = 0.8c(+\hat{x})$, $v_2 = 0.9c(-\hat{y})$

(5) שאלה 4

חלקיקים 1,2 נוצרים במעבדה ונמצאים במנוחה. ידוע לגבי זמני החיים שלהם כי: $t_2 = 0.75t_1$ (במצב מנוחה חלקיק 2 נעלם לפני חלקיק 1). מהי המהירות אליה יש להאיץ את חלקיק 2, כדי שלא ידעך לפני חלקיק 1?

(6) זריקה אופקית יחסותית

מסלולו של חלקיק במערכת S נתון ע"י: $x = vt$, $y = \frac{1}{2}at^2$, כאשר v, a קבועים ידועים. מצא את תאוצת החלקיק במערכת S' הנעה במהירות v בכיוון ציר ה-x ביחס ל-S. תאר את צורת המסלול בשתי המערכות (v אינה זניחה ביחס למהירות האור).

תשובות סופיות:

$$v_{c.m} = \frac{E_0 \cdot c}{mc^2 + E_0} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\text{ב. פוטון לפני ההתנגשות: } E'_{pH} = E_0 \sqrt{\frac{mc^2}{2E_0 + mc^2}}, P'_{pH} = \frac{E_0}{c} \sqrt{\frac{mc^2}{2E_0 + mc^2}}$$

$$\text{חלקיק לפני ההתנגשות: } E'_m = mc^2 \left(\frac{mc^2 + E_0}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}} \right), P'_{m_x} = \frac{-mE_0 c}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}}$$

פוטון אחרי ההתנגשות: אותו דבר כמו לפני ההתנגשות.

חלקיק אחרי ההתנגשות: אותו דבר כמו לפני ההתנגשות.

$$\text{כיוון התנע: } \vec{P}_{pH} = (P(-\cos \theta), P \sin(\theta), 0), \vec{P}_m = -\vec{P}_{pH} = (P \cos \theta, P \sin \theta, 0)$$

$$\text{ג. } E'_m = mc^2 \left(\frac{mc^2 + E_0}{\sqrt{m^2 c^4 + 2E_0 mc^2}} \right), |P_m| = \sqrt{\left(\frac{E_m}{c} \right)^2 - m^2 c^2}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \quad \text{ד.}$$

$$m_{\max} \approx 1.45M \quad (2)$$

$$M \approx \sqrt{112}m \quad (3)$$

$$\vec{v} = (-0.8c, -0.54c, 0) \quad (4)$$

$$v \approx 0.66c \quad (5)$$

$$x' = 0, y' = \frac{1}{2} a \gamma_0^2 t'^2 \quad (6)$$

כוחות ודינמיקה יחסותית:

שאלות:

(1) דוגמה - כוח קבוע בזמן

כוח קבוע F פועל על חלקיק בעל מסה m הנמצא במנוחה. מצא את מהירות החלקיק כתלות בזמן.

(2) כוח קבוע

כוח קבוע F פועל על חלקיק יחסותי בעל מסה m המתחיל תנועתו ממנוחה.

א. כתוב את משוואת התנועה של החלקיק.

ב. מצא את מהירות החלקיק כתלות בזמן.

ג. מצא את מיקום החלקיק כתלות בזמן.

ד. רשום תנאי למהירויות נמוכות והראה שהביטוי שקיבלת למהירות ולמיקום מתכנס לפתרון הקלאסי במהירויות נמוכות.

ה. צייר גרף של המהירות היחסותית והקלאסית כתלות בזמן עד זמן $t = \frac{mc}{F}$.

ו. צייר גרף של המיקום היחסותי והקלאסי כתלות בזמן עד זמן $t = \frac{mc}{F}$.

(3) כוח גרר מתכונתי לתנע היחסותי

כוח קבוע F פועל על מסה m המתחילה תנועתה במערכת המעבדה.

בנוסף פועל על המסה כוח גרר המתכונתי לתנע היחסותי $f = -\lambda p$ כאשר λ קבוע נתון.

א. רשום משוואת תנועה לתנע היחסותי.

ב. פתור את המשוואה ומצא מהו קבוע הזמן האופייני להתייצבות התנע על ערך קבוע.

ג. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.

ד. מהי המהירות בגבול של זמנים קצרים וזמנים ארוכים ביחס לקבוע הזמן שמצאת בסעיף ב'? להזכירך הפתרון של המקרה הקלאסי בו פועל כוח

קבוע F על גוף וכוח גרר $f = -\lambda p$ הוא: $v(t) = \frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t})$

תשובות סופיות:

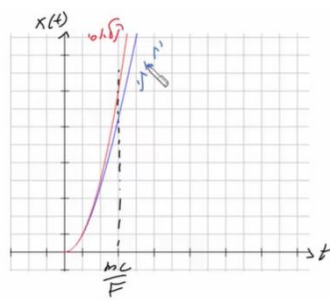
$$v(t) = \frac{\frac{F \cdot t}{m}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F \cdot t}{mc}\right)^2}} \quad (1)$$

$$v = \frac{\frac{Ft}{m}}{\left(1 + \left(\frac{Ft}{mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ב.}$$

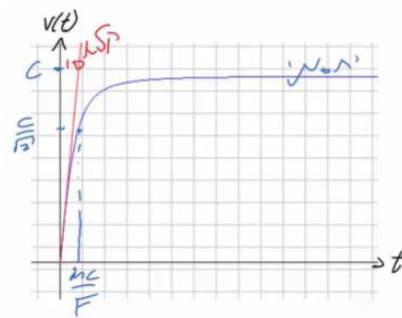
$$F = m\gamma^3 \dot{v} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$x(t) = \frac{mc^2}{F} \left(\left(1 + \left(\frac{Ft}{mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right) \quad \text{ג.}$$

ד. ראה סרטון.



ו.



ה.

$$p(t) = \frac{F}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}), \quad \tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{ב.}$$

$$F - \lambda p = \frac{dp}{dt} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$v(t) = \frac{\frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t})}{\left(1 + \left(\frac{F}{\lambda mc} (1 - e^{-\lambda t})\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ג.}$$

ד. זמן קצר: $v(t) \approx \frac{F}{\lambda m} (1 - e^{-\lambda t}) = v(t)$

$$\text{זמן ארוך: } v(t) = \frac{F}{\lambda m} \neq \frac{F}{\lambda m} \approx \frac{F}{\lambda m} \quad \text{זמן ארוך}$$

יסודות הפיזיקה ב 2014 ו 2014

פרק 11 - תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום

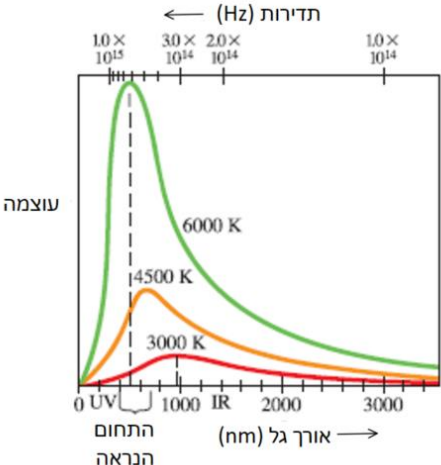
תוכן העניינים

1. תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום 76
2. התיאוריה הפוטנית של האור והאפקט הפוטואלקטרי 79
3. אנרגיה מסה ותנע של פוטון 83
4. אפקט קומפטון 84
5. אינטראקציות של פוטונים ויצירת זוגות 86
6. דואליות גל חלקיק והאופי הגלי של החומר 88
7. סיכום ביניים התורה הפוטונית והשלכות (ללא ספר) 89
8. מודלים מוקדמים של האטום 90
9. מודל האטום של בוהר 91
10. סיכום חלק שני מודלים מוקדמים ומודל בוהר (ללא ספר) 91
11. שאלות ותרגילים נוספים 95

תיאוריות מוקדמות של תורת הקוונטים ומבנה האטום:

סיכום כללי:

ההנחה הקוונטית של פלאנק וקרינת גוף שחור.

		גרף של קרינת גוף שחור כתלות באורך הגל ובטמפרטורות שונות
λ_p - אורך הגל בשיא T - הטמפרטורה בקלווין	$\lambda_p T = 2.90 \cdot 10^{-3} m \cdot K$	חוק ווין - Wien law
קבוע בולצמן $k = 1.38 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$ קבוע פלאנק $h = 6.626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$	$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$	נוסחת פלאנק לקרינת גוף שחור
<u>ההנחה הקוונטית של פלאנק</u>	$E_{min} = hf$	אנרגיה מינימלית של מטען בתנועה הרמונית באטום
המספר הקוונטי $n = 1, 2, 3, \dots$	$E = nhf$	אנרגיית המטען חייבת להיות כפולה שלמה של הערך המינימלי

שאלות:

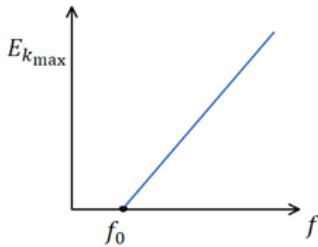
- (1) **דוגמה - טמפרטורת השמש**
הראו באמצעות חוק ווין כי הטמפרטורה על פני השמש היא באמת 6,000K אם ידוע שאורך הגל של האור הנראה הוא בערך 500nm.
- (2) **דוגמה - טמפרטורת כוכב**
טלסקופ גדול בחלל מזהה כוכב חדש. הקרינה שפולט הכוכב נקלטת בטלסקופ כאשר השיא של הקרינה הוא באורך גל של 90nm. מהי הטמפרטורה על פני הכוכב?
- (3) **טמפרטורה של מתכת**
מה הטמפרטורה של מתכת בשלב הריתוך אם שיא פליטת האור שלה באורך גל של 460nm.
- (4) **הפרש אנרגיות של מולקולה רוטטת**
מולקולת HCl רוטטת בתדירות של $8.1 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$. חשבו את ההפרש בין שני ערכים צמודים של האנרגיות האפשריות לפי ההנחה הקוונטית של פלאנק לערכי האנרגיה באוסילציות. תנו תשובה בג'אול ובאלקטרון וולט.
- (5) **חוק ווין וקבוע פלאנק מנוסחת הקרינה**
נוסחת פלאנק לקרינת גוף שחור היא: $I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$.
א. * הראו, ללא שימוש בחוק ווין, כי קבוע $\lambda_p T$, לעזרתכם פתרון המשוואה: $5e^{-x} = 5 - x$: $x = 4.966$.
ב. השתמשו בחוק ווין וחשבו את קבוע פלאנק.
ג. ** הראו כי הקרינה הנפלטת מגוף שחור פרופורציונית לטמפרטורה ברביעית - חוק סטפן - בולצמן.
הדרכה: בשביל לחשב את הקרינה הכוללת הנפלטת יש לעשות אינטגרציה על כל אורכי הגל, אין צורך לפתור את האינטגרל עד הסוף.

תשובות סופיות:

- (1) הוכחה.
- (2) 32,000K
- (3) 6,300K
- (4) $5.4 \cdot 10^{-20} \text{ J}$, 0.34eU
- (5) הוכחה.

התיאוריה הפוטונית של האור והאפקט הפוטואלקטרי:

סיכום כללי:

אנרגיה של פוטון יחיד	$E = hf$	f - תדירות האור
<u>הניסוי הפוטואלקטרי</u>		
תדירות סף	$hf_0 = W_0$	W_0 - פונקציית העבודה של המתכת
אנרגיה קינטית מקסימאלית של האלקטרונים	$E_k = hf - W_0$	
מתח עצירה	$eV_0 = E_k$	
השוואה לתורה הגלית	<u>לפי התורה הפוטונית</u> - עוצמת האור קשורה למספר הפוטונים ולא לאנרגיה של כל אחד מהם. הגדלת העוצמה תגדיל את מספר האלק' הנפלטים אבל לא את האנרגיה הקינטית שלהם. - האנרגיה של הפוטון תלויה בתדירות. - רק פוטון אחד נותן את כל האנרגיה שלו ולכן קיימת תדירות סף.	<u>לפי התורה הגלית</u> <u>אלקטרומגנטיות</u> - עוצמת האור קשורה לגודל השדה הגדלת העוצמה תגדיל את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים. - התדירות לא משפיעה על האנרגיה של האלקטרונים.

שאלות:

- (1) **דוגמה - חישוב אנרגיית פוטון באור כחול**
חשבו את האנרגיה של פוטון באור כחול: $\lambda = 450\text{nm}$ באוויר (או וואקום).
- (2) **דוגמה - הערכה של מספר פוטונים מנורה**
נסו להעריך כמה פוטונים פולטת נורה בהספק 100W כל שניה.
הניחו שהנצילות של הנורה היא בערך 3% (כלומר רק 3% מהאנרגיה המושקעת בנורה כל שניה מנוצלת להפקה של אור). האור שיוצא מנורה לבנה הוא בכל אורכי הגל, ניתן לקחת לצורך ההערכה את אורך הגל באמצע הספקטרום של האור הנראה: $\lambda \approx 500\text{nm}$.
- (3) **דוגמה - חישוב אנרגיה של אלקטרונים נפלטים**
מהי האנרגיה הקינטית המקסימאלית ומהי המהירות המקסימאלית של אלקטרונים הנפלטים מחומר שפונקציית העבודה שלו היא: $W_0 = 2.8\text{eV}$
אם אורך הגל של האור הפוגע במשטח הוא:
א. $\lambda = 400\text{nm}$
ב. $\lambda = 600\text{nm}$
- (4) **עקיפה של קרינת גמא**
לפוטון בקרינת גמא יש אנרגיה של 380keV .
א. מהו אורך הגל של הקרינה?
ב. האם לדעתך הקרינה עושה עקיפה דרך פתחים טיפוסיים שאנחנו נתקלים ביום יום כמו פתח של דלת?
- (5) **איזו מתכת לא תפלוט אלקטרונים**
פונקציות העבודה של סודיום, צסיום, נחושת וברזל הן: $2.1, 2.3, 4.5$ ו- 4.7 eV.
אלקטרון וולט בהתאמה. אלו מהמתכות לא תפלוט אלקטרונים כאשר פוגע בה אור מהתחום הנראה?
- (6) **פונקציית עבודה ומתח עצירה**
בניסוי של האפקט הפוטואלקטרי נצפה כי לא זורם זרם כאשר אורך גל של האור הוא מעל ל- 540nm .
א. מהי פונקציית העבודה של המתכת?
ב. מהו מתח העצירה הדרושה אם מקרינים באור באורך גל של 450nm ?

(7) ניסוי פוטואלקטרי

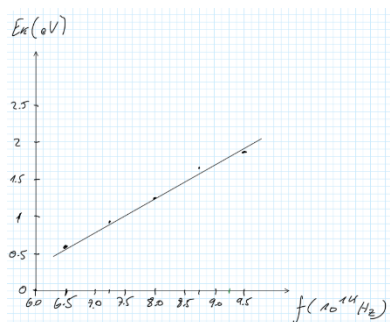
בניסוי פוטואלקטרי הקרינו אור בתדירויות שונות ומדדו את מתח העצירה. התוצאות של הניסוי מוצגות בטבלה הבאה:

$f(10^{14}\text{Hz})$	$V(V)$
6.50	0.6
7.25	0.91
8.00	1.23
8.75	1.54
9.50	1.85

- מצאו את האנרגיה הקינטית של האלקטרונים בפליטה ושרטטו גרף של אנרגיה זו כתלות בתדירות. השתמשו בנייר משבצות ורשמו נתונים בצורה מדויקת.
- חשבו מתוך הגרף את קבוע פלאנק.
- חשבו את פונקציית העבודה ותדירות הסף של המתכת.

תשובות סופיות:

- (1) 2.8eV
- (2) $8 \cdot 10^{18}$ פוטונים.
- (3) א. $3.2 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ב. לא תהיה פליטה של אלקטרונים.
- (4) א. $3.3 \cdot 10^{-3} \text{nm}$ ב. לא.
- (5) נחשת וברזל.
- (6) א. 2.3eV ב. 0.46V
- (7) א.
- ב. הוכחה.



$E_k = \text{eV}$
0.6eV
0.91eV
1.23eV
1.54eV
1.85eV

ג. $W_0 = 2.42\text{eV}$, $f = 5.84 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

אנרגיה מסה ותנע של פוטון:

סיכום כללי:

אנרגיה של פוטון יחיד	$E = hf$	f -תדירות האור
תנע של פוטון	$p = \frac{E}{c} = h \frac{f}{c} = \frac{h}{\lambda}$	
מסת מנוחה של פוטון	$m = 0$	

שאלות:

- (1) דוגמה - כוח שמפעילה נורה על נייר שחור
בדוגמה "הערכה של מספר הפוטונים מנורה" חישבנו את מספר הפוטונים שיוצאים מנורה של 100W כל שניה (בערך 10^{19}). נניח כי כל הפוטונים האלו פוגעים בנייר שחור (ולא מוחזרים) חשבו את:
א. התנע של פוטון יחיד.
ב. הכוח שמפועל על הנייר.

- (2) דוגמה - יעילות של תהליך פוטוסינתזי
בתהליך פוטוסינתזי פיגמנטים בצמח כמו כלורופיל סופגים אור שמש ובאמצעותו הופכים פחמן דו חמצני (CO_2) לפחמימות (וחמצן שנפלט).
בשביל להפוך מולקולה אחת של CO_2 לפחממה הצמח משתמש ב-9 פוטונים. כלורופיל סופג אור בעיקר באורך גל של 670nm. אם ידוע שהאנרגיה המשתחררת בפירוק פחממה היא: $4.9 \frac{eV}{molecule}$, מה היעילות (או נצילות) של התהליך הפוטוסינתזי?

תשובות סופיות:

- (1) א. $1.3 \cdot 10^{-27} \frac{kg \cdot m}{sec}$ ב. $10^{-8} N$
(2) 29%

אפקט קומפטון:

סיכום כללי:

λ - אורך הגל של הקרן הפוגעת λ' - אורך הגל של הקרן המפוזרת θ - זווית ביחס לכיוון הקרן הפוגעת $\frac{h}{m_e c}$ - אורך גל של האלקטרון החופשי	$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$	הסחת קומפטון
--	--	--------------

שאלות:

(1) דוגמה - פיזור בכמה זוויות

קרני X באורך גל 0.162nm מפוזרות מסרט פחמן דק. מה יהיו אורכי הגל של הקרניים המפוזרות בזוויות?

- א. 0° .
- ב. 90° .
- ג. 180° .

(2) הסחה יחסית מקסימאלית

בפיזור קומפטון, מצאו את זווית הפיזור עבורה ההסחה (שינוי באורך הגל) היא מקסימאלית. מהי ההסחה היחסית המקסימאלית $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ עבור פוטון באורך גל: $\lambda = 500\text{nm}$ מהתחום הנראה ועבור פוטון באורך גל: $\lambda = 0.1\text{nm}$ מתחום קרינת X.

(3) פיזור רב פעמי

קרני גמא שנוצרות קרוב למרכז השמש עוברות הרבה פיזורים בזוויות קטנות עד שהן מאבדות מספיק אנרגיה והופכות לקרניים בתחום הנראה. הניחו שלפוטון בקרן גמא יש אנרגיה של 1.0MeV והפוטון עובר סדרה של התנגשויות בזוויות של 0.5° בכל התנגשות. כמה התנגשויות צריך הפוטון לעבור בשביל שאורך הגל שלו ישתנה ל-555nm.

תשובות סופיות:

- (1) א. 0.162nm ב. 0.164nm ג. 0.167
- (2) א. $\theta = \pi$ ב. 0.00097% ג. 4.9%
- (3) $6 \cdot 10^9$ התנגשויות.

אינטראקציות של פוטונים ויצירת זוגות:

סיכום כללי:

תנאים ביצירת זוגות:

1. חייב להיווצר זוג בשביל שיתקיים שימור מטען
2. אנרגיית הפוטון שווה לאנרגיית הזוג, יש להוסיף אנרגיית מנוחה יחסותית לכל חלקיק mc^2 .
3. בשביל ליצור זוג חייבת להיות אינטראקציה עם גוף נוסף (בד"כ גרעין) כדי שיהיה שימור תנע.
4. התהליך יכול גם לקרות הפוך ונקרא אינהלציה. לדוגמה פוזיטרון פוגש אלקטרון, הם נכחדים ויוצרים פוטון.

שאלות:

- (1) **דוגמה - אנרגיה מינימלית ליצירת זוגות**
מצאו מהי האנרגיה המינימלית (ב-eV) ליצירת זוג אלקטרון פוזיטרון? מה אורך הגל של הפוטון במקרה זה?
- (2) **חישוב אנרגיה קינטית ביצירת זוג**
חשבו כמה אנרגיה קינטית כוללת תהיה ביצירת זוג של אלקטרון פוזיטרון מתוך פוטון בעל אנרגיה של: 2.8MeV .
- (3) **אורך גל מקסימאלי ליצירת זוג**
מהו אורך הגל המקסימאלי של פוטון היכול לייצר זוג של פרוטון ואנטי פרוטון (כל אחד במסה של: $1.67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$).
- (4) **אלקטרון ופוזיטרון מייצרים שני פוטונים**
אלקטרון ופוזיטרון נעים אחד כלפי השני במהירות: $10^5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ כל אחד. הם מתנגשים, נעלמים ויוצרים שני פוטונים שנעים בכיוונים מנוגדים. מהן האנרגיה והתנע של כל פוטון?

תשובות סופיות:

(1) 1.02MeV ו- 1.2pm .

(2) 1.78MeV .

(3) $6.63 \cdot 10^{-16} \text{m}$.

(4) $p = 0.51 \frac{\text{MeV}}{c}$, $E = 0.51\text{MeV}$.

דואליות גל חלקיק והאופי הגלי של החומר:

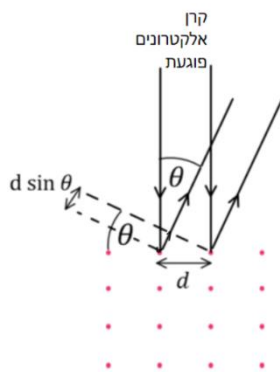
סיכום כללי:

$p = mv$ או $p = mv\gamma$	לא יחסותי או יחסותי	$\lambda = \frac{h}{p}$	אורך גל דה ברולי של חלקיק
----------------------------------	---------------------------	-------------------------	------------------------------

שאלות:

(1) דוגמה - אורך גל של כדורסל
חשבו את אורך גל דה ברולי של כדורסל השוקל חצי קילוגרם ונזרק במהירות של 10 מטר לשנייה.

(2) דוגמה - אורך גל של אלקטרון ב-100 וולט
חשבו את אורך הגל של אלקטרון המואץ תחת הפרש פוטנציאלים של 100V.



(3) דוגמה - עקיפה של אלקטרונים
מקרינים קרן אלקטרונים בניצב למשטח של חומר מוצק. האטומים בחומר מסודרים בצורת סריג ריבועי כאשר המרווח בין האטומים לא ידוע ומסומן ב- d , ראו איור. מצאו את המרחק d אם האנרגיה הקינטית של האלקטרונים היא: $E_k = 80\text{eV}$ והזווית בה מתרחשת התאבכות בונה בפעם הראשונה היא 22° . הניחו שהאנרגיה של האלקטרונים נמוכה וכי האלקטרונים עושים אינטראקציה רק עם השכבה החיצונית של החומר.

(4) כמה מתח לאורך גל
באיזה מתח צריך להאיץ אלקטרון כך שהוא יגיע לאורך גל של 0.6nm.

(5) אנרגיה ותנע מאורך גל
לאלקטרון אורך גל דה ברולי של: $\lambda = 3.2 \cdot 10^{-10}\text{m}$.

- מהו התנע שלו?
- מהי מהירותו? האם היא יחסותית? רמת דיוק של 1% בגאמה.
- איזה מתח נדרש כדי להאיץ אותו למהירות כזו?

(6) רזולוציה של מיקרוסקופ אלקטרוני

מהו הגבול התיאורטי של הרזולוציה של מיקרוסקופ אלקטרוני שבו האלקטרונים מואצים במתח של 80 kV . יש להשתמש בנוסחאות יחסיות.

(7) אנרגיה יחסית

אלקטרון בשפופרת טלויזיה (של פעם) מואץ במתח של 33 keV .
א. האם האנרגיה של האלקטרון יחסית? לפי רמת דיוק של אחוז אחד בגמא.
ב. חשבו את אורך הגל של האלקטרון. האם צריך לדאוג מתופעות עקיפה? גודל פתח השפופרת הוא 5 cm .

תשובות סופיות:

- (1) $1.3 \cdot 10^{-34}\text{ m}$
- (2) $1.2 \cdot 10^{-10}\text{ m}$
- (3) 3 A
- (4) 4.17 V
- (5) א. $2.1 \cdot 10^{-24}\text{ kg} \cdot \text{sec}$. ב. $2.3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$, לא יחסית. ג. 15 V
- (6) $4.2 \cdot 10^{-12}\text{ m}$
- (7) א. כן. ב. $6.6 \cdot 10^{-12}\text{ m}$, אין צורך.

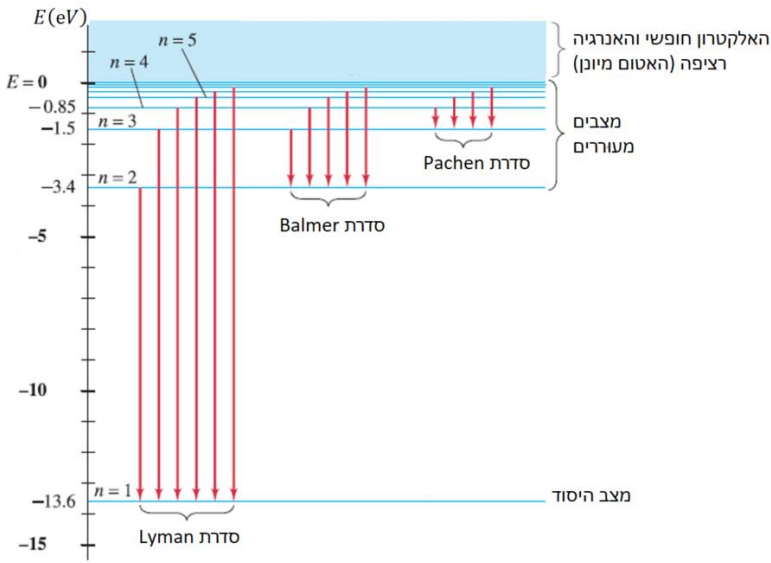
מודלים מוקדמים של האטום:

סיכום כללי:

קבוע Rydberg $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	נוסחה לאורכי הגל הנפלטים מאטום המימן $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	
1. מדוע הקרינה שנפלטת היא באורכי גל מסוימים בלבד. 2. אם האלקטרון בתאוצה כל הזמן הוא צריך לאבד אנרגיה כל הזמן ולקרוס לגרעין. אטומים לא היו צריכים להיות יציבים.		בעיות במודל הפלנטארי של ראתפורד

מודל האטום של בוהר:

סיכום כללי:

1. האלקטרונים יכולים לנוע רק במסלולים / רדיוסים ספציפיים מסביב לגרעין. המסלולים נקראים אורביטלים .		הנחות המודל
2. האלקטרונים לא מאבדים אנרגיה בתנועה המעגלית (למרות שהם בתאוצה). בגלל שהאלקטרון לא מאבד אנרגיה במצבים stationary states אלו הם נקראים מצבים יציבים		
	$hf = E_U - E_L$	אנרגיית הפוטון שווה להפרש האנרגיות בין שני מצבים
$n=1,2,3\ldots$	$L = mvr_n = \frac{nh}{2\pi}$	הנחה על התנע הזוויתי
Z - מספר הפוטונים $r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi e^2 m_e} \approx 0.529 \cdot 10^{-10}$	$r_n = \frac{n^2}{Z} r_1$	הרדיוסים האפשריים
	$E = -\frac{Z^2 \cdot 13.6eV}{n^2}$	האנרגיה של האלקטרון הנמצא במסלול ה- n
		טבלה של רמות האנרגיה באטום המימן

שאלות:

- (1) **דוגמה - אורך הגל של הקו הראשון של Paschen**
השתמשו בטבלה שהוצגה בסרטון "קווי הספקטרום ממודל בוהר" ומצאו את אורך הגל של קו הספקטרום הראשון בסדרת Paschen. באיזה תחום של אורכי גל נמצא קו זה? (IR, UV או אור נראה).
- (2) **דוגמה - אורך גל מקסימלי בבליעה**
גז מימן נמצא בשפופרת בלחץ נמוך ובטמפרטורת החדר (האלקטרונים במצב היסוד). מקרינים את הגז בקרינה עם ספקטרום רציף של אורכי גל. מהו אורך הגל הכי גבוה בספקטרום הבליעה ומהו אורך הגל אחריו? השתמשו בטבלה של רמות האנרגיה באטום המימן.
- (3) **דוגמה - אנרגיית יון של יון הליום**
 He^+ הוא יון של הליום המכיל שני פרוטונים ואלקטרון אחד. השתמשו במודל בוהר וחשבו את אנרגיית היינון של He^+ , כלומר, כמה אנרגיה דרושה בשביל לנתק גם את האלקטרון היחיד שנשאר. מהו אורך הגל המקסימאלי של פוטון הגורם ליינון? הניחו שהאלקטרון במצב היסוד.
- (4) **דוגמה - אנרגיה של אטומים בטמפרטורת חדר**
לפי התיאוריה הקינטית (תיאוריה בתרמודינמיקה), האנרגיה הקינטית הממוצעת של אטום בגז (אידיאלי) היא: $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$ כאשר $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$. הוא קבוע בולצמן ו-T היא הטמפרטורה בקלווין. הסבירו מדוע בטמפרטורת החדר כמעט כל האטומים צריכים להיות במצב היסוד. (טמפרטורת החדר היא בערך 20 מעלות צלזיוס והטמפרטורה בקלווין שווה לטמפרטורה בצלזיוס פלוס 273).
- (5) **השוואה בין מעברים**
נתונים שלושה מעברים בין רמות אנרגיה של אטום המימן לפי מודל בוהר כאשר n הוא המצב ההתחלתי ו-n' הוא המצב הסופי.
I. $n = 1 \quad n' = 3$
II. $n = 6 \quad n' = 2$
III. $n = 4 \quad n' = 5$
א. קבעו אילו מן המעברים הם בליעה ואילו פליטה.
ב. באיזה מעבר מעורב הפוטון הכי אנרגטי?

- (6) **יינון אטום מעורר**
כמה אנרגיה דרושה על מנת ליינן אטום מימן מעורר הנמצא במצב אנרגיה החמישי?
- (7) **אורך גל של הקו השני**
מצאו את אורך הגל של הקו השני בסדרת בלמר.
- (8) **מימן בולע פוטון של הליום מיונן**
בשמש ישנם יונים של הליום - He^+ . יון של ההליום פולט פוטון במעבר מרמה 5 לרמה 2. האם אטום מימן הנמצא בשמש יוכל לבלוע את הפוטון בלי לבצע יינון? אם כן בין איזה רמות אנרגיה תתבצע הבליעה?
- (9) **אנרגיית יינון של ליתיום פלוס שתיים**
חשבו את אנרגיית היינון (ממצב הייסוד) של אטום ליתיום החסר שני אלקטרונים Li^{2+} בעל $Z = 3$ לפי מודל בוהר.
- (10) **אנרגיה קינטית של אלקטרון במצב יסוד**
מהי האנרגיה הפוטנציאלית והקינטית של אלקטרון במצב היסוד של אטום המימן?
- (11) **האם אטום המימן יחסותי**
השתמשו בתוצאה של התרגיל הקודם "אנרגיה קינטית של אלקטרון במצב ייסוד" ובדקו האם יש צורך להשתמש בנוסחאות יחסותיות במודל בוהר.
- (12) **רדיוס אטום מעורר**
אטום מימן מעורר יכול להיות תיאורטית בקוטר של 0.10mm. באיזה רמת אנרגיה נמצא אטום זה? ומהי האנרגיה של מצב זה?
- (13) **אנרגיה ותנז**
מצאו את התנע הזוויתי של אלקטרון באטום המימן אם האנרגיה שלו היא -1.5eV .
- (14) **אלקטרונים פוגעים בגז מימן**
קרן אלקטרונים בעלי אנרגיה של 12.1eV פוגעת בגז מימן הנמצא בטמפרטורת החדר (רוב האטומים במצב היסוד). מהו ספקטרום הפליטה שנצפה לראות מן הגז בעקבות פגיעת הקרן?

תשובות סופיות:

- (1) 300nm בתחום העל סגול (UV).
- (2) $\lambda_{\max} = 122\text{nm}$, $\lambda_2 = 103\text{nm}$.
- (3) 22.8nm.
- (4) ראה סרטון.
- (5) א. בליעה: I, פליטה: II, בליעה: III. ב. מעבר I.
- (6) 0.544eV.
- (7) 490nm.
- (8) לא יוכל לקלוט.
- (9) 122.4eV.
- (10) $K = 13.6\text{eV}$, $U = -27.2\text{eV}$.
- (11) אין צורך.
- (12) ברמה ה-972, האנרגיה היא: $-1.4 \cdot 10^{-J} \text{eV}$.
- (13) $3.17 \cdot 10^{-34} \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$.
- (14) אורכי הגל הנצפים הם: 103nm, 656nm, 122nm.

שאלות ותרגילים נוספים:

שאלות:

- (1) **טמפרטורה של כוכב**
איזה כוכב נמצא בטמפרטורה גבוהה יותר, כוכב הנראה כחול, אדום או צהוב?
- (2) **גופים שחורים בחושך**
אם קרינה נפלטת מכל גוף, למה אנחנו לא רואים אותם בחושך?
- (3) **צבע אור של נורה**
האם האור של נורה בטמפרטורה של 3000K יראה לבן כמו האור של השמש הנמצאת ב-6000K?
- (4) **חדר חושך**
למה בחדרי חושך מאירים בנורה אדומה כשמפתחים תמונה של שחור לבן? האם ניתן להשתמש באור אדום גם בפיתוח של תמונה בצבע?
- (5) **תדירות סף מעדיפה תיאוריה פוטונית**
הסבירו למה העובדה שיש תדירות סף באפקט הפוטואלקטרי מסתדרת עם התורה הפוטונית ולא עם התורה הגלית של האור?
- (6) **אנרגיה של אינפרה אדום לעומת על סגול**
א. האם לפוטון יחיד של קרן בתחום העל סגול יש תמיד יותר אנרגיה מפוטון יחיד של קרן בתחום האינפרה אדום?
ב. האם לקרן בתחום העל סגול יש תמיד יותר אנרגיה מקרן בתחום האינפרה אדום?
- (7) **האם נפלטים יותר אלקטרונים באורך גל נמוך**
מקרינים מתכת באמצעות אור באורך גל מסוים ומודדים את האנרגיה של האלקטרונים הנפלטים. מחליפים את הקרן האור לקרן אחרת, באותה העוצמה אך עם אורך גל גדול יותר. בהנחה שבשני המקרים נפלטים אלקטרונים מן המתכת:
א. האם מספר האלקטרונים הנפלט גדל / קטן או נשאר ללא שינוי?
ב. האם האנרגיה של האלקטרונים גדלה / קטנה או נשארת ללא שינוי?

- (8) **אורך גל של פוטון בפיזור**
האם אורך הגל של פוטון בקרינת X המפוזר מאלקטרון גדל / קטן או לא משתנה?
- (9) **הבדל בין הפוטואלקטרי לקומפטון**
באפקט קומפטון הפגיעה של הפוטון יכולה לגרום ליציאה של אלקטרון מהמתכת, במקרה כזה מה ההבדל בינו לאפקט הפוטואלקטרי?
- (10) **איך העוצמה יורדת עם המרחק לפי כל מודל**
נניח כי ישנו מקור אור נקודתי, כיצד צריכה לרדת העוצמה של האור כתלות במרחק מהמקור לפי המודל הפוטוני וכיצד לפי המודל הגלי.
האם ניתן להבחין בין המודלים בדרך זו?
- (11) **מהם ההבדלים בין פוטון לאלקטרון**
ציינו את כל ההבדלים בין פוטון לאלקטרון.
- (12) **האם יש חמצן על כוכב**
כיצד ניתן לדעת האם יש חמצן על פני השמש או על כוכבים בכלל?
- (13) **נכונות הנוסחה של אנרגיית הפוטון**
השתמשו בשימור תנע והראו כי לפוטון הנפלט מאטום המימן יש קצת פחות אנרגיה מאשר החישוב שבנוסחה: $hf = E_U - E_L$.
- (14) **ספקטרום בליעה ופליטה בטמפרטורות שונות**
נניח שניקח את ספקטרום הפליטה של גז מימן הנמצא בטמפרטורה מאוד גבוהה כך שחלק מהאטומים נמצאים במצב מעורר ונעביר אותו דרך גז מימן הנמצא בטמפרטורה החדר (האטומים לא מעוררים) כך שתתבצע בליעה.
האם קווי הבליעה יהיו זהים לקווי הפליטה?
- (15) **אנרגיה מקסימלית להתנגשות אלסטית**
מהי האנרגיה המקסימלית עבורה יתנגשו שני אטומי מימן הנמצאים במצב היסוד להתנגשות אלסטית?

(16) כמה פוטונים נכנסים לעין מנורה

נורה של 40W פולטת בערך 3% מהאנרגיה המושקעת בה כאור נראה באורך גל ממוצע של 550nm. האור נפלט בצורה אחידה לכל הכיוונים. העריכו כמה פוטונים פוגעים בעין של אדם הנמצא במרחק 10m מהנורה בכל שניה. קוטר האישון הוא 4.0mm.

(17) כמה פוטונים מגיעים מהשמש

עוצמת האור המגיע מן השמש היא: $I = 1350 \frac{W}{m^2}$. חשבו כמה פוטונים למטר מרובע לשנייה יש פוגעים בפני כדור הארץ מן השמש? קחו אורך גל ממוצע של 550nm.

(18) כוח של קרן לייזר

קרן לייזר באורך גל של: $\lambda = 633nm$ פוגעת בחיישן כוח. החיישן מודד כוח של: $F = 3.0nN$. כמה פוטונים פוגעים בחיישן כל שניה אם נניח שהפוטונים אינם מוחזרים?

(19) חלקיקי אלפא מתקרבים לגרעין

בחלק מהניסויים של רתפורד הוא השתמש בחלקיקי אלפא בעלי מטען $+2e$ עם אנרגיה של 3.6MeV. כמה קרוב יכלו החלקיקים להגיע למרכז גרעין של כסף המכיל מטען של $+47e$. התעלמו מהרתע של הגרעין.

(20) פוטנציאל עצירה בניסוי פוטואלקטרי

בניסוי פוטואלקטרי מקרינים מתכת באור באורך גל 440nm ומודדים כי פוטנציאל העצירה הוא 1.2V. מה יהיה פוטנציאל העצירה אם יחליפו את האור לאורך גל של 550nm.

(21) שינוי תדירות בפוטואלקטרי

בניסוי פוטואלקטרי פוטונים באנרגיה של 9.0eV פוגעים במתכת ומתח העצירה הנמדד הוא 5.0V.
 א. מה תהיה האנרגיה המקסימאלית של האלקטרונים הנפלטים אם תדירות הפוטונים תקטן לחצי מהתדירות המקורית?
 ב. חזרו על סעיף א אם התדירות תקטן לשליש מהתדירות המקורית.

22) מודל בוהר לשמש וכדור הארץ

נסו ליישם את המודל של בוהר לכדור הארץ והשמש.

א. מהם הרדיוסים ורמות האנרגיה? יש להשתמש ב:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}^2 \text{kg}}, M_E = 5.97 \cdot 10^{24} \text{kg}, M_S = 2 \cdot 10^{30} \text{kg}$$

ב. חשבו את רמת האנרגיה שבה נמצא כדור הארץ אם המרחק מהשמש

$$\text{הוא: } r = 1.50 \cdot 10^{11} \text{m}$$

ג. * הראו כי ההבדל בין רמות האנרגיה זניח עבור מודל זה וניתן להתייחס לאנרגיה כרציפה.

23) כוח על פנס

פנס קטן עובד בהספק של 5W כאשר כ-3% מנוצל לאור נראה. העריכו את הכוח המופעל על הפנס אם האור יוצא בכיוון אחד.

24) זמן ואורך פלאנק

נסתכל על שלושה קבועים בסיסיים בטבע קבוע הגרביטציה:

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{sec}}, G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{sec}^2}$$

$$\text{ומהירות האור: } c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

א. מצאו קומבינציה מתמטית של הקבועים האלו שתהיה ביחידות של זמן. זמן זה נקרא זמן פלאנק t_p והוא נחשב לזמן המוקדם ביותר מרגע תחילת הייקום שבו ניתן להפעיל את חוקי הפיזיקה כפי שאנחנו מבינים כיום. חשבו את זמן זה.

ב. מצאו קומבינציה מתמטית של הקבועים האלו שתהיה ביחידות של אורך. אורך זה נקרא אורך פלאנק λ_p והוא נחשב לאורך הקטן ביותר שבו ניתן להפעיל את חוקי הפיזיקה כפי שאנחנו מבינים כיום. חשבו את אורך זה.

תשובות סופיות:

- (1) כחול.
- (2) כי הקרינה הנפלטת היא לא בתחום הנראה.
- (3) לא, הוא יראה יותר צהוב אדום.
- (4) כי סרט שחור לבן לא מגיב לאור אדום, לא ניתן להשתמש באור אדום לפיתוח תמונה צבעונית.
- (5) לפי התורה הגלית האנרגיה של האור קשורה לעוצמת האור ולפי התורה הפוטונית לתדירות.
- (6) א. כן. ב. לא.
- (7) א. ללא שינוי. ב. קטנה.
- (8) גדל.
- (9) באפקט קומפטון הפוטון מפוזר באנרגיה יותר נמוכה לעומת הפוטואלקטרי שם תמיד כל הפוטון נבלע וכל האנרגיה שלו הולכת לאלקטרון.
- (10) לפי אחד חלקי המרחק בריבוע בשניהם ואי אפשר להבחין ביניהם.
- (11) משותף: תנע - לשניהם יש, דואליות גל חלקיק לשניהם (לשניהם יש אורך גל). שונה: פוטון נע רק במהירות האור, לפוטון אין מסת מנוחה, לפוטון אין מטען חשמלי.
- (12) לפי ספקטרום הפליטה.
- (13) ראה סרטון.
- (14) לא.
- (15) 10.2eV.
- (16) 10^{10} .
- (17) $3.7 \cdot 10^{21}$ פוטונים.
- (18) $2.9 \cdot 10^8$ פוטונים לשנייה.
- (19) $3.76 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.
- (20) 0.64V.
- (21) א. 0.5eV. ב. לא תהיה פליטת אלקטרונים.
- (22) א. $E_n = -1.68 \cdot 10^{182} \cdot \frac{1}{n^2}$, $r_n = 2.34 \cdot 10^{-138} \cdot n^2$. ב. $n = 2.53 \cdot 10^{74}$.
- (23) ג. ראה סרטון. $5 \cdot 10^{-10} \text{ N}$.
- (24) א. $t_p = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} = 1.35 \cdot 10^{-43} \text{ sec}$. ב. $\lambda_p = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} = 4.05 \cdot 10^{-35} \text{ m}$.

יסודות הפיזיקה ב 2014 ו 20124

פרק 12 - גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות

תוכן העניינים

1. הגרעין- הסבר (ללא ספר)
2. אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים 100
3. רדיואקטיביות 101
4. תגובות גרעיניות 104

אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים:

שאלות:

- (1) אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 1
חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.
- (2) אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 2
מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

תשובות סופיות:

$$\Delta E = 39.2 \text{ MeV} \quad (1)$$

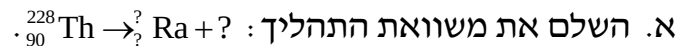
$$E = 7.684 \quad (2)$$

רדיואקטיביות:

שאלות:

(1) רדיואקטיביות - תרגיל 1

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



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'?

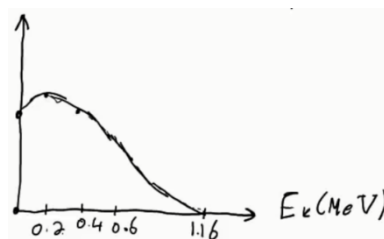
(2) רדיואקטיביות - תרגיל 2

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

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 הנפלטים 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) רדיואקטיביות - תרגיל 3

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

- כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?
- כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?
- כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?
- מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

(4) רדיואקטיביות - תרגיל 4

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

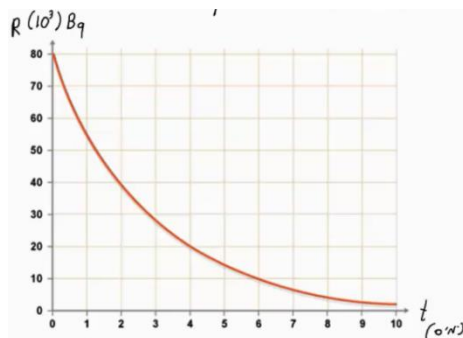
מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא: 23.990962u .

זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

- כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.
- מה פעילות מדגם זה ברגע $t = 0$?
- מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?
- כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

(5) רדיואקטיביות - תרגיל 5

חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:



- מהו זמן מחצית החיים של החומר?
- מתי תהיה פעילותו 10^4 בקרל?
- מה תהיה פעילותו ברגע $t = 17$ days?
- הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך, כתלות בזמן.

(6) רדיואקטיביות - תרגיל 6

אורניום $^{235}_{92}\text{U}$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא

ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

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

אותו $^{235}_{92}\text{U}$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב

של עופרת $^{207}_{82}\text{Pb}$.

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

(7) רדיואקטיביות - 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. ${}_{90}^{228}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{224}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$ ב. $E_{v_{\max}} = -5.55\text{MeV}$ ג. $E_{v_{\max}} < -5.55\text{MeV}$

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

3. א. $5 \cdot 10^9$ ב. $8.75 \cdot 10^9$ ג. $8.25 \cdot 10^8$

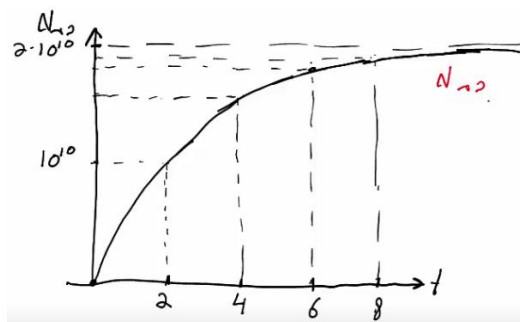
ד. 2645Bq

4. א. ${}_{11}^{24}\text{Na} \rightarrow {}_{12}^{24}\text{Mg} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}$ ב. $6.43 \cdot 10^{17}\text{Bq}$ ג. $1.61 \cdot 10^{17}\text{Bq}$

ד. $4.3 \cdot 10^{22}$

5. א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. 221Bq

ד.



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

7. א. i. 115.5Bq ב. לפני 3,031 שנה בערך. ii. 57.75Bq

ג. אי אפשר לדעת. ד. $R \rightarrow 0$

תגובות גרעיניות:

שאלות:

(1) תגובות גרעיניות - תרגיל 1

- יורים על גרעין $^{27}_{13}\text{Al}$, 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) תגובות גרעיניות - תרגיל 2

- נתונה התגובה הבאה: $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{H} + ?$. א. השלם את התגובה. ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטריום (^2_1H) היא: 1.11226MeV , ולהליום 3 (^3_2H) היא: 2.5727MeV . מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

תשובות סופיות:

- (1) א. $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n}$ ב. $\Delta E = 2.65\text{MeV}$ ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.
(2) א. $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{H} + ^1_0\text{n}$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).