

בחינות, מבחנים ובעיות



בחינת הבגרות בפיסיקה לתלמידי 4 - 5 יחידות לימוד, קיץ תשנ"ב, ופתרונות מלאים

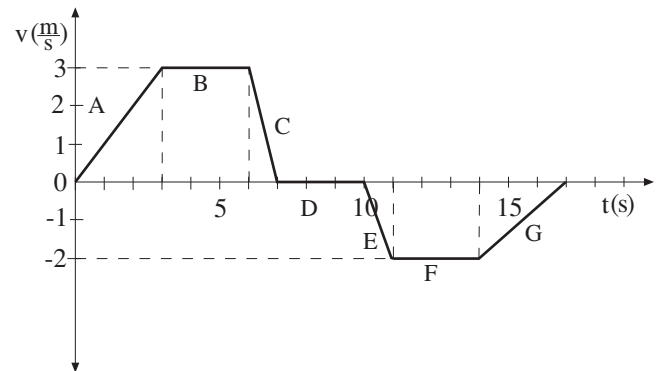
ערי רופן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, ומשרד החינוך והתרבות, ירושלים

1. א. בדרך כלל השאלות מופיעות בגירסתן המקורית, (כפי שהופיעו במבחן). רק במספר שאלות, בהן נפלו אי דיוקים או שגיאות, נעשו שינויים. התשובות מתיחסות לגירסה המופיעה כאן.

גודל המהירות	כיוון תנועה	קטע
גדל	עולה	A
קבוע	עולה	B
קטן	עולה	C
קבוע	במנוחה	D
גדל	יורדת	E
קבוע	יורדת	F
קטן	יורדת	G

מכניקה

1. הגרף שלפניך מתאר תנועת מעלית במבנה הנמצא בבנייה. מסומנים בו שבעה קטעים מ-A עד G. המעלית מתחילה את תנועתה מן הקרקע, והכיוון כלפי מעלה נבחר כחיובי.



- ב. הגובה המקסימלי מיוצג על-ידי שטח הטרפז המוגבל בקטעים A ו B ו C:

$$h_1 = \frac{(7+3)3}{2}$$

$$h_1 = 15 \text{ m}$$

- ג. המעלית ירדה מרגע $t_1 = 10\text{s}$ עד רגע $t_2 = 17\text{s}$ בשיעור h_2 :

$$h_2 = \frac{(7+3)2}{2} = 10 \text{ m}$$

בגמר תנועתה נמצאת המעלית בגובה 5m מעל הקרקע.

- ד. בקטע A "המשקל הנמדד" (הכוח הנורמלי, N) הוא 550 ניוטון.

נסמן: m - מסת השק.

תאוצת המעלית בקטע A (שיפוע הגרף) היא 1m/s^2 .

על פי החוק השני של ניוטון:

$$(1) \quad \begin{aligned} N - mg &= ma \\ 550 - m \cdot 10 &= m \cdot 1 \\ m &= 50 \text{ kg} \end{aligned}$$

- א. קבע בכל אחד מן הקטעים אם המעלית עולה או יורדת, ואם גודל מהירותה קבוע, גדל או קטן.

ב. מהו הגובה המקסימלי אליו מגיעה המעלית?

- ג. באיזה גובה מעל הקרקע נמצאת המעלית בגמר תנועתה?

ד. שק מלט מונח על מאזני קפיץ (מאזני אמבטיה) שעל רצפת המעלית. המאזניים מכויילים בקילוגרמים.

בקטע A של התנועה מופיע המספר 55 על צג המאזניים.

מצא איזה מספר יופיע על הצג בכל אחד מהקטעים האחרים של התנועה.

$$z = \frac{1}{2} g t^2$$

$$1.25 = \frac{1}{2} \cdot 10 t^2$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

$$x = v_x t = 3 \cdot 0.5 = 1.5 \text{ m}$$

$$y = v_y t = 4 \cdot 0.5 = 2 \text{ m}$$

המרחק האופקי ביחס לקרקע:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(1.5)^2 + 2^2}$$

$$r = 2.5 \text{ m}$$

ג. M - מסת הרחפת

m - מסת הנער

v - גודל מהירות הרחפת (מהירות בכיוון

x של הנער לאחר הקפיצה $v = 3 \text{ m/s}$)

u - גודל מהירות הרחפת לאחר הקפיצה

α - הזווית המבוקשת.

שימור תנע ביחס לקרקע:

בציר x:

$$(M+m)v = M u \cos\alpha + mv$$

$$(80 + 45) 3 = 80 \cdot u \cos\alpha + 45 \cdot 3$$

$$(1) \quad u \cos\alpha = 3$$

בציר y:

$$0 = 45 \cdot 4 - 80 u \sin\alpha$$

$$(2) \quad u \sin\alpha = 2.25$$

מ (1) ו (2):

$$\alpha = 36.9^\circ$$

$$u = 3.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. כדי לחקור את תלות זמן המחזור של תנועה הרמונית במסה, מבצע תלמיד את הפעולות הבאות: קושר קפיץ לכן ותולה עליו סל. לתוך הסל הוא מכניס גלילי ברזל, שמסת כל אחד מהם היא 300 גרם, מרים את הסל מעל נקודת שיווי-המשקל ועוזב. בעזרת שעון עצר הוא מודד את הזמן הדרוש לעשרה מחזורים, ומחשב את זמן המחזור T עבור מספר גלילים משתנה בסל. להלן תוצאות מדידותיו:

הוראת המאזניים בקטעים השונים (על פי נוסחה 1):

קטע	תאוצה * (m/s^2)	הוראת המאזניים
B	0	50
C	-3	35
D	0	50
E	-2	40
F	0	50
G	0.66	53.3

* ביחס לציר, שהכיוון כלפי מעלה נבחר כחיובי

2. רחפת היא כלי הנע על כרית אוויר, ומסוגל לנוע בכל כיוון במישור אופקי ללא חיכוך. על רחפת כזו נמצא נער. הרחפת נעה בקו ישר במהירות קבועה של $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. התנגדות האוויר זניחה.

א. מהרחפת נזרק כדור בכיוון אנכי כלפי מעלה במהירות $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (יחסית לרחפת), ונחת על הרחפת. מהו המרחק

על הרחפת בין הנקודה ממנה נזרק הכדור לבין הנקודה בה נחת?

ב. הנער קופץ הצידה מן הרחפת במהירות אופקית. מהירות זו ביחס למהירות המקורית של הרחפת:

גודלה $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, כיוונה ניצב לכיוון תנועתה המקורית של

הרחפת. גובה פני הרחפת מעל הקרקע 1.25 m. חשב את המרחק האופקי מן הנקודה שבה עזב הנער את הרחפת ועד לנקודה שבה נחת על הקרקע.

ג. מסת הרחפת היא 80 kg, ומסת הנער - 45 kg.

(1) מה הזווית בין כיוון התנועה של הרחפת, לאחר שהנער קפץ ממנה, לבין כיוונה המקורי?

(2) מה גודל המהירות של הרחפת לאחר שהנער קפץ ממנה?

2. א. המרחק הוא אפס. המהירות של הרחפת לא השתנתה, ומהירות הכדור בכיוון תנועת הרחפת שווה למהירות הרחפת.

ב. פתרון ביחס למהירות המקורית של הרחפת:

נחשב את המרחק ביחס לקרקע:

נסמן: ציר x - בכיוון תנועת הרחפת (לפני הקפיצה)

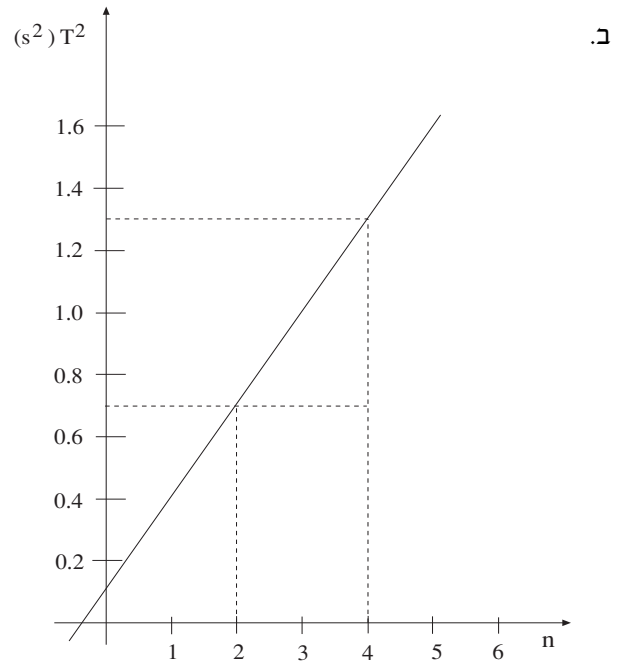
ציר y - בכיוון ניצב לתנועת הרחפת (לפני הקפיצה)

ציר z - בכיוון כלפי מטה (אנכי)

מספר הגלילים	1	2	3	4	5	6
T בשניות	0.63	0.84	1.01	1.13	1.26	1.38

- א. הסבר מדוע מדד התלמיד עשרה מחזורים, אף-על-פי שיש לו שעון עצר המודד מאיות שנייה.
 ב. ערוך גרף של T^2 כפונקציה של מספר הגלילים.
 ג. האם הקו שסירטטת עובר דרך ראשית הצירים? אם כן - מה המסקנה מכך?
 אם לא - איזה גודל פיסיקלי מייצגת כל אחת מנקודות החיתוך של הקו עם הצירים?
 ד. מהו הקבוע של הקפיץ?

3. א. כדי להקטין את השגיאה היחסית. השגיאה המוחלטת נגרמת בעיקר כתוצאה מזמן התגובה של המודד (ולא ממידת דיוק השעון).



- ג. הגרף אינו עובר דרך הראשית: $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$
 נסמן: m_0 - מסת הסל (וחלק ממסת הקפיץ)
 m - מסת גליל
 n - מספר הגלילים המתנוודים.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_0 + nm}{k}}$$

לכן:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m_0 + \frac{4\pi^2}{k} n$$

חיתוך הגרף עם הציר האנכי (T^2) שווה ל- $\frac{4\pi^2}{k} m_0$.

ביטוי זה מייצג את ריבוע זמן המחזור של m_0 .

$$-\frac{m_0}{m} = -\frac{m_0}{0.3}$$

לכן הערך המוחלט מייצג את מסת הסל (וחלק ממסת הקפיץ) ביחידות של מסת גליל.

ד. שיפוע הגרף הוא $\frac{4\pi^2 m}{k}$.

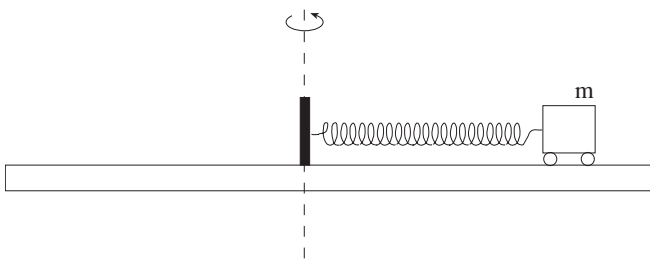
שיפוע הגרף שהתקבל הוא $0.3s^2$, לכן:

$$\frac{4\pi^2 m}{k} = 0.3 \Rightarrow \frac{4\pi^2 \cdot 0.3}{k} = 0.3$$

לכן:

$$k \approx 39.5 \frac{N}{m}$$

4. שולחן עגול מסתובב סביב ציר העובר במרכזו. עגלה נמצאת על מסילה הקבועה לאורך רדיוס השולחן, כך שהעגלה יכולה לנוע רק לאורך המסילה ללא חיכוך. העגלה קשורה לקפיץ, הקשור למרכז השולחן (ראה תרשים).



לקפיץ קבוע k , ואורכו l כאשר הוא אינו מתוח. מסובבים את השולחן בתדירות של f סיבובים לשנייה. העגלה שמסתה m מסתובבת עם השולחן במרחק r ממרכזו.

התייחס לעגלה כאל גוף נקודתי.

א. בטא את רדיוס הסיבוב r של העגלה באמצעות הנתונים שבשאלה.

ב. האם לביטוי שמצאת בסעיף א' יש משמעות פיסיקלית בכל תדירות סיבוב? נמק.

ג. קוטר השולחן 2.5 m, האורך ההתחלתי של הקפיץ 25 cm, קבוע הקפיץ $60 \frac{N}{m}$ ומסת העגלה 2.4 kg. באיזו תדירות יש לסובב את השולחן, כדי שהעגלה תיפול ממנו?

4. א. על-פי החוק השני של ניוטון לגבי הכיוון הרדיאלי:

$$\sum F_R = m4\pi^2 r f^2$$

$$k(r - l) = m4\pi^2 f^2 r$$

$$r = \frac{kl}{k - 4\pi^2 f^2 m}$$

ב. לא. אין משמעות כאשר:

$$k \leq 4\pi^2 f^2 m$$

1. כאשר הקרוני נופלת מהשולחן.
2. כאשר הקפיץ יוצא מתחום האלסטיות.

ג.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k(r-l)}{mr}} =$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{60(1.25 - 0.25)}{2.4 \cdot 1.25}} = 0.71 \text{ s}^{-1}$$

$$f > 0.71 \text{ s}^{-1}$$

5. א. לווין ירד ממסלול מעגלי גבוה למסלול מעגלי נמוך. סביב כדור-הארץ.

האם כתוצאה מכך:

(1) האנרגיה הקינטית של הלוויין קטנה, גדלה או לא השתנתה? **נמק.**

(2) האנרגיה הכוללת של הלוויין קטנה, גדלה או לא השתנתה? **נמק.**

ב. מודדים את משקלו של גוף הנמצא בתוך לווין באמצעות מאזני קפיץ. כאשר הלוויין נמצא על הקרקע, מראים המאזניים 10N.

מה מראים המאזניים:

(1) תוך כדי שילוח הלוויין, כאשר תאוצת הלוויין היא

$$40 \frac{m}{s^2} \text{? הסבר.}$$

(2) כאשר הלוויין נע במסלול סביב כדור-הארץ, לאחר שכבו מנועי השילוח? **הסבר.**

ג. לווין מסתובב מעל קו המשווה באותו כיוון שבו מסתובב כדור-הארץ סביב צירו. זמן המחזור של הלוויין הוא 12 שעות. כל כמה זמן עובר הלוויין מעל נקודת תצפית מסוימת שעל הקרקע? **הסבר.**

5. א. (1) **האנרגיה הקינטית גדלה**, על-פי הביטוי לאנרגיה קינטית של לווין:

$$E_k = \frac{GMm}{2r}$$

r קטן לכן E_k גדל.

(2) **האנרגיה הכוללת קטנה**, על-פי הביטוי לאנרגיה כוללת של לווין:

$$E_k = -\frac{GMm}{2r}$$

r קטן, לכן הערך המוחלט של הביטוי גדל, לכן E קטן.

ב. (1) מסת הגוף 1 ק"ג.

$$N - mg = ma$$

$$N = m(g + a)$$

$$N = 1(10 + 40)$$

$$N = 50 \text{ N}$$

(2) המאזניים יראו אפס, כי תאוצת הגוף שווה לתאוצת הנפילה החופשית באותו מקום.

ג. הלוויין עובר כל 24 שעות מעל נקודת תצפית מסוימת שעל הקרקע.

הסבר: נסמן $t = 0$ כאשר הלוויין היה מעל נקודת התצפית. כעבור 12 שעות חזר הלוויין לנקודת המוצא (לאחר שהשלים סיבוב), אך נקודת התצפית השלימה רק חצי סיבוב. כעבור עוד 12 שעות חזרו הלוויין ונקודת התצפית לנקודה בה היו ברגע $t = 0$.

חשמל

ב. (1) על המשטח הפנימי ועל המשטח החיצוני של הקליפה ניתן להסתכל כעל שני כדורים טעונים. השדה בתוך כל כדור, הודות למטען שעל פניו, הוא אפס. לכן השדה ב B, הודות למטענים

שעל

הקליפה הכדורית, הוא אפס, ולכן השינוי בשדה הוא אפס.

(2) הפוטנציאל ב B לפני הוספת הקליפה הוא:

$$V_B = k \frac{q}{r_B}$$

הפוטנציאל בתוך כדור טעון שווה לפוטנציאל על שפתו, ולכן הפוטנציאל ב B לאחר הוספת הקליפה:

$$V'_B = k \frac{q}{r_B} - k \frac{q}{R_1} + k \frac{q}{R_2}$$

השינוי בפוטנציאל:

$$\Delta V = V'_B - V_B$$

$$\Delta V = k \frac{q}{R_2} - k \frac{q}{R_1}$$

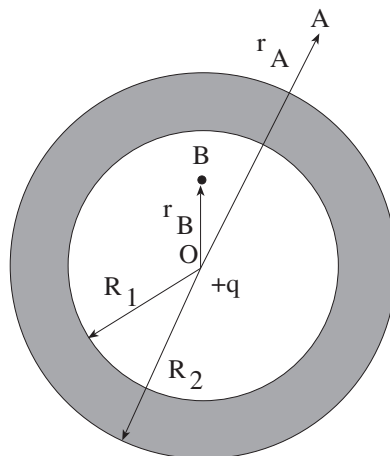
ג. השדה ב A ישתנה:

לאחר שמאריקים את הקליפה, המטען על המשטח החיצוני יתאפס (על המשטח הפנימי המטען ישאר $-q$, לכן המטען הכולל ב O ישתנה, ולכן השדה ב A ישתנה (הוא יתאפס לאחר ההארכה).

2. לרשותו של תלמיד מקור מתח שהתנגדותו הפנימית 2Ω , נגד, וולטמטר ואלקטרומטר (באמצעות אלקטרומטר ניתן למדוד מתחים ללא מעבר זרם באלקטרומטר). התלמיד ביצע את שלוש הפעולות הבאות:

- חיבר את האלקטרומטר אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה 24V.
 - חיבר גם את הנגד אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה 22V.
 - ניתק את האלקטרומטר ממקור המתח, וחיבר במקומו את הוולטמטר (הנגד היה עדיין מחובר). הוולטמטר הראה 21.6V.
- א. (1) סרטט את המעגלים החשמליים בשלושת המקרים 1-3.

1. מטען נקודתי $+q$ נמצא בנקודה O. נקודות A ו B נמצאות במרחקים r_A ו r_B , בהתאמה, מהנקודה O. מקיפים את המטען הנקודתי בקליפה כדורית מוליכה בלתי טעונה, שמרכזו O ורדיוסיה R_1 ו R_2 כמתואר בתרשים.



א. כתוצאה מהוספת הקליפה הכדורית, האם ישתנה:

(1) השדה החשמלי בנקודה A? אם לא - הסבר מדוע, ואם כן - מצא ביטוי לשינוי בשדה החשמלי ב-A (מבוטא באמצעות q, r_A, R_1 ו R_2).

(2) הפוטנציאל בנקודה A? אם לא - הסבר מדוע, ואם כן - מצא ביטוי לשינוי בפוטנציאל ב-A. (מבוטא באמצעות q, r_A, R_1 ו R_2).

ב. ענה על סעיף א לגבי הנקודה B (בטא שינויים, אם ישנם, באמצעות q, r_B, R_1 ו R_2).

ג. מאריקים (מחברים לאדמה) את הקליפה הכדורית. האם ישפיע הדבר על עוצמת השדה בנקודה A? הסבר.

1. א. (1) + (2) המטען הנקודתי ישרה על הקליפה המוליכה מטענים חשמליים. מטען $-q$ על המשטח הפנימי, ומטען $+q$ על המשטח החיצוני. השדה והפוטנציאל ב-A עם הקליפה ניתנים לחישוב כאילו כל המטענים מרוכזים בנקודה O. תרומת המטענים שעל הקליפה למטען הכולל ב-O היא אפס, ולכן השינויים בשדה ובפוטנציאל ב-A שווים לאפס.

(2) במדידה הראשונה הוראת האלקטרומטר היא הכא"מ של מקור המתח, ובמדידה השנייה היא מתח ההדקים במעגל החשמלי, ומתח ההדקים קטן מהכא"מ.

(3) החלפת האלקטרומטר (התנגדות אינסופית) בוולטמטר הקטינה את ההתנגדות החיצונית, ולכן הזרם דרך המקור גדול יותר, לכן המתח הפנימי גדול יותר. על כן מתח ההדקים במדידה השלישית קטן ממתח ההדקים במדידה השנייה.

ב. במעגל השני:

$$\varepsilon = 24V$$

$$V = 22V \text{ (מתח הדקים)}$$

$$r = 2\Omega$$

$$\varepsilon = Ir + V$$

$$24 = 2I + 22$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$R = \frac{V}{I} = 22$$

$$R = 22\Omega$$

ג. במעגל השלישי:

$$\varepsilon = Ir + V$$

$$24 = 2I + 21.6$$

$$I = 1.2 \text{ A}$$

הזרם דרך הנגד:

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{21.6}{22} = 0.982 \text{ A}$$

$$I_V = I - I_R = 1.2 - 0.982$$

$$I_V = 0.218 \text{ A}$$

התנגדות הוולטמטר:

$$R_V = \frac{V}{I_V} = 21.6/0.218$$

$$R_V = 99\Omega$$

ד. כן. אילו חיבר וולטמטר בעל התנגדות גדולה מ- 99Ω , היתה ההתנגדות החיצונית גדולה יותר, לכן הזרם דרך המקור היה קטן יותר, ולכן מתח ההדקים היה גדול מ- 21.6 .

ה. לא. כי אם במעגל השני נחליף את האלקטרומטר בוולטמטר, נקטין את ההתנגדות החיצונית, לכן הזרם דרך המקור יגדל, ולכן מתח ההדקים חייב להיות קטן מ- 22 V .

(2) מדוע תוצאת המדידה השנייה קטנה מהראשונה?

(3) מדוע תוצאת המדידה השלישית קטנה מהשנייה?

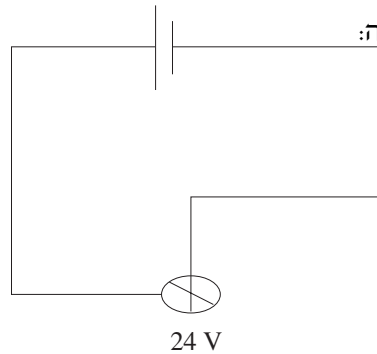
ב. מצא את התנגדות הנגד.

ג. מצא את התנגדות הוולטמטר.

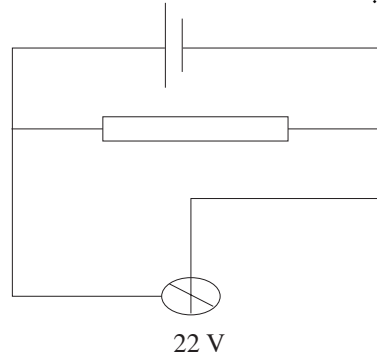
ד. אם התלמיד היה מחליף את הוולטמטר שעמד לרשותו בוולטמטר אחר (בלי לנתק את הנגד), האם תוצאת המדידה היתה יכולה להיות גדולה מ- 21.6 V ? הסבר.

ה. האם יכול וולטמטר אחר להראות 23 V (בלי לנתק את הנגד)? הסבר.

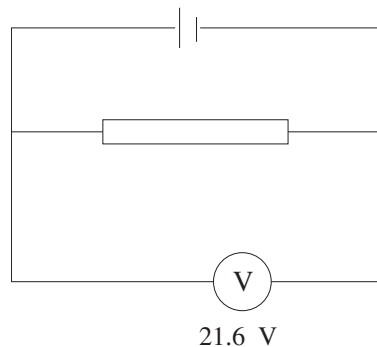
א. (1) פעולה ראשונה:



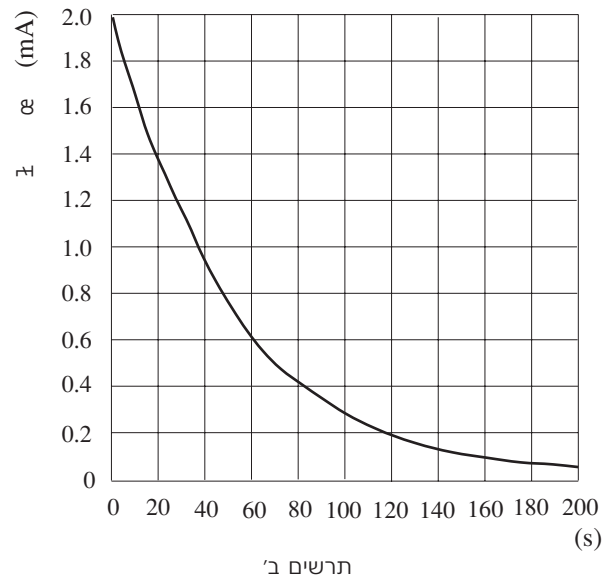
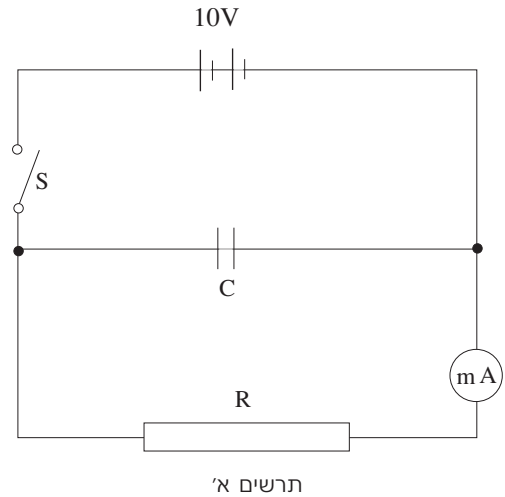
פעולה שנייה:



פעולה שלישית:



3. כדי לחקור פריקה של קבל דרך נגד, בנה תלמיד את המעגל החשמלי המתואר בתרשים א', הכולל מקור מתח שהכא"מ שלו 10V והתנגדותו הפנימית ניתנת להזנחה. בתחילה היה המפסק S סגור עד טעינתו המלאה של הקבל, ולאחר מכן, ברגע $t = 0$, פתח התלמיד את המפסק. תרשים ב' מראה את קריאת המיליאמפרמטר, שהתנגדותו זניחה, בעת הפריקה, כפונקציה של הזמן.



- א. השתמש בתרשים ב' כדי לחשב את הגדלים הבאים (בסדר הנוח לך):
 (1) המטען ההתחלתי שבו היה הקבל טעון ברגע $t = 0$
 (2) קיבול הקבל C.
 (3) התנגדות הנגד R.

ב. האם תשובתך בסעיף א (1) מבטאת את כמות המטען על לוח אחד של הקבל או את סכום ערכיהם המוחלטים של המטענים על שני לוחותיו? הסבר.
 ג. אילו הפריקה היתה נעשית דרך נגד בעל התנגדות גדולה מ-R, האם התלמיד היה מקבל עקום שונה? אם לא - הסבר מדוע, אם כן - העתק למחברתך את העקום המקורי, והוסף באותה מערכת צירים סרטוט מקורב של העקום, שהיה מתקבל עם נגד בעל התנגדות גדולה מ-R.

3. א. (3) ברגע $t=0$ המתח בקצות הנגד הוא 10V, והזרם דרכו (מתוך הגרף) הוא 2mA, לכן התנגדותו:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$R = 5k\Omega$$

(2) מציאת קבוע הזמן מהגרף: קבוע הזמן הוא אותו פרק זמן שדרוש לירידת הזרם ל $1/e$ מערכו ההתחלתי, כלומר כדי שהזרם יהיה: $(2/e)mA = 0.74 mA$
 על-פי הגרף זה יקרה כעבור 50 שניות, ולכן $\tau = 50s$.

$$\tau = RC \Rightarrow 50 = 5000 \cdot C$$

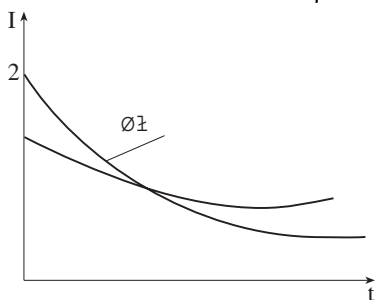
$$C = 0.01F$$

(1)

$$q = V \cdot C = 10 \cdot 0.01$$

$$q = 0.1 C$$

ב. כמות המטען על לוח אחד, כי מכפלת הזרם במתח היא כמות המטען העוברת בחדך כלשהו של תייל במעגל החשמלי, ומטען זה עובר ללוח אחד.



ג.

ג. בין לוחות הקבל: $F_{\text{ע}} = F_{\text{מג}} = F_{\text{ק}}$

$$qE = Bqv \quad (1)$$

לאחר צאת החלקיקים מהקבל הם נעים במעגל, ועל-פי החוק השני של ניוטון:

$$Bqv = \frac{mv^2}{R} \quad (2)$$

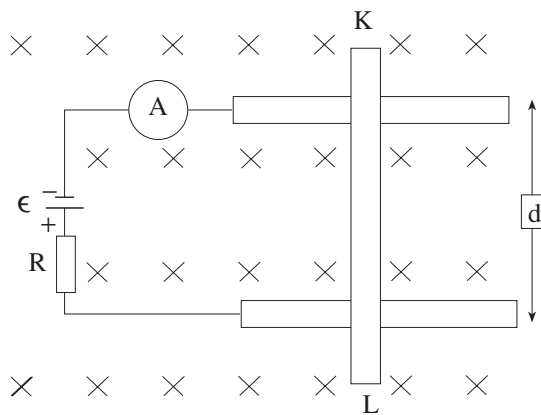
מ (1) ו (2):

$$R = \frac{mE}{qB^2}$$

$$OK = 2R = \frac{2mE}{qB^2}$$

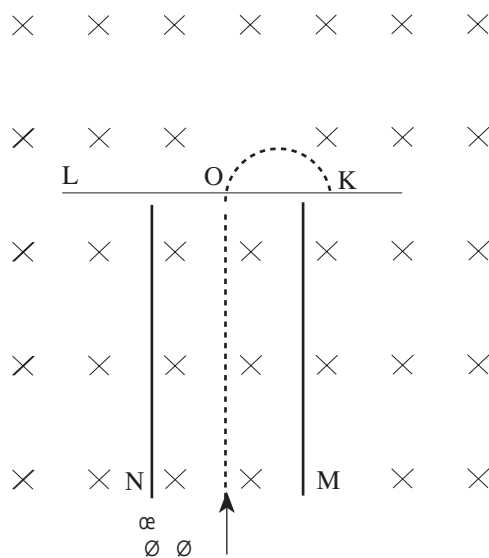
ד. צריך להקטין את R, לכן (לפי נוסחה (2) סעיף ג.) יש להגדיל את B, אך כדי שהחלקיקים ינועו בקו ישר ובאותה מהירות, צריך (על פי נוסחה (1) בסעיף ג.) להגדיל גם את E באותו יחס כמו שמגדילים את B.

5. שני מוטות מוליכים מקבילים ואופקיים, שהמרחק ביניהם d, נמצאים בשדה מגנטי אחיד B, המאונך למישור הנוצר על-ידי שני המוטות וכיוונו "לתוך הדף".



המוטות מחוברים למקור מתח ε, ולגוד R ולמד-זרם A. מניחים, על-גבי שני המוטות ובמאונך להם, מוט מוליך שלישי KL (ראה תרשים). ההתנגדויות החשמליות של מקור המתח, של מד-הזרם ושל שלושת המוטות זניחות, וכן זניח החיכוך בין המוט KL לבין המוטות המקבילים. על המוט KL מפעילים כוח חיצוני אופקי F, כדי להחזיקו במנוחה.

4. בשדה מגנטי אחיד, שעוצמתו B, וכיוונו "לתוך הדף", נמצא קבל טעון. בין לוחות הקבל, M ו N, הניצבים למישור הדף, שורר שדה חשמלי אחיד שעוצמתו E. אלומת חלקיקים נכנסת אל בין לוחות הקבל בניצב לשדות E ו B. החלקיקים נעים בין הלוחות במסלול ישר. חלקם עוברים דרך חריר O שבחיץ L, ולאחר מכן פוגעים בחיץ בנקודה K (ראה תרשים). מטענו של כל חלקיק הוא q ומסתו m. כוחות הגרביטציה הפועלים על החלקיקים ניתנים להזנחה.



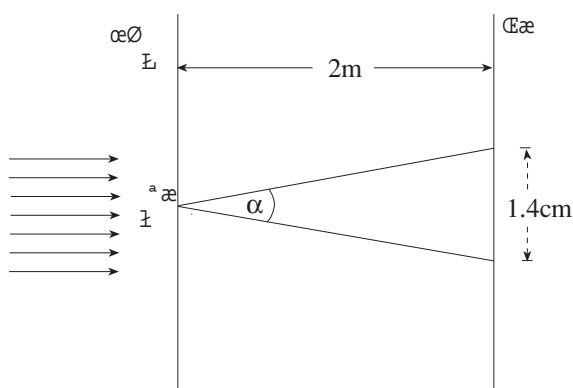
א. האם מטען החלקיקים הוא חיובי או שלילי? נמק. ב. מה כיוון השדה החשמלי? נמק. ג. בטא את המרחק OK באמצעות q, m, B ו E. ד. רוצים שהחלקיקים יפגעו בחיץ בנקודה קרובה יותר לחריר O (כלומר רוצים להקטין את OK). ניתן לשנות אך ורק את עוצמות השדות E ו B (ולא, למשל, את מהירות החלקיקים). מה יש לעשות לשם כך? הסבר.

4. א. מטען החלקיקים שלילי, כי בצאתם מהקבל פועל עליהם כוח מגנטי ימינה. ב. כיוון השדה החשמלי הוא ימינה (מ N ל M), כי כיוון הכוח המגנטי הוא ימינה, ולכן כיוון הכוח החשמלי (בין הלוחות) הוא שמאלה. כיוון כוח חשמלי על מטען שלילי הוא הפוך לכיוון השדה החשמלי, ולכן כיוון השדה החשמלי הוא ימינה.

פרקי הבחירה

פרק א. תורת האור והגלים

1. אלומה מקבילה של אור חד-צבעי, שאורך הגל שלו $\lambda = 7000 \text{ \AA}$, עוברת דרך סדק צר בלוחית אטומה, ופוגעת במסך הנמצא במרחק 2m מהלוחית. על המסך נוצרת תבנית עקיפה, שהמקסימום המרכזי בה הוא ברוב 1.4 cm (ראה תרשים), ועוצמת פסי האור הצדדיים ניתנת להזנחה.



- א. מה רוחב הסדק?
 ב. פותחים סדק שני, זהה לראשון ומקביל לו, במרחק 2 mm ממנו. מתברר, כי במקסימום הראשי הקודם נוצרים פסים בהירים ושחורים. מהו רוחבו של פס בהיר?
 ג. מקרבים בהדרגה את המסך ללוחית. כאשר המסך מגיע למרחק מסוים, נעלמת תמונת ההתאבכות. שהתקבלה בסעיף ב. הסבר מדוע, בליווי סרטוט.

1. א. פסי חושך בעקיפה:

$$n\lambda \approx \frac{X_n}{L} w$$

פס החושך הראשון:

$$1 \cdot \lambda \approx \frac{X_1}{L} w$$

נציב אורכים (בס"מ):

$$\frac{7 \cdot 10^{-5}}{w} \approx \frac{0.7}{200}$$

$$w = 0.02 \text{ cm}$$

- א. (1) מצא את כיוון הזרם I במוט KL, ובטא את עוצמתו באמצעות נתוני השאלה.
 (2) מצא את כיוונו של הכוח החיצוני F, ובטא את גודלו באמצעות נתוני השאלה.

ב. מפסיקים את פעולת הכוח החיצוני F.

- (1) האם המוט KL ינוע שמאלה, ימינה או יישאר במקומו? הסבר.
 (2) האם עוצמת הזרם I תגדל, תקטן או לא תשתנה? הסבר.

- ג. עתה מסייעים את המוט KL ימינה במהירות קבועה v. האם עוצמת הזרם דרך המוט תהיה גדולה או קטנה מזו שזרמה דרכו כאשר הוחזק במנוחה על-די הכוח F? הסבר.

5. א. (1) כיוון הזרם במוט הוא מ L ל K (על פי הדקי מקור המתח).
 עוצמתו:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

- (2) השדה המגנטי מפעיל על המוט KL כוח שמאלה (כלל יד שמאל), לכן כיוון הכוח החיצוני F הוא ימינה.
 גודלו:

$$F = BId$$

$$F = \frac{B \mathcal{E} d}{R}$$

- ב. (1) המוט KL ינוע שמאלה בכיוון הכוח המגנטי.
 (2) עוצמת הזרם תקטן, בגלל כא"מ מושרה מנוגד לכא"מ של המקור (כלל לנץ או כוח לורנץ).

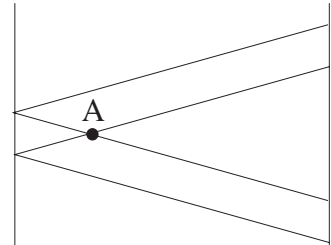
- ג. עוצמת הזרם עתה תהיה גדולה יותר, כי ייווצר כא"מ מושרה שמצטרף לכא"מ של המקור (כלל לנץ או כוח לורנץ).

ב. נציב בנוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$$

$$\frac{\Delta x}{200} = \frac{7 \cdot 10^{-5}}{0.2}$$

$$\Delta x = 0.07 \text{ cm}$$



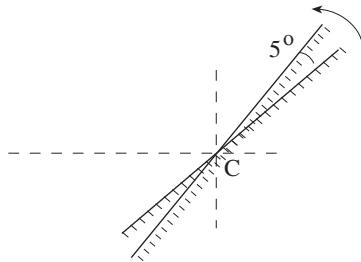
ג.

בין הנקודה A לבין הלוחית אין מפגש בין שתי האלומות, ולכן לא נוצרת התאבכות.

(1) העתק את תרשים ב' למחברת, וסמן את מקום הדמות הנוצרת כתוצאה מהחזרת האלומה של הפנס על-ידי המראה.

(2) מהו מרחק הדמות מן הנקודה C?

ג. המראה מסתובבת ב- 5° סביב נקודת החיתוך שלה עם הציר (ראה תרשים ג'), כך שבמצבה הסופי היא יוצרת עם הציר האופטי זווית בת 50° . מהו מקום הדמות במצב זה?



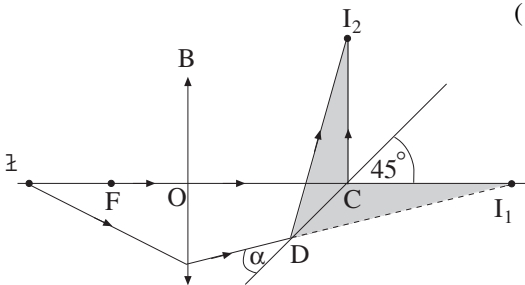
תרשים ג'

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{15} \Rightarrow \frac{1}{u} + \frac{1}{60} = \frac{1}{15}$$

א. 2.

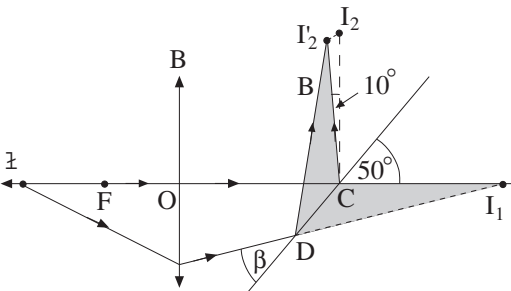
$$u = 20 \text{ cm}$$

ב. (1)



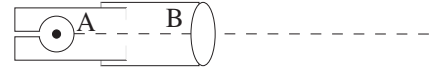
(2) 30 cm (משיקולי סימטריה).

ג.



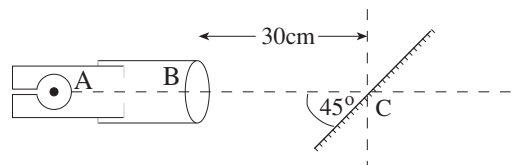
לפני סיבוב המראה, הדמות היתה בנקודה I_2 . לאחר שהמראה סובבה ב- 5° , הקרן המוחזרת מהנקודה C סטתה ב- 10° , והדמות החדה נוצרה בנקודה I_2 . מרחק הדמות החדשה מהנקודה C יהיה גם הוא 30cm.

2. פנס עשוי משני צינורות, שיכולים לנוע אחד בתוך השני (ראה תרשים א'). בצינור הפנימי נורה בעלת חוט להט A, שניתן להתייחס אליו כאל מקור נקודתי. בצינור החיצוני עדשה מרכזת B, שרוחק המוקד שלה הוא 15 cm. חוט הלהט נמצא על הציר האופטי של העדשה.



תרשים א'

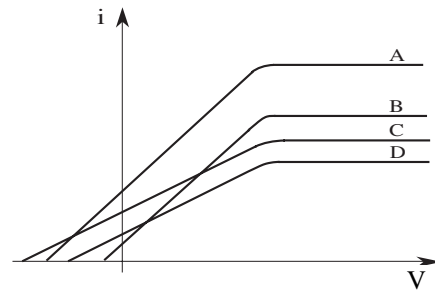
א. מה צריך להיות המרחק בין חוט הלהט A לבין העדשה B, כדי לקבל דמות ברורה וחדה של חוט הלהט על מסך הנמצא במרחק 60 cm מהעדשה B?
 ב. מכוונים את הפנס כך שהמרחק בין חוט הלהט לעדשה הוא המרחק שמצאת בסעיף א. מציבים מראה מישורית קטנה על הציר האופטי של העדשה במרחק 30 cm ממנה (נקודה C) ובזווית בת 45° עם הציר (ראה תרשים ב').



תרשים ב'

פרק ב. פיסיקה מודרנית

3. התרשים שלפניך מתאר תוצאות ניסויים, שבוצעו עם שופרת פוטואלקטרית מסוימת.



א. סרטט מעגל חשמלי, שבאמצעותו ניתן לקבל את התוצאות המתוארות בתרשים.

ב. איזה מבין העקומים מתאים לקרינה בעלת:

(1) אורך גל מקסימלי? **נמק.**

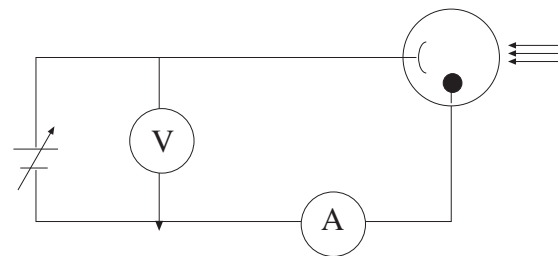
(2) תדירות מקסימלית? **נמק.**

ג. כאשר $V = 0$, הזרם אינו מתאפס. הסבר מדוע.

ד. בכל אחד מהעקומים, מעבר לערך מסוים של המתח, אין עלייה בזרם עם הגדלת המתח. הסבר מדוע.

ה. חוזרים על הניסוי שתוצאותיו מתוארות בעקום B, אך עם שופרת בעלת משטח פולט אחר. האם ייתכן שכלל לא יהיה זרם פוטואלקטרי במהלך הניסוי? אם כן - מה התנאי לכך? אם לא - האם יתקבל אותו עקום? **הסבר.**

3. א.



ב. (1) עקום B מתאים לקרינה בעלת אורך גל מקסימלי, כי מתח העצירה (בערכו המוחלט) הוא הקטן ביותר. זה מעיד על כך, שהפוטונים במקרה זה הם בעלי האנרגיה הקטנה ביותר, וכיוון ש:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

הדבר מעיד ש λ מקסימלי.

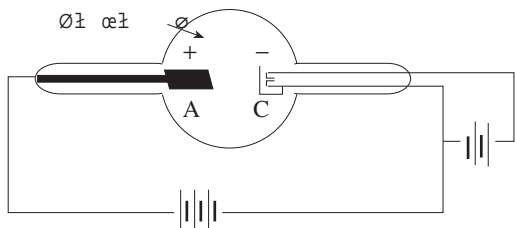
(2) עקום C מתאים לקרינה בעלת תדירות מקסימלית, כי מתח העצירה (בערכו המוחלט) הוא הגדול ביותר. זה מעיד על כך שהפוטונים במקרה זה הם בעלי האנרגיה הגדולה ביותר, ולכן הקרינה בעלת תדירות מקסימלית.

ג. אלקטרונים יוצאים מהפולט עם אנרגיה (ומהירות) גדולה מאפס, חלקם מגיע לקולט, ולכן יש זרם פוטואלקטרי.

ד. עליית הזרם (עם עליית המתח) מעידה שיותר אלקטרונים מגיעים (ביחידת זמן) לקולט. מעבר לערך מסוים של המתח, שווה מספר האלקטרונים המגיעים לקולט ביחידת זמן למספר האלקטרונים הנפלטים מהפולט (ביחידת זמן), וזה הזרם המקסימלי האפשרי.

ה. ייתכן שכלל לא יזרום זרם במעגל. התנאי לכך הוא, שאנרגיית הקשר תהיה גדולה מאנרגיה של פוטון בודד.

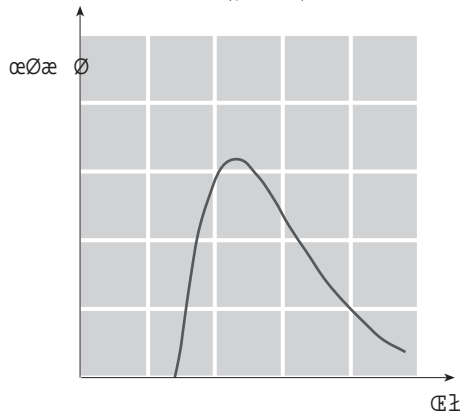
4. בתרשים א' מתוארת שופרת ליצירת קרני X.



תרשים א'

מאיצים אלקטרונים בשופרת, במתח של 40,000 V. העקום בתרשים ב' מתאר את העוצמה היחסית של הקרינה הנפלטת, כפונקציה של אורך הגל.

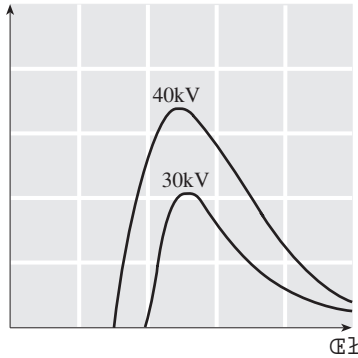
א. (1) מדוע יש צורך לרוקן את השופרת מאוויר?



תרשים ב'

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 40,000} = 0.31 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

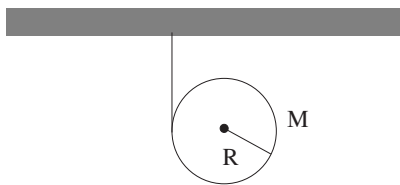
$$\lambda_{\min} = 0.31 \text{ \AA}$$



ד.

פרק ג' – מכניקה של גוף קשיח

5. סביב דיסקה עגולה, שמסתה M ורדיוסה R , כרוך חוט דק שמסתו זניחה, וקצהו האחד קשור לתקרה (ראה תרשים). ברגע מסוים משחררים את הדיסקה ממצב מנוחה (כשחלק החוט שאינו כרוך סביב הדיסקה מוחזק במצב אנכי).



- מהי תאוצת מרכז המסה של הדיסקה?
- מהי המתיחות בחוט?
- בטא את מהירות מרכז המסה, $v_{C.M.}$, כפונקציה של המרחק האנכי h שעברה הדיסקה.
- המרחק האנכי המרבי שעברה הדיסקה הוא H . בטא באמצעות H את הזמן הדרוש לדיסקה כדי לעבור מרחק זה.

(2) מאיזה חלק בשפופרת נפלטת הקרינה?

(3) מדוע יש צורך לקרר את המטרה (אנטיקתודה)?

ב. (1) מה הגורם להיווצרות קרינה בשפופרת זו? הסבר.

(2) מדוע הקרינה נפלטת ברצף של אורכי גל?

ג. (1) מדוע קיים אורך גל קצר ביותר בקרינה הנפלטת מהשפופרת?

(2) חשב את אורך הגל הקצר ביותר המתקבל.

ד. העתק למחברתך את תרשים ב', והוסף בו סרטוט מקורב של העקום שהיה מתקבל, אילו המתח בשפופרת היה $30,000 \text{ V}$, כך שיבלטו ההבדלים בין שני העקומים.

4. א. (1) כדי שהאלקטרונים יגיעו למטרה ללא התנגשויות.

(2) מהמטרה (A).

(3) למנוע היתוך המטרה.

האנרגיה של חלק מן האלקטרונים הפוגעים במטרה משמשת לחימום המטרה ולא ליצירת קרני X.

ב. (1) הגורם הוא הסחתם של האלקטרונים, שהוא בשפופרת, על-ידי גרעיני האטומים של המטרה.

הסחת האלקטרונים מהקו הישר גורמת להאצתם, ולפי התורה הא"מ הקלסית מטען מואץ מקרין אנרגיה א"מ. התהליך המתרחש בשפופרת הגורם ליצירת קרני X מכונה **קרינת בלימה**.

(2) כל אחד מהאלקטרונים המואצים עשוי לעבור התנגשויות אחדות של קרינת בלימה עם האטומים שבמטרה. לכל אורך גל הגדול מאורך הגל המינימלי עשויה להתאים התנגשות שתיצור פוטון באורך גל זה.

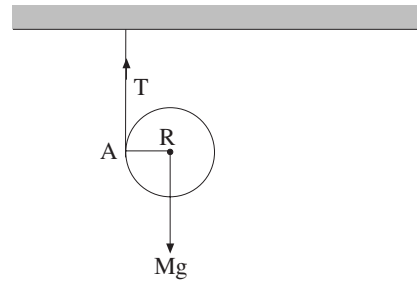
ג. (1) האלקטרונים מגיעים למטרה עם אותה אנרגיה (בקירוב). כאשר אלקטרון מאבד את כל האנרגיה בהתנגשות אחת, ייווצר פוטון באנרגיה זו (שהיא המירבית האפשרית). לפוטון זה יהיה אורך גל מינימלי.

(2) האלקטרון יוצא מהקתודה באנרגיה אפס (בקירוב). לכן:

$$eV = hf_{\max}$$

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

5. א.



תהי התאוצה הזוויתית של הדיסקה, ו- $\Sigma\tau_A$ סכום מומנטי הסיבוב יחסית לנקודה A. כלומר:

$$\Sigma\tau_A = I_A \cdot \alpha$$

לכן:

$$(1) \quad MgR = I_A \cdot \alpha$$

על פי משפט שטיינר, מומנט ההתמד I_A של הדיסקה ביחס ל A:

$$(2) \quad I_A = I_o + MR^2 = \frac{1}{2}MR^2 + MR^2 = \frac{3}{2}MR^2$$

נסמן ב- a את תאוצת מרכז המסה של הדיסקה.

$$(3) \quad \alpha = a/R$$

מ- (1) ו (2) ו (3):

$$a = \frac{2}{3}g$$

ב.

$$\Sigma F = Ma$$

$$(1) \quad Mg - T = Ma$$

$$(2) \quad a = \frac{2}{3}g$$

על פי סעיף א:

מ (1) ו (2):

$$T = \frac{1}{3}Mg$$

$$(1) \quad v_{C.M.} = \sqrt{2ah}$$

$$(2) \quad a = \frac{2}{3}g$$

מ (1) ו (2):

$$v_{C.M.} = 2\sqrt{\frac{gh}{3}}$$

ד.

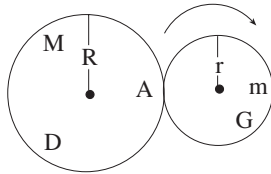
$$(1) \quad H = \frac{1}{2}at^2$$

$$(2) \quad a = \frac{2}{3}g$$

מ (1) ו (2):

$$t = \sqrt{\frac{3H}{g}}$$

6. דיסקה קטנה G, שמסתה m ורדיוסה r, משיקה בנקודה A לדיסקה גדולה יותר D, שמסתה M ורדיוסה R (ראה תרשים). שתי הדיסקות נמצאות במישור אופקי, וכשהן סובבות - אין החלקה בנקודה A.



מפעילים מנוע חשמלי המסובב את הדיסקה הקטנה G במגמת השעון, בתאוצה זוויתית קבועה α . המנוע פועל t שניות.

בטא באמצעות α , r, R, t, M, m את הגדלים הבאים:

א. מהירות זוויתית ω של הדיסקה D.

ב. תאוצה קווית של נקודה הנמצאת על היקף הדיסקה D.

ג. מומנט סיבוב הפועל על הדיסקה D, יחסית לציר של דיסקה זו.

ד. מומנט סיבוב שמפעיל המנוע על הדיסקה G.

6. א. אין החלקה, לכן:

$$v_G = v_D$$

$$(1) \quad v_G = \omega_G r$$

$$(2) \quad \omega_G = \alpha t$$

פרק ד' - זרם חילופין

7. סליל (שהתנגדותו האומית אינה זניחה) וקבל מחוברים בטור למקור מתח חילופין שתדירותו 50 Hz. המתח על הדקי המקור הוא 10 V, המתח על הקבל הוא 10 V, וגם המתח על הסליל הוא 10 V. מד-זרם מראה כי הזרם במעגל הוא 0.2 A.

א. חשב את קיבול הקבל.
ב. חשב את:

(1) השראות הסליל.

(2) התנגדות הסליל.

ג. מצא את הפרש המופע בין הזרם למתח המקור.

ד. סרטט דיאגרמה וקטורית של המעגל, והסבר בעזרתה את תשובותיך לסעיפים ב. ו ג.
הערה: ניתן למצוא את התשובות ל-ב. ול-ג. מן הסרטוט, ומותר לך להסתפק בזה.

7. א. לגבי הקבל:

$$V_C = IX_C = \frac{I}{\omega C} = \frac{I}{2\pi f C}$$

$$C = \frac{I}{V 2\pi f} = \frac{0.2}{10 \cdot 2\pi \cdot 50}$$

$$C = 63.7 \mu\text{F}$$

ב. סעיפים (1) ו (2):

$$(1) \quad Z = \frac{10}{0.2} = 50 \Omega = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$(2) \quad Z_{\phi} = \frac{10}{0.2} = 50 \Omega = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

מ (1) ו (2):

$$R = 43.3 \Omega = 25\sqrt{3}\Omega$$

$$L = 79.6 \text{ mH}$$

$$(3) \quad v_G = \alpha r t$$

$$(4) \quad v_D = \omega_D R$$

מ (3) ו (4):

$$\omega_D = \frac{\alpha r t}{R}$$

ב. אין החלקה. לכן:

$$(1) \quad a_D = a_G$$

$$(2) \quad a_G = \alpha r$$

מ (1) ו (2):

$$a_D = \alpha r$$

ג.

$$(1) \quad \tau_D = I_D \cdot \alpha_D$$

על פי סעיף ב:

$$(2) \quad \alpha_D = \frac{\alpha r}{R}$$

$$(3) \quad I_D = \frac{1}{2} M R^2$$

מ (1) (2) ו (3):

$$\tau_D = \frac{1}{2} M r R \alpha$$

ד.

$$(1) \quad \tau = \tau_D + \tau_G$$

$$(2) \quad \tau_D = \frac{1}{2} M r R \alpha$$

$$(3) \quad \tau_G = I_D \cdot \alpha = \frac{1}{2} m r^2 \alpha$$

מ (1) (2) ו (3):

$$\tau = \frac{1}{2} r \alpha (M R + m r)$$

$$X_L = 3R = 3 \cdot 5 = 15 \Omega$$

$$X_L = 15 \Omega$$

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I = 2A$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + 15^2} = 15.8 \Omega$$

$$V_{\text{eff}} = Z_{\text{eff}} \cdot I = 15.8 \cdot 2$$

$$V_{\text{eff}} = 31.6 V$$

ג. (1) הזרם בקבל:

$$I_E = V \omega C$$

ביחס למצב הקודם:

ω קטן פי 3, V קטן פי 3, ולכן I קטן פי 9, כלומר:

$$I_E = \frac{2}{9} A$$

$$I_E = 0.22A$$

(2) נמצא את Z_{eff} החדש:

$X_L = L\omega$, ω קטן פי 3, ולכן X_L קטן פי 3, ולכן:

$$X_L = 5 \Omega$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt{X_L^2 + R^2} = \sqrt{5^2 + 5^2}$$

$$Z_{\text{eff}} = 5\sqrt{2} \Omega$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{V}{Z_{\text{eff}}} = \frac{10}{5\sqrt{2}}$$

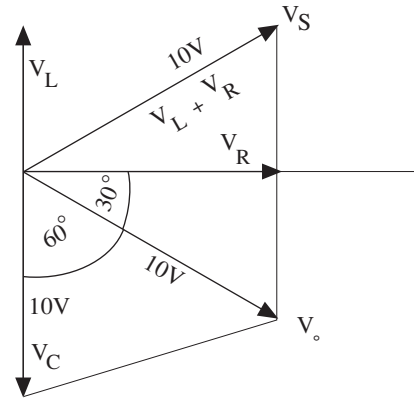
$$I_{\text{eff}} = 1.41 A$$

ג.

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{25 - 50}{25\sqrt{3}} = -\frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\varphi = -30^\circ$$

ב.



ד.

- מן התרשים: $\varphi = -30^\circ$
- מן התרשים: $V_L = 10 \sin 30^\circ = 5$
- לכן: $X_L = V_L / 0.2 = 5 / 0.2 = 25 \Omega$
- מן התרשים: $V_R = 10 \cos 30^\circ = 8.66V$
- לכן: $R = 8.66 / 0.2 = 43.3 \Omega$

8. מחברים בטור סליל, שהתנגדותו האומית 5Ω , לקבל ולמקור חילופין, שתדירותו ניתנת לשינוי, והמתח שלו הוא $10V$ ובלתי תלוי בתדירות. במצב תהודה, התדירות שווה ל- 150 Hz , והמתח על הקבל $30V$.
- א. מהי עכבת הסליל כאשר תדירות המקור 150 Hz ?
- ב. מהו הזרם במעגל, ומהו המתח על הסליל, כאשר תדירות המקור היא 150 Hz ?
- ג. מחברים את הסליל ואת הקבל במקביל למקור, ומשנים את תדירות המקור ל- 50 Hz .
- (1) מהו הזרם בקבל?
- (2) מהו הזרם בסליל?

8. א. בתדירות 150 Hz המעגל החשמלי במצב תהודה, ולכן מתקיים:

- (1) $V_R = V = 10V$
- (2) $V_L = V_C = 30V$

מ (1) ו (2):

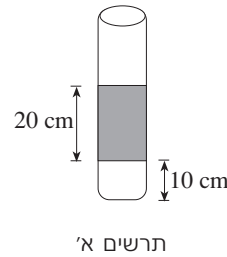
$$V_L = 3V_R$$

9. א. לרשותך קערה קטנה, כספית וצינור זכוכית צר, הסגור בקצהו האחד.

(1) הסבר כיצד ניתן באמצעות הכלים שברשותך למדוד את הלחץ האטמוספרי. צייר סרטוט מתאים.

(2) במה תלוי האורך המינימלי של צינור זכוכית, שיאפשר את מדידת הלחץ האטמוספרי באמצעות נוזל כלשהו? הסבר.

(3) אילו תוצאות היו מתקבלות, אם היתה נערכת מדידה דומה על הירח? נמק.

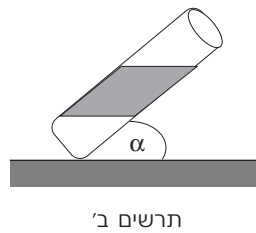


ב. אורך עמוד הכספית במבחנה צרה, המתוארת בתרשים א', הוא 20 cm. אורך עמוד האוויר, הכלוא מתחת לעמוד הכספית, הוא 10 cm. שטח החתך של המבחנה הוא 0.8 cm^2 .

הקצה העליון של המבחנה פתוח.

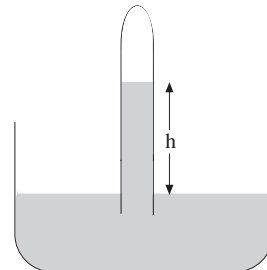
(1) מצא את לחץ האוויר הכלוא. הנח שהלחץ האטמוספרי הוא 1 at.

(2) מטים את המבחנה בזווית α עם האופק (ראה תרשים ב'). הבע את נפח האוויר הכלוא במבחנה באמצעות הזווית α .



9. א. (1) יוצקים כספית לקערה (בלי למלא אותה).

ממלאים את הצינור בכספית, חוסמים את קצהו הפתוח (כך שתכולת הצינור תהיה רק כספית, ללא אוויר), הופכים את הצינור, טובלים את פתחו בכספית, ומשחררים את פתח הצינור. הכספית בצינור יורדת עד שרמתה מגיעה לגובה h מעל פני הכספית בקערה. הגובה h משמש מדד ללחץ האטמוספרי.



$$(2) \text{ גובה הנוזל בצינור: } h = \frac{p_a}{\rho g}$$

כלומר תלוי:

(א) בלחץ האטמוספרי (p_a)

(ב) בצפיפות הנוזל (ρ)

(ג) בתאוצת הנפילה החופשית (g)

(3) על הירח $h=0$, כי אין אטמוספירה.

ב. (1) p_1 - לחץ האוויר הכלוא

$$p_a = 76 \text{ cm Hg} \text{ - לחץ אטמוספרי}$$

$$p_1 = 76 + 20 = 96 \text{ cm Hg}$$

$$p_1 = 96 \text{ cm Hg}$$

גובה הכספית (בס"מ)

(2)

במצב הנטוי:

$$h = 20 \sin \alpha$$

לכן לחץ האוויר הכלוא:

$$p_2 = (76 + 20 \sin \alpha) \text{ cm Hg}$$

על-פי חוק בویل:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$96 \cdot 10 \cdot 0.8 = (76 + 20 \sin \alpha) \cdot V_2$$

לכן הנפח:

$$V_2 = \frac{768}{76 + 20 \sin \alpha} \text{ cm}^3$$

10. מכל מתכת גלילי B סגור באמצעות בוכנה ניידת G,

שמסתה זניחה. הבוכנה נעה ללא חיכוך. שטח החתך של המכל הוא A, מסתו M וגובהו h_1 . בשלב ההתחלה נמצאת הבוכנה G בגובה h_1 . הלחץ האטמוספרי הוא p_a .

על הבוכנה שמים גוף שמסתו m. כתוצאה מכך יורדת הבוכנה לגובה h_2 (ראה ציור).

א. באמצעות הגדלים הנתונים בשאלה הבע את:

(1) לחץ האוויר הכלוא במכל, כאשר הבוכנה

נמצאת בגובה h_2 .

(2) הגובה h_2 .

$$h_2 = \frac{p_a h_1}{p_a + \frac{mg}{A}}$$

ב. הלחץ בחוץ קבוע, ולכן:

$$(1) \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

(1) הבוכנה תישאר במקומה (עפ"י נוסחה (1))

(2) על פי נוסחה (1):

$$V_2 > V_1 \text{ והבוכנה תעלה.}$$

(3) על פי נוסחה (1):

$$V_2 < V_1 \text{ והבוכנה תרד.}$$

ג. על-פי חוק ארכימדס:

$$(1) \quad \rho V g = (M + m')g$$

$$(2) \quad V = Ah_1$$

מ (1) ו (2):

$$(3) \quad m' = \rho Ah_1 - M$$

כאשר M מבוטא בגרם, A בס"מ², h₁ בס"מ, יהיה

m' מבוטא בגרם נתון על-ידי:

(4)

$$m' = Ah_1 - M$$

פרק ו' – תרמודינמיקה

11. לכמות מסוימת של גז אידיאלי דו-אטומי נפח של 4

ליטר בלחץ של 1 אטמוספירה ובטמפרטורה של 300 K.

מבצעים בגז את התהליכים הבאים, לפי הסדר מ 1 עד

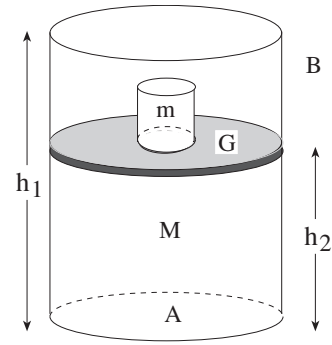
3:

1. דוחסים את הגז דחיסה אדיאבטית עד שנפחו מגיע

ל 1 ליטר, ולחצו מגיע ל p₁.

2. מקררים את הגז, בנפח קבוע, עד שהטמפרטורה שלו

מגיעה ל 300 K והלחץ הוא p₂.



טמפרטורת האוויר הכלוא במכל היא T₁. מעבירים

את המכל לאמבט מים, שהטמפרטורה שלו היא T₂.

המכל צף כאשר חלקו התחתון שקוע בתוך המים.

ב. מה קורה לבוכנה (עולה, יורדת או נשארת במקומה)

בשלושת המקרים הבאים:

$$(1) \quad T_2 = T_1 \text{ ? נמק.}$$

$$(2) \quad T_2 > T_1 \text{ ? נמק.}$$

$$(3) \quad T_2 < T_1 \text{ ? נמק.}$$

ג. מהי המסה המינימלית, שיש להניח על הבוכנה

(במקום הגוף שמסתו m), כדי שכל המכל (עד לגובה

h₁) יהיה מתחת לפני המים? (הבע את המסה

המינימלית באמצעות גדלים הנתונים בשאלה.)

10. א. (1) לחץ האוויר במיכל:

$$p_2 = p_a + \frac{mg}{A}$$

(2) חוק בویل:

$$(1) \quad p_1 V_1 + p_2 V_2$$

$$(2) \quad p_1 = p_a$$

$$(3) \quad p_2 = p_a + \frac{mg}{A}$$

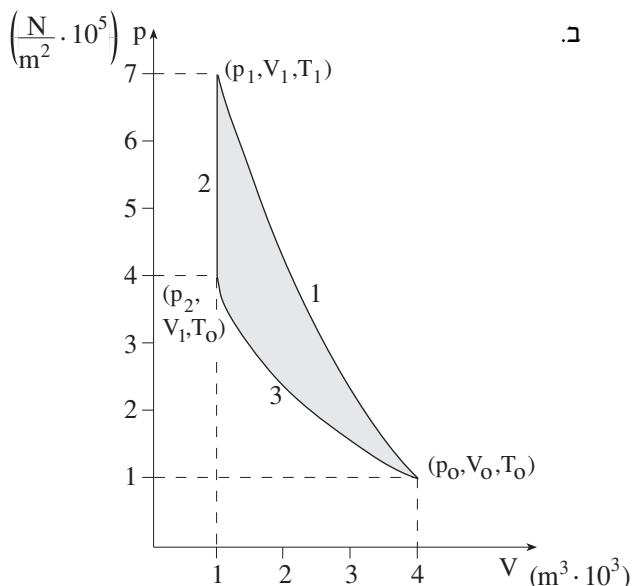
מציבים ב (1) את (2) ו (3), וכן:

$$V_1 = h_1 A$$

$$V_2 = h_2 A$$

ומקבלים:

$$p_a h_1 A = (p_a + \frac{mg}{A}) h_2 A$$



ג. (1) השטח הכלוא על-יד העקומים.
 (2) בתהליך אדיאבטי:

$$\Delta U = \Delta Q - W_1$$

$$\Delta Q = 0$$

לכן:

$$W_1 = -\Delta U = -n c_v \Delta T = -n \frac{5}{2} R (522 - 300)$$

לפי משוואת המצב:

$$nR = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{4}{3}$$

לכן:

$$W_1 = -\frac{5}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot 222$$

$$W_1 = -740 \text{ J}$$

$$W_2 = 0 \quad \text{בתהליך איזוכורי:}$$

בתהליך איזותרמי:

$$W_3 = \int_{V_1}^{V_0} p dV = \int_{V_1}^{V_0} \frac{nRT_0}{V} dV =$$

3. נותנים לגו להתפשט התפשטות איזותרמית ולחזור לנפחו ההתחלתי.

א. מצא את p_1 ואת p_2 .

ב. תאר את התהליכים 1-3 בדיאגרמת p, V .

ג. (1) מה בדיאגרמת p, V מייצג את העבודה הכוללת שבוצעה על-ידי הגז בתהליך הכולל?
 (2) מצא את העבודה הכוללת שבוצעה על הגז (או שבוצעה על-ידי הגז) כתוצאה מביצוע התהליך הכולל.

11. א. התהליך 1 הוא תהליך אדיאבטי המקיים את משוואת פואסון:

$$p_0 V_0^\gamma = p_1 V_1^\gamma$$

$$10^5 \cdot 4^{7/5} = p_1 \cdot 1^{7/5}$$

$$p_1 \cong 7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \cong 7 \text{ at}$$

מציאת T_1 :

$$T_1 = T_0 \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 300 \cdot \left(\frac{4}{1} \right)^{2/5}$$

$$T_1 = 522 \text{ K}$$

$$(1) \quad p_1 V_1 = nRT_1$$

$$(2) \quad p_2 V_2 = nRT_0$$

מ (1) ו (2):

$$p_2 = \frac{p_1 T_0}{T_1} = \frac{7 \cdot 10^5 \cdot 300}{522}$$

$$p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 4 \text{ at}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

מ (1) ו- (2):

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

מקדם הפעולה תלוי בטמפרטורת הקליטה T_1 ובטמפרטורת הפליטה T_2 .

ג. (1)

$$\frac{Q_1}{W} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

$$T_1 = 273 - 18 = 255 \text{ K}$$

$$T_2 = 273 - 30 = 303 \text{ K}$$

$$\frac{Q_1}{W} = \frac{255}{303 - 255} = 5.3$$

$$\text{מקדם הפעולה} = 5.3$$

(2)

$$(1) \quad Q_1 = 0.5 \times 340 = 170 \text{ kJ}$$

$$(2) \quad \frac{Q_1}{W} = 5.3$$

מ (1) ו- (2)

$$W = 32 \text{ kJ}$$

(3) כמות האנרגיה גבוהה יותר, כי במציאות התהליכים אינם הפיכים כמו במכונת קרנו.

פרק ז': תורת היחסות הפרטית

13. א. מה הן שתי ההנחות הפיסיקליות, שעליהן מבוססת תורת היחסות הפרטית? נסח והסבר הנחות אלה.

ב. חלקיק α נמצא במנוחה במעבדה A, הנעה במהירות $v = 0.9c$ ביחס למעבדה אחרת B. ברגע מסוים מתפרק החלקיק α לשני חלקיקים שווי מסה π^+ ו- π^- , וכל אחד משני חלקיקים אלה נע

$$= nRT_0 \ln \frac{V_0}{V_1} = \frac{4}{3} 300 \ln \frac{4}{1}$$

$$W_3 = 554 \text{ J}$$

לכן:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = -740 + 0 + 554$$

$$W = -186 \text{ J}$$

12. א. הסבר את פעולתו של מקרר אידיאלי ("מקרר קרנו").

ב. במה תלוי "מקדם הפעולה" של המקרר (היחס בין כמות החום הנקלטת מן המכל הקר לבין העבודה שהושקעה)? נמק.

ג. (1) תא הקפאה במקרר ביתי פועל בין טמפרטורה נמוכה של -18°C לטמפרטורה גבוהה של 30°C . מהו מקדם הפעולה המרבי של תא ההקפאה?

(2) בהנחה שהמקרר פועל עם מקדם הפעולה שמצאת ב (1), מהי האנרגיה החשמלית הדרושה כדי להקפא 500 גרם מים המצויים ב 0°C : (הנח שחום ההקפאה של מים הוא 340 קילוג'ול לקילוגרם).

(3) האם כמות האנרגיה החשמלית הדרושה במציאות לביצוע ההקפאה גבוהה או נמוכה מזו שחישבת ב (2)? הסבר.

12. א. מקרר קרנו הוא מכונת חום אידיאלית שהופעלה

במגמה הפוכה. מכונת הקירור קולטת כמות חום Q_1 בטמפרטורה נמוכה T_1 , מושקעת בה עבודה

מכנית W והיא פולטת כמות חום Q_2 בטמפרטורה גבוהה יותר T_2 , כך ש: $Q_2 = Q_1 + W$

ב. מקדם פעולה במקרר מוגדר כ $\frac{Q_1}{W}$,

$$(1) \quad \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1}$$

במקרה זה המהירות ביחס למעבדה B:

$$v_B^{(\max)} = \frac{v' + v}{1 + \frac{v'v}{c^2}} = \frac{0.85c + 0.9c}{1 + \frac{0.85c + 0.9c}{c^2}}$$

$$v_B^{(\max)} = 0.9915c$$

המהירות המזערית

המהירות המזערית תהיה כאשר החלקיק π^+ (או החלקיק π^-) ינוע בכיוון נגדי לכיוון תנועתה של מערכת A ביחס למערכת B כלומר: $v'_x = -0.85c$, במקרה זה,

$$v_B^{(\min)} = \frac{-0.85c + 0.9c}{1 - \frac{0.85 \cdot c \cdot 0.9}{c^2}}$$

$$v_B^{(\min)} = 0.21c$$

14. אלקטרון נע במהירות $0.5c$ לקראת פוזיטרון (אנטי אלקטרון) הנע גם הוא במהירות $0.5c$. האלקטרון והפוזיטרון "מתחסלים".

- א. הסבר מדוע חייבים להופיע לפחות שני פוטונים כתוצאה מהיעלמות החלקיקים. ציין את כל חוקי השימור המתקיימים בתהליך זה.
- ב. בהנחה שנוצרו רק שני פוטונים בתהליך זה, מהי האנרגיה של כל פוטון, ומהו אורך הגל שלו?

14. א. חוקי השימור המתקיימים בתהליך:

1. שימור תנע קווי
2. שימור האנרגיה הכוללת
3. שימור המטען הכולל

חייבים להופיע לפחות שני פוטונים, כי אילו היה נוצר פוטון בודד, התנע שלו היה שונה מאפס, בעוד שהתנע הכולל לפני התהליך היה אפס.

במהירות $v' = 0.85c$ ביחס למעבדה A. מה הן המהירויות, המרבית והמזערית, שיכולות להיות לחלקיקים π^+ ו π^- ביחס למעבדה B? נמק את תשובתך.

13. א. ההנחות:

1. חוקי הפיסיקה זהים בכל המערכות האינרציאליות.
2. מהירות האור קבועה בכל המערכות האינרציאליות.

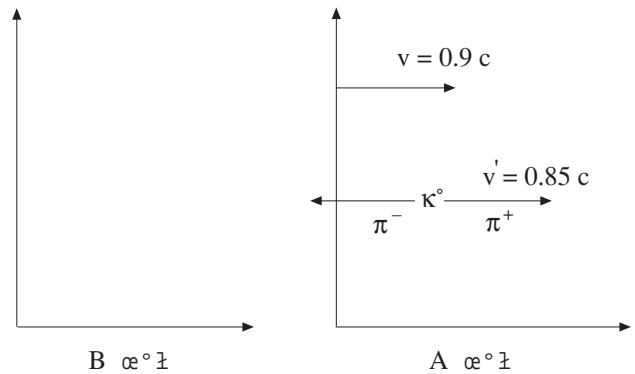
הסבר:

1. ההנחה הראשונה קובעת, שחוקי הפיסיקה, הקושרים בין גדלים פיסיקליים הנמדדים במערכת אינרציאלית אחת, יקיימו את אותם הקשרים גם בין אותם הגדלים הנמדדים במערכת אינרציאלית אחרת. (הגדלים הפיסיקליים יכולים לקבל ערכים שונים במערכות שונות, אך הקשרים בין הגדלים הנמדדים באותה מערכת הם אותם קשרים).
2. ההנחה השנייה אינה מתקיימת במסגרת המכניקה הניוטונית. אם מהירות האור במערכת אחת היא c , אזי מהירותו ביחס למערכת אחרת הנעה ביחס לראשונה תהיה שונה מ c (על פי טרנספורמציות גלילאו).

ב. המהירות המרבית

המהירות תהיה מרבית כאשר החלקיק π^+ (או החלקיק π^-) ינוע בכיוון תנועתה של מערכת A ביחס למערכת B, כלומר:

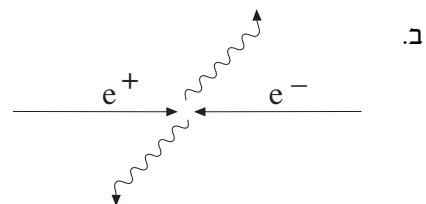
$$v'_x = v' = 0.85c$$



$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9.5 \cdot 10^{-14}}$$

$$\lambda = 0.021 \text{ \AA}$$

פרק ח': איבחון רפואי



ב. שני הפוטונים צריכים לנוע בכיוונים מנוגדים (ראה תרשים), ולהיות שווי אנרגיה כי התנע לפני התהליך היה אפס, לכן התנע הכולל של הפוטונים צריך להיות אפס, ולכן הם חייבים לנוע בכיוונים מנוגדים.
יתר על כן:

$$E_1 = P_1 C$$

$$E_2 = P_2 C$$

$$P_1 = P_2 \quad \text{אך}$$

$$E_1 = E_2 \quad \text{לכן:}$$

האנרגיה לפני התהליך:

$$(1) \quad E = E_e + E_p = 2 \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

האנרגיה לאחר התהליך:

$$(2) \quad E = 2E_{\text{photon}}$$

על פי חוק שימור האנרגיה:

$$2E_{\text{photon}} = 2 \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

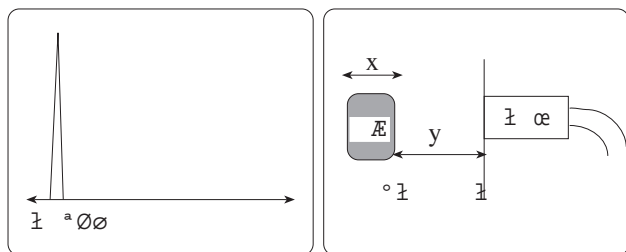
$$E_{\text{photon}} = \frac{0.911 \cdot 10^{-31} (3 \cdot 10^8)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.5c}{c}\right)^2}}$$

$$E_{\text{photon}} = 9.5 \times 10^{-14} \text{ J}$$

אורך הגל של פוטון:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

15. אות על-קולי שעוצמתו I ותדירותו 1 MHz (ראה תרשים 1) משודר לתווך של רקמה רכה, המתואר בתרשים 2. ההד הראשון נקלט כעבור 60 מיקרושניות מרגע שידור האות, וההד השני נקלט כעבור 80 מיקרושניות מרגע שידור האות.
הנח כי התכונות האקוסטיות של אבן זהות לאלה של עצם.



תרשים 1

תרשים 2

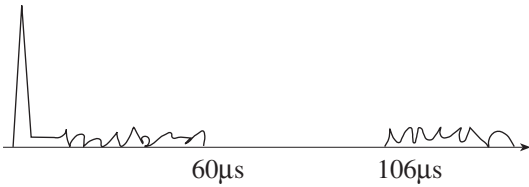
- חשב את עובי האבן (x) ואת מרחקה מן המתמר (y).
- חשב את עוצמתו של ההד הראשון.
- העתק את תרשים 1 למחברתך, והשלם בו את תמונת ההד.
- כיצד תשתנה תמונת ההד, אם במקום האבן יש "כיס" של מים? סרטט והסבר.

15. א. חישוב העובי x על-פי זמני קליטת ההד:

$$x = \frac{vt}{2}$$

t = 20 μs הוא הזמן הלוך וחזור למרחק x.
v = 3500 m/s היא מהירות הקול באבן (כמו בעצם).

$$x = 3.5 \text{ cm}$$



ד.

חישוב העובי y על-פי זמני קליטת ההד:

$$y = \frac{vt}{2}$$

$t = 60 \mu s$ הוא הזמן הלוך וחזור מהמתמר

לקצה האבן.

$v = 1500 \text{ m/s}$ מהירות הקול ברקמה רכה

$$y = 4.5 \text{ cm}$$

ב. עוצמת ההד הראשון שהגיע מקצה האבן כעבור

$t = 60 \mu s$ ממרחק $y = 4.5 \text{ cm}$ לפי:

$$I_1 = IR e^{-2\alpha y}$$

מקדם החזרה:

$$R = \left\{ \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right\}^2 = 0.36$$

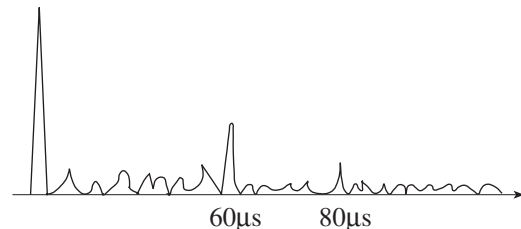
$\alpha = 0.1 \text{ cm}^{-1}$ הוא מקדם הנחתה לרקמה רכה.

עכבה אופיינית לאבן (עצם): $Z_1 = 6$

עכבה אופיינית לרקמה רכה: $Z_2 = 1.5$

$$I_1 = 0.146I$$

ג.



ההבדלים:

◆ עוצמת ההדים מקצות ה"כיס" אפסית, כיוון

שהעכבות האופייניות דומות ($R=0$).

◆ הזמן בין מעבר האות ב"כיס" הלוך וחזור

גדול יותר (כ 46 מיקרושניות), כיוון שמהירות

הקול במים קטנה מזו באבן.

◆ אין החזרות כלל מתוך ה"כיס" - באזור זה

תמונת ההד "חלקה".

16. בבדיקת איבר מסוים מחדירים לגוף עוקב המסומן

ב ^{99}Tc , שפעילותו הכוללת בזמן ההחדרה היא A_0 .

מניסיון ידוע, שכעבור שעה מרגע ההחדרה, 50% מן

העוקב המוחדר מרוכזים באיבר הנבדק.

א. חשב את פעילות העוקב באיבר הנבדק כעבור שעה

מרגע ההחדרה.

ב. משך מחצית החיים הביולוגי של העוקב בגוף הוא 8

שעות. חשב את משך מחצית החיים השקול.

ג. חשב את הפעילות של העוקב כעבור 24 שעות מרגע

ההחדרה.

ד. איזה מבין שני סוגי הקרינה הבאים חודר טוב יותר

דרך רקמה רכה:

קרינת X המופקת משפופרת רנטגן שמופעלת במתח

של 150kV, או קרינת γ הנפלטת מ ^{57}Co ? נמק.

16. א. פעילות העוקב באיבר בזמן הבדיקה

(1 שעה t), כאשר באיבר התרכזו 50%

מכמות העוקב:

$$A_1 = A_0 0.5 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = \alpha \quad \alpha \approx 6$$

$$A_1 = 0.445 A_0$$

תמונת ההד צריכה לכלול:

◆ שני הדים מסומנים על ציר הזמן במיקום

נכון (אחד ב $60 \mu s$ ושני ב $80 \mu s$) לפי קנה

מידה כלשהו.

◆ עוצמת ההדים קטנה. ההד הראשון רק כ-

15% מעוצמת אות השידור, וההד השני קטן

מאוד.

◆ בין ההדים יש הדים קטנים (רעש) מהחזרות

בתוך הרקמה הרכה.

ב. זמן מחצית חיים שקול:

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

$$T_p = 6 \text{ שעות (זמן מחצית חיים פיסיקלי)}$$

$$T_b = 8 \text{ שעות (זמן מחצית חיים ביולוגי)}$$

$$T_e = 3.4 \text{ שעות (זמן מחצית חיים שקול)}$$

ג. פעילות העוקב לאחר 24 שעות:

$$A_{24} = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\lambda_e = \frac{\ln 2}{T_e}, \quad t = \alpha \quad \varnothing \quad 24$$

$$A_1 = 0.0075 A_0$$

ד. ^{57}Co פולט קרינת γ באנרגיה של 136 kV (לפי הטבלה). האנרגיה של קרינה זו נמוכה מ 150 kV, ולכן כושר החדירה שלה נמוך יותר.

פרק ט': אסטרופיסיקה

17. א. כוכב A נראה בצבע כחול לבן, וכוכב B נראה בצבע

אדום. הנח כי שטחי הפנים של שני הכוכבים שווים, וכי מבחינת קרינה הם נוהגים כגופים שחורים.

(1) פניו של איזה משני הכוכבים הם בעלי

טמפרטורה גבוהה יותר? **נמק.**

(2) הבהירות (הספק הקרינה הכולל) של איזה משני

הכוכבים גדולה יותר? **נמק.**

ב. ענק אדום פולט את מקסימום צפיפות הספק

הקרינה שלו באורך גל $\lambda_{\max} = 7000 \text{ \AA}$.

השמש פולטת את מקסימום צפיפות הספק הקרינה

שלה באורך גל $\lambda_{\max} = 5000 \text{ \AA}$.

(1) חשב את הטמפרטורה של פני השמש.

(2) חשב את הבהירות (הספק הקרינה הכולל) של

השמש.

(3) ידוע כי בהירותו של ענק אדום גדולה פי 10^5

מבהירות השמש. חשב את רדיוסו של הענק

האדום.

17. א. (1) הטמפרטורה של כוכב A גבוהה יותר.

הסבר: לפי חוק ההעתק של ויין בקרינה הנפלטת מגוף שחור, אורך הגל λ_{\max} שבו עוצמת הקרינה היא מקסימלית, נמצא ביחס הפוך לטמפרטורה (המוחלטת) של הגוף השחור המקרין. עוצמת הקרינה המקסימלית בכוכב A היא בתחום הכחול ובכוכב B בתחום האדום. לאור כחול אורך גל קצר יותר (מאשר לאור אדום), ולכן הטמפרטורה של כוכב A גבוהה יותר.

(2) **הספק הקרינה הכולל (luminosity) של כוכב**

A גבוה יותר.

הסבר: לפי חוק סטיפן-בולצמן, הספק הקרינה הנפלטת מיחידת שטח של גוף שחור נמצא ביחס ישר ל T^4 .

הטמפרטורה של כוכב A גבוהה יותר, ולכן מכל יחידת שטח של כוכב A הספק הקרינה הנפלטת גבוה יותר. לשני הכוכבים אותו שטח פנים, ולכן הספק הקרינה הכולל מכוכב A גבוה יותר.

ב. (1) לפי חוק ויין:

$$\lambda_{\max} T = \alpha$$

$$\alpha = 2.9 \cdot 10^7 \text{ \AA} \cdot \text{K}$$

$$5000T = 2.9 \cdot 10^7$$

$$T = 5800 \text{ K}$$

(2)

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 4\pi (7 \cdot 10^8)^2 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4$$

$$L = 3.9 \times 10^{26} \text{ W}$$

(3) יחסי הבהירות של שני כוכבים:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4$$

לפי חוק ההעתק של ויין:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\lambda_{2 \max}}{\lambda_{1 \max}}$$

לכן:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\lambda_{2 \max}}{\lambda_{1 \max}}\right)^4$$

ולכן:

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \left(\frac{\lambda_{1 \max}}{\lambda_{2 \max}}\right)^2$$

נסמן: R_1 - רדיוס הענק האדום.
 R_2 - רדיוס השמש.

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{10^5} \left(\frac{7000}{5000}\right)^2 = 620$$

לכן:

$$R_1 = 620R_2 = 620 \cdot 7 \cdot 10^8$$

$$R_1 \approx 4.3 \times 10^{11} \text{ m}$$

2. קיום קרינת רקע קוסמית המתאימה לטמפרטורה של 2.7K המגיעה מכל הכיוונים בעוצמה שווה (פנזיאס ווילסון, 1965).

ב. ניתן להעריך את הזמן T שעבר מאז המפץ הגדול באמצעות חוק הבל (Hubble):

$$v = H_0 r$$

$$T = \frac{r}{v} = \frac{r}{H_0 r} = \frac{1}{H_0}$$

(חישוב זה הוא הערכה של חסם עליון של הזמן, מאחר שהוא מתבסס על ההנחה שמהירות ההתפשטות של היקום קבועה, אך למעשה היא הולכת וקטנה כפונקציה של הזמן.)

ג. על החומר המתפשט ביקום פועל כוח משיכה גרוויטציוני על-ידי החומר הנמצא בתוך כדור דמיוני שמרכזו בנקודה שנבחרה כמרכז היקום, ורדיוסו כמרחק בין המרכז הדמיוני לבין החומר שעליו פועל הכוח. הכוח מנוגד לכיוון המהירות ולכן החומר מאט. קצב ההאטה של המהירות תלוי בצפיפות החומר ביקום. עבור צפיפות הנמוכה מהצפיפות הקריטית ρ_c הכוח לא יהיה גדול דיו כדי לגרום לעצירת ההתפשטות (או לקריסה), ולכן ההתפשטות תמשיך לנצח.

ד. נסתכל על חלקיק שמסתו m הנמצא בשפת הכדור הדמיוני שהוזכר בסעיף ג. מסת החומר בכדור תסומן ב M, ורדיוס הכדור ב r. נחשב את האנרגיה המכנית הכוללת של החלקיק. האנרגיה הקינטית:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m H_0^2 r^2$$

האנרגיה הפוטנציאלית (בהנחה שצפיפות הכדור אחידה):

$$U = -\frac{GMm}{r} = -\frac{G4\pi r^3 m}{3r} = -\frac{4\pi}{3} G \rho m r^2$$

18. א. מהי תיאוריית "המפץ הגדול"? ציין שתי עובדות תצפיתיות, התומכות בתיאוריית המפץ הגדול.
 ב. כיצד ניתן להעריך את הזמן T, שעבר מאז המפץ הגדול? הסבר.
 ג. מקובל לטעון, שיקום, שצפיפותו הממוצעת קטנה מצפיפות מסוימת הנקראת "הצפיפות הקריטית ρ_c ", יתפשט לעד. הסבר טענה זו.
 ד. פתח נוסחה, המאפשרת להעריך את הצפיפות הקריטית ρ_c של היקום. (התבסס על שימור האנרגיה המכנית ועל קבוע הבל H).

18. א. תיאוריית המפץ הגדול קובעת את המצב ההתחלתי של החומר ביקום. כל החומר ביקום היה מרוכז בצפיפות אינסופית בנקודה אחת, שממנה הוא החל להתפשט לכל הכיוונים לאחר פיצוץ.

עובדות תצפיתיות:

1. קווי הספקטרום של אור המגיע מגלקסיות רחוקות מועתקים לעבר האדום (הבל, סוף שנות העשרים).

(אם האנרגיה המכנית הכוללת חיובית - החלקיק אינו קשור, ולכן ימשיך לנוע באותו כיוון לעד. אם האנרגיה הכוללת שלילית - החלקיק ייעצר, וכיוון תנועתו יתהפך). המצב הגבולי יתרחש, אם האנרגיה המכנית הכוללת שווה לאפס, והוא מתאים לצפיפות קריטית

של היקום, כלומר:

$$E = \frac{1}{2} mH_0^2 r^2 - \frac{4\pi}{3} G\rho_c m r^2 = 0$$

לכן:

$$\rho_c = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$$