

בחירות, מבחנים ובעיות



בחירת הבגרות בפיסיקה לתלמידי 4 - 5 יחידות לימוד, קיץ תשנ"ג, ופתרונות מלאים

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

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

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

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

מכניקה

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

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{3}{1} = \frac{3m}{s} \quad \text{1. א. (1)}$$

$$v_x = \frac{3m}{s}$$

$$\Delta y = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad \text{(2)}$$

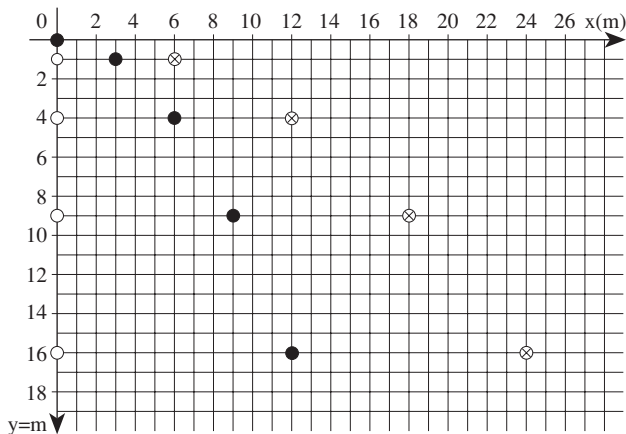
בדרך כלל השאלות מופיעות בגירסתן המקורית, (כפי שהופיעו במבחן). רק במספר שאלות, בהן נפלו אי דיוקים או שגיאות, נעשו שינויים. התשובות מתייחסות לגירסה המופיעה כאן.

$$16 = 0 + \frac{a_y \cdot 4^2}{2}$$

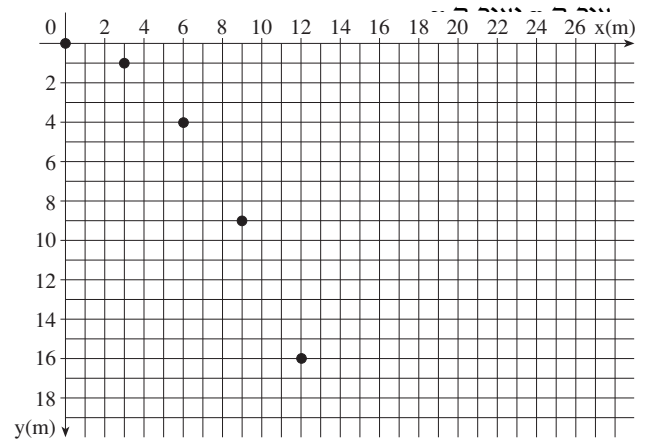
$$a_y = \frac{2m}{s^2}$$

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

ב. א.



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



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

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

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

ג. הסבר בדרך א: בחיסור הווקטורים רכיבי ה-x מתבטלים, לכן:

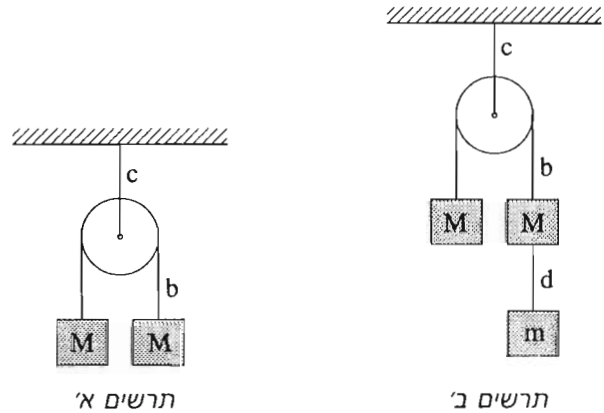
$$\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = v_{2,y} \vec{v}_{1,y}$$

הסבר בדרך ב: תאוצה ממוצעת מוגדרת באופן:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

בשדה כובד אחיד התאוצה כלפי מטה, ולכן: $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ כלפי מטה.

2. שני גופים, שמסתו של כל אחד היא M, קשורים זה לזה באמצעות חוט b הכרוך סביב גלגלת. הגלגלת קשורה באמצעות חוט c אל התקרה (ראה תרשים א). מסות החוטים b ו c ומסת הגלגלת ניתנות להזנחה, וכן כוחות היכוך כלשהם ניתנים להזנחה.



2. א. (1) M נמצא בשיווי-משקל, לכן:

$$Mg - T_b = 0 \Rightarrow T_b = Mg$$

(2) הגלגלת בשיווי-משקל, לכן:

$$2T_b = T_c$$

$$2T_c = 2Mg$$

ב. (1) אילו m היתה נופלת בהשפעת כוח הכובד בלבד - תאוצתה היתה g. כיוון שפועל עליה גם כוח כלפי מעלה (כוח המתיחות של חוט d) תאוצתה קטנה מ g.

(2) תאוצת הגוף ביחס למעלית שווה ל a.

הסבר בדרך א:

$$v_{\text{מעלית}} = v_m - v_{\text{ארץ}}$$

$$a_{\text{מעלית}} = a_m - a_{\text{ארץ}} \quad \text{לכן:}$$

$$a_{\text{מעלית}} = 0 \quad \text{אך:}$$

$$a_{\text{מעלית}} = a_m = a \quad \text{לכן:}$$

הסבר בדרך ב:

החוק השני של ניוטון אינווריאנטי ביחס לטרנספורמציות גלילאו. מאחר ש F ו m שווים בשתי המערכות, גם a זהה בשתי המערכות.

ג. תנועה שוות-מהירות, כי $\Sigma F = 0$.

3. גוש עץ שמסתו $M = 9.98 \text{ kg}$ תלוי בקצהו של חוט שאורכו m ו מסתו זניחה. קליע שמסתו $m = 0.02 \text{ kg}$ פוגע אופקית בגוש העץ במהירות שגודלה $v = 500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ונתקע בגוש. הנח כי משך חדירת הקליע קצר מאוד וניתן להזנחה, וכי ממדי גוש העץ זניחים ביחס לאורך החוט. א. האם האנרגיה המכנית נשמרת בתהליך ההתנגשות?

הסבר.

ב. חשב את הגובה המרבי, שאליו מתרומם גוש העץ (עם הקליע בתוכו).

ג. מהי העבודה, שנעשתה על-ידי המתיחות בחוט, במשך עליית גוש העץ עם הקליע עד לגובה המרבי?

נמק.

ד. כמה זמן לוקח לגוש העץ עם הקליע להגיע לגובהו המרבי? **נמק.**

א. בטא באמצעות נתוני השאלה את:

(1) מתיחות החוט b.

(2) מתיחות החוט c.

ב. תולים על הגוף הימני גוף נוסף, שמסתו m, באמצעות חוט d, שמסתו אף היא זניחה (ראה תרשים ב).

(1) הראה כי התאוצה a של הגוף, שמסתו m, קטנה מתאוצת הנפילה החופשית g.

(2) אדם הנמצא במעלית, היורדת במהירות קבועה, צופה דרך חלון שבמעלית בגוף שמסתו m. האם תאוצת הגוף, כפי שהיא נצפית על-ידי האדם, תהיה קטנה מהתאוצה a, שווה לה או גדולה ממנה (a היא התאוצה ביחס לארץ)? **הסבר.**

ג. ברגע מסוים נקרע החוט d. מה סוג התנועה של הגוף הימני (שמסתו M), לאחר שהחוט נקרע (שוות-מהירות, שוות-תאוצה, אחרת)? **הסבר.**

3. א. לא, כי עבודת החיכוך מומרת לאנרגיה הפנימית של גוש העץ והקליע.
 ב. שימור תנע בהתנגשות:

$$mv = (m + M) u$$

$$0.02 \cdot 500 = (9.98 + 0.02) u$$

$$u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

שימור אנרגיה מכנית בעלייה:

$$\frac{(M + m) u^2}{2} = (M + m) gh$$

$$h = \frac{u^2}{2g} = \frac{1}{2 \cdot 10}$$

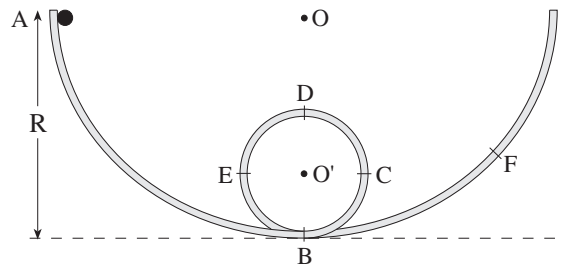
$$h = 0.05$$

- ג. אפס, כי הכוח ניצב להעתק בכל נקודה.
 ד. כיוון שמדובר בתנודה בזוויות קטנות ($\alpha \approx 12^\circ$), התנודה היא בקירוב מצוין הרמונית, לכן:

$$t = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2}{10}}$$

$$t \approx 0.7\text{s}$$

4. בתרשים שלפניך מתוארת מסילה חסרת חיכוך ABCDEF. קטע המסילה AB הוא רבע מעגל שרדיוסו R ומרכזו O'. קטע המסילה BCDE הוא מעגל שרדיוסו r ומרכזו O (O' ו O נמצאות על אותו קו אנכי). גוף קטן משוחרר ממנוחה בנקודה A, ונע לאורך המסילה. EC הוא קוטר אופקי של המעגל שמרכזו O'.



- בטא את תשובותיך לשאלות באמצעות נתוני השאלה.
 א. מהו וקטור המהירות (גודל וכיוון) בנקודה C?
 ב. (1) מהי התאוצה הרדיאלית בנקודה C?
 (2) מהי התאוצה המשיקית בנקודה C?

- ג. חשב מה צריך להיות היחס המינימלי $\frac{R}{r}$, כדי שהגוף לא יתנתק מהמסילה המעגלית שמרכזה O'.
 ד. הסבר מדוע הכוח השקול, הפועל על הגוף בתנועתו לאורך קטע המסילה, שאחרי הנקודה A ועד לנקודה B, אינו משיק למסילה.

4. א. כיוון הווקטור - כלפי מעלה.

גודל הווקטור v_c : על פי שימור האנרגיה

$$mg(R - r) = \frac{1}{2} mv_c^2$$

$$v_c = \sqrt{2g(R - r)}$$

$$a_R = \frac{v_c^2}{r} = \frac{2g(R - r)}{r} \quad \text{ב. (1)}$$

$$a_R = 2g \left(\frac{R}{r} - 1 \right)$$

(2) יהי F_T הכוח המשיקי; לפי החוק השני של ניוטון:

$$\Sigma F_T = ma_T$$

$$mg = ma_T$$

$$a_T = g$$

(כלפי מטה)

- ג. המהירות הקריטית בנקודה D היא $v = \sqrt{rg}$. לפי שימור האנרגיה:

$$mg(R - 2r) = \frac{m(\sqrt{rg})^2}{2}$$

$$\frac{R}{r} = \frac{5}{2}$$

לכן:

- ד. לגוף תאוצה רדיאלית (משינוי כיוון המהירות), ותאוצה משיקית (משינוי גודל המהירות), לכן התאוצה השקולה אינה בכיוון המשיק, לכן (על-פי החוק השני של ניוטון) הכוח השקול אינו בכיוון המשיק.

5. משקולת, שמסתה $M = 0.8 \text{ kg}$, תלויה על קפיץ אנכי שמסתו זניחה. תלמיד משך את המשקולת כלפי מטה מרחק A, ושחרר אותה (ממנוחה). חיישן המחובר למחשב מדד את מקום המשקולת בזמנים שונים, ועל צג

כי בנקודות האלה הנגזרת (dy / dt) מתאפסת (או):
הגוף מגיע לקצות המסלול).

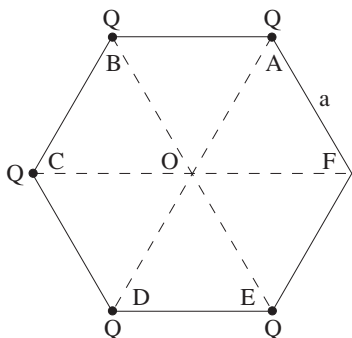
ה. התאוצה מתאפסת ב: $t_1 = 0.3 \text{ s}$
 $t_2 = 0.9 \text{ s}$

נימוק: בזמנים אלה הגוף נמצא בנקודות שיווי-
המשקל, שבהן הכוח שווה לאפס.

ו. כיוון הכוח כלפי מעלה, כי הגוף נמצא מתחת לנקודת
שיווי-המשקל.

חשמל

1. בכל אחד מחמשת הקדקודים A, B, C, D ו E של
משושה משוכלל, שאורך צלעו a, נמצא מטען נקודתי
חיובי Q. בקדקוד F אין מטען (ראה תרשים).



בטא את תשובותיך לשאלות באמצעות נתוני השאלה.
א. מהו השדה החשמלי השקול (גודל וכיוון) במרכז
הסימטריה O של המשושה? **הסבר.**

ב. מעבירים מטען נוסף Q ממקום רחוק מאוד
("אינסוף") אל הנקודה O. מהי העבודה שנעשתה נגד
כוחות השדה החשמלי?

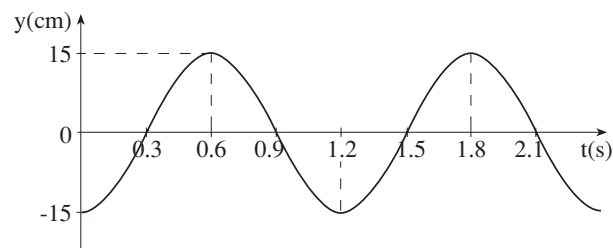
ג. מעבירים את המטען הנוסף Q מהמרכז O לקדקוד
השישי F (בכל אחד מקדקודי המשושה נמצא עתה
מטען Q).

(1) מהו השדה החשמלי בנקודה O? **נמק.**

(2) האם דרושה עבודה, כדי להביא מטען q מאינסוף
אל מרכז המשושה? **נמק.**

ד. בכל אחד משלושת הקדקודים A, C ו E מחליפים
את המטען Q במטען שלילי -Q. (בכל אחד משלושת
הקדקודים האחרים נמצא מטען Q, ובנקודה O אין
מטען). האם פעולה זו תגרום לשינוי בפוטנציאל
החשמלי במרכז המשושה? **הסבר.**

המחשב התקבל הגרף המתואר בתרשים. מקום
המשקולת y, נמדד ביחס לציר אנכי שראשיתו בנקודת
שיווי-המשקל, וכיוונו החיובי כלפי מעלה.



א. מצא את A.

ב. מצא את זמן המחזור של התנודות ואת תדירותן.

ג. חשב את קבוע הכוח של הקפיץ.

ד. מתי בפרק הזמן $0.1 \text{ s} < t < 1.4 \text{ s}$ מתאפסת מהירות
המשקולת? **הסבר.**

ה. מתי בפרק הזמן $0.1 \text{ s} < t < 1.4 \text{ s}$ מתאפסת תאוצת
המשקולת? **הסבר.**

ו. מהו הכיוון (כלפי מעלה או כלפי מטה) של הכוח
השקול הפועל על המשקולת ברגע $t = 1 \text{ s}$? **הסבר.**

5. א. על-פי התרשים:

$$A = 15 \text{ cm}$$

ב. על-פי התרשים:

$$T = 1.2 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.2}$$

$$f \approx 0.83 \text{ Hz}$$

ג.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

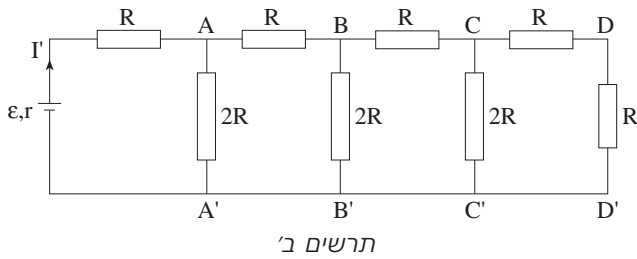
$$1.2 = 2\pi \sqrt{\frac{0.8}{k}}$$

$$k \approx 22 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

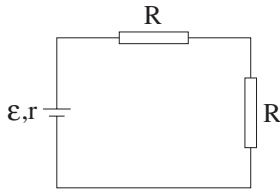
ד. המהירות מתאפסת ב: $t_1 = 0.6 \text{ s}$

$$t_2 = 1.2 \text{ s}$$

ב'. האם עוצמת הזרם I' דרך מקור המתח במעגל החדש קטנה, גדולה או שווה ל I ? **נמק.**



2. א. את התנגדות הלולאה $BCC'B'$ ניתן להמיר בנגד שהתנגדותו R , משום ששני נגדים מחוברים בטור והתנגדותם השקולה היא $2R$, והם מחוברים במקביל לנגד שהתנגדותו $2R$. הלולאה החדשה זהה לקודמת, ולכן גם התנגדותה היא R . לבסוף, המקור מחובר לשני נגדים המחוברים בטור, שהתנגדות כל אחד מהם היא R :



ההתנגדות השקולה היא $2R$

ב. על-פי המעגל המסורטט בסעיף הקודם:
 $\varepsilon = I(R_T + r)$

$$34 = \frac{2}{3}(2R + 3)$$

$R = 24\Omega$

$$I_{AA'} = \frac{1}{2} I = \frac{1}{3} A$$

$$I_{BB'} = \frac{1}{4} I = \frac{1}{6} A$$

$$I_{CC'} = \frac{1}{4} I = \frac{1}{6} A$$

$$V_{AA'} = 2R \cdot I_{AA'} = 2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{3} = 16V$$

$$V_{BB'} = 2R \cdot I_{BB'} = 2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{6} = 8V$$

$$V_{CC'} = R \cdot I_{CC'} = 24 \cdot \frac{1}{6} = 4V$$

$$I' = I \quad \text{ד.}$$

כי ההתנגדות השקולה לא השתנתה (על-פי ההסבר בסעיף א).

1. א. השדות הנוצרים על-ידי המטענים B, A, E, D מתבטלים. השדה ב O מקורו במטען שבנקודה C , לכן כיוונו מ O ל F וגודלו: $E = kQ/a^2$. (המרחק מקדקוד למרכז הוא a)

ב. $(1) W = Q(V_0 - V_\infty)$

הפוטנציאל ב O הוא סכום אלגברי של הפוטנציאלים של כל המטענים:

$$(2) V_0 = \frac{kQ}{a}$$

$$(3) V_\infty = 0$$

לאחר הצבת (2) ו (3) ב (1):

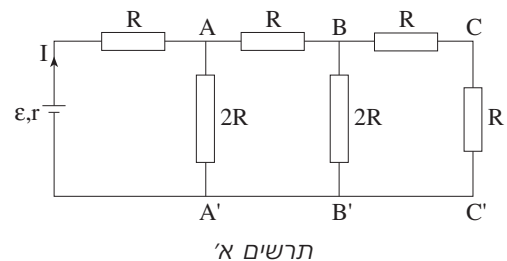
$$W = Q\left(\frac{kQ}{a} - 0\right)$$

$W = \frac{kQ^2}{a}$

ג. (1) אפס, בגלל ביטול השדות של מטענים נגדיים. (2) כן, כי הפוטנציאל באינסוף הוא אפס, אך הפוטנציאל במרכז O **שונה מאפס**.

ד. **כן**, כי עתה הפוטנציאל ב O מתאפס. מספר המטענים החיוביים שווה למספר המטענים השליליים, וכולם באותו מרחק מ O .

2. במעגל החשמלי, שמתואר בתרשים א', הכא"מ של מקור המתח הוא $\varepsilon = 34 V$, התנגדותו הפנימית היא $r = 3 \Omega$, ועוצמת הזרם דרך מקור המתח היא I .



א. בטא באמצעות R את ההתנגדות החשמלית השקולה החיצונית של המעגל.

ב. חשב את ההתנגדות R , אם נתון כי עוצמת הזרם במעגל החשמלי היא $\frac{2}{3} A$.

ג. חשב את המתח על כל אחד מהנגדים AA', BB', CC' .

ד. הרכיבו את המעגל הנתון למעגל המתואר בתרשים

$$U = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2$$

$$= \frac{1}{2} (8 \cdot 10^{-6} \cdot 45^2 + 24 \cdot 10^{-6} \cdot 15^2)$$

$$U = 1.08 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

ב. (1) הקיבול החדש C_2^* הוא עתה:

$$C_2^* = \frac{C_2}{3} = 8 \mu\text{F}$$

לכן:

$$V_1^* = V_2^* = 30 \text{ V}$$

(2) לפי חיבור בטור:

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2^*}{C_1 + C_2^*} = 4 \mu\text{F}$$

$$U^* = \frac{1}{2} C_T V_T^2 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 60^2$$

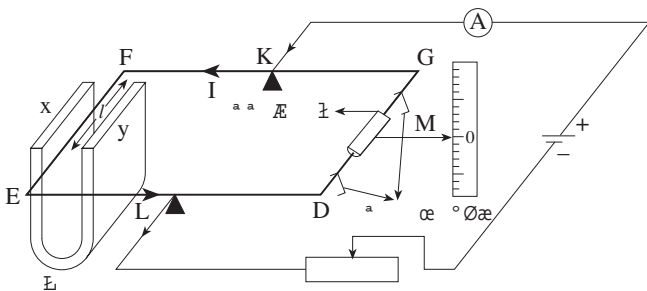
$$U^* = 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

ג. המעגל פתוח, ולכן כמות המטען אינה משתנה על-פני הקבלים.

לגבי C_1 : Q : קבוע ו C_1 קבוע, לכן V_1 אינו משתנה.

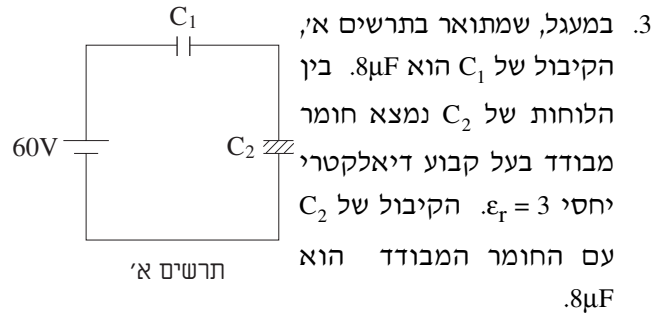
לגבי C_2 : Q : קבוע ו C_2 משתנה עם הכנסת החומר הדיאלקטרי, ולכן גם V_2 משתנה.

4. התרשים שלפניך מתאר מערכת מאזני זרם.



מסגרת DEFG העשויה מתיל מוליך, נתמכת בשתי נקודות K ו L, כך שהיא חופשייה לנוע סביב הציר KL. המסגרת פתוחה בקטע שבו נמצא חומר מבודד.

קטע מסגרת, שאורכו $l = 2 \text{ cm}$, נמצא בתוך שדה מגנטי אחיד שבין קוטבי מגנט. כאשר לא עובר זרם



3. במעגל, שמתואר בתרשים א', הקיבול של C_1 הוא $8 \mu\text{F}$. בין הלוחות של C_2 נמצא חומר מבודד בעל קבוע דיאלקטרי יחסי $\epsilon_T = 3$. הקיבול של C_2 עם החומר המבודד הוא $8 \mu\text{F}$.

א. חשב את:

(1) המתח על כל אחד משני הקבלים.

(2) האנרגיה החשמלית הכוללת, האגורה בשני הקבלים הטעונים.

ב. מוציאים את החומר המבודד מבין לוחות הקבל C_2 .

חשב את:

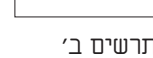
(1) המתח על כל אחד מהקבלים במצב זה.

(2) האנרגיה החשמלית הכוללת, האגורה בשני הקבלים.

ג. לאחר הוצאת החומר

המבודד מבין לוחות הקבל C_2 , מנתקים את מקור

המתח, ואחר כך מחזירים לוחות של C_2 את החומר המבודד אל בין הלוחות של C_2 (ראה תרשים ב').



האם החזרת החומר המבודד גורמת לשינוי במתח על כל אחד מהקבלים? **הסבר**.

3. א. (1) $60 = V_1 + V_2$

(2) $Q_1 = V_1 C_1$

$Q_2 = V_2 C_2$

$Q_1 = Q_2$

(3) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{24}{8} = 3$ לכן:

מ (1) ומ (3):

$$V_1 = 45 \text{ V}$$

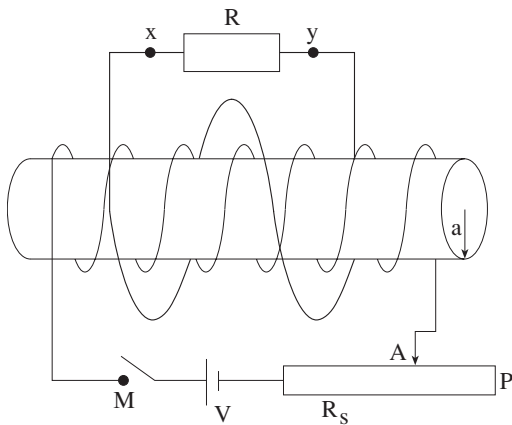
$$V_2 = 15 \text{ V}$$

(2) תהי U האנרגיה חשמלית הכוללת האגורה בשני הקבלים הטעונים:

$$B = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{0.02}$$

$$B = 0.02 \text{ T}$$

5. נתונה סילוניית שאורכה \vec{l} , ורדיוס החתך שלה הוא a . לסילוניית N_1 כריכות מבודדות זו מזו. את הסילוניית מחברים למעגל חשמלי המכיל: מקור מתח V , נגד משתנה R_s ומפסק M . סביב הסילוניית הנתונה N_1 נמצא סליל משני, שמספר כריכותיו N_2 , וקצוותיו מחוברים לנגד R (ראה תרשים).



- א. ציין את כיוון הזרם המושרה שעובר דרך הנגד R (סמן $x \leftarrow y$ או $y \leftarrow x$):

- (1) תוך כדי סגירת המפסק M . **הסבר**.
 (2) כאשר המפסק M סגור, תוך כדי הזזת המגע הזחית A לכיוון הנקודה p . **הסבר**.

- ב. כאשר סוגרים את המפסק M , הזרם במעגל הראשוני מגיע לערך של 0.5 A בפרק זמן של $\Delta t = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, חשב את הערך הממוצע של הזרם המושרה בסליל N_2 . נתונים:

$$R = 12 \Omega ; N_2 = 20 ; a = 2 \text{ cm} ; N_1 = 500 ; \vec{l} = 20 \text{ cm}$$

(התנגדות R כוללת את התנגדות הכריכות N_2).

- ג. מחליפים את מקור המתח הישר במקור מתח חילופין. האם עובר זרם דרך הנגד R (המפסק סגור)? **הסבר**.

במסגרת, היא נמצאת במצב אופקי, והמחוג M מצביע על אפס. כשמחברים את מקור המתח, פועל על המסגרת כוח מגנטי F , שאותו מאזנים באמצעות סיכות מהדק. המסה של סיכה אחת היא 0.02 גרם. בטבלה שלפניך רשום מספר הסיכות (N) , המאזנות את הכוח המגנטי עבור זרמים שונים (I) .

מספר הסיכות N	1	2	3	4	5
עוצמת זרם באמפרים I	0.50	0.95	1.50	2.05	2.50

- א. מהו כיוון השדה המגנטי (סמן $x \rightarrow y$ או $y \rightarrow x$)?

הסבר

- ב. סרטט גרף, המתאר את הכוח המגנטי F בניוטונים כפונקציה של עוצמת הזרם I שזורם במסגרת.

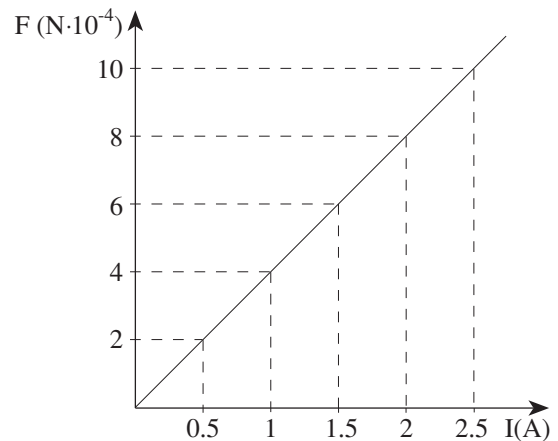
- ג. (1) חשב את שיפוע הגרף שסרטטת.

- (2) ציין את היחידות של השיפוע.

- (3) חשב את עוצמת השדה המגנטי.

4. א. כיוון שהכוח המגנטי מאזן את כוח הכובד שפועל על הסיכות, כיוונו כלפי מטה. כיוון הזרם בתיל הנמצא בתוך השדה הוא מ F ל E . לכן, לפי כלל יד שמאל כיוון השדה המגנטי הוא $x \rightarrow y$.

- ב. משקל כל סיכה הוא $2 \cdot 10^{-4} \text{ N}$:



- ג. (1) השיפוע:

$$\frac{F}{I} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{1.5} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

$$T \cdot m \text{ או } \text{N/A} \quad (2)$$

$$F = B \vec{l} \Rightarrow B = \frac{F}{I \cdot \vec{l}} \quad (3)$$

5. א. (1) סגירת $M \Leftarrow$ עליית הזרם בסילוניית \Leftarrow נבנה שטף מגנטי שמאלה בסילוניית \Leftarrow בסליל המשני נוצר זרם בעל שטף ימינה \Leftarrow הזרם בנגד R הוא $x \Leftarrow y$.
- (2) הזזת המגע ימינה \Leftarrow הקטנת הזרם בסילוניית (מקרה הפוך למקרה הקודם) \Leftarrow יזרום בנגד R זרם שכיוונו הוא $y \Leftarrow x$.

ב. הערך הממוצע של הכא"מ בסליל המשני:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = N_2 \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = N_2 \frac{\phi_1 - 0}{\Delta t} = N_2 \frac{B \cdot A}{\Delta t} = \frac{N_2 \mu_0 N_1 I}{\Delta t} \pi a^2$$

$$|\bar{\mathcal{E}}| = \frac{20}{4 \cdot 10^{-4}} \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 500 \cdot 0.5}{0.2} \pi (2 \cdot 10^{-2})^2$$

$$|\bar{\mathcal{E}}| \approx 0.1V$$

$$\bar{I} = \frac{|\bar{\mathcal{E}}|}{R} = \frac{0.1}{12}$$

$$\bar{I} \approx 8.3 \text{ mA}$$

- ג. דרך הנגד R זורם זרם, כיוון שעוצמת הזרם בסילוניית משתנה והשטף המגנטי משתנה ונוצר כא"מ בסליל המשני.

- (2) שני עצמים שונים נראים לאדם כבעלי אותו גובה. האם ניתן להסיקמכך שאכן גובהם שווה?

הסבר

- ב. רוחק ראייה מינימלי של אדם מסוים הוא $d = 25 \text{ cm}$. אדם זה מתבונן בעצם הנמצא במרחק של 8 ס"מ מעינו. האם העצם ייראה לאדם בבירור? **הסבר**.
- ג. אותו אדם מצמיד לעינו עדשה שרוחק המוקד שלה $f = 10 \text{ cm}$. העדשה משמשת כזכוכית מגדלת. האדם מתבונן דרך העדשה באותו עצם שנמצא במרחק של 8 ס"מ מהעדשה (מהעין).

- (1) האם במצב זה ייראה העצם לאדם בבירור?

הסבר

- (2) סרטט באמצעות מהלכי קרניים מתאימות את דמות העצם הנוצרת באמצעות העדשה.
- (3) חשב את ההגדלה הזוויתית.

1. א. (1) העין מסגלת את עצמה למרחקים שונים של העצם על-ידי שינוי רוחק המוקד של עדשת העין.
- (2) לא. ייתכן שעצם גבוה יותר יימצא במרחק גדול יותר מהעין, והוא יכול להיראות באותה זווית ראייה כמו עצם נמוך וקרוב. במקרה כזה, שניהם ייראו לצופה שווי-גודל. דוגמה: השמש והירח נראים באותו גודל, על אף שהשמש גדולה יותר.

- ב. לא. "רוחק ראייה מינימלי" של עין זהו המרחק הקטן ביותר, שהעין יכולה לסגל את עצמה וליצור דמות על רשתית העין.

ג. (1) כן. הסבר:

- נחשב תחילה את המרחק מעדשת העין של הדמות המדומה הנוצרת באמצעות העדשה (זכוכית מגדלת):

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}; \quad \frac{1}{8} + \frac{1}{v} = \frac{1}{10}$$

$$v = -40 \text{ cm}$$

- משמעות התוצאה: נוצרת דמות (מדומה) בצד העדשה, שבו נמצא העצם. הדמות היא ברוחק 40 ס"מ מהעדשה (וגם מעדשת העין). במצב זה העצם ייראה בבירור, כי האור מגיע לעדשת העין באותם הכיוונים שהיה מגיע האור לעין מעצם שנמצא ברוחק 40 ס"מ. והעין יכולה לסגל את עצמה לרוחק של 40 ס"מ.

פרקי הבחירה

פרק א. תורת האור והגלים

1. א. (1) כאשר מציבים מסך מאחורי עדשה מרכזת (במרחק גדול יותר מרוחק המוקד), יש רק מרחק אחד שבו ניתן להציב עצם לפני העדשה, כך שתקבל דמות חדה על המסך. כיצד ייתכן, אם כן, שבעין תקינה של אדם מתקבלת על הרשתית דמות ברורה של עצם, כאשר הוא נמצא במרחקים שונים מן העין?

ג. עתה יוצרים בין שני המקורות הפרש מופע. מהו הפרש הזמן המינימלי שבו חייב המקור S_1 לפגור ביחס למקור S_2 , כדי שעוצמת הקול לאורך האנך האמצעי לקטע S_2S_1 תהיה אפס, אם תדירות השידור היא 4000 Hz ?

$$S_2A = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13 \text{ m} \quad \text{א. 2.}$$

כדי לקבל ב A עוצמת קול מקסימלית דרוש:

$$S_2A - S_1A = n\lambda$$

$$n\lambda = 13 - 12 \quad \text{כלומר:}$$

$$1) \quad n\lambda = 1 \text{ m}$$

$$2) \quad \lambda = c/f = 1500/f$$

מהצבת 2) ב 1) מקבלים כי נדרשת תדירות (בתחום הנתון) המקיימת:

$$f = 1500 \text{ n}$$

n - מספר טבעי

לכן שתי התדירויות המבוקשות:

$$f_1 = 3000 \text{ Hz} \quad (n = 2)$$

$$f_2 = 4500 \text{ Hz} \quad (n = 3)$$

ב. תנאי לעוצמת קול מינימלית:

$$1) \quad (n - \frac{1}{2})\lambda = 1 \text{ m}$$

$$2) \quad \lambda = c/f = 1500/f$$

מהצבת 2) ב 1) מקבלים:

$$f = 1500(n - \frac{1}{2})$$

$$f_3 = 3750 \text{ Hz}$$

עבור $n = 3$:

ג. כדי שעוצמת הקול לאורך האנך האמצעי תהיה אפס, המקורות צריכים להיות במופעים מנוגדים כלומר:

$$p = \frac{t}{T} = \frac{1}{2}$$

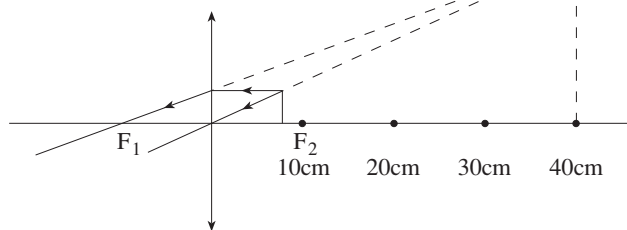
t - פיגור אחד המקורות אחרי השני)

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4000} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ s} \quad \text{חישוב T:}$$

$$t = \frac{1}{2} T = 1.25 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

לכן:

(2) לא נדרש קנה-מידה מדויק.



(3) זווית הראייה האופטימלית α_0 ללא זכוכית

מגדלת מקיימת:

$$\tan \alpha_0 = h/25 \quad (h - \text{גובה העצם})$$

1)

זווית הראייה α עם זכוכית מגדלת מקיימת:

$$2) \quad \tan \alpha = h/8$$

ההגדלה הזוויתית:

$$\mu = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{h/8}{h/25} = 3.125$$

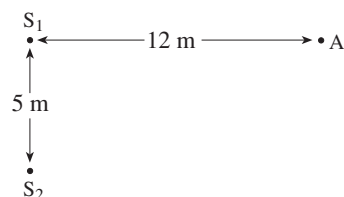
$$\mu = 3.125$$

2. שני מקורות קול נקודתיים S_1 ו S_2 יוצרים בתוך מים

גלי קול באותו אורך גל, באותה עוצמה ובאותו מופע. שני המקורות מסוגלים ליצור גלים בתחום התדירויות מ 2500 Hz ועד 5000 Hz . מהירות הקול במים היא $1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. נקודה A נמצאת במרחק 12 m מ S_1 .

מאונך ל S_1S_2 .

המרחק בין שני המקורות הוא 5 m (ראה ציור).



א. מצא, בתחום התדירויות של המקורות, שתי תדירויות, שעבור כל אחת מהן נקבל בנקודה A עוצמת קול מקסימלית.

ב. האם קיימת תדירות כזאת, בתחום התדירויות של שני המקורות, כך שעוצמת הקול בנקודה A תהיה מינימלית? אם כן - חשב את התדירות. אם לא - הסבר.

פרק ב. פיסיקה מודרנית

אורך הגל הנבלע בעירור ל $n = 2$:

$$\lambda_{1 \rightarrow 2} = \frac{228}{1 - \frac{1}{2^2}} \approx 304 \text{ \AA}$$

ל $n = 3$:

$$\lambda_{1 \rightarrow 3} = \frac{228}{1 - \frac{1}{3^2}} \approx 257 \text{ \AA}$$

ל $n = 4$:

$$\lambda_{1 \rightarrow 4} = \frac{228}{1 - \frac{1}{4^2}} \approx 243 \text{ \AA}$$

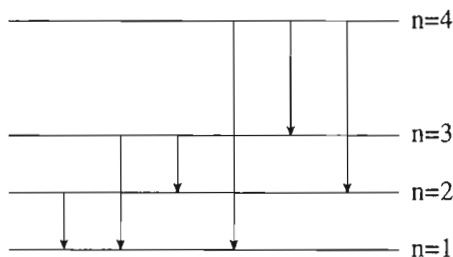
ל $n = 5$:

$$\lambda_{1 \rightarrow 5} = \frac{228}{1 - \frac{1}{5^2}} \approx 238 \text{ \AA}$$

$\lambda_{1 \rightarrow 5}$ הוא מחוץ לטווח, לכן אורכי הגל הנבלעים הם:

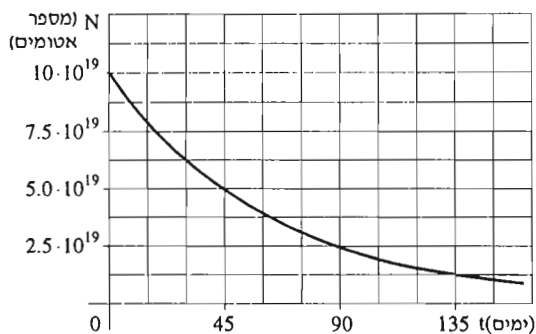
$$304 \text{ \AA} ; 257 \text{ \AA} ; 243 \text{ \AA}$$

ג. בספקטרום הפליטה יהיו 6 קווים ספקטראליים, כי הרמות המעוררות הן $n = 2, 3, 4$, והמעברים האפשריים הם:



4. איזוטופ ברזל בעל מספר מסה 59 ומספר אטומי 26 מתפרק התפרקות β^- לאיזוטופ יציב של קובלט. א. מצא את מספר המסה ואת המספר האטומי של איזוטופ הקובלט.

ב. התרשים שלפניך מתאר את מספר גרעיני הברזל-59, שנמדדו במדגם כפונקציה של הזמן החל מרגע $t = 0$.



3. רמות האנרגיה של יון הליום, שבו נע אלקטרון יחיד סביב הגרעין, נתונות על-ידי ביטוי דומה לזה של אטום

$$\text{המימן: } E_n = -\frac{4R^*}{n^2}, \text{ כאשר } R^* = 13.6 \text{ eV}.$$

א. (1) מצא את האנרגיה המינימלית הדרושה לשם יינון של יון ההליום הנמצא במצב היסוד.

(2) מצא את אורך הגל המרבי של הקרינה הדרושה ליינון זה.

ב. אלומה של קרינה אלקטרומגנטית, בעלת טווח רציף של אורכי גל שבין 240 \AA ל 500 \AA , עוברת דרך מכל, שבו נמצאים יוני הליום שכולם במצב היסוד. חשב באילו אורכי גל נבלעת הקרינה האלקטרומגנטית. הזנח אפשרות בליעה של יון מעורר.

ג. כמה קווים ספקטראליים יימצאו בספקטרום הפליטה של יוני ההליום, שעוררו על-ידי הקרינה שתוארה בסעיף ב? **הסבר**.

3. א. (1) האנרגיה במצב היסוד:

$$E_1 = -\frac{4 \cdot 13.6}{1^2} = -54.4 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_\infty - E_1 = 0 - (-54.4)$$

$$\Delta E = 54.4 \text{ eV}$$

(2) האנרגיה המינימלית של הפוטון היא 54 eV , לכן:

$$\lambda(\text{\AA}) = \frac{12400}{E(\text{eV})} = \frac{12400}{54.4}$$

$$\lambda \approx 228 \text{ \AA}$$

ב. רמות האנרגיה של יון ההליום:

$$E_n = -\frac{54.4}{n^2} = \text{eV}$$

$$E_1 = -54.4 \text{ eV}$$

רמות היסוד:

האנרגיות הדרושות לעירור מרמת היסוד (ב eV):

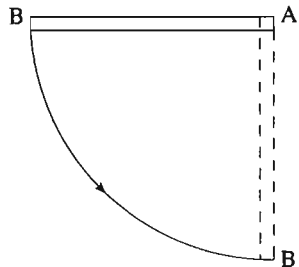
$$\Delta E = -\frac{54.4}{n^2} - (-54.4) = 54.4 - \frac{54.4}{n^2}$$

אורכי הגל הדרושים לעירור:

$$\lambda(\text{\AA}) = \frac{12400}{\Delta E(\text{eV})} = \frac{12400}{54.4 - \frac{54.4}{n^2}} = \frac{228}{1 - \frac{1}{n^2}}$$

פרק ג. מכניקה של גוף קשיח

5. מוט אחיד AB, שאורכו ℓ ומסתו m , יכול להסתובב באופן חופשי סביב ציר אופקי הניצב למוט בקצהו הימני. משחררים את המוט, כאשר הוא נמצא במנוחה במצב אופקי (ראה תרשים).



א. בטא באמצעות נתוני השאלה את התאוצה הזוויתית הרגעית של המוט ברגע השחרור.

ב. (1) מצא את התאוצה הקווית של מרכז המסה ברגע השחרור.

(2) האם התאוצה הקווית של נקודה B שווה לתאוצה הקווית של מרכז המסה או שונה ממנה?

הסבר

ג. בטא את מהירותו הזוויתית הרגעית של המוט ברגע שהוא מגיע למצב אנכי (ראה תרשים).

א. 5. $\Sigma \tau = I\alpha$

מומנט ההתדמדה של המוט ביחס למרכז המסה:

$$I_{c.m} = \frac{1}{12} m \ell^2$$

על פי משפט שטיינר מומנט ההתדמדה ביחס לקצה:

$$I = I_{c.m} + m s^2 = \frac{1}{12} m \ell^2 + m \left(\frac{\ell}{12}\right)^2$$

$$(2) I = \frac{1}{3} m \ell^2$$

המומנט על המוט ברגע השחרור (ביחס לקצה):

$$(3) \Sigma \tau = mg \frac{\ell}{2}$$

מהצבת (2) ו (3) ב (1) מקבלים:

$$\alpha = \frac{3g}{2\ell}$$

ב. (1) לכל הנקודות אותה תאוצה זוויתית, לכן גם התאוצה הזוויתית של מרכז המסה תהיה:

$$\alpha = \frac{3g}{2\ell}$$

(1) כמה גרעיני ברזל-59 נותרו במדגם לאחר 30 יום?
(2) מצא את זמן מחצית החיים של איזוטופ ברזל-59.

(3) חשב כעבור כמה ימים התפרקו 99% מגרעיני ברזל-59.

ג. נניח שברגע $t = 0$ לא היו גרעיני קובלט במדגם. העתק את התרשים למחברתך והוסף עליו עקום, שיתאר את מספר גרעיני הקובלט במדגם כפונקציה של הזמן.

4. א. מספר המסה לא ישתנה (59), והמספר האטומי יגדל ב 1, לכן לגבי הקובלט:

מספר מסה = 59

מספר אטומי = 27

ב. (1) על פי הגרף לאחר 30 יום נותרו כ $6.25 \cdot 10^{19}$ אטומים.

(2) כעבור זמן המכונה זמן מחצית החיים, 50% מהגרעינים מתפרקים, ולכן מספר גרעיני איזוטופ הברזל צריך לרדת מ $10 \cdot 10^{19}$ ל $5 \cdot 10^{19}$, ולפי הגרף זמן מחצית החיים הוא: 45 יום.

(3) קבוע הדעיכה ניתן לחישוב באמצעות זמן מחצית החיים:

$$1) \lambda = \ell n 2 / T_{1/2} = \ell n 2 / 45 d = 0.0154 d^{-1}$$

$$2) N = N_0 e^{-\lambda t}$$

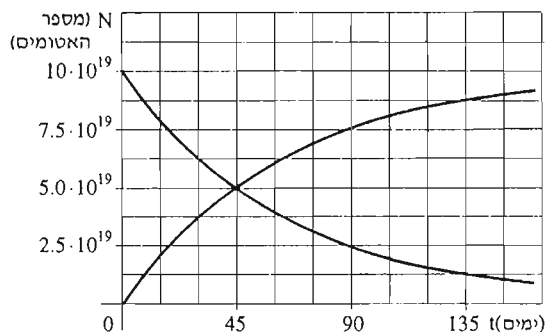
כאשר התפרקו 99% של גרעיני הברזל, נותר 1% מהם, ולכן:

$$3) N/N_0 = 0.01$$

$$0.01 = e^{-0.0154 t} \quad (2) \quad (3) \quad t = 299 d$$

מפתרון המשוואה:

$$t = 299 d$$



התאוצה הקווית:

$$a_{c.m.} = \alpha r = \frac{3g}{2\tau} \cdot \frac{\tau}{2}$$

$$a_{c.m.} = \frac{3}{4}g$$

$$a_B = \alpha r = \frac{3g}{2\tau} \cdot \tau \quad (2)$$

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

כלומר התאוצה הקווית של B שונה מתאוצת מרכז המסה.

ג. על-פי שימור האנרגיה:

$$\frac{1}{2} I \omega^2 = mg \Delta h_{c.m.}$$

$$(1) \frac{1}{2} I \omega^2 = mg \frac{1}{2} \tau$$

$$(2) I = \frac{1}{3} m \tau^2 \quad (\text{ראה סעיף א})$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3g}{\tau}}$$

מ (1) ו (2):

ג. חוזרים על אותו ניסוי, אך הפעם נורה הקליע בכיוון ציר הסיבוב, ונתקע בהיקף הדיסקה (ראה תרשים ב).

(1) מהי המהירות הזוויתית של המערכת במקרה זה?

הסבר

(2) האם התנע הקווי של המערכת נשמר? נמק את תשובתך.

6. א. התנע הזוויתי ביחס למרכז O נשמר.

התנע הזוויתי לפני ההתנגשות:

$$L_1 = Rmv + 0$$

התנע הזוויתי לאחר ההתנגשות:

$$L_2 = I\omega = (nR^2 + \frac{1}{2}MR^2)\omega$$

$$L_2 = L_1$$

לכן:

$$Rmv = \omega R^2(m + 0.5M)$$

מכאן:

$$\omega = \frac{v}{R} \cdot \frac{m}{m + 0.5M}$$

ב. לפני ההתנגשות:

$$E_k^{(1)} = \frac{mv^2}{2}$$

אחרי ההתנגשות:

$$E_k^{(2)} = \frac{1}{2} I \omega^2 =$$

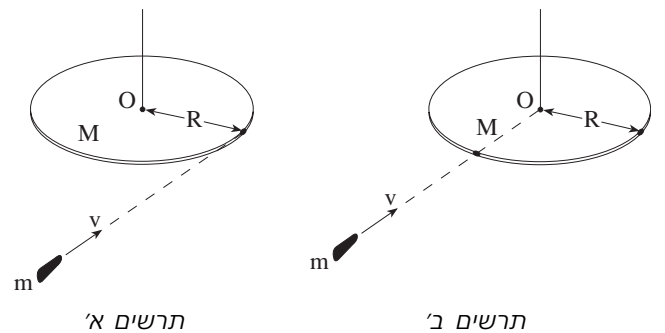
$$= \frac{1}{2} (0.5M + n)R^2 \frac{v^2}{R^2} \frac{m^2}{(m + 0.5M)^2} =$$

$$= \frac{mv^2}{2} \frac{m}{m + 0.5M}$$

ג. (1) התנע הזוויתי נשמר בהתנגשות. המהירות הזוויתית של הקליע לפני ההתנגשות ביחס ל O היא אפס, ולכן גם המהירות הזוויתית של המערכת לאחר ההתנגשות שווה לאפס.

(2) כיוון שהמערכת היא הדיסקה והקליע, התנע הקווי אינו נשמר, בגלל כוח חיצוני (המופעל על-די הציר).

6. דיסקה אחידה ואופקית, שמסתה M ורדיוסה R, יכולה להסתובב באופן חופשי סביב ציר מאונך העובר במרכז הדיסקה O (ראה תרשים א). כאשר הדיסקה במצב מנוחה, יורים קליע שמסתו m במהירות v בכיוון המשיק לדיסקה. הקליע נתקע בדיסקה (נעצר על-ידי בליטה קטנה שמסתה זניחה).



א. בטא את המהירות הזוויתית של הדיסקה (עם הקליע) לאחר ההתנגשות.
 ב. חשב את האנרגיה הקינטית של המערכת (הקליע והדיסקה) לפני ההתנגשות ולאחריה.

פרק ד. זרם חילופין

לכן:

$$(2) \quad 488 = \sqrt{(200 + R_L)^2 + (2\pi 50L)^2}$$

מ (1) ומ (2):

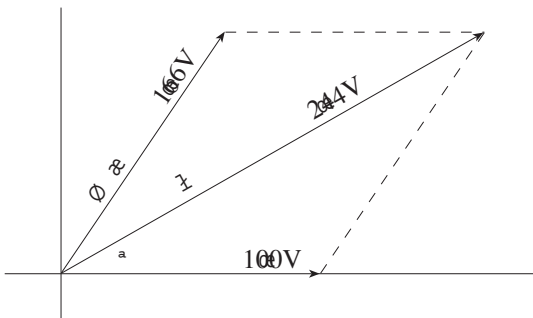
$$R_L = 220 \Omega$$

$$L = 0.791 \text{ H}$$

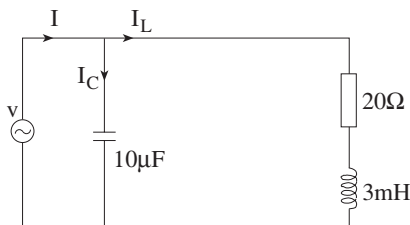
$$\tan \phi = \frac{\omega L}{R_L} = \frac{100\pi \cdot 0.791}{220} \quad .ג.$$

$$\phi = 48.5^\circ$$

ד. דיאגרמת המתחים של המעגל:



8. במעגל, שמתואר בתרשים, מתח המקור הוא: $v = 12\cos 5000t$ המתח v נמדד בוולטים והזמן t בשניות. הנח שהסליל הוא אידיאלי.



א. (1) חשב את הערך המקסימלי של הזרם I_C דרך הקבל, וציין את זווית המופע שלו (ביחס למתח המקור).

(2) חשב את הערך המקסימלי של הזרם I_L דרך הסליל ואת זווית המופע שלו (ביחס למתח המקור).

ב. האם סכום הערכים המקסימליים I_C ו I_L שווה לערך המקסימלי של הזרם העובר דרך המקור? **נמק.**
ג. סרטט את דיאגרמת הזרמים של המעגל, ומצא את הזרם העובר דרך המקור.

7. נגד שהתנגדותו 200Ω וסליל לא אידיאלי מחוברים בטור למקור מתח חילופין שתדירותו 50 Hz . המתח על הדקי המקור הוא 244 V , המתח על הנגד הוא 100 V , והמתח על הסליל הוא 166 V . כל ערכי המתח הם אפקטיביים.

א. מדוע סכום המתחים האפקטיביים שעל הנגד ושעל הסליל אינו שווה למתח המקור?

ב. חשב את:

(1) ההתנגדות האומית של הסליל.

(2) השראות הסליל.

ג. מצא את הפרש המופע בין המתח על הסליל לבין הזרם.

ד. סרטט את דיאגרמת המתחים של המעגל.

7. א. סכום המתחים הרגועים על הנגד ועל הסליל שווה למתח הרגועי של המקור. אילו המתחים על הנגד ועל הסליל היו במופע, אזי סכום ערכי מקסימום של המתחים היה שווה למקסימום של המקור. כיוון שהמתחים אינם במופע, סכום ערכי המקסימום על הנגד ועל הסליל אינו שווה למקסימום של המקור, ולכן אי-השוויון מתקיים גם למתחים אפקטיביים.

ב. הזרם האפקטיבי:

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{100}{200} = 0.5 \text{ A}$$

לגבי הסליל:

$$V_L = 166 \text{ V} \quad ; \quad I = 0.5 \text{ A}$$

העכבה של הסליל:

$$Z_{\text{eff}} = \frac{V_L}{I} = \frac{166}{0.5} = 332 \Omega$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}$$

לכן:

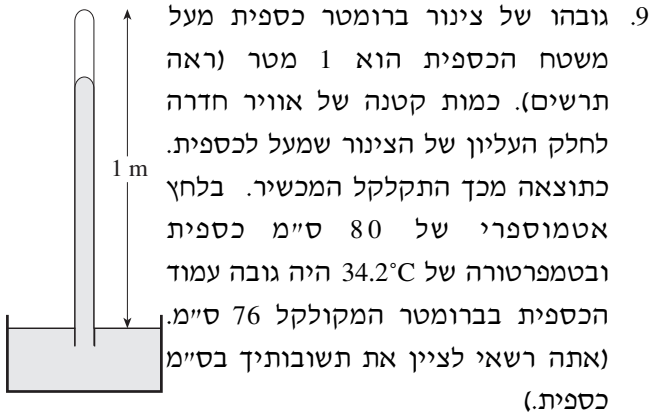
$$(1) \quad 332 = \sqrt{R_L^2 + (2\pi 50L)^2}$$

העכבה של המעגל:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{244}{0.5} = 488 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(R + R_L)^2 + (\omega L)^2}$$

פרק ה. תורת הנוזלים והגזים



9. גובהו של צינור ברומטר כספית מעל משטח הכספית הוא 1 מטר (ראה תרשים). כמות קטנה של אוויר חדרה לחלק העליון של הצינור שמעל לכספית. כתוצאה מכך התקלקל המכשיר. בלחץ אטמוספרי של 80 ס"מ כספית ובטמפרטורה של 34.2°C היה גובה עמוד הכספית בברומטר המקולקל 76 ס"מ. (אתה רשאי לציין את תשובותיך בס"מ כספית).
- א. מהו הלחץ של האוויר הנמצא בחלקו העליון של הברומטר?
- ב. בלחץ אטמוספרי של 70 ס"מ כספית ובטמפרטורה של 15.2°C:
- (1) מהו הלחץ של האוויר שנמצא בחלק העליון של הברומטר?
- (2) מה הלחץ (גובה עמוד הכספית) שמראה הברומטר המקולקל?
- ג. מוסיפים כספית לכלי התחתון של הברומטר, כך שמשטח הכספית עולה ב 1 cm. הסבר מדוע קצה גובה הכספית שבצינור יעלה בפחות מ 1 cm.

9. א. לחץ האוויר בחלק העליון של הברומטר:

$$P_1 = 80 - 76 = 4 \text{ cmHg}$$

ב. לגבי האוויר הכלוא:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$(1) \frac{4 \cdot A \cdot 24}{273 + 34.2} = \frac{P_2 \cdot A \cdot x_2}{273 + 15.2}$$

A - שטח החתך של הצינור.

x_2 - אורך עמוד האוויר בטמפי של 15.2°C

$$(2) P_2 + (100 - x_2) = 70 \text{ cmHg}$$

מ (1) ומ (2) מקבלים שלחץ האוויר הכלוא הוא:

$$P_2 = 2.75 \text{ cmHg}$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{V_C}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{12}{\frac{1}{5000 \cdot 10^{-5}}} \quad (1) \text{ א. 8}$$

$$I_C = 0.6 \text{ A}$$

זווית המופע של הזרם ביחס למתח המקור היא $\pi/2$.

(2) לגבי הנגד והסליל:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \\ &= \sqrt{20^2 + (5000 \cdot 3 \cdot 10^{-3})^2} \end{aligned}$$

$$Z = 25 \Omega$$

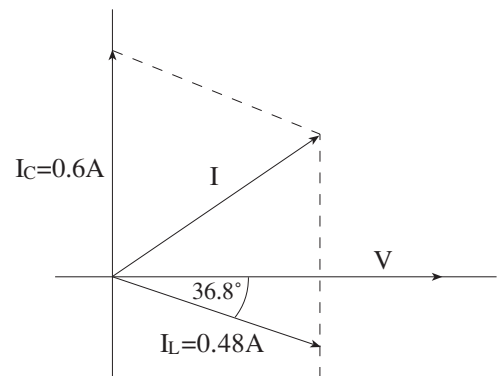
$$I_L = V / Z = 12 / 25$$

$$I_L = 0.48 \text{ A}$$

$$\tan \phi = \frac{\omega L}{R} = \frac{5000 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{20}$$

$$\phi = 36.8^\circ$$

ב. לא, בגלל הפרש המופע בין I_C ל I_L .



$$I = \sqrt{(I_L \cos \phi)^2 + (I_C - I_L \sin \phi)^2}$$

$$I = \sqrt{(0.48 \cos 36.8^\circ)^2 + (0.6 - 0.48 \sin 36.8^\circ)^2}$$

$$I = 0.495 \text{ A}$$

גובה האוויר הכלוא הוא:

$$x_2 = 32.75 \text{ cm}$$

גובה עמוד הכספית:

$$100 - x_2 = 100 - 32.75 = 67.25 \text{ cm}$$

לכן הלחץ שמראה הברומטר המקולקל:

$$67.25 \text{ cmHg}$$

ג. הכספית שבצינור עולה בפחות מ 1 ס"מ, כי לחץ האוויר הכלוא ועוד לחץ עמוד הכספית צריכים להשתוות ללחץ האטמוספרי.

$$Q = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{א. 10}$$

בפתח העליון:

v_2 - מהירות הזרימה

A_2 - שטח החתך

$$A_2 = 2.5 \cdot 100 \text{ cm}^2 = 0.025 \text{ m}^2$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.1}{0.025} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ב. בפתח התחתון:

v_1 - מהירות הזרימה

A_1 - שטח החתך: $A_1 = 0.01 \text{ m}^2$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.1}{0.01} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

לפי נוסחת ברנולי:

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{P_2}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + y_2$$

$$\frac{P_1}{10^3 \cdot 10} = \frac{10^2}{20} + 0 = \frac{10^5}{10^3 \cdot 10} = \frac{4^2}{20} + 20$$

$$P_1 = 2.58 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

ג. הלחץ גדל, כי הלחץ ליד המשאבה שווה ללחץ האטמוספרי פלוס הלחץ ההידרוסטטי:

$$P_1' = P_a + \rho g h = 10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 20 = 3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 > P_1$$

או:

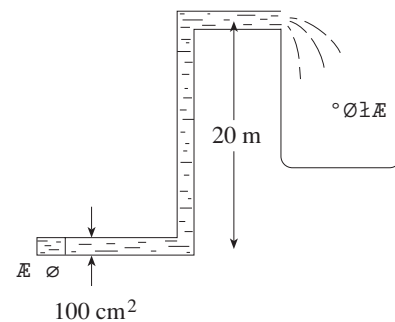
$$P_1 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1' = P_2 + \rho g y_2$$

$$v_2^2 - v_1^2 < 0$$

$$P_1' > P_1 \quad \text{לכן:}$$

10. משאבה מספקת 6 m^3 מים בדקה לבריכה של מגדל מים, הפתוחה לאוויר. המים מוזרמים מהמשאבה דרך צינור, ששטח חתך הרוחב שלו 100 cm^2 . המים נכנסים לבריכה דרך צינור, ששטח חתך הרוחב שלו גדול פי 2.5 משטח חתך רוחב הצינור שלייד המשאבה. הצינור הנכנס לתוך הבריכה נמצא בגובה 20 m מעל למשאבה (ראה תרשים). הלחץ האטמוספרי הוא $10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, צפיפות המים היא $10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



א. באיזו מהירות יוצאים המים מהצינור הרחב אל הבריכה?

ב. מהו לחץ המים ליד המשאבה?

ג. מפסיקים את פעולת המשאבה, ובצינורות נותרים מים עומדים. האם לחץ המים שלייד המשאבה גדל, קטן או נשאר קבוע? **הסבר.**

פרק ו. תרמודינמיקה

11. 1 ק"ג מים בטמפרטורה של 280°K (7°C) עורבבו עם 2 ק"ג מים בטמפרטורה של 310°K (37°C), בתנאים אדיאבטיים. הנח, כי החום הסגולי של המים קבוע

$$4.2 \frac{\text{J}}{\text{gr} \cdot \text{K}}$$

בתחום זה של הטמפרטורות, והוא

א. חשב את טמפרטורת התערובת.
 ב. האם יש שינוי בפונקציית האנרגיה הפנימית של המים (כל 3 הק"ג) כתוצאה מהערבוב? **הסבר**.
 ג. מצא את השינוי הכולל באנטרופיה (המערכת והסביבה) בתהליך זה. ציין בבירור את היחידות שבחשוביך.

ד. לפניך הטענה: בתהליך הערבוב הנתון אין זרימת חום מהסביבה, ולכן $\Delta Q = 0$, ולפי הנוסחה

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \text{גם } \Delta S = 0. \quad \text{הסבר היכן השגיאה בטיעון זה.}$$

11. א. t - טמפרטורת התערובת

החום שנפלט מהמים החמים שווה לחום שנקלט על-ידי המים הקרים, לכן:

$$2 \cdot 4.2(37 - t) = 1 \cdot 4.2(t - 7)$$

$$t = 27^{\circ}\text{C}$$

ב. לא, כי המערכת סגורה, ולא נעשתה שום עבודה על המערכת.

ג.

$$\Delta S = m_1 c_T n \frac{\bar{T}}{T_1} + m_2 c_T n \frac{\bar{T}}{T_2} =$$

$$= 1 \cdot 4200 n \frac{27 + 273}{7 + 273} + 2 \cdot 4200 n \frac{27 + 273}{37 + 273}$$

$$\Delta S = 14.34 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

ד. הנוסחה $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ נכונה רק עבור תהליך הפיך, ואילו

הערבוב איננו תהליך הפיך, אלא ספונטני. לכן אי אפשר להציב בתוך נוסחה זו נתונים מתהליך הפיך.

12. א. החוק הראשון של התרמודינמיקה מנוסח באופן הבא: $\Delta U = Q - W$. כל אות מסמנת פונקציה. אילו מהפונקציות שבניסוח הן פונקציות מצב (תלויות רק במצב ההתחלתי ובמצב הסופי), ואילו מהפונקציות תלויות בתהליך? **הסבר**.

ב. מהביטוי שבסעיף א נסח ביטוי עבור תהליך מחזורי (המערכת חוזרת למצבה המקורי), והסבר אותו באופן מילולי.

ג. 5 מולים של גז אידיאלי **חד-אטומי** נמצאים בטמפרטורה של 400°K , ומתפשטים אדיאבטית מלחץ התחלתי של 10 אטמוספירות ללחץ סופי של אטמוספירה אחת.

(1) חשב את הטמפרטורה הסופית של הגז.

(2) חשב את העבודה שנעשתה על-ידי הגז.

12. א. U - האנרגיה הפנימית היא פונקציית מצב.

Q ו W - כמות החום והעבודה הן פונקציות תלויות בתהליך.

האנרגיה הפנימית תלויה רק במצב החומר ולא בדרך שבה הגיע למצב זה.

כמות החום המושקעת והעבודה המתבצעת במעבר בין שני מצבים, תלויות באופן שבו בוצע המעבר.

ב. בתהליך מחזורי: $\Delta U = 0$

ולכן: $Q = W$

כמות החום שהושקעה, שווה לעבודה שהתבצעה.

$$(1) \quad P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad (1) \quad \text{ג.}$$

$$(2) \quad V = \frac{nRT}{P}$$

מ (1) ומ (2):

$$(3) \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\gamma = \frac{5}{3}$$

$$T_2 = 400 \left(\frac{1}{10} \right)^{\frac{2}{5}}$$

$$T_2 = 159.2 \text{ K}$$

(2) בתהליך אדיאבטי $Q = 0$, ולכן העבודה שנעשתה על ידי הגז:

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - v \frac{u_x}{c^2}} = \frac{0.6c - (-0.6c)}{1 - \frac{(-0.6c) \cdot 0.6c}{c^2}}$$

$$u'_x = 0.88c$$

$$t = \frac{\frac{1}{2} \Delta x}{v} = \frac{90}{0.6 \cdot 300,000} \quad \text{ב.}$$

$$t = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

ג. ביחס לחללית A:

$$t' = \frac{\Delta t - v \frac{\Delta x}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-4} - 0.6c \frac{90}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.6c}{c}\right)^2}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

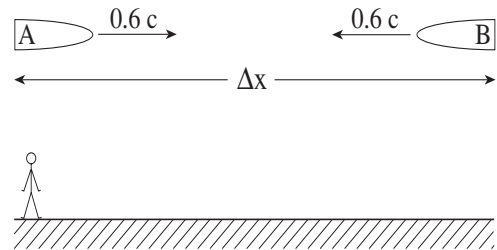
$$t' = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$\begin{aligned} W &= -\Delta U = -nc_v \Delta T = \\ &= -5 \cdot \frac{3}{2} \cdot R(T_2 - T_1) = \\ &= -5 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8.31(159.2 - 400) \end{aligned}$$

$$W = 15008 \text{ J}$$

פרק ז. תורת היחסות הפרטית

13. התרשים שלפניך מתאר שתי חלליות הנעות זו מול זו, מנקודת מבטו של צופה על הקרקע. גודל המהירות של כל אחת מהחלליות ביחס לצופה, שעל הקרקע, הוא 0.6c.



א. מהי מהירותה של החללית B יחסית לטייס בחללית A:

(1) לפי המכניקה הקלאסית?

(2) לפי תורת היחסות?

ב. ברגע שהחללית A נמצאת מעל ראשו של הצופה, הוא מודד את המרחק Δx בין החלליות ומוצא כי הוא 180 km. מצא כעבור כמה זמן, על-פי שעונו של הצופה, ייפגשו שתי החלליות.

ג. מצא בעזרת תשובתך לסעיף ב, כמה זמן, על-פי שעונו של טייס החללית A, עבר מן הרגע שבו חלף טייס החללית A מעל הצופה, ועד לרגע שהחללית B נפגשה עם החללית A.

$$13. \text{א. } v_{B,A} = v_B - v_A = 0.6c - (-0.6c) = 1.2c \quad (1)$$

(הכיוון שמאלה נבחר כחיובי)

(2) u'_x - מהירות B ביחס לצופה על הקרקע

u'_x - מהירות B ביחס ל A

14. חלקיק π , שמסת המנוחה שלו היא $140 \text{ MeV}/c^2$, מתפרק לחלקיק μ , שמסת המנוחה שלו היא $106 \text{ MeV}/c^2$, ולנויטרינו ν שהוא חסר מסת מנוחה (בדומה לפוטון). נתון כי חלקיק ה π נמצא במנוחה לפני ההתפרקות.

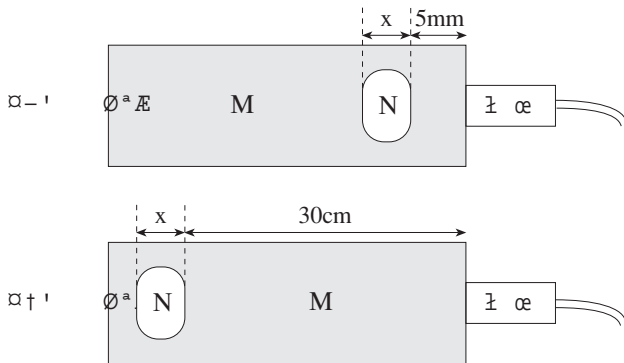
א. אם התנע של החלקיק μ הוא \vec{p} , מהו התנע של הנויטרינו? **הסבר.**

ב. הפרש מסות המנוחה של π ושל μ הוא $\Delta m = 34 \text{ MeV}/c^2$. האם אנרגיית הנויטרינו שנוצר בהתפרקות, גדולה, קטנה או שווה ל Δmc^2 ? **הסבר ללא חישוב.**

ג. חשב את האנרגיה של הנויטרינו. בטא אותה ביחידות MeV.

14. א. לפני ההתפרקות התנע שווה לאפס, לכן גם לאחר ההתפרקות התנע הכולל חייב להיות שווה לאפס, לכן התנע של הנויטרינו הוא $-\vec{p}$.

בתרשימים מתוארות שתי בדיקות, שמטרתן לאתר גוף זר N ולמדוד את עוביו x בתוך M.



- א. בבדיקה (1) הפרש הזמנים בין קליטת שני הדים מקצות הגוף N היה 2.5 מיקרושניות. חשב את העובי x.
- ב. בבדיקה (1) השתמשו במתמר A ושידרו לתוך אות על-קולי שעוצמתו I_0 . עוצמת ההד הראשון שהוחזר מהגוף הזר N ונקלט במתמר הייתה $0.3 I_0$. חשב את העכבה האופיינית של החומר ממנו עשוי גוף N.
- ג. בבדיקה (2) משתמשים במתמר B. מה תהיה במקרה זה עוצמתו של ההד הראשון מ N?
- ד. באיזה מתמר רצוי להשתמש בכל אחת מן הבדיקות? **נמק.**

15. א. חישוב המרחק לפי: $2x = vt$

$$x = \frac{vt}{2} = \frac{1600 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{2} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

ב. עוצמת ההד הראשון ממרחק $y = 0.5 \text{ cm}$ לפי $\alpha = 0.05 \text{ cm}^{-1}$

(1) $I = I_0 R e^{-2\alpha y}$

$0.3 I_0 = I_0 R e^{-2 \cdot 0.05 \cdot 0.5} \approx 0.95 I_0 R$

$R = 0.3/0.95 \approx 0.315$

מקדם החזרה Z_n מתקבל כפתרון המשוואה הבאה:

$R = [(Z_N - Z_M) / (Z_N + Z_M)]^2 = 0.315$

$R = [(Z_N - 1.4) / (Z_N + Z_M)]^2 = 0.315$

$(Z_N - 1.4) / (Z_N + 1.4) = 0.56$

$(Z_N - 1.4) / (Z_N + 1.4) = -0.56$

ב. האנרגיה של הנויטרינו **קטנה** מ $34 \frac{\text{MeV}}{c^2}$.

הסבר: לחלקיק μ יש גם אנרגיה קינטית (שהרי יש לו תנע). לכן האנרגיה הכוללת שלו גדולה מ

$106 \frac{\text{MeV}}{c^2}$. לכן האנרגיה של הנויטרינו חייבת להיות

קטנה מההפרש בין מסות המנוחה.

ג. אנרגיית הנויטרינו E_ν

$E_{\nu/c}$ - התנע של הנויטרינו

האנרגיה הכוללת של חלקיק ה μ :

(1) $E_\mu^2 = p_\mu^2 c^2 + (m_{o,\mu} c^2)^2$

מחוק שימור התנע:

(2) $p_\mu = -p_\nu = \frac{E_\nu}{c}$

מהצבת (2) ב (1):

(3) $E_\mu^2 = \frac{E_\nu^2}{c^2} c^2 + 106^2 (\text{MeV})^2$

משימור האנרגיה:

(4) $E_\mu + E_\nu = 140 \text{ MeV}$

מ (3) ו (4):

$E_\nu \approx 30 \text{ MeV}$

פרק ח. אבחון רפואי

15. למכשיר בדיקה באולטרסאונד ניתן לחבר מתמרים

המשדרים בתדר שונה, בהתאם לצרכים. לרשותך שני

מתמרים: מתמר A משדר פולסים על-קוליים ב 1

MHz, ומתמר B משדר פולסים על-קוליים ב 7 MHz.

בטבלה שלפניך נתונים מאפייני ההתנהגות האקוסטית

בתוך M בשני התדרים:

מקדם הנחתה $\frac{1}{\text{cm}}$	עכבה אופיינית $(10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}})$	מהירות הקול $(\frac{\text{m}}{\text{s}})$	תדירות (MHz)
0.05	1.4	1600	1
0.25	1.4	1600	7

למשוואה ריבועית זו שני פתרונות:

$$Z_N \approx 0.4 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (1)$$

$$Z_N \approx 5 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (2)$$

ג. עוצמת ההד הראשון ממרחק $y = 30 \text{ cm}$

$$\alpha = 0.25 \text{ cm}^{-1}$$

$$(2) \quad I = I_0 R e^{-2\alpha y}$$

$$I = I_0 0.315 e^{-2 \cdot 0.25 \cdot 30} \approx 9.6 \cdot 10^{-8} I_0$$

ד. במקרה (1) רצוי להשתמש במתמ B , שבו אורך הגל הקצר יותר מאפשר כושר הפרדה גבוה יותר. במקרה (2), שבו המרחק גדול (בדיקת עומק), ההנחתה תהיה גדולה, ורצוי להשתמש במתמ A .

16. במעבדות הפיתוח מנסים להתאים חומרים חדשים, שישמשו כעוקבים למיפוי רדיואקטיבי של איבר מסוים. בשלב האחרון של ההתאמה נותרו שלושה חומרים D, C, B . להלן סיכום תכונותיהם:

חומר	B	C	D
T_m - הזמן (מרגע ההחדרה לגוף) הדרוש להשגת ריכוז מרבי באיבר (שעות)	0.5	4	2
זמן מחצית חיים ביולוגי (שעות)	6	12	8

שלושת העוקבים מסומנים ברדיואיזוטופ ^{99}Tc , שפעילותו הכוללת ברגע ההחדרה לגוף היא A_0 .

א. חשב את זמן מחצית החיים השקול לכל אחד מן העוקבים.

ב. עבור איזה מן העוקבים תהיה הפעילות הגדולה ביותר מתוך האיבר ברגע T_m ? **נמק.** הנח כי לאחר זמן T_m כל החומר שהוחדר מתרכז באיבר הנבדק.

ג. עבור איזה מן העוקבים תיוותר בגוף הפעילות המרבית לאחר 24 שעות? **נמק.**

ד. באיזה מבין העוקבים היית ממליץ להשתמש לבדיקת האיבר? **נמק.**

16. א. חישוב זמן מחצית החיים השקול:
 $1 / T_e = 1 / T_p + 1 / T_b$

שעות $T_p = 6$ - זמן מחצית חיים פיסיקלי

T_b - זמן מחצית החיים הביולוגי של כל עוקב

חומר	B	C	D
T_e שעות:	3	4	3.4

ב. פעילות העוקב באיבר בזמן הבדיקה (T_m):

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda T_m}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_e}$$

חומר	B	C	D
פעילות העוקב ברגע T_m :	$0.89A_0$	$0.5A_0$	$0.66A_0$

הפעילות הגדולה ביותר היא של חומר B.

ג. פעילות העוקב לאחר 24 שעות:

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

שעות $t = 24$

$$\lambda_e = \frac{\ln 2}{T_e}$$

חומר	B	C	D
פעילות העוקב בגוף לאחר 24 שעות:	$0.0039A_0$	$0.0157A_0$	$0.0078A_0$

הפעילות הגדולה ביותר היא של חומר C.

ד. החומר המתאים ביותר הוא B, כיוון שפעילותו המירבית באיבר בזמן הבדיקה היא הגבוהה ביותר, והפעילות הנותרת בגוף לאחר הבדיקה דועכת במהירות הרבה ביותר - זמן מחצית החיים השקול הוא מינימלי.

פרק ט. אסטרופיסיקה

17. כאשר בודקים את הקרינה הנפלטה מהשמש, מתברר

כי השמש פולטת את מקסימום צפיפות הספק הקרינה

$$\lambda_{\max} = 5000 \text{ \AA}$$

א. חשב את הטמפרטורה על-פני השמש.

ב. חשב את בהירות השמש (הספק הקרינה הכולל).

המסה של הגלקסיה, בהנחה שהיא מכילה כוכבים, שבהירות כל אחד מהם היא $3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$ ומסת כל אחד מהם $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

ג. הסבר כיצד נוצרת האנרגיה בשמש.
 ד. בספקטרום הקרינה הנפלטת מהשמש מופיעים קווים שחורים (הידועים בשם קווי פראונהופר). מה הסיבה להופעת קווי פראונהופר?

18. א. $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

$$\frac{1277 - 1216}{1216} = \frac{v}{c}$$

$$v = 0.05 c$$

לכן:

ב. $r = \frac{v}{H_0} = \frac{0.05 \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^4}$

$$r = 300 \text{ Mpc}$$

התוצאה המתקבלת היא הערכה בלבד, וערכו המספרי של קבוע הבל יכול להיות כפליים מהערך שנבחר, כי H_0 בתחום של:

$$50 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \quad \text{---} \quad 100 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$

ג. M - מסת הגלקסיה

מספר הכוכבים $M = 2 \cdot 10^{30}$

$$= 2 \cdot 10^{30} \cdot \frac{L}{L_0}$$

$$= 2 \cdot 10^{30} \cdot \frac{4\pi r^2 s}{L_0}$$

$$= 2 \cdot 10^{30} \cdot \frac{4\pi(300 \cdot 10^6 \cdot 3.1 \cdot 10^8)^2 \cdot 4.2 \cdot 10^{-14}}{3.9 \cdot 10^{26}}$$

$$M = 2.3 \cdot 10^{41} \text{ kg}$$

17. א. על-פי חוק ההעתק של וין:

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

$$5000 \cdot 10^{-10} \cdot T = 2.9 \cdot 10^{-3}$$

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

ב. $L = 4 \pi R^2 \sigma T^2 =$

$$= 4 \pi (7 \cdot 10^8)^2 \cdot 5.67 \cdot 10^8 \cdot (5800)^4$$

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

ג. האנרגיה בשמש נוצרת על-ידי תהליכי מיזוג של גרעיני מימן להליום.

ד. הופעת קווי פראונהופר נובעת מבלעה על-ידי גזים המקיפים את השמש.

18. לקו ספקטרום מסוים אורך גל של 1216 \AA . אורך הגל של אותו קו ספקטרום, שזוהה בספקטרום של אחת מן הגלקסיות, היה 1277 \AA .

א. חשב את מהירות ההתרחקות של הגלקסיה מאתנו.
 ב. הערך את מרחקה של הגלקסיה מאתנו, והסבר את שיקולך.
 ג. שטף הקרינה (בתחום הנראה) המגיע אל כדור-הארץ מן הגלקסיה הוא: $4.2 \cdot 10^{-14} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. מצא את

כחיוקן... 

יוב האלמנט הבצבוע למחילוב כחילוב הקובש ומסמילומי כאחונות טפאוגי.
 ט.ה. הקסלי
 גאורטיוקין: אבץ המחבא כיצב יפדל הניסוי שלך ולאחר מכן מסביר לך למה לא פדל