



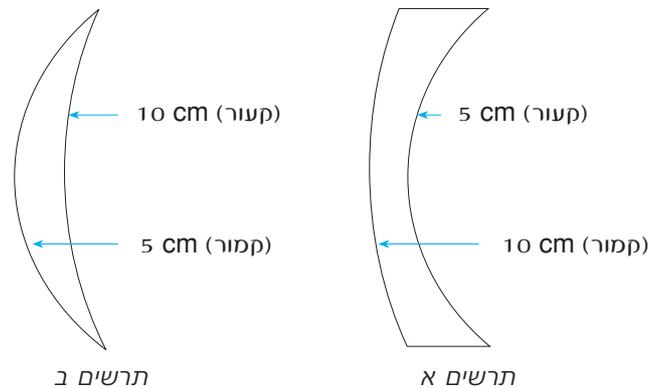
# בחנים מבחנים ובעיות

## בחנית הבגרות בפיזיקה קיץ תש"ס פרקי בחירה ופתרונות מלאים\*

עדי רוזן, המחלקה להוראת המדעים, רחובות ומשרד החינוך, ירושלים

### פרק ראשון – תורת האור והגלים

1. מציבים עצם לפני עדשת משקפיים במרחק 30cm ממנה. על מסך מתקבלת דמות הפוכה של העצם המוגדלת פי 2.
  - א. האם העדשה מרכזת או מפזרת? **נמק.** (5 נקודות)
  - ב. (1) חשב את מרחק המוקד של העדשה. (2) חשב את עוצמת העדשה בדיופטרים. (15 נקודות)
  - ג. לעדשת משקפיים זו משטח אחד קמור ומשטח אחד קעור. למשטח אחד רדיוס עקמומיות של 5cm, ולמשטח האחר רדיוס עקמומיות של 10 cm. (1) איזה משני התרשימים, א או ב, מתאים לעדשת משקפיים זו?



- ב. (2) חשב את מקדם השבירה של החומר שממנו עשויה העדשה. (15 נקודות)
- ד. עדשה זו היא של משקפיים השייכים לאדם רחוק-רואי. הסבר כיצד עדשה זו מתקנת את ליקוי הראייה של אדם זה. (15 נקודות)

1. א. העדשה מרכזת, כי בעדשה מרכזת מפזרת הדמויות הן מדומות, לכן אינן יכולות להתקבל על מסך. **אז:** רק מעדשה מרכזת מתקבלת דמות הפוכה (בעדשה מפזרת הדמות תמיד ישרה). ב. (1) הגדלה קווית:

$$(1) m = \frac{v}{u} = 2$$

$$\frac{v}{30} = 2 \Rightarrow v = 60\text{cm}$$

$$(2) \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{1}{f}$$

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

(2) עוצמת העדשה:

$$(3) C = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.2}$$

$$C = 5\text{ D}$$

- ג. (1) תרשים ב מתאים לעדשת משקפיים זו.

$$(4) \frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{עדשה}}}{n_{\text{סביבה}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{20} = (n_{\text{עדשה}} - 1) \left( \frac{1}{5} - \frac{1}{10} \right)$$

$$n_{\text{עדשה}} = 1.5$$

- ד. מרחק הראייה הברורה, d, של אדם רחוק רואי הוא גדול מדי. העדשה מאפשרת לאדם לראות בבירור עצמים קרובים, כך שהיא יוצרת דמות במרחק גדול או שווה ל-d.

\* זכות היוצרים על השאלונים היא של המדינה באמצעות משרד החינוך והתרבות. התשובות לשאלות אינן מטעם משרד החינוך והתרבות אלא באחריות החתום על המאמר.

**מפתח הערכה:**

1. א. 30% לתשובה.

70% לנימוק.

ב. 70% ל-(1):

15% למשוואה (1),

20% למשוואה (2),

25% להצבה,

10% לתשובה נומרית עם יחידות.

30% ל-(2):

5% לקשר (3),

5% להצבה (ביחידות אורך כלשהן),

5% לתשובה נומרית,

15% לתשובה בדיופטרים.

ג. (1) 30% ל-(1).

(2) 70% ל-(2):

25% לנוסחה (4),

30% להצבה (אם הציב ערכים חיוביים לשני

הרדיוסים, לא יקבל את ה-30%),

15% לתשובה נומרית נכונה.

ד. 50% לציון העובדה שאדם רחוק רואי אינו רואה בבירור

עצמים קרובים.

50% עבור העובדה שהעדשה יוצרת דמות של עצמים

קרובים במרחק מספיק גדול, שבו האדם רואה בבירור.

- מלוא הנקודות לתשובה: אצל אדם רחוק רואי

קרניים, הבאות מעצם קרוב ונשברות בעדשה של

העין, אינן יוצרות דמות על הרשתית אלא אחריה.

יש לשנות את מוקד עדשת העין, כך שהעדשה תרכז

יותר (עוצמת העדשה תגדל), לכן יש להשתמש

בעדשה מרכזת.

2. התרשים שלפניך מתאר ספקטרומטר הכולל שני לוחות

שצורתם (במבט מלמעלה) קשת של מעגל וביניהם מרווח

צר, וכן סריג עקיפה שהקבוע שלו 5300 חריצים לס"מ,

והוא מקביל למרווח. החריצים בסריג הם אנכיים, וכל

חלקי הספקטרומטר צבועים בשחור. תלמיד הפעיל מנורת

כספית וראה (ישירות ולא דרך הספקטרומטר) שצבעה

סגול. התלמיד הציב את מנורת הכספית מאחורי המרווח

שבין לוחות הספקטרומטר (ראה תרשים), והתבונן דרך

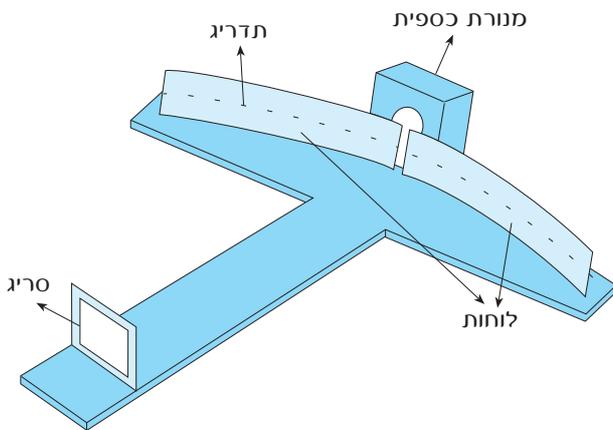
הסריג בקווי הספקטרום על רקע תדרים (סקלה) המסומן

על הלוחות. הוא מצא שבסדר ראשון מופיעים ארבעה

קווים ספקטראליים, שזוויות הסטייה שלהם מהקו המחבר

את אמצע הסריג עם אמצע המרווח הן:

12.3°, 13.2°, 16.9° ו-17.9°.



א. חשב את אורכי הגל של ארבעת הקווים הספקטראליים.

(15 נקודות)

ב. מהו צבע האור בסדר אפס (הפס המרכזי) שראה

התלמיד דרך הסריג? **הסבר**. (10 נקודות)

ג. מדוע כל חלקי הספקטרומטר נצבעו בשחור?

(10 נקודות)

ד. כאשר התלמיד הרחיק את לוחות הספקטרומטר כך

שהמרווח גדל, נראו הקווים הספקטראליים רחבים

יותר. הסבר את התופעה. (5 נקודות)

ה. התלמיד החליף את מנורת הכספית במנורת להט

(הפולטת אור לבן), והתבונן דרך הסריג בספקטרום

שנוצר.

(1) איזה שינוי חל בסדר אפס? **הסבר**.

(2) האם חל שינוי בסדר ראשון? **הסבר**. (10 נקודות)

2. א. נוסחת הסריג:  $\sin\theta_n = nN \cdot \lambda$

עבור סדר ראשון:  $\sin\theta_1 = N \cdot \lambda$

הקו הראשון:  $\sin 12.3^\circ = 5300\lambda_1$

$$\lambda_1 = 4.019 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 4019 \text{ \AA}$$

הקו השני:  $\sin 13.2^\circ = 5300\lambda_2$

$$\lambda_2 = 4.309 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\lambda_2 = 4309 \text{ \AA}$$

הקו השלישי:  $\sin 16.9^\circ = 5300\lambda_3$

$$\lambda_3 = 5.485 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\lambda_3 = 5485 \text{ \AA}$$

### פרק שני – פיזיקה מודרנית

3. א. אחת ההנחות שעליהן מבוסס המודל של בוהר לאטום המימן היא הקשר:

$$I. m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$$

הראה כי קשר I שקול להנחה שהיקף המסלול המעגלי של האלקטרון הוא כפולה שלמה של אורך גל דה-ברויי של האלקטרון. (10 נקודות)  
 ב. (1) הראה, בעזרת המודל של בוהר, כי הרדיוסים של המסלולים המעגליים של האלקטרון, הנע סביב גרעין אטום המימן, מקיימים את הקשר:

$$II. r = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} n^2$$

אינך רשאי להשתמש בביטויים הרשומים בדף הנוסחאות עבור הרדיוסים של מסלולי האלקטרון באטום מימן.  
 (2) הראה שמקשר II נובע שרדיוסי המעגלים הם בדידים. (25 נקודות)  
 ג. מתברר כי אפשר ליישם את ההנחה של בוהר, המבוססת בקשר I, גם על אלקטרון הנע במסלול מעגלי בשדה מגנטי אחיד.  
 (1) הראה, בעזרת קשר I, כי הרדיוסים של המסלולים המעגליים של האלקטרון, הנע בשדה מגנטי אחיד B, מקיימים את הקשר:

$$III. r = \sqrt{\frac{h}{2\pi e B}} n$$

(2) הראה שמקשר III נובע שרדיוסי המעגלים הם בדידים. (15 נקודות)

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{א. 3}$$

$$2\pi r = n \frac{h}{m_e v} \quad \text{נכפיל ב-} \frac{2\pi}{m_e v} \text{ ונקבל:}$$

אגף שמאל הוא היקף מסלול מעגלי.  
 הגורם השני באגף ימין הוא אורך גל דה-ברויי.

n - מספר שלם טבעי.

ב. (1) הנחת המודל של בוהר:

$$(1) m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$$

הקו הרביעי:  $\sin 17.9^\circ = 5300 \lambda_4$

$$\lambda_4 = 5.799 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\lambda_4 = 5799 \text{ \AA}$$

ב. סגול. בסדר אפס האור אינו מופרד למרכיביו.  
 או:  $\sin \theta_0 = 0$ , לכן  $\theta_0 = 0$ .  
 ג. כדי לבלוע את האור הפוגע בו (ועל-ידי כך למנוע החזרת אור כלפי הסריג).  
 ד. כאשר המרווח גדל, עובר דרכו אור מכיוונים שונים - ממקורות אור נקודתיים שונים של המנורה. כל מקור אור נקודתי יצר קווים ספקטרלים שמיקומם שונה מעט זה מזה. הצירוף של כל הקווים הספקטריים, המתאימים לאורך גל מסוים, יצר קו ספקטרי רחב.  
 ה. (1) יהיה לבן במקום סגול. בסדר אפס האור אינו מופרד למרכיביו.  
 (2) בסדר ראשון יחול שינוי כי יתקבל ספקטרום רציף (כל אורכי הגל) ולא קווי.

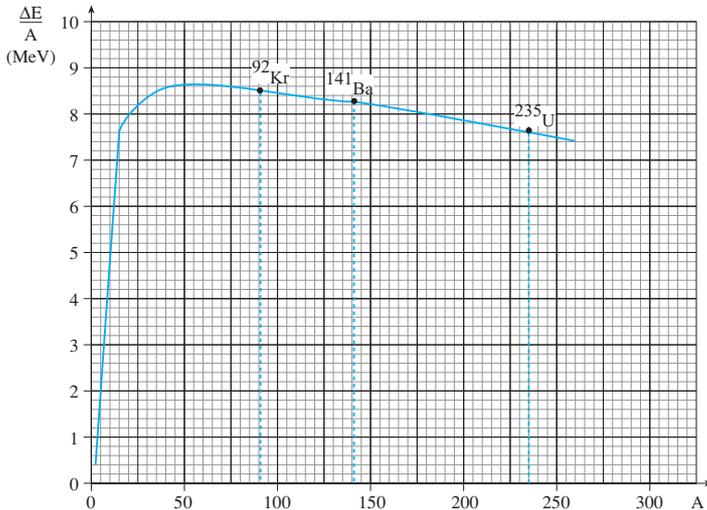
### מפתח הערכה:

2. א. 20% עבור נוסחת הסריג.  
 4x15% עבור הצבה וחישוב אורך גל.  
 4x5% עבור יחידות. (יכול לבחור ביחידות כלשהן).  
 ב. 60% לתשובה.  
 40% לנימוק.  
 - אם כתב שהצבע לבן, ורשם את הנימוק המופיע בפתרון, יקבל את ה-40%.  
 ה. (1) 40% ל-1):  
 30% לתשובה,  
 10% להסבר.  
 (2) 60% ל-2):  
 15% לקביעה,  
 45% להסבר.  
 - אם ציין שיהיו אורכי גל שונים מאלה של מנורת הכספית (ולא התייחס לרציפות), לתת 25% (במקום 45%).

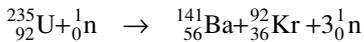
- 50% לקשר (2),
- 15% להגעה לביטוי המבוקש.
- (2) 25% ל-(2):
- 20% ל- $\sqrt{n}$  ערכים בדידים.
- 5% ל- $\sqrt{\frac{h}{2\pi eB}}$  גודל קבוע.

- אם התייחס בצורה נכונה ל- $n^2$ , לא להוריד נקודות.

4. התרשים שלפניך מתאר את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון,  $\Delta E/A$ , ביחידה MeV (מיליון אלקטרון וולט) כפונקציה של מספר המסה, A.
- $\Delta E$  - אנרגיית הקשר של גרעין אטום, כלומר האנרגיה הדרושה להפריד בין כל הנוקלאונים של הגרעין.
- A - מספר המסה של גרעין (מספר נוקלאונים בגרעין).



לפניך תהליך ביקוע גרעיני אופייני:



- א. היעזר בגרף והראה כי אנרגיית הקשר של  $\Delta E$  של גרעין  ${}_{92}^{235}\text{U}$  יחיד שווה בקירוב ל- $2.8 \cdot 10^{-10}\text{J}$ . (15 נקודות)
- ב. היעזר בגרף וחשב את אנרגיית הקשר של גרעין  ${}_{56}^{141}\text{Ba}$  יחיד, ואת אנרגיית הקשר של גרעין  ${}_{36}^{92}\text{Kr}$  יחיד. (15 נקודות)
- ג. האנרגיה הקינטית הכוללת של תוצרי הביקוע גדולה מהאנרגיה הקינטית הכוללת של המגיבים ( ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n}$ ). הסבר מהו המקור לתוספת באנרגיה הקינטית. (10 נקודות)

החוק השני של ניוטון עבור אלקטרון

$$(2) \quad k \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r} \quad \text{באטום מימן:}$$

מקשרים (1) ו-(2) ומקבלים:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} \cdot n^2$$

(2) הביטוי ל-r מורכב מהגורם  $\frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$  שהוא

מספר (קבוע) ומהגורם  $n^2$  שמקבל ערכים בדידים (שלמים). המכפלה של מספר קבוע בערכים בדידים (שלמים) היא ערכים בדידים.

ג. (1) הנחת המודל של בוהר:

$$(1) \quad m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$$

החוק השני של ניוטון עבור אלקטרון בשדה מגנטי:

$$(2) \quad Bev = \frac{mv^2}{r}$$

מקשרים (1) ו-(2) נובע כי:

$$r = \sqrt{\frac{h}{2\pi eB}} \cdot n$$

(2) רדיוסי המעגלים שווים למכפלה של גודל קבוע,

בגדלים בדידים  $\sqrt{n}$  ( $\sqrt{n}$  מקבל ערכים:

$1, \sqrt{2}, \sqrt{3}, \dots$ ), ותוצאות המכפלות הם ערכים בדידים.

### מפתח הערכה:

3. ב. (1) 75% ל-(1):

10% לקשר (1),

50% לקשר (2),

15% להגעה לביטוי הנדרש.

(2) 25% ל-(2):

20% ל- $n^2$  ערכים בדידים (שלמים), או: n מקבל

ערכים 1, 2, 3, ...

5% ל- $\frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$  מספר קבוע.

ג. (1) 75% ל-(1):

10% לקשר (1),

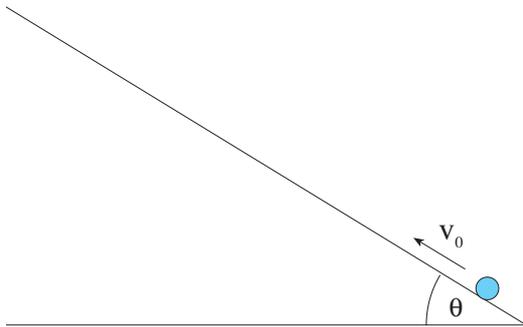
- אם חישוב על-פי הפרשי מסות:

$$\Delta E = M_U + M_n - (M_{Ba} + M_{Kr} + 3M_n)$$

לתת את מלוא הנקודות.

### פרק שלישי – מכניקה של גוף קשיח

5. תלמיד מגלגל כדור במעלה מדרון. ברגע מסוים הוא מרפה ממנו, ואז הכדור מתגלגל בלי החלקה במהירות התחלתית  $v_0$  במעלה המדרון. הכדור נעצר במרחק  $s$  מהנקודה שבה התלמיד הרפה ממנו. נתון כי הכדור אחיד, מסתו  $M$ , רדיוסו  $R$  וזווית השיפוע של המדרון היא  $\theta$ .



- חשב את המרחק  $s$ . בטא את תשובתך בעזרת הגדלים  $v_0$ ,  $\theta$  (ותאוצת הנפילה החופשית  $g$ ). (20 נקודות)
- הסבר מדוע המרחק  $s$  גדול מהמרחק שהיה מתקבל עבור תיבה המתחילה לנוע במהירות התחלתית  $v_0$  ונעה בלי חיכוך (ובלי גלגול). (10 נקודות)
- בטא באמצעות  $v_0$  ו- $\theta$  את הזמן שבו עובר הכדור את המרחק  $s$  במעלה המדרון. (10 נקודות)
- האם הזמן שמצאת בסעיף ג גדול מהזמן שהיה מתקבל עבור התיבה הנעה בלי חיכוך (סעיף ב), שווה לו או קטן ממנו? **נמק.** (10 נקודות)

5. א. על-פי חוק שימור האנרגיה, האנרגיה הכוללת  $E_0$  של הכדור, כאשר התלמיד מרפה ממנו, שווה לאנרגיה הכוללת  $E$  של הכדור בשיא הגובה:

$$E_0 = E$$

$$(1) \quad \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{I\omega_0^2}{2} = Mgh \quad \text{לכן:}$$

$$(2) \quad I = \frac{2}{5}MR^2$$

$$(3) \quad \omega_0 = \frac{v_0}{R}$$

ד. חשב בקירוב את האנרגיה המשתחררת בביקוע  $1 \text{ kg}$  של  ${}^{235}_{92}\text{U}$  בתהליך הנתון, אם ידוע כי ב-  $1 \text{ kg}$  של  ${}^{235}_{92}\text{U}$  יש כ-  $2.5 \cdot 10^{24}$  אטומים. (10 נקודות)

4. א. על-פי הגרף, אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון היא  $7.6 \text{ MeV}$ . לכן האנרגיה לכל הגרעין היא:

$$\Delta E_U = 7.6 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 235 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}} = 2.86 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

ב. אנרגיית קשר של Ba:

$$\Delta E_{Ba} = 8.4 \cdot 10^6 \cdot 141 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$$

$$\Delta E_{Ba} = 1.90 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

אנרגיית קשר של Kr:

$$\Delta E_{Kr} = 8.5 \cdot 10^6 \cdot 92 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$$

$$\Delta E_{Kr} = 1.25 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

ג. המקור לתוספת באנרגיה הקינטית הכוללת הוא ההפרש בין אנרגיות הקשר של התוצרים  $\Delta E_{Ba} + \Delta E_{Kr} = 1.90 \cdot 10^{-10} + 1.25 \cdot 10^{-10} = 3.15 \cdot 10^{-10} \text{ J}$  לבין אנרגיות הקשר של המגיבים ( $2.86 \cdot 10^{-10} \text{ J}$ ).  
ד. האנרגיה המשתחררת בביקוע של גרעין אורניום יחיד:

$$\Delta E_{Ba} + \Delta E_{Kr} - \Delta E_U = 1.90 \cdot 10^{-10} + 1.25 \cdot 10^{-10} - 2.86 \cdot 10^{-10} = 0.28 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

האנרגיה המשתחררת בביקוע של  $1 \text{ kg}$  אורניום:

$$\Delta E = 0.28 \cdot 10^{-10} \cdot 2.5 \cdot 10^{24}$$

$$\Delta E = 7 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

### מפתח הערכה:

- 20% עבור קריאת  $7.6 \text{ MeV}$  מהגרף.  
50% עבור הכפלה ב-235.  
20% עבור הכפלה ב- $1.6 \cdot 10^{-19}$ .  
10% עבור הכפלה ב- $10^6$ .
- 50% לשתי אנרגיות הקשר.
- אם רק כתב: המקור הוא אנרגיית הקשר של אורניום, לתת את מלוא הנקודות.
- אם נימק על-פי הפרש בין מסת האורניום לבין סכום מסות התוצרים, לתת את מלוא הנקודות.
- 60% לחישוב האנרגיה המשתחררת בביקוע גרעין אורניום יחיד.  
40% לחישוב האנרגיה המשתחררת בביקוע  $1 \text{ kg}$  אורניום.

### מפתח הערכה:

5. א. 20% עבור הרעיון שהאנרגיה ההתחלתית שווה

לאנרגיה הסופית.

55% לקשר (1).

5% לקשר (2).

5% לקשר (3).

5% לקשר (4).

10% לקשר סופי נכון.

ג. 30% לקשר (1).

30% לקשר (2).

5% לקשר (3).

5% לקשר (4).

10% לקשר (7).

20% להגעה לביטוי סופי.

### פתרון אחר

$$v^2 = v_0^2 - 2as$$

$$s = \frac{7v_0^2}{10g \sin \theta}$$

$$a = \frac{v_0^2}{2 \cdot s} = \frac{5g \sin \theta}{7}$$

### ניקוד לפתרון האחר

30% לנוסחה  $v^2 = v_0^2 - 2as$ .

30% להצבת v ו-s בנוסחה.

10% לביטוי עבור a.

10% לקשר (7).

20% להגעה לביטוי סופי.

6. דסקה גדולה ואחידה, שהמסה שלה 10kg והרדיוס שלה

30cm, מסתובבת במהירות זוויתית של  $5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  סביב ציר

אנכי העובר במרכזה. על הדסקה חרוטה מסילה רדיאלית רדודה. על המסילה מונח גוף קטן שמסתו 4 kg, והוא יכול לנוע רק לאורך המסילה הרדיאלית. דרך הציר קדחו חור, ודרכו העבירו חוט הקשור בקצה אחד לגוף שעל המסילה. הקצה האחר של החוט מוחזק כך שהגוף נמצא בקצה הדסקה המסתובבת. הזנח את כוחות החיכוך.

א. חשב את האנרגיה הקינטית (הסיבובית) של המערכת במצב המתואר בתרשים. (10 נקודות)

ב. מושכים את החוט כלפי מטה עד שהגוף מגיע למרחק

$$(4) h = s \cdot \sin \theta$$

מהצבת (2), (3) ו-(4) ב-(1) מקבלים:

$$s = \frac{7v_0^2}{10g \sin \theta}$$

### ב. פתרון מילולי:

לכדור ולתיבה יש אותה אנרגיה קינטית של מרכז המסה, אך לכדור יש בנוסף לכך אנרגיה קינטית סיבובית. לכן האנרגיה הכוללת של הכדור גדולה יותר, והוא ייעצר בנקודה גבוהה יותר (המרחק s שהוא יעבור יהיה גדול יותר).

### פתרון נומרי:

עבור התיבה במעלה המדרון:

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot \sin \theta \cdot x$$

$$x = \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \sin \theta}$$

מכאן:  $x < s$ .

ג. על-פי חוק השני של ניוטון (ציר x בכיוון המורד):

$$(1) Mg \sin \theta - f_s = Ma$$

$$(2) R \cdot f_s = I\alpha$$

$$(3) I = \frac{2}{5} MR^2$$

$$(4) \alpha = \frac{a}{R}$$

מהקשרים (2), (3) ו-(4) נקבל:

$$(5) f_s = \frac{2}{5} Ma$$

מהצבת (5) ב-(1) נקבל:

$$(6) a = \frac{5g \sin \theta}{7}$$

$$(7) v = v_0 + at$$

$$0 = -v_0 + at$$

מהצבת (6) במשוואה האחרונה נקבל:

$$t = \frac{7v_0}{5g \sin \theta}$$

ד. תאוצת הכדור (ביטוי (6) לעיל) קטנה מתאוצת התיבה ( $g \sin \theta$ ).

יש להם אותה מהירות התחלתית, לכן הכדור יעבור את אותה הדרך בזמן ארוך יותר (המחושב בסעיף ג גדול יותר).

$$\omega_1 = 7.5 \text{ rad/s}$$

$$(1) \quad E_k = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} MR^2 + mr^2 \right) \omega_1^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \cdot 10(0.3)^2 + 4(0.15)^2 \right) \cdot 7.5^2$$

$$E_k = 15.1875 \text{ J}$$

$$E_k > E_k^0 \quad \text{לכן:}$$

(2) מקור הפרש באנרגיות הקינטיות הוא העבודה שעשה המושך בחוט על המערכת.

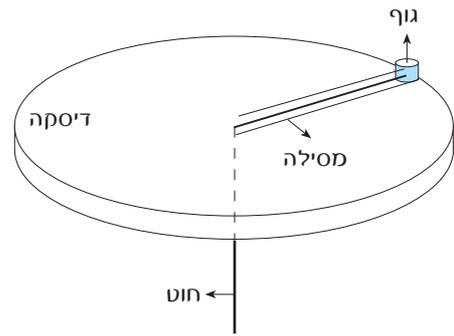
ד. שימור תנע זוויתי:

$$(1) \quad \left( \frac{1}{2} MR^2 + mR^2 \right) \omega_0 = \frac{1}{2} MR^2 \omega_2 + Rmv$$

$$(2) \quad v = \omega_0 R$$

אחרי הצבת (2) ב-(1) מקבלים:

$$\omega_2 = \omega_0 = 5 \text{ rad/s}$$



של 15 cm מציר הדסקה. חשב את המהירות הזוויתית של הדסקה במצב זה. (15 נקודות)

ג. (1) האם האנרגיה הקינטית במצב המתואר בסעיף ב גדולה מהאנרגיה שמצאת בסעיף א או קטנה ממנה? **נמק.**

(2) מהו המקור להפרש באנרגיות הקינטיות

שבת-סעיף (1)? (15 נקודות)

ד. במצב שבו הגוף נמצא בקצה הדסקה מרפים מהחוט, והגוף נזרק החוצה מהדסקה המסתובבת. מהי המהירות הזוויתית של הדסקה בלי הגוף? (10 נקודות)

### מפתח הערכה:

6. א. 20% לביטוי (1).

20% להתייחסות לסכום מומנטי ההתמדה.

20% לביטויים למומנטי ההתמדה.

20% להצבה.

20% לתשובה נומרית נכונה עם יחידה.

ב. 20% לרעיון של שימור תנע זוויתי.

40% לרישום הרעיון במשוואות.

20% להצבה.

20% לתשובה נומרית נכונה עם יחידות.

ג. (1) 60% ל-(1).

(2) 40% ל-(2).

ד. 20% לרעיון של שימור תנע זוויתי.

60% לקשר (1).

10% לקשר (2).

10% להגעה לתשובה סופית.

- מלוא הנקודות לתשובה:

המהירות הזוויתית של הדסקה אינה משתנה, כי

הגוף מתמיד בתנועתו ועוזב את הדסקה עם התנע

הזוויתי שהיה לו

$$(I_{\text{דסקה}} + I_{\text{כדור}}) \omega_0 = I_{\text{דסקה}} \cdot \omega_2 + I_{\text{כדור}} \cdot \omega_0$$

$$(1) \quad E_k^0 = \frac{1}{2} I_0 \omega_0^2 = \frac{1}{2} (I_{\text{דסקה}} + I_{\text{גוף}}) \omega_0^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} MR^2 + mR^2 \right) \omega_0^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0.3^2 + 4 \cdot 0.3^2 \right) 5^2$$

$$E_k^0 = 10.125 \text{ J}$$

ב. על-פי שימור תנע זוויתי:

$$(1) \quad I_0 \omega_0 = I_1 \omega_1$$

$$\omega_1 = \frac{I_0}{I_1} \omega_0$$

$$\omega_1 = \frac{\frac{1}{2} MR^2 + mR^2}{\frac{1}{2} MR^2 + mr^2} \omega_0$$

$$\omega_1 = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10(0.3)^2 + 4(0.3)^2}{\frac{1}{2} \cdot 10(0.3)^2 + 4(0.15)^2} 5$$

## פרק רביעי – זרם חילופין

7. מחברים מקור מתח חילופין, שתדירותו ניתנת לשינוי, למעגל טורי המכיל: נגד שהתנגדותו  $70\Omega$ , סליל לא **אינדאלי**, קבל שקיבולו  $10\mu F$  ואמפרמטר AC שהתנגדותו זניחה. למקור המתח יש מתח אפקטיבי של  $40V$  (שאינו תלוי בתדירות). כדי לקבל גרף של עוצמת הזרם  $I$  במעגל כפונקציה של התדירות  $f$ , משנים את תדירות המקור ומודדים את קריאת האמפרמטר (ערך אפקטיבי). תוצאות המדידות רשומות בטבלה שלפניך:

f (Hz)	0	10	20	30	40	50	55	60	65	70	80
I (mA)	0	26	56	98	170	317	432	500	442	350	230

א. סרטט גרף של עוצמת הזרם כפונקציה של התדירות. (10 נקודות)

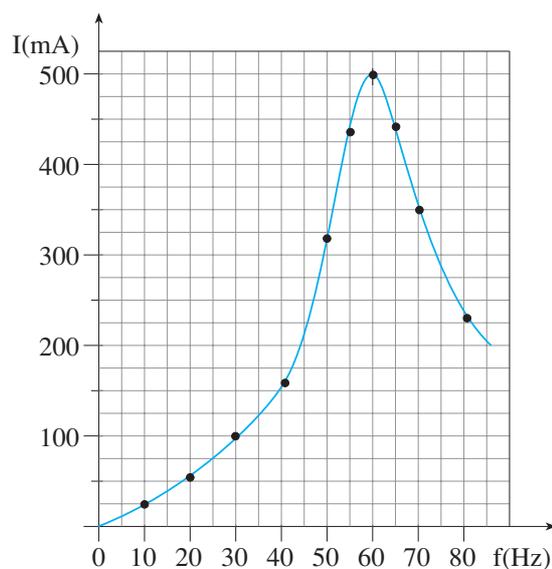
היעזר בגרף וענה על הסעיפים שלפניך.

- ב. מצא את תדירות התהודה של המעגל. (5 נקודות)  
 ג. חשב את ההתנגדות האומית של הסליל. (12 נקודות)  
 ד. (1) חשב את "רוחב הפס" (ההפרש בין שתי התדירויות שבהן ההספק הוא חצי מההספק המקסימלי). (2) חשב את גורם האיכות של המעגל. (13 נקודות)  
 ה. מוציאים את הנגד מהמעגל וחוזרים על הניסוי.

לגבי כל אחד מהגדלים שלהלן קבע אם הוא יגדל, יקטן או לא ישתנה:

תדירות התהודה, הזרם המקסימלי, גורם האיכות. **הסבר**. (10 נקודות)

7. א.



$$f_0 = 60 \text{ Hz}$$

ב.

ג. בתהודה עכבת המעגל היא:

$$(1) Z_0 = R + R_L$$

$$(2) Z_0 = \frac{V}{I_{\text{Max}}}$$

מ-(1) ומ-(2):

$$R_L = \frac{V}{I_{\text{Max}}} - R$$

$$R_L = \frac{40}{500 \cdot 10^{-3}} - 70$$

$$R_L = 10\Omega$$

ד. (1) חישוב הזרם  $I_{\frac{1}{2}}$  בחצי מההספק המקסימלי:

$$P_{\text{Max}} = Z_0 \cdot I_{\text{Max}}^2 = 80 \cdot (0.5)^2 = 20W$$

$$\frac{1}{2} P_{\text{Max}} = 10W$$

$$\frac{1}{2} P_{\text{Max}} = (R + R_L) \cdot I_{\frac{1}{2}}^2$$

$$10 = 80 \cdot I_{\frac{1}{2}}^2$$

$$I_{\frac{1}{2}} = 0.354A$$

על-פי הגרף שתי התדירויות שבהן מתקבל הזרם

$I_{\frac{1}{2}}$  הן:

$$f_1 \approx 50 \text{ Hz}$$

$$f_2 \approx 68 \text{ Hz}$$

$$f_2 - f_1 \approx 18 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (2)$$

$$Q = \frac{60}{18}$$

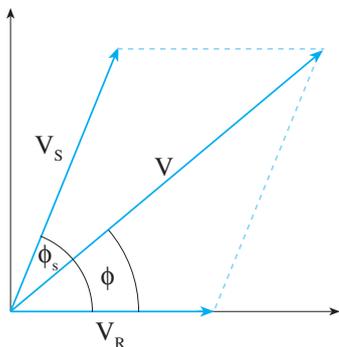
$$Q \approx 3.3$$

ה. תדירות התהודה **אינה משתנה**, כי היא תלויה רק

$$\text{ב-L וב-C} \quad \left( f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \right)$$

הזרם המקסימלי במעגל **גדל** כי ההתנגדות הכוללת

8. למקור מתח חילופין, שהמתח האפקטיבי שלו הוא 12V והתדירות שלו f היא 50 Hz, חוברו בטור סליל לא אידאלי ונגד שהתנגדותו 5Ω. וולטמטר שחובר בין קצות הנגד הראה מתח אפקטיבי של 6V. ההספק במעגל הוא 11.52W.
- א. צייר דיאגרמת מתחים מקורבת (בלי חישובים) כך שתייצג בבירור את "הסכום הווקטורי" של המתחים. סמן בדיאגרמה את מתח המקור, V, את המתח בין קצות הנגד, V<sub>R</sub>, את המתח בין קצות הסליל V<sub>S</sub>, את זווית המופע φ שבין המתח לזרם ואת זווית המופע φ<sub>s</sub> שבין מתח הסליל לזרם. (10 נקודות)
- ב. חשב את עוצמת הזרם במעגל. (5 נקודות)
- ג. (1) חשב את ההתנגדות האומית של הסליל.  
(2) חשב את ההשראות של הסליל. (15 נקודות)
- ד. חשב את המתח האפקטיבי בין קצות הסליל. (10 נקודות)
- ה. (1) חשב את גורם ההספק cos φ.  
(2) חשב את הפרש המופע בין המתח לזרם. (10 נקודות)



א. 8.

ב.

$$V_R = I \cdot R$$

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{6}{5}$$

I = 1.2A

ג. (1)

$$P = I^2(R + R_L)$$

$$11.52 = 1.2^2(5 + R_L)$$

R<sub>L</sub> = 3Ω

(2) עכבת המעגל היא:

$$(2) \quad Z = \frac{V}{I} = \frac{12}{1.2} = 10\Omega$$

(העכבה) של המעגל קטנה,  $I_{\max} = \frac{V}{\Sigma R}$  גורם האיכות גדל כי ההתנגדות האומית של המעגל קטנה, על פי הנוסחה  $Q = \frac{1}{\Sigma RC\omega_0}$ .

**או:** כי פחות אנרגיה מתבזבזת במעגל.

**או:** כיוון שההתנגדות האומית קטנה, הזרם במעגל גדל עבור אותן תדירויות, ולכן העקומה תהיה חדה יותר.

### מפתח הערכה:

7. א. 10% לשמות הצירים.  
10% ליחידות.  
10% לקנה מידה.  
70% לסרטוט הגרף.  
ג. 40% למשוואה (1).  
20% למשוואה (2).  
2x15% להצבה בשתי המשוואות.  
10% לתשובה נומרית וליחידה.  
ד. (1) 80% ל-(1):

25% לחישוב  $\frac{1}{2} P_{\max}$ .

25% לחישוב  $I_{\frac{1}{2}}$ .

2x10% ל- $f_2 - f_1$ .

10% לחישוב ההפרש עם יחידה.

- אם חישוב  $I_{\frac{1}{2}}$  על-פי הנוסחה:

לתת את כל ה-50% לחישוב  $I_{\frac{1}{2}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{0.5}{\sqrt{2}}$

$\cdot I_{\frac{1}{2}}$

(2) 20% ל-(2).

**שים לב:** מותר לתלמיד לחשב את Q על-פי

הנוסחה:  $Q = \frac{1}{RC\omega_0}$ ,

$$Q = \frac{1}{80 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 60} \approx 3.3$$

### מפתח הערכה:

8. א. 20% ל- $V_s$ .

20% ל- $V_R$ .

20% ל- $V$ .

2x10% ל- $\phi$  ול- $\phi_s$ .

20% למקבילית.

ג. (1) 40% ל-(1):

25% לנוסחה (1).

15% להצבה ולתשובה נומרית.

(2) 60% ל-(2):

15% לחישוב  $Z = 10\Omega$ .

15% לנוסחה (3).

10% לחישוב  $X_L$ .

10% לנוסחה (4).

10% לתשובה נומרית עם יחידות.

### ניקוד לדרך אחרת לפתרון סעיף ג

15% לחישוב  $Z$ .

10% למשוואה של  $\text{tg}\phi$ .

15% למשוואה (3).

15% להצבה במשוואות.

25% לחישוב  $R_L$  ו- $X_L$ .

10% למשוואה (4).

10% לתשובה נומרית ל- $L$  עם יחידות.

**שים לב:** יש עוד דרכים לפתרון, למשל:

$$\cos \phi = \frac{R + R_L}{Z}$$

$$\cos \phi = 0.8$$

$$Z = 10\Omega$$

ד. 40% לנוסחה (5).

30% לנוסחה (6).

20% להצבה.

10% לתשובה נומרית ויחידות.

### ניקוד לדרך אחרת:

60% לנוסחה (7).

40% להצבה וחישוב  $V_s$ .

ה. (1) 50% ל-(1):

15% לנוסחה (8).

35% להצבה וחישוב  $\cos \phi$ .

(2) 50% ל-(2): **שים לב:** אם חישוב את  $\cos \phi$  ואת  $\phi$

בסעיף ד או בסעיף ג, ובאיזשהו אופן רשם כי  $\phi$

הוא הפרש המופע בין המתח לזרם, ללת את מלוא

הנקודות לסעיף ה.

$$(3) \quad Z^2 = (R + R_L)^2 + X_L^2$$

מ-(2) ומ-(3):

$$X_L^2 = 100 - (5 + 3)^2$$

$$X_L = 6\Omega$$

$$(4) \quad X_L = \omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{6}{2\pi 50}$$

$$L = 0.0191 \text{ H}$$

### דרך אחרת לפתרון סעיף ג

חישוב  $\phi$  כמו בסעיף ה:  $\phi = 36.87^\circ$

(2) חישוב  $Z$  כמו בסעיף ג (2):  $Z = 10\Omega$

$$\text{tg}\phi = \frac{X_L}{R + R_L}$$

$$(3) \quad Z^2 = (R + R_L)^2 + X_L^2$$

מקבלים שתי משוואות עם שני נעלמים  $X_L$  ו- $R_L$ .

$$(4) \quad X_L = \omega L$$

$$(5) \quad V_s^2 = V_{R_L}^2 + V_L^2 \quad .\text{ד}$$

$$(6) \quad V_{R_L}^2 + V_L^2 = I^2 (R_L^2 + X_L^2)$$

מ-(4) ו-(5):

$$V_s^2 = 1.2^2 (3^2 + 36) = 64.8$$

$$V_s = 8.05 \text{ V}$$

### דרך אחרת

חישוב  $\phi$  כמו בסעיף ה:  $\phi = 36.87^\circ$

על-פי מקבילית המתחים ומשפט הקוסינוסים:

$$(7) \quad V_s^2 = V_R^2 + V^2 - 2V_R \cdot V \cos \phi$$

$$V_s^2 = 6^2 + 12^2 - 2 \cdot 6 \cdot 12 \cos 36.87^\circ$$

$$V_s = 8.05 \text{ V}$$

$$(8) \quad P = V \cdot I \cos \phi \quad \text{ה. (1)}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{V \cdot I} = \frac{11.52}{12 \cdot 1.2}$$

$$\cos \phi = 0.8$$

$$\phi = 36.87^\circ$$

(2)

## פרק חמישי – הנוזלים והגזים

9. אדם בנה רפסודה: הוא הדביק לוח שעם ללוח עץ. צפיפות

לוח השעם היא  $200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , וממדיו  $2\text{m} \times 1\text{m} \times 20\text{cm}$ .

צפיפות לוח העץ היא  $600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , וממדיו שווים לממדי לוח השעם (ראה תרשים א). האדם הכניס את הרפסודה לנהר שצפיפות מימיו היא  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , כשלוח השעם כלפי

מטה.

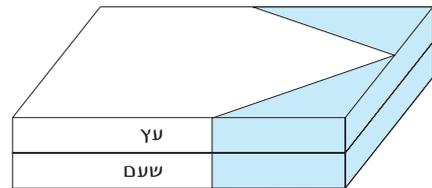


א. חשב את הגובה  $h$  של חלק הרפסודה שטבול במים. (20 נקודות)

ב. אילו האדם היה הופך את הרפסודה כך שלוח העץ היה כלפי מטה, האם הגובה של חלק הרפסודה הטבול במים היה גדול מ- $h$ , קטן ממנו או שווה לו? **נמק.** (10 נקודות)

ג. האדם, שמשתו  $80\text{ kg}$ , נעמד על הרפסודה הצפה בנהר כשלוח השעם כלפי מטה. חשב את הגובה  $H$  של חלק הרפסודה שטבול במים. (10 נקודות)

ד. האדם ניסר חלק מהרפסודה (החלק האפור שבתרשים ב'), והכניס את הרפסודה המנוסרת לנהר כך שלוח השעם כלפי מטה.



תרשים ב'

(1) במצב שבו האדם אינו עומד על הרפסודה המנוסרת, האם הגובה של חלק הרפסודה שטבול במים גדול מ- $h$  (שחישבת בסעיף א), קטן מ- $h$  או שווה לו? **נמק בלי חישוב.** (5 נקודות)

(2) במצב שבו האדם עומד על הרפסודה המנוסרת, האם הגובה של חלק הרפסודה שטבול במים גדול מ- $H$  (שחישבת בסעיף ג), קטן מ- $H$  או שווה לו? **נמק בלי חישוב.** (5 נקודות)

9. א. משקל הרפסודה שווה לכוח העילוי הפועל עליה:

$$(1) \quad mg = \rho'V'g \\ m_{\text{שעם}} + m_{\text{עץ}} = \rho'V'$$

A - שטח הרפסודה

$$200 \cdot 0.2 \cdot A + 600 \cdot 0.2 \cdot A = 1000A \cdot h$$

$$h = 0.16\text{m}$$

ב. אילו היו הופכים את הרפסודה, גובה החלק הטבול במים היה שווה ל- $h$ .

**נימוק:** גם הפעם משקל הרפסודה שווה לכוח העילוי.

כוח העילוי שווה למשקל הנוזל שנדחה, לכן בשני המקרים אותו נפח מים נדחה. לכן בשני המקרים הגובה הטבול במים שווה.

**או:** צפיפות הרפסודה לא השתנתה.

ג. המשקל הכולל שווה לכוח העילוי:

$$Mg + mg = \rho'V''g$$

$$80 + (200 \cdot 0.2 \cdot A + 600 \cdot 0.2 \cdot A) = 1000 \cdot A \cdot H$$

$$H = 0.24\text{m}$$

ד. (1) יהיה שווה ל- $h$ .

**נימוק:** לפי משוואה (1) בסעיף א, השטח  $A$  מצטמצם (הגובה בלתי תלוי בשטח).

**או:** צפיפות הרפסודה לא השתנתה.

(2) יהיה גדול מ- $H$ .

**נימוק:** צפיפות הרפסודה גדלה, לכן היא תשקע יותר.

### מפתח הערכה:

9. א. 20% לרעיון שהמשקל שווה לכוח העילוי.

20% לנוסחה (1).

40% להצבה.

20% לתשובה נומרית עם יחידות.

ב. 80% לתשובה.

20% לנימוק.

ג. 20% לרעיון שהמשקל הכולל (רפסודה + אדם) שווה

לכוח העילוי.

20% לנוסחה.

40% להצבה.

20% לתשובה נומרית עם יחידות.

10. א. משוואת המצב:

$$pV = nRT$$

$$p \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot 0.2 = 0.046 \cdot 8.31 \cdot (20 + 273)$$

$$p = 1.4 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

ב. לחץ האוויר  $p$  במכל שווה לסכום של הלחץ האטמוספרי  $p_a$  ולחץ הבוכנה:

$$(1) \quad p = p_a + mg/A$$

$$1.4 \cdot 10^5 = p_a + \frac{16 \cdot 10}{40 \cdot 10^{-4}}$$

$$p_a = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

ג. הלחץ במכל האופקי שווה ללחץ האטמוספרי. לפי חוק בוייל:

$$(2) \quad pV = p_a V'$$

$$p \cdot A \cdot h = p_a \cdot A \cdot h'$$

$$h' = \frac{p \cdot h}{p_a}$$

$$h' = \frac{1.4 \cdot 10^5 \cdot 0.2}{10^5}$$

$$h' = 0.28 \text{ m}$$

ד. (1) 50% ל-(1):

40% לקביעה,

10% לנימוק.

(2) 50% ל-(2):

40% לקביעה,

10% לנימוק.

10. בתוך מכל גלילי ששטח בסיסו  $40 \text{ cm}^2$ , נמצאים  $0.046$

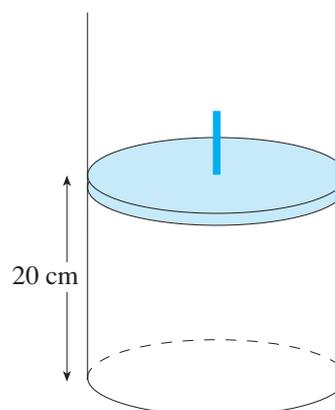
מול אוויר בטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$ .

המכל סגור בקצהו העליון באמצעות בוכנה ניידת שמסתה

$16 \text{ kg}$ , וגובהה מעל בסיס המכל  $20 \text{ cm}$  (ראה תרשים א).

הנח שאין חיכוך בין הבוכנה לבין המכל, והאוויר מתנהג

כגז אידיאלי.



תרשים א

א. חשב את לחץ האוויר הכלוא במכל. (15 נקודות)

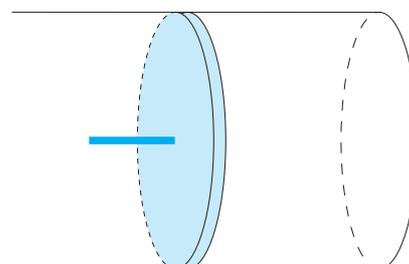
ב. חשב את הלחץ האטמוספרי. (20 נקודות)

ג. מטים את המכל למצב אופקי, כמתואר בתרשים ב.

חשב את מרחק הבוכנה מבסיס המכל במצב זה. הנח

כי הטמפרטורה של האוויר הכלוא נשארת קבועה.

(15 נקודות)



תרשים ב

### מפתח הערכה:

10. א. 20% למשוואת המצב.

60% להצבה.

20% לתשובה נומרית נכונה עם יחידה.

ב. 20% לרעיון שלחץ האוויר במכל שווה לסכום הלחצים.

40% לנוסחה (1).

20% להצבה.

20% לתשובה נומרית נכונה עם יחידה.

ג. 20% לקביעה שלחץ האוויר במכל האופקי שווה ללחץ

האטמוספרי.

30% לקשר (2).

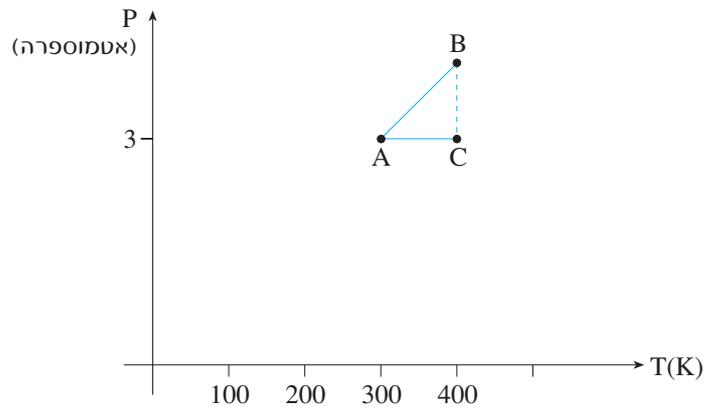
30% להצבה.

20% לתשובה נומרית עם יחידה.

## פרק שישי – תרמודינמיקה

11. א. הסבר או הגדר את המושגים שלפניך:

- (1) קיבול חום מולרי בנפח קבוע ( $c_v$ ). (5 נקודות)
- (2) קיבול חום מולרי בלחץ קבוע ( $c_p$ ). (5 נקודות)
- ב. הסבר מדוע  $c_p$  חייב להיות גדול מ- $c_v$ . אינך רשאי להסתמך על הקשר  $c_p - c_v = R$ . (8 נקודות)
- ג. 2 מול גז אידיאלי חד-אטומי נמצאים בכלי בטמפרטורה של 300 K ובלחץ של 3 אטמוספרות. בסיום שני תהליכים AB ו-AC, המתוארים בתרשים שלפניך, הגז מגיע לאותה טמפרטורה של 400 K.



קבע איזה גודל תרמודינמי נשאר קבוע בכל אחד משני התהליכים:

- (1) בתהליך AB. (4 נקודות)
- (2) בתהליך AC. (4 נקודות)

ד. חשב את כמות החום שהושקעה בכל אחד משני התהליכים:

- (1) בתהליך AB. (6 נקודות)
- (2) בתהליך AC. (6 נקודות)

ה. (1) מהו סוג התהליך המתואר על-ידי הקו המרוסק בין B ל-C בתרשים? (6 נקודות)

(2) מהי כמות החום שנוספה לגז בתהליך המתחיל ב-B ומגיע ל-C? (6 נקודות)

ב. כאשר הלחץ נשאר קבוע, חלק מהחום שנקלט על-ידי הגז מושקע בהתפשטות הגז ולא בהעלאת הטמפרטורה שלו (לכן יש לספק עוד חום לגז כדי להעלות את הטמפרטורה שלו ב-1°C).  
(בנפח קבוע כל החום שנקלט מוענק להעלאת האנרגיה הקינטית של המולקולות, כלומר להעלאת הטמפרטורה).

### הסבר על-פי חישוב:

(1)  $\Delta U = Q$  בנפח קבוע:

(2)  $Q = nc_v \Delta T$

(3)  $c_v = \frac{\Delta U}{n \Delta T}$

(4)  $\Delta U = Q - W$  בלחץ קבוע:

(5)  $\Delta U = nc_p \Delta T - p \Delta V$

(6)  $c_p = \frac{\Delta U + p \Delta V}{n \Delta T}$

(7)  $c_p = c_v + \frac{p \Delta V}{n \Delta T}$

לכן:  $c_p > c_v$

ג. (1) נפח

(2) לחץ

(9)  $Q_{AB} = nc_p (T_B - T_A)$  (1) ד.

$$Q_{AB} = 2 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8.31(400 - 300)$$

$$Q_{AB} = 4155 \text{ J}$$

(10)  $Q_{AC} = nc_v (T_B - T_A)$  (2)

$$Q_{AC} = 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8.31(400 - 300)$$

$$Q_{AC} = 2493 \text{ J}$$

ה. (1) תהליך איזותרמי.

(2) בתהליך איזותרמי:

(11)  $Q_{BC} = W_{BC}$

(12)  $W_{BC} = n \cdot R \cdot T_B \cdot \ln \frac{V_C}{V_B}$

$$P_C V_C = P_B V_B$$

(13)  $\frac{V_C}{V_B} = \frac{P_B}{P_C}$

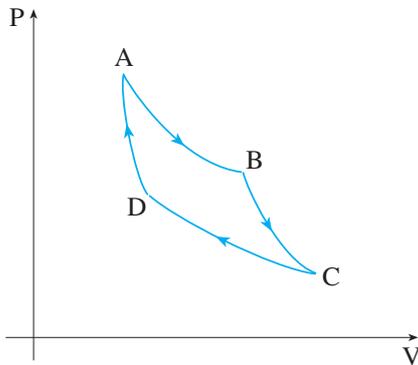
$$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B}$$

בתהליך AB:

11. א. (1)  $c_v$  - כמות החום שיש לספק למול של גז כדי להעלות את הטמפרטורה שלו במעלת צלזיוס אחת, כאשר נפחו נשאר קבוע.

(2)  $c_p$  - כמות החום שיש לספק למול של גז כדי להעלות את הטמפרטורה שלו במעלת צלזיוס אחת, כאשר הלחץ שלו נשאר קבוע.

12. התרשים שלפניך מתאר את השתנות הלחץ והנפח במשך מחזור אחד של מכונית קרנו, ABCDA.



- המכונה פועלת באמצעות  $n$  מולים של גז אידיאלי חד-אטומי בין הטמפרטורות  $T_1$  ו- $T_2$ . נתון:  $T_2 > T_1$ .
- א. קבע אילו מארבעת הקטעים של המחזור הם תהליכים איזותרמיים, ואילו מהם אדיאבטיים. (8 נקודות)
- ב. קבע מהי הטמפרטורה ( $T_1$  או  $T_2$ ) בכל אחת מן הנקודות A, B, C, D (8 נקודות)
- ג. באחד הקטעים האיזותרמיים של המחזור, המכונה עושה עבודה (חיובית). האנרגיה הפנימית של הגז נשארת קבועה. מהו אם כן מקור האנרגיה לעבודה שהמכונה עושה בקטע זה? (10 נקודות)
- ד. באחד הקטעים האדיאבטיים של המחזור, המכונה עושה עבודה (חיובית). בקטע זה אין מעבר חום אל המכונה או ממנה. מהו אם כן מקור האנרגיה לעבודה שהמכונה עושה בקטע זה? (10 נקודות)
- ה. (1) בטא את העבודה הכוללת שהמכונה עושה בקטעים האיזותרמיים, בעזרת  $n$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  והנפחים המתאימים בנקודות A, B, C, D:  $V_A, V_B, V_C, V_D$ .
- (2) מהי העבודה הכוללת שהמכונה עושה בקטעים האדיאבטיים? (14 נקודות)

12. א. תהליכים איזותרמיים: AB ו-CD.  
תהליכים אדיאבטיים: BC ו-DA.
- ב.  $T_2$  ב-A וב-B.  
 $T_1$  ב-C וב-D.
- ג. מקור האנרגיה לעבודה חיובית בתהליך איזותרמי הוא החום שהמכונה קולטת.
- ד. מקור האנרגיה לעבודה חיובית בתהליך אדיאבטי הוא האנרגיה הפנימית של הגז.

$$(14) \quad p_B = \frac{p_A \cdot T_B}{T_A} = \frac{3 \cdot 400}{300} = 4 \text{ atm}$$

מ-11, 12, 13 ו-14:

$$Q_{BC} = 2 \cdot 8.31 \cdot 400 \cdot \ln \frac{4}{3}$$

$$Q_{BC} = 1912.5 \text{ J}$$

### מפתח הערכה:

11. א. (1) 50% ל-1.

(2) 50% ל-2.

ב. - אם רק הסביר כי בנפח קבוע כל החום מושקע להעלאת הטמפרטורה, ולא התייחס להתפשטות הגז בלחץ קבוע, לתת 60% לסעיף ב.

### ניקוד להסבר על-פי חישוב

20% ל-1.

15% ל-2.

10% ל-3.

20% ל-4.

15% ל-5.

10% ל-6.

10% ל-7.

ג. (1) 50% ל-1.

(2) 50% ל-2.

ד. (1) 50% ל-1:

20% לנוסחה (9).

20% להצבה.

10% לתשובה נומרית ויחידה.

(2) 50% ל-2:

20% לנוסחה (10).

20% להצבה.

10% לתשובה נומרית ויחידה.

ה. (1) 50% ל-1.

(2) 50% ל-2:

5% למשוואה (11).

10% למשוואה (12).

10% למשוואה (13).

10% למשוואה (14).

10% להצבה.

5% לתשובה נומרית וליחידה.

היחסית של החלקיק האחר ביחס למערכת צירים הנעה עם הפרוטון. (20 נקודות)

13. א. העקומה היא (1).

מסת הפרוטון הולכת וגדלה, לכן תאוצתו הולכת וקטנה.

**א:** מהירות הפרוטון אינה יכולה לעבור את מהירות האור. לכן המהירות שואפת לגבול, שהוא מהירות האור.

ב. עבודת השדה החשמלי שווה לאנרגיה הסופית:

$$(1) \quad eV = E_k$$

$$(2) \quad eV = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m_0 c^2$$

$$1.6 \cdot 10^{-19} \cdot V = 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.5c}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

$$V = 1.45 \cdot 10^8 \text{ V}$$

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - v \frac{u_x}{c^2}} \quad \text{ג.}$$

ציר x בכיוון תנועת הפרוטון:

$$u'_x = \frac{-0.5c - 0.5c}{1 - 0.5c \frac{(-0.5c)}{c^2}}$$

$$u'_x = -0.8c$$

**מפתח הערכה:**

13. א. 20% לקביעה.

80% לנימוק.

ב. 40% לנוסחה (1).

30% לנוסחה (2).

30% להצבה ולתשובה נומרית עם יחידות.

ג. 40% לנוסחה.

50% להצבה.

10% לתשובה נומרית עם יחידות.

$$W_{A \rightarrow B} = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} \quad \text{ה. (1)}$$

$$W_{C \rightarrow D} = nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}$$

$$\Sigma W = nR(T_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + T_1 \ln \frac{V_D}{V_C})$$

(2) אפס.

$$(W_{B \rightarrow C} + W_{D \rightarrow A} = -nc_V(T_1 - T_2) - nc_V(T_2 - T_1))$$

**מפתח הערכה:**

12. א. 25%x4 לארבעת התהליכים.

ב. 25%x4 לארבע הנקודות.

ה. (1) 60% ל-(1):

25%x2 ל- $W_{AB}$  ול- $W_{C \rightarrow D}$

10% לחיבור.

(2) 40% ל-(2):

- אין צורך בנימוק, אך אם חישוב וטעה בחישובי, לתת ניקוד חלקי:

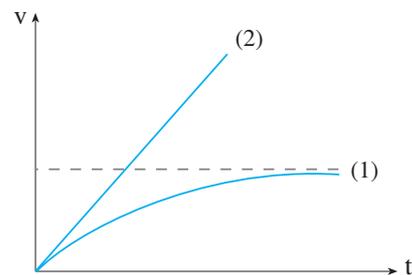
25%x2 ל- $W_{B \rightarrow C}$  ול- $W_{D \rightarrow A}$ , 10% לחיבור.

**פרק שביעי – תורת היחסות הפרטית**

13. פרוטון מואץ בשדה חשמלי אחיד של מאיץ חלקיקים כך שפועל עליו כוח קבוע. הקרינה הנובעת מן התאוצה ניתנת להזנחה.

א. בניסוי שנערך נמדדה מהירות הפרוטון כפונקציה של הזמן.

איזו משתי העקומות שלפניך, (1) או (2), מתארת את תוצאות הניסוי? **הסבר.** (10 נקודות)



ב. חשב איזה מתח דרוש כדי להאיץ את הפרוטון ממנוחה עד מחצית מהירות האור. (20 נקודות)

ג. באותו מאיץ נע מול הפרוטון חלקיק אחר שהואץ גם הוא למחצית מהירות האור. חשב את המהירות

14. בקר בתחנת בקרה שעל פני כדור הארץ מגלה חללית המתקרבת אל כדור הארץ במהירות  $0.6c$ . ברגע הגילוי מוצא הבקר כי המרחק בין החללית לבין כדור הארץ הוא  $5.4 \times 10^6 \text{ km}$  הנח כי אפשר להזניח את ההשהיות הנובעות מסופיות מהירות האור.



- א. בתוך כמה זמן תתנגש החללית בכדור הארץ על-פי חישובי הבקר, אם לא תשנה את מסלולה? (10 נקודות)
- ב. בדיוק באותו רגע שהבקר גילה את החללית, גילה טייס החללית כי כדור הארץ והחללית נמצאים במסלול התנגשות. בתוך כמה זמן תתרחש ההתנגשות בין החללית לכדור הארץ על-פי חישובי הטייס, אם החללית לא תשנה את מסלולה? (20 נקודות)
- ג. מהו המרחק בין החללית לבין כדור הארץ ברגע הגילוי, כפי שמודד טייס החללית? (10 נקודות)
- ד. האם המרחק שחישבת בסעיף ג שונה מזה שמצא הבקר? **הסבר**. (10 נקודות)

### מפתח הערכה:

14. א. 30% לנוסחה.  
50% להצבה.  
20% לחישוב וליחידות.
- ב. 30% לנוסחה.  
60% להצבה.  
10% לחישוב וליחידות.
- ג. 30% לנוסחה.  
60% להצבה.  
10% לחישוב וליחידות.
- ד. 60% לקביעה.  
40% לנימוק.  
לקבל תשובה:

הבקר מודד מרחק גדול יותר על-פי  $l_0 = l\gamma$  או על-פי התופעה של התקצרות האורך.

תהודה

### לידיעת המורים!

בהתאם לכתוב בחוזר מיוחד ה' תשנ"ה יזכו מאמרים שלכם שיפורסמו ב"תהודה" בגמול השתלמות כפי שפורסם בחוברת "זכויותיך", (אוקטובר-נובמבר 94, עמ' 47, אוקטובר 1994) סעיף 6ג. להלן הקטע הרלבנטי:

### עבודת מחקר או פרסום מדעי

עובד הוראה, שכתב עבודת מחקר או חיבור מדעי, שפורסם בכתב-עת או בקלטת, תיבדק זכותו לגמול השתלמות ע"י ועדה מיוחדת הפועלת ליד גף דירוג והסמכה באגף כוח-אדם בהוראה. זאת בתנאי שהעבודה הנדונה לא זיכתה את עובד ההוראה בדרגת שכר או בתואר. הוועדה תחליט על מספר הגמולים לפי שיקול דעתה ועפ"י הכללים כלהלן:

עריכה, ליקוט או תרגום אינם מזכים בגמול השתלמות.

עובד הוראה המועסק באגף תוכניות לימודים, במרכז להוראת המדעים (מל"מ), במרכז לטכנולוגיה חינוכית (מט"ח) וכיו"ב, לא יזוכה בגמול בעד כתיבה בתוקף תפקידו.

עובד המועסק בהוראה בהיקף של 2/3 ממשרה מלאה לפחות, והוא מועסק גם בכתיבה באחת המסגרות הנ"ל בהיקף של עד 1/3 משרה, יהיה זכאי להגיש בקשה לגמול בעבור כתיבת חומר לימודי. לשם כך עליו להמציא אישור על שיעור משרתו משני מקומות העבודה.

משרד החינוך לא יתחייב להחזיר את הפרסומים. חלקם נשארים בספריות שונות של המשרד, אך רובם מוחזרים לבעליהם.

בקשות עפ"י סעיף זה יוגשו ע"ג טופס מיוחד מס' ח"ת 050.202, שניתן לקבלו בלשכות המחוזיות של משרד החינוך.

14. א. ציר x בכיוון תנועת החללית:

$$t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{5.4 \cdot 10^9}{0.6 \cdot 3 \cdot 10^8} \quad \boxed{t = 30\text{s}}$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 \quad \text{ב.}$$

$$30 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.6c}{c}\right)^2}} \quad \boxed{\Delta t_0 = 24\text{s}}$$

$$l = v \cdot \Delta t = 0.6c \cdot 24 = 4.32 \cdot 10^6 \text{ km} \quad \text{ג.}$$

$$l = \frac{l_0}{\gamma} = 5.4 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{1 - 0.6^2} \quad \text{א.}$$

ד. המרחק שונה כי הזמן שונה והמהירות היא אותה מהירות.