



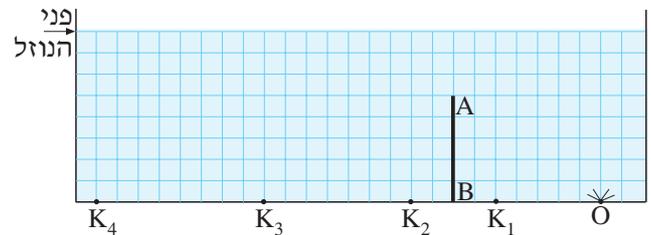
בחנים מבחנים ובעיות

בחינת הבגרות בפיזיקה קיץ תשנ"ט פרקי בחירה ופתרונות מלאים*

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

פרק ראשון – תורת האור והגלים

1. בתרשים שלפניך מתואר מְקַל שדופנותיו שקופים, ובו נוזל שמקדם השבירה שלו (ביחס לאוויר) הוא $n = 2.236$. על קרקעית המכל נמצאים מקור אור נקודתי O הפולט אור לכל הכיוונים ומחיצה אטומה לאור AB, וכן מסומנות ארבע נקודות K_1, K_2, K_3 ו- K_4 .

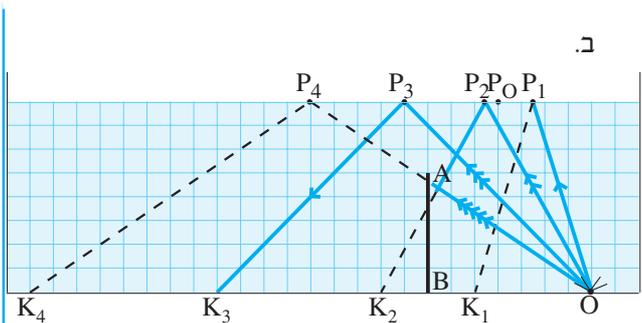


א. הראה כי $\tan \theta_c = 0.5$ כאשר θ_c היא הזווית הקריטית (הזווית הגבולית) במעבר של אור מהנוזל לאוויר. (8 נקודות)

ב. העתק במדויק את התרשים למחברתך (כל משבצת במחברת תייצג משבצת בתרשים). היעזר בסעיף א וסמן באות P_0 נקודה על פני הנוזל, שבה פוגעת בזווית הקריטית קרן אור היוצאת מ-O. (8 נקודות)

ג. קבע אם קיימת קרן אור, שיוצאת מ-O, פוגעת בפני הנוזל ומוחזרת ישירות באופן מלא (ולא חלקי) לנקודה K_1 . סרטט והסבר.

(2) ענה על תת-סעיף ג (1) לגבי כל אחת מהנקודות K_2, K_3, K_4 . (34 נקודות)



ב.

P_0 נקבעה כך שמרחקה האופקי מ-O יהיה 4 משבצות.

ג. (1) אור שמקורו ב-O לא יוחזר במלואו מפני המים ל- K_1 , כי נקודת הפגיעה בפני הנוזל היא P_1 , אך P_1 נמצאת מימין ל- P_0 , ולכן הקרן פוגעת בפני הנוזל בזווית הקטנה מהזווית הקריטית ואין החזרה מלאה.

(2) K_2 : לא תהיה החזרה מלאה ל- K_2 , כי נקודת הפגיעה בפני הנוזל היא P_2 , ואור שיוחזר מ- P_2 יפגע במחסום AB.

K_3 : תהיה החזרה מלאה ל- K_3 , כי אור שיפגע ב- P_3 יוחזר במלואו ל- K_3 .

K_4 : לא תהיה החזרה מלאה ל- K_4 , כי נקודת הפגיעה בפני הנוזל צריכה להיות P_4 , ואור שיצא מ-O בכיוון P_4 יפגע ב-AB.

מפתח הערכה

1. א. 40% לנוסחה (1) או לחוק סנל.

25% להצבה.

25% לחישוב θ_c .

10% לחישוב $\tan \theta_c$.

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

1. א. $\sin \theta_c = \frac{1}{n}$ (1)

$$\sin \theta_c = \frac{1}{2.236}$$

$$\theta_c = 26.57^\circ$$

$$\tan \theta_c \approx 0.5$$

- (2) הנקודה B, המסומנת בתרשים. **נמק.** (7 נקודות)
 (3) הנקודה C, המסומנת בתרשים. **נמק.** (7 נקודות)
 (4) נקודה E, הנמצאת במרחק 38 cm מהמקור S_1
 ובמרחק 39.5 cm מהמקור S_2 . **נמק** (5 נקודות)
 (5) נקודה F, הנמצאת במרחק 24 cm מהמקור S_1
 ובמרחק 28.2 cm מהמקור S_2 . **נמק** (5 נקודות)
- ג. (1) חשב את זמן המחזור T של הגל הנוצר על-ידי אחד
 המקורות. (4 נקודות)
 (2) משרעת הגל (אמפליטודה) בנקודה A שיוצר כל
 מקור היא 0.4 cm.
 סרטט גרף של העתק הנקודה A כפונקציה של הזמן
 מרגע $t = 0$ עד רגע $t = T$ (זמן של מחזור אחד). רשום
 מספרים על הצירים. נקודת האפס למדידת העתק
 הגל תהיה פני המים במצב שבו אין גלים באמבט.
 (10 נקודות)

2. א. המרחק בין S_1 ל- S_2 שווה ל-5 אורכי גל, ושווה גם
 ל-5 ס"מ, לכן אורך הגל הוא $5 \text{ cm} / 5 = 1 \text{ cm}$.

ב. (1) **התאבכות בונה**, כי הגלים במופע בנקודה זו
 (או: הפרש הדרכים מהמקורות שווה לאפס. או:
 מפגש של שיא עם שיא).

(2) **התאבכות בונה**, כי הגלים במופע בנקודה זו
 (או: הפרש הדרכים מהמקורות שווה לאורך הגל.
 או: מפגש שקע עם שקע).

(3) **התאבכות הורסת**, כי הגלים במופע הפוך
 בנקודה זו (או: הפרש הדרכים מהמקורות שווה
 לחצי אורך גל. או: שיא נפגש עם שקע).

(4) **התאבכות הורסת**, כי הפרש הדרכים
 מהמקורות שווה למספר אי-זוגי של חצי אורך

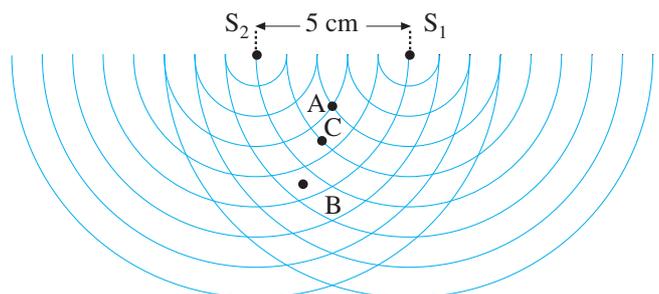
$$\text{גל} \left(3 \cdot \frac{\lambda}{2} = 1.5\lambda \right)$$

(5) **נקודת ביניים**, כי הפרש הדרכים משני המקורות
 (4.2 cm) אינו שווה למספר שלם של אורכי גל,
 ואינו שווה למספר אי-זוגי של חצי אורך גל.

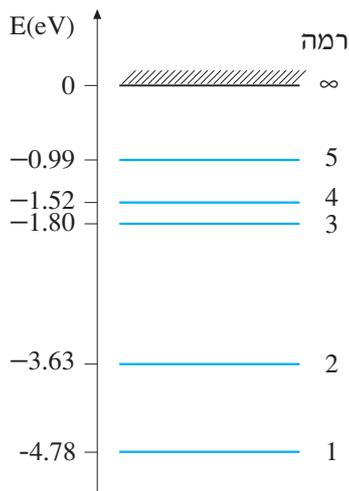
ג. (1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25\text{Hz}} = 0.04\text{s}$

- ב. - לא להוריד נקודות אם סימן את הנקודה ולא ציין
 לידה P_0 .
 - אם חישוב את הנקודה ולא סימן אותה, לתת 50%
 לסעיף.
 - אם טעה בספירת המשבצות, להוריד 50% מהסעיף.
 ג. (1) $K_4 - K_1$ 25%x4
 לפי הניקוד שלהלן לכל נקודה:
 15% למציאת נקודת הפגיעה בפני הנוזל,
 10% לתשובה הנכונה ולהסבר.
 - אם שגה בזיהוי נקודת הפגיעה בפני הנוזל, לא
 יקבל את ה-15%, אך אם מסקנתו תואמת
 לנקודת הפגיעה שקבע בפני הנוזל - יקבל 5%
 מתוך 10%.
 (2) - אם בסעיף ב טעה בספירת המשבצות ותשובתו
 בסעיף ג השתנתה בהתאם לטעותו, להוריד 5%
 לכל נקודה שגויה.
 - אם חישוב את זווית הפגיעה ולא סרטט את הקרן
 או לא סימן את נקודת הפגיעה, לתת למציאת
 הנקודה 5% מתוך ה-15%.

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



- א. על-פי התרשים, הסבר מדוע אורך הגל שיוצר כל מקור
 הוא 1 cm. (5 נקודות)
 ב. לגבי כל אחת מהנקודות שבת-סעיפים (1) - (5)
 שלהלן, ציין אם נוצרת בה התאבכות בונה, התאבכות
 הורסת או שהיא נקודת ביניים.
 (1) הנקודה A, המסומנת בתרשים. **נמק.** (7 נקודות)



של אטום הליום הנמצא ברמה $n = 2$? **הסבר**.
(13 נקודות)

ד. אלקטרון נע מתנגש באטום הליום נח שנמצא ברמה $n = 2$.

איזה תנאי האלקטרון צריך למלא, כדי שאטום ההליום יעבור לרמה גבוהה יותר? (5 נקודות)

3. א. (1)
$$E(\text{eV}) = \frac{12400}{\lambda(\text{\AA})}$$

$$E(\text{eV}) = \frac{12400}{5880}$$

$$E = 2.11 \text{ eV}$$

(או: $3.37 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

ב. כאשר אטום ההליום עובר מרמה $n = 2$ לרמה $n = 4$ הוא בולע:

$$\Delta E = -1.52 - (-3.63) = 2.11 \text{ eV}$$

וזה שווה לאנרגיה של פוטון באורך גל 5880 \AA .

ג. אנרגיית היינון של אטום הליום ברמה $n = 2$ היא:

$$\Delta E = 0 - (-3.63) = 3.63 \text{ eV}$$

לפוטון האנרגטי ביותר של אור נראה אורך גל של 4000 \AA .

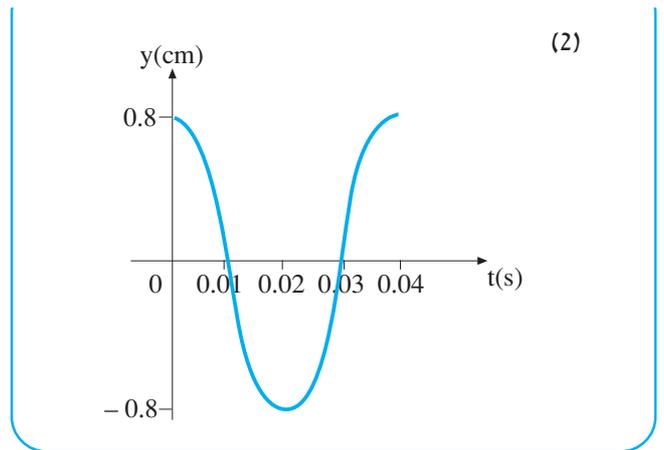
אנרגיה של פוטון זה:

$$E(\text{eV}) = \frac{12400}{\lambda(\text{\AA})} = \frac{12400}{4000} = 3.1 \text{ eV}$$

מכאן שאור נראה **אינו יכול** ליינן את האטום.

ד. האנרגיה של האלקטרון צריכה להיות גדולה

$$\text{מ-} -1.8 - (-3.63) = 1.83 \text{ eV}$$



מפתח הערכה:

2. ב. $22\% \times 3$ ל-(1), (2), (3).

$17\% \times 2$ ל-(4), (5).

ג. (1) 29% ל-(1).

(2) 71% ל-(2).

25% למחזור אחד של פונקציה הרמונית (סינוס, קוסינוס וכיו"ב),

10% למקסימום ברגע $t = 0$,

20% לערכים על ציר y,

16% לערכים על ציר x.

פרק שני – פיזיקה מודרנית

3. בספקטרום של אור השמש מופיעים קווים שחורים. קווים

אלה נוצרים כתוצאה מכך שאור באורכי גל מסוימים, הנפלט מתוך השמש, נבלע על-ידי גזים הנמצאים באטמוספירה של השמש. אחד הקווים השחורים בספקטרום השמש מתאים לבליעת אור באורך גל של 5880 \AA .

א. חשב את האנרגיה של פוטון בעל אורך גל זה (5880 \AA). (11 נקודות)

ב. התרשים שלפניך מתאר רמות אנרגיה אחדות של אטום ההליום. בגלל הטמפרטורה הגבוהה של אטמוספירת השמש, אטומי ההליום עשויים להימצא ברמות מעוררות.

הראה כי ניתן להסביר את היווצרותו של הקו השחור (בליעה באורך גל של 5880 \AA) בעזרת רמות האנרגיה של אטום ההליום. (21 נקודות)

ג. תחום אורכי הגל של אור נראה הוא

$$4000 \text{ \AA} - 7000 \text{ \AA}$$

האם אור נראה הנפלט מתוך השמש יכול לגרום ליינון

מפתח הערכה

3. א. 60% לנוסחה (1) או לנוסחה אקוויולנטית.

20% להצבה.

10% לתשובה נומרית נכונה.

10% ליחידות.

ב. - אם בסעיף א קיבל תוצאה שונה ומסקנתו בסעיף ב נכונה בהתאם לתוצאה שקיבל, לתת את מלוא הנקודות לסעיף ב.

ג. 40% לחישוב אנרגיית יינון של הליום ב-2 n.

40% לחישוב אנרגיה של הפוטון האנרגטי ביותר או לחישוב אורך גל של פוטון שהאנרגיה שלו היא 3.63 eV

20% למסקנה.

- אם לא חישב אך ציין את תחום האנרגיה של אור נראה, להוריד 10%.

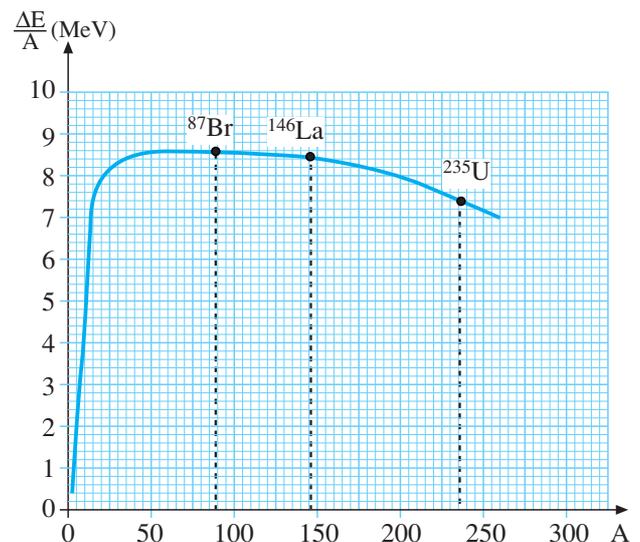
ד. - התשובה שאנרגיית האלקטרון יכולה להיות גם שווה ל-1.83 eV אינה נכונה, כי על-פי חוק שימור התנע צריכה להיות תנועה יחסית בין האלקטרון לאטום לאחר ההתנגשות.

למרות זאת יש לקבל את התשובה $E \geq 1.83 \text{ eV}$ כנכונה.

- אם רק כתב $E = 1.83 \text{ eV}$ לתת רק 40% לסעיף.

- אם בנוסף ל- $E > 1.83 \text{ eV}$ כתב גם כי E קטן ממשו, לתת רק 60% לסעיף.

4. התרשים שלפניך מתאר את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון, $\Delta E/A$, ביחידה MeV (מיליון אלקטרון וולט) כפונקציה של מספר המסה, A.



ΔE - אנרגיית הקשר של גרעין אטום, כלומר האנרגיה הדרושה להפריד בין כל הנוקלאונים של הגרעין.

A - מספר המסה של גרעין (מספר הנוקלאונים בגרעין).

א. קבע, על-פי הגרף, איזה גרעין יציב יותר: $^{87}_{35}\text{Br}$ או $^{235}_{92}\text{U}$. **נמק.** (10 נקודות)

ב. הראה כי אנרגיית הקשר ΔE של גרעין $^{235}_{92}\text{U}$ יחיד שווה בקירוב ל- $2.8 \cdot 10^{-10} \text{ J}$. (15 נקודות)

ג. גרעין $^{235}_{92}\text{U}$ מתבקע לגרעין $^{146}_{57}\text{La}$ ולגרעין $^{87}_{35}\text{Br}$. בכמה קטנה אנרגיית הקשר של גרעין $^{235}_{92}\text{U}$ מסכום אנרגיות הקשר של גרעין $^{146}_{57}\text{La}$ וגרעין $^{87}_{35}\text{Br}$? (15 נקודות)

ד. ההספק המתקבל מתחנת הספק ("תחנת כוח") גרעינית אופיינית הוא $2 \cdot 10^9 \text{ W}$. ההספק זה מתקבל מביקוע של $^{235}_{92}\text{U}$. הנח כי מכל ביקוע של גרעין $^{235}_{92}\text{U}$ נפלטת האנרגיה שחישבת בסעיף ג, והנח כי נצילות תחנת ההספק היא 25%.

חשב את מספר הביקועים לשנייה של גרעיני $^{235}_{92}\text{U}$ הדרושים להפקת הספק זה. (10 נקודות)

4. א. $^{87}_{35}\text{Br}$ יציב יותר, כי אנרגיית הקשר הממוצעת

לנוקלאון $^{87}_{35}\text{Br}$ גדולה מאנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון $^{235}_{92}\text{U}$.

ב. אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון על-פי הגרף היא 7.4 MeV, לכן האנרגיה לכל הגרעין היא:

$$7.4 \times 10^6 \text{ eV} \times 235 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} \approx 2.78 \times 10^{-10} \text{ J}$$

ג. אנרגיית קשר של גרעין ^{146}La :
 $8.4 \cdot 10^6 \cdot 146 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 1.96 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

אנרגיית קשר של גרעין ^{87}Br :
 $8.6 \cdot 10^6 \cdot 87 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 1.20 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

השיעור שבו אנרגיית הקשר של ^{235}U קטנה מסכום אנרגיות הקשר של ^{146}La ו- ^{87}Br :

$$\Delta E = 1.20 \cdot 10^{-10} + 1.96 \cdot 10^{-10} - 2.78 \cdot 10^{-10}$$

$$\Delta E = 0.38 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

ד. ההספק של הביקועים:

$$\frac{2 \cdot 10^9 \cdot 100}{25} = 8 \cdot 10^9 \text{ W}$$

מספר הביקועים לשנייה של גרעיני ^{235}U :

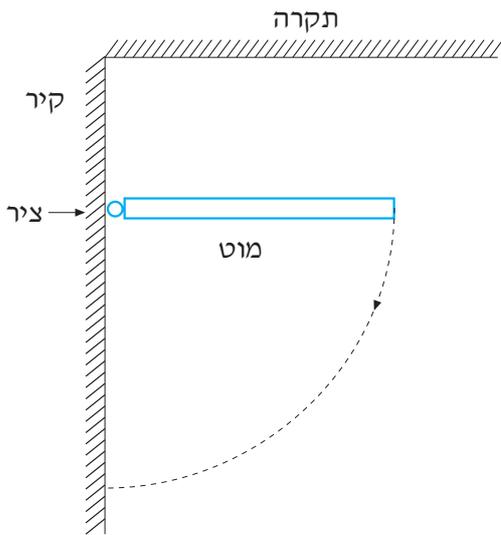
$$\frac{8 \cdot 10^9}{0.38 \cdot 10^{-10}} = 2.1 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

מפתח הערכה:

4. א. 50% לקביעה.
 50% לנימוק.
 ב. 40% עבור קריאת 7.4 MeV מהגרף.
 50% עבור הכפלת 7.4 MeV במספר הנוקלאונים - 235.
 10% עבור תשובה נומרית עם יחידות.
 ג. 35% לחישוב אנרגיית קשר של ^{146}La .
 35% לחישוב אנרגיית קשר של ^{87}Br .
 30% לתשובה סופית עם יחידות.
 - יש לקבל תשובות ביחידות אנרגיה כלשהן.

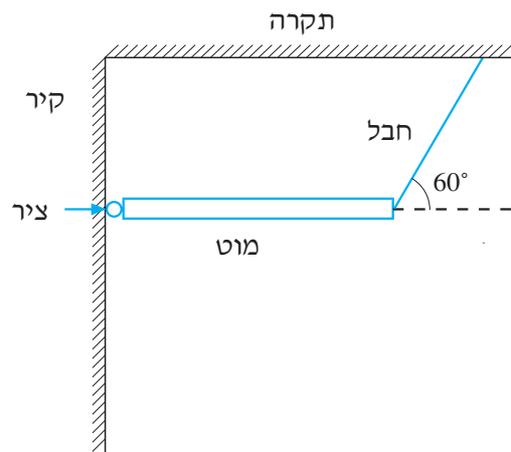
פרק שלישי – מכניקה של גוף קשיח

5. מוט אחיד צר, שמסתו M ואורכו L, מוחזק במנוחה במצב אופקי. המוט מחובר בקצהו האחד לציר בקיר ובקצהו השני קשור לחבל המחובר לתקרה. החבל נטוי בזווית של 60° (ראה תרשים א). מסת החבל וממדי הציר זניחים.



תרשים ב

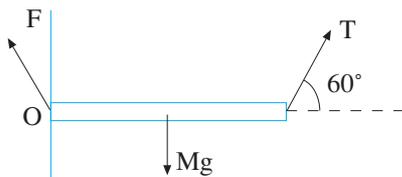
לציר, שמפעיל כוח הכובד על המוט, גֵדֵל, קֶטֶן או אינו משתנה. **הסבר**. (10 נקודות)



תרשים א

- א. בטא בעזרת הפרמטרים הנתונים ובעזרת g את המתיחות בחבל. (10 נקודות)
 ברגע מסוים חותכים את החבל, והמוט נע כמתואר בתרשים ב.
 ב. בטא בעזרת הפרמטרים הנתונים ובעזרת g את התאוצה הזוויתית ההתחלתית של המוט. (15 נקודות)
 ג. בטא בעזרת הפרמטרים הנתונים ובעזרת g את המהירות הקווית, שבה תפגע הנקודה התחתונה של המוט בקיר. (15 נקודות)
 ד. קבע אם במהלך התנועה של המוט המומנט ביחס

5. א.



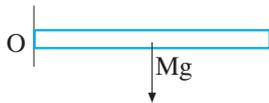
סכום המומנטים סביב הציר O מתאפס:

$$(1) \quad T \cdot L \sin 60^\circ - Mg \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$(2) \quad T = \frac{Mg}{2 \sin 60^\circ}$$

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

ב.



משוואת המומנטים סביב הציר O:

$$(3) \quad Mg \cdot \frac{L}{2} = I_o \alpha$$

$$(4) \quad I_o = I_{CM} + ms^2 \quad \text{בהצבה במשפט שטיינר:}$$

$$(5) \quad I_o = \frac{1}{12} ML^2 + M \left(\frac{L}{2} \right)^2 = \frac{M}{3} L^2 \quad \text{נקבל:}$$

- ומשוואת כוחות, לתת את מלוא הנקודות.
- לא לתת נקודות אם חישוב מומנטים סביב נקודה אחרת ממרכז המסה או מהציר O.
- הציב I_{CM} ולא I_0 , לתת לכל היותר 50% לסעיף ג.
- 20% לרעיון שהאנרגיה נשמרת.
- 40% ל-(7).
- 20% ל-(8).
- 10% ל-(9).
- 10% ל-(10).

- אם הציב L ולא $\frac{L}{2}$ לשינוי הגובה של מרכז המסה,

להוריד 15%.

- אם לא הציב את I_0 כהלכה, להוריד 15%.
- אם הציב את I_{CM} בסעיף ב ובסעיף ג, לא להוריד נקודות בסעיף ג.
- ניתן להגיע ל-v וגם מהמשוואות:

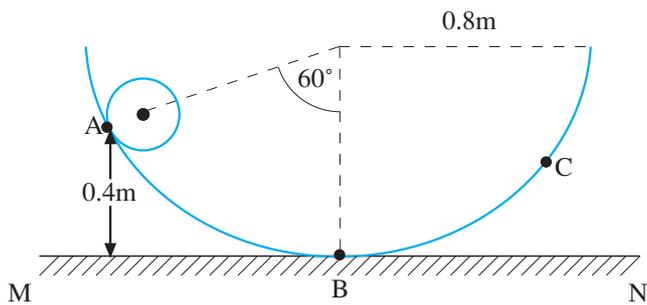
$$Mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} Mv_{CM}^2 + \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2$$

$$v = v_{CM} + \omega \frac{L}{2}$$

ד. 40% לתשובה.

60% להסבר.

6. בתוך קערה כדורית שרדיוסה 0.8 m משחררים ממנוחה מהנקודה A כדור מלא אחיד, שרדיוסו 10 cm ומסתו 0.54 kg. הנקודה A נמצאת בגובה של 0.4 m מעל תחתית הקערה, והכדור מתגלגל בלי החלקה מהנקודה A דרך הנקודה B שבתחתית הקערה אל הנקודה C (ראה תרשים).



א. מצא את גובה מרכז המסה של הכדור מעל המישור האופקי MN:

- (1) כאשר הכדור בנקודה A.
- (2) כאשר הכדור בנקודה B.
- (8 נקודות)

מ-(3) ו-(5) מקבלים:

$$(6) \quad \alpha = \frac{3g}{2L}$$

- ג. משימור אנרגיה: $Mg \cdot \frac{L}{2} = \frac{1}{2} I_0 \omega^2$ (7)
- מ-5 ו-7:

$$(8) \quad \omega = \sqrt{\frac{3g}{L}}$$

המהירות הקווית של הקצה:

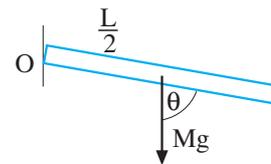
$$(9) \quad v = \omega L$$

מ-8 ו-9:

$$(10) \quad v = \sqrt{3gL}$$

ד. המומנט שמפעיל כוח הכובד ביחס לציר קטן במהלך התנועה.

המומנט הוא $Mg \frac{L}{2} \sin \theta$.



במהלך התנועה קטנה θ , ולכן המומנט קטן.

מפתח הערכה:

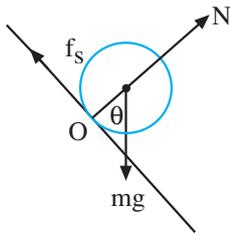
5. א. 30% לקביעה שסכום המומנטים מתאפס.
- 50% ל-(1).
- 20% לביטוי (2).
- אם התלמיד כתב משוואת מומנטים סביב נקודה אחרת ומשוואת כוחות, והגיע לפתרון, לתת את מלוא הנקודות.
 - אם כתב רק משוואת מומנטים סביב נקודה אחרת, לתת 50% לסעיף.
 - לתת את מלוא הנקודות גם אם השאיר בתשובה $\sin 60^\circ$.
 - התלמיד אינו חייב להציג תרשים כוחות.
- ב. 50% ל-(3).
- 30% ל-(5).
- 20% ל-(6).
- אם חישוב מומנטים סביב מרכז המסה של המוט

מ-(1), (2) ו-(6):

$$(7) \quad N = mg + m \frac{v^2}{R-r} =$$

$$= 0.5 \cdot 10 + 0.5 \frac{5}{0.8-0.1}$$

$$N = 8.57 \text{ N}$$



ג.

משוואת המומנטים ביחס לנקודת ההשקה O:

$$(8) \quad mgr \sin \theta = I_O \alpha$$

$$(9) \quad \alpha = \frac{mg \cdot r}{I_O} \sin \theta$$

m, g, r ו- I_O קבועים.

בנקודה A הזווית θ מקסימלית ו- $\sin \theta$ מקסימלי, ולכן התאוצה הזוויתית α מקסימלית.

מפתח הערכה:

א. 6.

(1) 65% ל-(1).

- אם טעה בזווית, להוריד 15%.

- אם קבע כי $h = 0.4 + 0.1$, לתת רק 35%

לתת-סעיף זה.

(2) 35% ל-(2).

ב. 20% ל-(1).

10% ל-(2).

40% ל-(3).

10% ל-(5).

10% ל-(6).

10% ל-(7).

- אם הציב ב-(2) את רדיוס המסילה R, להוריד 5%.

- אם טעה בהצבת I_{CM} , להוריד 10%.

- אם טעה בהפרש גבהים והציב $0.4 - 0.1$, להוריד

5%.

ג. 60% ל-(8).

ב. חשב את הכוח הנורמלי שהקערה מפעילה על הכדור

בעוברו בנקודה B. (24 נקודות)

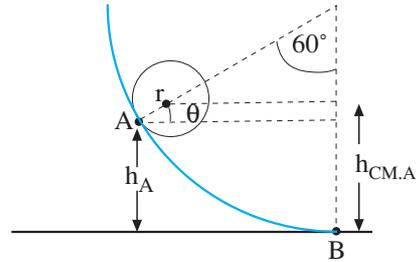
ג. הראה בעזרת החוק השני של ניוטון לתנועה סיבובית,

המיושם למומנטים המחושבים ביחס לנקודת ההשקה,

כי התאוצה הזוויתית של הכדור במהלך תנועתו מ-A

ל-B היא מקסימלית בנקודה A. (18 נקודות)

א. 6.



$$(1) \text{ בנקודה A: } h_{CM,A} = h_A + r \sin \theta =$$

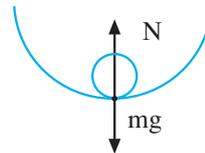
$$= 0.4 + 0.1 \sin 30^\circ$$

$$h_{CM,A} = 0.45 \text{ m}$$

(2) בנקודה B:

$$h_{CM,B} = r = 0.1 \text{ m}$$

ב. משוואת כוחות ב-B:



$$(1) \quad N - mg = ma_R$$

$$(2) \quad a_R = \frac{v^2}{R-r}$$

משימור אנרגיה:

$$(3) \quad mg h_{CM,A} = mg h_{CM,B} + \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2$$

$$(4) \quad I_{CM} = \frac{2}{5} r^2 m$$

בגלגול ללא החלקה:

$$(5) \quad v = \omega r$$

מהצבת (4) ו-(5) ב-(3):

$$(6) \quad v^2 = \frac{10g(h_{CM,A} - h_{CM,B})}{7} =$$

$$= \frac{10 \cdot 10 \cdot (0.45 - 0.1)}{7} = 5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

- ב. מהו הפרש המופע בין מתח המקור לזרם במעגל?
הסבר. (10 נקודות).
 ג. חשב את השראות הסליל. (10 נקודות).
 ד. חשב את ההתנגדות האומית של הסליל. (10 נקודות).
 ה. מכניסים אל תוך הסליל ליבת ברזל, וחוזרים על הניסוי. האם בעקבות הכנסת הליבה עוצמת הזרם המקסימלית דרך המקור תגדל, תקטן או לא תשתנה?
הסבר. (10 נקודות)

7. א. I: מתח המקור. II: מתח הנגד.
הסבר:

$$V = \sqrt{(V_R + V_{R_L})^2 + (V_L + V_C)^2}$$

לכן: $V_{מקור} > V_R$
 ובגרף: $V_I > V_{II}$

ב. הפרש המופע **אפס**.
 נימוק: הזרם במעגל הוא באותו מופע כמו המתח על הנגד, ובגרף אין הפרש מופע בין המתח על הנגד למתח המקור.

ג. המעגל הוא מעגל תהודה:
 $X_L = X_C$

$$(1) \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$(2) \omega = 2\pi f$$

$$(3) L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 100)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}$$

$L = 0.253 \text{ H}$

ד. במעגל תהודה:
 (4) $V = V_R + V_{R_L}$
 (5) $V_{R_L} = V - V_R = 12 - 9 = 3V$
 (6) $\frac{V_{R_L}}{V_R} = \frac{R_L}{R}$

$$R_L = \frac{V_{R_L}}{V_R} \cdot R = \frac{3}{9} \cdot 6$$

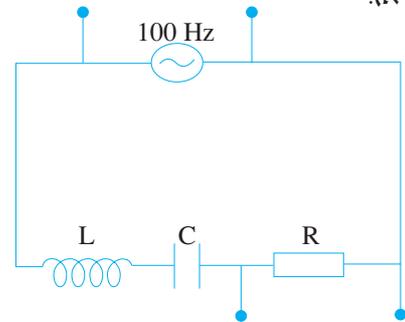
$R_L = 2\Omega$

ה. עוצמת הזרם **תקטן**.
 הכנסת הליבה מגדילה את L. המעגל החדש אינו מעגל תהודה (העכבה גדלה), כלומר הזרם יקטן.

- 40% לקבלת המסקנה.
 - אם חישוב את התאוצה הזוויתית בנקודה A בלבד ($\theta = 60^\circ$), לתת רק 40% לסעיף.
 - אם חישוב את התאוצה הזוויתית גם ב-A וגם ב-B והשווה ביניהן, לתת 75% לסעיף.
 - אם חישוב נכון לפי משוואת מומנטים לגבי מרכז המסה ומשוואת כוחות, להוריד 10%.

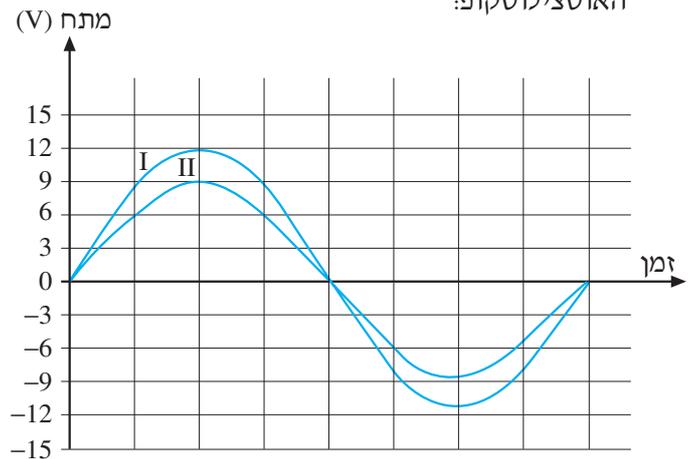
פרק רביעי – זרם חילופין

7. אל מקור מתח חילופין שתדירותו 100 Hz מחוברים בטור: סליל לא-אידאלי L, קבל C שקיבולו 10 μF ונגד R שהתנגדותו 6 Ω. שתי הכניסות של אוסצילוסקופ דו-אלומתי מחוברות במקביל למקור המתח ולנגד R (ראה תרשים א).



תרשים א

בתרשים ב שתי עקומות, I ו-II, המתארות את המתח כפונקציה של הזמן, כפי שהתקבלו על מסך האוסצילוסקופ:



תרשים ב

א. קבע איזו משתי העקומות, I או II, מתארת את מתח המקור, ואיזו מהן מתארת את המתח על הנגד. **הסבר.** (10 נקודות).

מפתח הערכה

7. א. 40% לקביעה.

60% להסבר.

- מלוא הנקודות להסבר: המתח של המקור צריך להיות גדול יותר מהמתח על הנגד.

ב. 60% לקביעה.

40% להסבר.

- אם רק ציין כי בגרף אין הפרש מופע בין המתח על הנגד למתח המקור, ולא ציין שהמתח והזרם על הנגד באותו מופע, להוריד 10%.

ג. 50% ל-1.

10% ל-2.

20% להצבה.

10% לתשובה נומרית.

10% ליחידות.

- אם לא זיהה מצב תהודה וכתב משוואות שאינן ניתנות כמובן לפתרון, לתת 30% לסעיף.

ד. 30% ל-4.

20% לחישוב V_{R_L} .

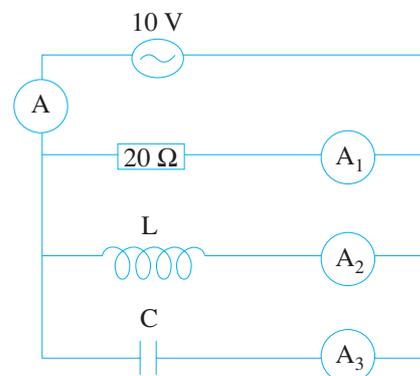
30% ל-6 או לחישוב הזרם, $I = \frac{V_R}{R} = 1.5A$.

20% לקבלת תשובה נומרית עם יחידות.

ה. 50% לתשובה.

50% להסבר.

8. אל מקור מתח חילופין, שהמתח האפקטיבי שלו הוא 10V, מחוברים במקביל: נגד שהתנגדותו 20Ω, סליל אינדואלי L וקבל C (ראה תרשים). את תדירות המקור אפשר לשנות, וכאשר מכוונים אותה ל 50 Hz, מראים האמפרמטרים A_1, A_2, A_3 אותה עוצמת זרם. התנגדות האמפרמטרים זניחה.



א. (1) מצא את הזרם האפקטיבי I דרך מקור המתח כאשר תדירות המקור היא 50 Hz.

(2) מצא את הפרש המופע ϕ בין הזרם לבין המתח. (תוכל להיעזר בדיאגרמת וקטורים מתאימה). (13 נקודות)

ב. חשב את ההשראות של הסליל L. (11 נקודות)

ג. חשב את הקיבול של הקבל C. (11 נקודות)

ד. מגדילים את תדירות המקור (בלי לשנות את המתח האפקטיבי שלו).

(1) קבע לגבי כל אחד מהזרמים I_C, I_L, I_R אם הוא גדל, קטן או אינו משתנה. **הסבר**.

(2) סרטט באופן מקורב דיאגרמת זרמים, וציין בה את I, I_C, I_L, I_R ואת זווית המופע ϕ .

(3) קבע, בעזרת הדיאגרמה שסרטטת, אם I גדל, קטן או אינו משתנה. **הסבר**. (15 נקודות)

8. א. (1) מאחר ש- $I_C = I_L$

(1) $X_C = X_L$ אז

(2) $Z = R$ ולכן

(3) $I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{R} = \frac{10}{20}$ מכאן:

$$I = 0.5A$$

או:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

(4) $I = I_R$ כלומר:

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{10}{20}$$

$$I = 0.5A$$

(2) $I = I_R \Leftrightarrow$ אין הפרש מופע בין הזרם דרך המקור ובין המתח.

(5) $\text{tg}\phi = \frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}$ או:

מ- (1) ו- (5): $\phi = 0 \Leftrightarrow \text{tg}\phi = 0$

(6) $V = I_L X_L$ ב.

(7) $X_L = \omega L$

(8) $\omega = 2\pi f$

מפתח הערכה

8. א. (1) 70% ל-(1):
 40% לקביעה $I = I_R$ או לכל קביעה אקוויולנטית.
 30% לחישוב I_R .
 (2) 30% ל-(2).
 - אין צורך לנמק.
 ב. 20% ל-(6).
 10% ל-(7).
 10% ל-(8).
 10% ל-(9).
 20% להצבה.
 20% לתשובה נומרית.
 10% ליחידות.
 ג. 25% ל-(11).
 20% ל-(12).
 25% להצבה.
 20% לתשובה נומרית.
 10% ליחידות.
 ד. (1) 60% ל-(1):
 3x10% לשלוש הקביעות,
 3x10% לשלושת ההסברים.
 (2) 20% ל-(2):
 5% לכל וקטור.
 - אם I לא נראה כשקול של I_L , I_C ו- I_R , להוריד 5%.
 (3) 20% ל-(3):
 10% לקביעה.
 10% להסבר.

פרק חמישי – תורת הנוזלים והגזים

9. אדם מטיל קוביית קרח שמסתה 4.8 gr לכוס עם מים. הקובייה נעה במים כלפי מטה, נעצרת רגעית מעל קרקעית הכוס, ולאחר מכן עולה וצפה בכוס. צפיפות המים היא 1000 kg/m^3 .
 א. הסבר מדוע הקובייה עלתה לאחר שהיא נעצרה רגעית. (10 נקודות)
 ב. אחד הכוחות שפועל על הקובייה בעת עלייתה (לפני שהיא צפה) הוא התנגדות המים. כוח זה גדול יותר ככל שמהירות הקובייה גדולה יותר.
 (1) סרטט את הכוחות הפועלים על הקובייה בעת עלייתה.

מ-(6), (7) ו-(8):

$$(9) V = 2\pi f L I_L$$

$$(10) L = \frac{V}{2\pi f I_L} = \frac{10}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.5}$$

$$L = 0.0637 \text{ H}$$

$$X_L = R \quad \text{או:}$$

$$L = \frac{R}{2\pi f} = \frac{20}{2\pi \cdot 50} = 0.0637 \text{ H} \quad \text{ולכן:}$$

$$(11) V = I_C X_C \quad \text{ג.}$$

$$(12) X_C = \frac{1}{\omega C}$$

מ-(8), (11) ו-(12):

$$(13) C = \frac{I_C}{2\pi f V} = \frac{0.5}{2\pi \cdot 50 \cdot 10}$$

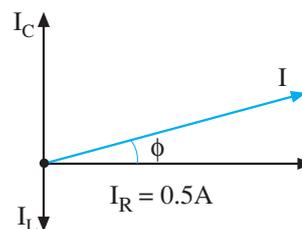
$$C = 1.59 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

או:

מ-(2), (8) ו-(12):

$$(14) C = \frac{1}{2\pi f R} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 20} = 1.59 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

- ד. (1) I_R אינו משתנה. R ו- V אינם משתנים, ולכן לפי (3) ו-(4) I_R לא משתנה.
 I_L קטן, כי לפי (7) X_L גדל, V אינו משתנה ולכן לפי (6) I_L קטן.
 I_C גדל, כי לפי (12) X_C קטן, ו- V אינו משתנה ולכן לפי (11) I_C גדל.
 (2)



(3) I גדל.

- לפי דיאגרמת הזרמים $I > I_R$. במצב ההתחלתי $I = I_R$ אך I_R לא השתנה, ולכן I גדל.

$$V' = 4.8 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^3 = 4.8 \text{ cm}^3$$

ד. לא. בנוסחה (1) שלעיל כל הגדלים אינם משתנים.

מפתח הערכה

9. א. - אם רק כתב כי פעל על הגוף כוח עילוי כלפי מעלה, לתת 60% לסעיף.

- אם רק כתב כי על הגוף פעל כוח שקול כלפי מעלה, לתת את מלוא הנקודות.

ב. (1) 30% ל-(1):

3x10% לשלושת הכוחות.

(2) 35% ל-(2):

10% לתשובה,

25% לנימוק.

- לתת את מלוא הנקודות אם קבע שהקוביה ניתכת במהלך עלייתה, ולכן כוח העילוי קטן.

(3) 35% ל-(3):

20% לתאוצת הגוף הולכת וקטנה או לכוח

השקול הולך וקטן,

15% לקביעת הגרף.

ג. 20% לרעיון שכוח הכובד שווה לכוח העילוי.

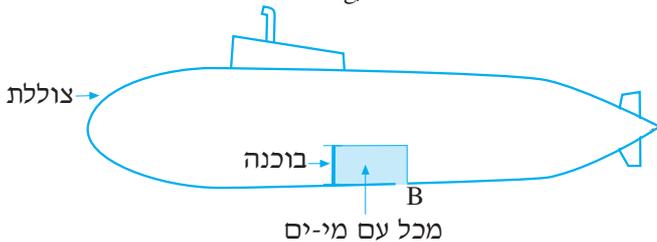
40% לנוסחה (1).

30% להצבה.

10% לתשובה נומרית עם יחידות.

10. בתרשים שלפניך מתוארת צוללת שנפחה הכולל הוא 500 m^3 .

הצוללת מרחפת בעומק מסוים מתחת לפני הים. צפיפות מי-הים היא 1025 kg/m^3 .



א. חשב את מסת הצוללת. (15 נקודות)

ב. הסבר כיצד אפשר לשנות את עומק הצוללת מתחת

לפני הים באמצעות שינוי כמות מי-הים הנמצאת בתוך

מכל שבצוללת (ראה תרשים). (13 נקודות)

הלחץ האטמוספרי הוא 10^5 Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). B היא

נקודה בים ליד פתח המכל, הנמצאת בעומק 25m

מתחת לפני הים.

(2) האם בעת תנועת הקובייה מתחת לפני המים

משתנה כוח העילוי הפועל על הקובייה? **נמק.**

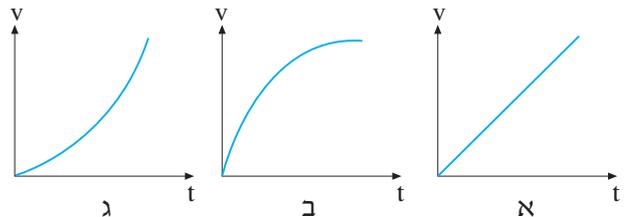
(3) איזה מבין הגרפים א - ג שלפניך עשוי לתאר את

מהירות הקובייה כפונקציה של הזמן בעת עלייתה

בתוך המים (לפני שהיא צפה)? **נמק.** (15 נקודות)

ג. חשב את הנפח של חלק הקובייה ששקוע במים, כאשר

הקובייה צפה (במנוחה) במים. (15 נקודות)



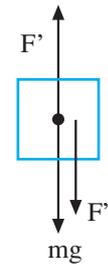
ד. האם תשובתך לסעיף ג תשתנה, אם הקובייה תהיה

עשויה מעץ וגם מסתה תהיה 4.8 gr? **נמק.** (10 נקודות)

9. א. משום שכוח העילוי שהמים הפעילו על הקובייה

גדול מכוח הכובד שפעל על הקובייה.

ב. (1)



mg - המשקל

F' - כוח עילוי

F'' - התנגדות המים

(2) ל.א. כוח העילוי הוא: $F' = \rho g V$

ρ - צפיפות הנוזל

g - תאוצת הנפילה החופשית

V - נפח הגוף הטבול בנוזל

שלושת הגדלים ρ , g ו- V קבועים.

(3) גרף ב, כי התנגדות המים הולכת וגדלה ושאר

הכוחות קבועים. לכן תאוצת הקוביה הולכת

וקטנה, וזה מתאים לגרף ב.

ג. כאשר הקוביה צפה, פועלים עלייה שני כוחות:

כובד ועילוי, המקיימים:

$$(1) \quad mg = \rho V' g$$

V' - הנפח של חלק הקוביה ששקוע במים:

$$4.8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 10^3 \cdot V' \cdot 10$$

פרק שישי - תרמודינמיקה

11. בשני מכלים A ו-B נמצאות כמויות שוות של אותו גז אידאלי חד-אטומי. בכל אחד מהמכלים נפח הגז הוא V_1 ולחץ הגז הוא P_1 . מכפילים את נפח הגז בכל מכל ל- $2V_1$, במכל A בתהליך איזותרמי הפיך ובמכל B בתהליך אדיאבטי הפיך.

א. באיזה משני המכלים הלחץ הסופי גדול יותר, ופי כמה? (10 נקודות)

ב. באיזה משני המכלים הטמפרטורה הסופית גדולה יותר, ופי כמה? (15 נקודות)

ג. סרטט באופן סכמתי באותה מערכת צירים את דיאגרמת P-V של כל אחד משני התהליכים, וציין איזה גרף מתאים לכל תהליך.

ציין על הצירים עבור שני התהליכים את הלחץ ואת הנפח (מבוטאים בעזרת P_1 ו- V_1) במצב ההתחלתי ובמצב הסופי. (15 נקודות)

ד. קבע באיזה משני התהליכים בוצעה עבודה גדולה יותר נמק את קביעתך. (10 נקודות)

11. א. במכל A בתהליך איזותרמי: $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$(1) \quad P_2 = \frac{P_1 V_1}{2 V_1} = \frac{P_1}{2}$$

במכל B בתהליך אדיאבטי: $P_1 V_1^\gamma = P_2' V_2'^\gamma$

$$(2) \quad P_2' = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = P_1 \left(\frac{V_1}{2 V_1} \right)^\gamma = \frac{P_1}{2^\gamma}$$

לגז חד-אטומי $\gamma = \frac{5}{3}$. מכאן יחסי הלחצים הם:

$$(3) \quad \frac{P_2}{P_2'} = \frac{\frac{P_1}{2}}{\frac{P_1}{2^\gamma}} = \frac{2^\gamma}{2} = \frac{2^{\frac{5}{3}}}{2}$$

$$\frac{P_2}{P_2'} = 2^{\frac{2}{3}} \approx 1.59$$

לכן הלחץ במכל A גדול מהלחץ במכל B.

ב. בשני המכלים אותה טמפרטורה התחלתית T_1 . במכל A התהליך איזותרמי ולכן:

ג. חשב את הלחץ (הכולל) בנקודה B. (10 נקודות)
משנים את נפח מי-הים במכל באמצעות בוכנה ששטחה A.

ד. (1) בהנחה שהלחץ P, שהבוכנה מפעילה על מי-הים במכל, הוא קבוע, הראה כי העבודה W, שעושה הבוכנה בהוצאת מי-ים שנפחם V, היא $W = P \cdot V$.

(2) חשב את העבודה בלחץ קבוע, הדרושה כדי להוציא מהמכל 0.5 m^3 מי-ים בעומק 25 m מתחת לפני הים. (12 נקודות)

10. א. הצוללת מרחפת. מכאן שמשקלה שווה לכוח העילוי:

$$(1) \quad mg = \rho V g \\ m = \rho V = 1025 \cdot 500$$

$$m = 512,500 \text{ kg} = 512.5 \text{ טון}$$

ב. כוח העילוי הפועל על הצוללת קבוע. כאשר מגדילים את כמות מי הים במכל - המשקל גדול מכוח העילוי, ולהפך.

$$P_B = 10^5 + \rho gh = 10^5 + 1025 \cdot 10 \cdot 25 = 3.56 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$W = F \cdot \Delta s = P \cdot A \cdot \Delta s = P \cdot V \quad (1)$$

$$W = P \cdot V = 3.56 \cdot 10^5 \cdot 0.5 \quad (2)$$

$$W = 1.78 \cdot 10^5 \text{ J}$$

מפתח הערכה:

10. א. 20% לרעיון שכוח הכובד שווה לכוח העילוי.

40% לנוסחה (1).

30% להצבה.

10% לתשובה נומרית עם יחידות.

ב. 100% לירידת הצוללת עם הגדלת משקלה.

100% לעליית הצוללת עם הקטנת משקלה.

ג. 70% לחישוב לחץ הידרוסטטי.

30% להוספת לחץ אטמוספרי.

ד. (1) 50% ל-(1):

$$W = F \cdot \Delta s \text{ ל-} 20\%$$

$$F = P \cdot A \text{ ל-} 15\%$$

$$V = A \cdot \Delta s \text{ ל-} 15\%$$

(2) 50% ל-(2)

30% ל- (5).

20% ל- (6).

10% לקביעה $T_2 > T_1'$

ג. $2 \times 15\%$ לסימון הערכים על הצירים לפני התהליכים.

$2 \times 30\%$ לסרטוט שתי העקומות.

$2 \times 5\%$ להתאמת כל עקומה לתהליך הנכון.

ד. 50% לקביעה.

50% להסבר.

- יכול גם להסביר על-ידי חישוב העבודה.

12. א. תן דוגמה: (1) לתהליך לא-הפיך.

(2) לתהליך הפיך.

(10 נקודות)

ב. רוצים לשנות את נפחו של גז אידיאלי הנמצא במכל

מ- V_1 ל- V_2 ואת לחצו - מ- P_1 ל- P_2 . האם ניתן לבצע

את השינוי גם בתהליך הפיך וגם בתהליך לא-הפיך?

אם כן - מה ההבדל בדרך ביצוע השינוי? אם לא -

מדוע לא? (10 נקודות)

ג. גז אידיאלי התפשט באופן אדיאבטי, כך שבהתפשטותו

עשה עבודה של 0.92 kJ. לאחר שהגז התפשט למצבו

הסופי דחסו אותו למצבו ההתחלתי, כך שבדחיסה

נעשתה עבודה של 1100 J.

האם הגז פלט או קלט חום בעת הדחיסה? חשב כמה.

(15 נקודות)

ד. מהנדס טוען כי בנה מכונת חום הפועלת בין מאגר

בטמפרטורה של 400 K לבין מאגר בטמפרטורה של

200 K. המכונה צורכת במחזור אחד 105 kJ מהמאגר

החם ומוסרת 40 kJ למאגר הקר. את יתר החום

המכונה הופכת לעבודה.

האם תיתכן מכונה כזו? **הסבר**. (15 נקודות)

12. א. (1) **תהליך לא הפיך:**

ערבוב של שני גזים שונים ממכלים שונים.

או: חימום מים בקומקום חשמלי.

או: כל תהליך ספונטני.

(2) **תהליך הפיך:**

דחיסה אטית של גז הנמצא בגליל המונח על

מכל בעל קיבול חום גבוה, כך שטמפרטורת הגז

נותרת קבועה.

או: חימום של כוס מים מטמפרטורה T_1 ל- T_2

$$(4) \quad T_2 = T_1$$

במכל B התהליך אדיאבטי ולכן:

$$T_2' V_2^{\gamma-1} = T_1' V_1^{\gamma-1}$$

$$(5) \quad T_2' = T_1' \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = T_1' \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{5}{3}-1} = \frac{T_1'}{2^{\frac{2}{3}}}$$

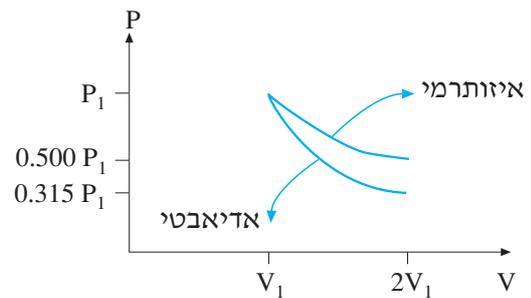
מ- (4) ומ- (5) מתקבל:

$$(6) \quad \frac{T_2}{T_2'} = \frac{T_1}{\frac{T_1'}{2^{\frac{2}{3}}}} = \frac{T_1}{T_1'} \cdot 2^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{T_2}{T_2'} = 2^{\frac{2}{3}} = 1.59$$

לכן: $T_2 > T_2'$

ג.



ד. העבודה שבוצעה בתהליך האיזותרמי גדולה

מהעבודה שבוצעה בתהליך האדיאבטי.

העבודה שווה לשטח מתחת לגרף בדיאגרמת P-V

שסורטטה בסעיף ג. ממנה ברור שהשטח מתחת

לגרף בתהליך האיזותרמי גדול מהשטח בתהליך

האדיאבטי.

מפתח הערכה:

11. א. 30% ל- (1).

30% ל- (2).

10% להצבת γ .

20% לחישוב היחסים (3).

10% לקביעה $P_2 > P_2'$.

ב. 25% לקביעה שהטמפרטורה ההתחלתית שווה בשני

הכלים.

15% ל- (4).

20% לקביעה שהגז פלט חום.

- יכול לחשב גם על-ידי פירוק התהליך לשני השלבים, התפשטות ודחיסה.

ד. 15% ל-5).

25% ל-6).

30% ל-7).

30% לקביעה.

פרק שביעי – תורת היחסות הפרטית

13. א. ציין הבדל בין המושג מסה במכניקה היחסותית למושג

מסה במכניקה הניוטונית. (10 נקודות)

ב. סרטט גרף המתאר את השתנות המסה של גוף

כפונקציה של מהירותו. סמן על הצירים את מהירות

האור c ואת מסת המנוחה m_0 . (15 נקודות)

ג. תלמיד מודד את מסתם של שני פרוטונים הנעים

בכיוונים מנוגדים, ומגלה שהמסה של כל אחד מהם

כפולה ממסת המנוחה.

(1) בטא באמצעות c את גודל מהירותו של כל אחד

הפרוטונים יחסית לתלמיד.

(2) בטא באמצעות c את גודל מהירותו של אחד

הפרוטונים במערכת ייחוס הצמודה לפרוטון האחר.

(3) הראה כי המסה של פרוטון אחד במערכת ייחוס

הצמודה לפרוטון האחר גדולה פי 7 ממסת המנוחה

שלו. (25 נקודות)

13. א. במכניקה הניוטונית המסה היא גודל קבוע המאפיין

את הגוף, ואילו במכניקה היחסותית המסה משתנה

בהתאם למערכת הייחוס שבה היא נמדדת (או:

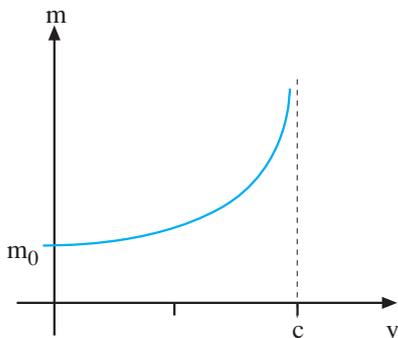
משתנה עם המהירות).

או: במכניקה הניוטונית המסה הכוללת של מערכת

סגורה נשמרת, ואילו במכניקה היחסותית המסה

הכוללת אינה בהכרח נשמרת.

ב.



על-ידי הנחת הכוס על סדרה של מכלים

שהטמפרטורות שלהם נבדלות זו מזו ב- dT

אינפיניטסימלי, מ- T_1 ל- T_2 .

או: תהליך שבו נשמר שיווי-משקל תרמודינמי.

ג. ניתן לבצע את השינוי הן בתהליך הפיך והן בתהליך

לא-הפיך. בתהליך הלא-הפיך השינוי, הזזת הבוכנה,

יכול להיות מהיר, ואילו בתהליך ההפיך השינוי

צריך להתרחש באטיות ובהדרגתיות.

(למשל, על-ידי הוספה אטית של גרגרי חול על

הבוכנה, כך שהגז יועבר באופן רציף דרך מצבי

שיווי-משקל תרמודינמיים.)

ג. לפי החוק הראשון של התרמודינמיקה:

$$(1) \quad \Delta U = Q - W$$

הגז חוזר למצבו ההתחלתי, ולכן:

$$(2) \quad \Delta U = 0$$

העבודה הכוללת היא:

$$(3) \quad W = 920 - 1100 = -180J$$

$$(4) \quad Q = W = -180J$$

בשלב האדיאבטי לא נקלט ולא נפלט חום.

בעת הדחיסה הגז **פלט** חום בשיעור של 180 J.

ד. העבודה שהמכונה ביצעה היא:

$$(5) \quad W = Q_1 - Q_2 = 105 - 40 = 65 \text{ kJ}$$

נצילות המכונה היא:

$$(6) \quad \eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{65}{105} = 0.619$$

אבל הנצילות חייבת לקיים:

$$(7) \quad \eta \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \leq \frac{400 - 200}{400} \leq 0.5$$

מאחר שהתנאי של הנצילות אינו מתקיים, **לא**

תיתכן מכונה כזו.

מפתח הערכה:

12. א. (1) 50% ל-1).

(2) 50% ל-2).

ב. 40% לקביעה.

60% להסבר השוני בדרך ביצוע התהליך.

ג. 10% ל-2).

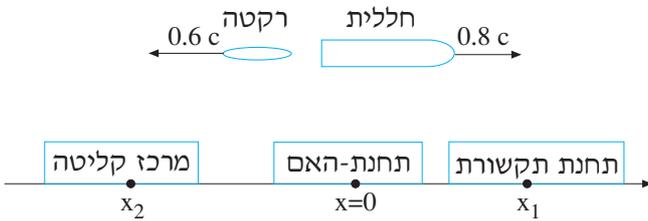
20% ל-3).

20% ל-4).

20% ל-5).

10% לקביעה שבשלב האדיאבטי לא נפלט חום.

14. על כדור הארץ נמצאת בנקודה $x=0$ תחנה לשיגור לוויינים (תחנת-האם), בנקודה x_1 נמצאת תחנת תקשורת, ובנקודה x_2 נמצא מרכז קליטה של שידורי לוויינים (ראה תרשים).



ברגע $t=0$ חללית חולפת מעל הנקודה $x=0$, וברגע זה טייס החללית משגר רקטה. מהירות החללית לאחר שיגור הרקטה היא $0.8c$ יחסית לכדור הארץ, ומהירות הרקטה היא $0.6c$ יחסית לכדור הארץ בכיוון מנוגד לכיוון תנועת החללית (ראה תרשים).

ברגע $t=5 \cdot 10^{-4}$ s צופה הנמצא ב- $x=0$ רואה את החללית עוברת מעל x_1 ואת הרקטה חולפת מעל x_2 . התייחס לכל הגופים כאל נקודתיים.
א. לגבי הצופה בתחנת-האם חשב את:

(1) x_1 .

(2) x_2 .

(3) המרחק בין תחנת התקשורת למרכז הקליטה.

(15 נקודות)

ב. האם המרחק בין תחנת התקשורת למרכז הקליטה שימדוד טייס החללית גדול יותר או קטן יותר מהמרחק שחישבת בסעיף א (3)? **נמק.** (17 נקודות)

ג. הסבר מדוע טייס החללית יראה את החללית עוברת מעל תחנת התקשורת לפני שהוא יראה את הרקטה עוברת מעל מרכז הקליטה. (18 נקודות)

14. א. (1) $x_1 = v_1 \cdot t = 0.8 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$

$x_1 = 1.2 \cdot 10^5 \text{ m}$

(2) $x_2 = v_2 \cdot t = -0.6 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$

$x_2 = -9 \cdot 10^4 \text{ m}$

(3) $|\Delta x| = x_1 - x_2 = 12 \cdot 10^4 - (-9 \cdot 10^4)$

$|\Delta x| = 2.1 \cdot 10^5 \text{ m}$

ב. המרחק שחושב בת-סעיף א (3) הוא המרחק שמווד הצופה על הקרקע, שהוא הצופה במערכת המנוחה.
מרחק זה הוא l_0 . המרחק שימדוד טייס החללית הנמצא במערכת נעה הוא l .

ג. (1) $m = \gamma m_0 = 2m_0$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2$

$v = \frac{\sqrt{3}}{2} c$

(2) מטרנספורמציות מהירויות מקבלים:

$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{v \cdot u}{c^2}}$

$u' = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} c - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} c\right)}{1 - \frac{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} c\right) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} c}{c^2}}$

$u' = \frac{4\sqrt{3}}{7} c$

(3) $m(u') = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u'^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\left(\frac{4\sqrt{3}}{7} c\right)^2}{c^2}}}$

$m(u') = 7m_0$

מפתח הערכה:

13. א. - לקבל כל הבדל אחר נכון.

ב. 20% לסרטוט הצירים m ו- v .

20% לסימון c ו- m_0 על הצירים.

60% לסרטוט הגרף.

- אם החליף בין הצירים להוריד 20%.

ג. (1) 30% ל-(1).

(2) 40% ל-(2).

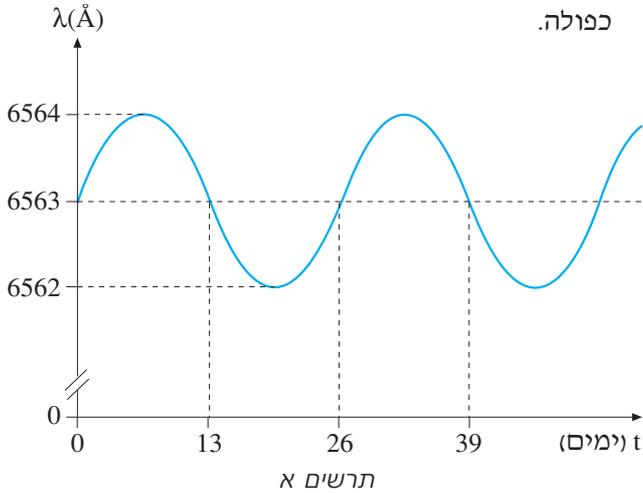
- אם קיבל מהירות גדולה מ- c , לא לתת נקודות

ל-(2).

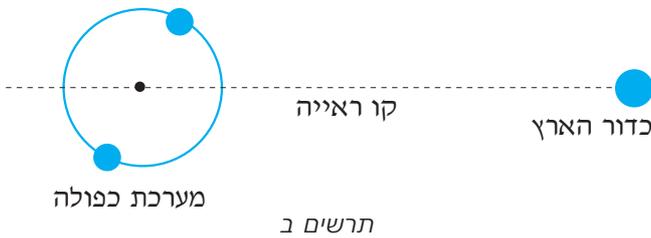
(3) 30% ל-(3).

פרק שמיני – אסטרופיזיקה

15. הגרף שבתרשים א מתאר את ההשתנות הסינוסואידלית של אורך הגל של קו פליטה של מימן מאחד מכוכבי מערכת כפולה.



אורך הגל של קו זה בספקטרום המימן שמתקבל במעבדה הוא 6563 \AA . לכל אחד מכוכבי המערכת אותה מסה, והם נעים על אותו מסלול מעגלי סביב מרכז המסה של המערכת. הנח כי קו הראייה אל המערכת עובר במישור התנועה של הכוכבים (ראה תרשים ב).



- קבע בעזרת הגרף (תרשים א) אם בפרק הזמן 0-13 ימים הכוכב, שקרינתו מתוארת בגרף, מתקרב לכדור הארץ או מתרחק ממנו. **הסבר** (8 נקודות)
- חשב את גודל מהירות הכוכב במסלול המעגלי. (10 נקודות)
- העתק את תרשים א למחברתך. סרטט מתחתיו במערכת צירים נפרדת, גרף המתאר את רכיב המהירות של הכוכב לאורך קו הראייה כפונקציה של הזמן. בחר לציר הזמן אותו קנה-מידה כמו זה שבתרשים שהעתקת. בחר את רכיב המהירות כחיובי כאשר הכוכב מתרחק מאתנו. ציין ערכים מספריים על הצירים. (12 נקודות)
- חשב את רדיוס המסלול המעגלי. (10 נקודות)
- חשב את המסה של כל אחד מכוכבי המערכת הכפולה. (10 נקודות)

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\gamma > 1$$

$$l < l_0 \quad \text{ולכן}$$

ג. במערכת הטייס החללית עוברת מעל תחנת

התקשורת ב- $t'_1 = \gamma(t_1 - v \frac{x_1}{c^2})$

ואילו הרקטה עוברת מעל מרכז הקליטה ב-

(2) $t'_2 = \gamma(t_2 - v \frac{x_2}{c^2})$

(3) $t_1 = t_2$ נתון ש-

(4) $x_1 > x_2$ לפי סעיף א:

(5) $v > 0$

(6) $t'_2 > t'_1$ לכן מ-(1)-(5) נובע:

מפתח הערכה:

14. א. (1) 35% ל-(1).

(2) 35% ל-(2).

- אם לא כתב מינוס, להוריד 5% (לתת 30% לתת-סעיף זה).

(3) 30% ל-(3).

ב. 50% לקביעה.

50% להסבר.

- לקבל כל הסבר אחר נכון.

ג. 20% ל-(1).

20% ל-(2).

60% להוכחה, (3)-(6).

- אם הוכיח בדרך אחרת נכונה, לתת את מלוא הנקודות.

ה. לפי החוק השני של ניוטון: $F = ma_R$
 המרחק בין הכוכבים הוא $2R$, ולכן:

$$(2) \quad \frac{GM^2}{(2R)^2} = \frac{Mv^2}{R}$$

$$M = \frac{4v^2 R}{G} = \frac{4(4.57 \cdot 10^4)^2 \cdot 1.63 \cdot 10^{10}}{6.67 \cdot 10^{-11}}$$

$$M = 2.04 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

מפתח הערכה:

15. א. 40% לקביעה.

60% להסבר.

ג. 20% לצירים.

20% לסימון ערכים מספריים על הצירים.

60% לסרטוט הגרף הסינוסואידלי.

- אם הפך את הכיוון החיובי של המהירות, להוריד 20%.

ד. 20% לקביעת זמן המחזור ביממות.

20% לחישוב זמן המחזור בשניות.

60% לחישוב R.

ה. 20% לשימוש בחוק השני של ניוטון, (1).

20% לקביעת המרחק בין הכוכבים.

20% ל- (2).

20% להצבה.

10% לחישוב.

10% ליחידות.

- אם טעה בביטוי לכוח והציב R במקום $2R$, לא לתת את ה-20% למרחק.

16. לפניך דיאגרמת H-R של אוסף כוכבים.

15. א. הכוכב מתרחק מכדור הארץ.

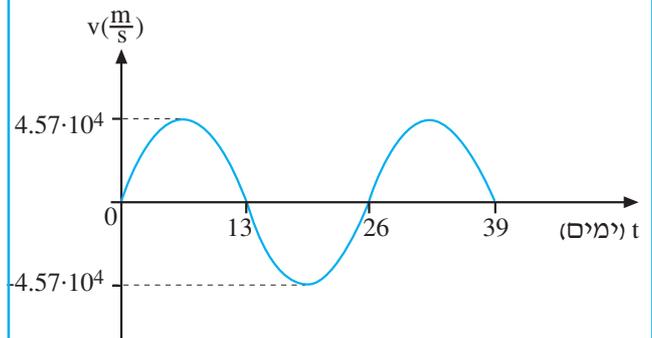
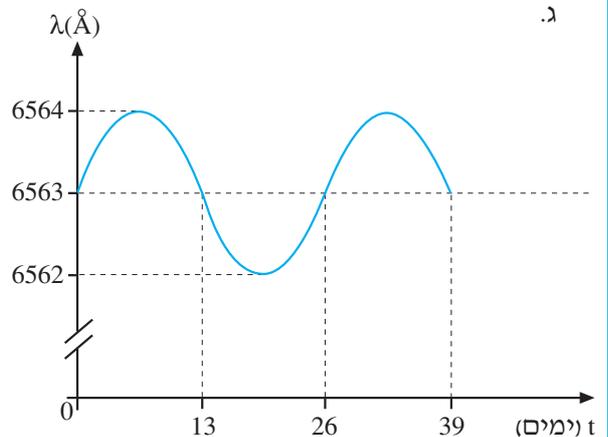
מהגרף ברור שבפרק הזמן 0-13 ימים אורך הגל הנפלט מהכוכב מוסט לאדום, ולכן לפי אפקט דופלר הכוכב מתרחק.

ב. את גודל המהירות אפשר לקבוע על-פי ההסחה המקסימלית של אורך הגל. במצב זה רכיב מהירות הכוכב לאורך קו הראייה שווה למהירות הכוכב.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad \text{לפי אפקט דופלר:}$$

$$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{6564 - 6563}{6563} \cdot 3 \cdot 10^8$$

$$v = 4.57 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



ד. זמן המחזור הוא 26 יממות, כלומר:

$$T = 26 \cdot 24 \cdot 3600 = 2.25 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$v = \omega R = \frac{2\pi}{T} R$$

$$R = \frac{vT}{2\pi} = \frac{4.57 \cdot 10^4 \cdot 2.25 \cdot 10^6}{2\pi}$$

$$R = 1.63 \cdot 10^{10} \text{ m}$$

א. הגדר את הגדלים המסומנים על צירי הדיאגרמה:

(1) מחלקה ספקטרלית.

(2) גודל מוחלט (אפולית).

(10 נקודות)

ב. קבע מהו סוג הכוכבים השייכים לקבוצות המסומנות

באותיות א, ב ו-ג (10 נקודות)

ג. הסבר מדוע לכוכב שנמצא בקבוצה א יש בהירות

גבוהה, אף-על-פי שהטמפרטורה שלו נמוכה.

(10 נקודות)

ד. כוכב מסוים השתייך במהלך התפתחותו לקבוצות א,

ב ו-ג. סדר את שיוכו לכל קבוצה בסדר זמנים עולה:

מ"צעיר" ל"זקן". (10 נקודות)

ה. הסבר מדוע בצביר כדורי "זקן" לא מוצאים בקבוצה

ב כוכבים ממחלקה ספקטרלית O ו-B. (10 נקודות)

מפתח הערכה:

א. 16 (1) 50% ל-1.

(2) 50% ל-2.

ב. 33% ל-א.

33% ל-ב.

34% ל-ג.

ד. - אין צורך בהסבר.

פרק תשיעי - כאוס

17. לפניך תרשים ההתפצלויות של משפחת המיפויים

$$M(x) = x^3 - ax$$

16. א. (1) מחלקה ספקטרלית - חלוקת הכוכבים

לקבוצות על-פי הספקטרום של האור הנפלט

מהם. (החלוקה הבסיסית היא ל-7 מחלקות

כמצוין על הציר האופקי של הדיאגרמה.)

(2) גודל מוחלט - גודל המתאר את שטף הקרינה

שהיה מגיע אלינו מהכוכב אילו נמצא במרחק

של 10 פרסק מאתנו.

ב. א - ענקים אדומים

ב - סדרה ראשית

ג - ננסים לבנים

ג. לענקים אדומים רדיוס הגדול (בערך פי 1000)

מהרדיוס של כוכבי הסדרה הראשית בעלי אותה

טמפרטורת פנים, ולכן הבהירות שלהם

$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ היא גבוהה בהרבה מבהירות כוכבי

הסדרה הראשית בעלי אותה טמפרטורה.

ד. ב ← א ← ג

א: סדרה ראשית ← ענקים אדומים ← ננסים

לבנים

ה. הכוכבים על הסדרה הראשית, השייכים למחלקות

הספקטרליות O ו-B, הם כוכבים מסיביים יותר

מהכוכבים במחלקות הספקטרליות האחרות, ולכן

זמן שהותם על הסדרה הראשית קצר יותר. בצביר

כדורי זקן כוכבים אלה סיימו את שלב בעירת

המימן להליום ועברו לאזורים אחרים, למשל א או

ג שבדיאגרמת HR.

א. בטא באמצעות a את נקודת השבת של המיפוי

$$x^3 - ax \quad (9 \text{ נקודות})$$

ב. מהו מושך המיפוי עבור ערכים של a בתחום

$$a_2 < a < a_3 \quad ? \text{ הסבר. (12 נקודות)}$$

ג. (1) סרטט גרף מקורב של $x_n(n)$ עבור המיפוי

$$x^3 - a_1x$$

(2) מתחילים את האיטרציות של המיפוי $x^3 - a_1x$

מערך התחלתי x'_0 , הקרוב לערך x_0 שנבחר בסעיף

ג(1). הוסף לגרף שסרטטת בסעיף ג(1) את

האיטרציות החדשות $x'_n(n)$.

(3) סרטט גרף מקורב של $x_n(n)$ עבור המיפוי

$$x^3 - a_4x$$

(4) מתחילים את האיטרציות של המיפוי $x^3 - a_4x$ מערך

התחלתי x'_0 הקרוב לערך x_0 שנבחר בסעיף ג(3).

הוסף לגרף שסרטטת בסעיף ג(3) את האיטרציות

החדשות $x'_n(n)$. (16 נקודות)

ד. מתחילים את האיטרציות של המיפוי $x^3 - a * x$ מערך

התחלתי x_0 , ומקבלים את הערכים x_1, x_2, x_3, x_4 .

מתחילים שוב מאותו x_0 , מבצעים את האיטרציות

מפתח הערכה:

17. א. 66.7% על כתיבת נוסחה (1)

11.1% על כל אחד מהפירוטות.

ב. 75% על התשובה

25% על ההסבר

ג1-2. 50% על גרף של $x_n(n)$ המראה התכנסות למושך.

50% על הפרש הולך וקטן בין האיטרציות של שתי

הנקודות.

ג3-4. 50% על גרף של $x_n(n)$ שבו לא רואים תבנית

מוגדרת.

30% על כך שאין קשר בין הערכים המתקבלים עבור

שני תנאי ההתחלה השונים.

20% על הפרש הולך וגדל בין האיטרציות של שתי

הנקודות.

ד. אם ההסבר הוא טוב לא להוריד נקודות אם לא

השתמשו במילה "דטרמיניזם".

18. כדור קטן חופשי לקפוץ על שולחן. השולחן נע מעלה-

מטה בתנועה הרמונית פשוטה, שזמן המחזור שלה T קבוע

והמשרעת A ניתנת לשינוי.

עבור כל ערך של A מודדים את גובה הכדור h כל T

שניות.

תרשים א שלפניך מתאר את המדידות שהתקבלו

כפונקציה של A, כאשר המדידות הראשונות אינן מופיעות

בתרשים.

עם אותו מיפוי על אותו מחשבון, ומקבלים את

הערכים x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 . האם ייתכן ש- x'_1, x'_2, x'_3

ו- x'_4 יהיו שונים מ- x_1, x_2, x_3 ו- x_4 ? **נמק.** (5 נקודות)

ה. בתרשים לא רואים את ההתפצלויות מסדר גבוה

(למסלול מחזורי מושך מסדר 16, 32 וכו').

(1) מדוע אי-אפשר לראות אותן?

(2) מה צריך לעשות אם רוצים לראות אותן?

(8 נקודות)

17. א.

$$(1) x^3 - ax = x \rightarrow x^3 = (1+a)x \rightarrow x = 0 \text{ או } x = \pm\sqrt{1+a}$$

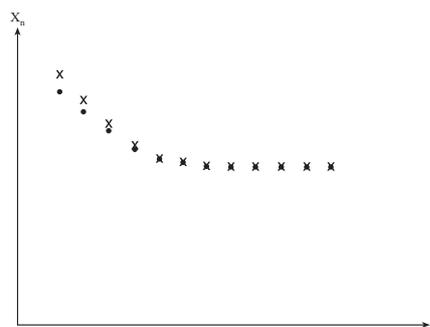
ב. המושך הוא מסלול מחזורי מסדר שתיים. זאת הסיבה

שכאשר מתחילים את האיטרציות מ- x_0 כלשהו, x_n

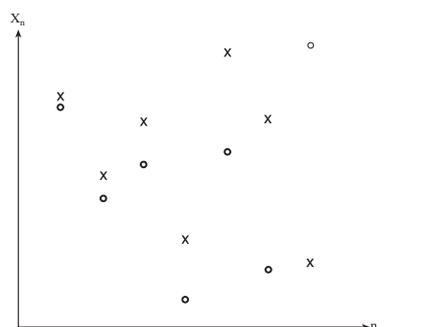
מקבל שני ערכים שונים לסירוגין לערכים גדולים

של n.

ג1. וג2.



ג3. ו-ג4.



ד. לא ייתכן, כי המיפוי הוא דטרמיניסטי.

ה. (1) כי המרחק בין התפצלויות קטן כאשר סדר

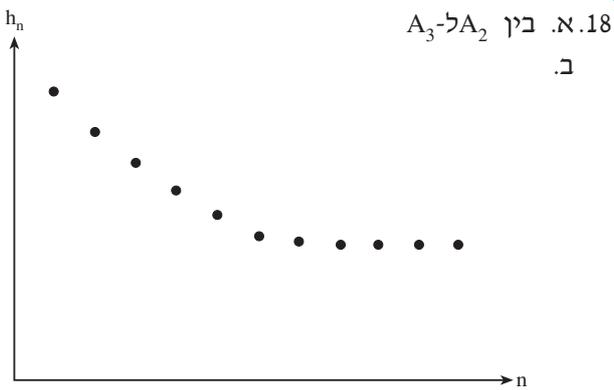
ההתפצלות גדל. כשהמרחק הוא קטן, לא ניתן

להבחין בהתפצלויות עקב בעיית רזולוציה.

ה. (2) צריך להגדיל את האזור שבו אנו מתעניינים;

כלומר, לשנות את הסקלה בציר ה-a כך שנוכל

להבחין בהתפצלויות.



- ג. לא. בתוך האזור הכאוטי יש חלונות של סדר. עבור הערכים של A שבתוך חלונות אלו התנהגות המערכת אינה כאוטית.
ד. עבור כל n ניתן לחשב את הערך המוחלט של $h_n - h'_n$. מכאן ניתן לבנות טבלה של הלוגריתמוס של ההפרש כתלות ב- n . להלן:

n	$\ln(\text{abs}(h_n - h'_n))$
0	-9.210
1	-8.517
2	-8.112
3	-7.824
4	-7.131
5	-6.266
6	-6.377
7	-5.382

מהגרף של $\ln(\text{abs}(h_n - h'_n))$ כפונקציה של n ניתן למצוא את מעריך ליאפונוב כשיפוע של קו המגמה, והוא $\lambda = 0.52$.
מעריך ליאפונוב מתאר מהו קצב הגדילה של ההפרש בין האיטרציות של שתי נקודות קרובות.
(2) $\text{abs}(h_n - h'_n) = \text{abs}(h_0 - h'_0) e^{\lambda n}$
ה. עבור ערך זה של A התנועה היא כאוטית. ייצוג התנועה במרחב המופע הוא פרקטל.

מפתח הערכה:

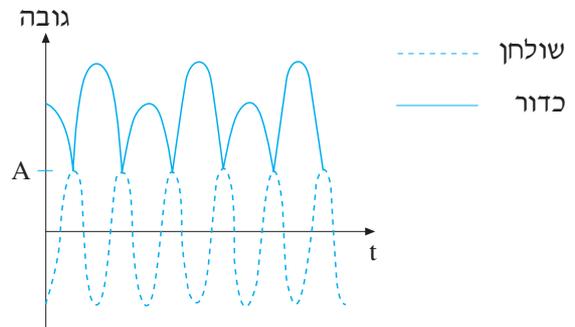
18. ד. 20% על הסבר המשמעות

80% על חישוב המעריך

אם תלמיד חישב את המעריך בעזרת שתי שורות של

הטבלה והנוסחה (2), לתת לו ניקוד מלא. תהודה

א. בתרשים ב מתואר גרף של גובה הכדור ושל גובה השולחן כפונקציה של הזמן עבור משרעת A מסוימת של תנודת השולחן. ציין את טווח הערכים של A , שעבורם תנועת הכדור המתוארת בתרשים ב היא התנועה היציבה של הכדור. (10 נקודות)



- ב. עבור $A = A_1$ מודדים את גובה הכדור h כל T שניות, ומקבלים את הערכים h_0, h_1, h_2, \dots . סרטט גרף מקורב של מדידות הגובה של הכדור h_n כפונקציה של n . (10 נקודות)
ג. האם עבור כל ערך של A שגדול מ- A_5 התנהגות המערכת היא כאוטית? **הסבר**. (5 נקודות)
ד. עבור $A = A_6$ מתחילים מגובה h_0 ומודדים את $h_n(n)$. מתחילים מחדש מגובה קצת שונה h'_0 , ומודדים את הגובה כפונקציה של n , $h'_n(n)$. בטבלה שלפניך רשומות המדידות שהתקבלו.

n	h_n	h'_n
0	0.7001	0.7000
1	0.8188	0.8190
2	0.5784	0.5781
3	0.9508	0.9512
4	0.1818	0.1810
5	0.5803	0.5784
6	0.9494	0.9511
7	0.1859	0.1813

(1) חשב את מעריך ליאפונוב.

(2) הסבר מהי משמעותו.

(15 נקודות)

- ה. עבור $A = A_6$ מודדים את גובה הכדור h כל T שניות, ומייצגים את הנקודות במרחב המופע של המערכת. הסבר איך ייראה תיאור התנועה במרחב המופע. **נמק**. (10 נקודות)

