

ה א ו נ י ב ר ס י ט ה ה פ ת ו ח ה

20213

פרקים בפיזיקה מודרנית

חוברת קורס - סמסטר א' 2026

כתב:

ד"ר גיא חצראוני

אוקטובר 2025 - סמסטר שני - תשפ"ו

פנימי - לא להפצה.

© כל הזכויות שמורות לאוניברסיטת הפתוחה.

תוכן עניינים

5.....	אל הסטודנטים
6.....	התנאים לקבלת נקודות זכות בקורס
7.....	תיאור המטלות
7.....	לוח זמנים ופעולות
11.....	מטלת מחשב (ממ"ח) 01
21.....	מטלת מנהה (ממ"ז) 11
25.....	מטלת מחשב (ממ"ח) 02
31.....	מטלת מחשב (ממ"ח) 03
39.....	מטלת מנהה (ממ"ז) 12
43.....	מטלת מחשב (ממ"ח) 04
49.....	מטלת מחשב (ממ"ח) 05
55.....	מטלת מנהה (ממ"ז) 13

אל הסטודנט,

צוות הקורס "פרקים בפיזיקה מודרנית" מקדם את פניך בברכה ומחלל לך לימוד פורה ומהנה.

בחוברת זו תמצא הסברים על מרכיביו השונים של הקורס ועל פעילותו בו. أنا קרא אותה בעיון. הדבר יהיה לך עזר ועשוי לסייע לך בפתרון בעיות העוללות להתעורר תוך כדי לימוד ולמנוע מכך טرزות מיותרות. כמו כן, צירפנו כאן את לוח הזמנים של הקורס וכן את המטלות. בחינת גמר לדוגמה ומידע נוסף ניתן לחוברת ההשלכות המופיעה באתר הקורס.

הסביר מפורט על המערכת המשיינית ללימוד עצמי, מרכיביה ופרטיהם מנהליים לביצוע הפעילויות השונות במסגרת לימודיך, תמצא בידיעון האקדמי ובידיעון האקדמי. עדכונים יישלחו מדי סמסטר.

מרכז ההוראה בקורס הוא **ד"ר גיא חצובני**. ניתן לפנות אליו בשעות הקבלה בטלפון 09-7781764, או בדואר אלקטרוני : guyhe@openu.ac.il

כמו כן ניתן לפנות למזכירות המחלקה למדעי הטבע והחיים בטלפון : 7/7781746-09 או לשלו函
fax : 09-7780661, וכן לשלו函 דוא"ל לכתובה : science@openu.ac.il

לקורס שבו אתם לומדים קיימים אתר באינטרנט שבו תמצאו חומר ליידזה נוספים שפורסם מרכז ההוראה. האתר גם מהווה עבורהם ערוץ תקשורת עם צוות ההוראה ועם סטודנטים אחרים בקורס. פרטים על מיידזה מותוקשבת ואיתר הקורס תמצאו באתר שוהם בכתובה :

<https://www.openu.ac.il/shoham>

מיידע על שירוטי ספרייה ומקורות מידע שהאוניברסיטה מעמידה לרשותכם תמצאו באתר הספרייה באינטרנט www.openu.ac.il/Library

אנו מחללים לך הצלחה בלימודים.

ברכה,
צוות הקורס

התנאים לקבלת נקודות זכות בקורס

על מנת לקבל נקודות זכות בקורס עלייך :

- .1. להגיש במהלך הקורס מטלות שמשקלן הכולל לפחות **10 נקודות**, מתוך **ממ"נ אחד לפחות**.
- .2. לקבל בבחינת הגמר **ציון 60 לפחות**.
- .3. לקבל בציון הסופי **60 נקודות לפחות**.

لتשומתיכם!

פתרון המטלות הוא מרכיב מרכזי בתהליך הלמידה, לכן מומלץ שתשתדלו להגיש מטלות רבות ככל האפשר, כולל מטלות שעליין תצליחו להשיב באופן חלקי בלבד.

כדי לעודדכם להגיש לבדיקה מספר רב של מטלות הנהגנו את ההקללה שלහן :

בחישוב הציון הסופי נשקלל את כל המטלות שציויניהן גבוהים מהציון בבחינת הגמר. ציוני מטלות כאלה תורמים לשיפור הציון הסופי.

לייתר המטלות נתיחס במידה הצורך בלבד. מתוך נבחר רק את הטובות ביותר עד להשלמת המינימום הדרוש לעמידה בתנאי הגשת מטלות. משאר המטלות נטעלם.

זכרו! ציון סופי מחושב רק לסטודנטים שעברו את בחינת הגמר בציון 60 ומעלה והגישו מטלות כנדרש באותו קורס.

תיאור המטלות

בקורס "פרקים בפיזיקה מודרנית" 5 מטלות מחשב (ממ"ח'ים) ו-3 מטלות מנהה (ממ"נים). בטבלה להלן מופיעה רשימת המטלות, סימוליהן, היחידות בהן הן עוסקות ומשקליהם. עליך להגשים מטלות שמשקלן הכללי הוא לפחות 10 נקודות, בהן ממ"ן אחד לפחות. שימושם לב למשקל הגובה של שני הממ"נים המתקדמיים.

משקל	היחידות אליהן היא מתייחסת	הטללה
2	יחידות 2-1	ממ"ח 01
2	יחידות 3-5	ממ"ח 02
2	יחידות 6-7	ממ"ח 03
2	יחידות 9-8	ממ"ח 04
2	יחידות 10-11	ממ"ח 05
2	יחידות 1-4	ממ"ן 11
4	יחידות 5-8	ממ"ן 12
4	יחידות 9-11	ממ"ן 13
סה"כ 20 נקודות		

لتשומת לבכם:

מדיניות קורס זה היא לאשר הזנת ציון אפס במטלות שלא הוגשו כנדרש בקורס. סטודנטים אשר לא הגיעו את מסכת המטלות המינימלית לעמידה בדרישות הקורס ולקבלת זכאות להיבחן, ומבקשים שמטלות חסרות יזנו בציון אפס, יפנו למוקד הפניות והميدע בטלפון **09-7782222 או יעדכנו בעצמם** באתר שאלתה <http://www.openu.ac.il/sheilta>

קורסים ↳ ציוני מטלות ובחינות ↳ הזנת ציון 0 למטלות רשות שלא הוגשו.
יש לנקחת בחשבון כי מטלות אשר יזון להן ציון אפס ישוקלו בחישוב הציון הסופי ובכך יורידו ציון זה ולא ניתן יהיה להמירן במטלות חלופיות במועד מאוחר יותר. על כן קיימת אפשרות שסטודנט אשר עברור את הבחינה בהצלחה ייכשל בקורס (כשהמוצע המשוקל של ציוני המטלות והבחינה יהיה נמוך מ-60%).

כל זה אינו חל על מטלות חובה או על מטלות שנקבע עבורה ציון מינימום.

לוח זמנים ופעולות (20213 / 2026)

תאריך אחרון למשLOWת ממ"ן (למנה) 01 1-2 7.11.2025	ממ"ח (לאו"פ) 11 1-4 21.11.2025	מפגשי ההנחיה* 02 3-5 28.11.2025	יחידת הלימוד המומלצת 1 2 3-4 4-5 5-6 6 7 7 8 8-9 9-10 10-11 11 חזרה	אררכי שבוע הלימוד 31.10.2025-26.10.2025 07.11.2025-02.11.2025 14.11.2025-09.11.2025 21.11.2025-16.11.2025 28.11.2025-23.11.2025 05.12.2025-30.11.2025 12.12.2025-07.12.2025 19.12.2025-14.12.2025 (ב-ו חנוכה) 26.12.2025-21.12.2025 (א-ב חנוכה) 02.01.2026-28.12.2025 09.01.2026-04.01.2026 16.01.2026-11.01.2026 23.01.2026-18.01.2026 30.01.2026-25.01.2026	שבוע לימוד 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
			1	31.10.2025-26.10.2025	1
			2	07.11.2025-02.11.2025	2
			3-4	14.11.2025-09.11.2025	3
			4-5	21.11.2025-16.11.2025	4
			5-6	28.11.2025-23.11.2025	5
			6	05.12.2025-30.11.2025	6
			7	12.12.2025-07.12.2025	7
			7	19.12.2025-14.12.2025 (ב-ו חנוכה)	8
	03 ממ"ח 6-7 26.12.2025		8	26.12.2025-21.12.2025 (א-ב חנוכה)	9
12 ממ"ן 5-8 2.01.2026			8-9	02.01.2026-28.12.2025	10
			9-10	09.01.2026-04.01.2026	11
	04 ממ"ח 8-9 16.01.2026		10-11	16.01.2026-11.01.2026	12
			11	23.01.2026-18.01.2026	13
13 ממ"ן 30.01.2026	05 ממ"ח 10-11 30.01.2026		חזרה	30.01.2026-25.01.2026	14

הערות חשובות לתשומת לבך!

- חל איסור מוחלט על העתקת מטלות ועל הגשת מטלות זהות. פטור/פתרי בעצמך!
- עליך להשאיר לעצמך העתק של המטלה. אין האוניברסיטה הפתוחה אחראית למטלה שתאבד בשל תקלות בדואר.

מטלה מחשב (ממ"ח) 01

הקורס: 20213 - פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: 2 נקודות, 1, 2

משקל המטלה: 2 נקודות

מספר השאלות: 21

מועד אחרון להגשה: 7.11.2025

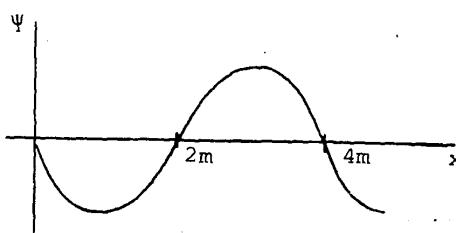
סמסטר: א' 2026

את התשובות לממ"ח יש לשЛОח באמצעות מערכת שאלתא

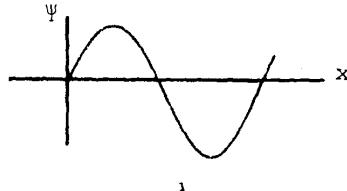
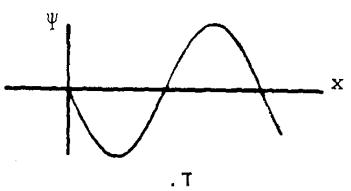
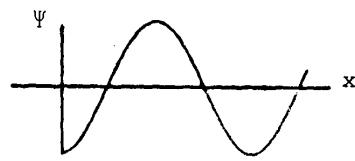
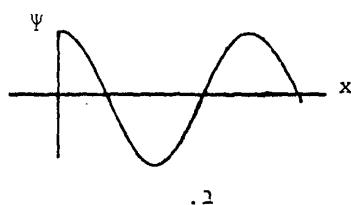
בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

האיור המצורף מתאר תבנית של גל סינוס חד-מדי, הנע בכיוון החיובי של ציר x ב מהירות $t = 0, 10m/sec$.



סמןו את האיור המתאר את תבנית הגל בזמן $t = 0.1sec$



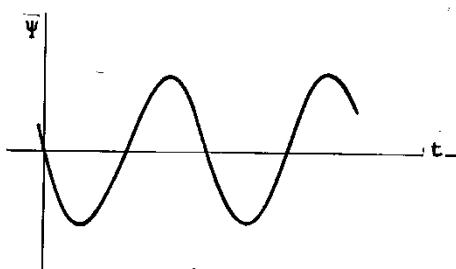
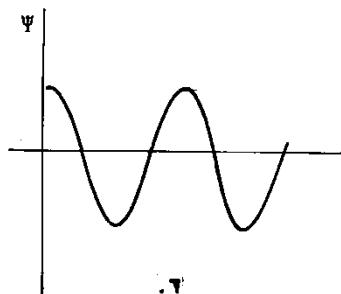
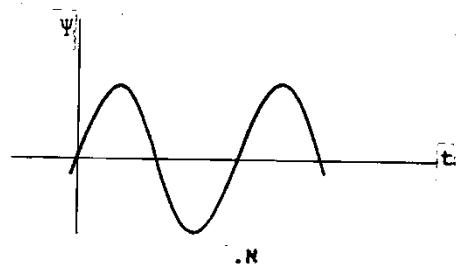
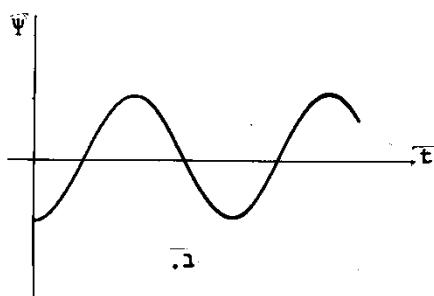
שאלה 2

मבין האיורים בשאלת 1, האיור המתאר את תבנית הגל בזמן $t = 0.2 \text{ sec}$ הוא:

- א. איור א'
- ב. איור ב'
- ג. איור ג'
- ד. איור ד'

שאלה 3

סמן את האיור המתאר את העתק הגל הנתון בשאלת 1, כפונקציה של הזמן t בנקודה $x = \lambda/4$ קלומר את $\psi(x = \lambda/4, t)$.



שאלה 4

שני גלי רדיו מישוריים בעלי אמפליטודות שוות הנעים זה מול זה בריק יוצרים גל עומד. אם תדירות כל אחד מן הגלים היא 75MHz , יהיה המרחק בין כל שתי נקודות צומת סמוכות:

- א. 0.5 מטר
- ב. 1.0 מטר
- ג. 1.5 מטר
- ד. 2.0 מטר
- ה. 2.5 מטר
- ו. 3.0 מטר
- ז. 3.5 מטר

שאלה 5

נתונה הפונקציה $x = 1, t = 3 \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \cdot \sin\left(\frac{5}{2}\pi t\right)$ בנקודת $(9+x^2)$. חשבו את ערך הביטוי

- א. $\frac{75}{4}\pi^2$
- ב. $-\frac{75}{4}\pi^2$
- ג. $25\pi^2$
- ד. $-25\pi^2$
- ה. $\frac{75}{2}\pi^2$
- ו. $-\frac{75}{2}\pi^2$

שאלה 6

במיטר באורך L קיים גל עומד בעל העתק הנתון על-ידי:

$$\psi(x,t) = A \sin(3\pi x/L) \sin(2\pi\nu t)$$

מהירותה, V , של נקודת הטעור $x = L/6$ בתנועתה מעלה-מטה נתונה על-ידי:

- א. $V = 2\pi\nu A \cos(2\pi\nu t)$
- ב. $V = A \sin(2\pi\nu t)$
- ג. $V = 0$
- ד. $V = \frac{2}{3}\nu L$

שאלה 7

נתון שהפונקציה $\psi(x,t) = A \cos(x^2 - 12xt + 36t^2)$ מהוות פתרון של משוואת הגלים במרחב

$$\text{אחד: } \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}.$$

- א. $\sqrt{6}$
- ב. $\sqrt{12}$
- ג. 6
- ד. 12
- ה. 36

הנתונים הבאים מתייחסים לשאלות 9-8. השיבו עליהם לאור תורה היחסות הפרטית, והיעזרו

בטרנספורמציה לורןץ. זהירות! תורה היחסות הפרטית יכולה להיות תורה מבלבת!

צופה מודד שני מאורעות במערכת הייחוס שלו 0 :

מאורע א' – בזמן 0 = t נדלק פנס הממוקם בראשית הצירים.

מאורע ב' – בזמן 0 = t מצצל פעמון הממוקם על ציר ה- x במרחק נתון X ימינה מראשית הצירים ($0 < X$).

צופה שני, הנמצא בחללית המתאימה למערכת ייחוס 0' נע ימינה במהירות v ביחס לצופה הראשון. הינו כי בזמן 0 = t ראשית הצירים של שתי המערכות נמצאות באותה הנקודה (כיווני הצירים של שתי המערכות הם כמו באирו 5.6 ביחידה 1). בזמן זה, שעון הנע יחד עם הצופה השני ומוקם בראשית הצירים של מערכת 0' מראה 0 = t' .

שאלה 8

סמנו את המשפט הנכון :

- א. עברו הצופה במערכת 0' הפנס נדלק לפני צלצול הפעמון.
- ב. עברו הצופה במערכת 0' הפעמון מצצל לפני שהפנס נדלק.
- ג. עברו הצופה במערכת 0' הדלקת הפנס וצלצול הפעמון הם בו זמניים, ומתרחשים בזמן $t' = 0$.
- ד. עברו הצופה במערכת 0' הדלקת הפנס וצלצול הפעמון הם בו זמניים, אך הם מתרחשים בזמן $0 \neq t'$.

שאלה 9

האם המרחק שימדד במערכת ' S' בין מאורע הדלקת הפנס לבין מאורע צלצול הפעמון הוא :

- א. קטן מ- X .
- ב. שווה ל- X .
- ג. גדול מ- X .

שאלה 10

מערכת התמדית S' נעה ימינה ב מהירות קבועה שגדלה τ ביחס למערכת S .

צופה במערכת S' מודד את מהירותו של חלקיק מסוים, ומוצא כי הוא נע ימינה ביחס אליו ב מהירות שגדלה τ . (המשתנים τ ו- v בשאלה זו מייצגים גלים חיוביים).

מה תהיה מהירות החלקיק הנמדדת במערכת S ?

- א. קטנה מ- $v + \tau$
 - ב. בדוק $v + \tau$
 - ג. גדולה מ- $v + \tau$
- ד. אין לדעת מהנתונים : תלוי האם הגודל $v + \tau$ גדול או קטן מ מהירות האור.

שאלה 11

מה גודל התנע של פרוטון חופשי שהאנרגיה היחסותית הכוללת שלו היא 1200 MeV ?

טיפ: נסו לפתור את השאלה הזו והשאלה הבאה בלי להמיר ליחידות MKS. זו מiomנות שתחכזק לכם זמן וчисובים בהמשך!

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| ד. $c \frac{903 \text{ MeV}}{c}$ | א. $c \frac{262 \text{ MeV}}{c}$ |
| ה. $c \frac{938 \text{ MeV}}{c}$ | ב. $c \frac{341 \text{ MeV}}{c}$ |
| ו. $c \frac{1310 \text{ MeV}}{c}$ | ג. $c \frac{748 \text{ MeV}}{c}$ |

שאלה 12

מה גודל מהירותו של הפרוטון מהשאלה הקודמת? (c מהירות האור).

- | | |
|----------------|----------|
| א. $c - 0.14c$ | 0.14 c |
| ב. $c - 0.39c$ | 0.39 c |
| ג. $c - 1.41c$ | 1.41 c |

שאלה 13

פונקציית ההתפלגות של גובהן של מולקולות באטמוספרה בעלת טמפרטורה אחידה T היא :

$$P(z) = A \exp(-mgz/kT)$$

כאשר m מסת המולקולה, g - תאוצת הנפילה החופשית, k - קבוע בולצמן, z - הגובה מעל פני הקרקע ו- A קבוע נירמול.

מתוך התפלגות זו, חשבו את ערכי תוחלת הגובה של מולקולה באטמוספירה \bar{z} , ואת קבוע הנירמול A :

$$A=1/2 \quad \bar{z}=k/m \quad .\text{א.}$$

$$A=\sqrt{\pi}mg/kT \quad \bar{z}=mg/kT \quad .\text{ב.}$$

$$A=mc^2/kT \quad (\text{c-מהירות האור}) \quad \bar{z}=c^2/g \quad .\text{ג.}$$

$$A=mg/kT \quad \bar{z}=kT/mg \quad .\text{ד.}$$

$$A=mg/kT \quad \bar{z}=(kT/mg)^2 \quad .\text{ה.}$$

שאלה 14

האנרגיה של פוטון של גל רדיו בעל אורך גל של 200 מטר היא :

$$9.5 \times 10^{-28} eV \quad .\text{א.}$$

$$13.6 eV \quad .\text{ב.}$$

$$9.3 \times 10^{-9} eV \quad .\text{ג.}$$

$$6.2 \times 10^{-9} eV \quad .\text{ד.}$$

$$1.6 \cdot 10^{-19} eV \quad .\text{ה.}$$

שאלה 15

בתא פוטואלקטרי אשר לקטודה שלו פונקציית עבודה של $2 eV$ והמתח העוצר בו שווה לאפס, לא יזרום זרם אם אורך הגל של האור הפוגע בו יהיה :

$$\text{א. גדול מ-} \overset{\circ}{12400 \text{ \AA}} \quad .$$

$$\text{ב. קטן מ-} \overset{\circ}{12400 \text{ \AA}} \quad .$$

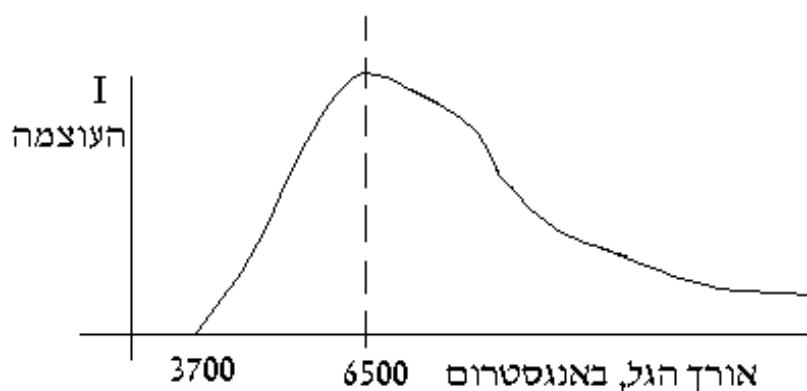
$$\text{ג. קטן מ-} \overset{\circ}{6200 \text{ \AA}} \quad .$$

$$\text{ד. גדול מ-} \overset{\circ}{6200 \text{ \AA}} \quad .$$

שאלה 16

אור שהספקטrometer שלו מתואר באյור המצורף, פוגע בקתוודה של תא פוטואלקטרי בעל פונקציה
עבודה של $1.61eV$ ומתח עצור השווה לאפס.

מה תהיה האנרגיה הקינטית
המקסימלית של האלקטרונים
בתא?



- א. $0.29eV$
- ב. $1.74eV$
- ג. $1.85eV$
- ד. $1.91eV$
- ה. $3.35eV$

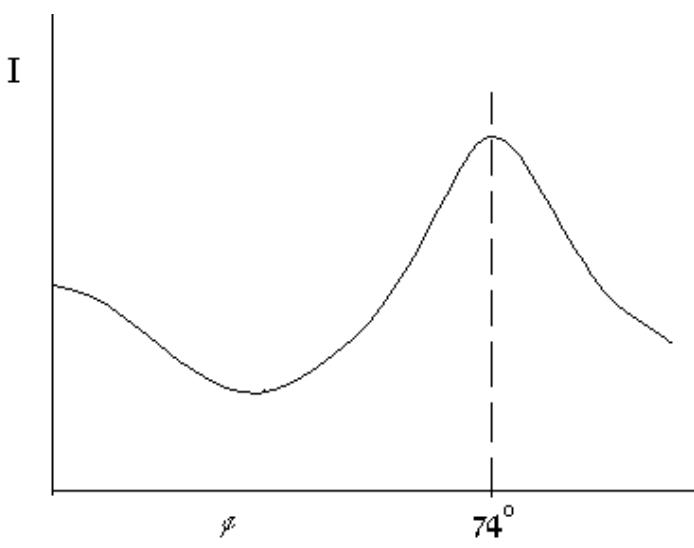
שאלה 17

מכשיר לייזר מקרין אור מונוכרומטי בעל אורך גל קבוע. קבוע כיצד ישנה מספר פוטונים
היווצאים מן המכשיר כל שנייה והאנרגיה של כל אחד מהם אם מקטינים את ההספק של המכשיר.

מספר הפוטונים היוצרים לשניה	אנרגiya של פוטון בודד
קטנה	קטן
נשארת קבועה	קטן
גדלה	גדל
נשארת קבועה	גדל
קטנה	נשאר קבוע
נשארת קבועה	נשאר קבוע

- א.
- ב.
- ג.
- ד.
- ה.
- ו.

שאלה 18



האיור המצורף מתאר את תלותה של עוצמת אלומת האלקטרונים המוחזרת מפנוי של גביש בניסוי דיוידסון-גרמר. כפונקציה של הזווית ϕ

אם המתח המאיץ הוא 35.55 וולט, יהיה המרחק בין מישורי הגביש שמהם מוחזרת האלומה:

- א. 1.29 \AA°
- ב. 2.34 \AA°
- ג. 2.58 \AA°
- ד. 3.74 \AA°

שאלה 19

נתונה שופרת רנטגן הפולטת קרינה בעלת אורך-גל מינימלי λ_m . אורך גל זה-ברולי של האלקטרונים המגיעים לאנודה הוא λ_e . הנח כי האלקטרונים אינם יחסותיים. סמןו את הקשר הנכון בין λ_c , λ_e ו- λ_m .

$$\lambda_m = \sqrt{\frac{1}{2} \lambda_e \lambda_c} \quad \text{א.}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{2} \lambda_c \lambda_m \quad \text{ב.}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{1}{2} \lambda_m \lambda_e} \quad \text{ג.}$$

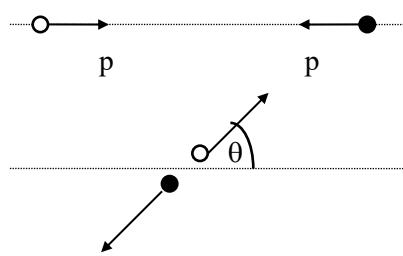
$$\lambda_m = \frac{1}{2} (\lambda_e + \lambda_c) \quad \text{ד.}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{2} (\lambda_c + \lambda_m) \quad \text{ה.}$$

$$\lambda_c = \frac{1}{2} (\lambda_m + \lambda_e) \quad \text{ו.}$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{1}{2} \lambda_c \lambda_m} \quad \text{ז.}$$

שאלה 20



פוטון ואלקטרון נעים זה מול זה כשהתנגע של האחד ק שווה בערכו המוחלט לזה של الآخر, אך כיוננו הפוך. כתוצאהמן התנגשות שביניהם נעה הפוטון בזווית θ ביחס לכיוונו המקורי. אורך הגל λ של הפוטון, לאחר התנגשות, נתון על-ידי:

$$\lambda = \frac{h}{p + mc} \quad \text{א.}$$

$$\lambda = (1 - \cos \theta)h / mc \quad \text{ב.}$$

$$\lambda = h / p \cos \theta \quad \text{ג.}$$

$$\lambda = h / mc \quad \text{ד.}$$

$$\lambda = h \cos \theta / mc \quad \text{ה.}$$

$$\lambda = h / p \quad \text{ו.}$$

שאלה 21

פוטון בעל אורך-גל λ_0 פוגע בחלקיק טעון נח שמטענו זהה לשאלקטרון ומסתו גדולה פי 207 ממסת האלקטרון, ועובר פיזור קומפטון (חחלקיק נקרא מיוואן ועוד נפגש אותו בהמשך). השינוי באורך הגל של הפוטון המפוזר בזווית θ נתון על-ידי:

$$\lambda - \lambda_0 = (1 - \cos \theta) \cdot 0.0243 \text{ \AA} \quad \text{א.}$$

$$\lambda - \lambda_0 = (1 + \cos \theta) \cdot 0.0243 \text{ \AA} \quad \text{ב.}$$

$$\lambda - \lambda_0 = (1 - \cos \theta) \cdot 1.18 \times 10^{-4} \text{ \AA} \quad \text{ג.}$$

$$\lambda - \lambda_0 = (1 - \cos \theta) \cdot 1.57 \times 10^{-4} \text{ \AA} \quad \text{ד.}$$

$$\lambda - \lambda_0 = (1 - \cos \theta) \cdot 5.03 \text{ \AA} \quad \text{ה.}$$

מטלת מנוחה (ממ"ז) 11

הקורס: 20213 - פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: ייחידות-4

משקל המטלת: 2 נקודות

מספר השאלות: 6

מועד אחרון להגשה: 21.11.2025

סמסטר: א' 2026

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוריות באתר הבית של הקורס
- שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנוחה במפגשי ההנחה

הסביר מפורט ב"נווה הגשת מטלות מנוחה"

שימוש לב: בפתרון מטלות המנוחה, הקפידו לפרט את כל שיקוליכם הפיזיקליים. ערכיים מספריים יש להציב רק בנוסחה הסופית.

שאלה 1 (20 נק')

טבעת דקה ברדיוס R טעונה באופן אחד במטען Q וمستובבת סביב צירה בזמן T . מסת הטעבת m מחולקת באופן אחד.

א. חשבו את גודל התנע הזוויתי L של הטעבת בעזרת נתוני השאלה.

ב. חשבו את גודל המומנט המגנטי M של הטעבת בעזרת נתוני השאלה. (رمز: α השתמשו בהדרת זרם כמטען לייחิดת זמן. מצאו הזרם, ובעזרתו – את המומנט המגנטי).

ג. הוכיחו שמתקיים יחס הפרופורציה $\vec{L} = \alpha \vec{M}$, ובטאו את הקבוע α בעזרת נתוני הבעיה.

ד. עברו כדור מלא הומוגני קשיח שמסתו m , טוען במטען Q וمستובב סביב צירו בזמן T גם מתקיים יחס פרופורציה מהצורה $\vec{L} = \alpha_{ball} \vec{M}$.
ענו באופן איקוני בלבד: האם הקבוע α_{ball} גדול, קטן או שווה מהקבוע α ?
שמצאתם בסעיף ג'?

היחס בין התנע הזוויתי למומנט המגנטי מכונה היחס הגירומגנטי. כדאי להשיקע ולהבין את השאלה היטב – זה יעוזר לכם להבין את ניסוי שtron-గרלץ ביחידה 8.

שאלה 2 (12 נק')

- קרן X מונוכרומטית מתפזרת על אלקטرونים חופשיים הנמצאים במנוחה. השינוי המקסימלי באורך הגל בקרן ה-X שנמדד אחרי הפיזור היה 10%.
- חשבו את אורך הגל של קרינית ה- α המקורי.
 - מהי האנרגיה המקסימלית של האלקטרונים הרותעים בפייזור?
 - מהו אורך גל דה-ברולי של אלקטرونים אלו?
 - משתמשים בקרינית ה-X (מסעיף א'), לניסוי עקיפה בגביש ומקבלים החזרה מקסימלית מסדר ראשון בזווית $15^\circ = \theta$ (בין האלומה הפוגעת למישור הסריג). מהו המרחק בין המישורים המחויזרים בגביש?
 - באילו זוויות נוספות תתקבל החזרה מקסימלית מאותם מישוריים?
 - משתמשים בגביש מסעיף ד' לניסוי עקיפת אלקטرونים (דייויסון גירמן) ומקבלים תבנית עקיפה עם החזרה מכסימלית באותה הזווית המתוארת בסעיף ד'.חשבו את אנרגיית האלקטרונים בניסוי.

שאלה 3 (15 נקודות)

פוטוון מתפזר פיזור קומפטון מאלקטרון נח. נתון כי לפני הפיזור תדר הפוטוון הוא ν_0 , ואחרי הפיזור הוא ν . נתון גם כי אחרי הפיזור כיוון תנעת הפוטוון הפוך לכיוון המקורי (פיזור של 180°), והאלקטרון נע במהירות יחסותית שגודלה v .

- נתון כי אורך הגל של הפוטוון לפני הפיזור הוא $\lambda_0 = 1\text{ \AA}$.חשבו את התדריות ν_0 ו- ν .
- בסעיף זה הтельמו מהנתונים המספריים של סעיף א', וענו בעזרת המשתנים המופיעים בשאלת והקבועים הפיזיקליים m_e, h בלבד:
 - מה יהיה כיוון תנעת האלקטרון אחרי הפיזור? נמקו נימוק פיסיקלי. שרטטו את הבעה, כולל כיווני התנועה לפני ואחרי הפיזור.
 - רשמו משואה (יחסותית) עבור שימור אנרגיה בפייזור.
 - רשמו משואה עבור שימור תנע (בעזרת אותן המשתנים).
- עבור ערכי התדריות שמצאתם בסעיף א',חשבו את מהירות האלקטרון בעזרת המשואה שרשמתם בסעיף ב' (ii).
- הראו כי הערכים שמצאתם בסעיף א' ייחד עם מהירות שמצאתם בסעיף ג' מהווים פתרון של המשואה שרשמתם בסעיף ב' (iii).

שאלה 4 (8 נקודות)

- נתון יון הליום He^+ המיונין פעמי אחד. עבור אטום זה, חשבו את הגדים הבאים לפי מודל בוור:
- רדיויסי המסלולים המותרים של האלקטרון סביב גרעין ההליום.
 - משוואת רמות האנרגיה של אטום ההליום והערך המספרי של אנרגיית רמת היסוד.
 - קבוע רידברג של אטום ההלים. (ערך מספרי)
 - אורך גל של הקו הראשוני של הסדרות לימן (Lyman), פאשן (Paschen) (ערך מספרי).

שאלה 5 (15 נקודות)

חלקיק בעל מסה m נע במסלול מעגלי סביב למרכז בהשפעת כוח מהצורה $F = -kr$ (כוח הרמוני), כאשר r הוא המרחק בין החלקיק למרכז, והסימן מינוס מצביע כוח משיכה.

א. השתמשו בתנאי הקוונטייזציה של בוור על מנת להוכיח כי רמות האנרגיה המותירות של

$$\text{החלקיק נתונות ע"י הביטוי } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ כאשר}$$

- מהם רדיוסי המסלולים?
- אם מתוך בחינת האור הנפלט מאטומים מעוררים של מימן ניתן לקבוע כי הכוח הקשור את האלקטרון לגרעין במימן הוא כוח חשמלי ולא כוח הרמוני כמפורט בסעיף א'? נמקו את תשובתכם.

שאלה 6 (30 נקודות)

צפו באתר הקורס בהדגימות המצלומות וענו על השיעיפים הבאים.

- מתוך הנתונים המוצגים בסרטון "ניסוי בגלילי מיקרו", חשבו את אורך הגל של הגלים בהם נעשה שימוש בניסוי, ואת התוצאות שלהם. הסבירו כיצד חישבתם, וודאו שהتوزואה בתחום המתאים לגלי מיקרו.
- מתוך הנתונים המוצגים בסרטון "עקיפה והتابכות בלייזר" חשבו את אורך הגל של הלייזר בו נעשה שימוש בניסוי. האם הערך שקיבלתם הוא בתחום האור הנראה? האם הוא מתאים לצבע האדום של האור שבניסוי?
- בניסוי האפקט הפוטואלקטרי, חבו מתוך הנתונים והතוצאות שבסרטון את אנרגיית הקשר (פונקציית העבודה) של המתקנה, ואת היחס h/e בין מטען האלקטרון לקבוע פLENK (ציינו את היחידות של התוצאה!)
- השו את היחס שהתקבל בסעיף ג' לערך התיאורטי שאמור היה להתקבל. מה ניתן ללמוד מכך על גודל השגיאה בניסוי שבוצע בסרטון? הסבירו כיצד ניתן היה לקבל תוצאות מדוייקות יותר בעזרת המערכת שבסרטון.
- בניסוי עקיפת אלקטرونים מקבלים תבנית התאבכות כאשר האלקטרונים מואצים במתח של 2 kV לפחות. חשבו את אורך גל דה-ברויי של האלקטרונים במקרה זה. מה ניתן לומר על המרווח בין שכבות הגביש דרך עוברים האלקטרונים?

מטלה מחשב (ממ"ח) 02

הקורס: 20213 - פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: 3, 4, 5

מספר השאלות: 13

משקל המטלה: 2 נקודות

מועד אחרון להגשה: 28.11.2025

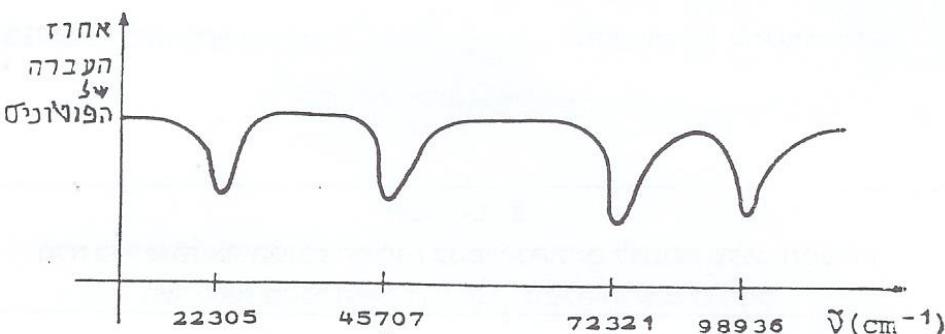
סמסטר: א' 2026

את התשובות לממ"ח יש לשЛОוח באמצעות מערכת **שאילטה**

www.openu.ac.il/sheilta

הנתונים הבאים מתיחסים לשאלות 1-3

אור לבן עובר דרך גז של אטומים זהים הנמצאים ברמת היסוד. נתון הספקטרום של האור שעבר בגז. רמז: כדי לענות נכון על שאלות 3-2, עשו חישובי העזר הנדרשים וشرطו לעצמכם את דיאגרמת רמות האנרגיה של האטום.



שאלה 1

סמן את המשפט הנכון :

- בספקטרום המתתקבל באורכי גל מסוימים רואים ירידת אחוז ההעברה בגלל פיזור של פוטונים באטומים.
- בספקטרום הנתון באורכי גל מסוימים רואים עלייה באחוז ההעברה בגלל פליטה של האטומים החוזרים לרמת היסוד.
- בספקטרום הנתון בתוכמי אורכי גל מסוימים רואים עלייה באחוז ההעברה בגלל בליעה של פוטונים באטומים המתקבלת בעלייה מרמת היסוד לרמה גבוהה יותר.
- בספקטרום המתתקבל באורכי גל מסוימים רואים ירידת אחוז ההעברה בגלל בליעה של פוטונים באטומים המתקבלת בעלייה מרמת היסוד לרמה גבוהה יותר.

שאלה 2

נסמן ב- $E = E_0$ את האנרגיה של רמת היסוד. מה היא האנרגיה של הרמה המעוררת הראשונה באטומיים של הגז הנnton (ביחידות eV)?

- | | | | |
|----|--------|-------|----|
| ד. | 2.77 | -1.23 | א. |
| ה. | -12.27 | 1.23 | ב. |
| ו. | 12.27 | -2.77 | ג. |

שאלה 3

חוורים על הניסוי הניל, כאשר הגז מחומם לטמפרטורה גבוהה בה חלק מהאלקטרוונים נמצאים ברמה המעוררת הראשונה. מה מהבאים מצין (בקירוב) קו בליעה שיתווסף לспектרום הנnton בשאלת?

- | | | | |
|----|---------------------------------|----|---------------------------------|
| ד. | $\approx 30000 \text{ cm}^{-1}$ | א. | $\approx 7000 \text{ cm}^{-1}$ |
| ה. | $\approx 40000 \text{ cm}^{-1}$ | ב. | $\approx 10000 \text{ cm}^{-1}$ |
| ו. | $\approx 50000 \text{ cm}^{-1}$ | ג. | $\approx 16000 \text{ cm}^{-1}$ |

הנתוניים הבאים מתיחסים לשאלות 4-6

בליזר הליום ניאון נפלט אור אדום באורך גל של $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, המתקיים במעבר של אטום ניאון מרמה 5 לרמה 3. נטונה שפפרת ובה 0.25 Mole של תערובת הליום-ニアון, מתוכה 15% אטומי ניאון. נתון כי בזמן פעולה הליזר, בכל רגע נתון כ-2% מאטומי הניאון נמצאים באחת משתי רמות האנרגיה הנתונות.

שאלה 4

על פי הנתוניים, מהו הפרש האנרגיות בין רמה 5 לרמה 3 של אטום הניאון (ב-eV)?

- | | | | |
|----|------|----|------|
| ד. | 2.81 | א. | 0.83 |
| ה. | 3.23 | ב. | 1.24 |
| ו. | 3.96 | ג. | 1.96 |

שאלה 5

מה מהבאים יכול להיות מספר אטומי הניאון הנמצאים ברמה 3 בזמן פעולה הליזר?

- | | | | |
|----|----------------------|----|----------------------|
| ד. | $1.92 \cdot 10^{24}$ | א. | $1.92 \cdot 10^{20}$ |
| ה. | $3.93 \cdot 10^{24}$ | ב. | $3.93 \cdot 10^{20}$ |
| ו. | $4.51 \cdot 10^{24}$ | ג. | $4.51 \cdot 10^{20}$ |

שאלה 6

הלייזר פולט קרינה בהספק של $W/m^2 = 10$. הערכו כמה פליטות מואולצות מתרחשות בדקה אחת.

- א. ב ממוצע 0.6
- ב. $3.2 \cdot 10^{16}$
- ג. $1.9 \cdot 10^{18}$
- ד. $1.15 \cdot 10^{20}$

שאלה 7

לפניכם מספר קבועות בנוגע לגבי מודל בוחר. קבעו אילו קבועות נכונות:

- 1. מודל בוחר מהויה תיאוריה המסביר את תנועת האלקטרונים באוטומים השונים על סמך הכוחות הפועלים עליהם.
- 2. מtower מודל בוחר ניתן לקבל את אורך הגל המופיעים בסדרות לימו, פשו, בלמר וכו'.
- 3. מtower מודל בוחר ניתן לנבא מה יהיה אורך הגל שיפלט מעבר אלקטרון מהרמה השלישית לרמת היסוד בין $-Li^-$.
- 4. מtower מודל בוחר ניתן לנבא מה יהיה אורך הגל שיפלט מעבר אלקטרון מהרמה השלישית לרמת היסוד בין Li^{++} .
- 5. מודל בוחר מהויה את התיאור המדוייק ביותר של אוטום המימן שיש בידינו כיום.

הקביעות הנכונות היחידות הן:

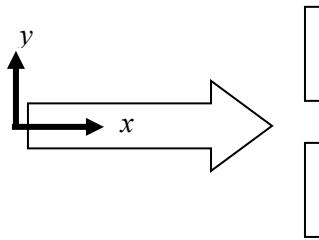
- | | |
|----------|-----------|
| א. 1,5 | 1,2,3,4,5 |
| ב. 1,2,5 | 1,3,5 |
| ג. 2,5 | 2,4 |
| ד. 1,2,3 | 1,2,3 |
| ה. 2,3,4 | 2,3,4 |

שאלה 8

צפו באתר הקורס בהדגמה המצולמת "ניסוי פרנק-הרץ". אחר כך קראו את הרקע לניסוי ביחידת פרק 4, וסמנו את המשפט הנכון:

- א. ניסוי פרנק הרץ ניתן להסביר על ידי הфизיקה הקלסית, שכן גם לאלקטרונים באוטום היה רצף של אנרגיות מותניות (ולא רמות בדידות), התוצאה בניסוי הייתה זהה.
- ב. הקפיצה הראשונה בזרם מתאימה למעבר מרמת היסוד לרמה המעוררת הראשונה, הקפיצה השנייה מתאימה למעבר לרמה המעוררת השנייה, וכך הלאה.
- ג. בנויגוד נגד רגיל, בתא שבניסוי יכול להיות מצב בו הזרם יורד כאשר מגדילים את המתח.
- ד. היינריך הרץ לקח חלק בניסוי פרנק-הרץ שנים רבות לאחר שביצע את הניסויים ש איששו את קיומם של גלים אלקטромגנטיים ובهم גם נתגלה האפקט הפוטואלקטרי.

שאלה 9



קרון רחבה של חלקיקים בעלי מסה w ומהירות (לא יחסותית) v נעה בכיוון ציר ה- x . הקרון חודרת דרך חרץ שרוחבו w במרחק המאונך לכיוון התנועה (ראו איור). מה מהבאים יכול להיות הערכה לאי הוודאות המינימלית ברכיב y של התנועה (Δy) של החלקיים לאחר המעבר בسدק?

- א. 0
- ב. w
- ג. $\frac{\hbar}{4\pi w}$
- ד. $\frac{w}{2\hbar}$

שאלה 10

חלקיק חופשי נע במרחב. המכפלה $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$ חייבת לקיים את התנאי:

- א. $\Delta y \cdot \Delta x \geq \hbar/2$
- ב. $\Delta y \cdot \Delta x \geq 0$
- ג. $\Delta y \cdot \Delta x \geq \hbar$
- ד. $\Delta y \cdot \Delta x \geq \Delta z \cdot \Delta x$

שאלה 11

רוחבו הטבעי של קו ספקטרלי מסוים בעל אורך גל של $\lambda = 8977 \text{ \AA}$, נמדד ונמצא כי הוא שווה ל-
זמן החימם של רמת האנרגיה, שכטוצאה מדעכיתה מתתקבל הקו הספקטרלי, הוא :

- א. $9.3 \times 10^{-8} \text{ sec}$
- ב. $9.3 \times 10^{-4} \text{ sec}$
- ג. $1.07 \times 10^{-7} \text{ sec}$
- ד. $1.07 \times 10^{-9} \text{ sec}$

שאלה 12

אי-הודאות במקומו של חלקיק ובתנע שלו, בשני זמנים שונים t_0 ו- t_1 ($t_1 > t_0$) היא בהתאם:

$$\Delta x_1 \Delta p_1 = \hbar/2 \quad . \quad \Delta x_0 \text{ ו- } \Delta p_0 \text{ ; וידוע כי}$$

סמנו איזו מן האפשרויות הבאות אינה יכולה להיות נכונה:

א. $\Delta x_0 \Delta p_0 < \Delta x_1 \Delta p_1$

ב. $\Delta x_0 \Delta p_0 \geq \Delta x_1 \Delta p_1$

ג. $\Delta x_0 \Delta p_1 \leq \hbar/2$

ד. $\Delta x_0 \geq \Delta x_1$

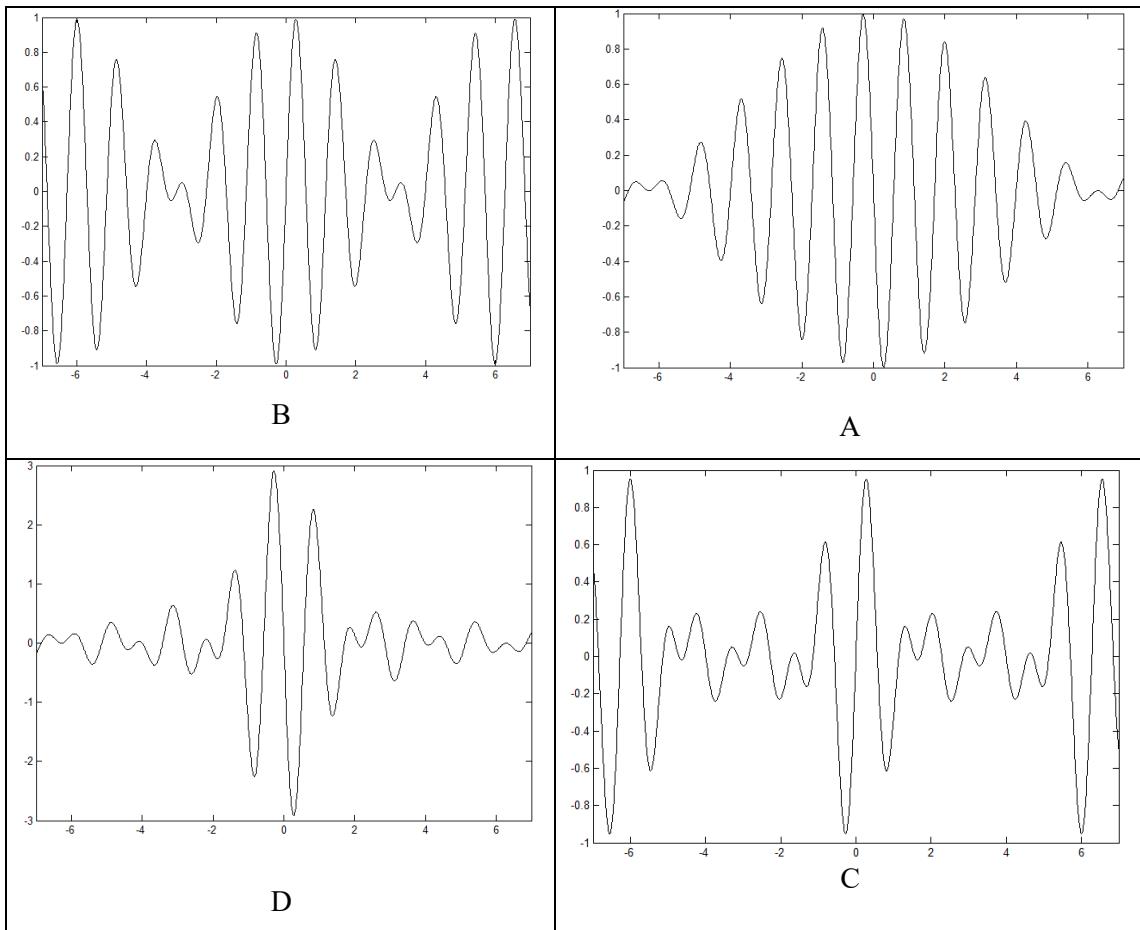
ה. $\Delta p_0 \geq \Delta p_1$

ו. אף אחת מהתשובות אינה נכונה.

המשך המטלה בעמוד הבא

שאלה 13

לפניכם ארבעה גרפים באוטו קנה מידת על ציר ה- x (אין חשיבות לערכים על ציר ה- y) :



נתונות 4 פונקציות :

$$A_1[\sin 5x + \sin 6x] .1$$

$$A_2[\sin 4x + \sin 5x + \sin 6x + \sin 7x] .2$$

$$A_3 \sin 5.5x \cdot \frac{\sin 0.5x}{x} .3$$

$$A_4 \sin 5.5x \cdot \frac{\sin 1.5x}{x} .4$$

בחרו את ההתאמה הנכונה של כל פונקציה לאוור שלה. יש לקרוא את התשובות, מימין לשמאל היא (למשל אם אתם חושבים שאוור A מתאים לפונקציה מספר 1, B לפונקציה מספר 2 וכו') התשובה מסומן :

B ,C ,D ,A .ד

D ,A ,C ,B .א

A ,D ,B ,C .ה

A ,D ,C ,B .ב

C ,B ,D ,A .ג

חשוב: וודאו שאתם מבינים את הקשר בין השאלה זו לעיקרונו אי הودאות ולחבילות גלים!

מטלה מחשב (ממ"ח) 03

הקורס: 2021 – פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: 7 יחידות, 6

משקל המטלה: 2 נקודות

מספר השאלות: 15

מועד אחרון להגשה: 26.12.2025

סמסטר: א' 2026

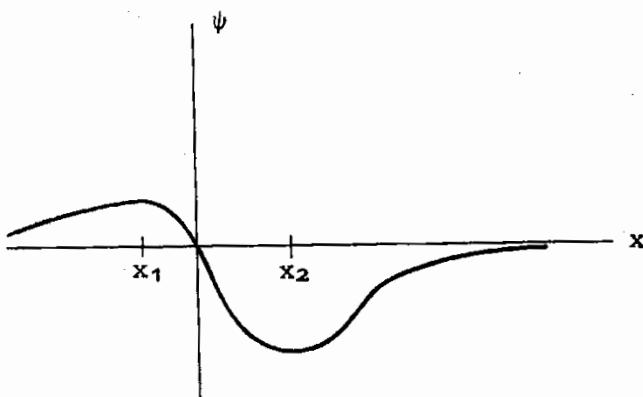
את התשובות לממ"ח יש לשЛОוח באמצעות מערכת שאלתא

www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

האיור המצורף מתאר את הפונקציה העצמית (x) של חלקיק הנע בפוטנציאל מסויים.

בחרו את האפשרות הנכונה.



הסתברות הגבוהה ביותר למצוא את החלקיק היא ב-	הסתברות הנמוכה ביותר למצוא את החלקיק היא ב-	
$x = x_1$	$x = x_1$.א.
$x = 0$	$x = x_1$.ב.
$x = x_2$	$x = x_1$.ג.
$x = x_1$	$x = 0$.ד.
$x = 0$	$x = 0$.ה.
$x = x_2$	$x = 0$.ו.
$x = x_1$	$x = x_2$.ז.
$x = 0$	$x = x_2$.ח.
$x = x_2$	$x = x_2$.ט.

שאלה 2

ה הזוגיות של הפונקציה העצמית $(x)\psi$ המתוארת בשאלה 1 ושל פונקציית צפיפות ההסתברות המתאימה לה $|P(x)\psi|^2$ היא :

ה הזוגיות של $(x)\psi$	ה الزوجיות של $P(x)\psi$	
חיובית	חיובית	.א.
לא מוגדרת	חיובית	.ב.
שלילית	חיובית	.ג.
חיובית	לא מוגדרת	.ד.
לא מוגדרת	לא מוגדרת	.ה.
שלילית	לא מוגדרת	.ו.
חיובית	שלילית	.ז.
לא מוגדרת	שלילית	.ח.
שלילית	שלילית	.ט.

שאלה 3

$$\psi(x,t) = A \cos(3kx) \cdot \exp^{-i\frac{9\hbar k^2}{2m}t}$$

נתונה הפונקציה :

כאשר A קבוע.
פונקציה זו :

- .א. אינה פותרת את משוואת שרדינגר החלקיק חופשי, אך ניתנת לנרמול.
- .ב. אינה פותרת את משוואת שרדינגר החלקיק חופשי וaina ניתנת לנרמול.
- .ג. פותרת את משוואת שרדינגר החלקיק חופשי, אך אינה ניתנת לנרמול.
- .ד. פותרת את משוואת שרדינגר החלקיק חופשי וגם ניתנת לנרמול, וכן יכולה לתאר את תנועתו של חלקיק חופשי.

שאלה 4

מצאו איזו מבין הפונקציות הבאות פותרת את משוואת שרדינגר לחלקיק חופשי בעל מסה m :

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$

$$\psi = A \cos\left(\frac{px}{\hbar} - \frac{p^2 t}{2m\hbar}\right) \quad \text{א.}$$

$$\psi = A \cos\left(\frac{px}{\hbar}\right) \exp\left(\frac{ip^2 t}{2m\hbar}\right) \quad \text{ב.}$$

$$\psi = A \sin\left(\frac{p^2 t}{2m\hbar}\right) \exp\left(-\frac{ipx}{\hbar}\right) \quad \text{ג.}$$

$$\psi = A \sin\left(\frac{px}{\hbar}\right) \exp\left(-\frac{ip^2 t}{2m\hbar}\right) \quad \text{ד.}$$

A - קבוע שונה מאפס.

ב - קבוע ממשי שונה מאפס.

שאלה 5

אם מקטינים את רוחבו של בור פוטנציאלי אינסופי משתנות רמות האנרגיה באופן הבא:

- א. רמות האנרגיה יורדות והמרחקים ביןיהם גדלים.
- ב. רמות האנרגיה יורדות מצטופפות.
- ג. רמות האנרגיה עולות והמרחקים ביןיהם גדלים.
- ד. רמות האנרגיה עולות ומצטופפות.
- ה. רמות האנרגיה אינן משתנות היות והבור אינסופי.

שאלה 6

נתונה הפונקציה העצמית $\psi(x)$ המתארת חלקיק הנע בפוטנציאל מסוים.

מצאו איזו מן הטענות הבאות נכונה.

א. אם $\psi(x)$ זוגית, גם $\frac{d\psi}{dx}$ זוגית.

ב. אם $\psi(x=0) = 0$:

ג. אם $\psi(x)$ אי-זוגית אז:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x)|^2 dx = 0$$

ד. ערך התוחלת של x במצב המתוואר על-ידי $\psi(x)$ מתאפס אם $\psi(x)$ אי-זוגית ולא מתאפס

אם $\psi(x)$ זוגית.

שאלה 7

- נתון חליק בפוטנציאלי של אוסצילטור הרמוני קוונטי חד ממדי ברמת היסוד. (מומלץ מאוד לכתוב את פונקציית הגל המלה ולבצע חישוב במידת הצורך). סמן את המשפט הנכון :
- תוחלת התנע תלוי בזמן : ברגעים מסוימים היא תהיה חיובית, ובאחרים שלילית.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן אלא שווה לאפס מפני שהגדרה היא ממוצעת על פני מחזור שלם.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן, אלא שווה לאפס בגלל תכונות הסימטריה של פונקציית הגל.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן, אך אינה בהכרח שווה לאפס.

שאלה 8

- נתון חליק בפוטנציאלי של אוסצילטור הרמוני קוונטי חד ממדי במצב :
 $\Psi(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_0(x,t) + \Psi_1(x,t))$ כאשר Ψ_0 היא פונקציית הגל ברמת היסוד ו- Ψ_1 היא פונקציית הגל בrama המעוררת הראשונה). (מומלץ מאוד לכתוב במפורש את פונקציית הגל המלה ולבצע חישוב במידת הצורך). סמן את המשפט הנכון :
- תוחלת התנע תלוי בזמן : ברגעים מסוימים היא תהיה חיובית, ובאחרים שלילית.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן אלא שווה לאפס מפני שהגדרה היא ממוצעת על פני מחזור שלם.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן, אלא שווה לאפס בגלל תכונות הסימטריה של פונקציית הגל.
 - תוחלת התנע אינה תלולה בזמן, אך אינה בהכרח שווה לאפס.

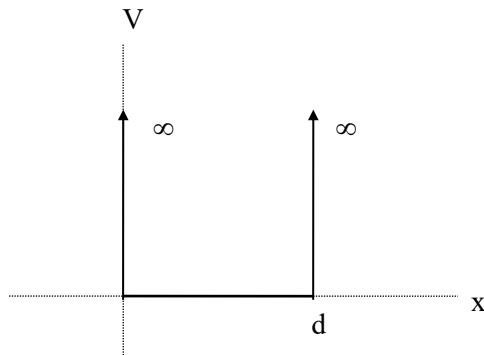
שאלה 9

חליק בעל מסה m נע בבור פוטנציאלי הרמוני $V = \frac{\alpha}{2}x^2$ ונמצא בrama $E = u$ עם אנרגיה E_1 . לו נע החליק באופן קלאסי עם אנרגיה כזו הייתה תנומתו מוגבלת בתחום :

- $|x| \leq (9\hbar^2 / 4am)^{1/4}$
- $|x| \leq (9\hbar^2 / \alpha m)^{1/4}$
- $0 \leq x \leq (\hbar^2 / \alpha m)^{1/4}$
- $|x| \leq (\hbar^2 / \alpha m)^{1/4}$

שאלה 10

חלקיק נמצא בבור פוטנציאלי אינסופי הנตอน ע"י :



ערך התוחלת של הקואורדינטה x במצב המופיע ע"י $\langle x \rangle = 1$ הוא :

- א. $\langle x \rangle = 0$
- ב. $\langle x \rangle = d / 3$
- ג. $\langle x \rangle = d / 2$
- ד. $\langle x \rangle = d$

שאלה 11

מקדם החזרה של אלומת חלקיקים בעלי אנרגיה של $18eV$ ממדרגת פוטנציאלי בגובה $10eV$ הוא :

- | | | |
|-----------|--------|----|
| א. 0 | $1/16$ | ח. |
| ב. $1/5$ | $5/9$ | ו. |
| ג. $1/25$ | 1 | ז. |
| ד. $1/4$ | | |

שאלה 12

אלומת אלקטرونים בעלי אנרגיה קינטית של $100eV$ פוגעת במחסום פוטנציאלי שגובהו $300eV$ ורוחבו $2A$. למחסום מגיעים 10^{14} אלקטرونים בשנייה. מה יהיה מספר האלקטרונים העוברים אותו כל שנייה :

- א. 94
- ב. 9×10^3
- ג. 10.4×10^9
- ד. 9×10^{13}

שאלה 13

שתי הפונקציות $\Psi_0(x)$ ו- $\Psi_1(x)$ הן שתי הפונקציות העצמיות (המנורמלות) המתאימות לשתי הרמות הראשונות E_0 ו- E_1 (בהתאם) של חלקיק הקשור בפוטנציאל מסוים. נניח שקיים:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_0^*(x) \Psi_1(x) dx = 0$$

ונגידו את הפונקציה $\Psi(x, t)$ ע"י:

$$\Psi(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\Psi_0(x) \exp^{-\frac{iE_0 t}{\hbar}} + \Psi_1(x) \exp^{-\frac{iE_1 t}{\hbar}} \right]$$

קבעו איזה מן המשפטים הבאים נכון:

- א. הפונקציה $\Psi(x, t)$ אינה פתרון למשוואת שרדינגר.
- ב. הפונקציה $\Psi(x, t)$ יכולה להיות פתרון למשוואת שרדינגר אך אינה יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור היות והגודל Ψ תלוי בזמן ולכן אי-אפשר לנרמול אותה.
- ג. הפונקציה $\Psi(x, t)$ אינה יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור כי הגודל $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* \Psi dx$ תלוי בזמן ולכן אי אפשר לנרמול אותה.
- ד. הפונקציה $\Psi(t, x)$ יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור היות והוא פוטרת את משווהת שרדינגר וגם מנורמלת.

שאלה 14

ערך התוחלת של הקואורדינטה x של חלקיק שהפונקציה העצמית המתאזרת אליו נתונה על-ידי:

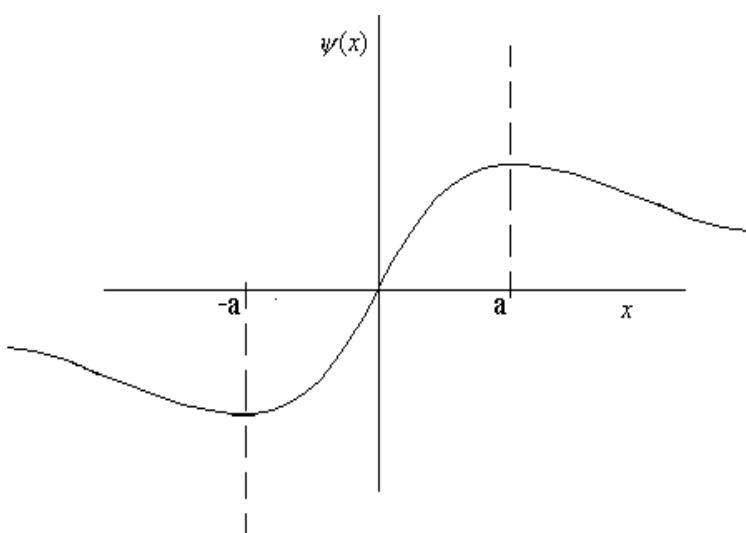
$$\psi(x) = Ax^2 \exp\{-x^2/a^2\}$$

כאשר A קבוע נרמול, הוא:

- א. $\langle x \rangle = -a$
- ב. $\langle x \rangle = -a/2$
- ג. $\langle x \rangle = 0$
- ד. $\langle x \rangle = a/2$
- ה. $\langle x \rangle = a$

שאלה 15

האיור המצורף מתאר את הפונקציה העצמית $(x)\psi$ של חלקיק הנע בפוטנציאלי מסוים.



נתון ש- $(x)\psi$ היא פונקציה שערכיה ממשיים, אנטי-סימטרית. ההסתברות הגבוהה ביותר למצוא את החלקיק היא :

- א. $b - a = x$ בלבד.
- ב. $b - 0 = x$ בלבד.
- ג. $b - a = x$ בלבד.
- ד. $x = \pm a$.
- ה. $x = \pm a, 0$.

מטלת מנהה (ממ"ז) 12

הקורס: 20213 - פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: ייחידות 5-8

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 5

מועד אחרון להגשה: 02.01.2026

סמסטר: א 2026

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
- שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחה

הסביר מפורט ב"גղל הגשת מטלות מנהה"

שאלה 1 (25 נקודות)

נתון חלקיק חופשי שמסתו m שפונקציית הגל שלו ברגע $t = 0$ = נתונה על ידי:

$$\Psi(x, t = 0) = A \exp\left(-\frac{x^2}{4\sigma^2}\right)$$

א. מצאו את ערכו של A (ממשי חיובי) כך שפונקציית הגל תהיה מנורמלת.

ב. רשמו את פונקציית צפיפות ההסתברות $| \Psi |^2$ בזמן $0 = t$. היבן ההסתברות מכსימלית?

נתונה הפונקציה :

$$\Psi(x, t) = \frac{A\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + iat}} \exp\left[-\frac{x^2}{4(\sigma^2 + iat)}\right]$$

ג. הראו שבזמן $0 = t$ הפונקציה מקיימת את תנאי התחלה הנתון.

ד. חשבו את ערך הקבוע α שיבטיב שהפונקציה תקיים את משוואת שרדינגר בכל רגע נתון (בטאו בעורת נתוני השאלה וקבועים פיסיקליים מוכרים).

ה. חשבו את צפיפות ההסתברות $| \Psi(x, t) |^2$, ופשטו הכל הנitin. شرطנו צפיפות ההסתברות ב-3 זמנים שונים כדי להראות כיצד צפיפות ההסתברות משתנה בזמן.

הערה : השאלה כוללת חישובים ארוכים ומבולבלים. עבדו לאט ובזהירות...

שאלה 2 (25 נקודות)

חליק שמסתו m נתון בבור פוטנציאלי אינסופי שרוחבו d ומרכזו בראשית הצירים. פונקציית

$$\psi(x,t) = \sqrt{\frac{2}{d}} \sin\left(2\frac{\pi}{d}x\right) e^{-i\frac{E}{\hbar}t} \quad \text{היא : } x - \frac{d}{2} \leq x \leq \frac{d}{2}$$

- א. בטאו את האנרגיה E בעזרת נתוני השאלה האחרים.
- ב. הראו כי ערכי התוחלת של המיקום ושל התנע מתאפסים : $\langle x \rangle = \langle p \rangle = 0$.
- ג. חשבו את אי-הוודאות במיקום x .
- ד. חשבו את אי-הוודאות בתנע p .
- ה. מה קובע עקרון אי-הוודאות לגבי הקשר בין התוצאות שקיבלתם בסעיפים ג', ד'? הראו כי קשר זה אכן מתקיים.

בתשובתכם תוכלו להיעזר באינטגרל המסוים הבא :

$$\int_{-\pi}^{\pi} x^2 \sin^2 x \, dx = \frac{1}{6}\pi(2\pi^2 - 3)$$

שאלה 3 (25 נקודות)

חליק נמצא בבור פוטנציאלי אינסופי ברוחב d

$$V(x) = \begin{cases} 0 & -\frac{d}{2} < x < \frac{d}{2} \\ \infty & \text{אחרת} \end{cases}$$

מצבו של החליק מトואר ע"י פונקציית הגל הבאה, ב- $t = 0$ (رجע להתחלה).

$$\Psi(x, t=0) = \Psi_1(x) + i\Psi_2(x)$$

כאשר Ψ_1, Ψ_2 הן פונקציות הגל **המנורמלות** של המצבים $n = 1, n = 2, n = n$ בהתאם.

א. נרמו את פונקציית הגל.

ב. חשבו את ערך התוחלת של מיקום החליק בזמן $t = 0$.

ג. חשבו את ערך התוחלת של תנע החליק בזמן $t = 0$.

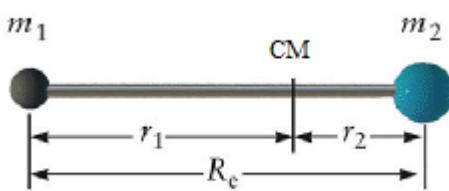
ד. מהי פונקציית הגל $\Psi(x, t)$ בזמן $t > 0$ כלשהו.

הערה: היעזרו בתכונות האורתוגונליות של פונקציות הגל, המופיעות בשאלה מספר 14 עמ' 50 ביחידה 7.

שאלה 4 (10 נקודות)

- א. על פי מודל בוחר לאטום המימן: אם נתון כי התנוע הזוויתית המסלולי של האלקטרון הוא $\dot{\theta} = 4\text{ rad/s}$, מה האנרגיה של האלקטרון?
- ב. על פי מודל שרדינגר לאטום המימן: נמדד כי רכיב z של התנוע הזוויתית המסלולי של האלקטרון הוא $\dot{\theta} = 4\text{ rad/s}$. מה הערך המינימלי שיוכל להיות לגודל התנוע הזוויתית המסלולי? מה הם הערכיים האפשריים עבור האנרגיה של האלקטרון?

שאלה 5 (15 נקודות)



תזכורת במכניקה: עבור מקל קשיח באורך R_e שמסתו זניחה, אליו מחוברים בקצוות שני גופים קטנים עם מסות שונות, המסתובב סיבוב מרכזי המשסה (CM) כבאיור, מומנט ההתמד נתון על ידי:

$$I = \mu R_e^2$$

מהאטומים מיוצג על ידי הגוף בקצת המוט). $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$.

- א. חשבו את המסה המוצומצמת של המולקולה ביחידות מסה אטומית.
- ב. נמדד כי מולקולות NaH מעוררות מרמת היוזד לרמת הרוטציה המועוררת הראשונה על ידי בליעת פוטון בתדרות $2.94 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$. חשבו את המרחק R_e בין גרעיני האטומים.
- ג. חשבו את שתי התדריות הבאות שיופיעו בספקטרום הפליטה.

מטלה מחשב (ממ"ח) 04

הקורס: 2021 – פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: ייחידות 8, 9

משקל המטלה: 2 נקודות

מספר השאלות: 13

מועד אחרון להגשה: 16.1.2026

סמסטר: א' 2026

את התשובות ממ"ח יש לשЛОח באמצעות מערכת שאלתא

בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

קבעו איזו מבין פונקציות הגל הבאות מתארת אתום מימן במצב המעוורר הראשון ($n = 2$) עם

$$\ell = 0, m = 0$$

$$\psi = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a_0^3}} \cdot \left(2 - \frac{r}{a_0}\right) \exp\left\{-\frac{r}{2a_0} + \frac{i\epsilon t}{4\hbar}\right\} . \text{א}$$

$$\psi = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a_0^3}} \cdot \left(2 - \frac{r}{a_0}\right) \exp\left\{-\frac{r}{2a_0} - \frac{i\epsilon t}{4\hbar}\right\} . \text{ב}$$

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} \cdot \exp\left\{-\frac{r}{a_0} - \frac{i\epsilon t}{4\hbar}\right\} . \text{ג}$$

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} \cdot \exp\left\{-\frac{r}{a_0} + \frac{i\epsilon t}{4\hbar}\right\} . \text{ד}$$

$$\psi = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a_0^3}} \cdot \frac{r \cos \theta}{a_0} \exp\left\{-\frac{r}{2a_0} + \frac{i\epsilon t}{4\hbar}\right\} . \text{ה}$$

כאשר לשם קיצור כתבנו:

$$\epsilon = \frac{m' e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 2\hbar^2} = 13.6eV$$

שאלה 2

ההסתברות הגבוהה ביותר למצוא אלקטرون בatoms מימן הנמצא בrama המעוררת הראשונה בклиפה $l=1$ היא:

- א. במרחק $a_0/2$ מן הגרעין.
- ב. במרחק a_0 מן הגרעין.
- ג. במרחק $3a_0$ מן הגרעין.
- ד. במרחק $4a_0$ מן הגרעין.
- ה. במרחק $5a_0$ מן הגרעין.
- ו. במרחק אינסופי מן הגרעין.
- ז. במרחק אפסי מהגרעין.

שאלה 3

הפונקציה $R_{nl}(r)$ היא החלק הרדייאלי של הפונקציה העצמית (המנורמלת) u_{nlm} המתארת את מצבו של יון ליטיום Li^{++} . ערך התוחלת של המרחק r בין האלקטרון לגרעין במצב זה נתון על ידי:

$$\left(\int_0^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^2 dr \right)^{1/2} . \text{א}$$

$$\left(\int_{-\infty}^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^2 dr \right)^{1/2} . \text{ב}$$

$$4\pi \int_0^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^2 dr . \text{ג}$$

$$4\pi \int_{-\infty}^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^2 dr . \text{ד}$$

$$4\pi \int_0^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^3 dr . \text{ה}$$

$$4\pi \int_{-\infty}^\infty R_{n\ell}^* R_{n\ell} r^3 dr . \text{ו}$$

שאלה 4

אם יון הליטיום המתוואר בשאלת 3 נמצא במצב עם $n = 1$, $\ell = m = 0$, יהיה ערך התוחלת של r :

- א. 0.265 \AA°
- ב. 0.397 \AA°
- ג. 0.529 \AA°
- ד. 0.794 \AA°

הנתונים הבאים מתייחסים לשאלות 5-6

נתון אטום מימן בו פונקציית הגל של האלקטרון נתונה על ידי:

$$\psi(r, \theta, \phi) = \frac{1}{8\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0} \sin \theta e^{-i\phi}$$

שאלה 5

מודדים את רכיב ה-z של התנע הזוויתי של האלקטרון. מה התוצאה הצפוייה להתקבל?

- א. $-2\hbar$
- ב. $-\sqrt{2}\hbar$
- ג. $-\hbar$
- ד. \hbar

שאלה 6

האטום הנתון עובר לרמת הייסוד. מה צפוי להיות אורך הגל של הפוטון הנפלט?

- א. 97.25 nm
- ב. 102.58 nm
- ג. 121.57 nm
- ד. לא ניתן לקבוע על סמך הנתונים.

שאלה 7

אם נבצע את ניסוי שטרון-גרלך עם חלקיקים בעלי ס핀 $S=2$ (ומומנט מגנטי שונה מ-0) תתפצל האלומה ל-

- א. שתי אלומות.
- ב. שלוש אלומות.
- ג. ארבע אלומות.
- ד. חמישה אלומות.

שאלה 8

מומנט ההתמד של מולקולת חמצן דו חנקני הוא 40.23 \AA^2 . חשבו את האנרגיה של הרמה הרוטציאונית המעוררת הראשונה של המולקולה (ביחידות eV).

- א. $2.39 \cdot 10^{-5}$
- ב. $1.04 \cdot 10^{-4}$
- ג. $3.31 \cdot 10^{-3}$
- ד. $2.41 \cdot 10^{-2}$

שאלה 9

חשבו את התדריות הרביעית שתתקבל בספקטרום הרוטציאוני של המולקולה מה שאלה הקודמת (ביחידות GHz).

- | | | | |
|----|--------|----|-------|
| ה. | 62.83 | א. | 12.57 |
| ו. | 75.40 | ב. | 25.15 |
| ז. | 87.97 | ג. | 37.7 |
| ח. | 100.54 | ד. | 50.27 |

שאלה 10

מבצעים ניסוי בסגנון בל בזוגות של פוטונים מקוטבים. מקטב A כוון בכיוון ציר ה-z וنمצא כי פוטון מסויים עבר את המקטב. על פי תורת הקוונטים, מה ההסתברות שבזوج של הפוטון יעבור את מקטב B כאשר הוא מכובן בזווית של 40° לציר ה-z?

- | | | | |
|----|------|----|------|
| ה. | 0.59 | א. | 0 |
| ו. | 0.64 | ב. | 0.23 |
| ז. | 0.77 | ג. | 0.36 |
| ח. | 1 | ד. | 0.41 |

שאלה 11

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי תורת הקונטנים, אי שוויונות בלאמורים להתקיים בכל מצב, אך בפועל בניסויים הוכחה שהם מופרים.
- ב. על פי תורת הקונטנים אי שוויונות בלאמורים להיות מופרים בניסויים מסוימים, אך זה עשוי לא הוכח בפועל בניסוי.
- ג. על פי תורת הקונטנים אי שוויונות בלאמורים להיות מופרים בניסויים מסוימים, והפרה זו נמדדה בניסויים שונים.
- ד. אי שוויונות בלאמורים להתקיים לפי תורת הקונטנים ולהיות מופרים לפי הфизיקה הקלסית.

שאלה 12

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי פרשנות קופנהגן למסורת הקונטנים התכונות הפיזיקליות של חלקיק מוגדרות לפני המדידה.
- ב. על פי פרשנות קופנהגן למסורת הקונטנים בעת ביצוע מדידה, מתקיים פיצול לתוצאות האפשרויות המשיכות להתקיים במקביל אחרי המדידה.
- ג. על פי פרשנות קופנהגן למסורת הקונטנים עיקרונו אי הוודאות הוא רק מגבלה טכנית על היכולת לבצע ניסויים, ואינו חוק טבע יסודי.
- ד. הפרת אי שוויונות בל מפריכה את פרשנות קופנהגן למסורת הקונטנים.
- ה. כל הטענות א'-ד' שגויות.

שאלה 13

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי פרשנות העולמות המרובים למסורת הקונטנים חוקי הטבע אינם דטרמיניסטיים
- ב. על פי פרשנות העולמות המרובים למסורת הקונטנים אין קריישה של פונקציית הגל בעת ביצוע מדידה.
- ג. אם פרשנות העולמות המרובים אינה נכונה, לעולם לא יהיה אפשר לבנות מחשב קוונטי מתפרק.
- ד. על פי פרשנות העולמות המרובים אין הבדל מהותי בין מחשב קוונטי לתודעה האנושית.

מטלה מחשב (ממ"ח) 05

הקורס: 2021 – פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: ייחידות 11-10

משקל המטלה: 2 נקודות

מספר השאלות: 14

מועד אחרון להגשה: 30.1.2026

סמסטר: א' 2026

את התשובות ממ"ח יש לשЛОוח באמצעות מערכת שאלתא

www.openu.ac.il/sheilta

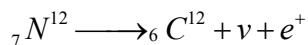
שאלה 1

בכל אטומי העופרת יהיה קבוע:

- א. מספר הנייטرونים.
- ב. מספר הפרוטונים.
- ג. מספר האלקטרונים.
- ד. מספר הנוקלייאונים.

שאלה 2

גרעין N^{13} מתפרק התפרקות β^+ המתוארת על-ידי:



סמןו את האפשרות הנכונה:

- א. להיות ואטום החנקן היה ניטרלי מבחינה חשמלית לפני ההתפרקות גם אטום הפחמן הנוצר לאחרריה יהיה ניטרלי.
- ב. להיות ואטום החנקן היה ניטרלי לפני ההתפרקות, חייב הניטרינו להיות בעל מטען חשמלי e^- .
- ג. להיות ואטום החנקן היה ניטרלי לפני ההתפרקות, יתקבל לאחרריה יון פחמן בעל מטען e^- .
- ד. התהליך הרשום מדגים את העובדה שהמטען החשמלי איינו נשמר בהתפרקות β .

שאלה 3

הניטרינו הנפלט בשאלת הקודמת הוא :

- א. ניטרינו אלקטרוני
- ב. ניטרינו מיוואוני
- ג. ניטרוני פוזיטרוני
- ד. ניטרינו טאו-אונி
- ה. לא ניתן לקבוע מהנתונים.

שאלה 4

גרעין Em^{219} מתפרק התפרקות α . חלקיקי α -נפלטים באנרגיות של 6.42 מא"ו, 6.55 מא"ו ו- 6.82 מא"ו. פליטת חלקיק α בעל אנרגיה של 6.42 מא"ו תהיה מלאה בכך בפליטת פוטון בעל אנרגיה של :

- א. 0.27 מא"ו
- ב. 0.40 מא"ו
- ג. 0.50 מא"ו
- ד. 6.42 מא"ו
- ה. 6.55 מא"ו
- ו. 6.82 מא"ו

שאלה 5

האייזוטופ $_{83}Bi^{211}$ מתפרק התפרקות אלפא. מה יהיה האיזוטופ הנוצר?

- א. $_{81}Bi^{207}$
- ב. $_{84}Po^{211}$
- ג. $_{79}Bi^{209}$
- ד. $_{81}Tl^{207}$

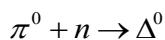
שאלה 6

אנטי-פרוטון יוצא מהמאנץ עם תנע של $7.5 \text{ GeV}/c$ ופוגע בפרוטון נח. המסה המקסימלית של חלקיק היכול עקרונית להיווצר בהתגשות היא: (אין צורך לבדוק האם קיימים חלקיק במסה המבוקשת, רק קיום חוקי השימוש)

- א. $3.993 \text{ GeV}/c^2$
- ב. $5.087 \text{ GeV}/c^2$
- ג. $7.558 \text{ GeV}/c^2$
- ד. $10.174 \text{ GeV}/c^2$
- ה. $15.117 \text{ GeV}/c^2$

שאלה 7

חלקיק π^0 פוגע בניטרון נח וכתוואה מכח נוצר הרזוננס ($1232 \text{ MeV}/c^2$ שמסתו $\Delta^0(1232)$) :



סמןו את המשפט הנכון :

- א. ה- Δ^0 יהיה בעל תנע של $299 \text{ MeV}/c$.
- ב. ה- Δ^0 יימצא במנוחה לאחר ההתגשות.
- ג. לניטרון ול- π^0 אין מספיק מסה כדי ליצור את ה- Δ^0 .
- ד. אי-אפשר לקבוע דבר לגבי ריאקציה זו היהות ולא נתנו התנעו של חלקיק ה- π^0 .

שאלה 8

החלקיק Δ^{++} מורכב מן הקווארקים :

- א. ccu
- ב. $u\bar{d}$
- ג. udd
- ד. uuu
- ה. uuc
- ו. uds

שאלה 9

ההתפרקות הספונטנית: $\gamma + p \rightarrow \Sigma^+ + \text{אטורה עקב אי-שמר}$:

- א. מטען חשמלי
- ב. אנרגיה
- ג. מספר בריאוני ואנרגיה
- ד. מוזרות ומספר בריאוני
- ה. מטען חשמלי ואנרגיה

שאלה 10

התהיליך $\pi^0 + n \rightarrow \gamma + \text{אטורה עקב אי-שמר}$:

- א. מספר בריאוני ומוזרות
- ב. מספר בריאוני ואנרגיה
- ג. מוזרות ואנרגיה
- ד. מוזרות
- ה. מספר בריאוני
- ו. אנרגיה

שאלה 11

קבעו איזה מבין החלקיקים הבאים קיימים:

- א. בריוון עם מספר לפטוני מואוני +1.
- ב. לפטון עם מטען חשמלי 1/3.
- ג. מזון עם מוזרות +1.
- ד. מזון עם מטען חשמלי -2.

שאלה 12

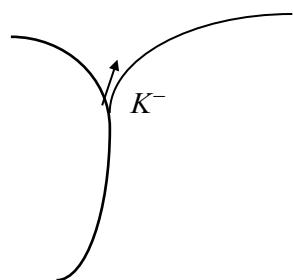
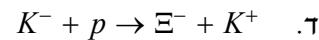
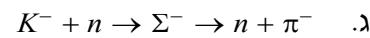
קאוון K^+ מתפרק לשני חלקיקים. מבין שלושת החלקיקים: π^0 (פיאון נייטרלי), η^0 (mezון אטאי), μ^+ , (אנטי מיאוון, חזקה למיאוון למעט המטען החיוובי), קבעו איזה יכולים להיווצר בהתפרקות כאחד התוצרים (התוצר השני אינו ידוע).

- | | |
|--------------------|--------------------|
| ה. μ^+, π^0 | א. π^0 |
| ו. μ^+, η^0 | ב. η^0 |
| ז. שלושתם | ג. μ^+ |
| ח. אף אחד מהם | ד. η^0, π^0 |

שאלה 13

האיור המצורף מתאר בצורה סכמטית מסלולי חלקיקים בתא בועות. הריאקציה המתוארת יכולה להיות:

א. התפרקות של K^-



שאלה 14

האיור המצורף מתאר בצורה סכמטית מסלולי חלקיקים הקשורים בהתפרקות חלקיק Ξ^- בתא בועות.

החלקיק הנייטרלי שמסלולו מתואר כקו מרוסק יכול להיות:

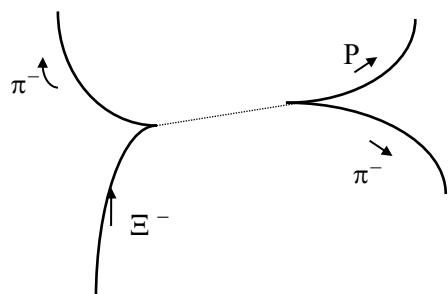
א. Λ^0

ב. Σ^0

ג. π^0

ד. \bar{K}^0

ה. אלקטرون



מטלת מנהה (ממ"ז) 13

הקורס: 2023 - פרקים בפיזיקה מודרנית

חומר הלימוד למטרת:

משקל המטלה: 4 נקודות

מספר השאלות: 5

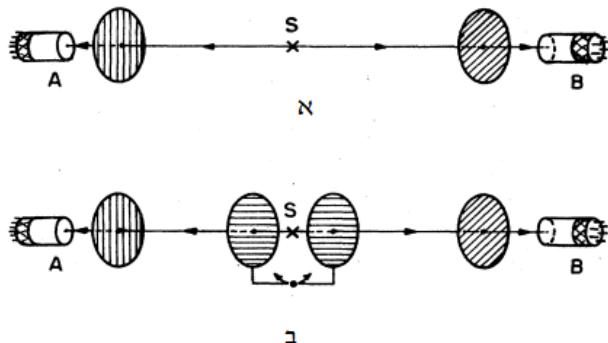
מועד אחרון להגשה: 30.01.2026

סמסטר: א' 2026

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות המערכת המוקוות באתר הבית של הקורס
- שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחה

הסביר מפורט ב"נווה הגשת מטלות מנהה"



שאלה 1 (25 נקודות)

פיזיקאי הציע תיאוריה לפייה בניסויי בזוגות פוטוניים, לכל זוג של פוטונים יש קיטוב לא ידוע אך מוגדר מראש זהה לשני הפוטונים. כדי לבדוק את ההשערה שלו מבצעים שני ניסויים למדידת הקורלציה בקיטוב בין זוגות פוטוניים.

ניסוי א': ניסוי בסגנון בזוגות פוטוניים שזוררים לקיטוב זהה.

ניסוי ב': כל זוג i של פוטונים עובר בתחילת הניסוי דרך זוג מקטבים עם קיטוב זהה בזווית θ_i (התוצאות בгалאים נלקחות בחשבון רק במקרה שבו שני הפוטונים עברו את שני המקטבים הראשוניים, כלומר הם יוצרים קיטוב זהה נתון בשני הפוטונים). הזווית θ_i קבועה כל פעם על ידי מחשב, ומשתנה באקראי בין זוג לזוג (בהתפלגות אחידה על כל הכוונים האפשריים של המקטבים).

בכל אחד מהניסויים, מקטב A מוחזק בזווית קבועה $0 = \theta_A$ ומשנים בהדרגה את הזווית θ של מקטב B בתחום $0 \leq \theta \leq 180^\circ$. מודדים את הקורלציה עבור זווית θ שונות. בהתאם ליחידות הלימוד נסמן את שיעור אי ההתאמות בין התוצאות הנמדדות במקטבים ב- $E(\theta)$.

א. רשמו נוסחה וشرطו גраф עבור $E(\theta)$ בניסוי א'.

ב. עבור ניסוי א', שרטטו על מערכת ציריים אחת את הגרפים של הפונקציות $E(2\theta), 2E(\theta)$.

(עבור $0 \leq \theta \leq 180^\circ$). האם מתקיים הῆך של אי שוויונות בל' אם כן, סמן בגרף היכן.

המשך השאלה בעמוד הבא

כעת נחשב את הקורלציות בניסוי ב'.

- ג. ענו מבי ליחס: האם אתם מעריכים שבניסוי ב' אי שוווניות בל יתקיימו תמיד, או יופרו? הסבירו על סמך חומר הלימוד.
- ד. חשבו את ההסתברות שפוטון עם זווית θ_i נתונה עבר במקטב A וגם שבן זוגו לא עבר במקטב B (בטאו בעזרת θ_B , θ_i).
- ה. כאמור, על פני הרבה ניסויים, הזווית θ_i משתנה באופן אקראי. חשבו את הממוצע של ההסתברות שהיחסבתם בסעיף הקודם בתחום $\pi \leq \theta_i \leq 0$ (שים לב: נדרש חישוב אינטגרל). מצאו בעזרה הממוצע שקיבלתם את שיעור אי התאימות (θ) E לניסוי ב'. הסבירו חישובכם.
- ו. שרטטו על מערכת צירים אחת את הגרפים של הפונקציות $E(2\theta)$, $2E(\theta)$ (E עבר $180^\circ \leq \theta \leq 0$). האם מתקיים הפרה של אי שוווניות בל? אם כן, סמןו בגרף היכן השוו לתשובתכם לסעיף ג'.

תזכורת! ממוצע של פונקציה (x) בקטע $[a, b]$ הוא :

$$\langle f \rangle = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

תוכלו להיעזר באינטגרל הלא מסוימים :

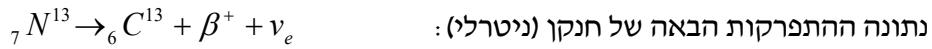
$$\int (\cos x \cdot \sin(y-x))^2 dx = \frac{x}{4} + \frac{1}{8} \left(\sin 2x - \sin(2x-2y) - \frac{1}{4} \sin(4x-2y) - x \cos 2y \right) + C$$

שאלה 2 (20 נקודות)

האייזוטופ Au^{198}_{75} עבר התפרקות $-\beta$. התוצר הוא אייזוטופ במצב מעורר שנסמך X העובר התפרקות גמא מיידית לאייזוטופ יציב שנסמך X . נמדד כי תדרות קרינת הגמא הנפלטת היא $99.439 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$.

- א. מצאו את מספרו האטומי, מספר המסה וסימונו היסודי של האיזוטופ הנוצר X .
- ב. רשמו נוסחאות שני התהליכים, כולל כל התוצרים (השתמשו בסימוני האיזוטופים המתאימים במקומות $-X$ וב- $-X^*$).
- ג. מצאו מקורות אינטרנטיים מהימנים את מסות האיזוטופים הרלוונטיים, וחשבו בעזרה מסות אלו את מסתו של האיזוטופ המעורר X הנוצר בתפקידות $-\beta$. בטאו תשובתכם ביחידות מסה אטומית.
- ד. נמצא כי במיעוט קטן של התפרקויות ביתא הניל נוצר מצב מעורר שני של האיזוטופ הנוצר עם אנרגיית עירור של 1087.7 keV .
- ה. שרטטו את דיאגרמת רמות האנרגיה של האיזוטופ הנוצר (רמת היסוד, רמת העירור הראשונה והרמה השנייה), ורשמו את אנרגיות העירור. הסבירו בעזרת הדיאגרמה מדוע בנוסף לתדרות הנתונה בשאלת, תתקבל קרינת גמא בשתי תדריות נוספות.
- ii. חשבו את שתי התדריות הנוספות של קרני גמא שיופיעו בספקטרום (בנוסף לתדרות הנתונה בשאלת).

שאלה 3 (15 נקודות)



כאשר נתנוות המסות האטומיות:

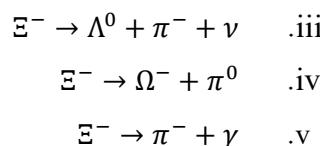
$$M(N) = 13.005738(amu), M(C) = 13.003354(amu)$$

- א. הסבירו כיצד מתבטא שימור המטען החשמלי בתהיליך. כלומר, מה המטען של כל התוצריים?
- ב. חשבו את האנרגיה המשתחררת בתהיליך.
- ג. חשבו את האנרגיה של β^+ ושל ν היוצאים מהריאקציה במקרה בו גרעין ה- C^{13} אינו רותע, וכל האנרגיה המשתחררת עוברת לשני החלקיקים.

שאלה 4 (20 נקודות)

ענו על השיעיפים הבאים.

- א. קבעו עבור כל אחת מן התפרוקיות הבאות האם הן אפשריות. במידה ולא – ציינו איזה חוקי/שימור מופרים.



- ב. חלקיק Ξ^- נח מתפרק בתהיליך $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \Xi^-$.
 - .i. מה יכול להיות סוג האינטרקציה האחראי להתרוקות? נמקו!
 - .ii. רשמו משווה בneutral אחד עבור התנוע של הבריאן Λ^0 מיד לאחר התפרוקות (רשמו באופן פרמטרי בעזרת מסות כל החלקיקים המעורבים בתפרוקות).
 - .iii. פתרו המשווה ומצאו התנוע המבוקש. בטאו במדויק $\frac{\text{MeV}}{c}$.

שאלה 5 (20 נקודות)

עבור התהליכים הבאים קבעו אילו מהם יכולים להתרכש בטבע ואילו אסורים.
עבור התהליכים המותרים קבעו את סוג האינטרקציה המעורבת בתהיליך ועבור התהליכים האסורים נמקו מדוע הם אסורים (קבעו איזה חוק שימור מופר בתהיליך).

