

האוניברסיטה הפתוחה

20213

פרקים בפיסיקה מודרנית

חוברת קורס - סמסטר א' 2026

כתב:

ד"ר גיא חצרוני

אוקטובר 2025 - סמסטר סתיו - תשפ"ו

פנימי - לא להפצה.

© כל הזכויות שמורות לאוניברסיטה הפתוחה.

תוכן עניינים

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

אל הסטודנט,

צוות הקורס "פרקים בפיסיקה מודרנית" מקדם את פניך בברכה ומאחל לך לימוד פורה ומהנה.

בחוברת זו תמצא הסברים על מרכיביו השונים של הקורס ועל פעילויותיו בו. אנא קרא אותה בעיון. הדבר יהיה לך לעזר ועשוי לסייע לך בפתרון בעיות העלולות להתעורר תוך כדי לימוד ולמנוע ממך טרדות מיותרות. כמו כן, צירפנו כאן את לוח הזמנים של הקורס וכן את המטלות. בחינת גמר לדוגמה ומידע נוסף ניתן למצוא בחוברת ההשלמות המופיעה באתר הקורס.

הסבר מפורט על המערכת המסייעת ללימוד עצמי, מרכיביה ופרטים מנהליים לביצוע הפעילויות השונות במסגרת לימודיך, תמצא בידעון האקדמי ובידעון האקדמי. עדכונים יישלחו מדי סמסטר.

מרכז ההוראה בקורס הוא ד"ר גיא חצרוני. 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: 09-7781746/7 או לשלוח פקס: 09-7780661, וכן לשלוח דוא"ל לכתובת: science@openu.ac.il

לקורס שבו אתם לומדים קיים אתר באינטרנט שבו תמצאו חומרי למידה נוספים שמפרסם מרכז ההוראה. האתר גם מהווה עבורכם ערוץ תקשורת עם צוות ההוראה ועם סטודנטים אחרים בקורס. פרטים על למידה מתוקשבת ואתר הקורס תמצאו באתר שוהם בכתובת:

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

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

אנו מאחלים לך הצלחה בלימודים.

בברכה,
צוות הקורס

התנאים לקבלת נקודות זכות בקורס

על מנת לקבל נקודות זכות בקורס עליך :

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

לתשומת לבכם!

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

כדי לעודדכם להגיש לבדיקה מספר רב של מטלות הנהגנו את ההקלה שלהלן :

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

ליתר המטלות נתייחס במידת הצורך בלבד. מתוכן נבחר רק את הטובות ביותר עד להשלמת המינימום ההכרחי לעמידה בתנאי הגשת מטלות. משאר המטלות נתעלם.

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

תיאור המטלות

בקורס "פרקים בפיסיקה מודרנית" 5 מטלות מחשב (ממ"חים) ו-3 מטלות מנחה (ממ"נים). בטבלה להלן מופיעה רשימת המטלות, סימוליהן, היחידות בהן הן עוסקות ומשקליהן. עליך להגיש מטלות שמשקלן הכולל הוא **לפחות 10 נקודות**, **בהן ממ"ן אחד לפחות**. שימו לב למשקל הגבוה של שני הממ"נים המתקדמים.

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

לתשומת לבכם:

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

קורסים ← ציוני מטלות ובחינות ← הזנת ציון 0 למטלות רשות שלא הוגשו.

יש לקחת בחשבון כי מטלות אשר יוזן להן ציון אפס ישוקללו בחישוב הציון הסופי ובכך יורידו ציון זה ולא ניתן יהיה להמירן במטלות חלופיות במועד מאוחר יותר. על כן קיימת אפשרות שסטודנט אשר יעבור את הבחינה בהצלחה ייכשל בקורס (כשהממוצע המשוקלל של ציוני המטלות והבחינה יהיה נמוך מ-60).

כלל זה איננו חל על מטלות חובה או על מטלות שנקבע עבורן ציון מינימום.

לוח זמנים ופעילויות (2026א / 20213)

תאריך אחרון למשלוח		מפגשי ההנחיה*	יחידת הלימוד המומלצת	תאריכי שבוע הלימוד	שבוע לימוד
ממ"ן (למנחה)	ממ"ח (לאו"פ)				
			1	31.10.2025-26.10.2025	1
	ממ"ח 01 יחידות 1-2 7.11.2025		2	07.11.2025-02.11.2025	2
			3-4	14.11.2025-09.11.2025	3
ממ"ן 11 יחידות 1-4 21.11.2025			4-5	21.11.2025-16.11.2025	4
	ממ"ח 02 יחידות 3-5 28.11.2025		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
	ממ"ח 03 יחידות 6-7 26.12.2025		8	26.12.2025-21.12.2025 (א-ב חנוכה)	9
ממ"ן 12 יחידות 5-8 2.01.2026			8-9	02.01.2026-28.12.2025	10
			9-10	09.01.2026-04.01.2026	11
	ממ"ח 04 יחידות 8-9 16.01.2026		10-11	16.01.2026-11.01.2026	12
			11	23.01.2026-18.01.2026	13
ממ"ן 13 30.01.2026	ממ"ח 05 יח' 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. פתור/פתרי בעצמך!
- עליך להשאיר לעצמך העתק של המטלה. אין האוניברסיטה הפתוחה אחראית למטלה שתאבד בשל תקלות בדואר.

מטלת מחשב (ממ"ח) 01

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 1, 2

מספר השאלות: 21

סמסטר: 2026א

משקל המטלה: 2 נקודות

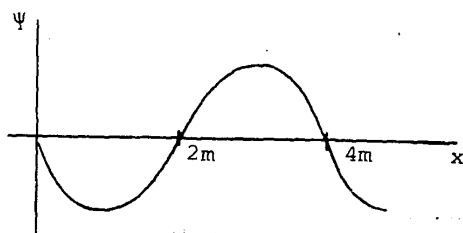
מועד אחרון להגשה: 7.11.2025

את התשובות לממ"ח יש לשלוח באמצעות מערכת שאלתא

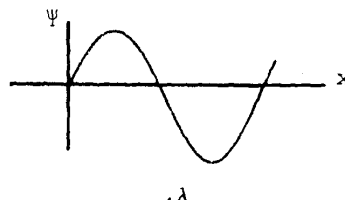
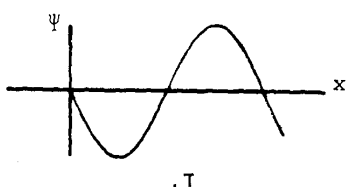
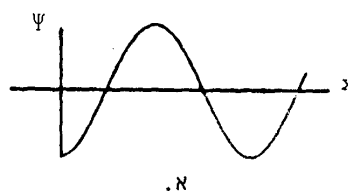
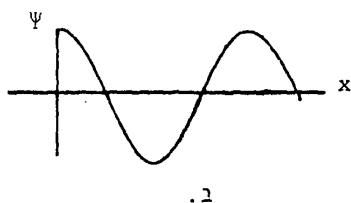
בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

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



סמנו את האיור המתאר את תבנית הגל בזמן $t = 0.1\text{sec}$.



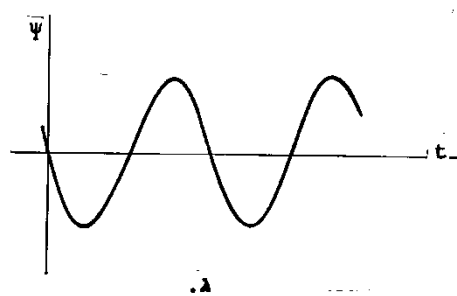
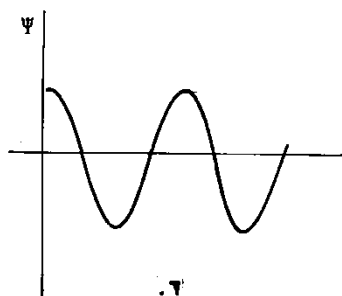
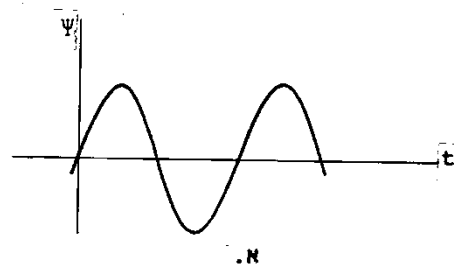
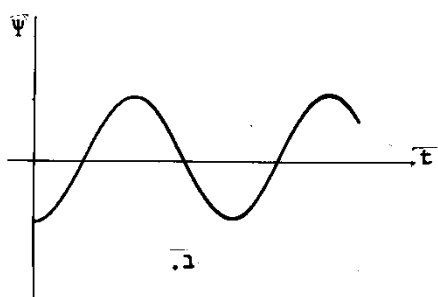
שאלה 2

מבין האיורים בשאלה 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

סמנו את האיור המתאר את העתק הגל הנתון בשאלה 1, כפונקציה של הזמן t בנקודה $x = \lambda/4$, כלומר 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 $\psi(x, t) = \frac{20t}{9+x^2} \cdot \sin\left(\frac{5}{2}\pi t\right)$. חשבו את ערך הביטוי $\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$ בנקודה $x = 1, t = 3$.

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

במיתר 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 הטבור $x = L/6$ 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 $\psi(x, t) = A \cos(x^2 - 12xt + 36t^2)$ מהווה פתרון של משוואת הגלים בממד אחד: $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$. חשבו את ערכו של v .

א. $\sqrt{6}$

ב. $\sqrt{12}$

ג. 6

ד. 12

ה. 36

הנתונים הבאים מתייחסים לשאלות 8-9. השיבו עליהן לאור תורת היחסות הפרטית, והיעזרו בטרנספורמציות לורנץ. זהירות! תורת היחסות הפרטית יכולה להיות תורה מבלבלת!

צופה מודד שני מאורעות במערכת הייחוס שלו O :

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

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

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

שאלה 8

סמנו את המשפט הנכון:

א. עבור הצופה במערכת O' הפנס נדלק לפני צלצול הפעמון.

ב. עבור הצופה במערכת O' הפעמון מצלצל לפני שהפנס נדלק.

ג. עבור הצופה במערכת O' הדלקת הפנס וצלצול הפעמון הם בו זמניים, ומתרחשים בזמן

$$t' = 0$$

ד. עבור הצופה במערכת O' הדלקת הפנס וצלצול הפעמון הם בו זמניים, אך הם מתרחשים

$$\text{בזמן } t' \neq 0$$

שאלה 9

האם המרחק שימדד במערכת O' 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 במהירות קבועה שגדלה v ביחס למערכת S .

צופה במערכת S' מודד את מהירותו של חלקיק מסויים, ומוצא כי הוא נע ימינה ביחס אליו

במהירות שגדלה u . (המשתנים u, v בשאלה זו מייצגים גדלים חיוביים).

מה תהיה מהירות החלקיק הנמדדת במערכת S ?

א. קטנה מ- $v + u$

ב. בדיוק $v + u$

ג. גדולה מ- $v + u$

ד. אין לדעת מהנתונים : תלוי האם הגודל $v + u$ גדול או קטן ממהירות 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 מיומנות

שתחסוך לכם זמן וחשובים בהמשך!

א. כ- $\frac{262 \text{ MeV}}{c}$

ד. כ- $\frac{903 \text{ MeV}}{c}$

ב. כ- $\frac{341 \text{ MeV}}{c}$

ה. כ- $\frac{938 \text{ MeV}}{c}$

ג. כ- $\frac{748 \text{ MeV}}{c}$

ו. כ- $\frac{1310 \text{ MeV}}{c}$

שאלה 12

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

א. כ- $0.14c$

ד. כ- $0.62c$

ב. כ- $0.39c$

ה. כ- $0.994c$

ג. כ- $0.78c$

ו. כ- $1.41c$

שאלה 13

פונקציית ההתפלגות של גובהן של מולקולות באטמוספירה 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 :

א. $\bar{z} = k / m$ $A = 1/2$

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

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

ד. $\bar{z} = kT / mg$ $A = mg / kT$

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

שאלה 14

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

א. $9.5 \times 10^{-28} eV$

ב. $13.6 eV$

ג. $9.3 \times 10^{-9} eV$

ד. $6.2 \times 10^{-9} eV$

ה. $1.6 \cdot 10^{-19} eV$

שאלה 15

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

א. גדול מ- 12400 \AA

ב. קטן מ- 12400 \AA

ג. קטן מ- 6200 \AA

ד. גדול מ- 6200 \AA

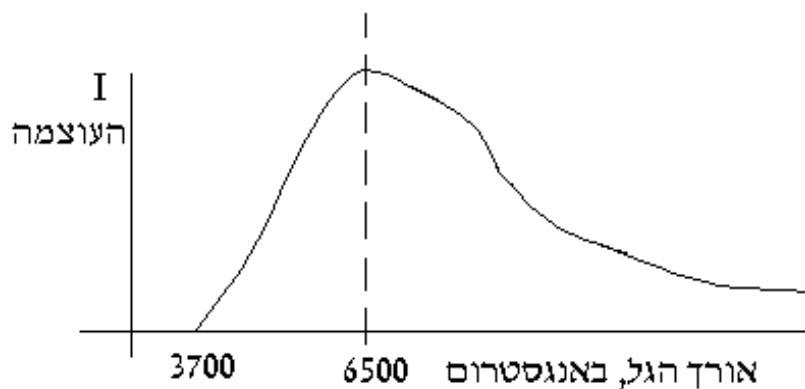
שאלה 16

אור שהספקטרום שלו מתואר באיור המצורף, פוגע בקתודה של תא פוטואלקטרי בעל פונקצית עבודה של 1.61eV ומתח עוצר השווה לאפס.

מה תהיה האנרגיה הקינטית

המקסימלית של האלקטרונים

בתא?



א. 0.29eV

ב. 1.74eV

ג. 1.85eV

ד. 1.91eV

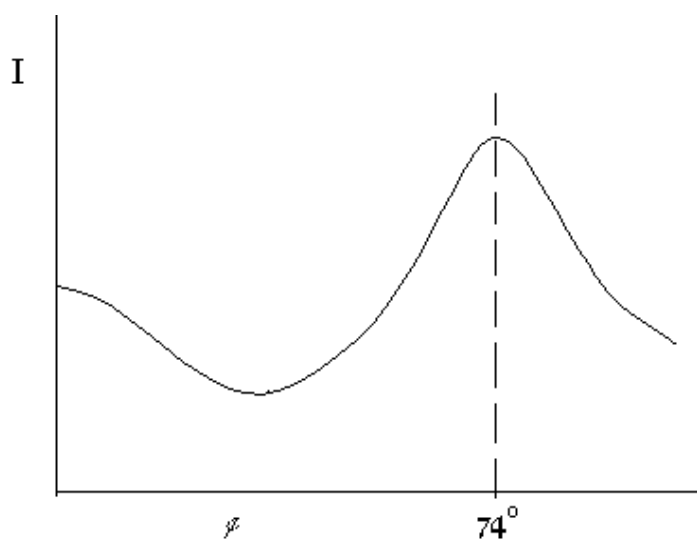
ה. 3.35eV

שאלה 17

מכשיר לייזר מקרין אור מונוכרומטי בעל אורך גל קבוע. קבע כיצד ישתנה מספר הפוטונים היוצאים מן המכשיר כל שניה והאנרגיה של כל אחד מהם אם מקטינים את ההספק של המכשיר.

מספר הפוטונים היוצאים לשניה	אנרגיה של פוטון בודד
א. קטן	קטנה
ב. קטן	נשארת קבועה
ג. גדל	גדלה
ד. גדל	נשארת קבועה
ה. נשאר קבוע	קטנה
ו. נשאר קבוע	נשארת קבועה

שאלה 18



האיור המצורף מתאר את תלותה של עוצמת האלקטרונים המוחזרת מפניו 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 שפופרת רנטגן הפולטת קרינה בעלת אורך-גל מינימלי λ_m . אורך גל דה-ברולי של האלקטרונים המגיעים לאנודה הוא λ_e . הנח כי האלקטרונים אינם יחסותיים. סמנו את הקשר הנכון בין λ_e , λ_m ו- λ_c שהוא אורך גל קומפטון (עבור האלקטרון).

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

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

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

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

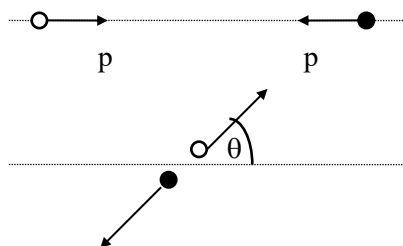
ה. $\lambda_e = \frac{1}{2} (\lambda_c + \lambda_m)$

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

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

שאלה 20

פוטון ואלקטרון נעים זה מול זה כשהתנע של האחד p שווה בערכו המוחלט לזה של האחר, אך כיוונו הפוך. כתוצאה מן ההתנגשות שביניהם נע הפוטון בזווית θ ביחס לכיוונו המקורי. אורך הגל λ של הפוטון, לאחר התנגשות, נתון על-ידי:



א. $\lambda = \frac{h}{p + mc}$

ב. $\lambda = (1 - \cos \theta)h / mc$

ג. $\lambda = h / p \cos \theta$

ד. $\lambda = h / mc$

ה. $\lambda = h \cos \theta / mc$

ו. $\lambda = h / p$

שאלה 21

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

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

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

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

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

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

מטלת מנחה (ממ"ן) 11

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 1-4

מספר השאלות: 6

סמסטר: א2026

משקל המטלה: 2 נקודות

מועד אחרון להגשה: 21.11.2025

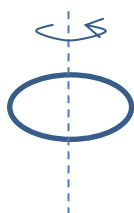
קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות מנחה"

שימו לב: בפתרון מטלות המנחה, הקפידו לפרט את כל שיקוליםכם הפיסיקליים. ערכים מספריים יש להציב רק בנוסחה הסופית.

שאלה 1 (20 נק')

טבעת דקה ברדיוס R טעונה באופן אחיד במטען Q ומסתובבת סביב צירה בזמן מחזור T . מסת הטבעת m מחולקת באופן אחיד.



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

ב. חשבו את גודל המומנט המגנטי M של הטבעת בעזרת נתוני השאלה. (רמז: השתמשו בהגדרת זרם כמטען ליחידת זמן. מצאו הזרם, ובעזרתו – את המומנט המגנטי).

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



ד. עבור כדור מלא הומוגני קשיח שמסתו m , טעון במטען Q ומסתובב סביב צירו בזמן מחזור T גם מתקיים יחס פרופורציה מהצורה $\vec{M} = \alpha_{ball} \vec{L}$.

ענו באופן איכותי בלבד: האם הקבוע α_{ball} גדול, קטן או שווה מהקבוע α שמצאתם בסעיף ג'?

היחס בין התנע הזוויתי למומנט המגנטי מכונה היחס הג'ירומגנטי. כדאי להשקיע ולהבין את השאלה היטב – זה יעזור לכם להבין את ניסוי שטרן-גרלך ביחידה 8.

שאלה 2 (12 נק')

- קרן X מונוכרומטית מתפזרת על אלקטרונים חופשיים הנמצאים במנוחה. השינוי המקסימלי באורך הגל בקרן ה-X שנמדד אחרי הפיזור היה 10%.
- חשבו את אורך הגל של קרינת ה- x המקורית.
 - מהי האנרגיה המקסימלית של האלקטרונים הרוטעים בפיזור?
 - מהו אורך גל דה-ברולי של אלקטרונים אלו?
 - משתמשים בקרינת ה-X (מסעיף א'), לניסוי עקיפה בגביש ומקבלים החזרה מקסימלית מסדר ראשון בזווית $\theta = 15^\circ$ (בין האלומה הפוגעת למישור הסריג). מהו המרחק בין המישורים המחזירים בגביש?
 - באילו זוויות נוספות תתקבל החזרה מקסימלית מאותם מישורים?
 - משתמשים בגביש מסעיף ד' לניסוי עקיפת אלקטרונים (דייויסון ג'רמר) ומקבלים תבנית עקיפה עם החזרה מכסימלית באותה הזווית המתוארת בסעיף ד'. חשבו את אנרגיית האלקטרונים בניסוי.

שאלה 3 (15 נקודות)

- פוטון מתפזר פיזור קומפטון מאלקטרון נח. נתון כי לפני הפיזור תדר הפוטון הוא ν_0 , ואחרי הפיזור הוא ν . נתון גם כי אחרי הפיזור כיוון תנועת הפוטון הפוך לכיוון המקורי (פיזור של 180°), והאלקטרון נע במהירות יחסותית שגודלה v .
- נתון כי אורך הגל של הפוטון לפני הפיזור הוא $\lambda_0 = 1 \text{ \AA}$. חשבו את התדירויות ν_0 ו- ν .
 - בסעיף זה התעלמו מהנתונים המספריים של סעיף א', וענו בעזרת המשתנים המופיעים בשאלה והקבועים הפיסיקליים h, m_e בלבד:
 - מה יהיה כיוון תנועת האלקטרון אחרי הפיזור? נמקו נימוק פיסיקלי. שרטטו את הבעיה, כולל כיווני התנועה לפני ואחרי הפיזור.
 - רשמו משוואה (יחסותית) עבור שימור אנרגיה בפיזור.
 - רשמו משוואה עבור שימור תנע (בעזרת אותם המשתנים).
 - עבור ערכי התדירויות שמצאתם בסעיף א', חשבו את מהירות האלקטרון בעזרת המשוואה שרשמתם בסעיף ב' (ii).
 - הראו כי הערכים שמצאתם בסעיף א' יחד עם המהירות שמצאתם בסעיף ג' מהווים פתרון של המשוואה שרשמתם בסעיף ב' (iii).

שאלה 4 (8 נקודות)

- נתון יון הליום He^+ המיונן פעם אחת. עבור אטום זה, חשבו את הגדלים הבאים לפי מודל בוהר:
- רדיוסי המסלולים המותרים של האלקטרון סביב גרעין ההליום.
 - משוואת רמות האנרגיה של אטום ההליום והערך המספרי של אנרגיית רמת היסוד.
 - קבוע רידברג של אטום ההליום. (ערך מספרי)
 - אורך גל של הקו הראשון של הסדרות לימן (Lyman), פאשן (Paschen) (ערך מספרי).

שאלה 5 (15 נקודות)

- חלקיק בעל מסה m נע במסלול מעגלי סביב מרכז בהשפעת כוח מהצורה $F = -kr$ (כוח הרמוני), כאשר r הנו המרחק בין החלקיק למרכז, והסימן מינוס מציינן כוח משיכה.
- א. השתמשו בתנאי הקוונטיזציה של בוהר על מנת להוכיח כי רמות האנרגיה המותרות של

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

- ב. מהם רדיוסי המסלולים?
- ג. האם מתוך בחינת האור הנפלט מאטומים מעוררים של מימן ניתן לקבוע כי הכוח הקושר את האלקטרון לגרעין במימן הוא כוח חשמלי ולא כוח הרמוני כמתואר בסעיף א? נמקו את תשובתכם.

שאלה 6 (30 נקודות)

- צפו באתר הקורס בהדגמות המצולמות וענו על הסעיפים הבאים.
- א. מתוך הנתונים המוצגים בסרטון "ניסוי בגלי מיקרו", חשבו את אורך הגל של הגלים בהם נעשה שימוש בניסוי, ואת התדירות שלהם. הסבירו כיצד חישובכם, וודאו שהתוצאה בתחום המתאים לגלי מיקרו.
- ב. מתוך הנתונים המוצגים בסרטון "עקיפה והתאבכות 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?
- ג. בניסוי האפקט הפוטואלקטרי, חשבו מתוך הנתונים והתוצאות שבסרטון את אנרגיית הקשר (פונקציית העבודה) של המתכת, ואת היחס e/h בין מטען האלקטרון לקבוע פלנק (צינו את היחידות של התוצאה!).
- ד. השוו 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 מדויקות יותר בעזרת המערכת שבסרטון.
- ה. בניסוי עקיפת אלקטרונים 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 דרכו עוברים האלקטרונים?

מטלת מחשב (ממ"ח) 02

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 3, 4, 5

מספר השאלות: 13

סמסטר: 2026א

משקל המטלה: 2 נקודות

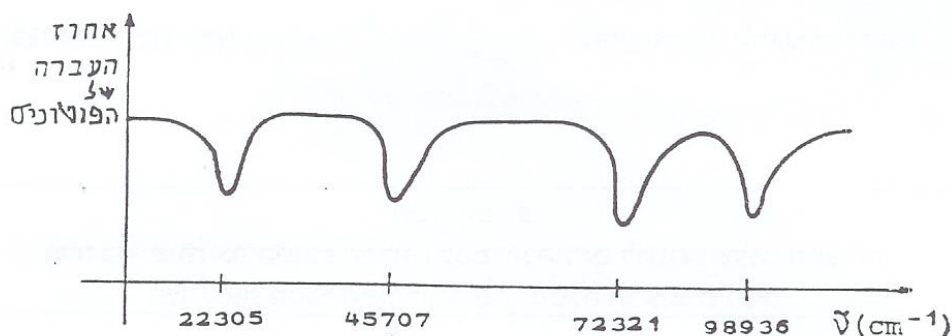
מועד אחרון להגשה: 28.11.2025

את התשובות לממ"ח יש לשלוח באמצעות מערכת שאלתא

בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

הנתונים הבאים מתייחסים 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 2-3, עשו חישובי העזר הנדרשים ושרטטו לעצמכם את דיאגרמת רמות האנרגיה של האטום.



שאלה 1

סמנו את המשפט הנכון:

- א. בספקטרום המתקבל באורכי גל מסויימים רואים ירידה באחוז ההעברה בגלל פיזור של פוטונים באטומים.
- ב. בספקטרום הנתון באורכי גל מסויימים רואים עליה באחוז ההעברה בגלל פליטה של פוטונים האטומים החוזרים לרמת היסוד.
- ג. בספקטרום הנתון בתחומי אורכי גל מסויימים רואים עליה באחוז ההעברה בגלל בליעה של פוטונים באטומים המתקבלת בעליה מרמת היסוד לרמה גבוהה יותר.
- ד. בספקטרום המתקבל באורכי גל מסויימים רואים ירידה באחוז ההעברה בגלל בליעה של פוטונים באטומים המתקבלת בעליה מרמת היסוד לרמה גבוהה יותר.

שאלה 2

נסמן ב- $E = 0$ את האנרגיה של רמת היסוד. מה היא האנרגיה של הרמה המעוררת הראשונה באטומים של הגז הנתון (ביחידות eV)?

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

שאלה 3

חוזרים על הניסוי הנ"ל, כאשר הגז מחומם לטמפרטורה גבוהה בה חלק מהאלקטרונים נמצאים ברמה המעוררת הראשונה. מה מהבאים מציין (בקירוב) קו בליעה שיתווסף לספקטרום הנתון בשאלה?

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

הנתונים הבאים מתייחסים לשאלות 4-6

בלייזר הליום ניאון נפלט אור אדום באורך גל של 632.8 nm, המתקבל במעבר של אטום ניאון מרמה 5s לרמה 3p. נתונה שפופרת ובה 0.25 Mole של תערובת הליום-ניאון, מתוכה 15% אטומי ניאון. נתון כי בזמן פעולת הלייזר, בכל רגע נתון כ-2% מאטומי הניאון נמצאים באחת משתי רמות האנרגיה הנתונות.

שאלה 4

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

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

שאלה 5

מה מהבאים יכול להיות מספר אטומי הניאון הנמצאים ברמה 3p בזמן פעולת הלייזר?

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

שאלה 6

הלייזר פולט קרינה בהספק של 10 mW. העריכו כמה פליטות מאולצות מתרחשות בדקה אחת.

א. בממוצע 0.6

ב. $3.2 \cdot 10^{16}$

ג. $1.9 \cdot 10^{18}$

ד. $1.15 \cdot 10^{20}$

שאלה 7

לפניכם מספר קביעות בנוגע לגבי מודל בוהר. קבעו אילו קביעות נכונות:

1. מודל בוהר מהווה תיאוריה המסבירה את תנועת האלקטרונים באטומים השונים על סמך הכוחות הפועלים עליהם.

2. מתוך מודל בוהר ניתן לקבל את אורכי הגל המופיעים בסדרות לימן, פשן, בלמר וכו'.

3. מתוך מודל בוהר ניתן לנבא מה יהיה אורך הגל שיפלט במעבר אלקטרון מהרמה השלישית לרמת היסוד ביון Li^{--} .

4. מתוך מודל בוהר ניתן לנבא מה יהיה אורך הגל שיפלט במעבר אלקטרון מהרמה השלישית לרמת היסוד ביון Li^{++} .

5. מודל בוהר מהווה את התיאור המדויק ביותר של אטום המימן שיש בידינו כיום.

הקביעות הנכונות היחידות הן:

- | | |
|------------------|------------|
| א. 1, 2, 3, 4, 5 | ו. 1, 5 |
| ב. 1, 3, 5 | ז. 1, 2, 5 |
| ג. 2, 4 | ח. 2, 5 |
| ד. 1, 2, 3 | ט. 2, 3, 4 |
| ה. 2, 3, 4, 5 | |

שאלה 8

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

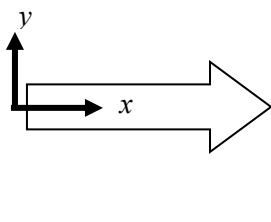
א. ניסוי פרנק הרץ ניתן להסבר על ידי הפיסיקה הקלאסית, לכן גם אם לאלקטרונים באטום היה רצף של אנרגיות מותרות (ולא רמות בדידות), התוצאה בניסוי הייתה זהה.

ב. הקפיצה הראשונה בזרם מתאימה למעבר מרמת היסוד לרמה המעוררת הראשונה, הקפיצה השנייה מתאימה למעבר לרמה המעוררת השנייה, וכך הלאה.

ג. בניגוד לנגד 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 שאישו את קיומם של גלים אלקטרומגנטיים ובהם גם נתגלה האפקט הפוטואלקטרי.

שאלה 9



קרן רחבה של חלקיקים בעלי מסה m ומהירות (לא יחסותית) v נעה בכיוון ציר ה- x . הקרן חודרת דרך חריץ שרוחבו w במסך המאונך לכיוון התנועה (ראו איור). מה מהבאים יכול להיות הערכה לאי הוודאות המינימלית ברכיב y של התנע (p_y) של החלקיקים לאחר המעבר בסדק?

א. 0

ב. w

ג. $\frac{h}{4\pi w}$

ד. $\frac{w}{2\hbar}$

שאלה 10

חלקיק חפשי נע במרחב.

המכפלה $\Delta y \cdot \Delta x$ 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 8977 \AA , נמדד ונמצא כי הוא שווה ל-

0.004 \AA . זמן החיים של רמת האנרגיה, שכתוצאה מדעיכתה מתקבל 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 בהתאמה:

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

סמנו איזו מן האפשרויות הבאות **אינה יכולה** להיות נכונה:

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

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

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

ד. $\Delta x_0 \geq \Delta x_1$

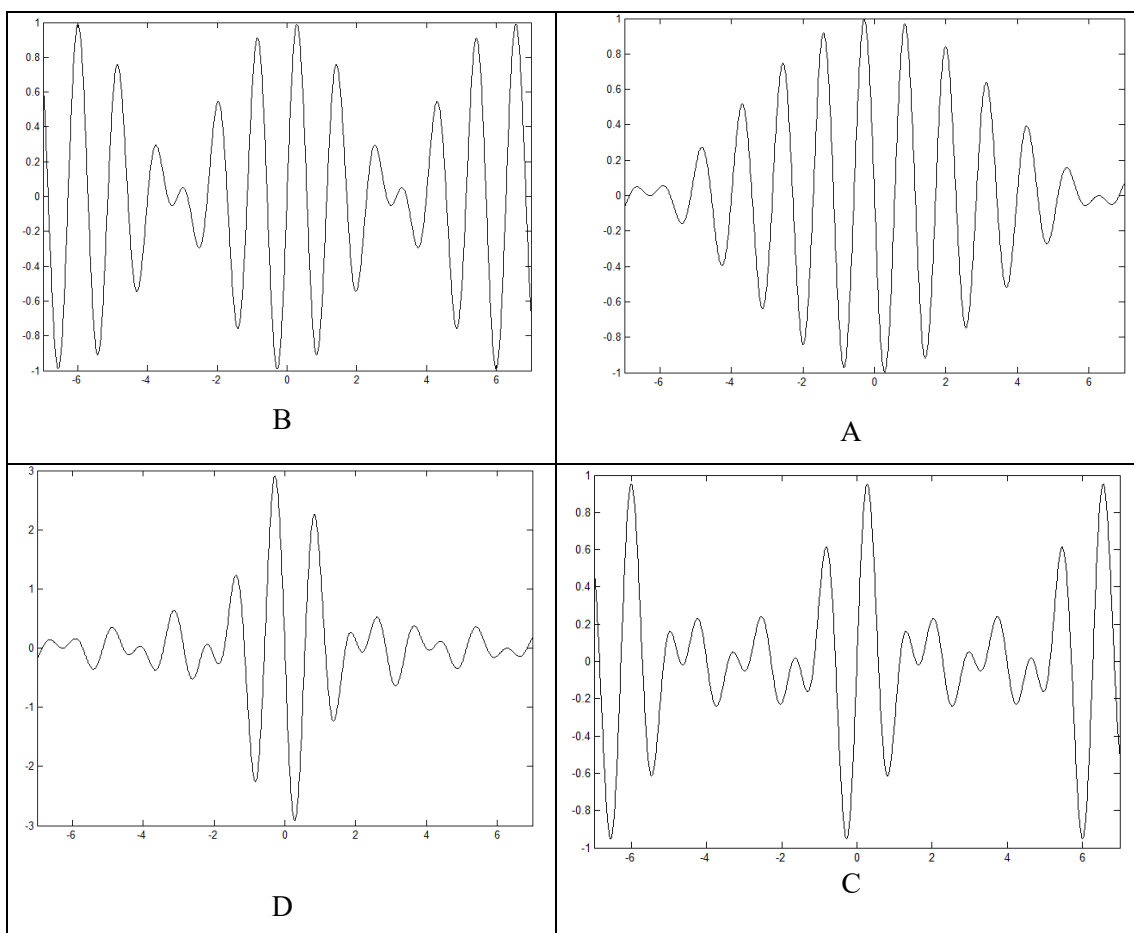
ה. $\Delta p_0 \geq \Delta p_1$

ו. אף אחת מהתשובות א-ה אינה נכונה.

המשך המטלה בעמוד הבא

שאלה 13

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



נתונות 4 פונקציות:

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

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

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

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

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

ד. A, B, C, D

ה. A, D, B, C

א. D, A, C, B

ב. A, D, C, B

ג. C, B, D, A

חשוב: ודאו שאתם מבינים את הקשר בין השאלה הזו לעיקרון אי הודאות ולחבילות גלים!

מטלת מחשב (ממ"ח) 03

הקורס: 20213 – פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 6, 7

מספר השאלות: 15

משקל המטלה: 2 נקודות

מועד אחרון להגשה: 26.12.2025

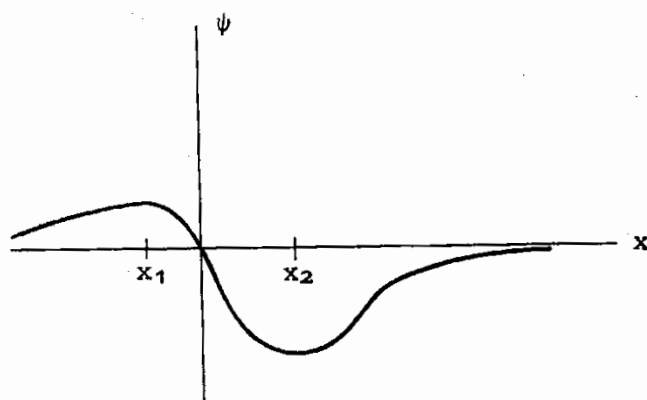
סמסטר: 2026א

את התשובות לממ"ח יש לשלוח באמצעות מערכת שאלתא

בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

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



בחרו את האפשרות הנכונה.

ההסתברות הנמוכה ביותר
למצוא את החלקיק היא ב-

$$x = x_1$$

$$x = 0$$

$$x = x_2$$

$$x = x_1$$

$$x = 0$$

$$x = x_2$$

$$x = x_1$$

$$x = 0$$

$$x = x_2$$

ההסתברות הגבוהה ביותר
למצוא את החלקיק היא ב-

$$x = x_1$$

$$x = x_1$$

$$x = x_1$$

$$x = 0$$

$$x = 0$$

$$x = 0$$

$$x = x_2$$

$$x = x_2$$

$$x = x_2$$

א.

ב.

ג.

ד.

ה.

ו.

ז.

ח.

ט.

שאלה 2

הזוגיות של הפונקציה העצמית $\psi(x)$ המתוארת בשאלה 1 ושל פונקצית צפיפות ההסתברות

המתאימה לה $P(x) = |\psi(x)|^2$ היא :

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

שאלה 3

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

כאשר A קבוע.

פונקציה זו :

- אינה פותרת את משוואת שרדינגר לחלקיק חופשי, אך ניתנת לנרמול.
- אינה פותרת את משוואת שרדינגר לחלקיק חופשי ואינה ניתנת לנרמול.
- פותרת את משוואת שרדינגר לחלקיק חופשי, אך אינה ניתנת לנרמול.
- פותרת את משוואת שרדינגר לחלקיק חופשי וגם ניתנת לנרמול, ולכן יכולה לתאר את תנועתו של חלקיק חופשי.

שאלה 4

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

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

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

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

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

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

A - קבוע שונה מאפס.

p - קבוע ממשי שונה מאפס.

שאלה 5

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

א. רמות האנרגיה יורדות והמרחקים ביניהן $(E_n - E_{n-1})$ גדלים.

ב. רמות האנרגיה יורדות מצטופפות.

ג. רמות האנרגיה עולות והמרחקים ביניהן 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 $\psi(x)$ אי-זוגית אז : $\psi(x=0) = 0$

ג. אם $\psi(x)$ אי-זוגית אז :

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

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

אם $\psi(x)$ זוגית.

שאלה 7

- נתון חלקיק בפוטנציאל של אוסצילטור הרמוני קוונטי חד ממדי ברמת היסוד. (מומלץ מאוד לכתוב את פונקציית הגל המלאה ולבצע חישוב במידת הצורך). סמנו את המשפט הנכון:
- תוחלת התנע תלויה בזמן: ברגעים מסוימים היא תהיה חיובית, ובאחרים שלילית.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן אלא שווה לאפס מפני שבהגדרה היא ממוצע על פני מחזור שלם.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן, אלא שווה לאפס בגלל תכונות הסימטריה של פונקציית הגל.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן, אך אינה בהכרח שווה ל-0.

שאלה 8

- נתון חלקיק בפוטנציאל 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 ברמה המעוררת הראשונה). (מומלץ מאוד לכתוב במפורש את פונקציית הגל המלאה ולבצע חישוב במידת הצורך). סמנו את המשפט הנכון:
- תוחלת התנע תלויה בזמן: ברגעים מסוימים היא תהיה חיובית, ובאחרים שלילית.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן אלא שווה לאפס מפני שבהגדרה היא ממוצע על פני מחזור שלם.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן, אלא שווה לאפס בגלל תכונות הסימטריה של פונקציית הגל.
 - תוחלת התנע אינה תלויה בזמן, אך אינה בהכרח שווה ל-0.

שאלה 9

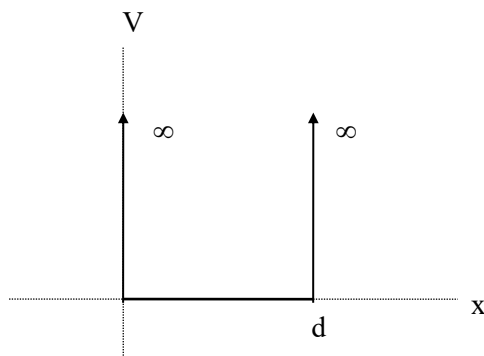
- חלקיק בעל מסה m נע בבור פוטנציאל הרמוני $V = \frac{\alpha}{2} x^2$ ונמצא ברמה $n=1$ עם אנרגיה E_1 . לו נע החלקיק באופן קלאסי עם אנרגיה כזו הייתה תנועתו מוגבלת לתחום:

א. $|x| \leq (9\hbar^2/4\alpha m)^{1/4}$

ב. $|x| \leq (9\hbar^2/\alpha m)^{1/4}$

ג. $0 \leq x \leq (\hbar^2/\alpha m)^{1/4}$

ד. $|x| \leq (\hbar^2/\alpha m)^{1/4}$



שאלה 10

חלקיק נמצא בבור פוטנציאל אינסופי הנתון ע"י:

$$V(x) = \begin{cases} \infty & x < 0 \\ 0 & 0 \leq x \leq d \\ \infty & d < x \end{cases}$$

ערך התוחלת של הקואורדינטה x במצב המאופיין ע"י $n=1$ 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 ההחזרה של אלומת חלקיקים בעלי אנרגיה של $18eV$ ממדרגת פוטנציאל בגובה $10eV$ הוא:

א. 0

ה. $1/16$

ב. $1/5$

ו. $5/9$

ג. $1/25$

ז. 1

ד. $1/4$

שאלה 12

אלומת אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של $100eV$ פוגעת במחסום פוטנציאל שגובהו $300eV$ ורוחבו 2 \AA . למחסום מגיעים 10^{14} אלקטרונים בשנייה. מה יהיה מספר האלקטרונים העוברים אותו כל שניה:

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 (בהתאמה) של חלקיק הקשור בפוטנציאל מסוים. נניח שקיים:

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

ונגדיר 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 איננה יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור היות והגודל $\Psi^* \Psi$ תלוי בזמן ולכן אי-אפשר לנרמל אותה.
- ג. הפונקציה $\Psi(x, t)$ איננה יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור כי הגודל $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* \Psi dx$ תלוי בזמן ולכן אי אפשר לנרמל אותה.
- ד. הפונקציה $\Psi(x, t)$ יכולה לתאר את מצבו של החלקיק בבור היות והיא פותרת את משוואת שרדינגר וגם מנורמלת.

שאלה 14

ערך התוחלת של הקואורדינטה x של חלקיק שהפונקציה העצמית המתארת אותו נתונה על-ידי:

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

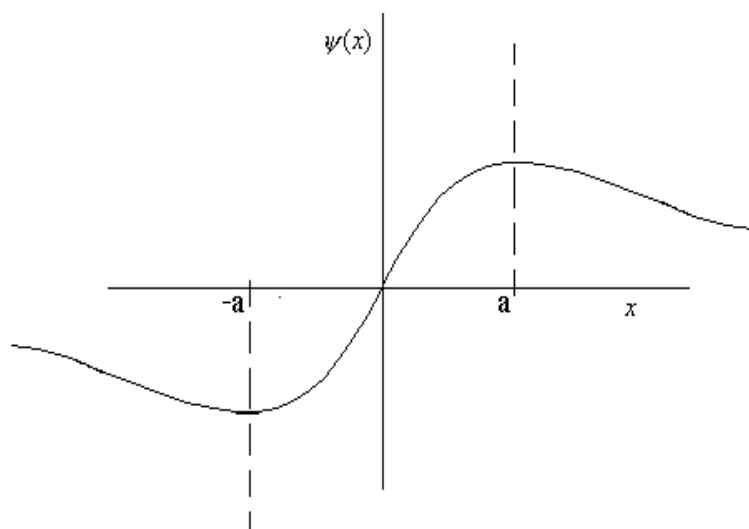
כאשר A קבוע נרמול, הוא:

- 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 $\psi(x)$ של חלקיק הנע בפוטנציאל מסוים.

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



א. ב- $x = -a$ בלבד.

ב. ב- $x = 0$ בלבד.

ג. ב- $x = a$ בלבד.

ד. ב- $x = \pm a$.

ה. ב- $x = \pm a, 0$.

מטלת מנחה (ממ"ן) 12

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 5-8

מספר השאלות: 5

סמסטר: 2026א

משקל המטלה: 4 נקודות

מועד אחרון להגשה: 02.01.2026

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות מנחה"

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 $P(x) = |\Psi|^2$ בזמן $t = 0$. היכן ההסתברות מכסימלית?

נתונה הפונקציה:

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

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

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

ה. חשבו את צפיפות ההסתברות $P(x, t) = |\Psi(x, t)|^2$, ופשטו ככל הניתן. שרטטו צפיפות ההסתברות ב-3 זמנים שונים כדי להראות כיצד צפיפות ההסתברות משתנה בזמן.

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

שאלה 2 (25 נקודות)

חלקיק שמסתו m נתון בבור פוטנציאל אינסופי שרוחבו d ומרכזו בראשית הצירים. פונקציית

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

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 Δx .

ד. חשבו את אי-הוודאות בתנע Δp .

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)

חלקיק נמצא בבור פוטנציאל אינסופי ברוחב d

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

מצבו של החלקיק מתואר ע"י פונקציית הגל הבאה, ב- $t = 0$ (רגע ההתחלה).

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

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

א. נרמלו את פונקציית הגל.

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

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

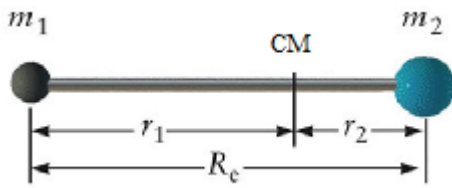
ד. מהי פונקציית הגל $\Psi(x, t)$ בזמן $t > 0$ כלשהו.

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

שאלה 4 (10 נקודות)

- א. על פי מודל בוהר לאטום המימן: אם נתון כי התנע הזוויתי המסלולי של האלקטרון הוא $4\hbar$, מה האנרגיה של האלקטרון?
- ב. על פי מודל שרדינגר לאטום המימן: נמדד כי רכיב z של התנע הזוויתי המסלולי של האלקטרון הוא $4\hbar$. מה הערך המינימלי שיכול להיות לגודל התנע הזוויתי המסלולי? מה הם הערכים 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 סביב מרכז המסה (CM) כבאיור, מומנט ההתמד נתון על ידי:

$$I = \mu R_e^2$$

כאשר המסה המצומצמת נתונה על ידי:

$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$. הניחו שניתן להשתמש במערכת זו כמודל עבור מולקולת NaH (כאשר כל אחד מהאטומים מיוצג על ידי הגופים בקצה המוט).

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

מטלת מחשב (ממ"ח) 04

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 8, 9

מספר השאלות: 13

משקל המטלה: 2 נקודות

מועד אחרון להגשה: 16.1.2026

סמסטר: 2026א

את התשובות לממ"ח יש לשלוח באמצעות מערכת שאלתא

בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

שאלה 1

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

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

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

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

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

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

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

כאשר לשם קיצור כתבנו:

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

שאלה 2

ההסתברות הגבוהה ביותר למצוא אלקטרון באטום מימן הנמצא ברמה המעוררת הראשונה בקליפה $l = 1$ 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 הרדיאלי של הפונקציה העצמית (המנורמלת) ψ_{nlm} המתארת את מצבו של יון ליתיום Li^{++} . ערך התוחלת של המרחק r בין האלקטרון לגרעין במצב זה נתון על ידי:

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

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

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

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

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

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

שאלה 4

אם יון הליתיום המתואר בשאלה 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 הצפויה להתקבל?

א. $-2\hbar$

ד. \hbar

ב. $-\sqrt{2}\hbar$

ה. $\sqrt{2}\hbar$

ג. $-\hbar$

ו. $2\hbar$

שאלה 6

האטום הנתון עובר לרמת היסוד. 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 שטרן-גרלך עם חלקיקים בעלי ספין $S=2$ (ומומנט מגנטי שונה מ-0) תתפצל האלומה ל-

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

שאלה 8

מומנט ההתמד של מולקולת חמצן דו חנקני הוא $40.23 \text{ u } \text{\AA}^2$. חשבו את האנרגיה של הרמה הרוטציונית 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 התדירות הרביעית שתתקבל בספקטרום הרוטציוני של המולקולה מהשאלה הקודמת (ביחידות GHz).

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

שאלה 10

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

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

שאלה 11

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי תורת הקוונטים, אי שוויונות בל אמורים להתקיים בכל מצב, אך בפועל בניסויים הוכח שהם מופרים.
- ב. על פי תורת הקוונטים אי שוויונות בל אמורים להיות מופרים בניסויים מסויימים, אך זה לעולם לא הוכח בפועל בניסוי.
- ג. על פי תורת הקוונטים אי שוויונות בל אמורים להיות מופרים בניסויים מסויימים, והפרה זו נמדדה בניסויים שונים.
- ד. אי שוויונות בל אמורים להתקיים לפי תורת הקוונטים ולהיות מופרים לפי הפיסיקה הקלאסית.

שאלה 12

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי פרשנות קופנהאגן לתורת הקוונטים התכונות הפיסיקליות של חלקיק מוגדרות לפני המדידה.
- ב. על פי פרשנות קופנהאגן לתורת הקוונטים בעת ביצוע מדידה, מתקיים פיצול לתוצאות האפשריות הממשיכות להתקיים במקביל אחרי המדידה.
- ג. על פי פרשנות קופנהאגן לתורת הקוונטים עיקרון אי הוודאות הוא רק מגבלה טכנית על היכולת לבצע ניסויים, ואינו חוק טבע יסודי.
- ד. הפרת אי שוויונות בל מפריכה את פרשנות קופנהאגן לתורת הקוונטים.
- ה. כל הטענות א'-ד' שגויות.

שאלה 13

סמנו את המשפט הנכון :

- א. על פי פרשנות העולמות המרובים לתורת הקוונטים חוקי הטבע אינם דטרמיניסטיים
- ב. על פי פרשנות העולמות המרובים לתורת הקוונטים אין קריסה של פונקציית הגל בעת ביצוע מדידה.
- ג. אם פרשנות העולמות המרובים אינה נכונה, לעולם לא יהיה אפשרי לבנות מחשב קוונטי מתפקד.
- ד. על פי פרשנות העולמות המרובים אין הבדל מהותי בין מחשב קוונטי לתודעה האנושית.

מטלת מחשב (ממ"ח) 05

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה: יחידות 10-11

מספר השאלות: 14

סמסטר: א2026

משקל המטלה: 2 נקודות

מועד אחרון להגשה: 30.1.2026

את התשובות לממ"ח יש לשלוח באמצעות מערכת שאלתא

בכתובת www.openu.ac.il/sheilta

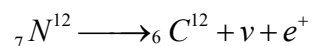
שאלה 1

בכל אטומי העופרת יהיה קבוע:

- א. מספר הניטרונים.
- ב. מספר הפרוטונים.
- ג. מספר האלקטרונים.
- ד. מספר הנוקליאונים.

שאלה 2

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



סמנו את האפשרות הנכונה:

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

שאלה 3

הנייטרينو הנפלט בשאלה הקודמת הוא :

- א. נייטרينو אלקטרוני
- ב. נייטרينو מיואוני
- ג. נייטרוני פוזיטרוני
- ד. נייטרינו טאו-אוני
- ה. לא ניתן לקבוע מהנתונים.

שאלה 4

גרעין Em^{219} מתפרק התפרקות α . חלקיקי ה- 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 מלווה לכן 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

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

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

שאלה 6

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

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 וכתוצאה מכך נוצר הרזוננס $\Delta^0(1232)$ שמסתו $1232 \text{ MeV}/c^2$:

$$\pi^0 + n \rightarrow \Delta^0$$

סמנו את המשפט הנכון:

א. ה- Δ^0 יהיה בעל תנע של $299 \text{ MeV}/c$.

ב. ה- Δ^0 יימצא במנוחה לאחר ההתנגשות.

ג. לניטרון ול- π^0 אין מספיק מסה כדי ליצור את ה- Δ^0 .

ד. אי-אפשר לקבוע דבר לגבי ריאקציה זו היות ולא נתון התנע 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: $p \rightarrow \Sigma^+ + \gamma$ אסורה עקב אי-שמור:

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

שאלה 10

התהליך $\gamma + \gamma \rightarrow n + \pi^0$ אסור עקב אי-שמור:

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

שאלה 11

קבעו איזה מבין החלקיקים הבאים קיים:

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

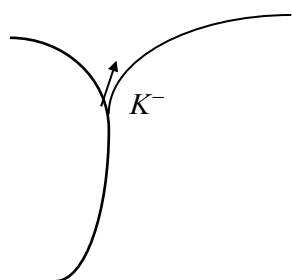
שאלה 12

קאון K^+ מתפרק לשני חלקיקים. מבין שלושת החלקיקים: π^0 (פיון נייטרלי), η^0 (מזון אטא), μ^+ , (אנטי מיואון, הזהה למיואון למעט המטען החיובי), קבעו איזה יכולים להיווצר בהתפרקות כאחד התוצרים (התוצר השני אינו ידוע).

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

שאלה 13

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



א. התפרקות של K^-

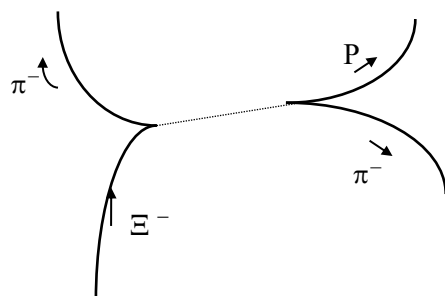
ב. $K^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$

ג. $K^- + n \rightarrow \Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$

ד. $K^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+$

שאלה 14

האיור המצורף מתאר בצורה סכמטית מסלולי חלקיקים הקשורים בהתפרקות חלקיק Ξ^- בתא בועות. החלקיק הניטרלי שמסלולו מתואר כקו מרוסק יכול להיות:



א. Λ^0

ב. Σ^0

ג. π^0

ד. \bar{K}^0

ה. אלקטרון

מטלת מנחה (ממ"ן) 13

הקורס: 20213 - פרקים בפיסיקה מודרנית

חומר הלימוד למטלה:

מספר השאלות: 5

סמסטר: 2026א

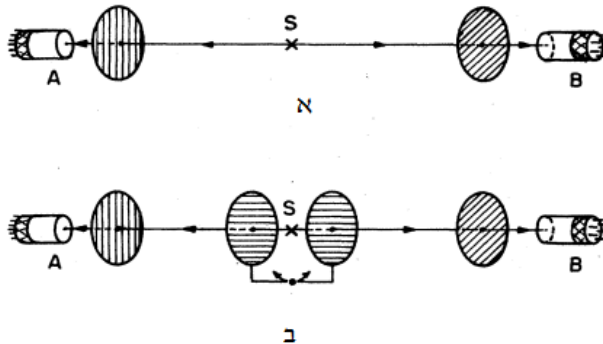
משקל המטלה: 4 נקודות

מועד אחרון להגשה: 30.01.2026

קיימות שתי חלופות להגשת מטלות:

- שליחת מטלות באמצעות מערכת המטלות המקוונת באתר הבית של הקורס
 - שליחת מטלות באמצעות הדואר או הגשה ישירה למנחה במפגשי ההנחיה
- הסבר מפורט ב"נוהל הגשת מטלות מנחה"

שאלה 1 (25 נקודות)



פיסיקאי הציע תיאוריה לפיה בניסוי בל בזוגות פוטונים, לכל זוג של פוטונים יש קיטוב לא ידוע אך מוגדר מראש וזהה לשני הפוטונים. כדי לבדוק את ההשערה שלו מבצעים שני ניסויים למדידת הקורלציה בקיטוב בין זוגות פוטונים.

ניסוי א': ניסוי בסגנון בל בזוגות פוטונים שזורים לקיטוב זהה.

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

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

א. רשמו נוסחה ושרטטו גרף עבור $E(\theta)$ בניסוי א'.

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

(עבור $0 \leq \theta \leq 180^\circ$). האם מתקיימת הפרה של אי שוויונות בל? אם כן, סמנו בגרף היכן.

המשך השאלה בעמוד הבא

כעת נחשב את הקורלציות בניסוי ב'.

ג. ענו מבלי לחשב: האם אתם מצפים שבניסוי ב' אי שוויונות בל יתקיימו תמיד, או יופרו? הסבירו על סמך חומר הלימוד.

ד. חשבו את ההסתברות שפוטון עם זווית θ_i נתונה יעבור במקטב A וגם שבן זוגו לא יעבור במקטב B (בטאו בעזרת θ_i, θ_B).

ה. כאמור, על פני הרבה ניסויים, הזווית θ_i משתנה באופן אקראי. חשבו את הממוצע של ההסתברות שחישבתם בסעיף הקודם בתחום $0 \leq \theta_i \leq \pi$ (שימו לב: נדרש חישוב אינטגרל).

מצאו בעזרת הממוצע שקיבלתם את שיעור אי ההתאמות $E(\theta)$ לניסוי ב'. הסבירו חישובכם.
ו. שרטטו על מערכת צירים אחת את הגרפים של הפונקציות $E(2\theta), 2E(\theta)$ (עבור $0 \leq \theta \leq 180^\circ$). האם מתקיימת הפרה של אי שוויונות בל? אם כן, סמנו בגרף היכן. השוו לתשובתכם לסעיף ג'.

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

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

תוכלו להיעזר באינטגרל הלא מסויים:

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

שאלה 2 (20 נקודות)

האיזוטופ $^{198}_{79}\text{Au}$ עובר התפרקות β^- . התוצר הוא איזוטופ במצב מעורר שנסמן X^* העובר התפרקות גמא מיידית לאיזוטופ יציב שנסמן X . נמדד כי תדירות קרינת הגמא הנפלטת היא $99.439 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$.

א. מצאו את מספרו האטומי, מספר המסה וסימון היסוד של האיזוטופ הנוצר X .
ב. רשמו נוסחאות שני התהליכים, כולל כל התוצרים (השתמשו בסימוני האיזוטופים המתאימים במקום ב- X וב- X^*).

ג. מצאו ממקורות אינטרנטיים מהימנים את מסות האיזוטופים הרלוונטיים, וחשבו בעזרת מסות אלו את מסתו של האיזוטופ המעורר X^* הנוצר בהתפרקות β^- . בטאו תשובתכם ביחידות מסה אטומית.

ד. נמצא כי במיעוט קטן של התפרקויות ביתא הנ"ל נוצר מצב מעורר שני של האיזוטופ הנוצר עם אנרגיית עירור של 1087.7 keV .

i. שרטטו את דיאגרמת רמות האנרגיה של האיזוטופ הנוצר (רמת היסוד, רמת העירור הראשונה והרמה השנייה), ורשמו את אנרגיות העירור. הסבירו בעזרת הדיאגרמה מדוע בנוסף לתדירות הנתונה בשאלה, תתקבל קרינת גמא בשתי תדירויות נוספות.

ii. חשבו את שתי התדירויות הנוספות של קרני גמא שיופיעו בספקטרום (בנוסף לתדירות הנתונה בשאלה).

שאלה 3 (15 נקודות)

נתונה ההתפרקות הבאה של חנקן (ניטרלי): ${}^{13}_7N \rightarrow {}^{13}_6C + \beta^+ + \nu_e$

כאשר נתונות המסות האטומיות:

$$M(N) = 13.005738(\text{amu}), M(C) = 13.003354(\text{amu})$$

- הסבירו כיצד מתבטא שימור המטען החשמלי בתהליך. כלומר, מה המטען של כל התוצרים?
- חשבו את האנרגיה המשתחררת בתהליך.
- חשבו את האנרגיה של β^+ ושל ν היוצאים מהריאקציה במקרה בו גרעין ה- ${}^{13}_6C$ אינו רותע, וכל האנרגיה המשתחררת עוברת לשני החלקיקים.

שאלה 4 (20 נקודות)

ענו על הסעיפים הבאים.

- קבעו עבור כל אחת מן ההתפרקויות הבאות האם הן אפשריות. במידה ולא – ציינו איזה חוק/י שימור מופרים.

$$\text{iii. } \Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^- + \nu$$

$$\text{iv. } \Xi^- \rightarrow \Omega^- + \pi^0$$

$$\text{v. } \Xi^- \rightarrow \pi^- + \gamma$$

- חלקיק Ξ^- נח מתפרק בתהליך $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$.

- מה יכול להיות סוג האינטרקציה האחראי להתפרקות? נמקו?
- רשמו משוואה בנעלם אחד עבור התנע של הבריון Λ^0 מייד לאחר ההתפרקות (רשמו באופן פרמטרי בעזרת מסות כל החלקיקים המעורבים בהתפרקות).
- פתרו המשוואה ומצאו התנע המבוקש. בטאו ביחידות $\frac{\text{MeV}}{c}$.

שאלה 5 (20 נקודות)

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

$$\text{א. } p \rightarrow e^+ \pi^0 \nu_e$$

$$\text{ב. } e^+ e^- \rightarrow 2\gamma$$

$$\text{ג. } \Omega^- \rightarrow \Xi^0 \pi^-$$

$$\text{ד. } e^- \mu^+ \rightarrow \bar{\nu}_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\text{ה. } n \rightarrow \pi^0 p e^-$$