

לרשותך 3 שעות שבהן עליך לפתור 4 שאלות שכל אחת שווה 25 נקודות. עליך לבחור 3 שאלות מתוך הארבע שמופיעות שחלק א' ושאלה אחת מתוך השתיים שמופיעות בחלק ב'. השאלות בחלק ב' קשות יותר לפתרון. הניקוד עבור כל סעיף מופיע בסוגריים. לבסוף ישנה שאלת בונוס ששוויה 10 נקודות (+הערכתי הרבה). אין להשתמש בכל חומר עזר מלבד דף הנוסחאות שמחולק על ידי הבוחנות. אין להשתמש במחשבון (לא נידרש להגיע לדיוקים גבוהים בתוצאות). בהצלחה.

חלק א' (ענה על 3 מתוך 4 השאלות הבאות)

1. קוונטים

נתונות 3 פונקציות הגל הראשונות (של בור פוטנציאל הרמוני):

$$\psi_1(x) = \sqrt{2} \left(\frac{m\omega}{\pi^3 \hbar} \right)^{3/4} x e^{-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}}, \quad \psi_0(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi \hbar} \right)^{1/4} e^{-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}}$$

$$\psi_2(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi \hbar} \right)^{1/4} \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(-2 + \frac{4m\omega x^2}{\hbar} \right) e^{-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}}$$

א. (10) חשבי/ את אי הודאות במיקום החלקיק הנמצא ברמת היסוד.

חשבי/ לגבי אותו חלקיק את אי הודאות בתנע. ודאי/ שעקרון אי הודאות מתקיים.

ב. (10) צייר את שלושת פונקציות הגל וגם את הפוטנציאל שבו הן נמצאות תוך מתן דגש על

האזורים שבהם חודרות הפונקציות לתוך הפוטנציאל. תן שם לחדירה זו והסבר מהו ההבדל

בעוצמת התופעה בין שלוש הפונקציות. כתוב ביטוי מתמטי איכותי להתנהגות הפונקציה באזור זה.

ג. (5) באיזה אזורים של הבור הסיכויים הגדולים ביותר למצוא את החלקיק במצב היסוד ובשני המצבים

הבאים אחריו (צייר/)? הסבר/י, מצא/י את נקודת המקסימום וכתוב את הביטוי עבור ההסתברות לגילוי

עבור גלאי שרוחב המדידה שלו הוא אפסילון (אל תפתור/י).

2. חלקיקים

א. (5) הסבר מהי קרינת ביתא, ומהם כל החלקיקים הלוקחים חלק בקרינה זו

ב. (5) הסבר מדוע לדעתך מתרחשת קרינה זו. השתמש בעמק היציבות.

האם סוג החומר משתנה בעקבות קרינה זו? פרט.

ג. (5) צייר את דיאגרמת פיינמן של היווצרות קרינה זו.

ד. (5) תאר איזה כוחות וחוקי שימור פועלים כאן.

ה. (5) חשב את האנרגיה הקינטית המשתחררת.

3. יחסות

שני מחסומי כביש במפגש מסילה-כביש יכולים לרדת ולעלות חזרה בזמן קצר ביותר (הניחו שהזמן הוא אפס). המרחק בין שני המחסומים 10 מטר. משאית שאורכה 20 מטר מנסה לחצות את המסילה (קרי לעבור את שני המחסומים). מפעיל המחסומים שיושב לצידם מוריד ומעלה אותם בו זמנית. לשם תרגול (אין רכבת באופק) מפעיל המחסומים מוריד ומעלה את המחסומים בלא כל השהייה בין שתי הפעולות הללו. לפתע הוא שם לב שבזמן שהמחסומים היו למטה, הייתה המשאית כולה בין שני המחסומים.

- א. (5) באיזה מהירות צריכה המשאית לנסוע בכדי שהדבר יהיה אפשרי?
ב. (15) צייר בדייקנות (כולל מספרים) את קוי העולם (world lines) של ההתרחשות מנקודת מבטו של מפעיל המחסומים וגם של נהג המשאית. לצורך כך חשב את זוית המדויקת של קוי העולם.
ג. (5) כיצד מסביר לעצמו נהג המשאית את ההתרחשות?

4. קוונטים

ניסוי שטרן-גרלך

- א. (5) צייר את הניסוי ותאר באיזה חלקיק השתמשו, הסבר במדויק למה ציפו ומה גילו.
ב. (5) הסבר בעזרת נוסחאות מדוע נזקקו לשדה מגנטי לא הומוגני.
ג. (10) חשב מה המרחק בין הפגיעות על המסך אם נתון שהשדה הוא $B(z)=Az$ ואם נתון שמהירות החלקיק 10cm/s , שאורך המגנט 10cm ושהמרחק בין סוף המגנט לבין המסך 1m .
ד. (5) מה היה קורה לו היו לוקחים אטום עם $L=1$? הראה בערת נוסחאות.

חלק ב': (ענה על אחת מתוך שתי השאלות הבאות)

5. יחסות

- א. (20) הזמן בין שני מאורעות במערכת המנוחה S הוא Δt . הוכח שהזמן בין שני מאורעות אלו במערכת S' (שנעה שביחס V ל- S במהירות V) הוא $\gamma \Delta t$.
ב. (5) כיצד משפיעה עובדה זו על חלקיקים אלמנטריים שמגיעים אלינו מהחלל? הסבר את העובדה שהחלקיקים מגיעים לכדור הארץ מנקודת מבט החלקיקים ומנקודת מבטו של הצופה העומד על כדור הארץ.

6. קוונטים

$$V = \begin{cases} 0, & -a/2 < x < a/2 \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$

חלקיק קוונטי נתון להשפעת פוטנציאל חיצוני מהצורה

א. (5) רשמו את משוואת שרדינגר עבור חלקיק זה וכתבו את תנאי השפה המתאימים. פתרו את המשוואה ומצאו את האנרגיות העצמיות ואת המצבים העצמיים (המנורמלים!). ציירו סכימתית את שלושת המצבים העצמיים הראשונים.

ב. (2) נניח כעת שהפוטנציאל מוגדר כ- $V = \begin{cases} 0, & -a/4 < x < 3a/4 \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$. מה יהיו רמות האנרגיה?

ציירו סכימתית את שלושת המצבים העצמיים הראשונים במקרה הזה. אין צורך בחישובים מתמטיים

הסעיפים הבאים מתייחסים לפתרון שמצאתם בסעיף הקודם עבור בור הראשון (שמרכזו ב $x=0$):

הכינו חלקיק בבור פוטנציאל כך שב – 40% מהמדידות מתקבלת האנרגיה E_5 ובשאר המדידות מתקבלת האנרגיה E_2 .

ג. (3) רשמו את פונקציית הגל של החלקיק. ודאו שהפונקציה מנורמלת.

ד. (10) לפונקציית הגל שמצאתם בסעיף הקודם חשבו את ממוצע האנרגיה $\langle E \rangle$ והתנע הממוצע $\langle p \rangle$

של החלקיק הנ"ל. מצאו את אי הודאות במקום.

ה. (5) כתבו את פונקציית הגל שמצאתם בסעיף ג' כולל התלות בזמן.

שאלת בונוס:

(10) תאר בעזרת פעולת המיקרוסקופ כיצד אולי הגיע הייזנברג לעיקרון אי הודאות.