

מרצה: רון פולמן

לרשותך 3 שעות שבהן עליך לפתור 4 שאלות שכל אחת שווה 25 נקודות. עליך לבחור 3 שאלות מתוך הארבע שמופיעות בחלק א' ושאלה אחת מתוך השתיים שמופיעות בחלק ב'. השאלות בחלק ב' קשות יותר לפתרון. לבסוף ישנה שאלת בונוס אחת ששוויה 10 נק' ואחת ששוויה 5 נק' (+הערכתי הרבה). לסיכום, עליך לענות על בדיוק 3 שאלות בחלק א', שאלה אחת בחלק ב', ושאלות בונוס ככל שתרצה. בהצלחה.

חלק א' (ענה/י על 3 מתוך 4 השאלות הבאות)

1. (25 נק') נתונות 3 פונקציות הגל הראשונות (של בור פוטנציאל הרמוני):

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

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

א. (5 נק') חשבי/י את אי הודאות במיקום החלקיק הנמצא ברמה היסוד.

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

ב. (10 נק') 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 שלושת הפונקציות. כתוב ביטוי מתמטי איכותי להתנהגות הפונקציה באזור זה.

באיזה אזורים של הבור הסיכויים הגדולים ביותר למצוא את החלקיק במצב היסוד ובשני המצבים

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

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

ג. (10 נק') נתונה פונקצית הגל של אטום המימן:

$$\psi_{n,l,m,ms} = \frac{1}{\sqrt{5}} \psi_{2,1,-1,1/2} + \frac{1}{\sqrt{5}} \psi_{2,1,1,1/2} - \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{5}} \psi_{2,1,1,-1/2}$$

הראה/י כי פונקצית גל זו מנורמלת. מצא/י את הממוצעים של רכיב z של הספין, ורכיב z של התנע

הזוויתי. מהי אי-הוודאות בכיוון z של התנע הזוויתי?

2. (25 נק') SG הצליחו למדוד בפעם הראשונה את הספין של האלקטרון.
 א. (2 נק') הסבר/י בעזרת ציור ונוסחאות כיצד עשו זאת. באיזה חלקיק השתמשו ומדוע?
 ב. (5 נק') מה המרחק בין שתי הפגיעות על המסך אם $B(z)=Az$ ואם אורך המכשיר L מטר ומהירות החלקיק V מטר לשנייה (המסך מרוחק מהמכשיר L כפול 10).
 ג. (3 נק') מה הפרש האנרגיה בין שתי רמות האנרגיה של אלקטרון זה בשדה הומוגני?
 ד. (5 נק') מה היה קורה בניסוי SG הנ"ל לו הספין של האלקטרון לא היה חצי כי אם 1? חשב.
 ה. (10 נק') מה היה קורה לו SG היו לוקחים אטום שרמת היסוד שלו $L=2$?

3. יחסות.

- א. (15 נק') רכבת שאורכה 100 מטר נעה במהירות $0.866c$. ברגע $t=0$ (במערכת של הנוסע היושב ברכבת) הקצה הקדמי של הרכבת ניכנס למנהרה שאורך המנוחה שלה הוא (כלומר מבחינתו של צופה שעומד ניח לצד המנהרה) 50 מטר. חשב בעזרת דיאגרמת זמן-מרחב את הזמן (במערכת הנוסע) שבו יוצא החלק האחורי של הרכבת מהמנהרה.
 ב. (10 נק') מיקרו מטאוריט 10^{-9} ק"ג עובר ע"פ כדור הארץ במהירות הלא יחסותית של אחוז אחד. באותו זמן עוברת על ידו באותו כיוון חללית במהירות חצי מהירות האור (יחסית לכדור הארץ). מהם האנרגיה והתנע של המטאוריט בעיני צופה מהקרקע וצופה מהחללית?

4. (25 נק') חלקיקים.

- א. (12 נק') קבע/י אילו מבין האטרקציות הבאות אפשריות או לא אפשריות ולמה (הסבר איזה כח כנראה היה מעורב בתהליך):

$$n \rightarrow p + e^- + \nu_e \quad (I)$$

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n \quad (II)$$

$$p + p \rightarrow \pi^+ + n + \Lambda^0 + K^+ \quad (III)$$

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma \quad (IV)$$

- ב. (5 נק') מצא/י את האנרגיה של כל אחד מהתוצרים בתהליך הבא: $\pi^- + p \rightarrow n + \pi^0$

כאשר נתון כי המגיבים היו בתחילת התהליך במנוחה.

- ג. (5 נק') כמה אנרגיה משתחררת מכדור אורניום-235 בעל מסה של 2 kg בשנייה אחת?



כאשר $T_{1/2}=703$ Myears

- ד. (3 נק') לאור תוצאתך בסעיף ג' איך את/ה מסביר את האנרגיה הרבה המשתחררת בפיצוץ גרעיני?

5. (25 נק') חלקיקים

- א. (5 נק') למה לדעתך מתפרק חלקיק מסוג קאון ובאיזה סוג של אינטראקציה?
- ב. (15 נק') חלקיק מסוג פיון שלילי מגיע מהחלל וניכנס לתא בועות ושם הוא מתנגש בפרוטון. צייר ותאר תהליך ארוך אחד של כמה צמתי שינוי של יצירה והתפרקות (עד לחלקיקים יציבים) של מה יכול לקרות בתא אם נתון שבתהליך הראשון נוצרה מוזרות באמצעות הכח החזק. תאר בדיגרמת פיינמן (כולל קווארקים) את התהליך הראשון. לגבי שאר הצמתיים של שינוי הסבר מה היה לפני ומה היה אחרי, איזה כוחות פעלו ואיזה חוקי שימור נישמרו (אין צורך להזכיר את נושא הקווארקים).
- ג. (5 נק') חלקיק מסוג דלתה (Δ^{++}) מתפרק בעזרת הכח החזק לפרוטון ופיון. תאר בעזרת דיאגרמת פיינמן (כולל קווארקים את תהליך ההתפרקות).

6. (25 נק') קוונטים

- א. (5 נק') צייר את פונקציית הגל של חמשת הרמות הראשונות של בור פוטנציאל אינסופי. מה הסיכוי של חלקיק הנמצא ברמה הרביעית בטווח מאוד קטן ממרכז הבור?
- ב. (5 נק') חלקיק חופשי נע משמאל לימין עם אנרגיה E עד שהוא פוגע במחסום פוטנציאל בעל גובה V. אם $V > E$ צייר את צפיפות ההסברות של הימצאות החלקיק לפני, בתוך ואחרי המחסום, והסבר בעזרת נוסחאות כיצד הגעת לציור זה.
- ג. (5 נק') מהי הנוסחה לרמות האנרגיה של חלקיק בבור פוטנציאל הרמוני? הסבר מה ייחודי בנוסחה זו.
- ד. (5 נק') מהו רוחב הספקטרום (line width) של לייזר שזמן הפולס שלו הוא פמטו שנייה (femto second)?
- ה. (5 נק') כפי שכל כימאי יודע וכפי שלמדנו בכיתה כל רמה אטומית בעלת מספרים קוואנטיים n ו-1 (L קטן) יכולה להכיל מקסימום $2(2l+1)$ אלקטרונים. הסבר את המקור למספר זה?

שאלות בונוס

7. (10 נק') נניח שקיימת קובייה מחומר מאוד רגיש לאור שמתקלקל אם פוגע בו אפילו פוטון אחד. ונניח שלפניך מצבור של קוביות כאלו שחלק מהן לא עובד (כלומר החומר מקולקל). נניח גם שחומר מקולקל משמעו שיש בו חור ואור יכול לעבור דרכו. הסבר כיצד ניתן לבחון אילו קוביות טובות ואילו מקולקלות מבלי לקלקל את כל הקוביות הטובות (הנח שכל בדיקה שהיא דורשת שקרן אור תפגע באובייקט שבו אתה מעוניין, שכן אחרת הוא יישאר חשוך ולא תוכל לדעת עליו דבר). איזה אחוז מהקוביות הטובות ישרוד את הבדיקה שאתה מציע?

8. (5 נק') חלקיק חופשי נע משמאל לימין עם אנרגיה E עד שהוא פוגש מחסום פוטנציאל בגובה V וברוחב W (כלומר גבולותיו ב- $x=0$ וב- $x=W$), כאשר $E < V$. במרחק D מסוף המחסום הזה מתחיל מחסום נוסף וזהה (כלומר גבולותיו ב- $x=W+D$ וב- $x=2W+D$). מהם לדעתך תנאי השפה ב- $x=W$ וב- $x=W+D$ כדי שהחלקיק ישהה זמן מקסימלי באיזור שבין שני המחסומים? איזה אפקט פיסיקלי זה מזכיר לך?