

מבחן פיסיקה 3 (203-1-2391) – מועד ג' (2006)

חומר עזר מותר לשימוש: דף הנוסחאות של המרצה בלבד! (יחולק בתחילת המבחן)

מרצה: רון פולמן

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. לבסוף ישנה שאלת בונוס ששוויה 10 נקודות (+הערכתי הרבה). בהצלחה.

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

שאלה 1: יחסות

חלקיק בעל אנרגיית מנוחה E_0 מתפרק במערכת המנוחה שלו לשני חלקיקים זהים עם אנרגיית מנוחה $0.4E_0$ ואנרגיות קינטיות שוות.

- א. (5 נק') הראה/י כי החלקיקים נעים בקו ישר במערכת המנוחה של חלקיק האב.
- ב. (10 נק') חשב/י את מהירות כל אחד מהחלקיקים במערכת המנוחה של חלקיק האב.
- ג. (10 נק') חשב/י את מהירות אחד מהחלקיקים במערכת המנוחה של החלקיק השני.

שאלה 2: חלקיקים ויחסות

זמן מחצית החיים של טוריום (^{234}Th) הוא דקה, והוא מתפרק התפרקות בטא לפרוטקטיניום ^{234}Pa .

- א. (5 נק') אם טוריום נע במהירות $0.9c$ ביחס לצופה, כמה זמן יקח עד שחציו יתפרק ע"פ הצופה?
- ב. (5 נק') מהו המרחק הממוצע שיעבור ע"פ הצופה הטוריום לפי התיאוריה הלא יחסותית?
- ג. (5 נק') מהו המרחק שיעבור בפועל ע"פ הצופה?

צבר של N_0 אטומי טוריום נע ברכבת של אשפה רדיואקטיבית, במהירות βc . מכיוון ששום מקום לא מוכן לקבל אותה, היא ממשיכה להקיף את כדור הארץ.

- ד. (5 נק') כמה אטומים יישארו לאחר הקפה אחת שאורכה L ק"מ (התנועה המעגלית זניחה)?
- ה. (5 נק') צבר שני זהה נשאר בנקודה אחת ע"פ כדור הארץ (רמת חובב). כמה אטומים ישארו בצבר זה לאחר שהצבר השני השלים הקפה אחת?

שאלה 3: 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 נק') חשבי את אי הודאות במיקום החלקיק הנמצא ברמה הראשונה.

ב. (5 נק') חשבי לגבי אותו חלקיק את אי הודאות בתנע. ודאי שעקרון אי הודאות מתקיים.

ג. (5 נק') נניח כי חלקיק בטמפרטורת החדר כלוא בבור זה. הערך/י באיזה מספר רמה עדיין יש סיכוי סביר (1%) שהרמה תהיה מאוכלסת ע"י החלקיק. (זכורי כי אנרגיית החלקיק היא $k_B T$). כתוב/י את הביטוי ואל

תפתור/י. (זכורי כי פוטנציאל הרמוני $E = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2} \right)$). נתון כי $\omega = 1 \text{ MHz}$.

ד. (3 נק') אם פוטון פוגע בחלקיק (אופרטור האינטראקציה הדיפולית הוא $A=X$), חשבי את יכולתו להקפיץ

את החלקיק ממצב היסוד לרמה השלישית (שניה אחרי רמת היסוד).

ה. (2 נק') באיזה איזורים של הבור הסיכויים הגדולים ביותר למצוא את החלקיק במצב היסוד ובמצב הבא

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).

שאלה 4: קוונטים

SG הצליחו בפעם הראשונה למדוד את הספין של האלקטרון.

א. (10 נק') הסבר/י בעזרת נוסחאות כיצד עשו זאת.

ב. (5 נק') מה המרחק בין שתי הפגיעות על המסך אם $B(z)=Az$ ואם אורך המכשיר L ס"מ ומהירות

החלקיק V מטר לשנייה (המסך מרוחק מהמכשיר L כפול 10).

ג. (5 נק') מה הפרש האנרגיה בין שתי רמות האנרגיה של אלקטרון זה בשדה הומוגני?

ד. (3 נק') מה היה קורה בניסוי SG הנ"ל לו הספין של האלקטרון לא היה חצי כי אם 1? חשב.

ה. (2 נק') מה היה קורה לו אם SG היו לוקחים אטום שרמת היסוד שלו $L=1$?

חלק ב' (ענה/י על 1 מתוך 2 השאלות הבאות)

שאלה 5: קוונטים

פונקציית הגל באטום המימן מאופיינת על ידי המספר הקוונטי הראשי n (רמות האנרגיה הן $E_n = -\frac{13.6}{n^2} eV$,

המספר הקוונטי (השלם) l (ריבוע התנע הזוויתי מקיים $\hat{L}^2\Psi = \hbar^2 l(l+1)\Psi$) והמספר m הקוונטי (השלם)

(היטל התנע הזוויתי בכיוון z מקיים $\hat{L}_z\Psi = \hbar m\Psi$). נתון שהפונקציות $\psi_{n,l,m}(\vec{r})$ אורתונורמליות.

(א) (5 נק') איזה מצבים מאוכלסים באטום He? (יש לאכלס 2 אלקטרונים) אם נניח שלא קיים ספין, איזה מצבים היו מאוכלסים? האם He נשאר גז אציל? הסבר/י.

(ב) (5 נק') מצא/י כמה מצבים (=ניוון) יש לאנרגיה E_2 ($n=2$)? הסבר/י את תשובתך.

(ג) (5 נק') נתון אלקטרון במצב:

$$\psi(\vec{r}, t) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\psi_{100}(\vec{r}) e^{-iE_1 \frac{t}{\hbar}} + 2\psi_{21-1}(\vec{r}) e^{-iE_2 \frac{t}{\hbar}} \right)$$

הראה ש- $\Psi(\vec{r}, t)$ מנורמלת ומצא את ההסתברות שהאלקטרון נמצא ברמת היסוד E_1 .

(ד) (5 נק') חשב/י את הערכים הממוצעים של:

(1) האנרגיה.

(2) \hat{L}^2

(3) \hat{L}_z

(ה) (5 נק') מהי אי הודאות למצב בסעיף ג' עבור \hat{L}_z ?

שאלה 6: חלקיקים

א. (5 נק') קבע/י אילו מבין האטרקציות הבאות אפשריות או לא אפשריות ולמה:

(I) $n \rightarrow p + \mu + e$ (אינטראקציה חלשה)

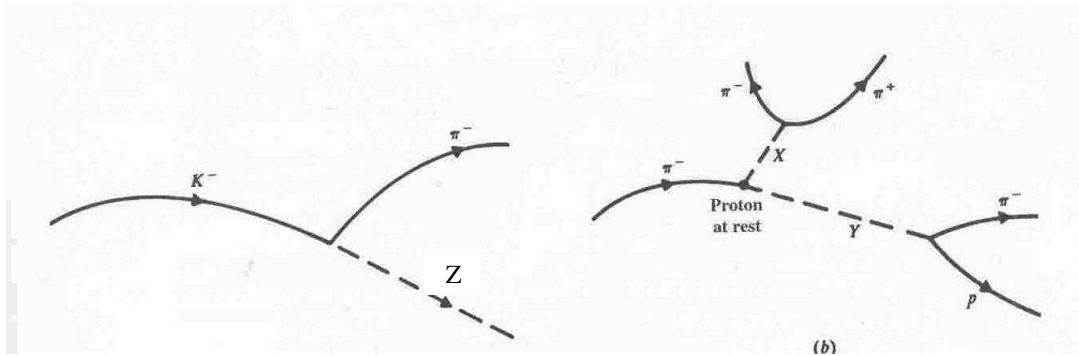
(II) $\Lambda \rightarrow \pi + \Sigma$ (אינטראקציה חזקה)

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

צייר את דיאגרמות פיינמן של התהליכים האפשריים (כולל קווארקים וחלקיקים נושאי הכח).

ב. (5 נק') הוכח שחלקיק לא יכול להתפרק לחלקיק שהוא כבד ממנו. בהתחשב בתשובתך, הסבר/י מדוע אבני

הבניין של האטום יציבים (הסבר/י רק לגבי הפרוטון והאלקטרון).
 ג. (15 נק') באיור הבא ניתן לראות שני סטים של עקבות בתא בועות. (הנח/י שהשדה המגנטי נכנס לתוך הדף). זהה/י את חלקיקי ה-X וה-Y וה-Z הניטרליים הלא ידועים (המסומנים על ידי הקווים המקווקווים) בשני המקרים הבאים, והסבר/י איזה סוג של אינטראקציה התרחשה:



שאלת בונוס: התאבכות של אלקטרונים (10 נק')

- (א) אלקטרונים בעלי תנע p פוגעים במאונך בשני סדקים שהם במרחק d אחד מהשני. מה המרחק בין שני המקסימומים הסמוכים של תבנית ההתאבכות על המסך המרוחק מרחק D מהסדקים?
- (ב) בניסוי שבוצע האלקטרונים הואצו על ידי פוטנציאל של 50 kV , המרחק בין הסדקים היה $2 \mu\text{m}$ והמסך היה במרחק של 35 cm . חשב את אורך הגל של האלקטרונים ואת המרחק בין שני המקסימומים הסמוכים של תבנית ההתאבכות.