

## Hydrogen atom

exercise 3\_4934

A Hydrogen atom (H-atom) initially in its ground state (i.e.,  $n = 1$ ) *absorbs* a photon which causes the electron to make a transition to the  $n = 4$  level. What must have been the energy and frequency of the photon? If the electron spontaneously makes a transition to lower energy states and returns to the ground state, what are the possible energies and frequencies of the photons *emitted* during this process?

The ground state energy is given by:  $E_0 = -13.6\text{eV}$

Answers should be in units of frequency - Hz

---

## Quantum Harmonic Oscillator, Expectation values

exercise 3\_4316

שאלת בונוס - לא חובה אך עדיין מומלץ לנסות לפתור.

נתון חלקיק שמסתו  $m$ , הנע בהשפעת פוטנציאל הרמוני בתדירות  $\omega$ .

ידוע שבזמן  $t=0$  מתקיימים התנאים הבאים:

- ההסתברות למדידת אנרגיה הגדולה מ  $2\hbar\omega$  היא אפס.

- $\langle E \rangle_{t=0} = \hbar\omega$

- $\langle x \rangle_{t=0} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\hbar}{m\omega}}$

- 

א. מצאי  $|\psi(x, t)\rangle$ .

ב. מצאי  $\langle x \rangle(t)$ ,  $\langle p \rangle(t)$ , ו  $\langle E \rangle(t)$ . (אפשר להשתמש בקשר  $\langle p \rangle(t) = m\langle \dot{x} \rangle(t)$ ).

ג. מצאי  $\Delta p(t)$  ו  $\Delta x(t)$  והראי שעקרון אי הודאות של הייזנברג מתקיים.

הדרכה לסעיף א':

יש לכתוב את פונקציית הגל כסופרפוזיציה של מצבים עצמיים שתקיים את התנאים הנ"ל. אח"כ באמצעות התנאים אפשר לקשר בין הגודל והפרש הפאזה של המקדמים של כל מצב עצמי.

נסביר מה הוא הפרש הפאזה בין המצבים העצמיים:

ניקח פונקצית גל כללית של סופר פוזיציה של שני מצבים (שימו לב כי ללא נרמול יש כאן 4 דרגות חופש שונות) -

$$|\psi\rangle = C_1|1\rangle + C_2|2\rangle \quad C_1, C_2 \in \mathbb{C}$$
$$\text{or } |\psi\rangle = \tilde{C}_1 e^{i\phi_1} |1\rangle + \tilde{C}_2 e^{i\phi_2} |2\rangle \quad \tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \phi_1, \phi_2 \in \mathbb{R}$$

נגדיר כיול פאזה, ונזכיר כי כיול זה אינו משנה את פונקציית ההסתברות (ראו שאלה 4301 בשיעורי בית 3):

$$|\tilde{\psi}\rangle \equiv |\psi\rangle e^{-i\phi_1}$$

וכעת אפשר לכתוב את הפונקציה בצורה יותר נוחה שתלויה רק ב-3 דרגות חופש:

$$|\psi\rangle = \tilde{C}_1|1\rangle + \tilde{C}_2 e^{i\theta} |2\rangle \quad \tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \theta \in \mathbb{R}$$
$$\theta \equiv \phi_2 - \phi_1$$

עכשיו ניתן לומר ש  $\theta$  היא הפרש הפאזה בין המצבים הקוונטים השונים.

עליכם להסיק את המצבים העצמיים הרלוונטים ע"י התנאי הראשון, ולמצוא את 3 דרגות החופש באמצעות 2 התנאים האחרים + תנאי על נרמול.

---