פיסיקה קוונטית 1 – גיליון 4

29/05/2026

דן קצוב-פייגין
323002915
dan.k@campus.technion.ac.il

תוכן עניינים

שאלה 1: מרחב מצבים תלת-מימדי 3
סעיף א' 3
סעיף ב' 3

שאלה 2: אופרטורים ומצבים 4
סעיף 1.א' 4
סעיף 1.ב' 4
סעיף 1.ג' 4
סעיף 2.א' 4
סעיף 2.ב' 4
סעיף 2.ג' 4

שאלה 3: אופרטורים במרחב שמונה-מימדי 5
סעיף 1 5
סעיף 2 5
סעיף 3 5
סעיף 4 5
סעיף 5 5
סעיף 6 5
סעיף 7 5

שאלה 4: מדידת טמפרטורה 6
סעיף א' 6
סעיף ב' 6

שאלה 1 – מרחב מצבים תלת-מימדי

נתון מרחב מצבים תלת-מימדי, בעל המצבים $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle$ המקיימים $\langle i|j\rangle = \delta_{i,j}$. נתון מצב מנורמל $|\psi\rangle$ מהצורה הבאה:

1. $|\psi\rangle = C\big(|1\rangle + \frac{1}{2}|2\rangle\big)$
2. $|\psi\rangle = \frac{1}{3}|1\rangle + C(|2\rangle + |3\rangle)$

עבור כל אחד מהמצבים הנ"ל:

סעיף א'

מצאו את C.

תשובה סופית

■

סעיף ב'

מה ההסתברות למדוד את המצב $|3\rangle$ במדידה של $|\psi\rangle$?

תשובה סופית

■

שאלה 2 – אופרטורים ומצבים

נתונים המצבים $|r\rangle, |g\rangle, |b\rangle$ אורתונורמליים במרחב תלת-מימדי.

מצאו אופרטורים U_i המקיימים:

סעיף 1.א'

$U_1|\psi\rangle \propto |r\rangle$ לכל מצב $|\psi\rangle$.

סעיף 1.ב'

$U_2|g\rangle = |r\rangle$ אבל לא משנה את $|r\rangle$ ואת $|b\rangle$.

סעיף 1.ג'

$U|r\rangle = |g\rangle, U|g\rangle = |b\rangle, U|b\rangle = |r\rangle$.

נגדיר מצבים מנורמלים אך לא אורתוגונלים $|o\rangle, |y\rangle, |p\rangle$ על ידי:

$$\begin{aligned} |r\rangle &= 2|o\rangle - \sqrt{3}|y\rangle \\ |g\rangle &= -\sqrt{2}|o\rangle + |p\rangle + \sqrt{6}|y\rangle \\ |b\rangle &= -2|o\rangle + \sqrt{2}|p\rangle + \sqrt{3}|y\rangle \end{aligned} \tag{1}$$

סעיף 2.א'

בטאו את $|o\rangle, |y\rangle, |p\rangle$ באמצעות $|r\rangle, |g\rangle, |b\rangle$.

סעיף 2.ב'

מכינים את המערכת במצב $|o\rangle$. מה ההסתברות שנמדוד את המערכת במצב $|y\rangle$?

סעיף 2.ג'

מכינים את המערכת במצב $|p\rangle$. מה ההסתברות שנמדוד את המערכת במצב $|y\rangle$?

שאלה 3 – אופרטורים במרחב שמונה-מימדי

נתונים שמונה מצבים אורתונורמליים, המיוצגים על ידי $|\theta, d\rangle$ כאשר:

$$\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, 3\frac{\pi}{2} \quad d = 1, 2 \tag{2}$$

d מתארת מרחק מהראשית, ו-θ מתארת זווית ביחס לציר האופקי.

סעיף 1

רשמו אופרטור U המסובב את כל המצבים נגד כיוון השעון בזווית $\frac{\pi}{2}$ אך שומר על המרחק מהראשית.

סעיף 2

רשמו אופרטור U המשקף מצבים על הציר האופקי (מצבים על הציר האנכי לא משתנים).

סעיף 3

נתון אופרטור D המקיים $D|\theta, d\rangle = d|\theta, d\rangle$. רשמו את האופרטור באופן מפורש.

סעיף 4

מצאו מצב $|\psi\rangle$ המקיים $\langle\psi|D|\psi\rangle = \frac{5}{4}$.

סעיף 5

הראו כי לכל $|\psi\rangle$ מתקיים $1le\langle\psi|D|\psi\rangle le2$.

סעיף 6

נתון אופרטור X כך ש-$X|\theta, d\rangle = \mathrm{Proj}_x|\theta, d\rangle$ כאשר Proj_x הוא רכיב ה-x של המצב. לדוגמה $X|1, \pi\rangle = -|1, \pi\rangle$. רשמו את X באופן מפורש.

סעיף 7

מצאו שישה מצבים אורתונורמליים המקיימים $\langle\psi|X|\psi\rangle = 0$.

שאלה 4 – מדידת טמפרטורה

נתונה מערכת עם שני מצבי צבע $|b\rangle$ ו-$|w\rangle$. נתון אופרטור המייצג מדידה של טמפרטורה T:

$$T = 20|b\rangle\langle b| + 40|b\rangle\langle w| + 40|w\rangle\langle b| + 80|w\rangle\langle w| \tag{3}$$

סעיף א'

מה הערכים האפשריים שנקבל אם נמדוד את הטמפרטורה?

סעיף ב'

מה תהיה תוצאת מדידת הטמפרטורה של מצב $|b\rangle$?