



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

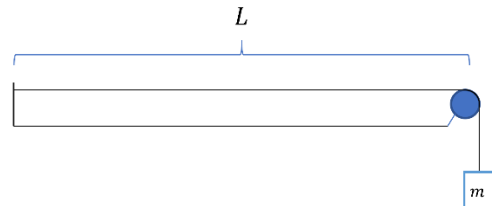
תאריך הבחינה: 30 יולי 2021
 שמות המרצים: פרופ' רון פולמן
 מבחן בקורס: פיסיקה 3 להנדסת חומרים
 מס' קורס: 203-1-2421
 שנה: 2021, סמסטר ב', מועד ב'
 משך הבחינה: 3.5 שעות (ללא אפשרות להארכה)
 חומר עזר: דף נוסחות אחיד, מצורף למבחן
אין להשתמש במחשבון או כל חומר עזר אחר!

- בבחינה חמש שאלות. יש לענות על ארבע (כל אחת בת 25 נק'). במידה ותענה על חמש שאלות, יבדקו באופן אוטומטי רק הארבע הראשונות. על כן, אם ברצונך ששאלה מסוימת לא תיבדק, נא לוודא שהיא מחוקה בצורה ברורה (למשל X על כל הדף).
 דגשים לקובץ הפתרון –
 1. אין לרשום פרטים מזהים על הבחינה, או בשם הקובץ.
 2. יש להתחיל כל שאלה בעמוד חדש.
 3. יש לסרוק את הפתרון לפי סדר מספרי השאלות. בעמוד הראשון לציין מה השאלות עליהן ענית.

בהצלחה!

1. גלים ותנועות הרמוניות (25 נק):

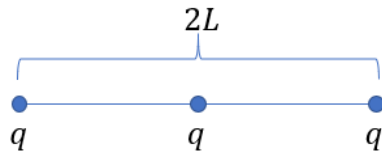
- א. (5 נק') וינצ'נזו גלייליי (אבא של גלילאו גלייליי), מבצע ניסויים על מיתרים. במערכת הניסוי המיתר קשור בשני קצותיו במרחק L , ומתוח בעזרת משקולת (ראו איור). וינצ'נזו תולה משקולת במסה m ומודד במיתר תדר יסודי f . איזו משקולת עליו לתלות כדי שהתדר יגדל פי 2? בניסוי נוסף שהוא מבצע (עם המשקולת המקורית) נתון כי אורך המיתר הוא L , מהו אורך המיתר הדרוש כדי לקבל תדר $1.5f$? (הציגו חישובים מתאימים, ניתן להניח כי צפיפות החבל קבועה ולא מושפעת משינוי המשקולות).



- ב. (5 נק') נתון תוף מרובע עם צלעות באורך L_x, L_y , מהירות הגל נתונה להיות V . מצא את אורכי הגל המותרים בתוף, ואת כל התדרים שהתוף יכול להפיק. (ניתן להתייחס לתנודה בכל מימד כמו מיתר חד מימדי קשור בשני קצותיו).
 ג. (5 נק') בתוף מסעיף ב' נתון כי $L_x = 30 \text{ cm}, L_y = 20 \text{ cm}$. מהירות הגל בחומר היא $V = 24 \frac{m}{s}$. מצא את כל התדרים של התוף. צייר את שלושת המודים (אופני תנודה) הראשונים (כלומר, כיצד נראות התנודות על התוף).
 ד. (5 נק') מצא את התדרים בעלי ניוון (תדרים משותפים לשני הממדים). מה היחס הדרוש בין L_x ל L_y כדי שלא יהיו תדרים עם ניוון?
 ה. (5 נק') שלושה מטענים חיובים זהים q , ממוקמים על קו אחד, במרחק L אחד מהשני (ראו איור). מזיזים את המטען האמצעי הזזה קטנה לאורך הקו המחבר את המטענים (בעוד שני המטענים האחרים מקובעים למקום ולא יכולים לזוז).

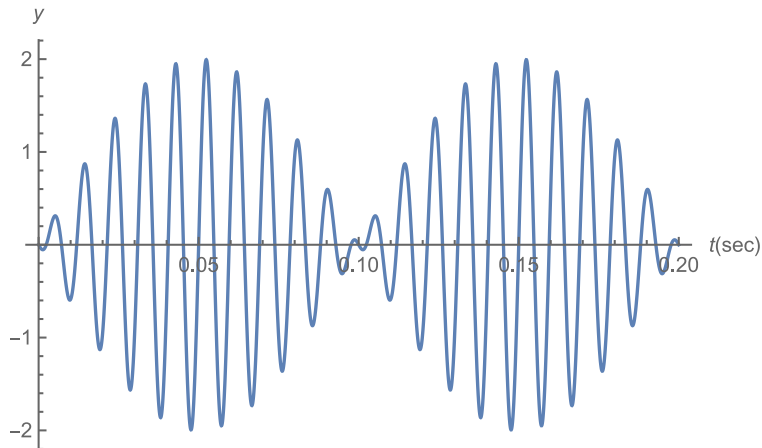
הראה כי המטען האמצעי יבצע תנועה הרמונית, וכי תדר התנועה יהיה $f = 2\pi \sqrt{\frac{4kq^2}{mL^3}}$.

• נוסחת עזר (ורמז) $\frac{1}{(a+x)^2} = \frac{1}{a^2} - \frac{2x}{a^3} + \frac{3x^2}{a^4} + O(x^3)$



2. גלים, התאבכות, העברה והחזרה (25 נק'):

- א. (5 נק') רמקול משדר גלי קול אל האוויר בתדר $f = 3400 \text{ Hz}$. מצא את אורך הגל שהרמקול מפיק באוויר. כאשר הרמקול משדר תדר של $f = 3400 \text{ Hz}$, הוא מייצר אלומה ברוחב זוויתי של 0.2 רדיאנים. מצא את גודל הרמקול (ניתן להתייחס לרמקול כסדק יחיד, רוחב האלומה הוא רוחב השיא המרכזי, ניתן להניח קירוב זווית קטנות).
- ב. (5 נק') שני רמקולים פועלים בו זמנית (מיקומם זהה), ומפיקים שני תדרים, f_1, f_2 התוצאה מוצגת בגרף הבא. מצא מתוך הגרף את תדר הפעימה שהתקבל, והתדר הממוצע של שני הרמקולים (הסבר בקצרה איך חילצת את המידע מהגרף). חשב את התדר של כל אחד מהרמקולים. (הערה: ידוע כי יש דיוק מוגבל בהוצאת מידע מספרי מהגרף, ולכן גם תשובות קרובות עד 10% לערך הנכון יתקבלו)



- ג. (5 נק') שני רמקולים עומדים במרחק d אחד מהשני. הרמקולים מפיקים את אותו תדר באותה עוצמה ועם אותה פאזה. מצא ביטוי מתמטי לזווית (ביחס לאנך לקו המחבר את הרמקולים) שבהם עוצמת הקול תהיה מינימלית, כתלות בתדר הצליל.
- ד. (5 נק') מרצה מנסה להדגים לכיתה התאבכות הורסת בניסוי שני הסדקים בעזרת שני הרמקולים מסעיף ג', אבל הסטודנטים לא מצליחים לשמוע את התופעה בגלל שנקודות המינימום והמקסימום קרובות מדי אחת לשנייה. איזה תדר צריך המרצה לבחור כדי שמהרחק בין שתי נקודות המינימום הראשונות יהיה 1 מטר? הרמקולים נמצאים במרחק 1 מטר אחד מהשני, והסטודנטים במרחק 10 מטר מהרמקולים. (ניתן להניח זווית קטנות).
- ה. (5 נק') גל קול מגיע מהאוויר לקיר בטון. העכבה של האוויר היא $z_a = 0.1 \text{ kg/s}$, העכבה של בטון היא $z_c = 100 \text{ kg/s}$. מצא את מקדם ההחזרה של הגל. כעת מניחים ספוג אקוסטי על הקיר עם עכבה אקוסטית $z_s = 0.3 \text{ kg/s}$. חשב את מקדם ההחזרה במעבר מהאוויר לספוג האקוסטי. גל קול נע הלך ושוב בין ספוגים אקוסטיים, כעבור כמה החזרות הגל תדעך האמפליטודה של הגל לערך של פחות 10% מגודל האמפליטודה ההתחלתית? כמה אחוז מהאנרגיה נשאר בגל הנע בין הספוגים במצב זה?
3. האפקט הפוטו-אלקטרי, מחסום מנהור (25 נק'):
- א. (5 נק') צייר את הניסוי הפוטואלקטרי ותאר את מהלך הניסוי. הסבר בעזרת גרף של זרם כפונקציה של מתח, את התנהגות המערכת עבור עוצמות הארה שונות (באותו התדר).
- ב. (5 נק') צייר גרף של מתח העצירה V כפונקציה של התדירות. כתוב מהי הפונקציה. (יש לחשב את השיפוע של הגרף וכן את המיקום בו חוצה הפונקציה את ציר ה-X). כיצד ישתנה הגרף אם נשנה את עוצמת האור (נא לצייר ולהסביר)? כיצד ישתנה הגרף אם נחליף את המתכת המרכיבה את הקתודה (נא לצייר ולהסביר)?

ג. (5 נק') ציין והסבר 2 תופעות שבגללן הניסוי הפוטואלקטרי נחשב להוכחה לאופי החלקיקי של האור. (כלומר שתי תופעות שלא ניתן להסביר בעזרת תיאוריה גלית קלאסית של האור). הראה בעזרת נוסחת דה-ברולי שהתנע של הפוטון הוא מספר הגל שלו כפול הקבוע \hbar .

ד. (5 נק') מחסום מנהור: חלקיק בעל מסה m מגיע משמאל עם אמפליטודה התחלתית A ואנרגיה E פוגש מחסום מנהור ברוחב L בגובה V_0 כך ש $E < V_0$. האנרגיה הפוטנציאלית משמאל ומימין למחסום המנהור היא אפס. כתוב ביטוי לפונקציית הגל בכל תחום, כולל ביטוי למספר הגל. כתוב בצורה מפורשת את כל תנאי השפה המאפשרים את ידיעת פונקציית הגל בכל האזורים. כיצד תגדיר בעזרת שטף את מקדם ההעברה?
ה. (5 נק') צייר באופן סכמתי את הערך המוחלט של פונקציית הגל והסבר מדוע היא נראית כך באזורים השונים. נתון כי הסיכוי שהחלקיק יעבור את המחסום הנ"ל הוא $P_1 = 0.2$, כעת מגדילים את רוחב המחסום להיות $2L$, מה הסיכוי P_2 שהחלקיק יעבור את המחסום החדש (כתוב ביטוי מפורש המכיל את נתוני השאלה).

4. תורת הקוונטים – בור פוטנציאל (25 נק'):
א. (5 נק') נתון בור פוטנציאל סופי לפי הפוטנציאל הבא

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & x < 0 \\ 0 & 0 < x < d \\ V_0 & d < x \end{cases}$$

חלקיק במסה m עם אנרגיה $E > V_0$ מגיע לעבר הבור משמאל. כתוב את משוואת שרדינגר (הבלתי תלויה בזמן) עבור החלקיק, בכל אזור. כתוב את פונקציית הגל בכל תחום, ומצא את מספר הגל של החלקיק בכל תחום (כפונקציה של E, V_0, m וקבועי טבע).

ב. (10 נק') מהם תנאי השפה החלים על פונקציית הגל? כתוב את המשוואות הנובעות מתנאי השפה. הסבר כיצד ניתן למצוא את ההסתברות שהחלקיק יחזור מבור חזרה לכיוון ממנו הגיע, ואת ההסתברות שהוא יעבור (מה הביטוי אותו צריך לחשב, ואיך ניתן לחשב אותו). צייר באופן סכמתי את הערך המוחלט של פונקציית הגל והסבר מדוע היא נראית כך באזורים השונים.

ג. (5 נק') כעת משנים את הבור כך ש $V_0 \rightarrow \infty$ (לסעיפים ג' וד'). איזו בעיה הפוטנציאל מייצג כעת? מהם תנאי השפה החלים על פונקציית הגל כעת? כתוב נוסחה כללית המתארת את כל פונקציות הגל $\psi_n(x)$ האפשריות בבור החדש, כולל נרמול ומספר הגל.

ד. (5 נק') מצא נוסחה כללית לאנרגיה של החלקיק בבור (מסעיף ג'). חוקר במעבדה רוצה להעביר את החלקיק ממצב $n = 1$ למצב $n = 3$. מה תדר האור הדרוש כדי לבצע מעבר זה? מה התדר הדרוש כדי להוציא את החלקיק מהבור כאשר הוא במצב $n = 1$ (אנרגיית היינון).

5. מבנה האטום (25 נק'):

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

המספר הקוונט (השלם) של התנע הזוויתי l , המספר השלם m (היטל התנע הזוויתי בכיוון z מקיים $(\hat{L}_z |\psi_{nlmm_s}\rangle = \hbar m |\psi_{nlmm_s}\rangle$), והמספר הקוונטי m_s (היטל ספין האלקטרון בכיוון z מקיים $(\hat{S}_z |\psi_{nlmm_s}\rangle = \hbar m_s |\psi_{nlmm_s}\rangle = \pm \frac{1}{2} \hbar |\psi_{nlmm_s}\rangle$). נתון שהפונקציות Ψ_{n,l,m,m_s} אורתונורמליות.

א. (5 נק') באטום המימן נתון אלקטרון במצב

$$\psi(r, t) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\psi_{1,0,0,\frac{1}{2}}(r) e^{-iE_1 \frac{t}{\hbar}} + 2\psi_{2,1,-1,\frac{1}{2}}(r) e^{-iE_2 \frac{t}{\hbar}} \right)$$

הראה ש- $\psi(r, t)$ מנורמלת ומצא את ההסתברות שהאלקטרון נמצא ברמת יסוד E_1 . (הפונקציות ψ_{nlmm_s} מנורמלות).
ב. (5 נק') עבור המצב בסעיף א', חשב את ערך התצפית (הממוצע) של:

- (I) האנרגיה (תן מספר מקורב ב-eV). (II) \hat{L}_z (III) \hat{S}_z (IV) מצא את אי הוודאות $\Delta \hat{L}_z$ (5 נק') באטומים מסוימים, גם כאשר אין שדה מגנטי חיצוני, בכל זאת יש פיזור ברמות האנרגיה שניתן לראות אותו בספקטרוסקופיה. הסבר מהיכן הוא נובע. חשב את השדה המגנטי האפקטיבי (ביחידות של טסלה או גאוס) אם בספקטרוסקופיה רואים פיזור של $\Delta E = 4.5 \times 10^{-5} \text{ eV}$ (כלומר, מהו השדה המגנטי שהאלקטרון "מרגיש"?)
- ד. (5 נק') ארגון ($z=18$) הוא גז אציל. תאר את מבנה הקליפות שלו, הסבר עם המספרים הקוונטים המתאימים ופרט איך מצאת את מספר המצבים שניתן לאכלס בהם אלקטרון.
- ה. (5 נק') להלן פונקציית גל (מעטפת של חבילת גלים גאוסיאנית)

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{\sigma\sqrt{2\pi}}} \exp\left[-\frac{x^2}{4\sigma^2}\right]$$

הסבר כיצד ניתן להראות שמצב זה הוא minimal uncertainty wave packet, כלומר כתוב את כל הנוסחאות והחישובים שצריך לעשות. (אין צורך לפתור את האינטגרלים, אבל צריך לרשום את האינטגרלים מפורשות, כולל הגבולות הפונקציה המפורשת בתוך האינטגרל וכו')

בהצלחה