

אלקטרוניקה פיזיקלית 044124

סמסטר אביב 2019

מועד א'

הנחיות

1. משך הבחינה - שלוש שעות.
2. בבחינה 4 שאלות. בידקו כי ברשותכם 5 עמודים כולל עמוד זה.
3. ניתן להשתמש בחומר עזר מכל סוג שהוא כולל מחשבוניס פרט לציוד תקשורת אלקטרוני (מחשב, טאבלט, טלפון וכו').
5. יש להגיש את מחברת הבחינה בלבד.
6. כיתבו בכתב יד ברור.
7. תשובות לא מנומקות לא תתקבלנה.
8. אנא ודאו שרשמתם את מספר תעודת הזהות על מחברת הבחינה.

שאלה מספר 1 (20 נקודות):

בשאלה זו נפתח שוב את מודל הפסים ע"י שימוש בקירוב האלקטרונים הכמעט-חופשיים.

1. (5 נק') – נתון הפוטנציאל $V(x) = 0$. הראו שהפתרונות למשוואת שרדינגר שאינה תלויה בזמן הם גלים מישוריים.

2. (10 נק') – כעת נתון הפוטנציאל $V(x) = V_0 \cos(\frac{2\pi}{a}x)$ כאשר נרצה לראות כיצד

הפוטנציאל הנ"ל מצמד בין 2 הגלים המישוריים מהסעיף הקודם. נגדיר את הצימוד בין שתי פונקציות גל באופן הבא: $C = \langle \psi_k(x) | V(x) | \psi_{-k}(x) \rangle$ כאשר $\psi_{\pm k}(x)$ הם הפתרונות מהסעיף הקודם. ניתן להניח שפונקציות הגל מנורמלות. מצאו את התנאי עבור a ו- k שעבורו C לא יתאפס. הסבירו מדוע ציפינו לקבל את התנאי הנ"ל?

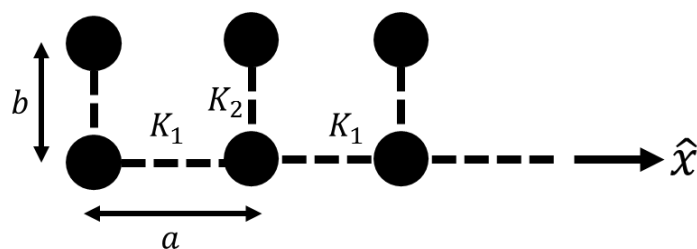
הערה: במידת הצורך היעזרו בזהויות הטריגונומטריות שבסוף המבחן.

3. (5 נק') – כעת נתון שקבוע השריג $a = 1[\mu m]$. עבור אלקטרונים בטמפרטורת החדר, האם נצפה לראות תופעות גליות הקשורות לשריג? אם לא, באיזו טמפרטורה האלקטרונים צריכים להיות על מנת לראות את התופעות הנ"ל? נמקו!

רמז: היזכרו בהגדרת אורך הגל התרמי.

שאלה מספר 2 (35 נקודות):

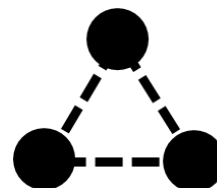
נתונה שרשרת של אטומים אשר כולם בעלי מסה m (ראו איור מצורף). עוד נתון שמותרת תנועה רק בכיוון ציר x .



1. (15 נק') – מצאו את המטריצה האופיינית של הבעיה (אין צורך לחשב את יחס הנפיצה מתוך מטריצה זו).
2. (10 נק') – עבור $k = 0$, מצאו את תדרי התנודות של האטומים בתא היחידה. כמה סוגי תנודות כאלה קיימים בבעיה? הסבירו איזה אופן (אקוסטי/אופטי) שייך לכל תנודה.
3. (10 נק') – מצאו את הווקטורים העצמיים עבור התדרים מהסעיף הקודם וציירו (בצורה איכותית) את תנועת האטומים בתא היחידה עבור כל תדר.

שאלה מספר 3 (25 נקודות):

נתונה מערכת של מולקולות (ללא אינטראקציה ביניהן) כאשר כל מולקולה מורכבת משלושה אטומים זהים (ראו איור) אשר לכל אחד מהם רמת אנרגיה ε .



עוד נתון כי בין כל זוג אטומים ישנו צימוד זהה בעל אנרגיה אופיינית λ .

1. (5 נק') - בהינתן שפונקציית הגל של כל אטום היא מצב עצמי, כיצד תיראה מטריצת האנרגיה של המולקולה (לפני לכסוף)?
2. (6 נק') – מהן האנרגיות העצמיות החדשות?
3. (6 נק') - מהי פונקציית החלוקה של המערכת? מהי האנרגיה הממוצעת עבור כל מולקולה במערכת? הניחו שרמת האנרגיה הנמוכה ביותר מוגדרת כ-0, כלומר $\varepsilon = 0$.
4. (8 נק') – מהו קיבול החום של המערכת? שרטטו איכותית את קיבול החום של המערכת כתלות בטמפרטורה, ציינו אזורים שונים על פני הגרף והסבירו את תשובתם.

שאלה מספר 4 (20 נקודות):

ענו על הסעיפים הבאים בקצרה – עד 4-5 משפטים לכל סעיף (הסעיפים אינם קשורים זה לזה). נמקו את תשובותיכם היטב. באם יש צורך, השתמשו בנוסחאות אותן ראינו בקורס:

1. (2 נק') – לאטום בודד ישנו מספר רב של רמות אנרגיה מותרות. עבור מספר אטומים זהים היוצרים שריג, רמות האנרגיה הגבוהות יותר נוטות ליצור פסי אנרגיה בעוד שהרמות התחתונות נוטות להישאר מבודדות. הסבירו מדוע (רמז: כיצד נראה הפוטנציאל האטומי הטיפוסי?)
2. (2 נק') – שריג העשוי מסיליקון אינו מסוגל לפלוט פוטונים בשל היותו בעל פער אנרגיה עקיף. אטום הסיליקון הבודד כן מסוגל לפלוט פוטונים. מדוע?
3. (2 נק') - בליעה/פליטה של פוטון מצויינת כקו אנכי במבנה הפסים של השריג. מדוע?
4. (2 נק') – בהרצאה/תרגול ראיתם שעבור בור-פוטנציאל כלשהו, רמת האנרגיה הראשונה תמיד ממוקמת באנרגיה מסויימת שהיא מעל לתחתית הבור. מדוע?
5. (2 נק') – עיבוי בוז-איינשטיין אינו אפשרי בשריג דו-מימדי. מדוע?
6. (2 נק') – כיצד תיאוריית הגוף השחור של פלנק פתרה את קטסטרופת האולטרא-סגול?
7. (2 נק') – פונונים הם בוזונים. הצדיקו את המשפט הנ"ל.
8. (2 נק') – מהי ההצדקה הפיזיקלית לשימוש בהתפלגות מקסוול-בולצמן במוליכים למחצה?
9. (2 נק') - "פסי אנרגיה מלאים אינם תורמים להולכה החשמלית" – הצדיקו משפט זה.
10. (2 נק') - נתונים שני פתרונות (בלבד) לבור פוטנציאל ריבועי סופי – סימטרי ואנטי-סימטרי. מי מהם בעל האנרגיה הגדולה יותר?

גדלים פיזיקליים שימושיים:

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} [kg]$$

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} [J / K]$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$$

זהויות טריגונומטריות שימושיות:

$$\cos(a) \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$

$$\sin(a) \sin(b) = \frac{1}{2} [\cos(a-b) - \cos(a+b)]$$

$$\sin(a) \cos(b) = \frac{1}{2} [\sin(a+b) + \sin(a-b)]$$

$$\sin(\pi - a) = \sin(a)$$

$$\cos(\pi - a) = -\cos(a)$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = \cos(a)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = \sin(a)$$

$$\sin(-a) = -\sin(a)$$

$$\cos(-a) = \cos(a)$$

$$\cos(a) = \frac{1}{2} [e^{ia} + e^{-ia}]$$

$$\sin(a) = \frac{1}{2i} [e^{ia} - e^{-ia}]$$