

אלקטרוניקה פיזיקלית 044124

סמסטר אביב 2018

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 פרט לציוד 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 (35 נקודות):

בחומר מסוים נתונה הדיספרסיה של פס ההולכה:

$$\varepsilon_c(k) = \varepsilon_0 + \frac{\hbar^2}{2} \left[\left(\frac{k_x^4}{\alpha} - k_x^2 \right) \frac{1}{m_1} + \left(\frac{k_y^4}{\alpha} - k_y^2 \right) \frac{1}{m_1} + \frac{k_z^2}{m_e} \right]$$

נתון: $m_1 = 3m_e$, $\hbar^2 \alpha / 2m_1 = 1eV$, ו- $\varepsilon_0 = 1[ev]$ והוא נמדד מהמקסימום של פס הערכיות הנמצא

במרכז אזור ברילואין הראשון באנרגיה $\varepsilon_v = 0$

א. (4 נק') – מצאו את המינימום של פס ההולכה (אנרגיה ותנע גבישי).

ב. (4 נק') - מהו גודל פער האנרגיה של החומר?

ג. (6 נק') - האם החומר הנ"ל יכול לשמש לרכיבים פולטי אור כגון LED? מדוע?

ד. (7 נק') – מצאו את הביטוי לצפיפות המצבים בתחתית פס ההולכה.

ה. (7 נק') - מצאו את הביטוי לטנזור המסה האפקטיבית של פס ההולכה.

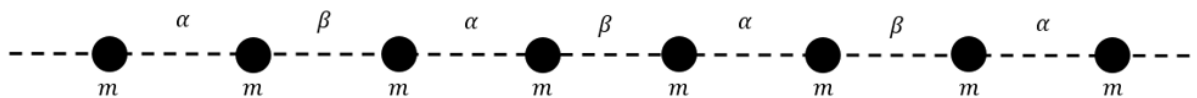
צפיפות האלקטרונים בפס זה היא $1 \times 10^{18} cm^{-3}$. נתון שהפס איננו מלא, ושכל שאר פסי האנרגיה בגביש מלאים או ריקים לחלוטין.

ו. (7 נק') - חשבו את אנרגיית פרמי של החומר.

רמז: היזכרו בהגדרות של רמת פרמי והפוטנציאל הכימי. מתי הן מתלכדות? השתמשו בנתון זה כדי לפשט את האינטגרל שעליכם לחשב.

שאלה מספר 2 (35 נקודות):

נתונה שרשרת חד-מימדית של אטומים בעלי מסה m במרחק a זה מזה. קבוע הכוח (הקפיץ) בין שני אטומים סמוכים משתנה לסירוגין בין הערכים α, β (כפי שמתואר בציור).



מצאו את:

1. (17 נק') – מצאו את התלות של תדירות התנודות ω בוקטור הגל k עבור האופנים האקוסטיים והאופטיים.
2. (8 נק') - עבור $k = 0$, הסבירו וציירו כיצד יראו התנודות העצמיות של האטומים בתא היחידה (אין צורך בחישוב מפורש). כמה סוגי תנודות כאלה קיימים בבעיה? הסבירו איזה אופן (אקוסטי/אופטי) שייך לכל תנודה.
3. (10 נק') – עבור הסעיף הקודם, חשבו מפורשות את הוקטורים העצמיים של כל אחת מהתנודות עבור $k = 0$.

שאלה מספר 3 (10 נקודות):

נתונה מערכת בת שלוש רמות, הרמה ראשונה בעלת אנרגיה 0, הרמה השנייה בעלת אנרגיה ε והרמה השלישית בעלת אנרגיה 50ε .

1. (3 נק') - מהן פונקציית החלוקה והאנרגיה הממוצעת עבור כל חלקיק במערכת?
2. (7 נק') - שרטטו **איכותית** את קיבול החום של המערכת כתלות בטמפרטורה, ציינו אזורים שונים על גבי הגרף והסבירו את תשובתכם!

שאלה מספר 4 (20 נקודות):

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

1. (2 נק') - עבור מחסום פוטנציאל ריבועי, הסבירו: מדוע ישנן אנרגיות אשר בהן מתקבל שיא בהסתברות למנהור?
2. (2 נק') - הצדיקו את השימוש בקירוב יחס הנפיצה הפרבולי עבור צפיפות המצבים במוליכים למחצה.
3. (2 נק') - בד"כ המסה האפקטיבית של אלקטרון במתכת גדולה יותר ממסתו בואקום (m_e). הצדיקו את הטענה הנ"ל.
4. (2 נק') - מהי המשמעות הפיזיקלית של קירוב התפלגויות בוז-איינשטיין ופרמי-דיראק להתפלגות מקסוול-בולצמן מבחינת האופי של החלקיקים?
5. (2 נק') - ראינו שעבור שריג כלשהוא, ניתן לתאר פונונים ואלקטרונים ע"י דיאגרמות פסי אנרגיה. בכל זאת ישנם מספר הבדלים בין הדיאגרמות של שני החלקיקים. ציינו שניים מהם והסבירו את מקורם הפיזיקלי.
6. (2 נק') - עבור בור פוטנציאל בעל רוחב כלשהוא, נתון שישנו חלקיק הנמצא ברמת האנרגיה הראשונה (הנמוכה ביותר) של הבור. מה יקרה לרמת האנרגיה הנ"ל כאשר נתחיל להרחיב את הבור?
7. (2 נק') - במוליכים למחצה, לרוב מוסיפים מסממים מסוגים שונים על מנת להגדיל את כמות נושאי המטען (אלקטרונים או חורים). האטומים המסממים הם לרוב בריכוז של כ- $10^{14} - 10^{17} [cm^{-3}]$. מדוע על אף נוכחות האטומים הזרים (שסידורם יכול להיות רנדומלי לחלוטין) אנו עדיין מתייחסים לשריג שלנו כאל מבנה מחזורי מסודר?
8. (2 נק') - "פסי אנרגיה מלאים אינם תורמים להולכה החשמלית" – הצדיקו משפט זה.
9. (2 נק') - נתונים שני פתרונות בלבד לבור פוטנציאל כלשהוא – סימטרי ואנטי-סימטרי. מי מהם בעל האנרגיה הגדולה יותר?
10. (2 נק') - נתונה מערכת תרמודינמית גרנד-קנונית המחולקת ל-2, כאשר שני החלקים בעלי אותה טמפרטורה ומצויים במגע תרמי ודיפוזיפי. האם האנטרופיה של המערכת בהכרח מקסימלית?