

אלקטרוניקה פיזיקלית 044124

סמסטר חורף 2020

מועד א'

הנחיות

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

שאלה מספר 1 (25 נקודות):

(עבור סעיף 1 בלבד) נתונה מערכת בת 2 רמות, $E_1 = \varepsilon, E_2 = 2\varepsilon$ וחלקיק יחיד.
א. (4 נק') - שרטטו גרף איכותי (אין צורך לחשב בסעיף זה) של האנרגיה הממוצעת וקיבול החום, כתלות בטמפרטורה והסבירו את הסיבות הפיסיקליות לגרפים שהתקבלו – כולל נקודות קיצון וגבול של $T \rightarrow 0$ ו- $T \rightarrow \infty$

(עבור סעיפים ב-ה) נתונה מערכת בת 3 רמות, $E_1 = \varepsilon, E_2 = 2\varepsilon, E_3 = 1000\varepsilon$ וחלקיק יחיד.
ב. (7 נק') - שרטטו גרף איכותי (אין צורך לחשב בסעיף זה) של האנרגיה הממוצעת וקיבול החום, כתלות בטמפרטורה והסבירו את הסיבות הפיסיקליות לגרפים שהתקבלו - כולל נקודות קיצון וגבול של $T \rightarrow 0$ ו- $T \rightarrow \infty$
רמז: שימו לב להבדל של 3 סדרי גודל בין E_1, E_2 לבין E_3

ג. (4 נק') - מהי פונקציית החלוקה של המערכת?

ד. (4 נק') - מהי האנרגיה הממוצעת של המערכת?

ה. (6 נק') - מהו קיבול החום של המערכת?

שאלה מספר 2 (37 נקודות):

נתון שריג דו-מימדי ריבועי המכונה שריג A המכיל N_a אתרים (המסודרים לפי המבנה הריבועי). כאשר אטום נמצא באתר המיועד לו האנרגיה של האטום היא אפס, וכאשר האטום לא נמצא באתר המיועד לו (למשל נמצא בין אתרים) האנרגיה של אותו אתר היא $\epsilon_0 > 0$ ולשריג יש פגם באתר החסר. השריג מבודד לחלוטין מהסביבה ונתון כי האנרגיה שלו היא $E = H_a$.

א. (3 נק') - כמה פגמים n_a יש בשריג A ?

ב. (5 נק') - מהי האנטרופיה של השריג A ? הניחו כי ניתן לעשות שימוש בקירוב סטירלינג.

ג. (5 נק') - מהי הטמפרטורה של השריג A ? (רמז: שימו לב לקשר בין אנרגיית השריג למספר הפגמים). הסבירו את התוצאה בגבולות של טמפרטורה נמוכה וגבוהה. הסבירו ביחס לאיזה גודל פיזיקלי הטמפרטורה גבוהה או נמוכה.

ד. (4 נק') - קבלו ביטוי למספר הפגמים על סמך התוצאה הקודמת (הביטוי לטמפרטורה של המערכת). הסבירו את התוצאה.

כעת נתון שבאחד מצידי השריג A הוצמד שריג ריבועי דו-מימדי זהה ששמו שריג B . שריג זה זהה לשריג A ובעל N_b אתרים עם אנרגיה כוללת $E = H_b$. שני השריגים מבודדים לחלוטין מהסביבה ואחד מהשני.

ה. (3 נק') - כמה פגמים n_b יש בשריג B ?

ו. (3 נק') - מהי האנטרופיה של שריג B ?

ז. (3 נק') מהי הטמפרטורה של שריג B ? מהו מספר הפגמים של השריג (העזרו שוב בביטוי עבור הטמפרטורה שמצאתם עבור שריג B) ?

עתה מאפשרים לשני השריגים להיות מצומדים לאמבט תרמי חיצוני בטמפרטורה T (שריג A עם N_a אתרים ושריג B עם N_b אתרים).

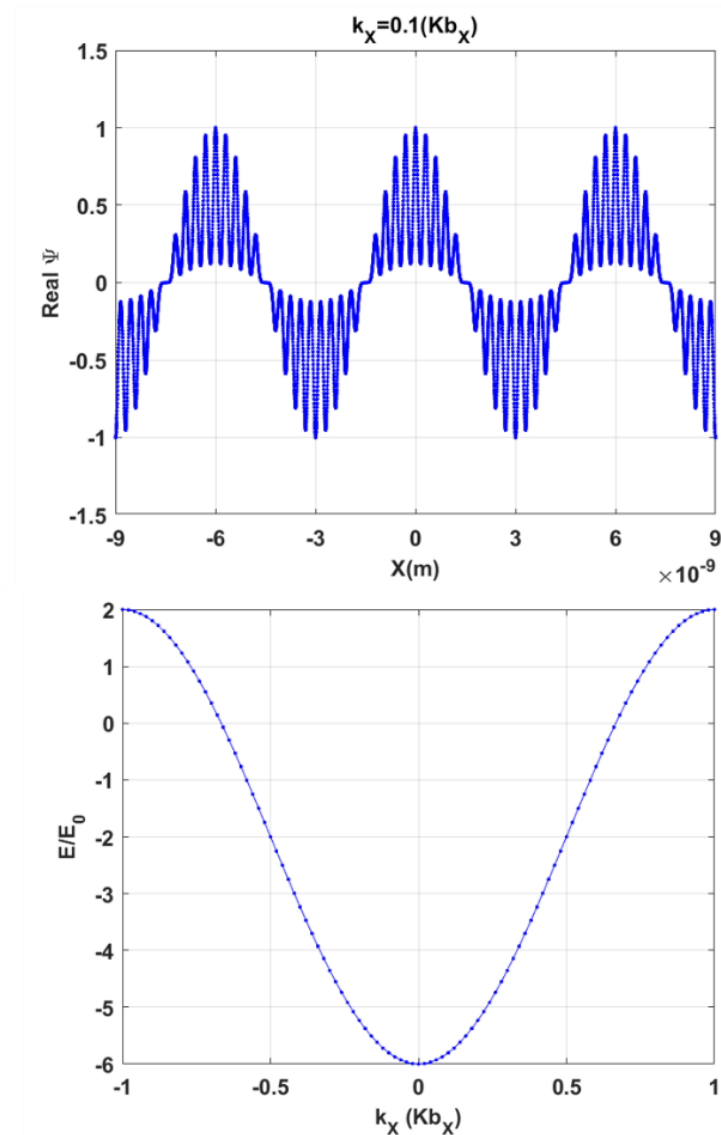
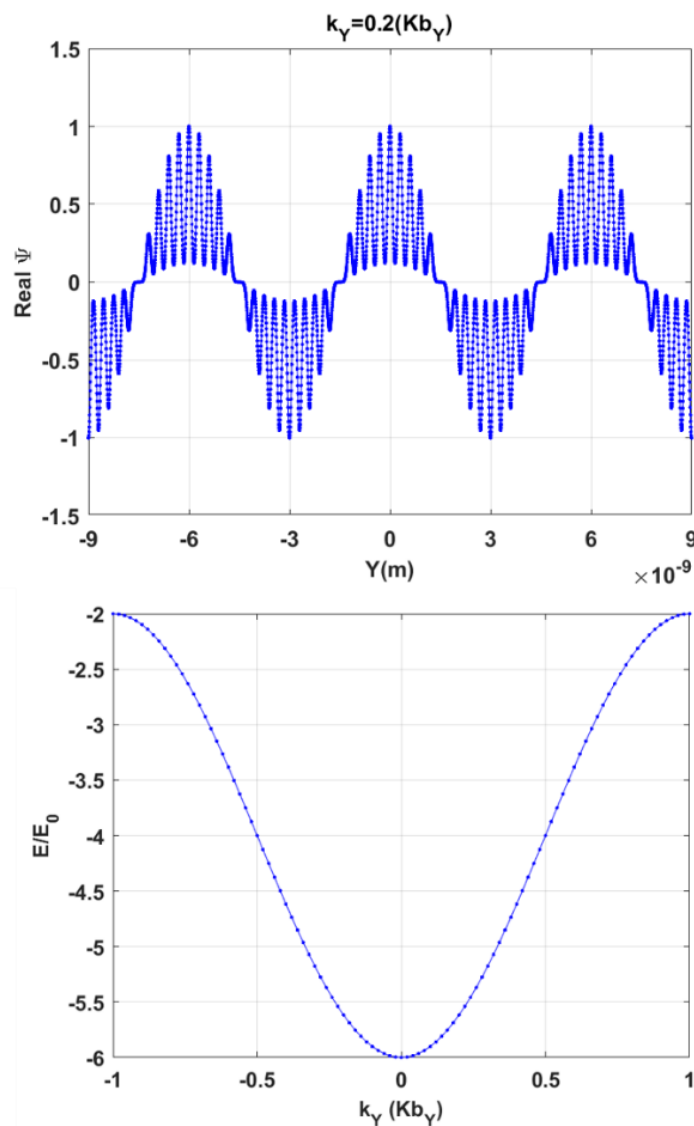
ח. (3 נק') חשבו את מספר הפגמים הממוצע בשריג A ובשריג B . הסבירו את התוצאות.

ט. (3 נק') חשבו את סך הפגמים הממוצע בשריגים A ו B ביחד ואת ממוצע האנרגיה המשותפת של A ו B ביחד.

י. (5 נק') מהי האנרגיה הממוצעת של כל אתר ב A או ב B והאם אפשר היה לקבל את התוצאה הזו בדרך קצרה יותר?

שאלה מספר 3 (38 נקודות):

נתון שריג ברווה דו-מימדי מלבני עם וקטורי שריג פרימיטיביים $\vec{a}_1 = a\hat{x}, \vec{a}_2 = b\hat{y}$ בו כל אתר שריג מכיל רמת אנרגיה אחת בלבד (רמת S) אותו נרצה לתאר לפי מודל הקשירה ההדוקה (Tight Binding). מצויירים החלק הממשי של פונקציות הגל כפונקציה של המרחק x או y . פונקציות הגל מחושבות עבור ערכי וקטור הגל המצוינים בראש השרטוט כאשר Kb_x או Kb_y מציינים את וקטורי הגל הגבישי המתאימים לקצה אזור ברילואן הראשון. בנוסף, נתונים פסי האנרגיה של השריג כפונקציה של וקטורי הגל הגבישי בכיוון k_x או k_y . פסי האנרגיה נתונים ביחידות של E_0 המקיים את הקשר הבא: $E_0 = \frac{\hbar^2 Kb_x^2}{2m_0}$ כאשר m_0 היא מסת האלקטרון החופשי.



א. (6 נק') - מצאו בעזרת הגרפים את קבועי השריג a, b .

ב. (6 נק') – כתבו את הביטוי לפס האנרגיה עבור השריג המדובר על פי מודל הקשירה ההדוקה וחלצו מהגרפים את ערכם של אינטגרלי החפיפה γ_x, γ_y . הביעו את תשובתכם כתלות בקבוע פלאנק, מסת האלקטרון וקבוע השריג (אין צורך לתת תשובה מספרית). אינטגרלי החפיפה מוגדרים באופן הבא:

$$\gamma_x = \langle \varphi_S(x, y) | U(x, y) | \varphi_S(x + a, y) \rangle = \int \varphi_S^*(x, y) U(x, y) \varphi_S(x + a, y) dx dy$$

$$\gamma_y = \langle \varphi_S(x, y) | U(x, y) | \varphi_S(x, y + a) \rangle = \int \varphi_S^*(x, y) U(x, y) \varphi_S(x, y + a) dx dy$$

ג. (6 נק') - חשבו את טנזור המסה האפקטיבית בתחתית הפס. הביעו את תשובתכם בעזרת המסה של האלקטרון וקבועים מספריים שונים (במידה ויש). במידה ולא הצלחתם לפתור את הסעיף הקודם, השתמשו ב- γ_x, γ_y כלליים.

$$\text{תזכורת: } \cos(ax) \approx 1 - \frac{a^2 x^2}{2}$$

ד. (6 נק') - רשמו ביטוי לאנרגיה של הפס קרוב לתחתית שלו. ציירו איכותית קווים שווי אנרגיה במישור וקטורי הגל. מהי צורת המשטחים?

ה. (4 נק') - בהנחה שכל תא יחידה תורם אלקטרון יחיד, מהי צפיפות האלקטרונים המשטחית בשריג? האם מדובר במבודד או מוליך? נמקו!

ו. (10 נק') - בהנחה שקרוב המסה האפקטיבית הקבועה תקף עבור צפיפות נושאי המטען מהסעיף הקודם, חשבו את אנרגיית פרמי של השריג (הניחו טמפרטורות נמוכות מאוד).

$$\text{תזכורת: שטחה של אליפסה הוא } S = \pi ab$$

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:

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