

# אלקטרוניקה פיזיקלית 044124

## סמסטר חורף 2021

### בחן אמצע

#### הנחיות

1. משך הבחן - שעתיים.
2. בבחן 7 שאלות אמריקאיות ושאלה פתוחה אחת. בידקו כי ברשותכם 6 עמודים כולל עמוד זה.
3. ניתן להשתמש בחומר עזר מכל סוג שהוא למעט ציוד תקשורת אלקטרוני (טאבלט, טלפון וכו'). השימוש בחומר עזר ממוחשב מותר ללא שימוש ברשת האינטרנט או במודל.
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 אותה אתם סורקים.

### שאלות אמריקאיות (70 נקודות):

לפניכם 7 שאלות אמריקאיות הקשורות לחומר שלמדתם עד כה. הניקוד של כל שאלה הינו 10 נקודות.

1. (10 נק') - נתון חומר דו-מימדי בעל יחס נפיצה (דיספרסיה) פרבולי, המכיל  $n$  אלקטרונים ליחידת שטח. תרומת האלקטרונים לקיבול החום של החומר הנ"ל היא בעלת התלות הבאה בטמפרטורה:

א.  $C \propto T^2$

ב.  $C \propto \text{const}$

ג.  $C \propto T$

ד.  $C \propto e^{-\frac{\text{const}}{T}}$

ה.  $C \propto T^3$

ו.  $C \propto T^{3/2}$

2. (10 נק') - עבור גז דו-מימדי של חלקיקים בעלי מסה  $m$  ויחס נפיצה פרבולי, אורך הגל התרמי יהיה בעל התלות הבאה בטמפרטורה:

א.  $\lambda_{th} \propto \text{const}$

ב.  $\lambda_{th} \propto T$

ג.  $\lambda_{th} \propto T^{-1}$

ד.  $\lambda_{th} \propto T^{-1/2}$

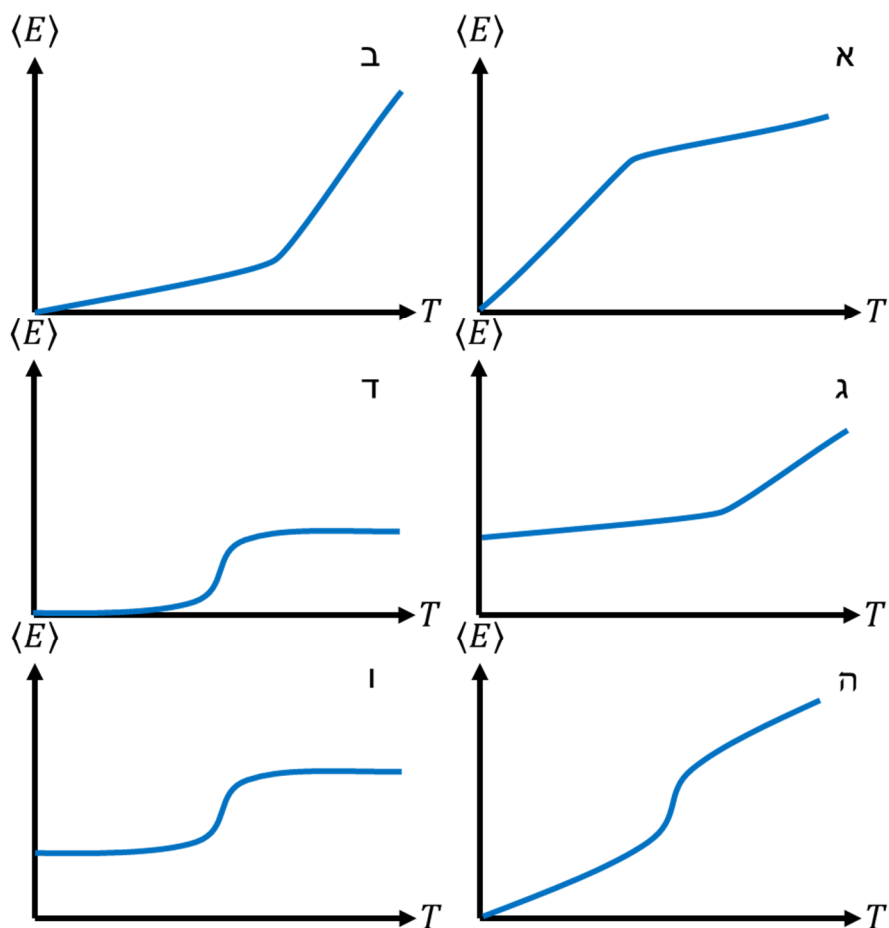
ה.  $\lambda_{th} \propto T^{-2}$

ו.  $\lambda_{th} \propto T^2$

3. (10 נק') – נתונה מערכת של  $N$  חלקיקים קלאסיים שאינם מנהלים אינטרקציה זה עם זה. עבור כל חלקיק נתונה צפיפות המצבים הבאה:

$$g(E) = \begin{cases} g_1, & 0 < E < E_0 \\ g_2, & E_0 < E \end{cases}, 0 < g_1 < g_2$$

בהינתן שיחס הנפיצה (דיספרסיה) פרבולי, תלות האנרגיה הממוצעת בטמפרטורה תיראה בערך כך:



4. **(10 נק')** - קיבול החום בלחץ קבוע למול של גרפיט, נתון בקירוב טוב (עבור תחום טמפ' סופי הרחוק מ- $T = 0$ ) ע"י:

$$c_p \approx a + bT - \frac{c}{T^2}$$

כאשר הקבועים הם:

$$a \approx 16.86 \left[ \frac{J}{K \cdot mol} \right], b \approx 4.77 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{J}{K^2 \cdot mol} \right], c \approx 8.54 \cdot 10^5 \left[ \frac{J \cdot K}{mol} \right]$$

מחממים 3 מול של גרפיט בלחץ קבוע מטמפ' החדר ( $298[K]$ ) לטמפ' של  $500[K]$ . נתון כי

$$S(298K) = 5.74 \left[ \frac{J}{K \cdot mol} \right] \text{ הינה גרפיט הינה}$$

מהי האנטרופיה של המערכת במצב הסופי?

א.  $19.765 \left[ \frac{J}{K} \right]$

ב.  $25.505 \left[ \frac{J}{K} \right]$

ג.  $36.985 \left[ \frac{J}{K} \right]$

ד.  $12.328 \left[ \frac{J}{K} \right]$

ה.  $9.213 \left[ \frac{J}{K} \right]$

ו.  $40.927 \left[ \frac{J}{K} \right]$

5. **(10 נק')** - נתון חלקיק בעל 3 מצבי ספין ( $s = 0, \pm 1$ ) ויחס נפיצה (דיספרסיה) מהצורה

$$E = \frac{4}{9} \frac{p^{3/2}}{m^{3/4}} + E_0$$

הנמצא בבור פוטנציאל תלת ממדי שמימדיו  $V = L \times L \times L$ . צפיפות

המצבים של החלקיק ליחידת אנרגיה ליחידת נפח היא:

א.  $\frac{m^{3/2} \sqrt{E - E_0}}{\hbar^3 \pi^2}$

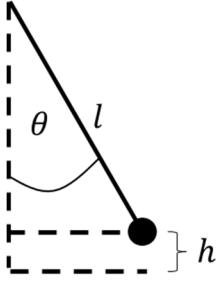
ב.  $\frac{81m^{3/2}}{16\hbar^3 \pi^2} (E - E_0)^2$

ג.  $\frac{81m}{16\hbar^2 \pi^3} (E - E_0)$

ד.  $\frac{81m^{3/2}}{16\hbar^3 \pi^2} (E - E_0)$

ה.  $\frac{m}{\hbar^2 \pi^2}$

ו.  $\frac{m^{3/2}}{\hbar^3 \pi^2 \sqrt{E - E_0}}$



6. (10 נק') - נתון אוסף מטוטלות בעלות אורך החוט  $l$  ומסה  $m$ , הנמצאות תחת השפעת פוטנציאל כובד מהצורה  $V(h) = mgh$ . האוסף מוחזק בטמפרטורה  $T > 0$  כלשהי זווית המטוטלת ביחס לאנך נתונה על ידי  $\theta$ . קבלו ביטוי עבור ערך התוחלת של  $\langle \theta^2 \rangle$ .

**הדרכה:** מצאו את האנרגיה הפוטנציאלית של מטוטלת בודדת. השתמשו בקירוב לזוויות קטנות  $\sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1 - \theta^2 / 2$

א.  $\langle \theta^2 \rangle = \frac{k_B T}{mgl}$

ב.  $\langle \theta^2 \rangle = \left( \frac{k_B T}{mgl} \right)^2$

ג.  $\langle \theta^2 \rangle = \frac{3k_B T}{2mgl}$

ד.  $\langle \theta^2 \rangle = \frac{k_B T}{2mgl}$

ה.  $\langle \theta^2 \rangle = \frac{k_B T}{2}$

ו.  $\langle \theta^2 \rangle = \frac{2k_B T}{mgl}$

7. (10 נק') - נתון אוסף של  $N$  דיפולים חשמליים אשר אינם מקיימים אינטרקציה זה עם זה. האנרגיה של כל דיפול היא  $E = \pm qFa$  (שימו לב שישנם 2 מצבי אנרגיה מותרים) כאשר  $F$  הוא השדה החשמלי. בהנחה שהמערכת מצויה בטמפרטורה  $T > 0$  כלשהי האנרגיה הממוצעת של המערכת היא:

א.  $\langle E \rangle = -NaqF \tanh\left(\frac{aqF}{kT}\right)$

ב.  $\langle E \rangle = -NaqF \sinh\left(\frac{aqF}{2kT}\right)$

ג.  $\langle E \rangle = NaqF \tanh\left(\frac{2kT}{aqF}\right)$

ד.  $\langle E \rangle = NaqF \sinh\left(\frac{kT}{aqF}\right)$

ה.  $\langle E \rangle = NaqF \sinh\left(\frac{3kT}{2aqF}\right)$

ו.  $\langle E \rangle = NaqF \cosh\left(\frac{2kT}{aqF}\right)$

### שאלה פתוחה (30 נקודות):

נתונים שני מוצקי אינשטיין חד מימדיים. מוצק A עם  $N_1$  אטומים ואנרגיה כללית של  $E_1 = n_1 \hbar \omega$  ומוצק B עם  $N_2$  אטומים ואנרגיה כללית של  $E_2 = n_2 \hbar \omega$ .  $n_1, n_2, N_1, N_2$  כולם שלמים חיוביים וגדולים מאד מאחד אבל לא ידוע דבר נוסף על היחסים בין ארבעתם (כלומר, לא ניתן לעשות את ההנחה של אנרגיות גבוהות). בתחילה כל מוצק נמצא בשיווי משקל תרמודינמי עם עצמו אבל שני המוצקים לא יכולים להחליף חום ביניהם.

א. (10 נק') - חשבו מהי הטמפרטורה של מוצק A ושל מוצק B?

הדרכה: השתמשו בקירוב סטירלינג מהצורה  $\ln N! \approx N \ln N - N$

ב. (6 נק') - מהביטוי שקיבלתם עבור הטמפרטורה קבלו את מספר הקוונטות הממוצע עבור כל אטום במוצק A ובמוצק B? האם הביטוי נראה מוכר? תנו הסבר איכותי לתוצאה שנתקבלה.

ג. (7 נק') - מהי האנרגיה הממוצעת פר אטום עבור מוצק A ועבור מוצק B? מה קורה בגבול בו הטמפרטורה של כל מוצק גדולה מאד מערך כלשהו או קטנה מאד ממנו? מהו אותו ערך? תנו הסבר איכותי לתוצאה שנתקבלה.

ד. (7 נק') - עתה מאפשרים מעבר חום בין שני המוצקים ושניהם מצומדים לאמבט חום בטמפרטורה T. מה תהיה האנרגיה הממוצעת עבור מוצק A ועבור מוצק B? מה תהיה האנרגיה הממוצעת פר אטום עבור מוצק A ועבור מוצק B? כיצד יראו האנרגיות האלו עבור טמפרטורות גבוהות (רשמו תנאי מתאים לטמפרטורות)? תנו הסבר מדוע נוצר המצב שהתקבל.