

# **אלקטרוניקה פיזיקלית 044124**

## **סמסטר חורף 2020**

### **בחן אמצע**

#### **הנחיות**

- 1. משך הבחן - שתיים.**
- 2. בבחן 10 שאלות אמריקאיות. בידקו כי ברשותכם 6 עמודים כולל עמוד זה.**
- 3. הבחן הינו עם חומר סגור. לרשותכם דף נוסחאות בעמוד האחרון של הבחן.**
- 4. יש להגיש את דף התשובות האמריקאי המגיע עם המבחן. אנא ודאו שרשמתם את מספר תעודת הזהות בדף זה.**

### שאלות אמריקאיות (100 נקודות):

לפניכם 10 שאלות אמריקאיות הקשורות לחומר שלמדתם עד כה. הניקוד של כל שאלה הינו 10 נקודות (סה"כ 100 נקודות).

1. (10 נק') נתונה מערכת המכילה  $N \gg 1$  מתנדים הרמוניים שתדר תנודתם  $\omega$  ורמות האנרגיה המותרות בהם הן  $E_l = \hbar\omega(l + 1/2), l \in [\mathbb{N}, 0]$ . עבור  $n_e$  יחידות אנרגיה המתחלקות בין המתנדים, מהי האנטרופיה של המערכת? לרשותכם עומד הקירוב  $\ln N! \approx N \ln N - N$ .

א.  $S = k(n_e + N) \ln(n_e + N) - kn_e \ln n_e - kN \ln N$

ב.  $S = kN + kN \ln\left(\frac{n_e}{N}\right)$

ג.  $S = kn_e + kn_e \ln\left(\frac{n_e}{N}\right)$

ד.  $S = kN + kN \ln\left(\frac{n_e}{N}\right) + k \frac{N^2}{n_e}$

ה.  $S = kn_e + kn_e \ln\left(\frac{n_e}{N}\right) + k \frac{N^2}{n_e}$

2. (10 נק') נתונה מערכת המכילה 3 מצבי אנרגיה אפשריים  $(0, \varepsilon, 2\varepsilon, \varepsilon > 0)$ . מהי האנרגיה הממוצעת של המערכת?

א.  $\langle E \rangle = \varepsilon \frac{1}{1 + e^{-\varepsilon/kT} + e^{-2\varepsilon/kT}}$

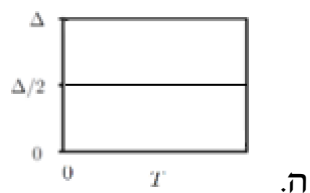
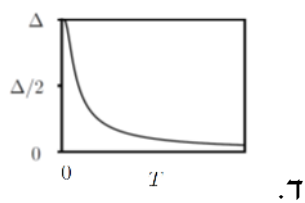
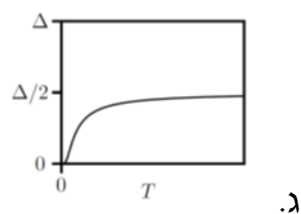
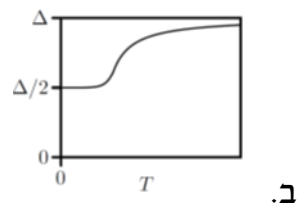
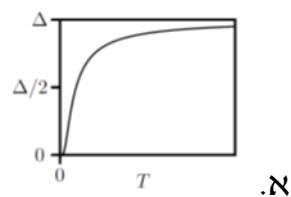
ב.  $\langle E \rangle = \varepsilon \frac{e^{-\varepsilon/kT} + 2e^{-2\varepsilon/kT}}{1 + e^{-\varepsilon/kT} + e^{-2\varepsilon/kT}}$

ג.  $\langle E \rangle = \varepsilon (1 + e^{-\varepsilon/kT} + e^{-2\varepsilon/kT})$

ד.  $\langle E \rangle = \frac{1}{\exp[(\varepsilon - E_F)/kT] + 1}$

ה.  $\langle E \rangle = \frac{2\varepsilon}{\exp[(\varepsilon - E_F)/kT] + 1}$

3. (10 נק') נתונה מערכת עם שתי רמות אנרגיה  $(0, \Delta > 0)$ . איזה מהגרפים הבאים יכול לתאר את התלות של האנרגיה הממוצעת  $\langle E \rangle$  של המערכת בטמפרטורה  $T$ ?



4. (10 נק') נתונים  $N$  אלקטרונים בעלי ספין חצי הנעים בעולם חד-מימדי. צפיפות המצבים ליחידת אנרגיה וליחידת אורך היא:

א.  $g(E) = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{m}{2\hbar^2 E}}$

ב.  $g(E) = \frac{2E}{\pi} \sqrt{\frac{m}{2\hbar^2}}$

ג.  $g(E) = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \sqrt{E}$

ד.  $g(E) = \frac{m}{\pi \hbar^2}$

ה.  $g(E) = \frac{m^2}{\pi \hbar^4 E^2}$

5. (10 נק') עבור גז אידיאלי ב-3 מימדים בעל  $N$  חלקיקים ובטמפרטורה  $T$ , מהי התלות של הריבוי  $\Omega$  במספר החלקיקים  $N$ ?

א.  $\Omega \propto e^{\frac{3}{2}N}$

ב.  $\Omega \propto e^{-\frac{3}{2}N}$

ג.  $\Omega \propto e^{\frac{1}{2}N}$

ד.  $\Omega \propto e^{-\frac{3}{2}N}$

6. (10 נק') נתון חומר דו-מימדי שצפיפות המצבים שלו (ליחידת אנרגיה ושטח)  $g_0$  קבועה. נתון שישנה צפיפות משטחית אלקטרונית  $N$  בפס ההולכה. עבור טמפרטורה  $T = 0$ , מהו מרחקה של רמת פרמי מתחתית פס ההולכה?

א.  $E_F - E_C = \frac{N}{g_0}$

ב.  $E_F - E_C = 0$

ג.  $E_F - E_C = -\frac{N}{g_0}$

ד.  $E_F - E_C = -kT \ln\left(\frac{N}{g_0}\right)$

ה.  $E_F - E_C = kT \ln\left(\frac{N}{g_0}\right)$

7. (10 נק') נתונה מערכת של  $N$  חלקיקים כאשר האנרגיה של כל חלקיק היא  $E = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) + \frac{3}{2}I_1\omega_1^2 + \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 + \frac{3}{2}aq^2$ . בהנחה שהמערכת בש"מ תרמי בטמפ'  $T$  ושדרגות החופש רציפות, מהי האנרגיה הממוצעת של המערכת?

א.  $\frac{3}{2}Nk_B T$

ב.  $3Nk_B T$

ג.  $6Nk_B T$

ד.  $5Nk_B T$

ה.  $\frac{1}{2}Nk_B T$

8. (10 נק') נתונה מערכת המכילה בוזונים שצפיפות המצבים שלה היא  $g(E) = 3N\delta(E - E_0), E_0 > 0$ . עוד נתון כי הפוטנציאל הכימי של המערכת הינו  $\mu = 0$  וכן ש- $k_B T \ll E_0$ . מהו קיבול החום של המערכת?

א.  $C_v = 3Nk_B$

ב.  $C_v = 3Nk_B \left( \frac{E_0}{k_B T} \right)^2 e^{-\frac{E_0}{k_B T}}$

ג.  $C_v = 3Nk_B \left( \frac{E_0}{k_B T} \right)^2 e^{\frac{E_0}{k_B T}}$

ד.  $C_v = Nk_B$

ה.  $C_v = 3Nk_B \frac{\left( \frac{E_0}{k_B T} \right)^2 e^{\frac{E_0}{k_B T}}}{(e^{\frac{E_0}{k_B T}} - 1)^2}$

9. (10 נק') נתון גביש המכיל  $N$  אטומים המצוי בטמפרטורה  $T$ . כל אטום יכול להימצא באחד משני מצבי אנרגיה אפשריים: להישאר במקומו בגביש ( $E = 0$ ) או לצאת ממקומו בגביש ( $E = E_0 > 0$ ) כאשר המצב השני הינו פגם בגביש. מהו מספר הפגמים בגביש כתלות בטמפרטורה?

א.  $N \cdot e^{-E_0/k_B T}$

ב.  $N \cdot e^{E_0/k_B T}$

ג.  $N / (1 + e^{-E_0/k_B T})$

ד.  $N / (1 + e^{E_0/k_B T})$

ה.  $N \cdot \frac{k_B T}{E_0}$

10. (10 נק') נתונה מערכת דו-מימדית ששטחה  $A$  המכילה  $N$  בוזונים ובעלת צפיפות מצבים ליחידות אנרגיה ושטח  $g_0$  כלשהיא. טמפרטורת המעבר  $T_B$  לעיבוי בוז-איינשטיין במערכת זו תהיה:

א.  $T_B = \frac{1}{mk_B} \left( \frac{\pi^2 \hbar^3 N}{3.27 A} \right)^{2/3}$

ב.  $T_B = \frac{k_B}{Ng_0 A}$

ג.  $T_B = \frac{2k_B}{Ng_0 A}$

ד. עיבוי בוז-איינשטיין בלתי אפשרי במערכת זו.

ה. עיבוי בוז-איינשטיין תמיד מתקיים במערכת זו לכל טמפרטורה.

## נוסחאות שימושיות:

ריבוי מצבים עבור מוצק איינשטיין:

$$\Omega(n_e, N) = \frac{(n_e + N - 1)!}{n_e! (N - 1)!}$$

הגדרת האנטרופיה:

$$S \triangleq k_B \ln \Omega$$

הגדרת הטמפרטורה (בהנחת ש"מ תרמי):

$$\frac{1}{T} \triangleq \frac{\partial S}{\partial E}$$

הגדרת קיבול החום:

$$C \triangleq \frac{\partial E}{\partial T}$$

יחס הנפיצה עבור חלקיקים חופשיים בעלי מסה ב-1,2,3 מימדים:

$$E = \frac{1}{2} m \sum_{i=1}^{1,2,3} v_i^2 = \frac{\hbar^2}{2m} \sum_{i=1}^{1,2,3} k_i^2$$

מצבים אפשריים עבור בורות פוטנציאלים אינסופיים ב-1,2,3 מימדים:

$$k_i = n_i \frac{\pi}{L}$$