
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2004/2005

February - March 2005

ZCT 317E/3 - Solid State Physics II
[Fizik Keadaan Pepejal II]

Duration: 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that the examination paper consists of **SIX** pages of printed material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAM muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instruction: Answer any **FOUR** questions. Students are allowed to answer all questions in Bahasa Malaysia or in English.

Arahan: *Jawab mana-mana EMPAT soalan. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.*

1. (a) The primitive translation vectors of a two dimensional (2-D) hexagonal lattice are given by
[Vektor-vektor translasi primitif bagi suatu kekisi heksagon dua dimensi (2-D) adalah diberi oleh]

$$\underline{a}_1 = a\hat{x}; \quad \underline{a}_2 = \frac{a}{2}\hat{x} + \frac{\sqrt{3}}{2}a\hat{y}$$

- (i) What is the angle between \underline{a}_1 and \underline{a}_2 ?
[Berapakah sudut diantara \underline{a}_1 dan \underline{a}_2 ?] (10/100)
- (ii) Determine the primitive translation vectors of the reciprocal lattice.
[Tentukan vektor translasi primitif bagi kekisi salingan.] (30/100)
- (iii) Sketch the first Brillouin zone.
[Lakarkan zon Brillouin pertama.] (10/100)
- (iv) Show that the reciprocal lattice of the reciprocal lattice found in (ii) is the hexagonal lattice defined by \underline{a}_1 and \underline{a}_2 .
[Tunjukkan bahawa kekisi salingan bagi kekisi salingan didapati dalam soalan (ii) adalah kekisi heksagon yang ditakrif oleh \underline{a}_1 dan \underline{a}_2 .] (30/100)
- (b) Describe briefly the role played by the wavevector \underline{k} which labels the Bloch function of an electron.
[Huraikan secara ringkas peranan bagi vektor gelombang \underline{k} yang melabelkan fungsi Bloch bagi suatu electron.] (20/100)

2. (a) Explain the meaning of
[Jelaskan makna]

- (i) Fermi energy
[tenaga Fermi]
- (ii) Fermi surface for electrons in a metal
[permukaan Fermi bagi elektron-elektron dalam suatu logam.] (10/100)

- (b) Prove that for a free electron gas in two dimensions (2-D), the electron density of states $D(\epsilon)$ is a constant independent of ϵ .
[Buktikan bahawa ketumpatan keadaan elektron $D(\epsilon)$ bagi suatu gas elektron bebas dalam dua dimensi (2-D) adalah suatu pemalar yang tak bergantung pada ϵ .]

- (c) Show that the effective mass m^* of an electron with an energy band $\epsilon = \epsilon(k)$ is given by
[Tunjukkan bahawa jisim berkesan m^ bagi suatu elektron yang mempunyai jalur tenaga $\epsilon = \epsilon(k)$ adalah diberi oleh]*

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial k^2}$$

Generalize the result for an effective mass tensor M .

[Amkan formula ini bagi suatu tensor jisim berkesan M .]

(30/100)

- (d) The electron band energy in a square two dimensional lattice in the tight binding approximation is given by
[Jalur tenaga elektron dalam suatu kekisi segiempat sama berdimensi dua dalam anggaran ikatan ketat adalah diberi oleh]

$$\epsilon(\underline{k}) = E_0(2 - \cos ak_x - \cos ak_y)$$

where a is the lattice constant. Calculate the effective mass tensor M at the reciprocal lattice points $\underline{k} = (0,0)$ and $\underline{k} = \left(\frac{\pi}{a}, \frac{\pi}{a}\right)$.

[di mana a adalah pemalar kekisi. Hitungkan tensor jisim berkesan M pada titik kekisi salingan $\underline{k} = (0,0)$ dan $\underline{k} = \left(\frac{\pi}{a}, \frac{\pi}{a}\right)$.]

(30/100)

3. (a) Describe briefly and sketch graphs to show the meaning of applied critical magnetic field for a Type I and Type II superconductor.
[Huraikan secara ringkas dan lakarkan graf untuk menunjukkan makna medan magnetik genting bagi superkonduktor jenis I dan superkonduktor jenis II.]

(20/100)

- (b) Describe briefly the energy gap property of superconductors.
[Huraikan secara ringkas sifat jurang tenaga bagi superkonduktor.]
 (20/100)
- (c) Use the London equation to show that the magnetic field \underline{B} in a superconductor obeys the equation
[Gunakan persamaan London untuk menunjukkan bahawa medan magnetik \underline{B} dalam suatu superkonduktor adalah mematuhi persamaan]

$$\nabla^2 \underline{B} = -\frac{\underline{B}}{\lambda_L^2}$$

where λ_L is a constant having dimensions of length. Explain how this equation describes the Meissner effect.

[di mana λ_L adalah suatu pemalar berdimensi panjang. Jelaskan bagaimana persamaan ini menghuraikan Kesan Meissner.]

(40/100)

- (d) Use the equation in (c) to find the solution of $B(x)$ for a semi-infinite superconductor occupying the space on the +ve side of the x-axis.
[Gunakan persamaan dalam (c) untuk mendapatkan penyelesaian $B(x)$ bagi suatu superkonduktor semi-infinit yang mengisi ruang pada bahagian positif bagi paksi-x.]

(20/100)

4. (a) Explain the meaning of the terms
[Terangkan makna sebutan]

- (i) applied electric field
[medan elektrik dikenakan]
- (ii) depolarization field
[medan penyahkutuban]
- (iii) local electric field in a dielectric material.
[medan elektrik tempatan dalam suatu bahan dielektrik.]

(15/100)

- (b) Show that the Lorentz equation for the local electric field \underline{E}_{local} is given by
[Tunjukkan bahawa persamaan Lorentz bagi medan elektrik tempatan \underline{E}_{local} adalah diberi oleh]

$$\underline{E}_{local} = \underline{E} + \frac{1}{3\epsilon_0} \underline{P}$$

where

[di mana]

\underline{E} - macroscopic electric field [medan elektrik makroskopik]

\underline{P} - polarization of the material [penguatan bahan]

ϵ_0 - permittivity of free space [permittiviti ruang bebas]

(50/100)

- (c) List any two ferroelectric materials and any two antiferroelectric materials. Sketch simple diagrams which show clearly the relative positions of charged atoms or groups for:

[Senaraikan sebarang dua bahan ferroelektrik dan sebarang dua bahan antiferroelektrik. Lakarkan rajah-rajah mudah yang menunjukkan secara jelas posisi relatif bagi atom bercas atau kumpulan atom untuk kawasan suhu berikut:]

- (i) temperature $T > T_c$ (zero applied field)
[suhu $T > T_c$ (medan dikenakan sifar)]
- (ii) temperature $T < T_c$ (zero applied field)
[suhu $T < T_c$ (medan dikenakan sifar)]
- (iii) temperature $T < T_c$ (non-zero applied field)
[suhu $T < T_c$ (medan dikenakan tak sifar)]

(35/100)

5. (a) Explain briefly the microscopic origin of paramagnetism and diamagnetism in solids.

[Huraikan secara ringkas keasalan mikroskopik bagi keparamagnetan dan kedia magnetan dalam pepejal.]

(20/100)

- (b) Show that the classical Langevin diamagnetism equation is:

[Tunjukkan bahawa persamaan kedia magnetan Langevin klasik adalah:]

$$\text{diamagnetic susceptibility per unit volume } \chi = -\frac{\mu_0 N Z e^2}{6m} \langle r^2 \rangle$$

[kerentanan diamagnetik per unit isipadu]

where N is the number of atoms per unit volume, $\langle r^2 \rangle$ is the mean square distance of electrons from the nucleus. The other constants μ_0, z, e and m have their usual meanings.

[di mana N adalah nombor atom per unit isipadu, $\langle r^2 \rangle$ adalah jarak kuasa dua min elektron daripada nukleus. Pemalar seperti μ_o, z, e dan m mempunyai makna yang biasa.]

(40/100)

- (c) State briefly the main assumptions in the mean field theory of a ferromagnet. In the mean field theory, the temperature dependence of the magnetization M in zero applied magnetic field is given by the equation
 [Nyatakan secara ringkas anggapan-anggapan utama bagi teori medan min bagi feromagnet. Dalam teori medan min, formula bagi pemagnetan M dalam medan magnetik dikenakan sifar adalah di beri oleh persamaan]

$$M = N\mu \tanh\left(\frac{\mu\lambda M}{kT}\right)$$

where μ is the magnetic moment of an atom and λ is a constant.

[di mana μ adalah momen magnetik bagi atom dan λ adalah suatu pemalar.]

Explain by sketching the graphical method of solution of this equation that a spontaneous magnetization exists for temperatures below a critical temperature T_c .

[Jelaskan dengan lakaran cara graf bagi menyelesaikan persamaan ini bahawa suatu pemagnetan spontan wujud pada suhu kurang daripada suhu genting T_c .]

(40/100)