

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2006/2007

April 2007

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

Duration: 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

Please ensure that this examination paper contains **EIGHT** printed pages before you begin the examination.

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

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

**Arahan:** *Jawab kesemua **LIMA** soalan. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

**Question 1 each 1.5 marks (Total-30 marks)**

1. (a)  $\psi_{\mathbf{k}}(\mathbf{r} + N_i \mathbf{a}_i) = \psi_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) \quad i = 1, 2, 3$

The above equation is called \_\_\_\_\_  
 [Persamaan di atas dipanggil]

- (b) It is satisfied provided  
 [Hubungan ini dipatuhi sekiranya]

$$\mathbf{k} = \sum_{i=1}^3 \frac{s_i}{N_i} \mathbf{b}_i \quad s_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

- (c) Above equation implies that the number of  $\mathbf{k}$ -states equal number of  
 [Persamaan di atas bersabitan bahawa bilangan  $k$ -keadaan bersamaan dengan bilangan]

- A. lattice points  
 [Titik-titik kekisi]  
 B. atoms  
 [atom-atom]  
 C. electrons  
 [elektron-elektron]  
 D. reciprocal vectors  
 [vektor salingan]

- (d) In the empty lattice approximation the following assumption is made  
 [Dalam penghampiran kekisi kosong, andaian berikut telah dibuat]

- A. Wave function satisfies Bloch conditions  
 [Fungsi gelombang memuaskan syarat-syarat Bloch]  
 B. Electron collisions with ions  
 [Elektron berlanggar dengan ion-ion]  
 C. Periodic forces  
 [Daya-daya berkala]  
 D. Nothing other than lattice point exists  
 [Tiada yang lain wujud kecuali titik kekisis]

- (e) The number of atoms per primitive cell for silicon is,  
 [Bilangan atom dalam satu sel primitif silikon ialah,]

- A. 8  
 B. 6  
 C. 4  
 D. 2

(f) The reason why group 2 elements are metals is because the valence electrons

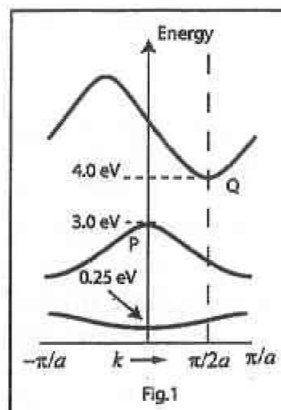
[Sebab yang menjadikan unsur-unsur dalam kumpulan 2 logam ialah elektron valens]

- A. Are found in a single bands  
[dijumpai di dalam jalur tunggal]
- B. Are found in two unfilled bands  
[dijumpai di dalam jalur yang tak terisi]
- C. Completely fills the Brillouin zone  
[mengisi penuh dalam zon Brillouin]
- D. Have one filled band  
[mengadakan satu jalur yang terisi]

(g) Given  $H = 2$  kG the electron cyclotron frequency is \_\_\_\_\_  
[Diberi  $H = 2$  kG frekuensi elektron siklotron ialah]

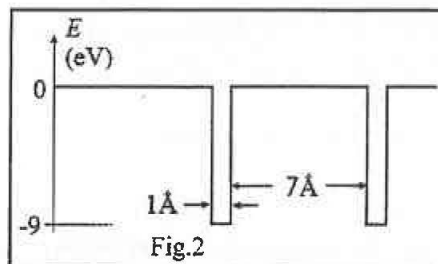
(h) The electron in Fig.1 at  $P$  needs \_\_\_\_\_ eV to go  $Q$ . A photon of this energy would have a momentum \_\_\_\_\_ gm - cm/sec, or,  $k =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$ . If the electron makes this transition via a photon then one can see that \_\_\_\_\_ is not conserved. Hence a phonon is required to conserve momentum. Taking the speed of sound as  $3.4 \times 10^4$  cm/sec a phonon with  $k = \pi/2a$  has an energy \_\_\_\_\_. Therefore a phonon gives momentum but negligible energy.

[Elektron dalam Rajah 1 yang berada di  $P$  memerlukan \_\_\_\_\_ eV untuk dianjakkan ke  $Q$ . Suatu foton yang bertenaga ini akan mempunyai momentum \_\_\_\_\_ gm-cm/saat, atau  $k =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$ . Jika elektron ini membuat anjakan melalui suatu foton maka seseorang itu akan perhatikan bahawa \_\_\_\_\_ adalah tidak abadi. Oleh demikian suatu fonon diperlukan untuk mengabadikan momentum. Ambil kelajuan bunyi sebagai  $3.4 \times 10^4$  cm/saat suatu fonon dengan  $k = \pi/2a$  mempunyai suatu tenaga \_\_\_\_\_. Oleh itu suatu fonon memberikan momentum tetapi tenaganya adalah boleh diabaikan.]



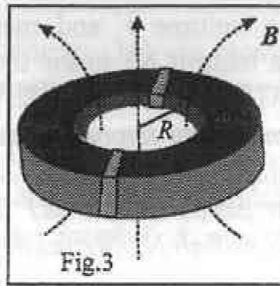
- (i) A particle of total energy  $3\text{eV}$  is moving in a one dimensional potential shown in Fig.2. The ratio of time to travel the  $7\text{\AA}$  distance shown to the  $1\text{\AA}$  distance is,

[Suatu zarah yang mempunyai jumlah tenaga  $3\text{ eV}$  bergerak dalam keupayaan satu dimensi seperti ditunjukkan dalam Rajah 2. Nisbah masa diambil untuk melalui jarak  $7\text{ \AA}$  seperti ditunjukkan kepada masa untuk melalui  $1\text{ \AA}$  ialah]



- A. 14.0  
 B. 12.1  
 C. 8  
 D. 7
- (j) Inside a type I superconductor  
 [Dalam superkonduktore jenis I]
- A. **B** penetrates but not **J**  
 [B menebus tetapi J tidak menebus]  
 B. **B** is zero not **J**  
 [B ialah sifar tetapi J bukan sifar]  
 C. **J** is zero not **B**  
 [J ialah sifar tetapi B bukan sifar]  
 D. Both **J** and **B** are zero  
 [Kedua-dua J dan B ialah sifar]
- (k) Electron density of copper is  $8.45 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ , that of sodium is  $2.65 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ . The Fermi energy of sodium is  $3.23\text{ eV}$ . That of copper in eV will be,  
 [Ketumpatan elektron kuprum ialah  $8.45 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ , dan yang untuk natrium ialah  $2.65 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ . Tenaga Fermi bagi natrium ialah  $3.23\text{ eV}$ . Tenaga Fermi bagi kuprum ialah]
- A. 7  
 B. 32.8  
 C. 3.23  
 D. 18.38

- (l) Metal M1 has a volume  $V$  and metal M2 of same material as M1 has volume  $V/2$ . In a band if  $N_1$  is the total number of levels in M1 and  $N_2$  the total number in M2 then the ratio  $N_2/N_1$  is  
*[Logam M1 mempunyai isipadu  $V$  dan logam M2 yang sama jenis bahan dengan M1 mempunyai isipadu  $V/2$ . Dalam suatu jalur jika  $N_1$  ialah jumlah bilangan paras dalam M1 dan  $N_2$  ialah jumlah bilangan paras dalam M2, maka nisbah  $N_2/N_1$  ialah]*
- A. 0.5  
 B. 2  
 C. 1  
 D. 0.25
- (m) For the two metals in (l), the ratio of Fermi energy of metals  $E_F(M1)/E_F(M2)$  is  
*[Untuk kedua-dua logam dalam bahagian (l), nisbah tenaga Fermi logam  $E_F(M1)/E_F(M2)$  ialah]*
- A. 0.5  
 B. 2  
 C. 1  
 D. 0.25
- (n) The relation connecting the dielectric constant with plasma oscillation frequency  $\omega_p$  is  $\epsilon = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ . The wave will not propagate if,  
*[Hubungan yang mengaitkan pemalar dielektrik dengan frekuensi ayunan plasma  $\omega_p$  ialah  $\epsilon = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ . Gelombang tidak akan merambat jika]*
- A.  $\omega_p^2 > 1$   
 B.  $\omega < \omega_p$   
 C.  $\omega > \omega_p$   
 D.  $\omega_p^2 < 1$
- (o) Very low magnetic fields can be measured with superconductors. The limit is set by the smallest quantum of flux  $\Phi_0 = \pi\hbar c/e \cong 2.0678 \times 10^{-7} \text{ G} \cdot \text{cm}^2$ . What is the smallest value of the radius  $R$  in Fig.3 is permissible if a magnetic field of  $10^{-12} \text{ G}$  is to be detected.  
*[Medan magnet yang sangat rendah boleh diukur dengan superkonduktor. Had ini diaturkan dengan fluks kuantum yang terkecil  $\Phi_0 = \pi\hbar c/e \cong 2.0678 \times 10^{-7} \text{ G} \cdot \text{cm}^2$ . Apakah nilai terkecil bagi jejari  $R$  dalam Rajah 3 yang dibenarkan jika suatu medan magnet  $10^{-12} \text{ G}$  dapat dikesan?]*



- (p) What is the binding energy of exciton if,  $\mu = 0.7m$  and  $\epsilon = 10$ ? *Hint: Use  $E_1 = -\frac{\mu}{m\epsilon^2}E_0$  where  $E_0$  is the ground state energy of hydrogen atom.*  
*[Apakah tenaga ikatan bagi eksiton jika  $\mu = 0.7 m$  dan  $\epsilon = 10$ ? Kunci jawapan: Gunakan  $E_1 = -\frac{\mu}{m\epsilon^2}E_0$  di mana  $E_0$  ialah tenaga keadaan asas bagi atom hidrogen.]*
- (30/100)

- 2 (a) A tetragonal metal is subjected to a magnetic field of 2 kG. The faces of  $G$  are separated by  $4 \times 10^8 \text{ cm}^{-1}$ .  
*[Suatu logam tetragon dikenakan oleh suatu medan magnet 2 kG. Permukaan-permukaan G dipisahkan dengan jarak  $4 \times 10^8 \text{ cm}^{-1}$ .]*

- (i) Find the order of magnitude of the period of motion in k-space.  
*[Carikan tertib magnitud bagi kala gerakan dalam ruang-k.]*
- (ii) Describe the real space motion.  
*[Perihalkan gerakan dalam ruang hakiki]*

- (b) Sodium has Fermi energy of 3.23 eV.  
*[Natrium mempunyai tenaga Fermi 3.23 eV.]*

- (i) Calculate the period  $\Delta\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c A_e}$  expected for sodium by giving the answer with units.

*[Kirakan kala  $\Delta\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c A_e}$  yang dijangkakan untuk natrium dengan memberikan jawapan dalam unit-unit.]*

- (ii) Obtain the area of an orbit in real space if the magnetic field is 2 kG. Take the connection in two spaces as  $r = \hbar ck / eH$ .  
*[Dapatkan luas orbit dalam ruang hakiki jika medan magnet ialah 2 kG. Ambil hubungan di antara dua ruang ini sebagai  $r = \hbar ck / eH$ .]*

(20/100)

3. (a) (i) Show that for identical dipoles at the corners of a cube as in Fig.4, the total electric field at the center of the cube due to the dipoles is zero. Let  $p$  be the dipole moment of each dipole. The field of a dipole is given by

[Tunjukkan untuk dwikutub-dwikutub yang seiras pada bucu-bucu segiempat sama seperti dalam Rajah 4, jumlah medan elektrik pada pusat segiempat sama yang akibat daripada dwikutub-dwikutub ini adalah sifar. Biarkan  $p$  sebagai moment dwikutub bagi setiap dwikutub. Medan dwikutub diberikan oleh]

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{3(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r} - r^2\mathbf{p}}{r^5}$$

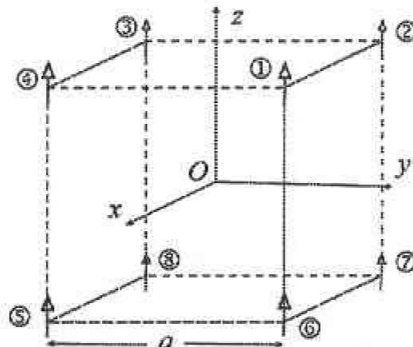


Fig.4

- (ii) What effect does this result could have on the local electric field for cubic crystals?

[Apakah kesan kepada medan elektrik tempatan bagi hablur-hablur kubik?]

- (b) Obtain the Lyddane-Sachs-Teller relation. Explain each of the term in the equation  $\epsilon(0)/\epsilon(\infty) = \omega_L^2/\omega_T^2$ . Why is  $\omega_L^2 \gg \omega_T^2$ ?

[Dapatkan hubungan Lyddane-Sachs-Teller. Terangkan setiap sebutan dalam persamaan  $\epsilon(0)/\epsilon(\infty) = \omega_L^2/\omega_T^2$ . Mengapakah  $\omega_L^2 \gg \omega_T^2$ ?]

(20/100)

4. (a) Using Gibbs function explain why a normal metal transforms into a superconductor?

[Gunakan fungsi Gibbs untuk menerangkan mengapa suatu logam normal ditransformasikan kepada superkonduktor.]

- (b) Explain how London equation predicts Meissners effect? Show that a non constant  $\mathbf{B}$  has solution  $B(x) = B(0)\exp(-x/\lambda_L)$ .

[Terangkan bagaimana persamaan London meramalkan kesan Meissners. Tunjukkan suatu  $B$  yang tak malar mempunyai penyelesaian  $B(x) = B(0)\exp(-x/\lambda_L)$ .]

(20/100)

5. It is known that the conduction electrons show a paramagnetic behavior. The susceptibility is given by  $\chi_{Pauli} = \mu_B^2 \frac{m}{\pi^2 \hbar^2} k_F$ .

[Diketahui bahawa elektron berkonduksi menunjukkan ciri paramagnetik.

Kerentanan diberikan oleh  $\chi_{Pauli} = \mu_B^2 \frac{m}{\pi^2 \hbar^2} k_F$ .]

- (a) Calculate the susceptibility for potassium with  $E_F = 2.12$  eV .

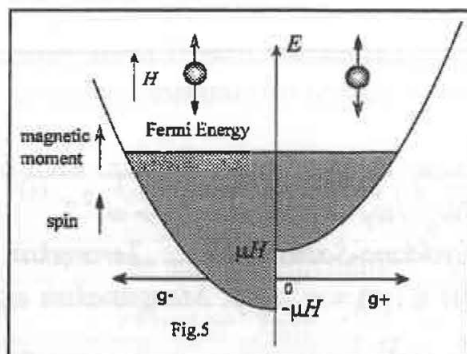
Given that  $0.8 \times 10^6$  .  $\mu_B = 5.788 \times 10^{-9}$  eV/G .

[Kirakan kerentanan kalium dengan  $E_F = 2.12$  eV.

Diberi  $0.8 \times 10^6$  .  $\mu_B = 5.788 \times 10^{-9}$  eV/G.]

- (b) How does Fig.5 explain the paramagnetic susceptibility of conduction electrons?

[Bagaimana Rajah 5 menerangkan kerentanan paramagnetik untuk elektron berkonduksian?]



$e = 4.8 \times 10^{-10}$ esu	$m = 9.11 \times 10^{-28}$ gm	$\hbar = 1.05 \times 10^{-27}$ erg - sec	Ground state energy of hydrogen 13.6 eV
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------

10/100