BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

Term-End Examination

February, 2021

PHYSICS

PHE-13 : PHYSICS OF SOLIDS

Time : 2 hours *Maximum Marks : 50*

Note : *All questions are* ***compulsory****. However internal choices are given. You may use a calculator. Symbols have their usual meanings. The values of physical constants are given at the end.*

1. Attempt any ***five*** parts : *5×3=15*

(a) The primitive translation vectors of a lattice are

$$\vec{a} = \frac{\sqrt{3}}{4} a \hat{i} + \frac{a}{2} \hat{j}; \quad \vec{b} = -\frac{\sqrt{3}}{4} a \hat{i} + \frac{a}{2} \hat{j};$$

$$\vec{c} = c \hat{k}$$

Determine the volume of the primitive unit cell.

(b) What are Miller indices ? Determine the Miller indices of a plane which intersects the three axes at the points $3a_1$, $4a_2$ and $2a_3$, respectively, where $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ and $\vec{a}_3$ are the basis vectors.

(c) Write down the electronic configuration of Ge (Z = 32). What type of bonding would you expect in Ge ?

(d) For a linear monatomic chain of atoms, the dispersion relation is given by

$$\omega = \omega_{OL} \left| \sin \frac{ka}{2} \right|$$

Calculate the phase velocity and the group velocity for $ka << 1$.

(e) Calculate the velocity and effective mass of an electron in a crystalline solid whose energy is given by $E = \frac{3\hbar^2 k^2}{2m}$.

(f) Explain edge defects with appropriate diagram.

(g) Differentiate between diamagnetic, paramagnetic and ferromagnetic materials.

(h) Differentiate between type I and type II superconductors.

2. Attempt any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) (i) Explain with the help of a diagram the Wigner-Seitz method of constructing a primitive unit cell for any given lattice structure.

(ii) Use the Wigner-Seitz method to draw the first Brillouin zone of a 2D oblique reciprocal lattice. *3+2*

(b) Calculate the atomic packing fraction of a bcc lattice structure. *5*

(c) Explain the Laue method for X-ray diffraction. What are the limitations of this method ? *5*

3. Attempt any ***one*** part : *1×5=5*

(a) Derive an expression for heat capacity of a solid on the basis of Einstein's theory. State its limitation at low temperature. *4+1*

(b) Define Madelung constant. Determine the Madelung constant for a one-dimensional NaCl lattice. *1+4*

4. Attempt any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) Describe the experimental arrangement for the Hall effect experiment with the help of a schematic diagram. Calculate the electron concentration in a specimen for which the Hall coefficient is $0{\cdot}0125\ m^3\ C^{-1}$. *3+2*

(b) Write down the expression for the electrical conductivity σ_i of an intrinsic semiconductor in terms of electron and hole mobilities μ_e and μ_h. Hence show that the conductivity is :

$$\sigma_i = A(T) \exp\left[- \frac{E_g}{2\, k_B T} \right]$$

You may use the following relations :

$$N_c = 2\left(\frac{2\pi\, m_e^* k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$$

$$N_v = 2\left(\frac{2\pi\, m_h^* k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$$

and $n_i^2 = N_c N_v \exp[-E_g/k_B T]$ *1+4*

(c) Explain phonon-mediated electron interaction and the formation of Cooper pairs in the BCS theory of superconductivity. *5*

5. Attempt any ***two*** parts : *2×5=10*

(a) Describe the method of crystal growth using the directional freezing technique.

(b) What is a transducer ? Describe the working of a polymer capacitor as a humidity transducer.

(c) Classify polymers on the basis of their structure, temperature dependent properties and mechanism of polymerisation.

Physical Constants :

$h = 6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ Js

$N_A = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ mol^{-1}

1 eV $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$k_B = 1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

विज्ञान स्नातक (बी.एस सी.)

सत्रांत परीक्षा

फरवरी, 2021

भौतिक विज्ञान

पी.एच.ई.-13 : घन अवस्था भौतिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *सभी प्रश्न **अनिवार्य** हैं । किन्तु आंतरिक विकल्प दिए गए हैं । आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं । प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं । भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं ।*

1. किन्हीं ***पाँच*** भागों को कीजिए : *5×3=15*

(क) एक जालक के अभाज्य स्थानांतरण सदिश निम्नलिखित हैं :

$$\vec{a} = \frac{\sqrt{3}}{4} a \hat{i} + \frac{a}{2} \hat{j}; \quad \vec{b} = -\frac{\sqrt{3}}{4} a \hat{i} + \frac{a}{2} \hat{j};$$

$$\vec{c} = c\hat{k}$$

अभाज्य एकक कोष्ठिका का आयतन निर्धारित कीजिए ।

(ख) मिलर सूचकांक क्या होते हैं ? एक समतल के मिलर सूचकांक ज्ञात कीजिए जो तीन अक्षों को क्रमशः बिन्दु $3a_1$, $4a_2$ और $2a_3$ पर प्रतिच्छेदित करता है, जहाँ $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ और $\vec{a}_3$ बेसिस सदिश हैं ।

(ग) Ge (Z = 32) के लिए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए । Ge में किस प्रकार के आबंधन की संभावना है, बताइए ।

(घ) परमाणुओं की एकपरमाण्विक रेखीय शृंखला के लिए परिक्षेपण-संबंध निम्नलिखित है :

$$\omega = \omega_{OL} \left| \sin \frac{ka}{2} \right|$$

$ka << 1$ के लिए प्रावस्था वेग और समूह वेग परिकलित कीजिए ।

(ङ) एक क्रिस्टलीय ठोस में एक इलेक्ट्रॉन की संपूर्ण ऊर्जा निम्नलिखित है :

$$E = \frac{3\hbar^2 k^2}{2m}$$

इस इलेक्ट्रॉन का वेग और प्रभावी द्रव्यमान परिकलित कीजिए ।

(च) उपयुक्त आरेख के साथ कोर दोष समझाइए ।

(छ) प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय और लोह-चुबंकीय पदार्थों में अंतर बताइए ।

(ज) प्ररूप I और प्ररूप II अति-चालकों में अंतर बताइए ।

2. किन्हीं ***दो*** भागों को कीजिए : *2×5=10*

(क) (i) उपयुक्त आरेख की सहायता से किसी जालक संरचना के लिए अभाज्य एकक कोष्ठिका की रचना की विग्नैर-साइट्ज़ विधि समझाइए ।

(ii) विग्नैर-साइट्ज़ विधि द्वारा एक 2D तिर्यक् व्युत्क्रम जालक के लिए प्रथम ब्रिलुवां क्षेत्र आरेखित कीजिए । *3+2*

(ख) bcc जालक संरचना के लिए परमाण्वीय संकुलन गुणांक परिकलित कीजिए । *5*

(ग) एक्स-किरण विवर्तन की लाउए विधि समझाइए । इस विधि की कमियाँ क्या हैं, बताइए । *5*

3. किसी ***एक*** भाग को कीजिए : *1×5=5*

(क) आइन्स्टाइन सिद्धांत के आधार पर एक ठोस की ऊष्मा-धारिता का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए । निम्न तापमान पर इस सिद्धांत की कमी बताइए । *4+1*

(ख) मैडैलुंग नियतांक की परिभाषा दीजिए । एकविम NaCl जालक के लिए मैडैलुंग नियतांक निर्धारित कीजिए । *1+4*

4. किन्हीं ***दो*** भागों को कीजिए : *2×5=10*

(क) हॉल-प्रभाव प्रयोग के लिए प्रायोगिक व्यवस्था का वर्णन इसके व्यवस्थित आरेख के साथ कीजिए । एक प्रतिदर्श की इलेक्ट्रॉन सान्द्रता परिकलित कीजिए यदि उसके लिए हॉल-गुणांक $0{\cdot}0125\ m^3\ C^{-1}$ हो । *3+2*

(ख) इलेक्ट्रॉन और होल (छिद्र) की गतिशीलताएँ μ_e और μ_h के पदों में एक नैज अर्धचालक की वैद्युत चालकता σ_i का व्यंजक लिखिए । इससे सिद्ध कीजिए कि चालकता निम्नलिखित है :

$$\sigma_i = A(T) \exp\left[- \frac{E_g}{2 k_B T} \right]$$

आप निम्नलिखित संबंधों का प्रयोग कर सकते हैं :

$$N_c = 2\left(\frac{2\pi\, m_e^* \, k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$$

$$N_v = 2\left(\frac{2\pi\, m_h^* \, k_B T}{h^2}\right)^{3/2}$$

और $n_i^2 = N_c N_v \exp[-E_g/k_B T]$ *1+4*

(ग) अतिचालकता के BCS सिद्धांत में फोनान मध्यस्थता के कारण उत्पन्न इलेक्ट्रॉनों के बीच अन्योन्यक्रिया और कूपर युग्मों का निर्माण समझाइए । *5*

5. किन्हीं ***दो*** भागों को कीजिए : *2×5=10*

(क) दिशिक हिमीकरण तकनीक के प्रयोग द्वारा क्रिस्टल वृद्धि की विधि का वर्णन कीजिए ।

(ख) ट्रान्सड्यूसर क्या होता है ? एक बहुलक संधारित्र, आर्द्रता ट्रान्सड्यूसर के रूप में कैसे कार्य करता है, वर्णन कीजिए ।

(ग) संरचना, तापाश्रित व्यवहार और बहुलकन की क्रियाविधि के आधार पर बहुलकों का वर्गीकरण कीजिए ।

भौतिक नियतांक :

$h = 6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ Js

$N_A = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ mol^{-1}

1 eV $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$k_B = 1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg