

No. of Printed Pages : 12

PHE-13

BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)

Term-End Examination

June, 2021

PHE-13 : PHYSICS OF SOLIDS

Time : 2 Hours

Maximum Marks : 50

Note : (i) *All questions are compulsory. However, internal choices are given.*

(ii) *You may use a calculator.*

(iii) *Symbols have their usual meanings.*

(iv) *The values of physical constants are given at the end.*

1. Attempt any **five** parts : 3 each

(a) Write down the Miller indices of a family of parallel planes which make intercepts of

$3a_1$, $4a_2$ and $4a_3$ on the x , y and z -axes respectively. Also calculate the interplanar distance given that the lattice constant is 3.0 \AA .

(b) From which of the following planes is X-ray reflection observed in a bcc crystal ?

(100), (200), (111)

Justify your answer.

(c) What is the limitation of Einstein's theory of heat capacity ? Write the basic assumptions of Debye's theory.

(d) State the shortcomings of the Drude-Lorentz's theory for electrical conductivity.

(e) The energy of an electron in a crystalline solid is given by :

$$E = \frac{12 \hbar^2 k^2}{m}$$

where k is the wave number. Calculate its velocity and effective mass.

P. T. O.

[3]

PHE-13

- (f) What is the critical magnetic field of a superconductor ? Distinguish between Type I and Type II superconductors.
- (g) Ni²⁺ and Fe²⁺ are both transition metals with same valences, but the magnetic moment of their ferrites are different. Explain why this is so.
- (h) What is the difference between piezoelectric and pyroelectric materials ? Give *one* example of each.

2. Attempt any *two* parts :

- (a) What is rotational symmetry in a lattice ? Show that five fold rotational symmetry is not possible in a 2D lattice. 1+4
- (b) The primitive translation vectors of a hexagonal direct lattice are :

$$\vec{a}_1 = a\hat{i}; \vec{a}_2 = \frac{a}{2}[\hat{i} + \sqrt{3}\hat{j}]; \vec{a}_3 = c\hat{k}$$

Calculate (i) the volume of the primitive cell and (ii) the primitive translation vectors of the reciprocal lattice. 5

P. T. O.

[4]

PHE-13

- (c) Write down the expression for the geometric structure factor for a bcc lattice and obtain the conditions governing the structure factor. 5

3. Attempt any *one* part : 5

- (a) Derive the dispersion relation for a linear chain of identical atoms.
- (b) The potential energy function for a system of atoms is given by :

$$u(r) = 4E \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

Calculate the minimum potential energy.

4. Answer any *two* parts :

- (a) Given the following expressions for the electron and hole concentrations in an intrinsic semiconductor :

$$\eta_e = N_C \exp \left[-\frac{(E_C - E_{Fi})}{k_B T} \right]$$

$$\eta_h = N_V \exp \left[-\frac{(E_{Fi} - E_V)}{k_B T} \right]$$

[5]

PHE-13

Derive an expression for the intrinsic Fermi level E_{Fi} , Where is the Fermi level located at $T = 0$? 4+1

- (b) Describe the experimental setup for the Hall effect experiment and derive an expression for the Hall coefficient. 2+3
- (c) On the basis of the Sommerfeld model, derive an expression for the allowed values of energy of an electron in a metal. 5

5. Answer any *two* parts :

- (a) Write down the typical structure for an inverse spinel ferrite. Calculate the magnetic moment of magnetite in units of Bohr magnetons. 1+4
- (b) Describe a photovoltaic solar cell with the help of a diagram. 5
- (c) Explain, with the help of a schematic diagram the float zone technique of crystal growth. 5

P. T. O.

[6]

PHE-13

Physical constants :

$$\hbar = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J-s}$$

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

PHE-13

विज्ञान स्नातक (बी. एस-सी.)

सत्रांत परीक्षा

जून, 2021

पी.एच.ई.-13 : घन अवस्था भौतिकी

समय : 2 घण्टे

अधिकतम अंक : 50

नोट : (i) सभी प्रश्न अनिवार्य हैं। परन्तु आन्तरिक विकल्प दिए गए हैं।

(ii) आप कैलकुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं।

(iii) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

(iv) भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिये गये हैं।

1. किन्हीं पाँच भागों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 3

(क) एक समांतर समतल समूह के मिलर सूचकांक लिखिए जो x, y और z -अक्षों को क्रमशः $3a_1, 4a_2$ और $4a_3$ पर प्रतिच्छेदित करते हैं।

P. T. O.

अंतसमतलीय दूरी भी परिकलित कीजिए यदि दिया गया हो कि जालक स्थिरांक 3.0 \AA है।

(ख) एक bcc क्रिस्टल में निम्नलिखित में से किन समतलों से एक्स-किरण परावर्तन प्रेक्षित होगा ?

(100), (200), (111)

अपना उत्तर समझाइए।

(ग) आइन्स्टीन के सिद्धान्त की कमी क्या है ? डिबाई सिद्धान्त की मूलभूत संकल्पनाएँ लिखिए।

(घ) वैद्युत चालकता के ड्रूडे-लॉरेन्ट सिद्धान्त की कमियाँ बताइए।

(ङ) क्रिस्टलीय ठोस में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा निम्नलिखित व्यंजक द्वारा परिभाषित है :

$$E = \frac{12h^2k^2}{m}$$

जहाँ k तरंग संख्या है। इलेक्ट्रॉन का प्रभावी द्रव्यमान और वेग परिकलित कीजिए।

(च) किसी अतिचालक का क्रांतिक चुम्बकीय क्षेत्र क्या होता है ? प्रारूप I और प्रारूप II अतिचालक में अन्तर बताइए।

(छ) Ni^{2+} और Fe^{2+} दोनों ही संक्रमण धातुएँ हैं, जिनकी संयोजकता बराबर हैं। समझाइए कि इनके फेराइट का चुम्बकीय आघूर्ण भिन्न क्यों है ?

(ज) दाब-विद्युत और ताप-विद्युत पदार्थों में अन्तर बताइए। प्रत्येक का एक उदाहरण दीजिए।

2. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए :

(क) जालक में घूर्णन सममिति क्या होती है ? सिद्ध कीजिए कि 2-D जालक में 5-वलन घूर्णन सममिति सम्भव नहीं है। 1+4

(ख) एक षट्कोणीय सामान्य जालक के अभाज्य स्थानांतरण सदिश निम्नलिखित हैं :

$$\vec{a}_1 = a\hat{i}; \vec{a}_2 = \frac{a}{2}[\hat{i} + \sqrt{3}\hat{j}]; \vec{a}_3 = c\hat{k}$$

इस जालक के (i) अभाज्य एकक कोष्ठिका का आयतन तथा (ii) व्युत्क्रम जालक के अभाज्य स्थानांतरण सदिश निर्धारित कीजिए। 5

(ग) bcc जालक के लिए ज्यामितीय संरचना गुणक का व्यंजक लिखिए और संरचना गुणक निर्धारित करने वाले प्रतिबंध प्राप्त कीजिए। 5

3. कोई एक भाग हल कीजिए : 5

(क) एक ही प्रकार के परमाणुओं की रेखीय शृंखला के लिए परिक्षेपण सम्बन्ध व्युत्पन्न कीजिए।

(ख) परमाणुओं की एक निकाय के लिए स्थितिज ऊर्जा फलन निम्नलिखित है :

$$u(r) = 4E \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा निर्धारित कीजिए।

4. कोई दो भाग हल कीजिए :

(क) एक नैज अर्धचालक में इलेक्ट्रॉनों और होलों की सान्द्रता के लिए अग्रलिखित व्यंजक दिए गए हैं :

[11]

PHE-13

$$\eta_e = N_C \exp \left[-\frac{(E_C - E_{Fi})}{k_B T} \right]$$

$$\eta_h = N_V \exp \left[-\frac{(E_{Fi} - E_V)}{k_B T} \right]$$

नैज फर्मी स्तर E_{Fi} का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।
 $T=0$ पर फर्मी स्तर कहाँ स्थित होगा ? 4+1

(ख) हॉल प्रभाव के लिए प्रायोगिक व्यवस्था का विवरण दीजिए और हॉल गुणांक का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 5

(ग) सोमरफेल्ड मॉडल के आधार पर किसी धातु में इलेक्ट्रॉन के लिए अनुमत ऊर्जा के मानों का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 5

5. कोई दो भाग हल कीजिए :

(क) एक प्रतिलोम स्पिनल फेराइट की प्रारूपिक संरचना लिखिए। बोर मैग्नेटॉन के पदों में मैग्नेटाइट का चुम्बकीय आघूर्ण परिकलित कीजिए। 1+4

P. T. O.

[12]

PHE-13

(ख) आरेख के साथ एक प्रकाश वोल्टीय सौर सेल का विवरण दीजिए। 5

(ग) व्यवस्था आरेख के साथ क्रिस्टल वृद्धि की प्लवी जोन तकनीक समझाइए। 5

भौतिक नियतांक :

$$\hbar = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J-s}$$

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

PHE-13