

**BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)**

**Term-End Examination**

**June, 2020**

**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) List the symmetry elements observed in benzene molecule.

- (b) Draw the (011) plane for a simple cubic crystal. Calculate the interplanar distance for a family of (011) planes in a cubic lattice with cube edge  $5 \text{ \AA}$ .
- (c) Explain hydrogen bonding with the example of the  $\text{H}_2\text{O}$  molecule.
- (d) List the *three* independent elastic stiffness constants for a cubic crystal and explain the significance of any *two*.
- (e) What are the limitations of the Drude-Lorentz theory?
- (f) Debye temperature for a metal is  $420 \text{ K}$ . Calculate the thermal energy of one mole of the metal at Debye temperature on the basis of classical theory of heat capacity.
- (g) Calculate the magnetic moments of magnetite  $[\text{Fe}^{2+} \text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4]$  in units of  $\mu_B$ .

- (h) Differentiate between piezoelectric and ferroelectric materials and give *one* example of each.

2. Attempt any *two* parts :

- (a) The primitive translation vectors of a lattice are :

5

$$\vec{a}_1 = \hat{i} + \hat{j}$$

$$\vec{a}_2 = \hat{j}$$

$$\vec{a}_3 = 2\hat{k}$$

Determine the primitive translation vectors of the reciprocal lattice corresponding to this lattice.

- (b) Determine the geometric structure factor of monoatomic diamond structure built around fcc lattice with the bases located at  $(0, 0, 0)$  and  $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$ . State the conditions on  $h, k, l$ .

5

- (c) Determine the value of  $\theta$  at which the first order peak on X-ray ( $\lambda = 1.53 \text{ \AA}$ ) diffraction corresponding to (1 1 1) planes of a simple cubic structure with the lattice constant  $a = 2.65 \text{ \AA}$ , is observed. Also determine the energy in eV corresponding to X-rays with  $\lambda = 1.53 \text{ \AA}$ . 3, 2

3. Attempt any *one* part :

- (a) The potential energy function for a lattice is given by :

$$\mu(r) = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}$$

Determine :

- (i) the intermolecular distance for which the potential energy is a minimum. 2
- (ii) the internuclear distance for which the potential energy is zero. 1
- (iii) The expression for minimum potential energy. 2
- (b) Derive an expression for the heat capacity of a solid on the basis of Debye's theory. 5

4. Answer any *two* parts :

(a) A 2-D square lattice has side  $4.0 \text{ \AA}$ . What will be the momentum of an electron whose wave terminates at the boundary of first Brillouin zone ? Also calculate energy of the electron. 3, 2

(b) Explain the Meissner effect and critical magnetic field for a superconductor. Draw the phase diagram for a superconductor. 2, 2, 1

(c) Show that at  $T = 0 \text{ K}$  Fermi energy of an intrinsic semi-conductor lies in the middle of the band gap. You may use the following expressions for the carrier concentrations : 5

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

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

5. Answer any *two* parts :
- (a) With the help of appropriate diagrams, explain the different types of point defects in a crystal. 5
- (b) Describe photolithographic method of fabrication of nanostructures. 5
- (c) List the properties of thin films and explain, how they are used as interference filters. 5

*Physical Constants :*

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

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

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

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

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

$$m_p = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

## PHE-13

विज्ञान स्नातक ( बी. एस-सी. )

सत्रांत परीक्षा

जून, 2020

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 प्रश्नों के उत्तर दीजिए : प्रत्येक 3

(क) बेन्जीन अणु के सममिति अवयवों को सूचीबद्ध कीजिए।

(ख) सरल घनीय क्रिस्टल के लिए (011) समतल आरेखित कीजिए।  $5 \text{ \AA}$  घन कोर वाले घनीय

- जालक में (011) समतलों के समूह के लिए अन्तरातलीय दूरी परिकलित कीजिए।
- (ग)  $H_2O$  अणु के उदाहरण के साथ हाइड्रोजन आबंधन समझाइए।
- (घ) घनीय क्रिस्टल के तीन स्वतंत्र प्रत्यास्थ दुर्नम्यता नियतांक सूचीबद्ध कीजिए और किन्हीं दो का महत्व बताइए।
- (ङ) ड्रूडे-लारेन्ट्स सिद्धान्त की कमियाँ क्या हैं, बताइए।
- (च) किसी धातु का डिबाई तापमान 420 K है। ऊष्माधारिता के चिरप्रतिष्ठित सिद्धान्त के आधार पर डिबाई तापमान पर धातु के एक मोल की ऊष्मीय ऊर्जा परिकलित कीजिए।
- (छ)  $\mu_B$  की इकाइयों में मैग्नेटाइट  $[Fe^{2+} Fe_2^{3+} O_4]$  का चुम्बकीय आघूर्ण परिकलित कीजिए।
- (ज) दाब विद्युत और लौह-विद्युत पदार्थों में अन्तर बताइए और प्रत्येक का एक उदाहरण दीजिए।



2. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए :

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

$$\vec{a}_1 = \hat{i} + \hat{j}$$

$$\vec{a}_2 = \hat{j}$$

$$\vec{a}_3 = 2\hat{k}$$

इस जालक के संगत व्युत्क्रम जालक के अभाज्य स्थानांतरण सदिश निर्धारित कीजिए।

(ख) fcc जालक वाली एक-परमाणवीय हीरक संरचना का ज्यामितीय संरचना गुणक निर्धारित कीजिए।

इसके आधार (0, 0, 0) और  $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$  पर

स्थित हैं।  $h, k, l$  पर लागू प्रतिबंधों को बताइए।

(ग) जालक नियतांक  $a = 2.65 \text{ \AA}$  वाले एक सरल घनीय जालक के (111) समतलों के संगत प्रथम कोटि एक्स-किरण ( $\lambda = 1.53 \text{ \AA}$ ) विवर्तन के लिए

कोण  $\theta$  का मान निर्धारित कीजिए।  $\lambda = 1.53 \text{ \AA}$   
तरंगदैर्घ्य वाले एक्स-किरणों के लिए eV की  
इकाइयों में ऊर्जा भी निर्धारित कीजिए।

3. कोई एक भाग हल कीजिए :

(क) एक जालक का स्थितिज ऊर्जा फलन  
निम्नलिखित है :

$$\mu(r) = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}$$

इसके लिए :

(i) अंतरा-अणुक दूरी जिसके लिए स्थितिज  
ऊर्जा का मान न्यूनतम हो, 2

(ii) अंतरा-नाभिक दूरी जिसके लिए स्थितिज  
ऊर्जा का मान शून्य हो, और 1

(iii) न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा का व्यंजक निर्धारित  
कीजिए। 2

(ख) डिबाई सिद्धान्त के आधार पर किसी ठोस की  
ऊष्माधारिता का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 5

4. कोई दो भाग हल कीजिए :

(क) द्विविमीय वर्गाकार जालक की एक भुजा की लम्बाई  $4.0 \text{ \AA}$  है। उस इलेक्ट्रॉन के संवेग का मान क्या होगा जिसका तरंग प्रथम ब्रिलुवां क्षेत्र की सीमा पर समाप्त होता है ? इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा भी परिकलित कीजिए। 3, 2

(ख) एक अतिचालक में माइस्नर प्रभाव और क्रान्तिक चुम्बकीय क्षेत्र समझाइए। अतिचालक का प्रावस्था आरेख भी बनाइए। 2, 2, 1

(ग) दिखाइए कि  $T = 0 \text{ K}$  पर एक नैज अर्धचालक का फर्मी स्तर बैंड अन्तराल के मध्य में स्थित होता है। आप चालक सांद्रताओं के लिए निम्नलिखित व्यंजकों का प्रयोग कर सकते हैं : 5

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

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

5. कोई दो भाग हल कीजिए :

(क) उपयुक्त आरेखों की सहायता से क्रिस्टल में पाये जाने वाले विभिन्न प्रकार के बिन्दु दोष समझाइए। 5

(ख) भा-अश्म लेखन (photolithography) विधि द्वारा नैनो संरचनाओं के निर्माण की विधि का विवरण दीजिए।

(ग) तनु फिल्मों के गुणधर्मों को सूचीबद्ध कीजिए और समझाइए कि इनका प्रयोग व्यतिकरण निस्पंदक (interference filter) के रूप में कैसे किया जाता है ? 5

**भौतिक नियतांक :**

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

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

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

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

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

$$m_p = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$