No. of Printed Pages : 10

PHE–13

BACHELOR OF SCIENCE

(B. Sc.)

Term-End Examination

December, 2024

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) List the symmetry elements of the benzene (C_6H_6) molecule.

   (b) Determine the Miller indices of a plane which intersects the three axes at the points $2a_1$, $2a_2$ and $3a_3$, respectively,

where $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ and $\vec{a}_3$ are basis vectors. Determine also the interplanar distance for this family of planes if the lattice constant a = 4.0 Å.

(c) For a transverse wave represented by the function $u_3 = u_0 \exp\left[i\left(kx - \omega t\right)\right]$, derive the expression for its velocity, using the relation $\xi \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} = \mathrm{C}_{44} \frac{\partial^2 u_3}{\partial x^2}$.

(d) Write down the electronic configuration of Ge (Z = 32). Explain what type of bonding would you expect in Germanium (Ge).

(e) The expression for the energy of an electron in a crystalline solid is $\frac{20\hbar^2 k^2}{m}$. Calculate its velocity and effective mass.

(f) Explain what are Type I and Type II super- conductors.

(g) Explain any *three* types of point defects in a crystal with the help of appropriate diagrams.

(h) Explain the classification of polymers on the basis of their structure.

2. Attempt any *two* parts : 5×2=10

(a) Define the atomic packing fraction for crystal lattice. Calculate the atomic packing fraction for a simple cubic lattice. 1+4

(b) Write down the primitive lattice vectors for a face centered cubic (fcc) structure. Determine its reciprocal lattice vectors. 1+4

(c) Determine the condition governing the geometric structure factor for a bcc lattice and list any *two* missing planes. 4+1

3. Attempt any *one* part : 5×1=5

(a) Calculate the Madelung constant for a hypothetical one-dimensional NaCl lattice.

(b) Derive the dispersion relation for the vibrations of a linear chain of identical atoms.

4. Answer any *two* parts : 5×2=10

(a) State the basic assumptions of the Sommerfeld model. Define Fermi energy. If the Fermi temperature of Na is 3.75×10^4 K, calculate the Fermi energy of Na. 2+1+2

(b) The electron and hole concentrations in an intrinsic semiconductor are given by :

$$n_e = \mathrm{N}_c \exp\left[-\frac{\left(\mathrm{E}_c - \mathrm{E}_{\mathrm{F}_i}\right)}{k_\mathrm{B}\mathrm{T}}\right]$$

and $$n_h = \mathrm{N}_v \exp\left[-\frac{\left(\mathrm{E}_{\mathrm{F}_i} - \mathrm{E}_v\right)}{k_\mathrm{B}\mathrm{T}}\right]$$

Derive an expression for the intrinsic Fermi energy $\mathrm{E}_{\mathrm{F}_i}$. Where is the Fermi level located at T = 0K ? 4+1

(c) A 2D square lattice has a side of length 4.0 Å. What is the momentum of an electron whose wave terminates at the boundary of the first Brillouin zone ? Also calculate the energy of the electrons (in eV). 2+3

5. Attempt any *two* parts : 5×2=10

(a) Determine the magnetic moment of $Ni^{2+}Fe_2^{3+}O_4$ in units of Bohr magneton. Note that is has an inverse spinel structure and Ni^{2+} has $4s^0 3d^8$ valence configuration.

(b) Describe the float zone technique of crystal growth.

(c) Describe the working of a photovoltaic solar cell.

Physical constants :

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

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

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

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

PHE–13

विज्ञान स्नातक (बी. एस-सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2024

भौतिक विज्ञान

पी.एच.ई.-13 : घन अवस्था भौतिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *सभी प्रश्न अनिवार्य हैं, किन्तु आन्तरिक 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. कोई ***पाँच*** भाग हल कीजिए : $5\times3=15$

(क) बेंजीन (C_6H_6) अणु के सममिति अवयवों को सूचीबद्ध कीजिए।

(ख) एक समतल तीनों अक्षों को क्रमशः $2a_1, 2a_2$ और $3a_3$ बिन्दुओं पर विच्छेदित करता है, जहाँ $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ एवं $\vec{a}_3$ बेसिस सदिश हैं। इस समतल

के मिलर सूचकांक निर्धारित कीजिए। यदि जालक स्थिरांक $a = 4.0\,\text{Å}$ हो, तो इस समतल समूह के लिए अंतरातलीय दूरी भी निर्धारित कीजिए।

(ग) फलन $u_3 = u_0 \exp\left[i\left(kx - \omega t\right)\right]$ द्वारा व्यक्त अनुप्रस्थ तरंग के लिए, निम्नलिखित संबंध,

$$\xi \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} = \mathrm{C}_{44} \frac{\partial^2 u_3}{\partial x^2}$$

का प्रयोग करके तरंग के वेग का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

(घ) $\mathrm{Ge}\ (\mathrm{Z} = 32)$ के लिए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए। जर्मेनियम (Ge) में किस प्रकार का आबंधन होगा, समझाइए।

(ङ) किसी क्रिस्टलीय ठोस में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का व्यंजक $\dfrac{20\hbar^2 k^2}{m}$ है। इलेक्ट्रॉन का वेग और प्रभावी द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

(च) प्ररूप I और प्ररूप II अतिचालक क्या होते हैं, समझाइए।

(छ) उपयुक्त आरेखों की सहायता से क्रिस्टल के किन्हीं **तीन** प्रकार के बिन्दु दोष समझाइए।

(ज) संरचना के आधार पर बहुलकों का वर्गीकरण समझाइए।

2. कोई **दो** भाग हल कीजिए : 5×2=10

(क) क्रिस्टल जालक के लिए परमाण्वीय संकुलन गुणक की परिभाषा दीजिए। सरल घनीय जालक के लिए परमाण्वीय संकुलन गुणक परिकलित कीजिए। 1+4

(ख) फलक केंद्रित घनीय (fcc) संरचना के लिए अभाज्य जालक सदिश लिखिए। इसके लिए व्युत्क्रम जालक सदिश निर्धारित कीजिए। 1+4

(ग) अंत:केंद्रित घनीय (bcc) जालक के लिए ज्यामितीय संरचना गुणक निर्धारित करने वाली प्रतिबंध की व्युत्पत्ति कीजिए और किन्हीं **दो** लुप्त समतलों को सूचीबद्ध कीजिए। 4+1

3. कोई **एक** भाग हल कीजिए : 5×1=5

(क) एक काल्पनिक एकविमीय NaCl जालक के लिए मेडलंग नियतांक परिकलित कीजिए।

(ख) एक ही प्रकार के परमाणुओं की रेखीय शृंखला के कम्पनों के लिए परिक्षेपण संबंध व्युत्पन्न कीजिए।

4. कोई **दो** भाग हल कीजिए : 5×2=10

(क) सोमरफैल्ड मॉडल की मूलभूत अभिधारणाएँ बताइए। फर्मी ऊर्जा की परिभाषा दीजिए। यदि Na का फर्मी तापमान 3.75×10^4 K हो, तो Na की फर्मी ऊर्जा परिकलित कीजिए। 2+1+2

(ख) किसी नैज अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन और होल की सान्द्रताओं के व्यंजक निम्नलिखित हैं :

$$n_e = \mathrm{N}_c \exp\left[-\frac{\left(\mathrm{E}_c - \mathrm{E}_{\mathrm{F}_i}\right)}{k_{\mathrm{B}}\mathrm{T}}\right]$$

तथा $$n_h = \mathrm{N}_v \exp\left[-\frac{\left(\mathrm{E}_{\mathrm{F}_i} - \mathrm{E}_v\right)}{k_{\mathrm{B}}\mathrm{T}}\right]$$

नैज फर्मी ऊर्जा $\mathrm{E}_{\mathrm{F}_i}$ का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। $\mathrm{T} = 0\mathrm{K}$ पर फर्मी स्तर कहाँ स्थिर होगा ? 4+1

(ग) किसी द्विविमीय वर्गाकार जालक की एक भुजा की लम्बाई 4.0Å है। उस इलेक्ट्रॉन के संवेग का मान क्या होगा जिसकी संगत तरंग, प्रथम ब्रिलुआँ क्षेत्र की सीमा पर समाप्त हो जाती है ? इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (eV की इकाइयों में) भी परिकलित कीजिए। 2+3

5. कोई **दो** भाग हल कीजिए : 5×2=10

(क) बोह्र मैग्नेटॉन की इकाइयों में $\mathrm{Ni}^{2+}\,\mathrm{Fe}_2^{3+}\mathrm{O}_4$ का चुम्बकीय आघूर्ण परिकलित कीजिए। ध्यान रहे कि इसकी संरचना प्रतिलोम स्पिनेल प्रकार की है और Ni^{2+} का संयोजकता विन्यास $4s^0\,3d^8$ है।

(ख) क्रिस्टल वृद्धि के प्लवी जोन (float zone) तकनीक का वर्णन कीजिए।

(ग) प्रकाश वोल्टीय सौर सेल (photovoltaic solar cell) की कार्यप्रणाली का विवरण दीजिए।

भौतिक नियतांक :

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

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

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

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

× × × × × × ×