No. of Printed Pages : 12

PHE–11

BACHELOR OF SCIENCE (B. SC.)

Term-End Examination

December, 2025

PHE-11 : MODERN PHYSICS

Time : 2 Hours *Maximum Marks : 50*

Note : *(i) Attempt all questions. The marks for each question are indicated against it.*

(ii) You may use a calculator.

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

(iv) Symbols have their usual meanings.

1. Attempt any *five* parts : 5×3=15

(a) A spaceship is moving relative to an observer with a speed v and the observer measures its length to be 24 m. If the length of the spaceship when it is at rest is 40 m, calculate v.

(b) Calculate the de Broglie's wavelength of a proton having energy 20 eV.

(c) Explain using the uncertainty principle why atoms in a solid at 0 K possess zero point energy.

(d) State Hund's rules for determining the lowest energy state for a multielectron atom.

(e) Write down the electronic configuration for Z = 32 and Z = 28.

(f) A charged particle at rest has a mean lifetime of 2.7×10^{-8} s. What is the mean lifetime measured by an observer at rest when the particle is moving relative to the observer with a speed of 0.8 c ?

(g) How long does it take for 80% of a sample of Sr^{90} to decay ? It is given that the half life of Sr^{90} is 28 days.

(h) Explain, whether the following decays are allowed or not :

(i) $p + n = p + \mu^+ + \mu^-$

(ii) $n \rightarrow p + e^- + \overline{\upsilon_e}$

(iii) $\pi^- + p \rightarrow p + \pi^+$

2. Answer any *one* part : 1×5=5

(a) Write down Lorentz transformation equations. Show that two events simultaneous in S which are separated by Δx in space will be separated in S' in both space and time, such that : 2+3

$$\Delta x' = \gamma \Delta x;\ \Delta t' = -\frac{\beta}{c}\gamma \Delta x$$

(b) Derive the relativistic energy-momentum relationship for a free particle. 5

3. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Write down the one-dimensional time-dependent Schrödinger equation for a particle of mass m moving in a potential

$V(x, t)$. For $V = V(x)$, derive the time-independent Schrödinger equation. What is a stationary state ? 1+3+1

(b) The wave function for a quantum particle of mass m, confined between $0 \leq x \leq L$ is : 5

$$\psi(x) = N \sin\left(\frac{4\pi x}{L}\right)$$

Calculate the normalization constant N.

(c) Show that : 5

$$[L_z, L_x] = i\hbar L_y$$

4. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) A particle of mass m is moving in a one-dimensional rectangular potential barrier defined by :

$$V(x) = \begin{cases} 0 , & x < -L \\ V_0 , & -L < x < L \\ 0 , & x > L \end{cases}$$

Write down the time-independent Schrödinger equation for

$$x < -L,\ -L < x < L \text{ and } x > L$$

and state the boundary conditions. Explain what is meant by quantum tunneling. 2+2+1

(b) Calculate the mean potential energy $< V >$ for a simple harmonic oscillator in its ground state defined by the wave function : 5

$$\psi_0(x) = \left(\frac{a}{\sqrt{\pi}}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-a^2x^2}{2}\right),$$

where $a^2 = \frac{m\omega}{\hbar}$ and $V(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$.

(c) Write down the electronic configuration of Si (Z = 14) and determine the spectral terms.

5. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Define multiplication factor for a nuclear chain reaction. Explain when a nuclear reactor will be critical, subcritical or supercritical. 2+3

(b) Describe the liquid drop model of fission. 5

(c) Explain the working of a bubble chamber. 5

Physical constants :

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ Js

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

$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

$c = 3 \times 10^{8}$ ms^{-1}

1 eV = 1.6×10^{-19} J

PHE–11

विज्ञान स्नातक (बी.एस.-सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2025

पी.एच.ई.-11 : आधुनिक भौतिकी

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *(i) सभी प्रश्न हल कीजिए। प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिए गए हैं।*

(ii) आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं।

(iii) भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं।

(iv) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

---

1. कोई **पाँच** भाग कीजिए : 5×3=15

(क) एक अंतरिक्ष यान किसी प्रेक्षक के सापेक्ष चाल v से गतिमान है और प्रेक्षक अंतरिक्ष यान की लम्बाई को 24 m मापता है। यदि विरामावस्था में अंतरिक्ष यान की लम्बाई 40 m हो, तो v का मान परिकलित कीजिए।

(ख) 20 eV ऊर्जा वाले एक प्रोटॉन का दी ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए।

(ग) अनिश्चितता के सिद्धान्त का प्रयोग करते हुए समझाइए कि 0 K पर किसी ठोस के परमाणुओं में शून्य बिन्दु ऊर्जा क्यों होती है।

(घ) किसी बहुइलेक्ट्रॉन परमाणु का न्यूनतम ऊर्जा स्तर प्राप्त करने के लिए हुण्ड के नियमों का कथन दीजिए।

(ङ) Z = 32 और Z = 28 के लिए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए।

(च) विरामावस्था में स्थित एक आवेशित कण का औसत जीवनकाल 2.7×10^{-8} s है। विरामावस्था में स्थित एक प्रेक्षक अपने सापेक्ष 0.8 c की चाल से गतिमान इस आवेशित कण का औसत जीवनकाल क्या मापेगा ?

(छ) Sr^{90} के एक नमूने के 80% भाग का क्षय होने में कितना समय लगेगा ? यह दिया गया है कि Sr^{90} की अर्ध–आयु 28 दिन है।

(ज) समझाइए कि निम्नलिखित क्षय अनुमत हैं अथवा नहीं :

(i) $p + n = p + \mu^+ + \mu^-$

(ii) $n \rightarrow p + e^- + \overline{\upsilon_e}$

(iii) $\pi^- + p \rightarrow p + \pi^+$

2. कोई **एक** भाग कीजिए : 1×5=5

(क) लॉरेंज रूपान्तरण समीकरण लिखिए। सिद्ध कीजिए कि तंत्र S में समकालिक दो घटनाएँ जो आकाश में दूरी Δx पर घट रही हैं, S' में दिक् और काल दोनों ही में, अलग-अलग बिन्दुओं पर घटेंगी और उनके सम्बन्ध निम्नलिखित होंगे : 2+3

$$\Delta x' = \gamma \Delta x; \; \Delta t' = -\frac{\beta}{c}\gamma \Delta x$$

(ख) मुक्त कण के लिए आपेक्षिकीय ऊर्जा-संवेग सम्बन्ध व्युत्पन्न कीजिए। 5

3. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) विभव $V(x, t)$ के अधीन गतिमान द्रव्यमान m वाले कण के लिए कालाश्रित एकविमीय श्रोडिंगर समीकरण

लिखिए। $V = V(x)$ के लिए काल–स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण व्युत्पन्न कीजिए। स्थायी अवस्था क्या होती है ? 1+3+1

(ख) $0 \leq x \leq L$ में परिबद्ध, द्रव्यमान m के एक क्वांटम कण का तरंग फलन निम्नलिखित है : 5

$$\psi(x) = N \sin\left(\frac{4\pi x}{L}\right)$$

प्रसामान्यीकरण नियंताक N परिकलित कीजिए।

(ग) सिद्ध कीजिए कि : 5

$$[L_z, L_x] = i\hbar L_y$$

4. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) द्रव्यमान m का एक कण एक एकविमीय आयताकार विभव रोधिका में गतिमान है, जो निम्नलिखित द्वारा परिभाषित है :

$$V(x) = \begin{cases} 0 , & x < -L \\ V_0 , & -L < x < L \\ 0 , & x > L \end{cases}$$

$x < -L$, $-L < x < L$ और $x > L$ के लिए काल-स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण लिखिए और परिसीमा प्रतिबंध बताइए। समझाइए कि क्वांटम सुरंगन का क्या अर्थ है। 2+2+1

(ख) मूल अवस्था में स्थित एक सरल आवर्ती दोलक के लिए औसत स्थितिज ऊर्जा $< V >$ परिकलित कीजिए। मूल अवस्था के लिए तरंग फलन निम्नलिखित है : 5

$$\psi_0(x) = \left(\frac{a}{\sqrt{\pi}}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-a^2x^2}{2}\right)$$

जहाँ $a^2 = \frac{m\omega}{\hbar}$ और $V(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$ है।

(ग) Si(Z = 14) का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए और स्पेक्ट्रमी पद प्राप्त कीजिए। 1+4

5. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) नाभिकीय शृंखला अभिक्रिया के लिए गुणन कारक की परिभाषा दीजिए। समझाइए कि एक न्यूक्लियर रिएक्टर कब क्रांतिक, उपक्रांतिक और अतिक्रांतिक होगा। 2+3

(ख) विखंडन के द्रव बूँद मॉडल का वर्णन कीजिए। 5

(ग) बुदबुद कोष्ठ (Bubble chamber) की कार्यप्रणाली को समझाइए। 5

भौतिक नियंताक :

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ Js

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

$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

$c = 3 \times 10^{8}$ ms^{-1}

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

× × × × ×