No. of Printed Pages : 12 **PHE–011**

BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)

Term-End Examination

June, 2026

PHE-011 : 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. Answer any *five* parts : 5×3=15

(a) State the postulates of the special theory of relativity. Suppose you are travelling towards a source of light in spaceship at a constant speed of 2.4×10^8 ms^{-1} as measured with respect to an inertial frame. What is the speed of light relative to you ?

(b) A rocket is moving with a speed of 0.8 c with respect to the earth in a certain direction. It is given an additional velocity of 0.2 c. Calculate its final velocity.

(c) The average kinetic energy of a molecule of an ideal gas is $\frac{3}{2} k_B T$. Calculate the average de Broglie wavelength of a molecule of the gas at 300 K, if the mass of the molecule is 5.31×10^{-26} kg. Take $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}.

(d) Given that the typical size of the atom is 1 Å, calculate the minimum energy for an electron in the atom.

(e) Write the values of l and m_l for $n = 3$ state of hydrogen atom. What is the degeneracy of the state ?

(f) Write the spectral terms for He (Z = 2).

(g) Classify the following particles as leptons, baryons and mesons :

$$e, \pi^{o}, n, \lambda, \eta^{o}, \mu$$

(h) State three applications of radioisotopes as tracers.

2. Answer any *one* part : 1×5=5

(a) Using Lorentz transformation equations, derive the relativistic velocity addition formula. 5

(b) The rest mass of a free proton is 938 MeV/c^2. A proton has a kinetic energy of 240 MeV. Calculate its total energy, relativistic mass and momentum. 1+2+2

Take 1 MeV = 1.6×10^{-13} J.

3. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) (i) State the probabilistic interpretation of the wave function.

(ii) If Ψ_1 (x, t) and Ψ_2 (x, t) are two solutions of one-dimensional Schrödinger equation. Show that a linear combination of Ψ_1 and Ψ_2 is also a solution of the same Schrödinger equation.

(b) Determine the normalization constant N for the following wave function 5

$$\Psi(x) = \mathrm{N}e^{-x}(1 - e^{-x}),\ 0 < x < \infty$$

(c) Calculate the expectation value of x for the wave function 5

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\mathrm{L}}}\sin\left(\frac{\pi x}{\mathrm{L}}\right),\ 0 < x < \mathrm{L}$$

4. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) A particle of mass m is moving in a one-dimensional potential well defined as :

$$\mathrm{V}(x) = \begin{cases} \mathrm{V}_0 & x < -\mathrm{L} \\ 0 & -\mathrm{L} < x < \mathrm{L} \\ \mathrm{V}_0 & x > \mathrm{L} \end{cases}$$

Write down the time-independent Schrödinger equation in all three regions. State the boundary conditions. Obtain the general solution for $-\mathrm{L} < x < \mathrm{L}$. 2+1+2

(b) Write down the Schrödinger equation for a particle of mass m in a simple harmonic oscillator potential. Write the energy of the eigen states of this Hamiltonian. Calculate $\langle p_x \rangle$ for the ground state harmonic oscillator wave function

$$\Psi_0(x) = \left(\frac{a}{\sqrt{\pi}}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-a^2x^2}{2}\right)$$

where $a^2 = \frac{m\omega}{\hbar}$. 1+1+3

(c) State the selection rules for x-ray spectra. Using Moseley's law, obtain the frequency of an X-ray line when L to k transition takes place in a silver atom. Take $\sigma = 3$, R = 13.6 eV and the atomic number for silver to be 47.

5. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) A sample containing 0.2 mg of Th^{230} undergoes 4.0×10^6 disintegrations per minute. Calculate the half life of this nuclide.

(b) Describe the shell model of the nucleus.

(c) Draw a schematic diagram of the nuclear reactor depicting its general features. Explain the functions of its blanket and reflector.

Physical constants :

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

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

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

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

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

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

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$

PHE–011

विज्ञान स्नातक (बी-एस. सी.)

सत्रांत परीक्षा

जून, 2026

पी.एच.ई.-011 : 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. किन्हीं **पाँच** भागों के उत्तर दीजिए : $5 \times 3 = 15$

(क) आपेक्षिकता के विशिष्ट सिद्धांत के अभिगृहित बताइए। मान लीजिए कि आप एक अंतरिक्ष यान में स्थित प्रकाश की एक स्रोत की ओर एक जड़त्वीय तंत्र के सापेक्ष $2.4 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ की अचर चाल से गतिमान हो। आपके सापेक्ष प्रकाश की चाल क्या होगी ?

(ख) एक रॉकेट, पृथ्वी के सापेक्ष निश्चित दिशा में, 0.8 c चाल से गतिमान है। उसे 0.2 c का अतिरिक्त वेग दिया जाता है। उसका अंतिम वेग परिकलित कीजिए।

(ग) आदर्श गैस के एक अणु की औसत गतिज ऊर्जा $\frac{3}{2} k_B T$ होती है। 300 K तापमान पर गैस के एक अणु का औसत डी ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए यदि अणु का द्रव्यमान 5.31×10^{-26} kg है। $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1} लें।

(घ) यदि दिया गया हो कि एक परमाणु का प्ररूपी माप 1 Å है, तो परमाणु में स्थित एक इलेक्ट्रॉन की न्यूनतम ऊर्जा परिकलित कीजिए।

(ङ) हाइड्रोजन परमाणु की $n = 3$ अवस्था के लिए l और m_l के मान लिखिए। इस अवस्था की अपभ्रष्टता क्या होगी ?

(च) He (Z = 2) के स्पेक्ट्रमी पद लिखिये।

(छ) निम्नलिखित कणों को लेप्टॉन, बेरिऑन और मीसॉन में वर्गीकृत कीजिए :

$$e, \pi^o, n, \lambda, \eta^o, \mu$$

(ज) ट्रेसर के रूप में रेडियोआइसोटॉप के **तीन** अनुप्रयोग बताइए।

2. कोई **एक** भाग कीजिए : 1×5=5

(क) लॉरेंज रूपान्तरण समीकरणों का प्रयोग करते हुए, आपेक्षिकीय वेग योग संबंध व्युत्पन्न कीजिए। 5

(ख) एक मुक्त प्रोटॉन का विराम द्रव्यमान 938 MeV/c^2 है। यदि प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा 240 MeV हो, तो प्रोटॉन की कुल ऊर्जा, आपेक्षिकीय द्रव्यमान और संवेग परिकलित कीजिए। 1 MeV = 1.6×10^{-13} J लीजिए। 1+2+2

3. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) (i) तरंग फलन की सांख्यिकीय व्याख्या कीजिए।

(ii) यदि $\Psi_1(x, t)$ और $\Psi_2(x, t)$ किसी एकविम श्रोडिंगर समीकरण के दो हल हैं, तो सिद्ध कीजिए कि Ψ_1 और Ψ_2 का कोई एकघान संचय (Linear combination) भी उसी श्रोडिंगर समीकरण का हल होगा।

(ख) निम्नलिखित तरंग फलन के लिए प्रसामान्यीकरण नियतांक निर्धारित कीजिए : 5

$$\Psi(x) = \mathrm{N}e^{-x}(1 - e^{-x}),\ 0 < x < \infty$$

(ग) निम्नलिखित तरंग फलन के लिए x का प्रत्याशा मान परिकलित कीजिए : 5

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\mathrm{L}}}\sin\left(\frac{\pi x}{\mathrm{L}}\right),\ 0 < x < \mathrm{L}$$

4. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) द्रव्यमान m का एक कण निम्नलिखित परिभाषित एकविम विभव

$$\mathrm{V}(x) = \begin{cases} \mathrm{V}_0 & x < -\mathrm{L} \\ 0 & -\mathrm{L} < x < \mathrm{L} \\ \mathrm{V}_0 & x > \mathrm{L} \end{cases}$$

में गतिमान है। तीनों क्षेत्रों के काल–स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण लिखिए और परिसीमा प्रतिबंध लिखिए। $-\mathrm{L} < x < \mathrm{L}$ के लिए व्यापक हल प्राप्त कीजिए। 2+1+2

(ख) सरल आवर्ती दोलक विभव में स्थित द्रव्यमान m वाले कण के लिए श्रोडिंगर समीकरण लिखिए। इस हैमिल्टोनियम के आइगेन अवस्थाओं की ऊर्जा लिखिए। सरल आवर्ती दोलक के निम्नलिखित मूल अवस्था तरंग फलन के लिए $\langle p_x \rangle$ परिकलित कीजिए : 1+1+3

$$\Psi_0(x) = \left(\frac{a}{\sqrt{\pi}}\right)^{1/2} \exp\left(\frac{-a^2x^2}{2}\right)$$

जहाँ $a^2 = \dfrac{m\omega}{\hbar}$

(ग) X-किरण स्पेक्ट्रम के लिए वरण नियम लिखिए। मोज़ले के नियम का इस्तेमाल करके चाँदी के परमाणु के लिए L से K संक्रमण होने पर उत्पन्न X-किरण रेखा की आवृत्ति प्राप्त कीजिए। $\sigma = 3$, R = 13.6 eV और चाँदी का परमाणु संख्या 47 लें। 2+3

5. कोई **दो** भाग कीजिए : 2×5=10

(क) एक नमूने में, जिसमें ^{230}Th की 0.2 mg मात्रा है, प्रति मिनट में 4.0×10^6 अपघटन होते हैं। इस न्यूक्लिआइड की अर्ध–आयु परिकलित कीजिए।

(ख) नाभिक के कोश मॉडल का विवरण दीजिए।

(ग) नाभिकीय रिएक्टर के सामान्य लक्षण दिखाते हुए उसका व्यवस्था आरेख बनाइए। उसके समाच्छद और परावर्तक के प्रकार्य बताइए।

भौतिक नियतांक :

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

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

1 eV = 1.6×10^{-19} J

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

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

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

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$

× × × × ×