

BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)

Term-End Examination

December, 2023

(Physics)

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. Answer any **five** parts : 3 each
- (a) Show that the Lorentz transformation reduces to the Galilean transformation for $v \ll c$.
- (b) The proper length of a rod is L . Its length is measured to be $\frac{3}{5}L$ in a reference frame that is moving with respect to the rod. What is the speed of the moving reference frame ?

- (c) The average lifetime of an excited atom is 2×10^{-8} s. Calculate the minimum uncertainty in its energy and the order of the natural line width of the line emitted by the atom.
- (d) Is the following wave function physically permissible? Give reasons :

$$\psi(x) = N \frac{e^{-x^2}}{(x^2 - a^2)}, \quad -\infty < x < \infty.$$

- (e) State the selection rules for allowed transitions in multi-electron atoms. Is the transition ${}^3S_1 \rightarrow {}^1S_0$ allowed?
- (f) At what potential difference should an X-ray tube operate to produce X-rays with a minimum wavelength of 2\AA ?
- (g) Calculate the binding energy for ${}^9_4\text{Be}$ in MeV give that :

$$M({}^9_4\text{Be}) = 9.0122 u, M_p = 1.0073 u,$$

$$M_n = 1.0087 u, M_e = 0.0005 u$$

and $1 u = 931 \text{ MeV}$.

- (h) Give the charge, baryon number and spin of a photon and a proton.

2. Attempt any **one** part :

- (a) A reference frame S' moves with a uniform velocity $V\hat{i}$ relative to a reference frame S .

If a particle is moving with a velocity \vec{v}

relative to the frame S, determine its velocity \vec{v}' relative to the S' frame. 5

- (b) The rest mass of a free proton is $938 \text{ MeV}/c^2$. If the proton has a kinetic energy of 300 MeV , calculate its (i) rest mass (ii) total energy and (iii) linear momentum. 2+1+2

3. Attempt any **two** parts : 5 each

- (a) An increase of 200 eV in the energy of an electron reduces its de Broglie wavelength by a factor of 2. Calculate the initial deBroglie wavelength of the electron.

- (b) The wave function of a particle is given by :

$$\psi(x) = \begin{cases} N(a^2 - x^2), & \text{for } -a \leq x \leq a \\ 0 & , \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

Determine the normalisation constant N.

- (c) Show that :

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

4. Attempt any **one** part :

- (a) Write down the time independent Schrödinger equation for a free particle confined to a length segment between $x = 0$ and $x = L$. State the boundary conditions. Obtain the general solution of the equation. Obtain the energy eigen values and eigen functions. Determine the normalization constant. 1+1+5+3

- (b) (i) Calculate the average potential energy of a harmonic oscillator in its ground state which has the wave function : 6

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

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

- (ii) Obtain the spectral terms for Si (Z = 14). 4

5. Attempt any *two* parts : 5 each

- (a) Describe the working of the Wilson Cloud Chamber.
- (b) What do you understand by the term radioactive equilibrium ? Obtain the condition for equilibrium in the decay of ^{238}U .
- (c) Draw a schematic diagram of a nuclear reactor depicting its main features. What is function of control rods in a nuclear reactor ?

Physical constants :

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

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

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

PHE-11

विज्ञान स्नातक (बी. एस-सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2023

(भौतिकी विज्ञान)

पी.एच.ई.-11 : आधुनिक भौतिकी

समय : 2 घण्टे

अधिकतम अंक : 50

नोट : (i) सभी प्रश्न 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 दिये गये हैं।

(iv) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

1. कोई **पाँच** भाग हल कीजिए : प्रत्येक 3

(क) सिद्ध कीजिए कि $v \ll c$ के लिए, लॉरेंज रूपांतरण गैलीलीय रूपांतरण में समानीत हो जाता है।

(ख) किसी छड़ की उचित लंबाई L है। छड़ के सापेक्ष गतिमान किसी निर्देश तंत्र में छड़ की

लंबाई $\frac{3}{5}L$ मापी जाती है। गतिमान निर्देश तंत्र की चाल क्या है ?

- (ग) किसी उत्तेजित परमाणु का औसत जीवनकाल $2 \times 10^{-8} s$ है। उसकी ऊर्जा में न्यूनतम अनिश्चितता और परमाणु द्वारा उत्सर्जित रेखा की प्राकृतिक चौड़ाई की कोटि परिकलित कीजिए।
- (घ) क्या निम्नलिखित तरंग फलन भौतिकतः अनुमत है ? कारण बताइए :

$$\psi(x) = N \frac{e^{-x^2}}{(x^2 - a^2)}, -\infty < x < \infty$$

- (ङ) बहु-इलेक्ट्रॉन परमाणु में अनुमत संक्रमणों के वरण नियम बताइए। क्या संक्रमण $^3S_1 \rightarrow ^1S_0$ अनुमत है ?
- (च) न्यूनतम तरंगदैर्घ्य 2 \AA की X-किरणें उत्पन्न करने के लिए एक X-किरण नलिका को किस विभवांतर पर क्रियान्वित किया जाना चाहिये ?
- (छ) MeV की इकाइयों में ^9_4Be के लिए बंधन ऊर्जा परिकलित कीजिए यदि दिया गया हो कि :

$$M(^9_4\text{Be}) = 9.0122 u, M_p = 1.0073 u,$$

$$M_n = 1.0087 u, M_e = 0.0005 u$$

और $1 u = 931 \text{ MeV}$

(ज) फोटॉन और प्रोटॉन के लिए आवेश, बेरिऑन संख्या और स्पिन लिखिये।

2. कोई एक भाग हल कीजिए :

(क) निर्देश तंत्र S' , निर्देश तंत्र S के सापेक्ष एकसमान वेग $V\hat{i}$ से गतिमान है। यदि एक कण S तंत्र के सापेक्ष वेग \vec{v} से गतिमान हो, तो इस कण का S' तंत्र के सापेक्ष वेग \vec{v}' निर्धारित कीजिए। 5

(ख) किसी मुक्त प्रोटॉन का विराम द्रव्यमान $938 \text{ MeV}/c^2$ है। यदि प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा 300 MeV हो, तो उसका (i) विराम द्रव्यमान (ii) कुल ऊर्जा और (iii) रैखिक संवेग परिकलित कीजिए। 2+1+2

3. कोई दो भाग हल कीजिए : प्रत्येक 5

(क) इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में 200 eV की वृद्धि से उसकी दे ब्रांग्ली तरंगदैर्घ्य दो के गुणक से कम हो जाती है। इलेक्ट्रॉन की प्रारंभिक दे ब्रांग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए।

(ख) किसी कण का तरंग फलन निम्नलिखित है :

$$\psi(x) = \begin{cases} N(a^2 - x^2), & -a \leq x \leq a \text{ के लिए} \\ 0, & \text{अन्यथा} \end{cases}$$

प्रसामान्यीकरण नियतांक N निर्धारित कीजिए।

(ग) सिद्ध कीजिए कि :

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

4. कोई एक भाग हल कीजिए :

(क) $x = 0$ और $x = L$ के बीच स्थित रेखाखंड में परिरुद्ध एक मुक्त कण के लिए काल स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण लिखिये। इसके लिए परिसीमा प्रतिबंध लिखिये। इस समीकरण का व्यापक हल प्राप्त कीजिए। ऊर्जा आइगेन मान और आइगेन फलन प्राप्त कीजिए। प्रसामान्यीकरण नियतांक निर्धारित कीजिए।

1+1+5+3

(ख) (i) मूल अवस्था में स्थित आवर्ती दोलक के लिए औसत स्थितिज ऊर्जा परिकलित कीजिए। मूल अवस्था का तरंग फलन निम्नलिखित है : 6

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

$$\text{जहाँ } a^2 = \frac{m\omega}{\hbar}$$

(ii) Si ($Z = 14$) के लिए स्पेक्ट्रमी पद प्राप्त कीजिए।

4

5. कोई दो भाग कीजिए :

प्रत्येक 5

(क) विल्सन मेघ कक्ष की कार्यविधि को समझाइए।

- (ख) रेडियोएक्टिव साम्यावस्था से आप क्या समझते हैं ? ^{238}U के क्षय के लिए साम्यावस्था का प्रतिबंध प्राप्त कीजिए।
- (ग) एक नाभिकीय रिएक्टर के प्रमुख लक्षणों को दिखाते हुए उसका व्यवस्था आरेख बनाइए। नाभिकीय रिएक्टर में नियंत्रक दंड के क्या प्रकार्य हैं, बताइए।

भौतिक नियतांक :

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

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

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