

## BACHELOR OF SCIENCE (B. Sc.)

## Term-End Examination

June, 2023

## 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) Symbols have their usual meanings.

(iii) You may use a calculator.

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

1. Answer any **five** parts : 3 each
- (a) A particle has linear momentum of magnitude  $1.8 \times 10^{-21}$  kg ms<sup>-1</sup> at a speed of 0.9 c. Calculate its rest mass.

- (b) Calculate the de Broglie wavelength of a 500 eV electron. Take  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ .
- (c) The average lifetime of an excited atom is  $10^{-10}$  s. Calculate the uncertainty in energy.
- (d) The half life of a radioactive element is 2 years. Calculate the time required for 30% of the element to decay.
- (e) Calculate the energy eigen value for the  $n = 1$  state for an electron in a one-dimensional box of length 1 Å.
- (f) A scale of proper length 2.0 m measures 1.0 m in a reference frame moving with respect to the scale. What is the speed of the moving frame ?
- (g) Write the selection rules for the allowed transitions in hydrogen-like atoms.
- (h) State any *three* applications of radioisotopes as tracers.

2. Attempt any **one** part :
- (a) Write down Lorentz transformation equations. The coordinates of an event in an inertial frame S are :
- $$x = 1.5 \times 10^9 \text{ m}, y = 0, z = 0, t = 10 \text{ s}$$
- Determine the coordinates of the event in the inertial frame S' moving at a speed of  $\frac{3c}{5}$  with respect to the frame S. 1+4
- (b) Derive the relation between the relativistic energy and momentum of a free particle. 5
3. Attempt any **two** parts : 5 each
- (a) Show that the expectation values of a Hermitian operator are real.
- (b) The wave function of a moving particle is given by :

$$\phi = N x \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right)$$

Determine the normalization constant N.

- (c) Prove the Ehrenfest theorem :

$$\frac{d\langle x \rangle}{dt} = \frac{1}{m} \langle P_x \rangle$$

4. Attempt any **two** parts : 5 each
- (a) State Hund's rules. Apply them and obtain the ground state spectral term for  $Z = 14$ .
- (b) Show that for a 1s electron in the hydrogen atom, the average value of  $\frac{1}{r}$  is  $\frac{1}{a_0}$  when the wave function is :
- $$\psi = e^{-r/a_0} / (\sqrt{\pi} a_0^{3/2})$$
- (c) Use Moseley's law to obtain the frequency of X-ray line in sodium ( $Z = 11, \sigma = 3$ ) for the L to K transition.
5. Attempt any **two** parts :
- (a) Explain the liquid drop model of fission with the help of suitable diagrams. 5
- (b) Draw a labelled schematic diagram of a nuclear reactor showing its main parts. What is the function of a moderator? 4+1

- (c) Draw the curve showing binding energy per nucleon as a function of mass number.

Write *three* main features of this curve.

**Physical constants :**

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J-s}$$

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

$$m_p = 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n = 1.6747 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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

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

$$R = 13.6 \text{ eV}$$

## PHE-11

विज्ञान स्नातक ( बी. एस-सी. )

सत्रांत परीक्षा

जून, 2023

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) प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं।

(iii) आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं।

(iv) भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिये गये हैं।

1. कोई पाँच भाग कीजिए : प्रत्येक 3
- (क)  $0.9c$  की चाल से गतिमान एक कण के रैखिक संवेग का मान  $1.8 \times 10^{-21} \text{ kg ms}^{-1}$  है। कण का विराम द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

- (ख) 500 eV ऊर्जा वाले एक इलेक्ट्रॉन का डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए।  
 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  लें।
- (ग) एक उत्तेजित परमाणु का औसत जीवनकाल  $10^{-10} \text{ s}$  है। ऊर्जा में अनिश्चितता परिकलित कीजिए।
- (घ) एक रेडियोएक्टिव तत्व की अर्ध-आयु 2 वर्ष है। इस तत्व के 30% भाग का क्षय होने में लगे समय की गणना कीजिए।
- (ङ) लंबाई  $1 \text{ \AA}$  वाले एकविमीय बॉक्स में इलेक्ट्रॉन के  $n = 1$  स्तर का ऊर्जा आइगेन मान परिकलित कीजिए।
- (च) उचित लंबाई 2.0 m वाले स्केल के सापेक्ष गतिमान निर्देश-तंत्र में उसकी लंबाई 1.0 m मापी जाती है। गतिमान निर्देश तंत्र की चाल क्या है ?
- (छ) हाइड्रोजन-सम परमाणुओं में अनुमत संक्रमणों के लिए वरण नियम लिखिये।
- (ज) ट्रेसर के रूप में रेडियोआइसोटोपों के कोई तीन अनुप्रयोग बताइए।

2. कोई एक भाग कीजिए :
- (क) लॉरेंज रूपांतरण समीकरण लिखिये। एक जड़त्वीय तंत्र S में किसी घटना के निर्देशांक निम्नलिखित हैं :
- $$x = 1.5 \times 10^9 \text{ m}, y = 0, z = 0, t = 10 \text{ s}$$
- S के सापेक्ष  $\frac{3c}{5}$  की चाल से गतिमान जड़त्वीय तंत्र S' में इस घटना के निर्देशांक निर्धारित कीजिए।
- (ख) एक मुक्त कण की आपेक्षिकीय ऊर्जा और रैखिक संवेग में सम्बन्ध व्युत्पन्न कीजिए।
3. कोई दो भाग कीजिए :
- (क) सिद्ध कीजिए कि हर्मिटी संकारक के प्रत्याशा मान वास्तविक होते हैं।

(ख) एक गतिमान कण का तरंग फलन निम्नलिखित है :

$$\psi = N \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right)$$

प्रसामान्यीकरण नियतांक N की गणना कीजिए।

(ग) निम्नलिखित एहरेनफेस्ट प्रमेय को सिद्ध कीजिए :

$$\frac{d\langle x \rangle}{dt} = \frac{1}{m} \langle P_x \rangle$$

4. कोई दो भाग कीजिए : प्रत्येक 5

(क) हुण्ड के नियम बताइए। उनका प्रयोग करके  $Z = 14$  की मूल अवस्था के लिए स्पेक्ट्रमी पद ज्ञात कीजिए।

(ख) सिद्ध कीजिए कि एक हाइड्रोजन परमाणु में  $1s$  इलेक्ट्रॉन के लिए  $\frac{1}{r}$  का औसत मान  $\frac{1}{a_0}$  है,

जहाँ तरंग फलन निम्नलिखित है :

$$\psi = e^{-r/a_0} / (\sqrt{\pi} a_0^{3/2})$$

(ग) मोजले नियम का प्रयोग करके सोडियम ( $Z = 11, \sigma = 3$ ) के लिए  $L$  से  $K$  संक्रमण होने पर उत्पन्न X-किरण रेखा की आवृत्ति प्राप्त कीजिए।

5. कोई दो भाग कीजिए :

(क) उचित आरेखों के साथ विखंडन का द्रव बूँद मॉडल समझाइए। 5

(ख) एक नाभिकीय रिएक्टर का लेबलित व्यवस्था चित्र बनाइए और उसमें उसके मुख्य घटक दिखाइए। बताइए कि विमदंक का क्या उपयोग होता है। 4+1

(ग) द्रव्यमान संख्या के फलन के रूप में प्रति न्यूक्लिऑन बंधन-ऊर्जा का वक्र आरेखित कीजिए। उसके तीन प्रमुख लक्षण लिखिये। 2+3

भौतिक नियतांक :

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J-s}$$

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

$$m_p = 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n = 1.6747 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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

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

$$R = 13.6 \text{ eV}$$