

**BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)**

**Term-End Examination**

**December, 2018**

01322

**PHYSICS**

**PHE-11 : MODERN PHYSICS**

*Time : 2 hours*

*Maximum Marks : 50*

---

**Note :** Attempt *all* questions. The marks for each question are indicated against it. Symbols have their usual meanings. You may use non-programmable calculators or log tables. The values of physical constants are given at the end.

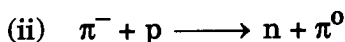
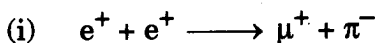
---

1. Answer any *five* parts :

5×4=20

- (a) A rocket of proper length 40 m is observed to be 32 m long as it passes an observer. Calculate the speed of the rocket relative to the observer.
- (b) Green light has a wavelength of 550 nm. Through what potential difference must an electron be accelerated to have this wavelength ?
- (c) How accurately can the position of a non-relativistic proton be determined without giving it more than 1.0 keV kinetic energy ?

- (d) Using the properties of the wave function, state which of the following wave function(s) cannot be solution(s) of Schrödinger's equation for all values of  $x$  : (i)  $Ae^{x^2}$  and (ii)  $Ae^{-x^2}$ . Give reasons for your answer.
- (e) Obtain the ground state spectral term for  $Z = 12$ .
- (f) Calculate the activity of 1.0 mg of  $^{222}\text{Rn}$ , whose atomic mass is 222 u and half-life is 3.8 days.
- (g) Are the following reactions possible ? Give reasons for your answer.



2. A reference frame  $S'$  moves with a uniform velocity  $\hat{V}$  relative to the reference frame  $S$ . A particle moves with a velocity  $\vec{v}$  relative to the  $S$  frame. Show that the components of its velocity  $\vec{v}'$  relative to the  $S'$  frame are

5

$$v_x' = \frac{v_x - V}{1 - \frac{v_x V}{c^2}}; \quad v_y' = \frac{v_y}{\gamma \left(1 - \frac{v_x V}{c^2}\right)};$$

$$v_z' = \frac{v_z}{\gamma \left(1 - \frac{v_x V}{c^2}\right)}, \quad \text{where } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

OR

In a certain inertial reference frame, a particle is measured to have a total energy of 5 GeV and a momentum of  $\frac{3 \text{ GeV}}{c}$ . Calculate

- (a) the rest mass of the particle in units of  $\frac{\text{GeV}}{c^2}$  and  
 (b) the velocity of the particle. 3+2

3. Answer any *one* part (a) or (b) :

- (a) (i) The wave function of a particle confined in a length  $0 < x < L$  is

$$\psi(x) = A \left[ \sin \frac{\pi x}{L} + \sin \frac{2\pi x}{L} \right].$$

Obtain the normalization constant. 5

- (ii) Show that  $[L_x, p_y] = i\hbar p_z$  5

- (b) (i) In a region of space, a particle has a wave function  $\psi(x) = Ne^{-x^2/2L^2}$  and energy  $E = \frac{\hbar^2}{2mL^2}$ . Use time independent Schrödinger equation to determine the potential energy of the

particle as a function of  $x$ . 5

- (ii) For an observable  $A$  which does not depend explicitly on time, show that

$$\frac{d}{dt} \langle A \rangle = \frac{1}{i\hbar} \langle [A, H] \rangle$$

Hence, show that

$$\frac{d}{dt} \langle x \rangle = \frac{1}{m} \langle p_x \rangle. \quad 5$$

4. Answer any **one** part, (a) or (b) :

(a) A free particle is trapped in a length segment lying between  $x = 0$  and  $x = a$ . Derive the expressions for eigen functions and eigen energies of the particle. Determine the normalization constant and the expectation value of the momentum. 5+3+2

(b) (i) Determine the expectation value of  $r$  for the ground state of the hydrogen atom given by the wave function : 5

$$\psi(r) = \frac{1}{(\pi a_0^3)^{1/2}} e^{-r/a_0}$$

(ii) Use Moseley's law to calculate the wavelength of the  $K_\alpha$  line for molybdenum ( $Z = 42$ ). Take  $\sigma = 1$  and  $R = 13.6 \text{ eV}$ . 5

5. Describe the shell model for atomic nuclei. 5

**OR**

Draw a schematic diagram of a nuclear reactor depicting its general features. State the functions of control rods and the blanket. 3+2

**Physical Constants :**

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

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

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

विज्ञान स्नातक (बी.एस सी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2018

भौतिक विज्ञान

पी.एच.ई.-11 : आधुनिक भौतिकी

समय : 2 घण्टे

अधिकतम अंक : 50

नोट : सभी प्रश्न कीजिए । प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिए गए हैं । प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं । आप अप्रोग्रामीय कैल्कुलेटरों अथवा लॉग सारणियों का प्रयोग कर सकते हैं । भौतिक स्थिरांकों के मान अंत में दिए गए हैं ।

1. किन्हीं पाँच भागों के उत्तर दीजिए :

5×4=20

(क) उचित लंबाई 40 m वाले रॉकेट की लंबाई एक प्रेक्षक द्वारा 32 m मापी जाती है जब रॉकेट उसके पास से गुज़रता है । प्रेक्षक के सापेक्ष रॉकेट की चाल परिकल्पित कीजिए ।

(ख) हरे प्रकाश का तरंगदैर्घ्य 550 nm है । एक इलेक्ट्रॉन का तरंगदैर्घ्य इसके बराबर हो, इसके लिए उसे कितने विभवांतर द्वारा त्वरित किया जाना चाहिए ?

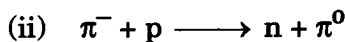
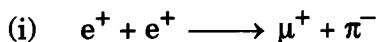
(ग) एक गैर-आपेक्षिकीय प्रोटॉन, जिसको 1.0 keV से अधिक गतिज ऊर्जा नहीं दी जाए, की स्थिति को कितनी परिशुद्धता तक मापा जा सकता है ?

(घ) तरंग फलन के गुणधर्मों का प्रयोग करके बताइए कि  $x$  के सभी मानों के लिए निम्नलिखित में से कौन-सा/कौन-से तरंग फलन श्रोडिन्गर समीकरण का/के हल नहीं हो सकता/सकते : (i)  $Ae^{x^2}$  और (ii)  $Ae^{-x^2}$ . अपने उत्तर के कारण लिखिए ।

(ङ)  $Z = 12$  के लिए मूल अवस्था का स्पेक्ट्रमी पद प्राप्त कीजिए ।

(च)  $^{222}\text{Rn}$  की 1.0 mg मात्रा की सक्रियता की गणना कीजिए, जिसका परमाण्वीय द्रव्यमान 222 u है और अर्ध-आयु 3.8 दिन है ।

(छ) क्या निम्नलिखित अभिक्रियाएँ संभव हैं ? अपने उत्तर के कारण लिखिए ।



2. निर्देश तंत्र  $S$  के सापेक्ष निर्देश तंत्र  $S'$  एकसमान वेग  $V\hat{i}$  से गतिमान है । एक कण वेग  $\vec{v}$  से तंत्र  $S$  के सापेक्ष गतिमान है । सिद्ध कीजिए कि तंत्र  $S'$  के सापेक्ष कण के वेग  $\vec{v}'$  के घटक हैं :

$$v_x' = \frac{v_x - V}{1 - \frac{v_x V}{c^2}}; \quad v_y' = \frac{v_y}{\gamma \left(1 - \frac{v_x V}{c^2}\right)};$$

$$v_z' = \frac{v_z}{\gamma \left(1 - \frac{v_x V}{c^2}\right)}, \text{ जहाँ } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

अथवा

किसी जड़त्वीय निर्देश तंत्र में एक कण की कुल ऊर्जा 5 GeV और संवेग  $\frac{3 \text{ GeV}}{c}$  मापे जाते हैं ।

(क)  $\frac{\text{GeV}}{c^2}$  की इकाई में कण का विराम द्रव्यमान परिकलित कीजिए और

(ख) कण का वेग परिकलित कीजिए ।

3+2

3. किसी एक भाग (क) या (ख) का उत्तर दीजिए :

(क) (i) लंबाई  $0 < x < L$  में परिरुद्ध एक कण का तरंग फलन है :

$$\psi(x) = A \left[ \sin \frac{\pi x}{L} + \sin \frac{2\pi x}{L} \right].$$

फलन का प्रसामान्यीकरण नियतांक प्राप्त कीजिए । 5

(ii) सिद्ध कीजिए कि  $[L_x, p_y] = i\hbar p_z$  5

(ख) (i) समष्टि के एक क्षेत्र में, एक कण का तरंग फलन

$$\psi(x) = N e^{-x^2/2L^2} \quad \text{है और ऊर्जा}$$

$$E = \frac{\hbar^2}{2mL^2} \quad \text{है । काल स्वतंत्र श्रोडिन्गर}$$

समीकरण का प्रयोग करके,  $x$  के फलन के रूप

में कण की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए । 5

(ii) एक प्रेक्षणीय राशि  $A$  जो समय पर स्पष्ट रूप से निर्भर नहीं करती, के लिए सिद्ध कीजिए कि

$$\frac{d}{dt} \langle A \rangle = \frac{1}{i\hbar} \langle [A, H] \rangle$$

अतएव सिद्ध कीजिए कि

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

5

4. किसी एक भाग (क) या (ख) का उत्तर दीजिए :

(क) एक मुक्त कण  $x = 0$  और  $x = a$  के बीच स्थित रेखा खंड में परिरुद्ध है। कण के आइगेन फलनों और आइगेन ऊर्जाओं के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। प्रसामान्यीकरण नियतांक ज्ञात कीजिए और संवेग का प्रत्याशा मान ज्ञात कीजिए।

5+3+2

(ख) (i) हाइड्रोजन परमाणु की मूल अवस्था

$$\psi(r) = \frac{1}{(\pi a_0^3)^{1/2}} e^{-r/a_0}$$

के लिए  $r$  का प्रत्याशा मान ज्ञात कीजिए।

5

(ii) मोज़ले नियम का प्रयोग करके, मॉलिब्डेनम ( $Z = 42$ ) के लिए  $K_{\alpha}$  रेखा के तरंगदैर्घ्य की गणना कीजिए।  $\sigma = 1$  और  $R = 13.6 \text{ eV}$  लीजिए।

5

5. परमाण्वीय नाभिकों के कोश मॉडल का वर्णन कीजिए।

5

अथवा

एक नाभिकीय रिएक्टर के सामान्य लक्षण दिखाते हुए उसका आरेख खींचिए। नियंत्रण दंड और समाच्छद के कार्य बताइए।

3+2

**भौतिक स्थिरांक :**

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

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

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$