No. of Printed Pages : 10

PHE-11

BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

Term-End Examination, 2019

PHYSICS

PHE-11 : MODERN PHYSICS

Time : 2 Hours] **[Maximum Marks : 50**

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

1. Attempt **any five** parts : [2x5=10]

   (a) At what speed would an object have to travel in order to increase its mass by 50% ?

   (b) What should be the kinetic energy of a proton such that its wavelength is 1.0nm ?

   (c) An unstable atomic state has a lifetime of $\tau = 1 \times 10^{-3} s$. Determine the minimum uncertainty in the energy of this state.

(d) Determine all the spectral terms for n=3 for a hydrogen like atom.

(e) At what potential difference must an X-ray tube operate to produce X-rays with a minimum wavelength of 3Å ?

(f) Explain why the following decays are forbidden :

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

(ii) $n \rightarrow p^+ + e^-$

(g) The half life of Zn-71 is 2.4 minutes. If 100g of Zn was present at the beginning of the decay, how much would be left after 7.2 minutes ?

2. Attempt **any two** parts : [5x2=10]

(a) Derive the relativistic energy - momentum relation for a free particle.

(b) S and S' are two inertial frames such that S' moves with a uniform velocity $v\hat{i}$ with respect to S. A rod of proper length L_0 lies in the x'y' plane of its rest frames S' and makes the angle θ_0 with the x'-axis. Using the Lorentz transformation

determine the length and orientation of the rod in the inertial frames.

(c) (i) A space probe is receding from the earth at a speed of 0.4c. It sends a radio wave message to earth at a frequency of 1.50 GHz. At what frequency is the message received on earth ? [3]

(ii) Why do we not observe the effects of time dilation in everyday phenomena ? [2]

3. Attempt **any two** parts : [5x2=10]

(a) A particle of mass m is described by the wave function :

$$\psi(x) = \begin{cases} 2\sqrt{a^3}\,x e^{-ax} & , \quad x > 0 \\ 0 & , \quad x < 0 \end{cases}$$

Determine whether the wave function is normalized or not.

(b) Show that the expectation value of a Hermitian operator is real.

(c) Show that $[L_z, L_x] = i\hbar L_y$.

4. Attempt **any one** part : [10]

(a) Obtain the solutions of the Schrödinger equation for a particle in a one-dimensional potential well defined as :

$V = V_0$, $x < -L$

$V = 0$, $-L < x < L$

$V = V_0$, $x > L$

Show that the Hamiltonian of the System commutes with the parity operator. Hence write the eigenfunctions for the system. [6+2+2]

(b) (i) Obtain the average value of r and potential energy $V(r) = -\frac{e^2}{r}$ of a hydrogen atom in its ground state :

$$\psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$ [7]

(ii) For the wave function $\Psi_{n\ell m}$ of the hydrogen atom, show that there are 4 degenerate eighenfunctions corresponding to n = 2. [3]

5. Attempt **any two** parts : [5x2=10]

(a) Define mass defect and binding energy. The atomic mass of $_8O^{16}$ is 16u. Calculate its mass defect and binding energy given that m_p=1.00757 u, m_n = 1.00893 u, m_e = 0.0005486u and 1u = 931MeV. [2+3]

(b) With the help of a schematic diagram, explain how energy is generated in a controlled manner in a nuclear reactor. State the importance of control rods. [4+1]

(c) With the help of a labelled diagram explain the working of a cyclotron. Derive an expression for the radius of the path of the particle inside the cyclotron. [3+2]

Physical Constants :

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

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

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

$m_p = 1.6725 \times 10^{-27}$ kg

----- x -----

पी.एच.ई.-11

विज्ञान स्नातक (बी.एस.सी.)

सत्रांत परीक्षा, 2019

भौतिकी विज्ञान

पी.एच.ई.- 11 : आधुनिक भौतिकी

समय : 2 घण्टे **अधिकतम अंक : 50**

नोट : **सभी** प्रश्नों के उत्तर दीजिए। प्रत्येक प्रश्न के अंक उसके सामने दिये गये हैं। आप कैल्कुलेटर का प्रयोग कर सकते हैं। प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं। भौतिक स्थिरांकों के मान अंत में दिये गए हैं।

---

1. **किन्हीं पाँच** भागों के उत्तर दीजिए : [2x5=10]

(क) उस चाल का मान ज्ञात कीजिए जिससे गतिमान होने पर एक वस्तु का द्रव्यमान 50% बढ़ जाए।

(ख) 1.0 nm तरंगदैर्घ्य वाले एक प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा का मान क्या होगा ?

(ग) एक अस्थायी परमाणवीय अवस्था का जीवनकाल $\tau = 1 \times 10^{-3}$ s है। इस अवस्था की ऊर्जा में न्यूनतम अनिश्चितता ज्ञात कीजिए।

(घ) एक हाइड्रोजन-सम परमाणु के लिये n=3 के लिये सभी स्पेक्ट्रमी पद निर्धारित कीजिए।

(ङ) न्यूनतम तरंगदैर्ध्य 3A की X-किरणें उत्पन्न करने के लिये X-किरण नलिका को किस विभवांतर पर क्रियान्वित किया जाना चाहिए ?

(च) समझाइये कि निम्नलिखित क्षय प्रतिक्रियाएँ वर्जित क्यों हैं :

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

(ii) $n \rightarrow p^+ + e^-$

(छ) Zn-71 की अर्द्धआयु 2.4 मिनट है। यदि क्षय प्रारम्भ होने के समय Zn का परिमाण 100g हो, तो ज्ञात कीजिए कि 7.2 मिनट के बाद Zn का परिमाण कितना होगा ?

2. **कोई दो** भाग कीजिए : [5x2=10]

(क) एक मुक्त कण के लिये आपेक्षकीय ऊर्जा और संवेग का संबंध व्युत्पन्न कीजिए।

(ख) S और S' दो जड़त्वीय निर्देश तंत्र हैं। S', S के सापेक्ष एक समान वेग $v\hat{i}$ से गतिमान है। उचित लम्बाई L_0 की एक छड़ अपने विराम तंत्र S' के x'y' तल में स्थित है और x'-अक्ष से कोण θ_0 बनाती है। लॉरेंज रूपांतरण का प्रयोग करते हुए इस छड़ का तंत्र S में लम्बाई और अभिविन्यास निर्धारित कीजिए।

(ग) (i) एक अंतरिक्ष अन्वेषी 0.4c. की चाल से पृथ्वी से दूर जा रहा है उससे 1.50 GHz की आवृत्ति पर पृथ्वी को एक रेडियो तरंग संदेश भेजा जाता है। ज्ञात कीजिए कि वह संदेश पृथ्वी पर किस आवृत्ति पर अभिग्रहित होता है ? [3]

(ii) कालवृद्धि का प्रभाव हमें रोज़ाना की परिघटनाओं में क्यों नहीं दिखाई देता है ? [2]

3. **कोई दो** भाग कीजिए : [5x2=10]

(क) द्रव्यमान m का एक कण निम्नलिखित तरंग फलन द्वारा निरूपित है :

$$\psi(x) = \begin{cases} 2\sqrt{a^3}\, x e^{-ax} & , \quad x > 0 \\ 0 & , \quad x < 0 \end{cases}$$

निर्धारित कीजिए कि यह तरंग फलन प्रसामान्यीकृत है या नहीं।

(ख) दिखाइये कि एक हर्मिटी संकारक का प्रत्याशा मान वास्तविक होता है।

(ग) सिद्ध कीजिए कि $[L_z, L_x]\, i\hbar\, L_y$.

4. **कोई एक** भाग कीजिए : [10]

(क) निम्नलिखित रूप से परिभाषित एक एकविमीय विभव कूप में स्थित एक कण के लिये श्रोडिंगर समीकरण का हल प्राप्त कीजिए :

$V = V_0, x < -L$

$V = 0, -L < x < L$

$V = V_0, x > L$

दिखाइये कि इस निकाय का हैमिल्टोनियम पैरिटी संकारक से कम्यूट करता है। इस नतीजे का प्रयोग कर निकाय के हाइगेन फलन निर्धारित कीजिए। [6+2+2]

(ख) (i) हाइड्रोजन परमाणु के मूल अवस्था के लिये r और स्थितिज ऊर्जा $V(r) = -\frac{e^2}{r}$ के औसत मान प्राप्त कीजिए, यदि तरंग फलन निम्नलिखित हो : [7]

$$\psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

(ii) हाइड्रोजन परमाणु के तरंग फलन $\Psi n\ell m$ के लिये सिद्ध कीजिए कि n=2 के लिये 4 अपभ्रष्ट आइगेन फलन होते हैं। [3]

5. **कोई दो** भाग कीजिए : [5x2=10]

(क) द्रव्यमान क्षति और बंधन ऊर्जा की परिभाषा दीजिए। ${}_8O^{16}$ का परिमाण्विक भाग 16u है। इसकी द्रव्यमान भार और बंधन ऊर्जा परिकलित कीजिए यदि दिया गया हो कि :

m_p=1.00757u, m_n = 1.00893u, m_e = 0.0005486u and 1u = 931MeV [2+3]

(ख) एक व्यवस्था चित्र की सहायता से समझाइये कि एक नाभिकीय रिएक्टर में किस प्रकार ऊर्जा एक नियंत्रित तरीके से उत्पन्न होती है। नियंत्रक दंडों का महत्व बताइये। [4+1]

(ग) एक चिह्नित आरेख की सहायता से साइक्लोट्रॉन की क्रियाविधि समझाइये। साइक्लोट्रान के अन्दर के कण के पथ की त्रिज्या का व्यंजक प्राप्त कीजिए। [3+2]

भौतिक स्थिरांक :

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

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

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

$m_p = 1.6725 \times 10^{-27}$ kg

----- x -----