

BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

Term-End Examination

01702

June, 2017

PHYSICS

PHE-11 : MODERN PHYSICS

Time : 2 hours

Maximum Marks : 50

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

1. Answer any **five** parts :

5×3=15

- (a) The average lifetime of a π -meson at rest is 26 ns. The meson is moving with a speed of $0.9c$ with respect to the Earth. Calculate its lifetime as measured by an observer at rest on the Earth.
- (b) Show that in the limit $v \ll c$, the expression for the relativistic kinetic energy approaches the classical kinetic energy.

- (c) Write down the probabilistic interpretation of the wave function.
- (d) The lifetime of an excited state is 8 ns. If this is the uncertainty in photon emission, calculate the uncertainty in the frequency ($\Delta\nu$).
- (e) Draw approximate energy levels for the L and K shells and show all the allowed transitions.
- (f) State whether or not the following reactions are allowed :
- (i) $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$
- (ii) $\bar{\lambda}_0 \rightarrow p + \pi^-$
- (g) List three applications of radioisotopes as tracers.
- (h) The mean life of a radioactive element is 14 months. Calculate the time required for 75% of the element to decay.

2. Answer any *one* part :

$1 \times 10 = 10$

- (a) (i) A particle moves with a uniform velocity \vec{v} relative to the S-frame. Derive an expression for its velocity relative to a frame S' which is moving with a uniform velocity $V\hat{i}$ relative to the S-frame.



- (ii) A person on the moon observes two spaceships moving towards him from opposite directions at speeds of $0.7c$ and $0.8c$, respectively. Calculate the relative speed of the two spaceships as measured by an observer on either one. **6+4**
- (b) (i) Using the expression for the relativistic linear momentum of a particle and the mass-energy equivalence, derive an expression relating the energy and momentum of a relativistic free particle.
- (ii) Calculate the potential difference through which a proton must be accelerated to achieve a speed of $0.6c$. (Rest mass of the proton is 938 MeV) **6+4**
- 3. Answer any two parts : 2×5=10**

- (a) In a region of space, a particle with mass m and zero energy has a time independent wave function :

$$\Psi(x) = A x e^{-x^2/L^2}$$

where A and L are constants. Use the Schrödinger equation to determine the potential energy of the particle.

- (b) A photon and an electron each have an energy of 6.0×10^3 eV. Calculate their respective wavelengths. Which of these could be used to probe atomic structures? Explain.
- (c) Prove the Ehrenfest theorem for the position operator :

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

4. Answer any *one* part :

$1 \times 10 = 10$

- (a) Write down the Schrödinger equation for a one-dimensional harmonic oscillator with an angular frequency ω . Calculate the mean potential energy of a simple harmonic oscillator in its ground state :

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

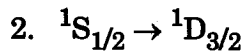
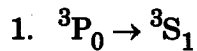
$$\text{where } a^2 = \frac{m\omega}{\hbar}.$$

What is the energy eigenvalue of the ground state? Is the ground state of even parity or odd parity?

$2+6+1+1$

(b) (i) Write down the time independent Schrödinger equation for the hydrogen atom. Explain the significance of the three quantum numbers in the eigenfunctions of the hydrogen atom. 2+3

(ii) State with reasons whether the following transitions for a multi-electron atom are allowed or not : 5



5. Answer any *one* part : 1×5=5

(a) Sketch the binding energy/nucleon as a function of the mass number. How can it be used to explain the fission and fusion phenomena ? 3+2

(b) With the help of a diagram, explain the working of a cyclotron. 5

Physical Constants :

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

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

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



विज्ञान स्नातक (बी.एस सी.)

सत्रांत परीक्षा

जून, 2017

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 । भौतिक नियतांकों के मान अंत में दिए गए हैं । प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं ।

1. किन्हीं पाँच भागों के उत्तर दीजिए :

5×3=15

(क) विरामावस्था में स्थित एक π -मेसॉन का औसत जीवनकाल 26 ns है । मेसॉन पृथ्वी के सापेक्ष 0.9 c की चाल से गतिमान है । पृथ्वी पर स्थित एक विरामस्थ प्रेक्षक द्वारा मापा गया उसका जीवनकाल परिकलित कीजिए ।

(ख) सिद्ध कीजिए कि $v \ll c$ की सीमा में आपेक्षिकीय गतिज ऊर्जा का व्यंजक क्लासिकी गतिज ऊर्जा की ओर प्रवृत्त होता है ।

- (ग) तरंग फलन की प्राथिकतात्मक व्याख्या लिखिए ।
- (घ) एक उत्तेजित अवस्था का जीवनकाल 8 ns है । यदि यह फोटॉन के उत्सर्जन में अनिश्चितता है, तो उसकी आवृत्ति ($\Delta\nu$) में अनिश्चितता परिकलित कीजिए ।
- (ङ) L और K कोशों के लिए सन्निकट ऊर्जा स्तर आरेख खींचिए और उसमें सभी अनुमत संक्रमणों को दिखाइए ।
- (च) बताइए कि निम्नलिखित अभिक्रियाएँ अनुमत हैं अथवा नहीं :
- (i) $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$
- (ii) $\bar{\lambda}_0 \rightarrow p + \pi^-$
- (छ) ट्रेसरों के रूप में रेडियोआइसोटोपों के तीन अनुप्रयोग सूचीबद्ध कीजिए ।
- (ज) एक रेडियोएक्टिव तत्व की औसत आयु 14 महीने है । परिकलित कीजिए कि तत्व के 75% के क्षय होने में कितना समय लगेगा ।

2. किसी एक भाग का उत्तर दीजिए :

$1 \times 10 = 10$

- (क) (i) एक कण S-तंत्र के सापेक्ष एकसमान वेग \vec{v} से चलता है । S-तंत्र के सापेक्ष एकसमान वेग $V\hat{i}$ से चल रहे तंत्र S' के सापेक्ष कण के वेग के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए ।

- (ii) चंद्रमा पर स्थित एक व्यक्ति दो अंतरिक्षयानों को विपरीत दिशाओं से अपनी तरफ आते हुए देखता है । उनकी चालें क्रमशः $0.7c$ और $0.8c$ हैं । किसी एक अंतरिक्षयान पर स्थित प्रेक्षक दोनों अंतरिक्षयानों की आपेक्षिक चाल क्या मापेगा, परिकलित कीजिए ।

6+4

- (ख) (i) एक कण के आपेक्षिकीय रैखिक संवेग के व्यंजक और द्रव्यमान-ऊर्जा के बीच तुल्यता सम्बन्ध का प्रयोग करके, एक आपेक्षिकीय मुक्त कण के ऊर्जा और संवेग के सम्बन्ध का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए ।

- (ii) परिकलित कीजिए कि एक प्रोटॉन को कितने विभवांतर से त्वरित करना होगा जिससे कि वह $0.6c$ की चाल प्राप्त करे । (प्रोटॉन का विराम द्रव्यमान 938 MeV है)

6+4

3. किन्हीं दो भागों के उत्तर दीजिए :

$2 \times 5 = 10$

- (क) समष्टि के एक प्रदेश में, एक कण का द्रव्यमान m है और उसकी ऊर्जा शून्य है । उसका काल स्वतंत्र तरंग फलन निम्नलिखित है :

$$\Psi(x) = A x e^{-x^2/L^2},$$

जहाँ A और L अचर हैं । श्रोडिन्गर समीकरण का प्रयोग कर कण की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए ।

(ख) एक फोटॉन और एक इलेक्ट्रॉन, दोनों की ऊर्जाएँ $6.0 \times 10^3 \text{ eV}$ हैं। दोनों के तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए। परमाण्विक संरचनाओं के अन्वेषण के लिए आप इनमें से किसका प्रयोग कर सकते हैं? समझाइए।

(ग) स्थिति संकारक के लिए एहरेनफेस्ट प्रमेय को सिद्ध कीजिए :

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

4. किसी एक भाग का उत्तर दीजिए :

$1 \times 10 = 10$

(क) कोणीय आवृत्ति ω वाले एक एकविम सरल आवर्त दोलक के लिए श्रोडिन्गर समीकरण लिखिए। सरल आवर्त दोलक की मूल अवस्था :

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

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

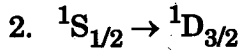
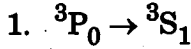
के लिए औसत स्थितिज ऊर्जा परिकलित कीजिए।

मूल अवस्था के लिए ऊर्जा आइगेनमान क्या है? मूल

अवस्था सम-पैरिटी की है या विषम-पैरिटी की? $2+6+1+1$

(ख) (i) हाइड्रोजन परमाणु के लिए काल स्वतंत्र श्रोडिन्गर समीकरण लिखिए । हाइड्रोजन परमाणु के आइगेनफलनों में तीनों क्वांटम संख्याओं की सार्थकता समझाइए । 2+3

(ii) कारण सहित बताइए कि एक बहु-इलेक्ट्रॉन परमाणु में निम्नलिखित संक्रमण अनुमत हैं या नहीं : 5



5. किसी एक भाग का उत्तर दीजिए : 1×5=5

(क) द्रव्यमान संख्या के फलन के रूप में प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा का आरेख खींचिए । संगलन और विखंडन परिघटनाओं को समझने में इसका प्रयोग किस प्रकार से किया जा सकता है ? 3+2

(ख) आरेख की सहायता से एक साइक्लोट्रॉन की कार्यप्रणाली समझाइए । 5

भौतिक नियतांक :

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

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

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