No. of Printed Pages : 13 **BPHET–141**

BACHELOR OF SCIENCE (GENERAL) (BSCG)

Term-End Examination

December, 2024

BPHET–141 : ELEMENTS OF 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 : 5×2=10

(a) What is relativity of simultaneity ? 2

(b) The kinetic energy of a relativistic particle is 100 MeV. What is its total energy (in MeV) if its rest mass is 938 MeV/c^2 ? 2

(c) Calculate the energy (in eV) of a photon that has wavelength 3 nm. 2

(d) The uncertainty in the position of a microscopic particle is 0.1 m. What is the uncertainty in its momentum ? 2

(e) Determine the eigen value of the operator $\hat{p}_x$ for the wave function : 2

$$\psi = Ae^{i(kx+\omega t)}$$

(f) Write the time-independent Schrödinger equation for a free particle confined in the length L and the expression for its energy.

1+1

(g) An element characterised by A = 232 and Z = 90 loses 6 alpha and 4 beta particles in a decay process. What will the final stable product be ? 2

(h) State the condition for a nuclear fission chain reaction to be self-sustained. 2

2. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) What is length contraction ? Calculate the length of an object as measured by an observer moving at the speed 0.8 c (i) parallel and (ii) perpendicular with respect to the frame in which the object is at rest and of length 2.0 m. 2+2+1

(b) Derive the relativistic velocity addition formulae. 5

(c) Write the relativistic energy-momentum relation for a free particle. Hence, explain the concept of a massless particle. Give *two* examples of a massless particle. 1+3+1

3. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) What are matter waves ? Determine the phase velocity and group velocity of matter waves associated with a free particle having velocity v. 2+3

(b) Write the one-dimensional time-dependent Schrödinger equation for a particle of mass m moving in a potential V (x, t). Deduce the time-independent Schrödinger equation from it for a particle having constant energy E and subject to a potential V (x). 1+4

(c) Calculate the commutator : 5

$$\left[c_0 + c_1\hat{x} + c_2\hat{x}^2, \hat{p}_x\right]$$

where c_0, c_1 and c_2 are constants.

4. Answer any *one* part : 1×10=10

(a) Write the expression for a one-dimensional step potential having a non-zero value V_0 in the region $x > 0$. Obtain the general solution of the time-independent Schrödinger equation for a particle of mass m in this step potential given that its energy is less than V_0. 2+8

(b) Define the one-dimensional potential barrier of height V_0 in the region $0 \le x \le R$. Solve the time-independent Schrödinger equation for this potential and obtain the general solution for a particle of mass m when its energy $E > V_0$. 2+8

5. Answer any *two* parts : 2×5=10

(a) Calculate the disintegration rate of 1 g of ^{131}I (in curies), given that its half life is 8.05 days. What is the safe dose of ^{131}I used for medical treatment and the corresponding disintegration rate ? 4+1

(b) Calculate the binding energy (in MeV) of $^{4}_{2}He$ based on (i) mass defect and (ii) semi-empirical mass formula and compare the two. It is given that : $m_n = 1.008665\ u$, $M(^1H) = 1.007825\ u$, $M(^4_2He) = 4.002604\ u$ and $1\ u = 931.5\ MeV/c^2$. 2+2+1

(c) What is the source of energy in the Sun ? Give the relevant reactions and state the Q value. 1+3+1

Values of Physical constants :

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

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ J-s

$1\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J

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

Avogadro's constant $N_A = 6.022 \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$

BPHET–141

विज्ञान स्नातक (सामान्य)

(बी.एस-सी.जी.)

सत्रांत परीक्षा

दिसम्बर, 2024

बी.पी.एच.ई.टी.–141 : आधुनिक भौतिकी के तत्व

समय : 2 घण्टे *अधिकतम अंक : 50*

नोट : *(i) सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिए। 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 दिए गए हैं।

---

1. किन्हीं **पाँच** भागों के उत्तर दीजिए : 5×2=10

(क) समकालिकता की आपेक्षिकता क्या है ? 2

(ख) एक आपेक्षिकीय कण की गतिज ऊर्जा 100 MeV है। यदि उसका विराम द्रव्यमान 938 MeV/c^2 हो, तो (MeV में) उसकी कुल ऊर्जा क्या है ? 2

(ग) एक फोटॉन जिसकी तरंगदैर्घ्य 3 nm है, की ऊर्जा (eV में) परिकलित कीजिए। 2

(घ) एक सूक्ष्म–दर्शी कण की स्थिति में अनिश्चितता 0.1 m है। उसके संवेग में कितनी अनिश्चितता है ? 2

(ङ) निम्नलिखित तरंग फलन के लिए संकारक $\hat{p}_x$ का आइगेन मान ज्ञात कीजिए : 2

$$\psi = Ae^{i(kx+\omega t)}$$

(च) लंबाई L में परिरुद्ध एक मुक्त कण के लिए काल–स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण और उसकी ऊर्जा का व्यंजक लिखिए। 1+1

(छ) $A = 232$ और $Z = 90$ वाले एक तत्व के क्षय प्रक्रम में 6 अल्फा और 4 बीटा कण उत्सर्जित होते हैं। अंतिम स्थायी उत्पाद क्या होगा ? 2

(ज) एक नाभिकीय विखंडन शृंखला अभिक्रिया के स्वपोषी होने की शर्त लिखिए। 2

2. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : $2 \times 5 = 10$

(क) दैर्घ्य संकोच क्या होता है ? एक प्रेक्षक द्वारा मापी गई एक पिंड की लंबाई की गणना कीजिए जबकि वह $0.8\ c$ की चाल से उस तंत्र के सापेक्ष (i) समांतर और (ii) लंबवत् गतिमान हो जिसमें वह पिंड विरामावस्था में है और उसकी लंबाई 2.0 m है। 2+2+1

(ख) आपेक्षिकीय वेग योग फॉर्मूला व्युत्पन्न कीजिए। 5

(ग) एक मुक्त कण के लिए आपेक्षिकीय ऊर्जा–संवेग संबंध लिखिए। अतएव, एक द्रव्यमान रहित कण की अवधारणा को समझाइए। द्रव्यमान रहित कण के **दो** उदाहरण दीजिए। 1+3+1

3. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : 2×5=10

(क) द्रव्य तरंगें क्या होती हैं ? वेग V वाले एक मुक्त कण से संबद्ध द्रव्य तरंग के प्रावस्था वेग और समूह वेग ज्ञात कीजिए। 2+3

(ख) विभव $V(x, t)$ में गतिमान द्रव्यमान m के कण के लिए एकविम कालाश्रित श्रोडिंगर समीकरण लिखिए। अचर ऊर्जा E वाले कण के लिए जो विभव $V(x)$ में स्थित हो, कालाश्रित श्रोडिंगर समीकरण से काल–स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण प्राप्त कीजिए। 1+4

(ग) निम्नलिखित कम्यूटेटर की गणना कीजिए : 5

$$\left[c_0 + c_1\hat{x} + c_2\hat{x}^2, \hat{p}_x\right]$$

जहाँ c_0, c_1 और c_2 अचर हैं।

4. किसी **एक** भाग का उत्तर दीजिए : 1×10=10

(क) एक एकविम सोपान विभव का, जिसका क्षेत्र $x > 0$ में शून्येतर मान V_0 हो, व्यंजक लिखिए। इस सोपान विभव में स्थित द्रव्यमान m के कण के लिए काल-स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण का व्यापक हल प्राप्त कीजिए जबकि उसकी ऊर्जा V_0 से कम हो। 2+8

(ख) क्षेत्र $0 \le x \le R$ में ऊँचाई V_0 वाली एकविम विभव रोधिका को परिभाषित कीजिए। इस विभव में स्थित द्रव्यमान m वाले कण के लिए काल-स्वतंत्र श्रोडिंगर समीकरण का व्यापक हल प्राप्त कीजिए जबकि उसकी ऊर्जा $E > V_0$ हो।

2+8

5. किन्हीं **दो** भागों के उत्तर दीजिए : 2×5=10

(क) (क्यूरी में) ^{131}I के 1 g की क्षयता दर की गणना कीजिए जबकि दिया है कि उसकी अर्ध–आयु 8.05 दिन है। चिकित्सा में ^{131}I की सुरक्षित मात्रा और संगत क्षयता दर क्या होती है ? 4+1

(ख) (MeV में) $^{4}_{2}He$ की (i) द्रव्यमान क्षति और (ii) अर्द्ध–आनुभविक संहति फॉर्मूला पर आधारित बंधन ऊर्जा की गणना कीजिए और उनकी तुलना कीजिए। दिया है कि : 2+2+1

$m_n = 1.008665\,u$, $M(^1H) = 1.007825\,u$, $M(^4_2He) = 4.002604\,u$ और $1\ u = 931.5\ MeV/c^2$ ।

(ग) सूर्य की ऊर्जा का स्रोत क्या है ? उपयुक्त अभिक्रियाएँ लिखिए और Q मान बताइए। 1+3+1

भौतिक नियतांकों के मान :

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

$\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ J-s

$1\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$

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

आवोगाद्रो नियतांक $N_A = 6.022 \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$

× × × × × × ×