પ્રકરણ 11

વિકિરણ અને દ્રવ્યનો દ્વૈત સ્વભાવ

• બહુવિકલ્પ પ્રશ્નો (MCQ I)

નીચેના પ્રશ્નોમાં એક જ વિકલ્પ સાચો છે :

11.1 એક કણને ઊંચાઈ H પરથી પડતો મૂકવામાં આવે છે. કણની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ એ ઊંચાઈના વિધેય તરીકે .... ના પ્રમાણમાં હોય છે.

(a) H

(b) $H^{1/2}$

(c) H^0

(d) $H^{-1/2}$

11.2 ન્યુક્લિયસમાં રહેલો પ્રોટોન કે જે 1 MeV ઊર્જાથી ન્યુક્લિયસ સાથે બંધાયેલો છે તેને દૂર કરવા જરૂરી પ્રોટોનની તરંગલંબાઈ લગભગ ....

(a) 1.2 nm

(b) 1.2×10^{-3} nm

(c) 1.2×10^{-6} nm

(d) 1.2×10^{1} nm

11.3 ઈલેક્ટ્રૉનનું કિરણજૂથ (દરેક ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા E_0) શૂન્યાવકાશિત કરેલ ચેમ્બરમાં મૂકેલી ધાતુની સપાટી પર આપાત થાય છે. આથી

(a) ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થશે નહિ, કેમકે માત્ર ફોટોન જ ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન કરે છે.

(b) ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થશે, પરંતુ બધાની ઊર્જા E_0 હશે.

(c) મહત્તમ ઊર્જા $E_0 - \phi$ [ϕ એ કાર્યવિધેય (થ્રેશોલ્ડ ઊર્જા, work function) છે.] હોય, તેવી કોઈ પણ ઊર્જા સાથે ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થશે.

(d) મહત્તમ ઊર્જા E_0 હોય તેવી કોઈ પણ ઊર્જા સાથે ઇલેક્ટ્રૉનનું ઉત્સર્જન થશે.

11.4 ધોરણ XII માટેના ભૌતિકવિજ્ઞાનના પાઠ્યપુસ્તકમાંની આકૃતિ 11.7 વિચારો. ધારો કે A ને આપેલ વૉલ્ટેજમાં વધારો કરવામાં આવે છે. વિવર્તન પામેલ કિરણજૂથના અધિકતમ માટે θ નું મૂલ્ય...

(a) અગાઉના મૂલ્ય કરતાં વધારે હશે.

(b) અગાઉના મૂલ્ય જેટલું જ હશે.

(c) અગાઉના મૂલ્ય કરતાં ઓછું હશે.

(d) લક્ષ્ય (target) પર આધાર રાખશે.

11.5 પ્રોટોન, ન્યુટ્રૉન, ઇલેક્ટ્રૉન અને α-કણ સમાન ઊર્જા ધરાવે છે, તો તેમની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈઓની સરખામણી .... અનુસાર આપી શકાય.

(a) $\lambda_p = \lambda_n > \lambda_e > \lambda_\alpha$

(b) $\lambda_\alpha < \lambda_p = \lambda_n > \lambda_e$

(c) $\lambda_e < \lambda_p = \lambda_n > \lambda_\alpha$

(d) $\lambda_e = \lambda_p = \lambda_n = \lambda_\alpha$

11.6 ઇલેક્ટ્રૉન $\mathbf{V} = v_0\hat{i}$ જેટલા પ્રારંભિક વેગ સાથે અને $\mathbf{B} = B_0\hat{j}$ જેટલા ચુંબકીયક્ષેત્રમાં ગતિ કરે છે, તો તેમની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ

(a) અચળ રહેશે.

(b) સમય સાથે વધશે.

(c) સમય સાથે ઘટશે.

(d) આવર્તીય રીતે વધશે અને ઘટશે.

11.7 ઇલેક્ટ્રૉન (દ્રવ્યમાન m) $\mathbf{V} = v_0\hat{i}$ $(v_0 > 0)$ જેટલા પ્રારંભિક વેગ સાથે $\mathbf{E} = -E_0\hat{i}$ (E_0 = અચળ > 0) જેટલા વિદ્યુતક્ષેત્રમાં છે. તેની t સમયે ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ .... વડે આપી શકાય.

(a) $\dfrac{\lambda_0}{\left(1+\dfrac{eE_0}{m}\dfrac{t}{v_0}\right)}$

(b) $\lambda_0\left(1+\dfrac{eE_0 t}{mv_0}\right)$

(c) λ_0

(d) $\lambda_0 t$

11.8 ઇલેક્ટ્રૉન (દ્રવ્યમાન m) $\mathbf{V} = v_0\hat{i}$ પ્રારંભિક વેગ સાથે $\mathbf{E} = E_0\hat{j}$ જેટલા વિદ્યુતક્ષેત્રમાં છે. જો $\lambda_0 = h/mv_0$ તો t સમયે તેની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ .... વડે આપી શકાય.

(a) λ_0

(b) $\lambda_0\sqrt{1+\frac{e^2E_0^2t^2}{m^2v_0^2}}$

(c) $\frac{\lambda_0}{\sqrt{1+\frac{e^2E_0^2t^2}{m^2v_0^2}}}$

(d) $\frac{\lambda_0}{\left(1+\frac{e^2E_0^2t^2}{m^2v_0^2}\right)}$

• બહુવિકલ્પ પ્રશ્નો (MCQ II)

નીચેના પ્રશ્નોમાં એક અથવા એક કરતાં વધુ વિકલ્પ સાચા હોઈ શકે છે :

11.9 ગતિઊર્જાને રજૂ કરતું સમીકરણ $\frac{1}{2}mv^2$, જ્યારે mc^2 સાથે સરખાવી શકાય, જ્યાં m એ કણનું દ્રવ્યમાન છે તેવું બને ત્યારે સાપેક્ષવાદીય સુધારો જરૂરી બને છે. ઇલેક્ટ્રૉન માટે ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈમાં ક્યારે સાપેક્ષવાદીય સુધારો અગત્યનો બને ?

(a) $\lambda = 10$ nm

(b) $\lambda = 10^{-1}$ nm

(c) $\lambda = 10^{-4}$ nm

(d) $\lambda = 10^{-6}$ nm

11.10 m_1, m_2 ($m_1 > m_2$) દ્રવ્યમાન ધરાવતા બે કણ A_1 અને A_2 ને સમાન ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ છે. આથી,

(a) તેમના વેગમાન સમાન હશે.

(b) તેમની ઊર્જાઓ સમાન હશે.

(c) A_1 ની ઊર્જા A_2 ની ઊર્જા કરતાં ઓછી હશે.

(d) A_1 ની ઊર્જા A_2 ની ઊર્જા કરતાં વધારે હશે.

11.11 પ્રોટોનની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ એ ઇલેક્ટ્રૉનની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ કરતાં બમણી છે. ઇલેક્ટ્રૉનની ઝડપ $V_e = \frac{c}{100}$ છે. તો,

(a) $\frac{E_e}{E_p} = 10^{-4}$ (b) $\frac{E_e}{E_p} = 10^{-2}$

(c) $\frac{p_e}{m_e c} = 10^{-2}$ (d) $\frac{p_e}{m_e c} = 10^{-4}$

11.12 દ્રવ્યમાં શોષાયેલ ફોટોન ઉષ્મામાં રૂપાંતર પામે છે. 0° C તાપમાને 1 kg બરફને 0° C તાપમાનવાળા પાણીમાં રૂપાંતર કરવા માટે ν આવૃત્તિવાળા, n ફોટોન/સેકન્ડનું ઉત્સર્જન કરતું ઉદ્‌ગમ ઉપયોગમાં લીધેલ છે, તો આ રૂપાંતર માટે લાગતો સમય T,

(a) ν નિયત રાખી n વધારતાં ઘટે છે.

(b) n નિયત રાખી ν વધારતાં ઘટે છે.

(c) n અને ν સાથે બદલવાથી એવી રીતે અચળ રહે છે કે જેથી $n\nu$ = અચળ.

(d) જ્યારે $n\nu$ ગુણાકાર વધે તેમ વધે છે.

11.13 એક કણ ઊગમબિંદુની આસપાસ બંધ કક્ષામાં, ઊગમબિંદુ તરફ લાગતા બળના કારણે ગતિ કરે છે. કણની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ બે મૂલ્યો λ_1, λ_2, જ્યાં $\lambda_1 > \lambda_2$ વચ્ચે ચક્રીય રીતે બદલાય છે. નીચેનામાંથી કયાં વિધાન સાચાં છે ?

(a) ઊગમબિંદુ જેનું કેન્દ્ર હોય, તેવી વર્તુળમય ભ્રમણ કક્ષામાં કણ ગતિ કરી શકશે.

(b) કણ ઉપવલયાકાર ભ્રમણ કક્ષામાં ગતિ કરી શકે જેનું કેન્દ્ર ઊગમબિંદુ હોય.

(c) જ્યારે ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ λ_1 હશે ત્યારે, તરંગલંબાઈ λ_2 હોય તેના કરતાં કણ ઊગમબિંદુની વધારે નજીક હશે.

(d) જ્યારે ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ λ_2 હશે ત્યારે, તરંગલંબાઈ λ_1 હોય, તેના કરતાં કણ ઊગમબિંદુની વધારે નજીક હશે.

• અતિટૂંક જવાબી પ્રશ્નો (VSA)

11.14 પ્રોટોન અને α-કણને સમાન સ્થિતિમાનના તફાવત વડે પ્રવેગિત કરેલ છે. તેમની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈઓ λ_p અને λ_α એકબીજા સાથે કઈ રીતે સંકળાયેલી હશે ?

11.15 (i) ફોટો ઈલેક્ટ્રિક અસરની સમજૂતીમાં આપણે ધારેલું છે કે, ν આવૃત્તિવાળો એક ફોટોન એક ઈલેક્ટ્રૉન સાથે અથડાય છે અને પોતાની ઊર્જા તેને આપી દે છે. આ બાબત ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ઊર્જા E_{max} ના સમીકરણ $E_{max} = h\nu - \phi_0$ તરફ દોરી જાય છે.

જ્યાં, ϕ_0 એ ધાતુનું કાર્યવિધેય (work function) છે. જો ઈલેક્ટ્રૉન બે ફોટોન (દરેકની આવૃત્તિ ν)નું શોષણ કરે, તો ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ઊર્જા કેટલી હશે ?

(ii) શા માટે આપણે સ્ટોપિંગ પોટૅન્શિયલની ચર્ચામાં આ હકીકત (બે ફોટોનનું શોષણ)ને ધ્યાનમાં નથી લીધી ?

11.16 ઘણાં એવાં દ્રવ્યો છે કે જે ટૂંકી તરંગલંબાઈવાળા ફોટોનનું શોષણ કરે છે અને લાંબી તરંગલંબાઈવાળા ફોટોનનું ઉત્સર્જન કરે છે. શું એવા કોઈ સ્થિત (stable) પદાર્થો છે કે જે લાંબી તરંગલંબાઈવાળા ફોટોનનું શોષણ કરે અને ટૂંકી તરંગ-લંબાઈવાળા પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે ?

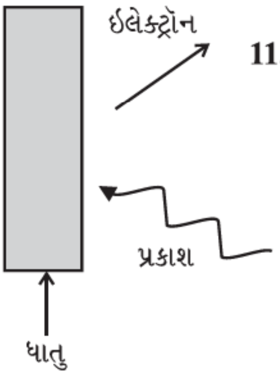
11.17 શું ફોટોનનું શોષણ કરતા બધા જ ઈલેક્ટ્રૉન ફોટો ઈલેક્ટ્રૉન તરીકે બહાર આવે છે ?

11.18 પ્રકાશનાં બે ઉદ્‌ગમો દરેક 100 W ના પાવર સાથે પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે. એક ઉદ્‌ગમ 1 nm તરંગલંબાઈવાળા ક્ષ-કિરણો (X-rays) અને બીજું 500 nm ના દૃશ્ય પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે. X-કિરણના ફોટોન અને આપેલી તરંગલંબાઈના દૃશ્ય પ્રકાશના ફોટોનની સંખ્યાનો ગુણોત્તર શોધો.

• ટૂંક જવાબી પ્રશ્નો (SA)

11.19 ફોટો ઉત્સર્જન માટે આકૃતિ 11.1 ધ્યાનમાં લો.

તમે વેગમાન સંરક્ષણ સાથે કેવી રીતે સુસંગત કરશો ? નોંધો કે પ્રકાશ (ફોટોન)ને ઉત્સર્જિત ઈલેક્ટ્રૉન કરતાં ભિન્ન દિશામાં વેગમાન હોય છે.



આકૃતિ 11.1

11.20 600 nm તરંગલંબાઈના પ્રકાશથી પ્રકાશિત કરેલ ધાતુને ધ્યાનમાં લો. જ્યારે 400 nm તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ ઉપયોગમાં લેવામાં આવે ત્યારે ઈલેક્ટ્રૉનની મહત્તમ ઊર્જા બમણી થાય છે, તો ધાતુનું વર્ક-ફંક્શન eV માં શોધો.

11.21 એવું ધારો કે ઈલેક્ટ્રૉન 1 nm ની પહોળાઈના વિસ્તારમાં મર્યાદિત છે. હાઈઝન બર્ગના અનિશ્ચિતતાના સિદ્ધાંત (સંદર્ભ NCERT પાઠ્યપુસ્તક, સમીકરણ 11.12) ના ઉપયોગથી વેગમાનની અનિશ્ચિતતા શોધો. તમે સ્થાનની અનિશ્ચિતતા Δx ને 1 nm તરીકે ધારી શકો. $p \approx \Delta p$, ધારો. ઈલેક્ટ્રૉનની ઊર્જા ઈલેક્ટ્રૉન વૉલ્ટ (eV) માં શોધો.

11.22 સમાન તીવ્રતા I ધરાવતા બે એકરંગી કિરણજૂથ A અને B, પડદા પર અથડાય છે. પડદા પર કિરણજૂથ A ના અથડાતા ફોટોનની સંખ્યા, કિરણજૂથ B ના ફોટોનની સંખ્યા કરતાં બમણી છે, તો તમે તેમની આવૃત્તિઓ વિશે શું અનુમાન કરી શકશો ?

11.23 λ_1 અને λ_2 ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ ધરાવતા બે કણ A અને B ભેગા થઈ કણ C બનાવે છે. આ પ્રક્રિયામાં વેગમાનનું સંરક્ષણ થાય છે. કણ C ની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈ શોધો. (ગતિ એક પરિમાણીય છે.)

11.24 E ઊર્જા ધરાવતું ન્યુટ્રૉનનું કિરણજૂથ, d = 0.1 nm પહોળાઈ (જગ્યા) ધરાવતી સપાટી પર પરમાણુ વડે પ્રકિર્ણન પામે છે. પરાવર્તિત કિરણજૂથમાં તીવ્રતાનું પ્રથમ અધિકતમ $\theta = 30°$ એ રચાય છે. કિરણજૂથની ગતિઊર્જા E eV માં કેટલી હશે ?

• દીર્ઘ જવાબી પ્રશ્નો (LA)

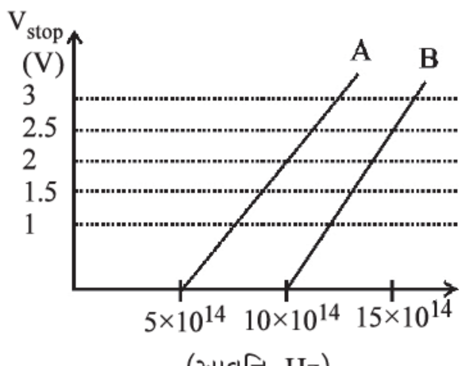
11.25 સોડિયમનો પાતળો લક્ષ્ય (10^{-2} m ચોરસ, જોડાઈ 10^{-3} m) વિચારો, જેના પર 100 W/m^2 (λ = 660 nm) તીવ્રતા ધરાવતો પ્રકાશ આપાત થાય ત્યારે 100 μA નો ફોટો પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરે છે. જ્યારે ફોટોન સોડિયમ પરમાણુ સાથે અથડાય ત્યારે ફોટો ઇલેક્ટ્રૉન ઉત્પન્ન થવાની સંભાવના શોધો.
[Naની ઘનતા = 0.97 kg/m^3 લો.]

11.26 ધાતુની સપાટી (અનંત વિસ્તારવાળી સપાટી તરીકે વર્તે)ની સામે d અંતરે ઇલેક્ટ્રૉન વિચારો. પ્લેટ વડે લાગતું આકર્ષણ બળ $\frac{1}{4}\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d^2}$ ધારો. વિદ્યુતભારને પ્લેટથી અનંત અંતરે લઈ જવા કરવું પડતું કાર્ય ગણો. d = 0.1 nm લઈને, કાર્ય ઇલેક્ટ્રૉન વૉલ્ટમાં શોધો. (આવા બળના નિયમો d < 0.1 nm માટે પળાતા નથી.)

11.27 એક વિદ્યાર્થી ફોટો ઇલેક્ટ્રિક અસરનો પ્રયોગ, બે દ્રવ્યો A અને Bનો ઉપયોગ કરીને કરે છે. V_{stop} વિરુદ્ધ ν નો આલેખ આકૃતિ 11.2 માં આપેલ છે.

(i) A અથવા B માંથી કયા દ્રવ્યને ઊંચું વર્ક-ફંક્શન હશે ?

(ii) ઇલેક્ટ્રૉનનો વિદ્યુતભાર = 1.6×10^{-19} C આપેલ છે. A અને B બંને માટે પ્રયોગ પરથી h નું મૂલ્ય શોધો.



આકૃતિ 11.2

આઇન્સ્ટાઇનના વાદ સાથે તે સુસંગત છે કે નહિ તેના પર ટિપ્પણી કરો.

11.28 m_A દ્રવ્યમાન ધરાવતો કણ A, υ વેગથી ગતિ કરે છે અને સ્થિર રહેલા કણ B (દ્રવ્યમાન m_B) સાથે અથડાય છે. (એક પારિમાણીક ગતિ) કણ A ની ડિ-બ્રોગ્લી તરંગલંબાઈમાં થતો ફેરફાર શોધો. સંઘાતને સ્થિતિસ્થાપક તરીકે લો.

11.29 5000 Å તરંગલંબાઈનો પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરતો 20 W નો બલ્બ વિચારો અને 2 m દૂર રાખેલ ધાતુની સપાટીને ચમકાવે છે. ધારો કે, ધાતુની સપાટીનું વર્ક-ફંક્શન 2 eV છે અને ધાતુની સપાટી પર રહેલ દરેક પરમાણુ 1.5 Å ત્રિજ્યા ધરાવતી વર્તુળાકાર તકતી તરીકે વર્તે છે.

(i) બલ્બ દ્વારા પ્રતિ સેકન્ડ ઉત્સર્જિત થતા ફોટોનની સંખ્યાનો અંદાજ મેળવો. (બીજી કોઈ રીતે વ્યય થતો નથી તેમ ધારો.)

(ii) શું અહીં ફોટો ઇલેક્ટ્રિક ઉત્સર્જન થશે ?

(iii) પરમાણ્વીય તકતીને વર્ક-ફંક્શન (2 eV) જેટલી ઊર્જા મેળવવામાં કેટલો સમય લાગશે ?

(iv) ઉપર (iii) માં ગણતરી કરેલ સમયગાળામાં પરમાણ્વીય તકતી કેટલા ફોટોન મેળવશે ?

(v) શું તમે સમજાવી શકો છો કે, ફોટો ઇલેક્ટ્રિક અસર કેવી રીતે તત્કાલ અવલોકન કરવામાં આવી ?

[**Hint :** વિભાગ (iii) માં પ્રચલિત વિચારધારા (Classical consideration) અનુસાર સમય ગણ્યો અને તમે હવે વધુ ગણતરી માટે લક્ષ્ય સપાટીનું ક્ષેત્રફળ 1 cm^2 ધારો અને શું થાય છે તેનો અંદાજ મેળવો.]