# भौतिकी

## अध्याय-11: विकिरण तथा द्रव्य की द्वेती प्रकृति

SHIVOM CLASSES 8696608541

# विकिरण तथा द्रव्य की द्वेती प्रकृति

उन्नीसवीं शताब्दी तक वैज्ञानिकों की धारणा थी कि प्रकाश तरंगों के रूप में चलता है। प्रकाश का परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण तथा विवर्तन जैसी घटनाओं की व्याख्या प्रकाश का तरंग के रूप में मानकर ही की जा सकती है। लेकिन प्रकाश विद्युत प्रभाव, रमन प्रभाव तथा काॅम्पटन प्रभाव की व्याख्या प्रकाश को तरंग मानकर नहीं की जा सकती है। इन घटनाओं की व्याख्या प्रकाश को कण मानकर होती है। इस प्रकार प्रकाश की दोहरी प्रकृति ने वैज्ञानिकों को भ्रम में डाल दिया। फिर अंत में यह माना गया कि प्रकाश में तरंग तथा कण दोनों प्रकार की प्रकृति पाई जाती है।

प्रकाश कण तथा तरंग दोनों के समान बिहार कर सकता है। कुछ घटनाओं में यह कण की भांति व्यवहार करता है तथा कुछ परिस्थितियों में यह तरंग की भांति व्यवहार करता है।

महत्वपूर्ण बिंदु

- प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या के अनुसार प्रकाश ऊर्जा के पैकेटों के रूप में चलता है इन पैकेटों फोटोन कहते हैं। हर एक फोटोन की ऊर्जा $h\nu$ के बराबर होती है।
- h प्लांक नियतांक है जिसका मान $6.6 \times 10^{-34}$ जूल-सेकंड होता है।
- प्रत्येक फोटोन का कार्य फलन W द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।
  $W = h\nu_0$
  जहां $\nu_0$ देहली आवृत्ति है।
- चूंकि फोटोन का संवेग $P = h\nu/C$ होता है इसलिए इस की तरंगदैर्ध्य
  $\lambda = C/\nu = h/P$
  इस तरंगदैर्ध्य को डी ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य कहते हैं।
- प्रकाश में कण तथा तरंग दोनों ही प्रकृति विद्यमान हैं। कुछ परिस्थितियों में प्रकाश तरंग की भांति व्यवहार करता है। एवं कुछ परिस्थितियों में प्रकाश कण की भांति व्यवहार करता है इसलिए प्रकाश की द्वेती प्रकृति होती है।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

## प्रकाश विद्युत प्रभाव

प्रकाश के प्रभाव से धातु से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने की घटना को प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं। प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या आइंस्टीन ने प्लांक के क्वांटम सिद्धांत के आधार पर की।

इस सिद्धांत के अनुसार, प्रकाश ऊर्जा के छोटे-छोटे बंडलों तथा पैकेटों के रूप में चलता है जिन्हें फोटोन कहते हैं। प्रत्येक फोटोन की ऊर्जा $h\nu$ के बराबर होती है। जहां $\nu$ प्रकाश की आवृत्ति तथा h प्लांक नियतांक है जिसका मान $6.6 \times 10^{-34}$ जूल-सेकंड होता है। प्रकाश की तीव्रता इन्हीं फोटोनों की संख्या पर निर्भर करती है।

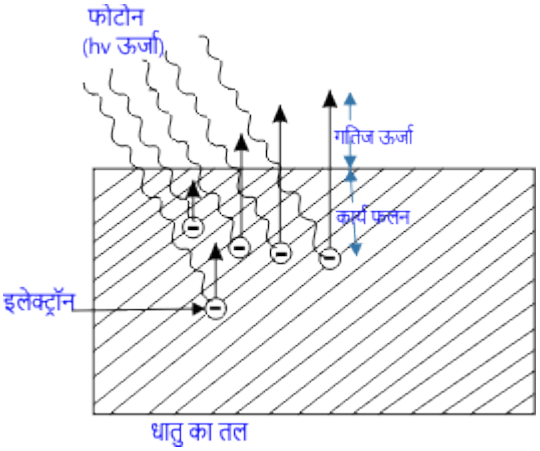
**प्रकाश विद्युत प्रभाव का निगमन**

जब कोई प्रकाश किसी धातु की प्लेट पर गिरता है तो उसका कोई फोटोन अपनी समस्त उर्जा को धातु के भीतर उपस्थित किसी इलेक्ट्रॉन को दे देता है। इस कारण उस फोटोन का अपना अस्तित्व समाप्त हो जाता है। इलेक्ट्रॉन इस ऊर्जा को दो भागों में व्यय (खर्च) करता है इलेक्ट्रॉन द्वारा ऊर्जा का कुछ भाग सतह तक आने में व्यय हो जाता है जिसे इलेक्ट्रॉन का कार्य फलन कहते हैं। तथा बाकी शेष ऊर्जा इलेक्ट्रॉन को गतिज ऊर्जा के रूप में मिल जाती है। तब इस प्रकार

कुल ऊर्जा = कार्य फलन + इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा

$$h\nu = W + E_k$$

या $$E_k = h\nu - W$$ समी. (1)




SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

एक इलेक्ट्रॉन द्वारा अवशोषित फोटोन की ऊर्जा उसके कार्य फलन से कम है। तो धातु के पृष्ठ से कोई भी इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होगा। यदि दी हुई ऊर्जा के लिए प्रकाश की देहली आवृत्ति $\nu_0$ हो तो ऐसे प्रकाश फोटोन की ऊर्जा $h\nu_0$ इलेक्ट्रॉन को पृष्ठ तक लाने में ही व्यय हो जाएगी। जो कि इलेक्ट्रॉन में कार्य फलन के बराबर होगी। अतः

$W = h\nu_0$ समी.②

समी.② से W का मान समी.① में रखने पर

$E_k = h\nu - W$

$E_k = h\nu - h\nu_0$

$E_k = h(\nu - \nu_0)$

यदि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान m तथा अधिकतम वेग $V_{max}$ है। तो गतिज ऊर्जा

$E_k = 1/2mV_{max}^2$ अथवा

$$\frac{1}{2}mV_{max}^2 = h(\nu - \nu_0)$$

इस समीकरण को आइंस्टीन का प्रकाश विद्युत प्रभाव समीकरण कहते हैं।

**निरोधी विभव**

प्रकाश विद्युत प्रभाव में जब धातु की प्लेट पर ऋणात्मक विभव दिया जाता है। तो प्रकाश विद्युत धारा का मान घटता जाता है। तथा एक निश्चित ऋणात्मक विभव पर प्रकाश विद्युत धारा का मान शून्य हो जाता है। इस विभव को निरोधी विभव कहते हैं।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

**कार्य फलन**

प्रकाश के किसी एक फोटोन की वह न्यूनतम ऊर्जा जो धातु के किसी इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित करके धातु की सतह तक लाने के लिए आवश्यक होती है। इसे धातु का कार्य फलन कहते हैं। इसे W द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। कार्य फलन का मान भिन्न-भिन्न धातुओं के लिए भिन्न-भिन्न होता है।

**देहली आवृत्ति**

प्रकाश की वह न्यूनतम आवृत्ति जो किसी पदार्थ से प्रकाश इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित करा सकें। इस आवृत्ति को पदार्थ की देहली आवृत्ति कहते हैं। इसे $\nu_0$ से प्रदर्शित करते हैं।

**प्रकाश की द्वैती प्रकृति**

डी ब्रोग्ली के अनुसार, प्रकाश में कण तथा तरंग दोनों की प्रकृति होती है। अर्थात् प्रकाश कुछ परिस्थितियों में कण तथा कुछ परिस्थितियों में तरंग की भांति व्यवहार करता है। जिसे द्वेती प्रकृति कहते हैं।

## डी ब्रोग्ली तरंग

डी ब्रोग्ली ने बताया कि गतिशील कण सदैव तरंग की भांति व्यवहार करता है। जैसे जब कोई द्रव्य कण (इलेक्ट्रॉन, फोटोन) गतिशील अवस्था में होता है तो वह तरंग की भांति ही व्यवहार करता है। तब इन तरंगों को द्रव्य तरंग अथवा डी ब्रोग्ली तरंग (de broglie wave) कहते हैं।

**डी ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य का समीकरण**

प्लांट के क्वांटम सिद्धांत के अनुसार किसी फोटोन की ऊर्जा

$E = h\nu$ समी.(1)

जहां h प्लांट नियतांक है जिसका मान $6.6 \times 10^{-34}$ जूल-सेकंड होता है।

यदि फोटोन का द्रव्यमान m है और प्रकाश (फोटोन) की चाल C है। तो आइंस्टीन के सिद्धांत के अनुसार फोटोन की ऊर्जा

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

$E = mC^2$ समी.②

अब समी.① व समी.② से

$E = E$

$h\nu = mC^2$

$m = h\nu/C^2$

फोटोन का संवेग है तो

$P = mC$

m का मान रखने पर

$P = h\nu/C^2 \times C$

$P = h\nu/C$

चूंकी प्रकाश की चाल C तथा तरंगदैर्ध्य में निम्न संबंध होता है

$C = \nu\lambda$ से

अब C का मान संवेग समीकरण में रखने का

$P = h\nu/\nu\lambda$

$P = h/\lambda$

$\boxed{\lambda = \frac{h}{P}}$ मीटर

इस द्रव्य तरंग के तरंगदैर्ध्य $\lambda$ को डी ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य (de broglie wavelength) कहते हैं।

इसके अनुसार किसी फोटोन की तरंगदैर्ध्य, प्लांट नियतांक h तथा फोटोन के संवेग P के अनुपात के बराबर होती है।

चूंकि संवेग $P = mC$ होता है तब डी ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य

$\boxed{\lambda = \frac{h}{mC}}$ मीटर

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

## NCERT SOLUTIONS

## अभ्यास (पृष्ठ संख्या 409-410)

प्रश्न 1 30 किलोवोल्ट इलेक्ट्रॉनों के द्वारा उत्पन्न x-किरणों की

a. उच्चतम आवृत्ति तथा

b. निम्नतम तरंगदैर्घ्य प्राप्त कीजिए।

उत्तर-

a.

दिया है, $V = 30kV = 30 \times 10^3 v$

ऊर्जा $E = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 30 \times 10^3 J = 4.8 \times 10^{-15} J$

उच्चतम आवृत्ति, $v_{max}$ दी जाती है, $E = hv_{max}$

$$\therefore v_{max} = \frac{E}{h} = \frac{4.8 \times 10^{-15} J}{6.63 \times 10^{-34} J-s} = 7.24 \times 10^{18} Hz$$

b.

दिया है, $V = 30kV = 30 \times 10^3 v$

ऊर्जा $E = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 30 \times 10^3 J = 4.8 \times 10^{-15} J$

निम्नतम तरंगदैर्ध्य $\lambda_{min} = \frac{c}{v_{max}} = \frac{3 \times 10^8}{7.24 \times 10^{18}} m$

$$= 4.1 \times 10^{-11} m = 0.041 nm \left[ \because 1nm = 10^{-9} m \right]$$

प्रश्न 2 सीज़ियम धातु का कार्य-फलन 2.14 इलेक्ट्रॉन वोल्ट है। जब 6 × 1014 हर्ट्ज़ आवृत्ति का प्रकाश धातु-पृष्ठ पर आपतित होता है, इलेक्ट्रॉनों का प्रकाशिक उत्सर्जन होता है।

a. उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की उच्चतम गतिज ऊर्जा,

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

b. निरोधी विभव और

c. उत्सर्जित प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की उच्चतम चाल कितनी है?

उत्तर-

दिया है, सीजियम धातु का कार्य-फलन-

W = 2.14eV

= 214 × 1.6 × $10^{-19}$ जूल

आपतित प्रकाश की आवृत्ति

v = 6 × $10^{14}$Hz

प्लांक का नियतांक

h = 6.62 × $10^{-34}$ जूल सेकण्ड

∴ आपतित फोटॉन की ऊर्जा,

hν = 6.62 × $10^{-34}$ × 6 × $10^{14}$ जूल

a. यदि उत्सर्जित प्रकाश इलेक्ट्रॉन की उच्चतम गतिज ऊर्जा $E_{max}$ हो तो आइन्सटीन के प्रकाश-विद्युत समीकरण hν = w + $E_{max}$ से,

= 6.62 × 6 × $10^{-20}$ - 2.1 × 1.6 × $10^{-19}$

= 39.72 × $10^{-20}$ - 34.24 × $10^{-20}$ जूल

= 5.48 × $10^{-20}$ जूल

$$= \frac{5.48\times10^{-24}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 0.342\text{eV}$$

b. यदि विरोधी विभव $V_0$ हो तो,

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

$$eV_0 = E_{max}$$

$$\text{या } V_0 = \frac{E_{max}}{e} = \frac{0.342 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0.342$$

$$= 0.342 \text{ वोल्ट}$$

c. यदि उत्सर्जित प्रकाश इलेक्ट्रॉन की अधिकतम चाल $\nu_{max}$ हो तो,

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = E_{max}$$

$$\therefore v_{max} = \sqrt{\frac{2E_{max}}{m_e}}$$

दिया है, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ किग्रा

$$\therefore v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 5.48 \times 10^{-20}}{9.1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 3.47 \times 10^5 \text{ मीटर/ सेकण्ड}$$

प्रश्न 3 एक विशिष्ट प्रयोग में प्रकाश-विद्युत प्रभाव की अन्तक वोल्टता 1.5v है। उत्सर्जित प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की उच्चतम गतिज ऊर्जा कितनी है?

उत्तर- संस्तब्ध वोल्टेज, $V_0$ = 1.5v

प्रकाश इलेक्ट्रॉनों की उच्चतम गतिज ऊर्जा,

$E_k = eV_0 = 1.5$ ev $= 1.5 \times 16 \times 10^{-19}$J $= 2.4 \times 10^{-19}$J

प्रश्न 4 632.8nm तरंगदैर्घ्य का एकवर्णी प्रकाश एक हीलियम-नियॉन लेसर के द्वारा उत्पन्न किया जाता है। उत्सर्जित शक्ति 9.42mW है।

a. प्रकाश के किरण-पुंज में प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा तथा संवेग प्राप्त कीजिए।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

b. इस किरण-पुंज के द्वारा विकिरित किसी लक्ष्य पर औसतन कितने फोटॉन प्रति सेकण्ड पहुँचेंगे? (यह मान लीजिए कि किरण-पुंज की अनुप्रस्थ काट एकसमान है जो लक्ष्य के क्षेत्रफल से कम है।)

c. एक हाइड्रोजन परमाणु को फोटॉन के बराबर संवेग प्राप्त करने के लिए कितनी तेज चाल से चलना होगा?

उत्तर-

दिया है, $\lambda = 632.8\text{nm} = 6328 \times 10^{-9}\text{m}$

शक्ति $\text{P} = 9.4\text{mW} = 9.42 \times 10^{-3}\text{W}$

प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा, $\text{E} = \frac{\text{hc}}{\lambda}$

$= \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{632.8\times10^{-9}}$

$= 3.14 \times 10^{-19}\text{J}$

प्रत्येक फोटॉन का संवेग, $\text{p} = \frac{\text{hv}}{\text{c}} = \frac{\text{E}}{\text{c}} = \frac{3.14\times10^{-19}}{3\times10^{8}}$

$= 1.05 \times 10^{-27}\text{kg ms}^{-1}$

SHIVOM CLASSES 8696608541

दिया है, $\lambda = 632.8\text{nm} = 6328 \times 10^{-9}\text{m}$

शक्ति $\text{P} = 9.4\text{mW} = 9.42 \times 10^{-3}\text{W}$

शक्ति P = nE, जिसमें n प्रति सेकण्ड लक्ष्य पर आपतित फोटॉनों की संख्या है।

$\text{n} = \frac{\text{P}}{\text{E}} = \frac{9.42\times10^{-3}}{3.14\times10^{-19}} = 3 \times 10^{16}$ फोटॉन/ सेकण्ड



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, $\lambda = 632.8\text{nm} = 6328 \times 10^{-9}\text{m}$

शक्ति $P = 9.4\text{mW} = 9.42 \times 10^{-3}\text{W}$

यदि हाइड्रोजन का $m_H$ तथा वेग $v_H$ हो, तो हाइड्रोजन परमाणु का संवेग $P_H = m_H v_H$

दिया है, $P_H = 1.05 \times 10^{-27}\text{kg ms}^{-1}$

$\therefore m_H v_H = 1.05 \times 10^{-27}$

$$\Rightarrow v_H = \frac{1.05\times10^{-27}}{m_H} = \frac{1.05\times10^{-27}}{1.66\times10^{-27}} = 0.63\text{ms}^{-1}$$

प्रश्न 5 पृथ्वी के पृष्ठ पर पहुँचने वाला सूर्यप्रकाश का ऊर्जा-अभिवाह (फ्लक्स) 1.388 × 103 W/ $m^2$ है। लगभग कितने फोटॉन प्रति वर्ग मीटर प्रति सेकण्ड पृथ्वी पर आपतित होते हैं? यह मान लें कि सूर्य-प्रकाश में फोटॉन का औसत तरंगदैर्घ्य 550nm है।

उत्तर-

प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा, $E = \frac{hc}{\lambda}$

यहाँ $\lambda = 550\text{nm} = 550 \times 10^{-9}\text{m}$

$$\therefore E = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{550\times10^{-9}} = 3.62 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$= \frac{\text{प्रति वर्ग मीटर प्रति सेकंड आपतित कुल ऊर्जा}}{\text{एक फोटॉन की ऊर्जा}}$$

$$= \frac{1.388\times10^{3}}{3.62\times10^{-19}} = 3.8 \times 10^{21}$$

प्रश्न 6 प्रकाश-विद्युत प्रभाव के एक प्रयोग में, प्रकाश आवृत्ति के विरुद्ध अन्तक वोल्टता की ढलान $4.12 \times 10^{-15}$Vs प्राप्त होती है। प्लांक स्थिरांक का मान परिकलित कीजिए।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

उत्तर- आइन्सटीन की प्रकाश-वैद्युत समीकरण है,

$$E_k = hv = \phi_0$$

अथवा $eV_0 = hv = \phi_0$

$$\Rightarrow V_0 = \left(\frac{h}{e}\right)v = \frac{\phi_0}{e}$$

स्पष्टतः $V_0$ - v ग्राफ का ढाल $\frac{h}{e}$ है।

दिया है, $\frac{h}{e} = 4.12 \times 10^{-15}$V-s

$\therefore h = 4.12 \times 10^{-15}e$

$= 4.12 \times 10^{-15} \times 1.6 \times 10^{-19}$

$= 6.59 \times 10^{-34}$J-s

प्रश्न 7 एक 100w सोडियम बल्ब (लैम्प) सभी दिशाओं में एकसमान ऊर्जा विकिरित करता है। लैम्प को एक ऐसे बड़े गोले के केन्द्र पर रखा गया है जो इस पर आपतित सोडियम के सम्पूर्ण प्रकाश को अवशोषित करता है। सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य 589nm है।

a. सोडियम प्रकाश से जुड़े प्रति फोटॉन की ऊर्जा कितनी है?

b. गोले को किस दर से फोटॉन प्रदान किए जा रहे हैं?

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, $P = 100W, \lambda = 589nm = 589 \times 10^{-9}m$

a. प्रति फोटॉन ऊर्जा,

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{589\times10^{-9}} = 3.38 \times 10^{-19}J$$

b. प्रति सेकण्ड गोले को दिए गए फोटॉनों की संख्या,

$$P = nE \Rightarrow n = \frac{P}{E} = \frac{100W}{3.38\times10^{-19}J}$$

$= 3.0 \times 10^{20}$ फोटॉन/ सेकण्ड

प्रश्न 8 किसी धातु की देहली आवृत्ति $3.3 \times 10^{14}$Hz है। यदि $8.2 \times 10^{14}$Hz आवृत्ति का प्रकाश धातु पर आपतित हो तो प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन के लिए अन्तक वोल्टता ज्ञात कीजिए।

उत्तर- आइन्सटीन का प्रकाश-वैद्युत समीकरण है।

$h\nu = h\nu_0 + E_k$

यदि अन्तक वोल्टता V% हो, तो $E_k = eV_0$

$$\therefore h\nu = h\nu_0 + eV_0$$

$$\Rightarrow eV_0 = h(h - \nu_0)$$

$$= 6.63 \times 10^{-34}(8.2 \times 10^{14} - 3.3 \times 10^{14})$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{6.63\times10^{-34}\times4.9\times10^{14}}{e}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\times4.9\times10^{14}}{1.6\times10^{-19}}$$

$$V = 2.0V$$

$\therefore$ अन्तक वोल्टता = 2.0V

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

प्रश्न 9 किसी धातु के लिए कार्य-फलन 4.2eV है। क्या यह धातु 330nm तरंगदैर्घ्य के आपतित विकिरण के लिए प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन देगा?

उत्तर- आपतित विकिरण के फोटॉन की ऊर्जा,

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{330\times10^{-9}}\,J$$

$$= 6.03 \times 10^{-19} J$$

$$= \frac{6.03\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\,eV$$

$$= 3.77eV$$

∴ प्रकाश धातु का कार्य-फलन, 20 = 4.2eV (दिया है) चूँकि आपतित फोटॉन की ऊर्जा कार्य-फलन से कम है, अत: प्रकाश-इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन सम्भव नहीं।

प्रश्न 10 $7.21 \times 10^{14}$Hz आवृत्ति का प्रकाश एक धातु-पृष्ठ पर आपतित है। इस पृष्ठ से $6.0 \times 10^{5}$m/ s की उच्चतम गति से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित हो रहे हैं। इलेक्ट्रॉनों के प्रकाश उत्सर्जन के लिए देहली आवृत्ति क्या है?

उत्तर- दिया है, आवृत्ति v = $7.21 \times 10^{14}$Hz,

$\nu_{max}$ = 6.0 × 105$ms^{-1}$

आइन्सटीन की प्रकाश-वैद्युत समीकरण से,

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

$$E_k = hv - hv_0$$

⇒ देहली आवृत्ति, $v_0 = \frac{hv - E_k}{h} = \left(y - \frac{E_k}{h}\right) \ldots (1)$

यहाँ गतिज ऊर्जा, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$= \frac{1}{2} \times 9.0 \times 10^{-31} \times (6.0 \times 10^5)^2 J$

$= 1.62 \times 10^{-19} J$

$\therefore$ देहली आवृत्ति, $v_0 = 7.21 \times 10^{14} - \frac{1.62 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$

$= 7.21 \times 10^{14} - 2.44 \times 10^{14}$

$= 4.77 \times 10^{14} Hz$

प्रश्न 11 488pm तरंगदैर्ध्य का प्रकाश एक ऑर्गन लेसर से उत्पन्न किया जाता है, जिसे प्रकाश-विद्युत प्रभाव के उपयोग में लाया जाता है। जब इस स्पेक्ट्रमी-रेखा के प्रकाश को उत्सर्जक पर आपतित किया जाता है, तब प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों का निरोधी (अन्तक) विभव 0.38V है। उत्सर्जक के पदार्थ का कार्य-फलन ज्ञात करें।

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, $\lambda = 488\text{nm} = 488 \times 10^{-9}\text{m}, V_0 = 0.38\text{V}$

आपतित फोटॉन की ऊर्जा,

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{488\times10^{-9}}$$

$$= 4.08 \times 10^{-19}\text{J}$$

आइन्सटीन की प्रकाश-विद्युत समीकरण, $\frac{hc}{\lambda} = \phi_0 + eV_0$ से,

कार्य-फलन, $\phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - eV_0 = 2.55\text{eV} - 0.38\text{eV}$

$$= 2.17\text{eV}$$

प्रश्न 12 56V विभवांतर के द्वारा त्वरित इलेक्ट्रॉनों का-

a. संवेग,

b. डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए।

उत्तर-

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = $9.1 \times 10^{-31}$kg

a. संवेग, $p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2meV}$ (चूँकि गतिज ऊर्जा $E_k = eV$)

$$= \sqrt{2\times9.1\times10^{-31}\times1.6\times10^{-19}\times56}$$

$$= 4.04 \times 10^{-24}\text{kg ms}^{-1}$$

b. डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य, $\lambda = \frac{h}{p}$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}}{4.04\times10^{24}} = 1.64 \times 10^{-10}\text{m} = 1.64\text{Å}$$

प्रश्न 13 एक इलेक्ट्रॉन जिसकी गतिज ऊर्जा 120eV है, उसका-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

a. संवेग,

b. चाल,

c. डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य क्या है?

उत्तर-

गतिज ऊर्जा, $E_c = 120eV = 120 \times 1.6 \times 10^{-19}J$

$= 1.92 \times 10^{-17}J$

a. इलेक्ट्रॉन का संवेग, $p = \sqrt{2mE_k}$

$= \sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.92 \times 10^{-17}}$

$= 5.91 \times 10^{-24} kg\ ms^{-1}$

b. इलेक्ट्रॉन की चाल, $v = \frac{p}{m} = \frac{5.91 \times 10^{-24}}{9.1 \times 10^{-31}}$

$= 6.5 \times 10^{6} ms^{-1}$

c. डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{5.91 \times 10^{-24}} = 1.12 \times 10^{-10} m = 1.12 Å$

प्रश्न 14 सोडियम के स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन रेखा के प्रकाश का तरंगदैर्घ्य 589nm है। वह गतिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए जिस पर,

a. एक इलेक्ट्रॉन,

b. एक न्यूट्रॉन का डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य समान होगा।

उत्तर-

$\lambda = 589nm = 5.89 \times 10^{-7} m \left[\because 1nm = 10^{-9} m\right]$

डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \Rightarrow \lambda^2 = \frac{h^2}{2mE_k}$

$\therefore$ गतिज ऊर्जा, $E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

a. इलेक्ट्रॉन के लिए, $m = 9.1 \times 10^{-31} kg, \lambda = 5.89 \times 10^{-7} m$

$$\therefore E_k = \frac{\left(6.63 \times 10^{-34}\right)^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times \left(5.89 \times 10^{-7}\right)^2}$$

$$= 6.96 \times 10^{-25} J$$

b. न्यूट्रॉन के लिए, $m = 1.67 \times 10^{-27} kg, \lambda = 5.89 \times 10^{-7} m$

$$\therefore E_k = \frac{\left(6.63 \times 10^{-34}\right)^2}{2 \times 1.67 \times 10^{-31} \times \left(5.89 \times 10^{-7}\right)^2}$$

$$= 3.79 \times 10^{-23} J$$

प्रश्न 15

a. एक 0.040 kg द्रव्यमान का बुलेट जो 1.0km/ s की चाल से चल रहा है,

b. एक 0.060 kg द्रव्यमान की गेंद जो 1.0m/ s की चाल से चल रही है,

c. एक धूल-कण जिसका द्रव्यमान 1.0 × 10-9kg और जो 2.2m/s की चाल से अनुगमित हो रहा है, का डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य कितना होगा?

उत्तर-

a. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.040 \times 1.0 \times 10^3} = 1.66 \times 10^{-35} m$

b. $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.060 \times 1.0} = 1.1 \times 10^{-32} m$

c. $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.0 \times 10^{-9} \times 2.2} = 3.3 \times 10^{-25} m$

प्रश्न 16 एक इलेक्ट्रॉन और एक फ्रोटॉन प्रत्येक का तरंगदैर्घ्य 1.00pm है।

a. इनका संवेग,

b. फ्रोटॉन की ऊर्जा,

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

c. इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।

उत्तर-

दिया है, $\therefore \lambda = 1.00\text{nm} = 1.00 \times 10^{-9}\text{m}$

a. इलेक्ट्रॉन तथा फोटॉन के संवेग होते हैं।

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}}{1.00\times10^{-9}} = 6.63 \times 10^{-25}\text{kg ms}^{-1}$$

b. फोटॉन की ऊर्जा, $E = hv = \frac{hc}{\lambda} = \left(\frac{h}{\lambda}\right)c = pc \left(\because P = \frac{h}{\lambda}\right)$

$$= 6.63 \times 10^{-25} \times 3 \times 10^{8}\text{J} = 19.89 \times 10^{-17}\text{J}$$

$$= \frac{19.89\times10^{-17}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 1.24 \times 10^{3}\text{eV}$$

$$= 1.24\text{kev}$$

c. इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा,

$$E_k = \frac{p^2}{2m_e} = \frac{\left(6.63\times10^{-25}\right)}{2\times9.1\times10^{-31}}\text{J}$$ (यहाँ $m_e$ = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान)

$$= 2.42 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$= \frac{2.42\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 1.51\text{eV}$$

प्रश्न 17

a. न्यूट्रॉन की किस गतिज ऊर्जा के लिए डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य $1.40 \times 10^{-10}$m होगा?

b. एक न्यूट्रॉन, जो पदार्थ के साथ तापीय साम्य में है और जिसकी 300K पर औसत गतिज ऊर्जा $\frac{3}{2}kT$ है, का भी डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए।

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

a.

डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$

$$\therefore \text{गतिज ऊर्जा, } E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

दिया है, $\lambda = 1.40 \times 10^{-10}\text{m}$, न्यूट्रॉन का द्रव्यमान,

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

$$\therefore \text{गतिज ऊर्जा, } E_k = \frac{\left(6.63\times10^{-34}\right)^2}{2\times1.67\times10^{-27}\times\left(1.40\times10^{-10}\right)^2}$$

$$= 6.7 \times 10^{-21}\text{J}$$

b.

डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2m\times\frac{3}{2}kT}} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}}{\sqrt{3\times1.67\times10^{-27}\times1.38\times10^{-23}\times300}}$$

$$= 1.46 \times 10^{-10}\text{m} = 1.46\text{Å}$$

प्रश्न 18 यह दर्शाइए कि विद्युतचुम्बकीय विकिरण का तरंगदैर्घ्य इसके क्वांटम (फ्रोटॉन) के तरंगदैर्घ्य के बराबर है।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

उत्तर-

वैद्युत-चुम्बकीय विकिरण की तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

v आवृत्ति के क्वाण्टम का संवेग,

$$p = \frac{hv}{c}$$

डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{hv/c} = \frac{c}{v}$

समीकरण (1) व (3) की तुलना करने पर, $\lambda = \lambda'$

अर्थात् वैद्युत-चुम्बकीय विकिरण की तरंगदैर्घ्य, डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य के बराबर है।

प्रश्न 19 वायु में 300K ताप पर एक नाइट्रोजन अणु का डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य कितना होगा? यह मानें कि अणु इस ताप पर अणुओं के चाल वर्ग माध्य से गतिमान है। (नाइट्रोजन का परमाणु द्रव्यमान = 14.0076u)

उत्तर-

वर्ग माध्य मूल चाल, $v_{r.m.s} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

नाइट्रोजन अणु का द्रव्यमान $= 2 \times 14.0076u = 28.052u$

$= 28.052 \times 1.66 \times 10^{-27} kg$

डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{mv_{r.m.s}} = \frac{h}{m\sqrt{\frac{3kT}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}}$$

$$= \frac{6.62 \times 10^{-34}}{\sqrt{3 \times 28.052 \times 1.66 \times 10^{-27} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}}$$

$$= 2.75 \times 10^{-11} m$$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

## अतिरिक्त अभ्यास (पृष्ठ संख्या 410-413)

प्रश्न 20

a. एक निर्वात नली के तापित कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की उस चाल का आकलन कीजिए, जिससे वे उत्सर्जक की तुलना में 500v के विभवान्तर पर रखे गए एनोड से टकराते हैं। इलेक्ट्रॉनों के लघु प्रारम्भिक चालों की उपेक्षा कर दें। इलेक्ट्रॉन का आपेक्षिक आवेश अर्थात् $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} C\ kg^{-1}$ है।

b. संग्राहक विभव 10MV के लिए इलेक्ट्रॉनों की चाल ज्ञात करने के लिए उसी सूत्र का प्रयोग करें, जो (a) में काम में लाया गया है। क्या आप इस सूत्र को गलत पाते हैं? इस सूत्र को किस प्रकार सुधारा जा सकता है?

उत्तर-

a.

त्वरक विभव V = 500V

इलेक्ट्रॉन का आपेक्षिक आवेश $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} C\ kg^{-1}$

माना एनोड से टकराते समय इलेक्ट्रॉनों का वेग v है, तब इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा में वृद्धि,

$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m.0^2 = eV \left[\because \text{प्रारम्भिक चाल} = 0\right]$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{2 \times \left(\frac{e}{m}\right) \times V}$

$= \sqrt{2 \times 1.76 \times 10^{11} \times 500} = 13.26 \times 10^6 m\ s^{-1}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉनों की चाल $v \approx 1.33 \times 10^7 m\ s^{-1}$

b.

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

पुनः इलेक्ट्रॉन की चाल,

$$v = \sqrt{2 \times \frac{e}{m} \times V} \left[\because V10MV = 10 \times 10^6 V\right]$$

$$= \sqrt{2 \times 1.76 \times 10^{11} \times 10 \times 10^6} = 18.76 \times 10^8 ms^{-1}$$

∵ इलेक्ट्रॉन की यह चाल निर्वात् में प्रकाश की चाल $c = 3 \times 10 ms^{-1}$ से अधिक है तथा हम जानते हैं कि कोई द्रव्य कण निर्वात् में प्रकाश के वेग के बराबर अथवा अधिक चाल से नहीं चल सकता। इससे स्पष्ट है कि इस दशा में उक्त सूत्र $\left(K.E. = \frac{1}{2} mv^2\right)$ सही नहीं हो सकता।

इस दशा में इलेक्ट्रॉन की सही चाल ज्ञात करने के लिए सापेक्षता के विशिष्ट सिद्धान्त का उपयोग करना होगा।

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

तब कण की गतिज ऊर्जा में वृद्धि निम्नलिखित सूत्र द्वारा प्राप्त होगी।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

$$(m - m_0)c^2 = eV \left(\text{जहाँ } m_0 = 9.1 \times 10^{-31} kg\right)$$

$$\Rightarrow \left[\frac{m_0}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)} - m_0\right]c^2 = eV$$

$$\Rightarrow m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right] = eV$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 = \frac{e}{m_0} \times \frac{V}{c^2} = 1.76 \times 10^{11} \times \frac{10 \times 10^6}{\left(3 \times 10^8\right)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 1 + 19.55 = 20.55$$

$$\text{या } 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{(20.55)^2} \Rightarrow v^2 = c^2\left(1 - \frac{1}{(20.55)^2}\right)$$

$$\Rightarrow v^2 = c^2(0.9976)$$

$$\therefore \text{इलेक्ट्रॉन की चाल } v = 0.9988 \times c$$

$$\Rightarrow v = 0.9988 \times 3 \times 10^8 = 2.99 \times 10^8 m\, s^{-1}$$

प्रश्न 21

a. संग्राहक विभव 10MV के लिए इलेक्ट्रॉनों की चाल ज्ञात करने के लिए उसी सूत्र का प्रयोग करें, जो (a) में काम में लाया गया है। क्या आप इस सूत्र को गलत पाते हैं? इस सूत्र को किस प्रकार सुधारा जा सकता है?

b. क्या जिस सूत्र को (a) में उपयोग में लाया गया है वह यहाँ भी एक 20Mev इलेक्ट्रॉन किरण-पुंज की त्रिज्या परिकलित करने के लिए युक्तिपरक है? यदि नहीं तो किस प्रकार इसमें संशोधन किया जा सकता है?

उत्तर-

a.

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, इलेक्ट्रॉन के लिए $\frac{e}{m_0} = 1.76 \times 10^{11} C\ kg^{-1}$

$B = 1.30 \times 10^{-4} T, v = 5.20 \times 10^{6} m\ s^{-1}$

यदि इलेक्ट्रॉन के पथ की त्रिज्या r है तो,

$$\frac{m_0 v^2}{r} = ev\ B \sin 90^\circ \Rightarrow r = \frac{m_0 v}{eB} = \frac{m_0}{e} \times \frac{v}{B}$$

अतः पथ की त्रिज्या $r = \frac{1}{1.76 \times 10^{11}} \times \frac{5.20 \times 10^{6}}{1.30 \times 10^{-4}} = 0.227 m$

अथवा $r = 22.7 cm$

b.

जहाँ इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा $\frac{1}{2} m v^2 = 20 MeV = 20 \times 10^{6} eV$

या $\frac{1}{2} m_0 v^2 = 20 \times 10^{6} \times eJ$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 \times 20 \times 10^{6} \frac{e}{m_0}} = \sqrt{40 \times 10^{6} \times 1.76 \times 10^{11}}$$

इलेक्ट्रॉन की चाल $v = 2.65 \times 10^{9} m/s$

इलेक्ट्रॉन की चाल निर्वात् में प्रकाश की चाल से अधिक है। अतः पथ की त्रिज्या का परिकलन करने के लिए सामान्य सूत्र का प्रयोग नहीं किया जा सकता अपितु आपेक्षिकीय यांत्रिकी का प्रयोग करना होगा।

अतः त्रिज्या के सूत्र $r = \frac{m_0 v}{eB}$ में m के स्थान पर इलेक्ट्रॉन का गतिज द्रव्यमान रखना होगा।

यहाँ इलेक्ट्रॉन गतिज द्रव्यमान $m = \frac{m_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$

$$\therefore r = \frac{m_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}} \times \frac{v}{eB} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}} \left(\frac{m_0}{e} \times \frac{e}{B}\right)$$

उक्त सूत्र से पथ की त्रिज्या की गणना की जा सकती है।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

प्रश्न 22 एक इलेक्ट्रॉन गन जिसका संग्राहक 100V विभव पर है, एक कम दाब (~102mm Hg) पर हाइड्रोजन से भरे गोलाकार बल्ब में इलेक्ट्रॉन छोड़ती है। एक चुम्बकीय-क्षेत्र जिसका मान $2.83 \times 10^{-4}$T है, इलेक्ट्रॉन के मार्ग को 12.0cm त्रिज्या के वृत्तीय कक्षा में वक्रित कर देता है। (इस मार्ग को देखा जा सकता है क्योंकि मार्ग में गैस आयन किरण-पुंज को इलेक्ट्रॉनों को आकर्षित करके और इलेक्ट्रॉन प्रग्रहण के द्वारा प्रकाश उत्सर्जन करके फोकस करते हैं; इस विधि को परिष्कृत किरण-पुंज नली विधि कहते हैं। आँकड़ों से $\frac{e}{m}$ का मान निर्धारित कीजिए।

उत्तर-

दिया है, इलेक्ट्रॉनों के लिए त्वरक विभव V = 100V

$B = 2.83 \times 10^{-4}T$, पथ की त्रिज्या $r = 12.0cm = 0.12m$

इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2 = eV$

$\therefore$ चाल $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉन के पथ की त्रिज्या $r = \frac{mv}{eB} \Rightarrow r^2 = \frac{m^2v^2}{e^2B^2}$

या $r^2 = \frac{m^2}{e^2B^2} \times \frac{2eV}{m}$

या $r^2 = \frac{m}{e} \times \frac{2V}{B^2}$

$\therefore \frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2r^2} = \frac{2 \times 100}{\left(2.83 \times 10^{-4}\right) \times (0.12)^2} = 1.73 \times 10^{11} C\text{-}kg^{-1}$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, इलेक्ट्रॉनों के लिए त्वरक विभव V = 100V

$B = 2.83 \times 10^{-4}T$, पथ की त्रिज्या $r = 12.0cm = 0.12m$

इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}mv^2 = eV$

$\therefore$ चाल $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉन के पथ की त्रिज्या $r = \frac{mv}{eB} \Rightarrow r^2 = \frac{m^2v^2}{e^2B^2}$

या $r^2 = \frac{m^2}{e^2B^2} \times \frac{2eV}{m}$

या $r^2 = \frac{m}{e} \times \frac{2V}{B^2}$

$\therefore \frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2r^2} = \frac{2\times100}{\left(2.83\times10^{-4}\right)\times(0.12)^2} = 1.73 \times 10^{11}C\text{-}kg^{-1}$

प्रश्न 23

a. एक X-किरण नली विकिरण का एक संतत स्पेक्ट्रम जिसका लघु तरंगदैर्घ्य सिरा $0.45Å$ पर है, उत्पन्न करता है। विकिरण में किसी फोटॉन की उच्चतम ऊर्जा कितनी है?

b. अपने (a) के उत्तर से अनुमान लगाइए कि किस कोटि की त्वरक वोल्टता (इलेक्ट्रॉन के लिए) की इस नली में आवश्यकता है?

उत्तर-

a.

X-किरण विकिरण में $\lambda = 0.45Å = 45 \times 10^{-12}m$

$\therefore$ विकिरण में फोटॉन की उच्चतम ऊर्जा,

$E_{max.} = \frac{hc}{\lambda_{min.}} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^8}{45\times10^{-12}} = 4.42 \times 10^{-15}J$

अथवा $E_{max.} = \frac{4.42\times10^{-15}}{1.6\times10^{-19}}eV = 2.76 \times 10^4eV = 27.6keV$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

b. माना लक्ष्य से टकराने वाले इलेक्ट्रॉनों को उक्त ऊर्जा प्रदान करने के लिए त्वरक विभव V की आवश्यकता होती है।

तब इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा E = eV

$$\Rightarrow \text{त्वरक विभव } V = \frac{E}{e} = \frac{E_{max.}}{e} = \frac{4.42\times10^{-15}}{1.6\times10^{-19}}$$

$$\therefore \text{अभीष्ट त्वरक विभव } V = 27.6kV$$

प्रश्न 24 एक त्वरित्र (accelerator) प्रयोग में पॉजिट्रॉनों (e+) के साथ इलेक्ट्रॉनों के उच्च-ऊर्जा संघट्टन पर, एक विशिष्ट घटना की व्याख्या कुल ऊर्जा 10.2BeV के इलेक्ट्रॉन-पॉजिट्रॉन युग्म के बराबर ऊर्जा की दो γ-किरणों में विलोपन के रूप में की जाती है। प्रत्येक γ-किरण से सम्बन्धित तरंगदैघ्र्यों के मान क्या होंगे? (1BeV = 109eV)

उत्तर- घटना में विलुप्त इलेक्ट्रॉन-पॉजिट्रॉन की कुल ऊर्जा = 10.2 × 109eV

यह ऊर्जा दोनों γ-फोटॉनों में बराबर-बराबर बँट जाएगी।

$$\therefore \text{प्रत्येक γ-फोटॉन की ऊर्जा} = \frac{1}{2} \times 10.2 \times 10^9 eV$$

$$= \frac{1}{2} \times 10.2 \times 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} J$$

$$= 8.16 \times 10^{-10} J$$

$$\text{परन्तु } E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore \text{फोटॉन की तरंगदैघ्र्य } \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^8}{5.16\times10^{-10}} m$$

$$\text{या } \lambda = 2.43 \times 10^{-16} m$$

प्रश्न 25 आगे आने वाली दो संख्याओं का आकलन रोचक हो सकता है। पहली संख्या यह बताएगी कि रेडियो अभियान्त्रिक फोटॉन की अधिक चिन्ता क्यों नहीं करते। दूसरी संख्या आपको यह बताएगी

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

कि हमारे नेत्र 'फोटॉनों की गिनती क्यों नहीं कर सकते, भले | ही प्रकाश साफ-साफ संसूचन योग्य हो।

a. एक मध्य तरंग (medium wave) 10kW सामर्थ्य के प्रेषी, जो 500m तरंगदैर्ध्य की रेडियो तरंग उत्सर्जित करता है, के द्वारा प्रति सेकण्ड उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या।
b. निम्नतम तीव्रता का श्वेत प्रकाश जिसे हम देख सकते हैं ($\sim 10^{-10}$W $m^{-2}$) के संगत फोटॉनों की संख्या जो प्रति सेकण्ड हमारे नेत्रों की पुतली में प्रवेश करती है। पुतली का क्षेत्रफल लगभग 0.4$cm^2$ और श्वेत प्रकाश की औसत आवृत्ति को लगभग $6 \times 10^{14}$Hz मानिए।

उत्तर-

a. प्रेषी की शक्ति P = 10kW = 104W

उत्सर्जित फोटॉनों की तरंगदैर्घ्य $\lambda$=500m

$$\therefore \text{प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62\times10^{-10}\times3\times10^{8}}{500} = 3.98 \times 10^{-28} J$$

∴ प्रति सेकण्ड उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या,

$$n = \frac{P}{E} = \frac{10^4}{3.98\times10^{-28}} = 2.51 \times 10^{31} \text{ फोटॉन/ सेकण्ड}$$

हम देख सकते हैं कि 10kW सामर्थ्य के प्रेषी द्वारा प्रति सेकण्ड उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या इतनी अधिक है। अत: फोटॉनों की अलग-अलग ऊर्जा की उपेक्षा करके रेडियो तरंगों की कुल ऊर्जा को सतत माना जा सकता है।

b. श्वेत प्रकाश की औसत आवृत्ति v = $6 \times 10^4$Hz

∴ श्वेत प्रकाश की फोटॉन की ऊर्जा E = hav = $6.62 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14}$

= $3.97 \times 10^{-19}$J

आँख द्वारा संसूचित न्यूनतम तीव्रता = 10 - 10$Wm^{-2}$

इस स्थिति में आँख में प्रवेश करने वाले प्रकाश की न्यूनतम शक्ति,



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

$P = 10\text{-}10 Wm^{-2} \times (0.4 \times 10^{-4} m^2)$

$= 4 \times 10^{415} W$

∴ आँख में प्रति सेकण्ड प्रवेश करने वाले फोटॉनों की संख्या,

$$n = \frac{P}{E} = \frac{4 \times 10^{-15}}{3.97 \times 10^{-19}} = 1.01 \times 10^4 \text{ फोटॉन/ सेकण्ड}$$

यद्यपि यह संख्या रेडियो प्रेषी द्वारा प्रति सेकण्ड उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या से अत्यन्त कम है। परन्तु आँख के सूक्ष्म क्षेत्रफल की दृष्टि से इतनी अधिक है कि हम आँख पर गिरने वाले फोटॉनों के अलग-अलग प्रभाव को संसूचित नहीं कर पाते अपितु प्रकाश के सतत प्रभाव का अनुभव करते हैं।

प्रश्न 26 एक 100W पारद (Mercury) स्रोत से उत्पन्न 2271A° तरंगदैर्घ्य का पराबैंगनी प्रकाश एक मॉलिब्डेनम धातु से निर्मित प्रकाश सेल को विकिरित करता है। यदि निरोधी विभव -1.3V हो तो धातु के कार्य-फलन का आकलन कीजिए। एक He-Ne लेसर द्वारा उत्पन्न 6328A° के उच्च तीव्रता (~105W $m^{-2}$) के लाल प्रकाश के साथ प्रकाश सेल किस प्रकार अनुक्रिया करेगा?

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, $\lambda_1 = 2271\text{Å} = 2271 \times 10^{-10}\text{m}$ के लिए,

निरोधी विभव $V_0 = -1.3\text{V}, e = -1.6 \times 10^{-19}\text{C}$

$\therefore$ आपतित फोटॉन की ऊर्जा,

$$E = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2271\times10^{-10}} = 8.745 \times 10^{-19}\text{J}$$

जबकि उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन की महत्तम गतिज ऊर्जा,

$$E_{max.} = eV_0 = \left(-1.6 \times 10^{-19}\right) \times (-1.3)$$

$$= 2.08 \times 10^{-19}\text{J}$$

$\therefore E_{max.} = \frac{hc}{\lambda} = \phi_0$ से, $\phi_0 = \frac{hc}{\lambda} - E_{max.}$

$\therefore$ धातु का कार्य-फलन $\phi_0 = \frac{hc}{\lambda_1} - E_{max.} = 8.745 \times 10^{-19} - 2.08 \times 10^{-19}$

$\Rightarrow \phi_0 = 6.665 \times 10^{-19}\text{J}$

या $\phi_0 = \frac{6.665\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 4.17\text{eV}$

पुनः $\phi_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$ से,

देहली तरंगदैर्घ्य $\lambda_0 = \frac{hc}{\phi_0} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{6.665\times10^{-19}} = 2.979 \times 10^{-7}\text{m}$

या $\lambda_0 = 2979\text{Å}$

$\because$ दूसरी दशा में आपतित तरंगदैर्घ्य $\lambda_2 = 6328\text{Å} > \lambda_0$

अतः प्रकाश सेल इलेक्ट्रॉन उतसर्जित नहीं करेगा और कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी।

प्रश्न 27 एक नियॉन लैम्प से उत्पन्न 640.2nm (1nm = $10^{-9}$m) तरंगदैर्ध्य का एकवर्णी विकिरण टंगस्टन पर सीजियम से निर्मित प्रकाश-संवेदी पदार्थ को विकिरित करता है। निरोधी वोल्टता

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

0.54V मापी जाती है। स्रोत को एक लौह-स्रोत से बदल दिया जाता है। इसकी 427.2nm वर्ण-रेखा उसी प्रकाश सेल को विकिरित करती है। नयी निरोधी वोल्टता ज़ात कीजिए।

उत्तर-

दिया है, $\lambda_1 = 640\text{nm} = 640.2 \times 10^{-9}\text{m}$

निरोधी वोल्टता $V_1 = 0.54\text{V}$

$\lambda = 427.2\text{nm} = 427.2 \times 10^{-9}\text{m}$ के लिए निरोधी विभव $V_2 = ?$

आइन्स्टीन के प्रकाश-विद्युत समीकरण से,

$$E_{max.} = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0 \text{ या } eV_0 = \frac{hc}{\lambda} - \phi_0 \left[\because E_{max.} = eV_0\right]$$

प्रथम दशा में, $eV_1 = \frac{hc}{\lambda_1} - \phi_0 \ldots (1)$

दूसरी दशा में, $eV_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \phi_0 \ldots (2)$

[$\because$ सेल वही है; अतः $\phi_0$ नियत है]

समीकरण (2) में से (1) को घटाने पर,

$$e(V_2 - V_1) = hc\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)$$

$$\Rightarrow V_2 - V_1 = \frac{hc}{e}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)$$

$$= \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}}\left[\frac{10^9}{427.2} - \frac{10^9}{640.2}\right]$$

$$= 12.41\left(\frac{1000}{4572} - \frac{1000}{6402}\right) = 12.41(0.234 - 0.156)$$

$$= 0.97$$

$\therefore$ अभीष्ट निरोधी विभव $V_2 = V_1 + 0.97 = 1.51\text{V}$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

एक पारद लैम्प, प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन की आवृत्ति निर्भरता के अध्ययन के लिए एक सुविधाजनक स्रोत है, क्योंकि यह दृश्य-स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी (UV) से लाल छोर तक कई वर्ण-रेखाएँ उत्सर्जित करता है। रूबीडियम प्रकाश सेल के हमारे प्रयोग में, पारद (Mercury) स्रोत की निम्न वर्ण-रेखाओं का प्रयोग किया गया हैं।

प्रश्न 28 एक पारद लैम्प, प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन की आवृत्ति निर्भरता के अध्ययन के लिए एक सुविधाजनक स्रोत है, क्योंकि यह दृश्य-स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी (UV) से लाल छोर तक कई वर्ण-रेखाएँ उत्सर्जित करता है। रूबीडियम प्रकाश सेल के हमारे प्रयोग में, पारद (Mercury) स्रोत की निम्न वर्ण-रेखाओं का प्रयोग किया गया हैं।

$$\lambda_1 = 3650\text{Å},\ \lambda_2 = 4047\text{Å},\ \lambda_3 = 4358\text{Å},\ \lambda_4 = 5461\text{Å},\ \lambda_5 = 6907\text{Å}$$

निरोधी वोल्टताएँ, क्रमशः निम्न मापी गईं हैं,

$$V_{01} = 1.28\text{V}, V_{02} = 0.95\text{V}, V_{03} = 0.74\text{V}, V_{04} = 0.16\text{V}, V_{05} = 0\text{V}$$

a. प्लांक स्थिरांक h का मान ज्ञात कीजिए।

b. धातु के लिए देहली आवृत्ति तथा कार्य-फलन का आकलन कीजिए।

[नोट-उपर्युक्त आँकड़ों से h का मान ज्ञात करने के लिए आपको e = 1.6 × $10^{-19}$C की आवश्यकता होगी। इस प्रकार के प्रयोग Na, Li, K आदि के लिए मिलिकन ने किए थे। मिलिकन ने अपने तेल-बूंद प्रयोग से प्राप्त के मान का उपयोग कर आइन्स्टीन के प्रकाश विद्युत समीकरण को सत्यापित किया तथा इन्हीं प्रेक्षणों से h के मान के लिए पृथक् अनुमान लगाया।]

उत्तर-

किसी दी गई तरंगदैर्घ्य 2 के लिए संगत आवृत्ति,

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

अतः $\lambda_1 = 3650\text{Å}$ हेतु $V_1 = \frac{3\times10^8}{3.65\times10^{-7}}\text{Hz} = 8.2\times10^{14}\text{Hz}$

$\lambda_2 = 4047\text{Å}$ हेतु $V_2 = \frac{3\times10^8}{4.047\times10^{-7}}\text{hz} = 7.4\times10^{14}\text{Hz}$

$\lambda_3 = 4358\text{Å}$ हेतु $V_3 = \frac{3\times10^8}{4.358\times10^{-7}}\text{Hz} = 6.9\times10^{14}\text{Hz}$

$\lambda_4 = 5461\text{Å}$ हेतु $V_4 = \frac{3\times10^8}{5.461\times10^{-7}}\text{Hz} = 5.5\times10^{14}\text{Hz}$

$\lambda_5 = 6907\text{Å}$ हेतु $V_5 = \frac{3\times10^8}{6.907\times10^{-7}}\text{Hz} = 4.3\times10^{14}\text{Hz}$

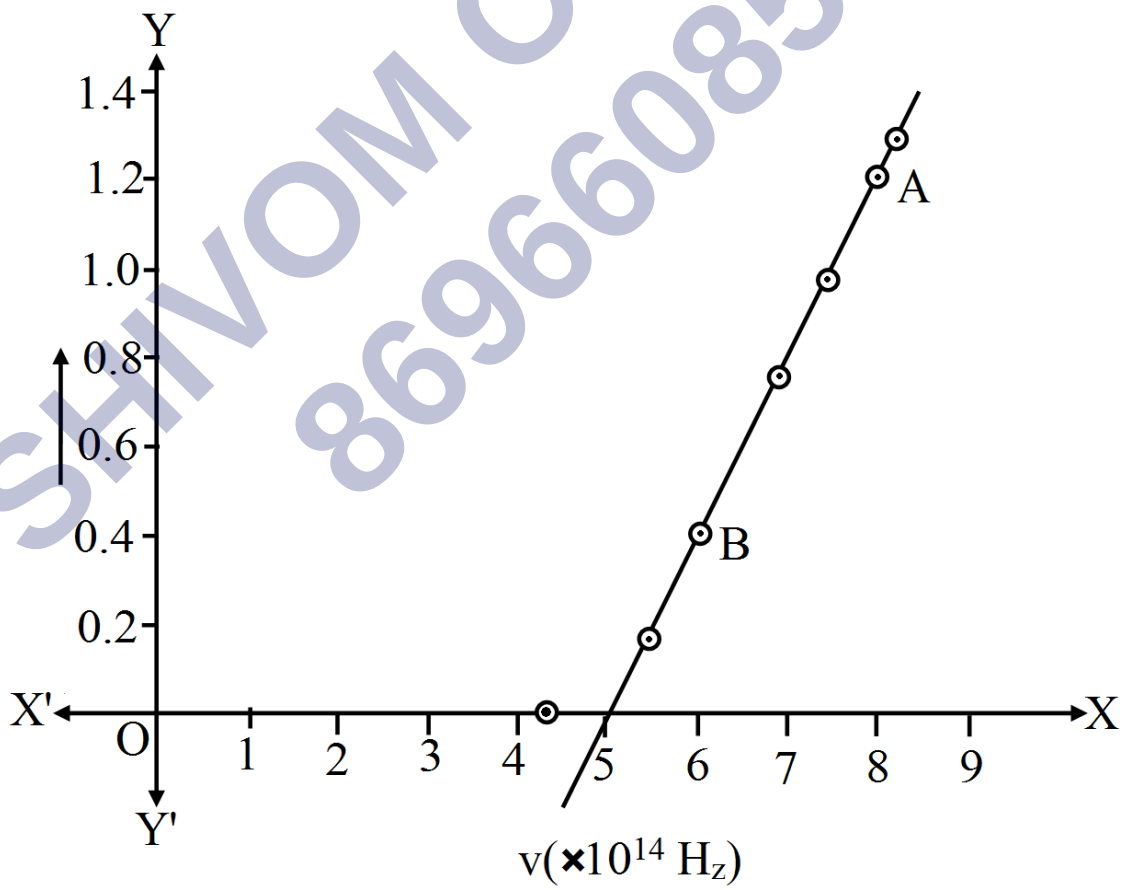
अब दिए गए आँकड़े निम्न प्रकार है-

$V_1 = 8.2\times10^{14}\text{Hz}, V_2 = 7.4\times10^{14}\text{Hz}, V_3 = 6.9\times10^{14}\text{Hz},$

$V_4 = 5.5\times10^{14}\text{Hz}, V_5 = 4.3\times10^{14}\text{Hz}$

$V_{01} = 1.28\text{V}, V_{02} = 0.95\text{V}, V_{03} = 0.74\text{V}, V_{04} = 0.16\text{V}, V_{05} = 0\text{V}$

उपयुक्त आँकड़ो के आधार पर V तथा $V_0$ के बीच खींचा गया ग्राफ निम्नांकित चित्र में प्रदर्शित है-




SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

उक्त ग्राफ से स्पष्ट है कि प्रथम चार बिन्दू एक रेखा में है तथा देहली आवृत्ति $V_0 = 5.0 \times 10^{14}$Hz.

∵ पाँचवे बिन्दु के लिए, $V_5 < V_0$

अतः इस दशा में इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन रोकने हेतु निरोधी विभव की आवश्यकता नहीं होती।

a. ग्राफ का ढाल-

$$\frac{\triangle V_0}{\triangle v} = \frac{V_A - V_B}{v_A - v_B}$$

$$= \frac{1.20-0.38}{(8-6)\times 10^{14}} = \frac{0.82}{2\times 10^{14}} = 4.1 \times 10^{-15} \text{Vs}$$

$$\because eV_{01} = hv_1 - \phi_0$$

$$eV_{02} = hv_2 - \phi_0$$

$$\Rightarrow e(V_{01} - V_{02}) = h(v_1 - v_2)$$

$$\Rightarrow h = \frac{e\triangle V}{\triangle v}$$

∴ प्लांक नियतांक h = e × ग्राफ का ढाल

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 4.1 \times 10^{-15} \approx 6.6 \times 10^{-34} \text{Js}$$

b. ग्राफ से देहली आवृत्ति, $v_0 = 5 \times 10^{14}$Hz

कार्य-फलन $\phi_0 = hv_0 = 6.6 \times 10^{-34} \times 5 \times 10^{14}$Hz

$$= 3.3 \times 10^{-19} \text{J}$$

अथवा $\phi_0 = \frac{3.3\times 10^{-19}}{1.6\times 10^{-19}} \text{eV} = 2.06\text{eV} \approx 2.1\text{eV}$

प्रश्न 29 निम्न धातुओं के कार्य-फलन निम्न प्रकार दिए गए हैं:

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

Na : 2.75ev; K : 2.30 ev; Mo : 417ev; Ni : 5.15ev इनमें धातुओं में से कौन प्रकाश सेल से 1m दूर रखे गए He-cd लेसर से उत्पन्न $3300\text{Å}$ तरंगदैर्घ्य के विकिरण के लिए प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन नहीं देगा? लेसर को सेल के निकट 50cm दूरी पर रखने पर क्या होगा?

उत्तर-

He-Cd लेसर से उत्पन्न तरंगदैर्घ्य $\lambda = 3300\text{Å} = 3.3 \times 10^{-7}\text{m}$

इस विकिरण के एक फोटॉन की ऊर्जा,

$$E = \frac{6.6\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{3.3\times10^{-7}} = 6 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$= \frac{6\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 3.75\text{eV}$$

∵ Mo तथा Ni के लिए कार्य-फलंन, उक्त विकिरण के एक फोटॉन की ऊर्जा से अधिक है; अतः उक्त दोनों धातु प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन नहीं देंगे। यदि लेसर को 1m के स्थान पर 50cm दूरी पर रख दें तो भी उक्त परिणाम में कोई अन्तर नहीं आएगा, क्योंकि लेसर को समीप रखने पर धातु पर गिरने वाले प्रकाश की तीव्रता तो बढ़ जाएगी,परन्तु एक फोटॉन से सम्बद्ध ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होगा।

प्रश्न 30 $10^{-5}$W $m^{-2}$ तीव्रता का प्रकाश सोडियम प्रकाश सेल के $2cm^2$ क्षेत्रफल के पृष्ठ पर पड़ता है। यह मान लें कि ऊपर की सोडियम की पाँच परतें आपतित ऊर्जा को अवशोषित करती हैं तो विकिरण के तरंग-चित्रण में प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन के लिए आवश्यक समय का आकलन कीजिए। धातु के लिए कार्य-फलन लगभग 2eV दिया गया है। आपके उत्तर का क्या निहितार्थ है?

उत्तर- दिया है, प्रकाश की तीव्रता I = $10^{-5}W/m^2$

सेल का क्षेत्रफल A = $2 \times 10^{-4}$m, कार्य-फलन $\Phi 0$ = 2eV

∴ सोडियम परमाणु की लगभग त्रिज्या r = $10^{-10}$m

∴ सोडियम परमाणु का लगभग क्षेत्रफल $\pi r^2 = 3.14 \times 10^{-20} = 10^{-20}m^2$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

∴ एक परत में उपस्थित सोडियम परमाणुओं की संख्या,

$$= \frac{\text{परत का क्षेत्रफल}}{\text{एक परमाणु का क्षेत्रफल}} = \frac{2 \times 10^{-4}}{10^{-20}} = 2 \times 10^{16}$$

∴ 5 परतों में परमाणुओं की संख्या n = 5 × 2 × $10^{16}$ = $10^{17}$

∵ सोडियम के एक परमाणु में एक चालन इलेक्ट्रॉन होता है; अतः इन n परमाणुओं में n चालन इलेक्ट्रॉन होंगे। सेल पर प्रति सेकण्ड आपतित प्रकाशिक ऊर्जा = I × A

= $10^{-5}$ ×2 × $10^{-4}$ = 2 × $10^{9}$W

∵ कुल ऊर्जा.सोडियम की पाँच परतों द्वारा अवशोषित होती है; अतः तरंग सिद्धान्त के अनुसार यह ऊर्जा पाँच परतों के n इलेक्ट्रॉनों में समान रूप से बँट जाती है।

∴ एक इलेक्ट्रॉन को प्रति सेकण्ड प्राप्त होने वाली ऊर्जा,

$$= \frac{2\times10^{-9}\text{W}}{10^{17}} - = 2 \times 10^{-26}\text{J s}^{-1}$$

कार्य फलन $\phi_{\cap} = 2\text{eV} = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$

अर्थात् 1 इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित कराने के लिए आवश्यक ऊर्जा = 3.2 × $10^{-19}$J

∴ किसी इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित होने में लगा समय है = पर्याप्त ऊर्जा प्राप्त करने में लगा समय,

$$= \frac{3.2\times10^{-19}\text{J}}{2\times10^{-26}\text{Js}^{-1}} = 1.6 \times 10^{7}\text{s}$$

$$= \frac{1.6\times10^{7}}{365\times24\times60\times60} \text{ वर्ष} = 0.5 \text{ वर्ष}$$

**उत्तर का निहितार्थ:** इस उत्तर से स्पष्ट है कि प्रकाश के तरंग सिद्धान्त के अनुसार प्रकाश विद्युत-उत्सर्जन की घटना में एक इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित होने में लगने वाला समय बहुत अधिक है जो कि इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन में लगे प्रेक्षित समय (लगभग $10^{-9}$s) से मेल नहीं खाता। इससे स्पष्ट है कि प्रकाश का तरंग सिद्धान्त प्रकाश विद्युत उत्सर्जन की व्याख्या नहीं कर सकता।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

प्रश्न 31 X-किरणों के प्रयोग अथवा उपयुक्त वोल्टता से त्वरित इलेक्ट्रॉनों से क्रिस्टल-विवर्तन प्रयोग किए जा सकते हैं। कौन-सी जाँच अधिक ऊर्जा सम्बद्ध है? (परिमाणिक तुलना के लिए, जाँच के लिए तरंगदैर्घ्य $1\text{Å}$ को लीजिए, जो कि जालक (लेटिस) में अन्तर-परमाणु अन्तरण की कोटि को है) (me = $9.11 \times 10^{-31}$kg)।

उत्तर-

दिया है, X-किरण फोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य $\lambda = 1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$

$\therefore$ X-किरण फोटॉन की ऊर्जा $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{10^{-10}}$

$= 1.986 \times 10^{-15}\text{J}$

$\because$ इलेक्ट्रॉन की डी-ब्राग्ली तरंगदैर्घ्य $\lambda = \frac{h}{p}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m^2v^2}{2m}$

$\Rightarrow E = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{\left(6.62\times10^{-34}\right)^2}{2\times9.1\times10^{-31}\times\left(10^{-10}\right)^2}$

$= 2.40 \times 10^{-17}\text{J}$

स्पष्ट है की X-किरण फोटॉन की ऊर्जा समान तरंगदैर्घ्य के इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा से अधिक है।

प्रश्न 32

a. एक न्यूट्रॉन, जिसकी गतिज ऊर्जा 150eV है, का डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य प्राप्त कीजिए। जैसा कि आपने प्रश्न 31 में देखा है, इतनी ऊर्जा का इलेक्ट्रॉन किरण-पुंज क्रिस्टल विवर्तन प्रयोग के लिए उपयुक्त है। क्या समान ऊर्जा का एक न्यूट्रॉन किरण-पुंज इस प्रयोग के लिए समान रूप से उपयुक्त होगा? स्पष्ट कीजिए। [mn = $1.675 \times 10^{-27}$kg]

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

b. कमरे के सामान्य ताप (27°C) पर ऊष्मीय न्यूट्रॉन से जुड़े डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए। इस प्रकार स्पष्ट कीजिए कि क्यों एक तीव्रगामी न्यूट्रॉन को न्यूट्रॉन-विवर्तन प्रयोग में उपयोग में लाने से पहले वातावरण के साथ तापीकृत किया जाता है।

उत्तर-

a.

दिया है, न्यूट्रॉन की ऊर्जा E = 150eV = 150 × 1.6 × $10^{-19}$J.

$$\because \frac{1}{2}m_n v^2 = E \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E}{m_n}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\times150\times1.6\times10^{-19}}{1.675\times10^{-27}}} \quad [\because \text{न्यूट्रॉन का द्रव्यमान} = 1.675 \times 10^{-27}\text{kg}]$$

$$= 16.93 \times 10^4 \text{m s}^{-1}$$

न्यूट्रॉन से संबद्ध डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{m_n v} = \frac{6.62\times10^{-34}}{1.675\times10^{-27}\times16.93\times10^4}\text{m}$$

$$= 2.34 \times 10^{-12}\text{m} = 0.0234\text{Å}$$

b. दिया है, कमरे का तापमान T = 27 + 273 = 300K

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान mn = 1.675 × 10-27kg

बोल्टजमैन नियतांक k = 1.38 × 10-23J/ mole K

कमरे के ताप पर न्यूट्रॉन की गतिज ऊर्जा,

$$E = \frac{3}{2}kT \text{ परन्तु } E = \frac{1}{2}m_n v^2$$

$$\because \frac{1}{2}m_n v^2 = \frac{3}{2}kT \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m_n}}$$

$$\therefore \text{न्यूट्रॉन का संवेग } p = m_n v = \sqrt{3m_n kT}$$

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

अतः न्यूट्रॉन डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3m_n kT}} = \frac{6.62\times10^{-34}}{\sqrt{\left(3\times1.675\times10^{-27}\times1.38\times10^{-23}\times300\right)}}$$

$$= \frac{6.62\times10^{-34}}{45.61\times10^{-25}} = 1.45\times10^{-10}\text{m} = 1.45\text{Å}$$

स्पष्ट है कि (27°C) के न्यूट्रॉन की डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य, क्रिस्टलों में अन्तरापरमाण्विक दूरी के साथ तुलनीय है। अतः यह न्यूट्रॉन क्रिस्टल विवर्तन प्रयोग के लिए उपयुक्त है। इससे स्पष्ट है कि न्यूट्रॉनों को क्रिस्टल विवर्तन प्रयोगों में उपयोग में लाने के लिए उन्हें वातावरण के साथ तापीकृत करना चाहिए।

प्रश्न 33 एक इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी में 50kV वोल्टता के द्वारा त्वरित इलेक्ट्रॉनों का उपयोग किया जाता है। इन इलेक्ट्रॉनों से जुड़े डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए। यदि अन्य बातों (जैसे कि संख्यात्मक द्वारक आदि) को लगभग समान लिया जाए, इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता की तुलना पीले प्रकाश का प्रयोग करने वाले प्रकाश सूक्ष्मदर्शी से किस प्रकार होती है?

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

दिया है, इलेक्ट्रॉनों का त्वरक विभवान्तर V = 50kV = 50 × $10^3$v

∴ इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा E = eV जूल,

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eV; \text{ अतः } v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\therefore p = mv\sqrt{2meV}$$

∴ इलेक्ट्रॉन डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda_e = \frac{h}{p=\frac{h}{\sqrt{2meV}}} = \frac{6.62\times10^{-34}}{\sqrt{\left(2\times9.1\times10^{-31}\times1.6\times10^{-19}\times50\times10^3\right)}}$$

$$= \frac{6.62\times10^{-34}}{12.07\times10^{-23}}m = 5.48\times10^{-12}m = 0.0548\text{Å}$$

जबकि पिले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य $\lambda_y = 5900\text{Å}$

∵ किसी प्रकाशित यन्त्र की विभेदन क्षमता $\propto \frac{1}{\lambda}$

$$\therefore \frac{\text{इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता}}{\text{प्रकाशिक सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता}} = \frac{\lambda_y}{\lambda_e} = \frac{5900}{0.0548} = 1.08\times10^5$$

अर्थात इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता, प्रकाशित सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता की $10^5$ गुनी होती है।

प्रश्न 34 किसी जाँच की तरंगदैर्घ्य उसके द्वारा कुछ विस्तार में जाँच की जा सकने वाली संरचना के आकार की लगभग आमाप है। प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की क्वार्क (quark) संरचना $10^{-15}$m या इससे भी कम लम्बाई के लघु पैमाने की है। इस संरचना को सर्वप्रथम 1970 दशक के प्रारम्भ में, एक रेखीय त्वरित्र (Linear accelerator) से उत्पन्न उच्च ऊर्जा इलेक्ट्रॉनों के किरणे-पुंजों के उपयोग द्वारा, स्टैनफोर्ड, संयुक्त राज्य अमेरिका में जाँचा गया था। इन इलेक्ट्रॉन किरण-पुंजों की ऊर्जा की कोटि का अनुमान लगाइए। (इलेक्ट्रॉन की विराम द्रव्यमान ऊर्जा 0.511MeV है।)

उत्तर-

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

क्वार्क संरचना का आमाप, $\lambda = 10^{-15}\text{m}$

इलेक्ट्रॉन का विराम द्रव्यमान $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉन की विराम द्रव्यमान ऊर्जा,

क्वार्क संरचना का आमाप, $\lambda = 10^{-15}\text{m}$

इलेक्ट्रॉन का विराम द्रव्यमान $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$

$\therefore$ इलेक्ट्रॉन की विराम द्रव्यमान ऊर्जा,

$$E_0 = m_0c^2 = 9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 8.19 \times 10^{-14}\text{J}$$

सूत्र $\lambda = \frac{h}{p}$ से, संवेग $p = \frac{h}{\lambda}$

$$\Rightarrow p = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{10^{-15}} = 6.62 \times 10^{-19}\text{J}$$

$\therefore$ आपेक्षिक सिद्धान्त के अनुसार,

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2 = (m_0c^2)^2 + p^2c^2$$

$$= (8.19 \times 10^{-14})^2 + (6.62 \times 10^{-19}) \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 3.94 \times 10^{-20} \left[\because m_0^2c^4 \approx 10^{-26}; \text{अतः इसे छोड़ने पर}\right]$$

$$\therefore E = \sqrt{3.94 \times 10^{-20}} = 1.98 \times 10^{-10}\text{J}$$

अथवा $E = \frac{1.98 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}}\text{eV} = 1.24 \times 10^9\text{eV}$

अतः रेखीय त्वरित से निकलने वाले इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा $10^9$eV (अथवा BeV) की कोटि की है।

प्रश्न 35 कमरे के ताप (27°C) और 1atm दाब पर He परमाणु से जुड़े प्रारूपी डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए और इन परिस्थितियों में इसकी तुलना दो परमाणुओं के बीच औसत दूरी से कीजिए।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

उत्तर-

कमरे का ताप T = 27 + 273 = 300K

He का परमाणु द्रव्यमान = 4g

1g mole (4g) हीलियम में परमाणुओं की संख्या $= N_A = 6.02 \times 10^{23}$

$\therefore$ 1 हीलियम परमाणु का द्रव्यमान $m = \frac{4g}{N_A} = \frac{4}{6.02} \times 10^{-27} g$

$= 6.67 \times 10^{-27} kg$

$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$ से, $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

$\therefore$ डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} \left[ \because p = mv = \sqrt{3mkT} \right]$

$\Rightarrow \lambda = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{\sqrt{3 \times 6.67 \times 10^{-27} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}} = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{91.0 \times 10^{-25}}$

$= 7.27 \times 10^{-11} m = 0.727 Å \approx 0.73 Å$

यहाँ गैस का दाब $p = 1.01 \times 10^5 pa$

तथा $T = 300K$

$\therefore PV = RT \Rightarrow PV = N_A kT \left( \because k = \frac{R}{N_A} \right)$

$\Rightarrow \frac{V}{N_A} = \frac{kT}{P}$

$\therefore$ 1 परमाणु का आयतन $r_0^3 = \frac{V}{N_A} = \frac{kT}{P}$

$\therefore$ परमाणुओं के बीच औसत दुरी $r_0 = \left( \frac{kT}{P} \right)^{\frac{1}{3}} = \left[ \frac{1.38 \times 10^{-34} \times 300}{1.01 \times 10^5} \right]^{\frac{1}{3}}$

$= 3.4 \times 10^{-9} m = 34 Å$

इससे स्पष्ट है की परमाणुओं के बीच की दुरी, डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य से लगभग 50 गुनी बड़ी है।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

प्रश्न 36 किसी धातु में (27°C) पर एक इलेक्ट्रॉन का प्रारूपी डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य परिकलित कीजिए और इसकी तुलना धातु में दो इलेक्ट्रॉनों के बीच औसत पृथक्य से कीजिए जो लगभग 2 × $10^{-10}$m दिया गया है।

उत्तर-

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} \left[m = 9.1 \times 10^{-31}kg, k = 1.38 \times 10^{-23}J/mole\ K\right]$$

∴ इलेक्ट्रॉन की डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य,

$$\lambda = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{\sqrt{\left(3 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300\right)}} = 62 \times 10^{-10}m = 62\text{Å}$$

जबकि दो इलेक्ट्रॉनों की बीच की दुरी $r_0 = 2 \times 10^{-10}$m

$$\therefore \frac{\lambda}{r_0} = \frac{62}{2} = 31$$

अर्थात डी-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य, इलेक्ट्रॉनों के बीच की दुरी 31 गुनी है।

प्रश्न 37 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए-

a. विचार किया गया है कि प्रोटॉन और न्यूट्रॉन के भीतर क्वार्क पर आंशिक आवेश होते हैं।

$$\left[\left(+\frac{2}{3}\right)e; \left(-\frac{1}{3}\right)e\right]$$

यह मिलिकन तेल-बूँद प्रयोग में क्यों नहीं प्रकट होते?

b. संयोग की क्या विशिष्टता है? हम e तथा m के विषय में अलग-अलग विचार क्यों नहीं करते?

c. गैसें सामान्य दाब पर कुचालक होती हैं, परन्तु बहुत कम दाब पर चालन प्रारम्भ कर देती हैं। क्यों?

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

d. प्रत्येक धातु का एक निश्चित कार्य-फलन होता है। यदि आपतित विकिरण एकवर्णी हो तो सभी प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन समान ऊर्जा के साथ बाहर क्यों नहीं आते हैं? प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों का एक ऊर्जा वितरण क्यों होता है?

e. एक इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा तथा इसका संवेग इससे जुड़े पदार्थ-तरंग की आवृत्ति तथा इसके तरंगदैर्घ्य के साथ निम्न प्रकार सम्बन्धित होते हैं।

$$E = hv, p = \frac{h}{\lambda}$$

परन्तु λ का मान जहाँ भौतिक महत्त्व का है, के मान (और इसलिए कला चाल 22 को मान) का कोई भौतिक महत्त्व नहीं है। क्यों?

उत्तर-

a. भिन्नात्मक आवेश वाले क्वार्क न्यूट्रॉन तथा प्रोटॉन के भीतर इस प्रकार सीमित रहते हैं कि प्रोटॉन में उपस्थित क्वार्को के आवेशों का योग +e तथा न्यूट्रॉन में उपस्थित क्वार्को के आवेशों का योग शून्य बना रहता है तथा ये क्वार्क पारस्परिक आकर्षण बलों द्वारा बँधे रहते हैं। जब इन्हें अलग करने का प्रयास किया जाता है तो बल और अधिक शक्तिशाली हो जाते हैं और इसी कारण वे एक साथ बने रहते हैं। इसीलिए प्रकृति में भिन्नात्मक आवेश मुक्त अवस्था में नहीं पाए जाते अपितु वे सदैव इलेक्ट्रॉनिक आवेश के पूर्ण गुणज के रूप में ही पाए जाते हैं।

b. इलेक्ट्रॉन की गति समीकरणों $eV = \frac{1}{2}mv, eE = ma$ तथा $evB = \frac{mv^2}{r}$ द्वारा निर्धारित होती है। इनमें से प्रत्येक में e तथा m दोनों एक साथ आए हैं। इससे स्पष्ट है कि इलेक्ट्रॉन की गति के लिए e अथवा m पर अकेले-अकेले विचार करने के स्थान पर $\frac{e}{m}$ पर विचार किया जाता है।

c. सामान्य दाब पर गैसों में विसर्जन के कारण उत्पन्न आयन कुछ ही दूरी तय करने तक गैस के अन्य अणुओं से टकराकर उदासीन हो जाते हैं और इस कारण सामान्य दाब पर गैसों में विद्युत चालन नहीं हो पाता। इसके विपरीत अत्यन्त निम्न दाब पर गैस में अणुओं की संख्या बहुत कम रह जाती है। इस कारण उत्पन्न आयन अन्य अणुओं से टकराने से पूर्व ही विपरीत इलेक्ट्रॉड तक पहुँच जाते हैं।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)

d. कार्य फलन से, धातु में उच्चतम ऊर्जा स्तर अथवा चालन बैण्ड में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों के उत्सर्जन के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा का ज्ञान होता है। परन्तु प्रकाश विद्युत उत्सर्जन में इलेक्ट्रॉन अलग-अलग ऊर्जा स्तरों से निकल कर आते हैं। अतः उत्सर्जन के बाद उनके पास, भिन्न-भिन्न ऊर्जाएँ होती हैं।

e. किसी द्रव्य कण की ऊर्जा का निरपेक्ष मान (न कि संवेग) एक निरपेक्ष स्थिरांक के अधीन स्वेच्छ होता है। यही कारण है कि द्रव्य तरंगों से सम्बद्ध तरंगदैर्घ्य $\lambda$ का ही भौतिक महत्त्व होता है न कि आवृत्ति $\nu$ का इसी कारण कला वेग $\nu\lambda$ का भी कोई भौतिक महत्त्व नहीं होता।

SHIVOM CLASSES 8696608541



SHIVOM CLASSES - WhatsApp for Notes (8696608541)