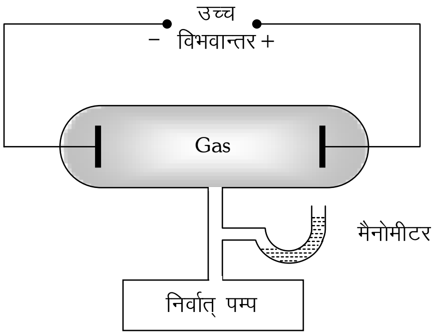
गैसों में विद्युत विसर्जन

सामान्य दाब पर गैसें विद्युत की कुचालक हैं। यदि हम सामान्य दाब पर वायु में कुछ से.मी. दूरी पर स्थित दो इलेक्ट्रोडों के बीच उच्च विभवान्तर (लगभग 30 *kV*) स्थापित कर दें तो उनके बीच विद्युत प्रवाह चिंगारियों के रूप में होने लगता है। गैसों में इस प्रकार के विद्युत प्रवाह को ''विद्युत विसर्जन'' कहते हैं।

गैसों में विद्युत विसर्जन का अध्ययन एक विसर्जन नलिका की सहायता से किया जाता है।

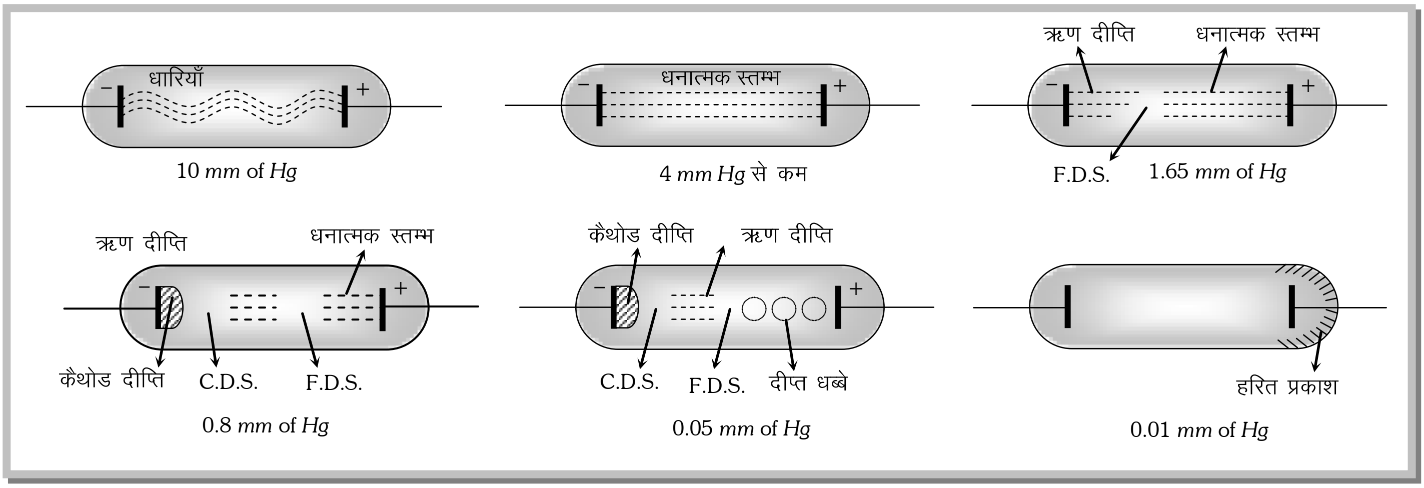


विसर्जन नलिका की लम्बाई ≈ 30 से 40 *cm*
एवं व्यास ≈ 4*cm*

विसर्जन नलिका में उस गैस को भर लेते हैं जिसके विद्युत विसर्जन का हमें अध्ययन करना है। निर्वात् पम्प की सहायता से नली के दाब को कम किया जा सकता है एवं इसकी माप मैनोमीटर से कर लेते हैं।

विभिन्न दाबों पर विसर्जन की स्थितियाँ

जैसे-जैसे नली के दाब को कम करते जाते हैं तो विसर्जन की निम्न स्थितियाँ प्राप्त होती हैं



(1) सामान्य दाब पर गैस में कोई विसर्जन नहीं होता है।

(2) 10 *mm* (*Hg*) दाब पर नली में एक इलेक्ट्रोड से दूसरे इलेक्ट्रोड की ओर टेढ़ी-मेढ़ी पतली लाल चिंगारी चलती हुई दिखाई देती है एवं चटचटाने (Cracking) की आवाज सुनाई देती है।

(3) 4 *mm Hg* दाब पर इलेक्ट्रोडों पर कुछ चमक दिखाई देती है एवं शेष नलिका में अंधेरा छा जाता है।

(4) जब दाब 4 *mm Hg* से कुछ कम हो जाता है तो एनोड और कैथोड के बीच का भाग चमकीले प्रकाश से भर जाता है। इसे धनात्मक प्रकाश स्तम्भ कहते हैं। प्रकाश का रंग गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है।

गैस	रंग
वायु	लाल बैंगनी
H_2	नीला
N_2	लाल
Cl_2	हरा
CO_2	नीला श्वेत
Na	पीला
नियॉन	गहरा लाल

(5) 1.65 $mm\ Hg$ दाब पर

(i) कैथोड पर नीले रंग की चमक दिखाई देती है इसे ऋण दीप्ति कहते हैं।

(ii) धनात्मक स्तम्भ की लम्बाई कम हो जाती है। ऋण दीप्ति एवं धनात्मक स्तम्भ के बीच उपस्थित अंधकार को फैराडे का अदीप्त प्रदेश (F.D.S.) कहते हैं।

(6) 0.8 $mm\ Hg$ दाब पर ऋण दीप्ति कैथोड को छोड़कर आगे बढ़ जाती है। ऋण दीप्ति एवं कैथोड के बीच अंधेरे स्थान को क्रुक का अदीप्त प्रदेश कहते हैं। धनात्मक स्तम्भ की लम्बाई बहुत कम हो जाती है। कैथोड पर एक हल्की चमक दिखाई देती है इसे कैथोड दीप्ति कहते हैं।

(7) 0.05 $mm\ Hg$ दाब पर धनात्मक स्तम्भ क्रमागत दीप्त व अदीप्त धब्बों में विभाजित हो जाता है।

(8) 0.01 या 10^{-2} $mm\ Hg$ दाब पर कैथोड से कुछ अदृश्य कण निकलते हैं जो कैथोड के सामने नलिका से टकराकर प्रदीप्ति उत्पन्न करते हैं। इन अदृश्य किरणों (कणों की बौछार) को कैथोड किरणें कहते हैं।

(9) अन्त में 10^{-4} $mm\ Hg$ दाब पर कोई विसर्जन नहीं होता है।

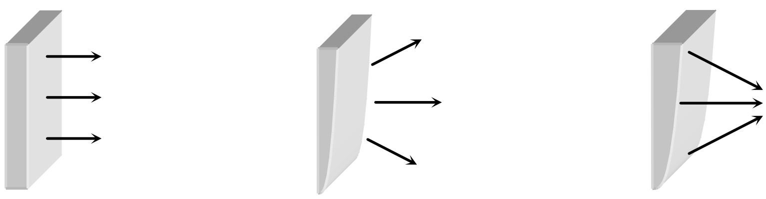
कैथोड किरणें

कैथोड किरणों की खोज सर विलियम क्रुक ने की। ये इलेक्ट्रॉनों का पुंज होती है। ये किरणें 10^{-2} $mm\ Hg$ दाब पर विसर्जन नलिका में कैथोड से उत्पन्न होती है। इस दाब पर गैस के अणु आयनित हो जाते हैं एवं मुक्त इलेक्ट्रॉन धनात्मक एनोड की ओर गति करने लगते हैं। इस प्रकार विसर्जन नलिका में गैस के आयनित होने के कारण एवं धनात्मक आयनों के कैथोड से टकराने के कारण कैथोड किरणें उत्पन्न होती हैं।

(1) कैथोड किरणों के गुणधर्म

(i) कैथोड किरणें सरल रेखा में चलती हैं तथा अपने मार्ग में रखी वस्तु की छाया बनाती हैं।

(ii) कैथोड किरणें तल के लम्बवत् निकलती हैं एवं एनोड की स्थिति से अप्रभावित रहती हैं।



(iii) किसी पदार्थ पर आपतित होने पर उसे गर्म कर देती हैं।

(iv) यांत्रिक दाब आरोपित करती हैं।

(v) फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करती हैं।

(vi) गैसों को आयनित कर देती हैं।

(vii) प्रदीप्ति उत्पन्न करती हैं।

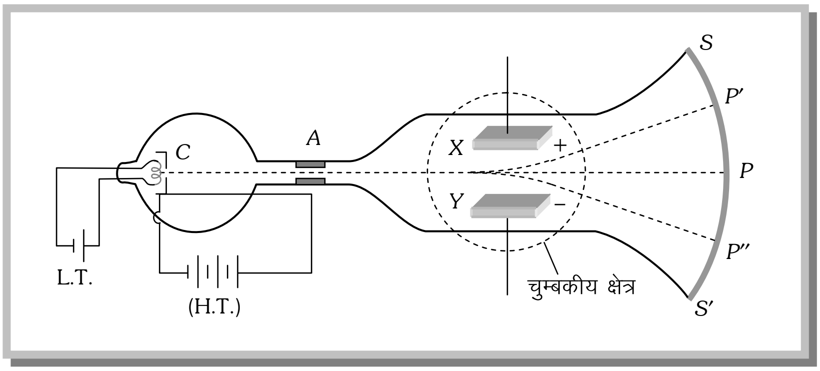
(viii) पतली धात्विक पन्नी को पार कर जाती हैं।

(ix) विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र में विक्षेपित होती हैं।

(x) इनका वेग $\frac{1}{30}$ से $\frac{1}{10}$ प्रकाश के वेग (अर्थात् $10^7\ m/s$ से $3\times10^7\ m/s$) के बराबर होता है।

(2) जे०जे० थॉमसन विधि द्वारा इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश (e/m) का निर्धारण

यदि इलेक्ट्रॉनों के एक पुंज पर विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र इस प्रकार आरोपित किये जायें कि इन दोनों के कारण इलेक्ट्रॉनों पर लगने वाले बल बराबर व विपरीत हों तो इलेक्ट्रॉन पुंज अविक्षेपित गुजरता है। यही इस विधि का कार्य सिद्धान्त है।



C = कैथोड, A = एनोड, F = तन्तु (Filament), LT = अल्प-वोल्टेज की बैटरी (फिलामेण्ट गर्म करने के लिए), H.T. = उच्च वोल्टेज की बैटरी, SS' = स्फुटदीप्ति पदार्थ ZnS से लेपित पर्दा, XY = धात्विक प्लेटें (इनके बीच विद्युत क्षेत्र उत्पन्न किया जाता है)

(i) जब (चित्रानुसार) प्लेटों के बीच कोई क्षेत्र आरोपित नहीं करते हैं तो इलेक्ट्रॉन पुंज P पर प्रदीप्ति उत्पन्न करता है।

(ii) क्षेत्र (विद्युत या चुम्बकीय) आरोपित करने पर इलेक्ट्रॉन पुंज पर्दे पर ऊपर की ओर या नीचे की ओर (P' या P'') प्रदीप्ति उत्पन्न करता है।)

(iii) यदि दोनों क्षेत्र एक-साथ आरोपित करें एवं इनके मानों को इस प्रकार व्यवस्थित करें कि इलेक्ट्रॉन अविक्षेपित गुजरें अर्थात् बिन्दु P पर प्रदीप्ति उत्पन्न करें तब इस स्थिति में,

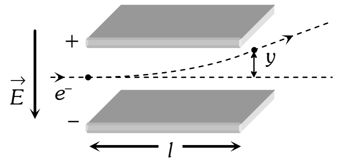
विद्युत क्षेत्र के कारण बल = चुम्बकीय क्षेत्र के कारण बल $\Rightarrow eE = evB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$; v = इलेक्ट्रॉन का वेग

जब इलेक्ट्रॉन पुंज कैथोड से एनोड तक त्वरित होता है तो इसकी कैथोड पर स्थितिज ऊर्जा, एनोड पर गतिज ऊर्जा में परिवर्तित (वृद्धि) हो जाती है। यदि कैथोड एवं एनोड के बीच विभवान्तर V है तब वैद्युत स्थितिज ऊर्जा = eV

एनोड पर गतिज ऊर्जा में वृद्धि $\quad K.E. = \frac{1}{2}mv^2 \quad$ अर्थात् $\quad eV = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2V} \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$

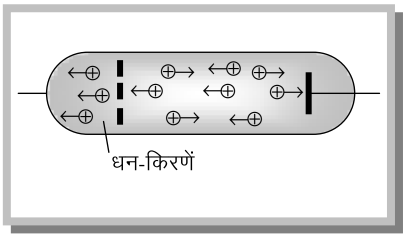
थॉमसन ने, $\frac{e}{m} = 1.77\times10^{11}\ C/kg$ प्राप्त किया।

❑ केवल विद्युत क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन का विस्थापन $y = \frac{1}{2}\left(\frac{eE}{m}\right)\frac{l^2}{v^2}$; यहाँ l = प्रत्येक प्लेट की लम्बाई, y = विद्युत क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन का विस्थापन, v = इलेक्ट्रॉन का वेग।



धन-किरणें

धन आयनों के पुंज को धन किरणें या कैनॉल किरणें कहते हैं। इनकी खोज गोल्डस्टीन ने की। जब विसर्जन नलिका में गैस का दाब 10^{-3} *mm Hg* रखते हैं तब छिद्रयुक्त कैथोड से धुँधली किरणें (चमक) पीछे की ओर निकलती हुई दिखाई देती हैं, यही धन किरणें हैं।



(1) धन-किरणों की उत्पत्ति

10^{-3} *mm Hg* दाब पर विसर्जन नलिका में कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन जब गैस अणुओं से टकराते हैं तो अणुओं का आयनीकरण हो जाता है। आयनीकरण से उत्पन्न धनायन कैथोड की ओर आकर्षित होते हैं। जब ये धनआयन छिद्रयुक्त कैथोड पर पहुँचते हैं तो कुछ धनायन छिद्रों से बाहर निकल जाते हैं। यही धन आयनों का पुंज धन किरणें हैं।

(2) धन-किरणों के गुणधर्म

(i) यदि प्रयुक्त गैस के समस्थानिक नहीं हैं तो धन किरणें समान द्रव्यमान के धनआयनों का पुंज है। इसके विपरीत गैस समस्थानिक रखती है तो धन किरणों के आयनों का द्रव्यमान भिन्न-भिन्न होता है।

(ii) ये सरल रेखा में गमन करती है एवं इनके मार्ग में उपस्थित वस्तु की छाया उत्पन्न करती है, परन्तु इनका वेग कैथोड किरणों की तुलना में बहुत कम होता है।

(iii) ये विद्युत क्षेत्र व चुम्बकीय क्षेत्र में विक्षेपित होती हैं, परन्तु इनका विक्षेप कैथोड किरणों की तुलना में कम होता है।

(iv) इन किरणों में धन-आयनों का वेग भिन्न-भिन्न होता है। इलेक्ट्रॉनों की तुलना में धन-आयनों का द्रव्यमान अधिक होने के कारण इन किरणों का वेग कैथोड किरणों की तुलना में कम होता है।

(v) इन किरणों के कणों के q/m या विशिष्ट आवेश का मान गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है (जबकि कैथोड किरणों के लिए q/m नियत रहता है एवं गैस की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता है।) हाइड्रोजन के लिए q/m अधिकतम होता है।

(vi) ये संवेग व ऊर्जा का स्थानांतरण करती हैं। इन किरणों की गतिज ऊर्जा कैथोड किरणों से अधिक होती है।

(vii) धन-किरणों (कणों) पर उपस्थित आवेश इलेक्ट्रॉन आवेश (e) का पूर्ण गुणक होता है।

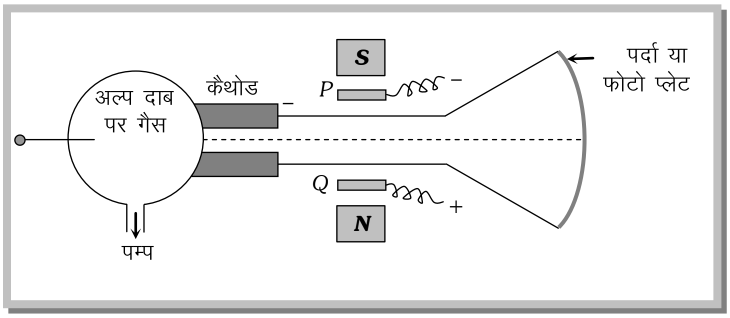
(viii) इनमें आयनीकरण का गुण पाया जाता है। इनकी आयनीकरण क्षमता कैथोड किरणों की तुलना में अधिक होती है।

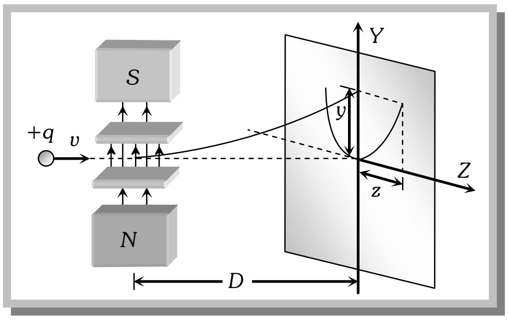
द्रव्यमान स्पेक्ट्रोग्राफ

इसकी सहायता से धन आयनों का विशिष्ट आवेश (q/m) ज्ञात करते हैं।

(1) थॉमसन द्रव्यमान स्पेक्ट्रोग्राफ

इसका उपयोग गैस में उपस्थित विभिन्न समस्थानिकों का परमाणु भार ज्ञात करने में किया जाता है।





चित्रानुसार बाँयीं ओर लगे फ्लास्क में धन आयनों को उत्पन्न करते हैं। इन आयनों के पुंज को कैथोड की ओर त्वरित करते हैं। कुछ धन आयन कैथोड में उपस्थित बारीक छिद्रों में से निकलते हैं। इस प्रकार प्राप्त बारीक किरण पुंज पर समान्तर विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित करते हैं। इसके पश्चात् इसे एक स्फुर-दीप्ति पर्दे पर आपतित करते हैं। ($E || B$ परन्तु E या $B \perp v$)

यदि धन आयन प्रारम्भ में $+x$ दिशा में गतिमान हो एवं विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र $+y$ दिशा में कार्यरत् हो तब विद्युत क्षेत्र के कारण धन आयनों पर आरोपित बल y-दिशा में एवं चुम्बकीय क्षेत्र के कारण आरोपित बल z-अक्ष की दिशा में होगा

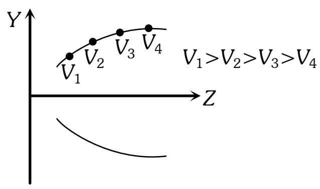
विद्युत क्षेत्र के कारण विक्षेप $y = \dfrac{qELD}{mv^2}$ ....(i)

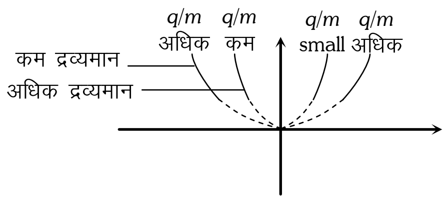
चुम्बकीय क्षेत्र के कारण विक्षेप $z = \dfrac{qBLD}{mv}$ ....(ii)

समीकरण (i) व (ii) से,

$z^2 = k\left(\dfrac{q}{m}\right)y$, जहाँ $k = \dfrac{B^2LD}{E}$; यह एक परवलय का समीकरण है। अर्थात् एकसमान विशिष्ट आवेश एवं विभिन्न वेगों से गतिमान आयन y-z तल में स्थित पर्दे पर एक ही परवलय के विभिन्न बिन्दुओं पर आपतित होते हैं।

- समान विशिष्ट आवेश q/m एवं विभिन्न वेगों वाले धनायन एक ही परवलय पर टकराते हैं। भिन्न-भिन्न विशिष्ट आवेशों वाले धनायन भिन्न-भिन्न परवलयों पर टकराते हैं।





- पर्दे पर प्राप्त परवलयों की संख्या हमें गैस में उपस्थित समस्थानिकों की संख्या बतलाती है।

(2) ब्रेनब्रिज द्रव्यमान स्पेक्ट्रोग्राफ

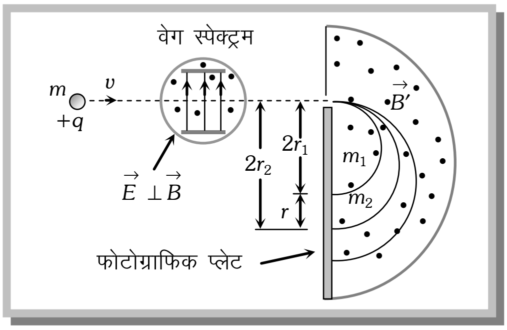
इसमें वेग वरणकारी (Velocity selector) की सहायता से एकसमान वेग के कणों का चयन करके इन पर एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित करते हैं। यह चुम्बकीय क्षेत्र कणों की गति की दिशा के लम्बवत् होता है। विभिन्न समस्थानिकों के संगत कण भिन्न-भिन्न वृत्ताकार भागों के अनुदिश गति करते हैं।

(i) वेग वरणकारी (Velocity selector) : इसमें धन किरणों पर क्रॉसित (लम्बवत्) विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र इस प्रकार आरोपित करते हैं। कि इससे गुजरने वाला कण अप्रभावित गुजरें इसके लिए $U = E/B$ होना चाहिए।

(ii) विश्लेषक कोष्ठ : इसमें चुम्बकीय क्षेत्र B कणों की गति के दिशा के लम्बवत् आरोपित करते हैं। इसके परिणामस्वरूप कण वृत्ताकार मार्ग पर गति करते हैं जिसकी त्रिज्या

$$r = \frac{mE}{qBB'} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{E}{BB'r} \text{ एवं } \frac{r_1}{r_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

इस प्रकार विभिन्न द्रव्यमान के आयन भिन्न-भिन्न त्रिज्याओं के वृत्तों पर विक्षेपित होते हैं एवं प्रकाश संवेदी प्लेट पर भिन्न बिन्दुओं पर टकराते है।



- विभिन्न द्रव्यमानों के पथों (Traces) के मध्य दूरी $= d = 2r_2 - 2r_1 \Rightarrow d = \dfrac{2v(m_2 - m_1)}{qB'}$

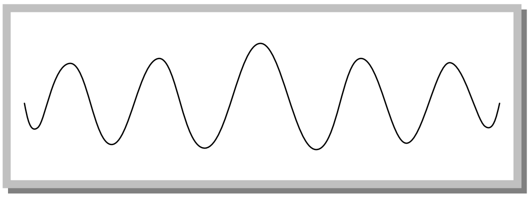
द्रव्य तरंगें या डी-ब्रोग्ली तरंगें

डी-ब्रोगली के अनुसार एक गतिमान द्रव्य कण कभी कण की तरह एवं कभी तरंग की तरह व्यवहार करता है।

या

गतिशील द्रव्य कण से सम्बद्ध तरंग सभी प्रकार से कण को नियंत्रित करती है।

गतिशील द्रव्यकण से सम्बद्ध तरंग को द्रव्य तरंग या डी-ब्रोग्ली तरंग कहते हैं एवं यह तरंग एक समूह वेग से एक पैकेट के रूप में संचरित होती है।



(1) डी.ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य

डी-ब्रोग्ली के अनुसार किसी गतिमान कण से सम्बद्ध तरंग का तरंगदैर्ध्य

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \qquad \Rightarrow \lambda \propto \frac{1}{p} \propto \frac{1}{v} \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$$

यहाँ h = प्लांक नियतांक, m = कण का द्रव्यमान, v = कण का वेग, E = कण की ऊर्जा

सबसे सूक्ष्म तरंगदैर्ध्य जिसका मापन सम्भव है, γ -किरणों की है।

माइक्रो आकार के कण, जैसे इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन α-कण इत्यादि से सम्बद्ध द्रव्य तरंग की तरंगदैर्ध्य की कोटि $10^{-10}\,m$ है।

(i) आवेशित कणों से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य

V विभवान्तर से त्वरित आवेशित कण की ऊर्जा $E = \frac{1}{2}mv^2 = qV$

अतः डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{\sqrt{2mE}} = \dfrac{h}{\sqrt{2mqV}}$

$$\lambda_{\text{इलेक्ट्रॉन}} = \frac{12.27}{\sqrt{V}}Å, \quad \lambda_{\text{प्रोटॉन}} = \frac{0.286}{\sqrt{V}}Å, \quad \lambda_{\text{ड्यूट्रॉन}} = \frac{0.202\times10^{-10}}{\sqrt{V}}Å \quad \lambda_{\alpha\text{-कण}} = \frac{0.202\times10^{-10}}{\sqrt{V}}$$

Topperseducations.co.in

(ii) अनावेशित कणों से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य

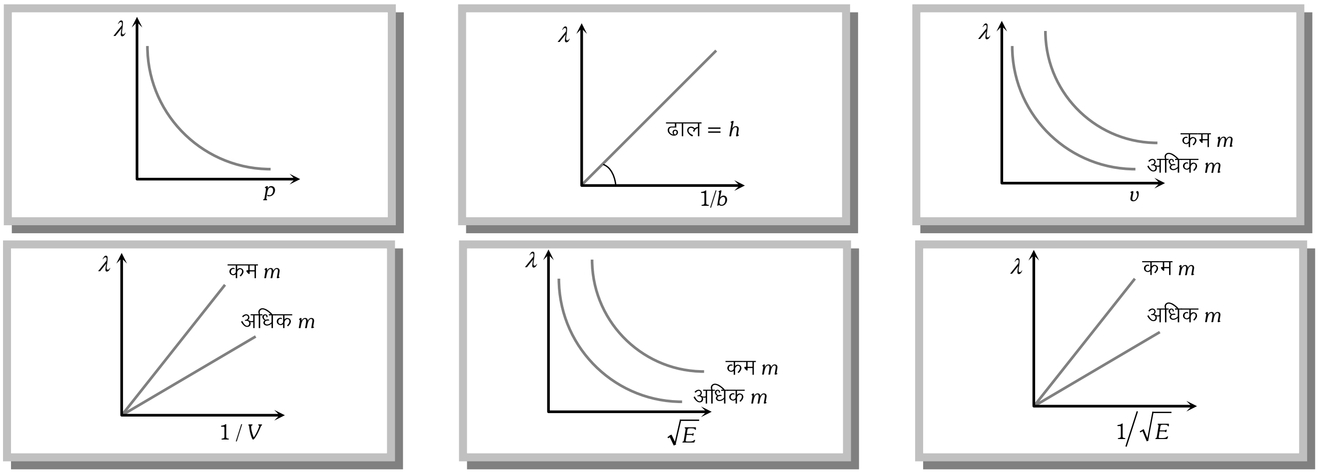
न्यूट्रॉन से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य $\lambda_{\text{न्यूट्रॉन}} = \frac{0.286 \times 10^{-10}}{\sqrt{E(\text{in } eV)}} m = \frac{0.286}{\sqrt{E(\text{in } eV)}} \mathring{A}$

सामान्य ताप पर न्यूट्रॉनों की तापीय ऊर्जा

$E = kT \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mkT}}$; जहाँ k = बोल्ट्ज़मैन नियतांक = 1.38×10^{-23} *Joules/kelvin* , T = परमताप

इसलिए $\lambda_{\text{तापीय न्यूट्रॉन}} = \frac{6.62 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1.07 \times 10^{-17} \times 1.38 \times 10^{-23} T}} = \frac{30.83}{\sqrt{T}} \mathring{A}$

(2) विशेष ग्राफ



- ❑ फोटॉन एक द्रव्य कण नहीं है। यह ऊर्जा का एक पैकेट है।
- ❑ जब एक कण तरंग प्रकृति प्रदर्शित करता है तब इससे एक तरंग सम्बद्ध न होकर तरंग का एक पैकेट सम्बद्ध होता है।

(3) द्रव्य तरंगों के लक्षण

(i) द्रव्य तरंग आकाश में कण की स्थिति की प्रायिकता को व्यक्त करती है।

(ii) द्रव्य तरंगें विद्युत चुम्बकीय तरंगें नहीं हैं।

(iii) द्रव्य तरंगें, द्रव्य कण पर उपस्थित आवेश पर निर्भर नहीं करती हैं (अर्थात् आवेशित या निरावेशित)। प्रत्येक कण से डी-ब्रोग्ली तरंग सम्बद्ध होती है।

(iv) इन तरंगों का प्रायोगिक प्रेक्षण तभी सम्भव है जब उनसे सम्बद्ध तरंग की तरंगदैर्ध्य कण के आकार की तुलना में अधिक हो।

(v) इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप डी-ब्रोग्ली तरंगों के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

(vi) विद्युत आवेश तरंगदैर्ध्य को प्रभावित नहीं करता है।

(vii) द्रव्य तरंगों का कला वेग प्रकाश वेग से अधिक हो सकता है।

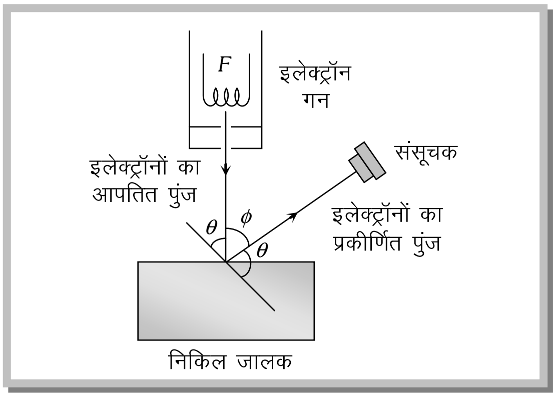
(viii) द्रव्य तरंगें निर्वात में गमन करती हैं, अतः ये यांत्रिक तरंगें नहीं हैं।

(ix) nवी कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉन से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगों की संख्या n है।

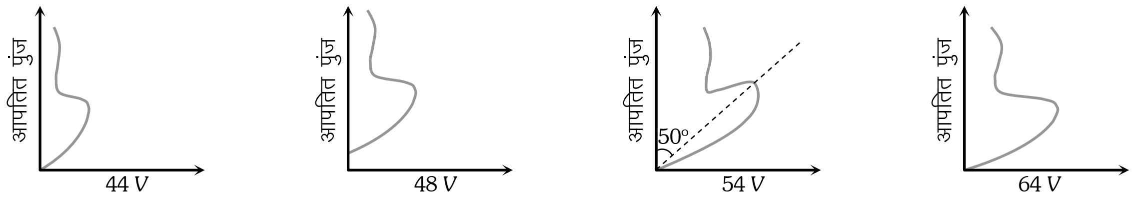
(x) नाभिक के चारों ओर वे ही कक्षाऐं स्थायी हैं जिनकी परिधि कक्षीय इलेक्ट्रॉन से बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य की पूर्ण गुणक होती है।

(4) डेवींसन जर्मर प्रयोग

इस प्रयोग में ठोस द्वारा इलेक्ट्रॉन का प्रकीर्णन या इलेक्ट्रॉन की तरंग प्रकृति का सत्यापन किया जाता है। इलेक्ट्रॉन गन से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन पुंज को एक निकिल क्रिस्टल पर आपतित कराते हैं। यह क्रिस्टल त्रिविमीय अक्ष (किसी निश्चित कोण पर) के अनुदिश कटा होता है। इलेक्ट्रॉन के विवर्तित पुंज को संसूचक ग्रहण करता है, इसे आपतित बिन्दु के सापेक्ष किसी भी कोण पर रखा जा सकता है। इलेक्ट्रॉन गन पर आरोपित विभवान्तर को परिवर्तित करके आपतित इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा को परिवर्तित कर सकते हैं।

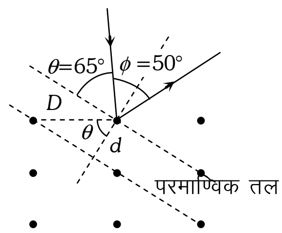


चिरसम्मत (Classical) भौतिकी के अनुसार सभी प्रकीर्णन कणों पर विवर्तित इलेक्ट्रॉन पुंज की तीव्रता एकसमान होगी परन्तु डेविसन तथा जरमर ने अपने प्रयोग में सिद्ध किया कि भिन्न-भिन्न कोणों पर प्रकीर्णित इलेक्ट्रॉन पुंज की तीव्रता भिन्न-भिन्न होती है।



विवर्तन कोण 50° एवं विभवांतर 54 V पर विवर्तित इलेक्ट्रॉन पुंज की तीव्रता अधिकतम प्राप्त होती है।

यदि इलेक्ट्रॉनों से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगें है, तो यह X-किरणों की तरह विवर्तित होनी चाहिए। अतः ब्रेग के समीकरण $2d\sin\theta = n\lambda$ से इस तरंग की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कर सकते हैं।



यहाँ d = विवर्तन तलों के बीच दूरी एवं आपतित किरण का स्पर्शी कोण $\theta = \frac{(180-\phi)}{2}$ = निकिल (Ni) क्रिस्टल के लिए, विवर्तन तलों के बीच दूरी $d = 0.91\,\mathring{A}$ एवं ब्रेग कोण 65° तब $n = 1$ के लिए

$$\lambda = 2\times 0.91\times 10^{-10}\sin 65^\circ = 1.65\,\mathring{A}$$

डी ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य समीकरण $\lambda = \frac{12.27}{\sqrt{V}} = \frac{12.27}{\sqrt{54}} = 1.67\mathring{A}$

इस प्रकार डी-ब्रोग्ली की परिकल्पना का सत्यापन होता है।

हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त

हाइजेनबर्ग के अनुसार, किसी कण की स्थिति एवं संवेग को एकसाथ (Simultaneously) मापना असंभव है।

माना कि कण की स्थिति एवं संवेग मापन में अनिश्चितता क्रमशः Δx व Δp है तब $\Delta x\Delta p =$; जहाँ $= \frac{h}{2\pi}$ एवं $h = 6.63\times 10^{-34}\ J\text{-}s$ = प्लांक नियतांक

यदि $\Delta x = 0$ तब $\Delta p = \infty$ एवं यदि $\Delta p = 0$ तब $\Delta x = \infty$

अर्थात् यदि हम किसी कण (इलेक्ट्रॉन) की स्थिति सही ज्ञात कर लेते हैं तब कण के संवेग मापन में अनिश्चितता अनन्त है। इसी प्रकार यदि हम किसी कण के संवेग के सही मान को ज्ञात कर लेते हैं, तब इसकी स्थिति में अनिश्चिता अनन्त है अर्थात् $\Delta p = 0$ इस क्षण हम कण की सही स्थिति ज्ञात नहीं कर सकते।

फोटॉन

आइन्स्टीन के प्रकाश सम्बन्धी क्वाण्टा सिद्धान्त के अनुसार : प्रकाश ऊर्जा के छोटे-छोटे बण्डलों (पैकेटों) के रूप में गमन करता है। ऊर्जा के इस छोटे से पैकेट को फोटॉन कहते हैं।

(1) फोटॉन ऊर्जा

प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$; जहाँ c = प्रकाश का वेग, h = प्लांक नियतांक = 6.6×10^{-34} *J-sec*, ν = आवृत्ति *Hz* में एवं λ = तरंगदैर्ध्य

फोटॉन की ऊर्जा (*eV*) में $= \frac{hc}{e\lambda} = \frac{12375}{\lambda(\mathring{A})} \approx \frac{12400}{\lambda(\mathring{A})}$

(2) फोटॉन-द्रव्यमान

फोटॉन का विराम द्रव्यमान शून्य है। फोटॉन का प्रभावी द्रव्यमान

$$E = mc^2 = h\nu \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$ यह फोटॉन का गतिक द्रव्यमान है।

(3) फोटॉन का संवेग

संवेग $p = m \times c = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

(4) प्रकाश स्रोत से उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या

किसी P शक्ति वाले प्रकाश स्रोत से यदि λ तरंगदैर्ध्य वाली तरंगें उत्सर्जित हो रही हों तो इससे प्रति सैकण्ड उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या $(n) = \frac{P}{E} = \frac{P}{h\nu} = \frac{P\lambda}{hc}$; जहाँ E = प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा

(5) प्रकाश तीव्रता (*I*)

किसी सतह के प्रति इकाई क्षेत्रफल से प्रति सैकण्ड अभिलम्बवत् गुजरने वाली प्रकाश ऊर्जा प्रकाश-तीव्रता कहलाती है।

अर्थात् $I = \frac{E}{At} = \frac{P}{A}$ $\left(\frac{E}{t} = P = \text{विकिरण शक्ति}\right)$

एक बिन्दु प्रकाश स्त्रोत से r दूरी पर तीव्रता $I = \frac{P}{4\pi r^2} \Rightarrow I \propto \frac{1}{r^2}$

Concepts

☞ *धन-किरणों के अध्ययन से कई समस्थानिकों की खोज हुई।*

☞ *बोर की प्रथम कक्षा मे स्थित इलेक्ट्रॉनों से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य, कक्षा की परिधि के तुल्य होती है।*

☞ *एक कण जिसका विराम द्रव्यमान शून्य हो तथा संवेग एवं ऊर्जा रखता है तब इसे प्रकाश के वेग से गतिमान होना चाहिए।*

☞ किसी गैस अणु से सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य $\lambda = \frac{h}{mv_{rms}} = \frac{h}{\sqrt{3\,mkT}}$ (T ताप पर गैस अणु की ऊर्जा $E = \frac{3}{2}kT$)

Example: 1 α -कण तथा प्रोटॉन के विशिष्ट आवेश का अनुपात है [BCECE 2003]

(a) 2 : 1 (b) 1 : 1 (c) 1 : 2 (d) 1 : 3

Solution : (c) विशिष्ट आवेश $= \frac{q}{m}$; अनुपात $= \frac{(q/m)_\alpha}{(q/m)_p} = \frac{q_\alpha}{q_p} \times \frac{m_p}{m_\alpha} = \frac{1}{2}$

Example: 2 $10^{-10} m$ तरंगदैर्ध्य वाले एक इलेक्ट्रॉन की चाल होगी [AIIMS 2002]

(a) $7.25 \times 10^6\ m/s$ (b) $6.26 \times 10^6 m/s$ (c) $5.25 \times 10^6 m/s$ (d) $4.24 \times 10^6 m/s$

Solution : (a) सूत्र $\lambda_{electron} = \frac{h}{m_e v} \Rightarrow v = \frac{h}{m_e \lambda_e} = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 10^{-10}} = 7.25 \times 10^6 m/s$

Example: 3 थॉमसन प्रयोग द्वारा इलेक्ट्रॉन के लिए *e/m* ज्ञात करते समय, इलेक्ट्रॉन पुंज के स्थान पर म्युऑनों (Muons) (एक प्रकार का कण जिस पर आवेश इलेक्ट्रॉन के बराबर परन्तु द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन का 208 गुना होता है) उपयोग करते हैं। इस स्थिति में शून्य विक्षेप स्थिति होगी यदि [Orissa (Engg.) 2002]

(a) *B*, 208 गुना बढ़ा दी जाये (b) *E*, 208 गुना बढ़ा दी जाये

(c) *B*, 14.4 गुना बढ़ा दी जाये (d) इनमें से कोई नही

Solution : (c) शून्य विक्षेप की स्थिति में, $\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$ यदि *m* का मान 208 गुना बढ़ता है, तो *B* का मान $\sqrt{208} = 14.4$ गुना बढ़ना चाहिए।

Example: 4 *e/m* ज्ञात करने के थॉमसन प्रयोग में 2.5 *kV* से त्वरित इलेक्ट्रॉन अभिलम्बवत् विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र जिनकी तीव्रताएँ क्रमशः $3.6 \times 10^4 Vm^{-1}$ एवं $1.2 \times 10^{-3} T$ है के क्षेत्र मे प्रवेश करता है तो अविचलित रहता है। इलेक्ट्रॉन के लिए *e/m* का मापा गया मान होगा [AMU 2002]

(a) $1.0 \times 10^{11}\ C\text{-}kg^{-1}$ (b) $1.76 \times 10^{11}\ C\text{-}kg^{-1}$ (c) $1.80 \times 10^{11}\ C\text{-}kg^{-1}$ (d) $1.85 \times 10^{11}\ C\text{-}kg^{-1}$

Solution : (c) सूत्र $\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2} \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{(3.6 \times 10^4)^2}{2 \times 2.5 \times 10^3 \times (1.2 \times 10^{-3})^2} = 1.8 \times 10^{11}\ C/kg$

Example: 5 बेनब्रिज (Bainbridge) द्रव्यमान स्पेक्ट्रोग्राफ में दो प्लेटों के बीच की दूरी 1 *cm* है तथा इसके बीच 1000 *V* विभवान्तर का विद्युत क्षेत्र एवं *B* = 1*T* का चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित किया जाता है। तो धनात्मक (अविक्षेपित) आयन का वेग होगा [RPMT 1998]

(a) $10^7 m/s$ (b) $10^4 m/s$ (c) $10^5 m/s$ (d) $10^2 m/s$

Solution : (c) सूत्र $v = \frac{E}{B}$ से; जहाँ $E = \frac{V}{d} = \frac{1000}{1 \times 10^{-2}} = 10^5\ V/m \Rightarrow v = \frac{10^5}{1} = 10^5 m/s$

Example: 6 एक इलेक्ट्रॉन एवं फोटॉन का तरंगदैर्ध्य समान है। यदि इलेक्ट्रॉन का संवेग *p* एवं फोटॉन की ऊर्जा *E* हो तो S.I. मात्रक में *p*/ *E* का मान होगा

(a) 3.0×10^8 (b) 3.33×10^{-9} (c) 9.1×10^{-31} (d) 6.64×10^{-34}

Solution : (b) इलेक्ट्रॉन के लिए $\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$ एवं फोटॉन के लिए $E = \frac{hc}{\lambda}$

$\therefore \quad \frac{p}{E} = \frac{1}{c} = \frac{1}{3\times10^8 m/s} = 3.33\times10^{-9}\ s/m$

Example: 7 फोटॉन की ऊर्जा E है एवं इसका मान एक प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा के बराबर है। यदि प्रोटॉन एवं फोटॉन का डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य क्रमशः λ_1 एवं λ_2 हो तो λ_1/λ_2 समानुपाती होगा [UPSEAT 2003; IIT-JEE (Screening) 2004]

(a) E^0 (b) $E^{1/2}$ (c) E^{-1} (d) E^{-2}

Solution : (b) फोटॉन के लिए $\lambda_2 = \frac{hc}{E}$ .... (i) एवं प्रोटॉन के लिए $\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ ....(ii)

$\therefore \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{E^{1/2}}{\sqrt{2m}\,c} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \propto E^{1/2}$

Example: 8 $80eV$ ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन की डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य लगभग होगी ($1eV = 1.6\times10^{-19} J$, इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $= 9\times10^{-31} kg$, प्लांक नियतांक $= 6.6\times10^{-34}$ *J-sec*) [EAMCET (Engg.) 2001]

(a) $140\,Å$ (b) $0.14\,Å$ (c) $14\,Å$ (d) $1.4\,Å$

Solution : (d) सूत्र $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = \frac{12.27}{\sqrt{V}}$ यदि ऊर्जा का मान 80 eV हो तो त्वरित वोल्टेज 80 V होगा।

$\lambda = \frac{12.27}{\sqrt{80}} = 1.37 \approx 1.4\,Å$

Example: 9 इलेक्ट्रॉन एवं प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा $10^{-32} J$ है। इन दोनों के डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य के बीच सम्बन्ध होगा [CPMT 1999]

(a) $\lambda_p < \lambda_e$ (b) $\lambda_p > \lambda_e$ (c) $\lambda_p = \lambda_e$ (d) $\lambda_p = 2\lambda_e$

Solution : (a) $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ $E = 10^{-32} J =$ स्थिरांक (दोनों कण के लिए) $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$

$m_p > m_e$ अतः $\lambda_p < \lambda_e$

Example: 10 एक प्रोटॉन एवं एक α कण की ऊर्जा समान है। तो प्रोटॉन एवं α कण के डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य का अनुपात होगा [RPET 1991]

(a) 1 : 2 (b) 2 : 1 (c) 1 : 4 (d) 4 : 1

Solution : (b) सूत्र से, $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \Rightarrow \lambda \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ ($E -$ समान) $\Rightarrow \frac{\lambda_{proton}}{\lambda_{\alpha-particle}} = \sqrt{\frac{m_\alpha}{m_p}} = \frac{2}{1}$

Example: 11 150 *volt* विभव से त्वरित एक कण की डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य $10^{-10} m$ है तो 600 *volts* से त्वरित करने पर इसका तरंगदैर्ध्य होगा [RPET 1988]

(a) 0.25Å (b) 0.5Å (c) 1.5Å (d) 2Å

Solution : (b) सूत्र से, $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{V}} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} \Rightarrow \frac{10^{-10}}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{600}{150}} = 2 \Rightarrow \lambda_2 = 0.5\,Å$

Example: 12 $2\pi r$ परिधि वाले बोर के प्रथम कक्ष में घूमते हुए इलेक्ट्रॉन के लिए डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य का मान होता है [MP PET 1987]

(a) $2\pi r$ (b) πr (c) $1/2\pi r$ (d) $1/4\pi r$

Solution : (a) बोर के सिद्धान्त से, $mvr = n\frac{h}{2\pi} \Rightarrow 2\pi r = n\left(\frac{h}{mv}\right) = n\lambda$

$n = 1$ के लिए $\lambda = 2\pi r$

Example: 13 $100W$ शक्ति के बल्ब से प्रति सैकण्ड 540 nm तरंगदैर्ध्य के उत्सर्जित फोटॉनों की संख्या होगी ($h = 6\times10^{-34}$ *J-sec*) [Kerala (Engg.) 2002]

(a) 100 (b) 1000 (c) 3×10^{20} (d) 3×10^{18}

Solution : (c) सूत्र $n = \frac{P\lambda}{hc} = \frac{100\times 540\times 10^{-9}}{6.6\times 10^{-34}\times 3\times 10^{8}} = 3\times 10^{20}$

Example: 14 1*kg* द्रव्यमान की एक स्टील गेंद 1 *m/s* के वेग से गतिशील है तो इसकी डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य होगा

(a) h (b) $h/2$ (c) शून्य (d) $1/h$

Solution : (a) सूत्र $\lambda = \frac{h}{mv} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda}{1\times 1} = h$

Example: 15 3 *km/s* के तापीय वेग से गतिशील एक हाइड्रोजन परमाणु से सम्बन्धित डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य का मान होगा

(a) $1\,\mathring{A}$ (b) $0.66\,\mathring{A}$ (c) $6.6\,\mathring{A}$ (d) $66\,\mathring{A}$

Solution : (b) सूत्र $\lambda = \frac{h}{mv_{rms}} \Rightarrow \lambda = \frac{6.6\times 10^{-34}}{2\times 1.67\times 10^{-27}\times 3\times 10^{3}} = 0.66\mathring{A}$

Example: 16 यदि प्रोटॉन का संवेग P_0 से परिवर्तित हो सम्बद्ध डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य में 0.25% का परिवर्तन होता है। तो प्रोटॉन का प्रारम्भिक संवेग होगा [CPMT 2002]

(a) p_0 (b) $100\,p_0$ (c) $400\,p_0$ (d) $4\,p_0$

Solution : (c) $\lambda \propto \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{\Delta p}{p} = -\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \Rightarrow \left|\frac{\Delta p}{p}\right| = \left|\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right| \Rightarrow \frac{p_0}{p} = \frac{0.25}{100} = \frac{1}{400} \Rightarrow p = 400\,p_0$

Example: 17 यदि एक इलेक्ट्रॉन का संवेग 5200Å तरंगदैर्ध्य के फोटॉन के बराबर हो तो इलेक्ट्रॉन का वेग *m /sec* में होगा

(a) 10^3 (b) 1.4×10^3 (c) 7×10^{-5} (d) 7.2×10^6

Solution : (b) $\lambda = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda} = \frac{6.6\times 10^{-34}}{9.1\times 10^{-31}\times 5200\times 10^{-10}} \Rightarrow v = 1.4\times 10^3\, m/s$

Example: 18 27°*C* पर न्यूट्रॉन का डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य λ हो तो 927°*C* पर इसका मान होगा

(a) $\lambda/2$ (b) $\lambda/3$ (c) $\lambda/4$ (d) $\lambda/9$

Solution : (a) $\lambda_{neutron} \propto \frac{1}{\sqrt{T}} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{(273+927)}{(273+27)}} = \sqrt{\frac{1200}{300}} = 2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\lambda}{2}$

Example: 19 एक गाड़ी की डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्य λ है। इसका भार इस प्रकार परिवर्तित किया जाता है कि वेग एवं ऊर्जा दोनों दोगुनी हो जाती हैं तो गाड़ी की नयी तरंगदैर्ध्य होगी

(a) λ (b) $\frac{\lambda}{2}$ (c) $\frac{\lambda}{4}$ (d) 2λ

Solution : (a) $\lambda = \frac{h}{mv}$ एवं $E = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow \lambda = \frac{hv}{2E}$ जब v एवं E दोनों दोगुनी होती है तो λ का मान अपरिवर्तत रहेगा अर्थात् $\lambda' = \lambda$

Example: 20 थॉमसन द्रव्यमान स्पेक्ट्रोग्राफ में जब 20 *kV/m* शक्ति का सिर्फ विद्युत क्षेत्र आरोपित किया जाता है, तो पर्दे पर आयन किरण (Beam) का विस्थापन 2 *cm* होता है। यदि प्लेट की लम्बाई 5 *cm*, प्लेट के केन्द्र से पर्दे की दूरी 20 *cm* एवं आयन का वेग 10^6 *m/s* हो तो आयन के *q/m* का मान होगा

(a) 10^6 *C/kg* (b) 10^7 *C/Kg* (c) 10^8 *C/kg* (d) 10^{11} *C/kg*

Solution : (c) सूत्र $y = \frac{qELD}{mv^2}$ से, जहाँ y = सिर्फ विद्युत क्षेत्र के कारण पर्दे पर उत्पन्न विक्षेप

$$\Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{yv^2}{ELD} = \frac{2\times 10^{-2}\times (10^6)^2}{20\times 10^3\times 5\times 10^{-2}\times 0.2} = 10^8\, C/kg$$

Example: 21 यदि मानव नेत्र के द्वारा संसूचित (Detected) किये गये प्रकाश की न्यूनतम तीव्रता $10^{-10} W/m^2$ हो तो नेत्र में लगभग प्रति सेकण्ड अन्दर आने वाले $5.6\times 10^{-7} m$ तरंगदैर्ध्य के फोटॉन की संख्या होगी [यदि पुतली (Pupil) का क्षेत्रफल $10^{-6} m^2$ हो]

(a) 100 (b) 200 (c) 300 (d) 400

Solution : (c) $I = \frac{P}{A}$; जहाँ P = विकिरण शक्ति

$$\Rightarrow P = I \times A \Rightarrow \frac{n\lambda c}{t\lambda} = IA \quad \Rightarrow \frac{n}{t} = \frac{IA\lambda}{hc}$$

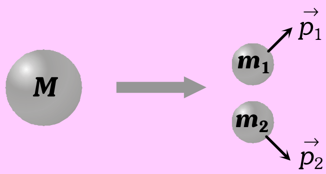
नेत्र में प्रति सेकण्ड प्रवेश करने वाले फोटॉन की संख्या $\left(\frac{n}{t}\right) = \frac{10^{-10} \times 10^{-6} \times 5.6 \times 10^{-7}}{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}} = 300$

Tricky example: 1

विराम में स्थित M द्रव्यमान का एक कण, दो कणों में विघटित हो जाता है जिनके द्रव्यमान क्रमशः m_1 एवं m_2 तथा वेग शून्य नहीं (Non-zero) है। इन कणों की डी-ब्रोग्ली तरंगदैर्ध्यों का अनुपात λ_1/λ_2 होगा [IIT-JEE 1999]

(a) m_1/m_2 (b) m_2/m_1 (c) 1.0 (d) $\sqrt{m_1}/\sqrt{m_1}$

Solution : (c) संवेग संरक्षण सिद्धान्त से, $p_1 = p_2$



$$\therefore \lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{1}$$

Tricky example: 2

शून्य (निर्वात्) में फोटॉन के वेग एवं आवृत्ति के बीच खींचा गया ग्राफ होगा [MP PET 2000]

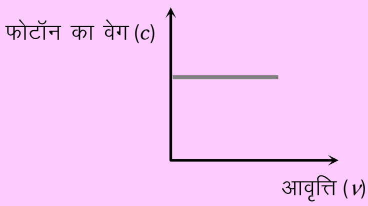
(a) आवृत्ति अक्ष के समानान्तर सरलरेखीय

(b) वेग अक्ष के समानान्तर सरलरेखीय

(c) मूल-बिन्दु से गुजरता सरलरेखीय एवं आवृत्ति-अक्ष से 45° के ढाल पर

(d) अतिपरवलयाकार

Solution : (a) फोटॉन (प्रकाश) का वेग आवृत्ति पर निर्भर नहीं करता है। अतः फोटॉन के वेग एवं आवृत्ति के बीच खींचा गया ग्राफ आवृत्ति–अक्ष के समान्तर होगा।



प्रकाश विद्युत प्रभाव

जब उचित तरंगदैर्ध्य या आवृत्ति का विकिरण (प्रकाश, पराबैगनी, X-किरणें या γ-किरणें) किसी धातु सतह पर आपतित होता है तो सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं। फोटॉनों के इस प्रभाव को प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं।

यह प्रभाव ऊर्जा-संरक्षण के नियम पर आधारित है। इस प्रभाव में एक फोटॉन एक इलेक्ट्रॉन से संघट्ट करता है और फोटॉन का पूर्ण अवशोषण होता है।

(1) प्रकाश विद्युत प्रभाव से सम्बन्धित राशियाँ

(i) कार्य फलन (देहली ऊर्जा) : वह न्यूनतम ऊर्जा जो इलेक्ट्रॉन को धातु की सतह से मुक्त कराने के लिए आवश्यक हो उसे उस धातु का कार्य फलन या देहली ऊर्जा कहते हैं। इसको W_0 या ϕ_0 से दर्शाते हैं।

$W_0 = h\nu_0 = \dfrac{hc}{\lambda_0}$ जूल; ν_0 = देहली आवृत्ति, λ_0 = देहली तरंगदैर्ध्य;

इलेक्ट्रॉन वोल्ट (eV) में कार्य फलन : $W_0(eV) = \dfrac{12375}{\lambda_0(\mathring{A})}$

❑ किसी धात्विक सतह पर बेरियम ऑक्साइड या स्ट्रांशियम ऑक्साइड की परत चढ़ाने पर इसका कार्य फलन कम हो जाता है।

(ii) देहली आवृत्ति (ν_0) : आपतित विकिरण की न्यूनतम आवृत्ति जो इलेक्ट्रॉन को धातु की सतह से मुक्त कराने के लिए आवश्यक हो, देहली आवृत्ति कहलाती है।

अर्थात् यदि आपतित आवृत्ति $\nu < \nu_0$ प्रकाश इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन नहीं होगा।

(iii) देहली तरंगदैर्ध्य (λ_0) : प्रकाश संवेदी सतह से फोटो-इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन के लिए आवश्यक अधिकतम तरंगदैर्ध्य देहली तरंगदैर्ध्य कहलाती है।

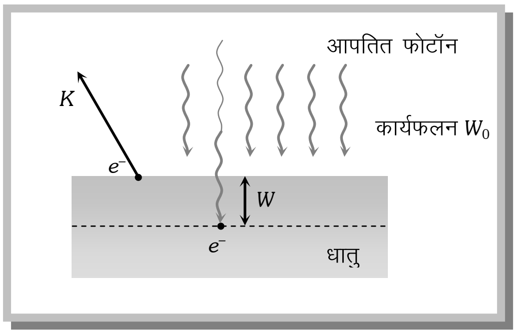
यदि आपतित तरंगदैर्ध्य $\lambda > \lambda_0$ तब फोटो-इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन नहीं होगा।

(2) आइंस्टीन का प्रकाश वैद्युत समीकरण

आइंस्टीन के अनुसार प्रकाश वैद्युत प्रभाव फोटॉन और इलेक्ट्रॉन के अप्रत्यास्थ संघट्ट का परिणाम है, जिसमें फोटॉन की ऊर्जा पूर्णतः अवशोषित हो जाती है। यदि एक इलेक्ट्रॉन $E\,(= h\nu)$ ऊर्जा के एक फोटॉन को अवशोषित करता है तब इस ऊर्जा का उपयोग तीन कार्यों में होता है।

(i) कुछ ऊर्जा (W) का उपयोग इलेक्ट्रॉन को भीतरी पर्त से सतह पर लाने के लिए होता है।

(ii) कुछ ऊर्जा (W_0) का उपयोग इलेक्ट्रॉन को बाहरी सतह से मुक्त कराने के लिए होता है।



(iii) शेष ऊर्जा का उपयोग उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन को गतिज ऊर्जा (K) प्रदान करने में होता है।

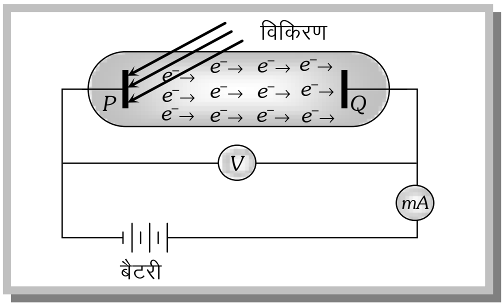
अतः ऊर्जा संरक्षण के नियमानुसार $E = W + W_0 + K$

सतही इलेक्ट्रॉन के लिए $W = 0$

इसलिये $E = W_0 + K_{max}$; यही आइंस्टीन का प्रकाश वैद्युत समीकरण है।

(3) प्रकाश वैद्युत प्रभाव का प्रायोगिक प्रदर्शन

जब किसी धातु की सतह P पर उपयुक्त आवृत्ति (या उपयुक्त तरंगदैर्ध्य या उपयुक्त ऊर्जा) की प्रकाश की तरंग आपतित होती है तब उस सतह P से फोटो इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं।



(i) यदि प्लेट Q को P के सापेक्ष शून्य विभव पर रखते हैं तो अधिकतम गतिज ऊर्जा वाले कुछ इलेक्ट्रॉन प्लेट P से निकलकर प्लेट Q तक पहुँचते हैं एवं एक बहुत अल्प धारा प्रवाहित होती है।

(ii) यदि प्लेट Q को P के सापेक्ष धनात्मक विभव पर रखते हैं तो परिपथ में धारा का मान बढ़ने लगता है, अर्थात् अधिक मात्रा में इलेक्ट्रॉन Q तक पहुँचने लगते हैं।

(iii) यदि प्लेट Q के विभव को बढ़ाते जायें तो प्रकाश विद्युत धारा का मान भी बढ़ने लगता है। एक स्थिति ऐसी आती है जबकि प्लेट P से उत्सर्जित सभी इलेक्ट्रॉन प्लेट Q तक पहुँचे जाते हैं। इस समय प्रकाश विद्युत धारा का मान अधिकतम होता है, प्लेट Q के विभव को और आगे बढ़ाने पर धारा के मान में कोई परिवर्तन नहीं होता है धारा के इस अधिकतम मान को संतृप्त धारा कहते हैं।

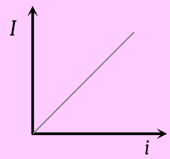
(iv) संतृप्त अवस्था के बाद प्रकाश विद्युत धारा का मान और बढ़ाने के लिए आपतित प्रकाश की तीव्रता बढ़ानी होगी।

स्पष्ट है कि प्रकाश विद्युत धारा निम्न कारकों पर निर्भर करती है

(a) इलेक्ट्रोडों के बीच विभवांतर (संतृप्त धारा प्राप्त होने तक)।

(b) आपतित प्रकाश की तीव्रता।

(c) धातु की सतह की प्रकृति पर।



(v) प्रकाश विद्युत धारा के मान को कम करने के लिए प्लेट Q को प्लेट P के सापेक्ष ऋण विभव पर रखा जाता है। जैसे-जैसे प्लेट Q का ऋण विभव बढ़ाते हैं, इस पर पहुँचने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या घटती जाती है, जिससे प्रकाश विद्युत धारा भी घटने लगती है।

(vi) प्लेट Q के एक निश्चित ऋणात्मक विभव पर, इस तक इलेक्ट्रॉन नहीं पहुँच पाते, इस ऋणात्मक विभव को निरोधी विभव (V_0) कहते हैं।

(vii) आपतित प्रकाश की आवृत्ति (ऊर्जा) बढ़ाने पर उत्सर्जित प्रकाश इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा भी बढ़ जाती है। फलस्वरूप निरोधी विभव का मान बढ़ जाता है।

निरोधी विभव द्वारा किया गया कार्य इलेक्ट्रॉन की अधिकतम गतिज ऊर्जा के बराबर होता है अर्थात् $K_{max} = eV_0$

❑ निरोधी विभव का मान आपतित प्रकाश की आवृत्ति या तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करता है। इसका मान प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करता है।

आपतित प्रकाश की तीव्रता प्रकाश स्त्रोत एवं प्रकाश प्लेट P के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात् $I \propto \frac{1}{d^2}$ और हम जानते हैं कि तीव्रता $(I) \propto$ प्रकाश विद्युत धारा अर्थात् $I \propto i$ इसलिये $I \propto i \propto \frac{1}{d^2}$

महत्वपूर्ण सूत्र

$$\Rightarrow h\nu = h\nu_0 + K_{max}$$

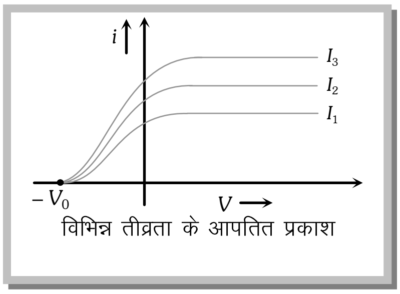
$$\Rightarrow K_{max} = eV_0 = h(\nu - \nu_0) \quad \Rightarrow \frac{1}{2}mv_{max}^2 = h(\nu - \nu_0) \quad \Rightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{2h(\nu - \nu_0)}{m}}$$

$$\Rightarrow K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0 = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = hc\left(\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda\lambda_0}\right) \Rightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{2hc}{m}\frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda\lambda_0}}$$

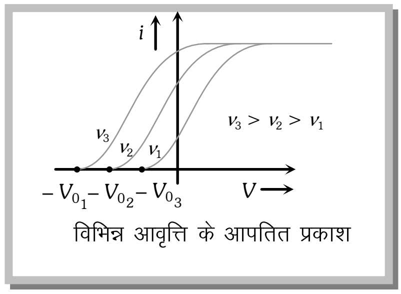
$$\Rightarrow V_0 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0) = \frac{hc}{e}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) = 12375\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

(4) विभिन्न ग्राफ

(i) प्लेट P एवं Q के बीच विभवांतर तथा प्रकाश विद्युत धारा के बीच ग्राफ

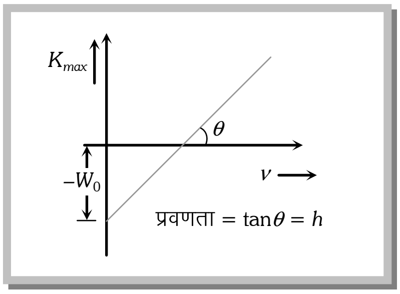


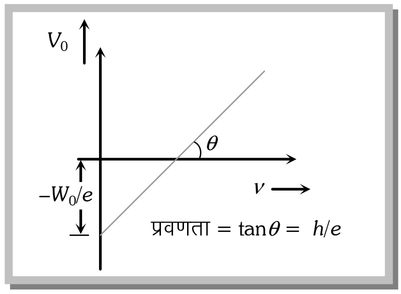
विभिन्न तीव्रता के आपतित प्रकाश



विभिन्न आवृत्ति के आपतित प्रकाश

(ii) फोटो-इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा निरोधी विभव एवं आपतित प्रकाश की आवृत्ति के बीच ग्राफ

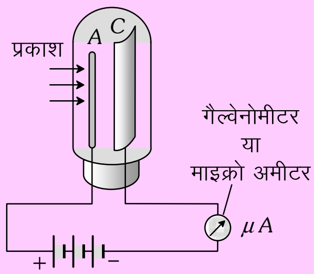
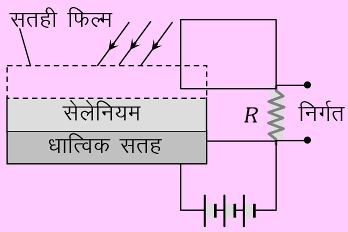
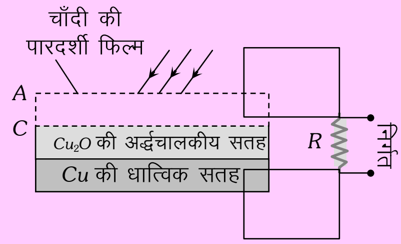




प्रकाश वैद्युत सेल

इस सेल द्वारा प्रकाश ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में परिवर्तन होता है। इसे फोटो सेल या वैद्युत नेत्र भी कहते हैं।

प्रकाश वैद्युत सेल के प्रकार :

प्रकाश उत्सर्जी सेल	प्रकाश-चालकीय सेल	प्रकाश वोल्टीय सेल
यह काँच या क्वार्ट्ज का बना एक बल्ब होता है। जिसके अन्दर निर्वात् होता है। इसमें लगा धात्विक कैथोड C अर्द्ध बेलनाकार होता है जिस पर प्रकाश संवेदी पदार्थ की पर्त चढ़ी होती है।	यह सेल इस सिद्धान्त पर आधारित है कि किसी अर्द्धचालक पर आपतित प्रकाश की तीव्रता बढ़ाने पर इसकी चालकता बढ़ जाती है।	इसमें ताँबे की एक प्लेट पर क्यूप्रस ऑक्साइड (Cu_2O) की एक पतली पर्त चढ़ी होती है। पुनः इसके ऊपर चाँदी की अर्द्ध-पारदर्शी पतली फिल्म चढ़ी होती है।
		
जब कैथोड पर प्रकाश आपतित होता है तो इससे फोटो-इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं एवं ये एनोड A द्वारा आकर्षित कर लिए जाते हैं जिससे एक अल्प धारा बाह्य परिपथ में प्रवाहित होती है।	इसमें लोहे की एक प्लेट पर किसी अर्द्धचालक (सेलेनियम) की पतली पर्त चढ़ी होती है पुनः इसके ऊपर किसी धातु की पारदर्शी फिल्म चढ़ी होती है। जब प्रकाश पारदर्शी फिल्म से होकर अर्द्धचालक की पर्त पर आपतित होता है तो इसका वैद्युत प्रतिरोध कम हो जाता है। फलस्वरूप बाह्य परिपथ में धारा प्रवाहित होने लगती है।	जब चाँदी की फिल्म से होकर प्रकाश क्यूप्रस ऑक्साइड की पर्त पर आपतित होता है तो इससे इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं। ये इलेक्ट्रॉन चाँदी की फिल्म की ओर चलने लगते हैं जिससे क्यूप्रस ऑक्साइड धनावेशित एवं चाँदी की फिल्म ऋण-आवेशित हो जाती हैं। फलस्वरूप दोनो के बीच विभवान्तर उत्पन्न हो जाता है और बाह्य परिपथ में विद्युत धारा प्रवाहित होने लगती है।

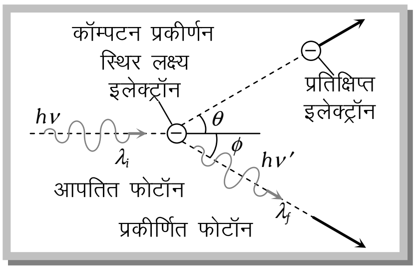
- ❑ प्रकाश उत्सर्जी सेल (निर्वात् प्रकाश सेल) में बल्ब में कोई अक्रिय गैस (आर्गन) भरकर प्रकाश वैद्युत धारा का मान बढ़ाया जा सकता है। कैथोड से उत्सर्जित फोटो-इलेक्ट्रॉन गैस अणुओं से टकराकर उन्हें आपतित कर देती है। फलस्वरूप धारा का मान बढ़ जाता है।

कॉम्पटन प्रभाव

फोटॉन का इलेक्ट्रॉन से संघट्ट होने पर इलेक्ट्रॉन द्वारा फोटॉन का प्रकीर्णन कॉम्पटन प्रभाव कहलाता है। इस संघट्ट में ऊर्जा एवं संवेग संरक्षित रहते हैं। आपतित फोटॉन की तुलना में प्रकीर्णित फोटॉन की तरंगदैर्ध्य अधिक एवं ऊर्जा कम होती है। इस प्रक्रिया में फोटॉन की ऊर्जा में होने वाली कमी, इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा की वृद्धि के रूप में प्राप्त होती है।

कॉम्पटन प्रभाव में फोटॉन की तरंगदैर्ध्य में होने वाले परिवर्तन को कॉम्पटन विस्थापन कहते हैं। कॉम्पटन विस्थापन

$$\lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$$



- ❑ कॉम्पटन प्रभाव से प्रदर्शित होता है कि फोटॉन संवेग रखता है।

X-किरणें

X-किरणों की खोज वैज्ञानिक रॉन्जन ने की इसलिए इन्हें रॉन्जन किरणें भी कहते हैं।

रॉन्जन ने प्रदर्शित किया कि जब विसर्जन नलिका के दाब 10^{-3} *mm Hg* एवं इलेक्ट्रॉडों के मध्य आरोपित विभवान्तर 25 *kV* हो तब एनोड से विशेष प्रकार की अदृश्य किरणें (X-किरणें) उत्सर्जित होती हैं।

(1) X-किरणों का उत्पादन

इनके उत्पादन के लिए आवश्यक भाग निम्न हैं

(i) इलेक्ट्रॉन स्रोत

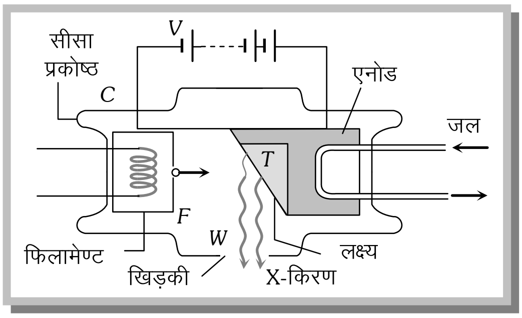
(ii) इलेक्ट्रॉनों को त्वरित करने के लिए एक व्यवस्था

(iii) उच्च गलनांक एवं उच्च परमाणु भार वाला एक लक्ष्य, जिस पर उच्च वेग वाले इलेक्ट्रॉन टकराते हैं।

(2) कूलिज नलिका

कूलिज नलिका की सहायता से X-किरणें उत्पन्न की जाती हैं। इसमें एक कठोर काँच की एक गोलाकार नलिका होती है, जिसमें कैथोड एवं लक्ष्य (Target) लगे होते हैं। कैथोड टंगस्टन फिलामेण्ट का बना होता है। इस फिलामेण्ट पर बेरियम ऑक्साइड या स्ट्रांशियम ऑक्साइड की पतली पर्त चढ़ी होती है। यह फिलामेण्ट मोलिब्डेनम के बेलन द्वारा घिरा होता है, इस बेलन को लक्ष्य के सापेक्ष ऋण विभव पर रखा जाता है।

लक्ष्य (उच्च गलनांक, उच्च परमाणु भार एवं उच्च ऊष्मा चालकता) टंगस्टन या मोलिब्डेनम का बना होता है। यह ताँबे के गुटके पर लगा होता है। इस लक्ष्य का तल आपतित इलेक्ट्रॉन पुंज से 45° के कोण पर झुका होता है।



फिलामेण्ट में धारा प्रवाहित करके इसे गर्म किया जाता है। लक्ष्य एवं कैथोड के बीच उच्च विभवान्तर ($\approx 10\ kV$ से $80\ kV$) आरोपित करने पर फिलामेण्ट से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन त्वरित होते हैं। इन त्वरित इलेक्ट्रॉनों के पुंज को लक्ष्य पर फोकस किया जाता है।

इलेक्ट्रॉनों की अधिकांश ऊर्जा (98%) ऊष्मा में परिवर्तित हो जाती है केवल कुल ऊर्जा का (2%) भाग X-किरणों के उत्पादन में काम आता है।

लक्ष्य में उत्पन्न इस अधिकतम ऊष्मा को एक ताम्र नली द्वारा शीतलक पत्तियों (Cooling fins) तक संचरित किया जाता है। जहाँ से यह ऊष्मा विकिरण एवं चालन द्वारा व्यय हो जाती है।

(i) **X-किरणों की तीव्रता पर नियंत्रण** : X-किरणों की तीव्रता से हमारा तात्पर्य लक्ष्य से उत्पन्न फोटॉनों की संख्या से है। X-किरणों की तीव्रता फिलामेण्ट से प्रति सैकण्ड उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की संख्या के अनुक्रमानुपाती होती है। एवं यह संख्या (अर्थात् तीव्रता) फिलामेण्ट में प्रवाहित धारा को बढ़ाकर बढ़ा सकते हैं। अतः *X-किरणों की तीव्रता* $\propto$ *फिलामेण्ट धारा*

(ii) **X-किरणों की वेधन क्षमता पर नियंत्रण** : कैथोड एवं लक्ष्य के आरोपित विभवान्तर को परिवर्तित करके X-किरणों की वेधन क्षमता को नियंत्रित कर सकते हैं। आरोपित विभवान्तर का मान बढ़ाने पर कैथोड से इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा बढ़ जायेगी अर्थात् X-किरणों की वेधन क्षमता बढ़ जायेगी।

वेधन क्षमता के आधार पर X-किरणों के प्रकार

कठोर X-किरणें	मृदु X-किरणें
इनकी वेधन क्षमता उच्च होती है।	इनकी वेधन क्षमता अल्प होती है।
इनकी आवृत्ति उच्च $\approx 10^{19}\ Hz$ है।	इनकी आवृत्ति अपेक्षाकृत कम $\approx 10^{16}\ Hz$ है।
तरंगदैर्ध्य परास (0.1Å – 4Å) के बीच होती है।	तरंगदैर्ध्य परास (4Å – 100Å) के बीच होती है।

❑ X-किरणों का उत्पन्न होना प्रकाश वैद्युत प्रभाव की व्युत्क्रम घटना है।

(3) X-किरणों के गुण

(i) X-किरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं एवं इनकी तरंगदैर्ध्य परास 0.1 Å – 100 Å है।

(ii) इनकी तरंगदैर्ध्य प्रकाश की तुलना में बहुत कम होती है। अतः इनकी फोटॉन ऊर्जा उच्च होती है (यही X-किरणों एवं प्रकाश तरंगों में मुख्य अन्तर है)

(iii) X-किरणें अदृश्य होती हैं।

(iv) ये प्रकाश की चाल से सीधी रेखा में गमन करती हैं।

(v) X-किरणों की माप रॉन्जन (वेधन क्षमता की माप) है।

(vi) इन पर कोई आवेश नहीं होता है। अतः ये विद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र मे विक्षेपित नहीं होती है।

(vii) $\lambda_{\text{गामा किरण}} < \lambda_{X\text{-किरणे}} < \lambda_{\text{पराबैगनी किरण}}$

(viii) इनका उपयोग X-किरणों के अध्ययन में किया जाता है।

(ix) ये गैसों को आयनित कर देती हैं।

(x) ये किरणें हड्डी या धातु की मोटी चादर को पार नहीं कर पाती हैं।

(xi) ये फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करती हैं।

(xii) ये किरणें मानव शरीर पर अधिक देर तक डालने पर शरीर को बहुत नुकसान पहुँचाती हैं।

(xiii) X-किरणों के लिए सीसा (*Pb*) एक अच्छा अवशोषक है।

(xiv) मानव शरीर के किसी भाग का X-किरण (छायाचित्र) लेने से पहले व्यक्ति को $BaSO_4$ का घोल पिलाते हैं, क्योंकि X-किरणें अधिक परमाणु क्रमांक वाले तत्वों द्वारा अधिक अवशोषित होती हैं।

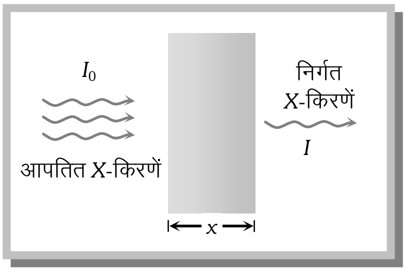
(xv) X-किरणें प्रकाश विद्युत प्रभाव एवं कॉम्पटन प्रभाव उत्पन्न करती है।

(xvi) X-किरणें हाइड्रोजन परमाणु द्वारा उत्सर्जित नहीं होती हैं।

(xvii) X-किरणों का उपयोग रडार में नहीं किया जा सकता, क्योंकि ये लक्ष्य से परावर्तित नहीं होती हैं।

(xviii) ये किरणें प्रकाश के सभी महत्वपूर्ण गुणों को प्रदर्शित करती हैं। जैसे : परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण आदि।

(4) X-किरणों का अवशोषण



X-किरणें जब किसी सतह पर आपतित होती हैं तो सतह द्वारा इनका अवशोषण हो जाता है।

माध्यम से निर्गमित X-किरणों की तीव्रता $I = I_0 e^{-\mu x}$

अवशोषित X-किरणों की तीव्रता $I' = I_0 - I = I_0(1 - e^{-\mu x})$

यहाँ x = माध्यम की मोटाई, μ = अवशोषण नियतांक

- ❑ माध्यम में वह गहराई, जिस पर निर्गमित X-किरणों की तीव्रता आधी $\left(I' = \frac{I_0}{2}\right)$ रह जाती है, अर्द्ध-मान मोटाई ($x_{1/2}$) कहलाती है। जिसका मान $x_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$

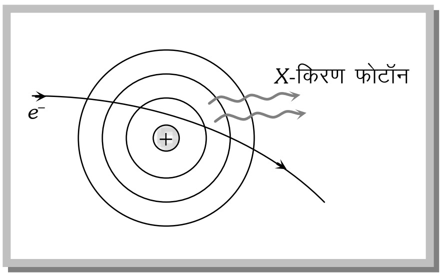
X-किरणों का वर्गीकरण

X-किरण नलिका में जब उच्च ऊर्जावान् इलेक्ट्रॉन, लक्ष्य (धातु) से टकराते हैं तो ये अपनी गतिज ऊर्जा खो देते हैं एवं विराम में आ जाते हैं। इलेक्ट्रॉन विराम में आने से पूर्व लक्ष्य में स्थित कई परमाणुओं से संघट्ट करता है। प्रत्येक संघट्ट से निम्न दो प्रकार की X-किरणें (स्पेक्ट्रम) प्राप्त हो सकती हैं।

(1) सतत् X-किरणें

जब आपतित इलेक्ट्रॉन किसी परमाणु के नाभिक के नज़दीक से गुजरता है, तो यह अवमंदित होकर अपने मार्ग से विचलित हो जाता है। इस अवमन्दन के दौरान इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में होने वाली कमी X-किरणों के रूप में उत्सर्जित होती है।

इस प्रकार से उत्सर्जित X-किरणों का सतत् X-किरण स्पेक्ट्रम प्राप्त होता है।



- ❑ इलेक्ट्रॉन के अवमंदित एवं विचलित होने के कारण सतत् X-किरणों के उत्सर्जन होने की परिघटना को ब्रेमस्ट्रालंग (Bremsstrahlung) कहते हैं इसका अर्थ है, मंदित करना या विकिरण अवरोधन।

न्यूनतम तरंगदैर्ध्य

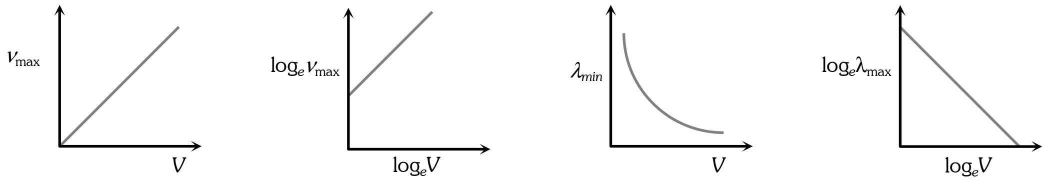
जब इलेक्ट्रॉन किसी अकेले परमाणु से संघट्ट करके अपनी सम्पूर्ण ऊर्जा खो देता है, तो अधिकतम ऊर्जा का X-किरण फोटॉन ($h\nu_{max}$) उत्सर्जित होता है। अतः $\frac{1}{2}mv^2 = eV = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$

यहाँ v = लक्ष्य परमाणु के संघट्ट से पूर्व इलेक्ट्रॉन का वेग, V = त्वरक वोल्टेज, c = प्रकाश की चाल $= 3 \times 10^8\ m/s$

X-किरणों की अधिकतम आवृत्ति $\nu_{\max} = \frac{eV}{h}$

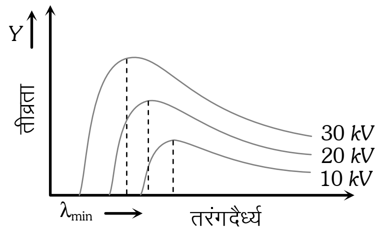
न्यूनतम तरंगदैर्ध्य या देहली तरंगदैर्ध्य $\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} = \frac{12375}{V} \mathring{A}$

- सतत् X-किरण फोटॉन की तरंगदैर्ध्य परास λ_{min} (निश्चित मान) ∞ से तक



तीव्रता–तरंगदैर्ध्य ग्राफ

X-किरणों के सतत् स्पेक्ट्रम में एक न्यूनतम तरंग दैर्ध्य से लेकर सभी तरंगदैर्ध्य की तरंगें होती हैं। इन सभी तरंगों की तीव्रता भिन्न-भिन्न होती है। निम्न चित्र में विभिन्न त्वरक वोल्टेजों पर तरंगदैर्ध्य के साथ इनकी तीव्रता परिवर्तन को दर्शाया गया है।



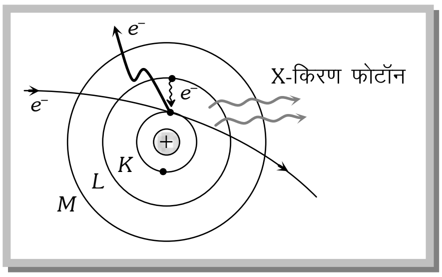
प्रत्येक वोल्टेज पर, तीव्रता वक्र एक निश्चित तरंगदैर्ध्य (λ_{min}) से प्रारम्भ होकर एक अधिकतम मान तक बढ़ती है एवं इसके बाद घटने लगती है।

अधिकतम तीव्रता के संगत तरंगदैर्ध्य का मान त्वरक वोल्टेज पर निर्भर करता है। त्वरक वोल्टेज का मान अधिक होने पर इसका मान घटता है एवं इसका विलोम भी सत्य है।

(2) अभिलाक्षणिक X-किरणें

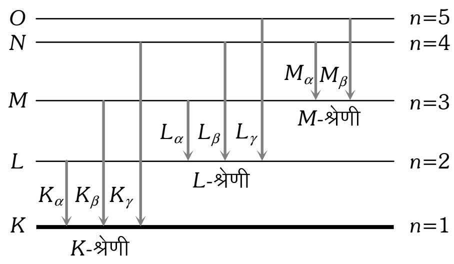
जब कुछ तीव्रगामी इलेक्ट्रॉन लक्ष्य की सतह पर स्थित परमाणुओं में काफी अन्दर तक प्रवेश कर जाते हैं एवं अन्दर की किसी भी कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉन से संघट्ट करके उसे बाहर निकाल देते हैं एवं इसके स्थान पर एक रिक्त स्थान उत्पन्न हो जाता है। इस रिक्त स्थान को भरने के लिए उच्च ऊर्जा स्तर से एक इलेक्ट्रॉन संक्रमण करता है। हम जानते हैं कि जब कोई उच्च ऊर्जा स्तर E_1 से निम्न ऊर्जा स्तर E_2 में संक्रमण करता है तो यह ऊर्जा $(E_1 - E_2)$ उत्सर्जित करता है।

इस प्रकार यह ऊर्जा अन्तर एक निश्चित बहुत अल्प तरंगदैर्ध्य की X-किरणों के रूप में उत्सर्जित होता है। इस तरंगदैर्ध्य का मान लक्ष्य (धातु) की प्रकृति एवं परमाणु क्रमांक पर निर्भर करता है। इस प्रकार से प्राप्त X-किरण स्पेक्ट्रम में कई रेखायें (Sharpline) प्राप्त होती हैं। इस प्रकार प्राप्त स्पेक्ट्रम को अभिलाक्षणिक X-किरण स्पेक्ट्रम कहते हैं।



$K, L, M, \ldots\ldots$ श्रेणी

यदि इलेक्ट्रॉन लक्ष्य से टकराकर परमाणु के K-कोश से इलेक्ट्रॉन को निष्कासित करता है तो K-कोश में एक रिक्त स्थान बन जाता है, तो इसकी जगह भरने के लिये बाहरी कोश से, जैसे L-कोश से, इलेक्ट्रॉन K कोश में कूदता है तथा निश्चित ऊर्जा का फोटॉन एक्स-किरणों के रूप में उत्सर्जित होता है। यह ऊर्जा सम्बद्ध कोशों की ऊर्जाओं के अन्तर के बराबर होती है। इस प्रकार जब किसी बाहरी कोश (L, M, N .....) से कोई इलेक्ट्रॉन K कोश में कूदता है तो उत्सर्जित X-किरण फोटॉनों से स्पेक्ट्रम की K-श्रेणी बनती है। इस श्रेणी की रेखाओं को क्रमशः K_α, K_β, ... से प्रदर्शित करते हैं।

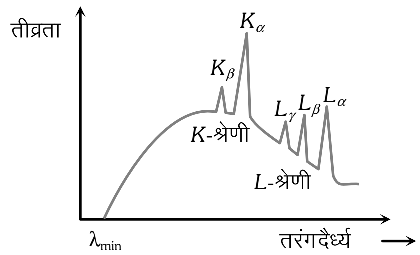


विभिन्न रेखाओं की ऊर्जा एवं तरंगदैर्ध्य

श्रेणी	संक्रमण	ऊर्जा	तरंगदैर्ध्य
K_α	$\underset{(2)}{L} \rightarrow \underset{(1)}{K}$	$E_L - E_K = h\nu_{K\alpha}$	$\lambda_{K\alpha} = \frac{hc}{E_L - E_K} = \frac{12375}{(E_L - E_K)eV} Å$
K_β	$\underset{(3)}{M} \rightarrow \underset{(1)}{K}$	$E_M - E_K = h\nu_{K\beta}$	$\lambda_{K\beta} = \frac{hc}{E_M - E_K} = \frac{12375}{(E_M - E_K)eV} Å$
L_α	$\underset{(3)}{M} \rightarrow \underset{(2)}{L}$	$E_M - E_L = h\nu_{L\alpha}$	$\lambda_{L\alpha} = \frac{hc}{E_M - E_L} = \frac{12375}{(E_M - E_L)eV} Å$

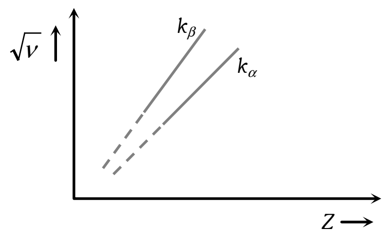
- अभिलाक्षणिक X-किरणों की तरंगदैर्ध्य त्वरक वोल्टेज पर निर्भर नहीं करती है। यह लक्ष्य पदार्थ के परमाणु क्रमांक (Z) पर निर्भर करता है।
- $\lambda_{K\alpha} < \lambda_{L\alpha} < \lambda_{M\alpha}$ एवं $\nu_{K\alpha} > \nu_{L\alpha} > \nu_{M\alpha}$
- $\lambda_{K\alpha} > \lambda_{L\beta} < \lambda_{K\gamma}$

तीव्रता–तरंगदैर्ध्य ग्राफ



कुछ निश्चित तरंगदैर्ध्यों पर, X-किरणों की तीव्रता उच्च है जिन्हें ग्राफ में K_α, K_β .... के लिए प्रदर्शित किया गया है। इन X-किरणों को अभिलाक्षणिक X-किरणें कहते हैं। अन्य तरंगदैर्ध्यों पर तीव्रता धीमे-धीमे परिवर्तित होती है। इन X-किरणों को सतत् X-किरण स्पेक्ट्रम कहते हैं।

मोसले का नियम



मोसले ने ब्रेग स्पेक्ट्रोमीटर की सहायता से कई भारी तत्वों से प्राप्त अभिलाक्षणिक X-किरणों के स्पेक्ट्रम का अध्ययन किया तथा पाया कि विभिन्न तत्वों से प्राप्त स्पेक्ट्रम लगभग एकसमान प्राप्त होते हैं एवं स्पेक्ट्रम से प्राप्त श्रेणियों की आवृत्ति परमाणु क्रमांक Z के साथ परिवर्ती है।

मोसले के अनुसार $\sqrt{\nu} = a(Z - b)$

यहाँ ν = उत्सर्जित रेखा की आवृत्ति, Z = लक्ष्य का परमाणु क्रमांक, a = अनुपातिक नियतांक एवं b = आवरण नियतांक

- a एवं b के मान लक्ष्य की प्रकृति पर निर्भर नहीं करते हैं। b के विभिन्न मान निम्न प्रकार हैं

$b = 1$ K-श्रेणी के लिए

$b = 7.4$ L- श्रेणी के लिए

$b = 19.2$ M- श्रेणी के लिए

- $(Z-b)$ लक्ष्य का प्रभावी परमाणु क्रमांक है।

मोसले के नियम से सम्बन्धित अन्य तथ्य

(i) यह बोर सिद्धान्त का समर्थन करता है।

(ii) इस नियम से प्रयोगात्मक रूप में परमाणुओं के परमाणु क्रमांकों को ज्ञात किया।

(iii) इस नियम के आधार पर आवर्त-सारिणी में तत्वों के परमाणु क्रमांक के आधार व्यवस्थित किया गया जो कि पूर्व में परमाणु भार के अनुसार व्यवस्थित थे।

(iv) मोसले की गणना के आधार पर $A = 43, 61, 72, 75$ के लिए आवर्त-सारिणी में खाली स्थान रखे गये, बाद मे इनकी खोज हुई।

(v) मोसले ने बताया कि Cu, Ag एवं Pt के परमाणु क्रमांक क्रमशः 29, 47 एवं 78 होंगे।

(vi) जब K-कोश में एक रिक्त स्थान बनता है तो भी उसमें एक इलेक्ट्रॉन शेष रहता है। नाभिक का आवेश Ze एवं K-कोश में उपस्थित इलेक्ट्रॉन का $-e$, क्योंकि L-कोश, K-कोश से पूर्णतः बाहर है। अतः L-कोश के इलेक्ट्रॉन के लिए नाभिक आवेश Ze न होकर प्रभावी आवेश $(Z-1)e$ होगा।

(vii) अभिलाक्षणिक स्पेक्ट्रम में प्राप्त रेखा की तरंगदैर्ध्य समीकरण $\frac{1}{\lambda} = R(Z-b)^2\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$ एवं X-किरण की ऊर्जा

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = Rhc(Z-b)^2\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)$$

(viii) K_α रेखा के लिए $n_2 = 2$ एवं $n_1 = 1$

(a) $a = \sqrt{\frac{3RC}{4}} = 2.47\times10^{15}\,Hz$

(b) $\nu_{K\alpha} = RC(Z-1)^2\left(1-\frac{1}{2^2}\right) = \frac{3RC}{4}(Z-1)^2 = 2.47\times10^{15}(Z-1)^2\,Hz$

(c) K-रेखा की तरंगदैर्ध्य का सामान्य समीकरण $\frac{1}{\lambda_K} = R(Z-1)^2\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ यहाँ $n = 2, 3, 4, \ldots$ एवं K_α-रेखा $\lambda_{K\alpha} = \frac{1216}{(Z-1)}\mathring{A}$

(d) $E_{K\alpha} = 10.2(Z-1)^2\,eV$

X-किरणों के उपयोग

(i) क्रिस्टल संरचना के अध्ययन में : X-किरणों के विवर्तन द्वारा DNA की संरचना निर्धारित की गई है।

(ii) चिकित्सा विज्ञान में

(iii) रेडियोग्राफी में

(iv) रेडियो चिकित्सा में

(v) इंजीनियरिंग में

(vi) प्रयोगशाला में

(vii) जासूसी में

(viii) कला में, पुरानी तेल चित्रकारी में होने वाले परिवर्तनों को X-किरणों से पहचाना जा सकता है।

Concepts

- ☞ *सामान्यतः पराबैंगनी किरणों के आपतित होने पर सभी धातुएँ फोटो-इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करती हैं परन्तु क्षारीय धातुएँ (जैसे : लीथियम, सोडियम, पोटैशियम, रूबीडियम एवं सीजियम) दृश्य प्रकाश के आपतित होने पर भी फोटो-इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करती है।*
- ☞ *निर्वात् नलिकाओं में ऑक्साइड लेपित फिलामेण्ट का उपयोग करने पर यह अपेक्षाकृत कम ताप पर इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करता है, अर्थात् फिलामेण्ट का कार्य फलन कम हो जाता है।*
- ☞ *अल्प दाब पर विसर्जन नलिका में इलेक्ट्रॉन का मुक्त पथ अधिक होने के कारण ये संघट्ट से अधिक गतिज ऊर्जा प्राप्त कर लेते हैं जिससे गैसों में विद्युत चालन सम्भव होता है।*
- ☞ *यदि पीले प्रकाश के आपतित होने पर किसी सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होते हैं, परन्तु हरे रंग के आपतित होने पर इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं तो निश्चित ही लाल रंग के आपतित होने पर सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होंगे।*
- ☞ *प्रकाश की कण-प्रकृति, प्रकाश विद्युत प्रभाव का कारण है।*
- ☞ *हाइड्रोजन परमाणु में ऊर्जा स्तर अधिक पास होने के कारण इससे X-किरणें उत्सर्जित नहीं होती हैं।*
- ☞ *γ-किरणों एवं X-किरणों में मुख्य अन्तर यह है कि γ-किरणें नाभिक से उत्सर्जित होती हैं जबकि X-किरणें परमाणु के बाहरी भाग से।*
- ☞ *प्रकाश-विद्युत प्रभाव में, फोटॉनों के आपतित होने एवं इलेक्ट्रान उत्सर्जन में कोई समय पश्चतता नहीं होती है, अर्थात् जैसे ही फोटॉन आपतित होते हैं वैसे ही सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होने लगते हैं। अर्थात् सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन प्रारम्भ होने में कोई समय नहीं लगता है।*
- ☞ *यदि प्रकाश की तरंग प्रकृति माने तो सतह से एक इलेक्ट्रॉन के उत्सर्जन में लगभग एक वर्ष लगेगा।*
- ☞ *X-किरणों की मात्रा (Doze) उत्पन्न आयनों की संख्या या आयनन से मुक्त ऊर्जा के पदों में व्यक्त की जाती है।*
- ☞ *एक व्यक्ति को एक सप्ताह में X-किरणों की 1 रॉन्जन मात्रा सुरक्षित रूप से दी जा सकती है (एक रॉन्जन X-किरणों की वह मात्रा है जो NTP पर 1 ग्राम वायु के आयनन से 2.5×10^4 J ऊर्जा मुक्त करती है।*

Example: 22 एक पदार्थ का कार्यफलन 4.0 eV है तो इस पदार्थ से फोटो इलेक्ट्रॉन के उत्सर्जन के लिए प्रकाश के अधिकतम तरंगदैर्ध्य का मान लगभग होगा

(a) 540 nm (b) 400 nm (c) 310 nm (d) 220 nm

Solution : (c) $\lambda_0 = \frac{12375}{W_0(eV)} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{12375}{4} = 3093.7\,Å \simeq 310\,nm$

Example: 23 2.1 eV मान के कार्यफलन वाली सतह पर 6 eV ऊर्जा का फोटॉन आपतित होता है तो निरोधी विभव का मान होगा [MP PMT 2004]

(a) – 5V (b) – 1.9 V (c) – 3.9 V (d) – 8.1 V

Solution : (c) आइंस्टीन समीकरण से, $E = W_0 + K_{max} \Rightarrow 6 = 2.1 + K_{\max} \Rightarrow K_{\max} = 3.9\,eV$

$\therefore$ निरोधी विभव $V_0 = -\frac{K_{\max}}{e} = -3.9\,V$

Example: 24 जब किसी धात्विक पृष्ठ पर λ तरंगदैर्ध्य का विकिरण आपतित होता है तो निरोधी विभव 4.8 V है। यदि वही पृष्ठ दोगुनी तरंगदैर्ध्य के विकिरण से दीप्त हो तो निरोधी विभव 1.6 V हो जाता है। पृष्ठ की देहली तरंगदैर्ध्य होगी [EAMCET (Engg.) 2003]

(a) 2λ (b) 4λ (c) 6λ (d) 8λ

Solution : (b) सूत्र $V_0 = \frac{hc}{e}\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right]$

$4.8 = \frac{hc}{e}\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right]$ ...... (i) एवं $1.6 = \frac{hc}{e}\left[\frac{1}{2\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right]$ ...... (ii)

समीकरण (i) व (ii) से, $\lambda_0 = 4\lambda$

Example: 25 जब फोटो इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक पर विकिरण आपतित होते हैं तो निरोधी विभव 9 V पाया जाता है। यदि इलेक्ट्रॉन के लिए e/m $1.8\times10^{11} Ckg^{-1}$ हो तो उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम वेग होगा [Kerala (Engg.) 2002]

(a) $6\times10^5 ms^{-1}$ (b) $8\times10^5 ms^{-1}$ (c) $1.8\times10^6 ms^{-1}$ (d) $1.8\times10^5 ms^{-1}$

Solution : (c) $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0 \Rightarrow v_{max} = \sqrt{2\left(\frac{e}{m}\right)V_0} = \sqrt{2\times1.8\times10^{11}\times9} = 1.8\times10^6\ m/s$

Example: 26 प्रकाश की वह न्यूनतम आवृत्ति जो कि धात्विक पृष्ठ से फोटो इलेक्ट्रॉनों के उत्सर्जन के लिये आवश्यक है (धातु के लिए कार्यफलन 1.65 eV) [JIPMER 2002]

(a) $4\times10^{10} Hz$ (b) $4\times10^{11} Hz$ (c) $4\times10^{14} Hz$ (d) $4\times10^{-10} Hz$

Solution : (c) देहली तरंगदैर्ध्य $\lambda_0 = \frac{12375}{W_0(eV)} = \frac{12375}{1.65} = 7500\ Å$

$\therefore$ न्यूनतम आवृत्ति $\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3\times10^8}{7500\times10^{-10}} = 4\times10^{14} Hz$

Example: 27 दो विभिन्न आवृत्तियों के प्रकाश जिनकी ऊर्जाएँ क्रमशः 1 eV व 2.5 eV हैं, क्रमानुसार एक 0.5 eV कार्यफलन की धातु को प्रदीप्त करती है। उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जाओं का अनुपात होगा [AIEEE 2002]

(a) 1 : 5 (b) 1 : 4 (c) 1 : 2 (d) 1 : 1

Solution : (b) सूत्र का उपयोग करने पर $K_{max} = E - W_0 \Rightarrow \frac{(K_{max})_1}{(K_{max})_2} = \frac{1-0.5}{2.5-0.5} = \frac{0.5}{2} = \frac{1}{4}$

Example: 28 ν_1 तथा ν_2 $(\nu_1 > \nu_2)$ आवृत्तियों के आपतित प्रकाश के लिए धात्विक पृष्ठ से प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन प्रेक्षित किया जाता है। यदि इन दोनों स्थितियों में उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉन की अधिकतम गतिज ऊर्जाओं का अनुपात 1 : k हो तो धात्विक पृष्ठ की देहली आवृत्ति होगी [EAMCET (Engg.) 2001]

(a) $\frac{\nu_1 - \nu_2}{k-1}$ (b) $\frac{k\nu_1 - \nu_2}{k-1}$ (c) $\frac{k\nu_2 - \nu_1}{k-1}$ (d) $\frac{\nu_2 - \nu_1}{k-1}$

Solution : (b) सूत्र $h\nu - h\nu_0 = k_{max} \Rightarrow h(\nu_1 - \nu_0) = k_1$ एवं $h(\nu_1 - \nu_0) = k_2$

अतः $\frac{\nu_1 - \nu_0}{\nu_2 - \nu_0} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{k} \Rightarrow \nu_0 = \frac{k\nu_1 - \nu_2}{k-1}$

Example: 29 6.125 eV कार्यफलन वाले प्रकाश-विद्युत पदार्थ पर $8\times10^{15} Hz$ आवृत्ति का प्रकाश आपतित होता है। उत्सर्जित फोटो- इलेक्ट्रॉन की अधिकतम गतिज ऊर्जा है [AFMC 2001]

(a) 17 eV (b) 22 eV (c) 27 eV (d) 37 eV

Solution : (c) आपतित फोटॉन की ऊर्जा $E = h\nu = 6.6\times10^{-34}\times8\times10^{15} = 5.28\times10^{-18} J = 33 eV$

$e = W_0 + K_{max}$ से, $\Rightarrow K_{max} = E - W_0 = 33 - 6.125 = 26.87 eV \approx 27 eV$

Example: 30 एक फोटो सेल पर 1 m दूरी पर स्थित स्रोत से प्रकाश आपतित होता है। यदि समान स्रोत फोटो सेल से 2m की दूरी पर स्थित हो तो उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन

(a) प्रारम्भिक ऊर्जा के मान के एक-चौथाई मान से गतिशील होता है

(b) प्रारम्भिक संवेग के मान के एक-चौथाई मान से गतिशील होता है

(c) संख्या में आधे रह जाते हैं

(d) संख्या में एक-चौथाई रह जाते है

Solution : (d) फोटॉन की संख्या ∝ तीव्रता ∝ $\frac{1}{(\text{दूरी})^2}$

$$\Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} - \left(\frac{2}{1}\right)^2 \Rightarrow N_2 = \frac{N_1}{4}$$

Example: 31 जब किसी सतह पर पीला प्रकाश आपतित होता है इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होते जबकि हरे प्रकाश के आपतित होने पर इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। यदि सतह पर लाल प्रकाश आपतित किया जाये तो [MNR 1998; MH CET 2000; MP PET 2000]

(a) इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होंगे (b) फोटॉन उत्सर्जित होंगे

(c) उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होंगे (d) निम्न ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होंगे

Solution : (a) $\lambda_{\text{हरा}} < \lambda_{\text{पीला}} < \lambda_{\text{लाल}}$

प्रश्नानुसार $\lambda_{\text{हरा}}$ का मान अधिकतम है जिससे प्रकाश विद्युत उत्सर्जन होता है। अतः लाल रंग से उत्सर्जन नहीं हो सकता है।

Example: 32 जब एक धात्विक सतह पर 400 *nm* तथा 250 *nm* तरंगदैर्ध्य के प्रकाश को आपतित करते हैं तो उत्सर्जित फोटो-इलेक्ट्रॉन के अधिकतम वेग क्रमशः v तथा $2v$ हैं। धातु का कार्यफलन होगा (h = प्लांक नियतांक, c = वायु में प्रकाश का वेग)

[EMCET (Engg.) 2000]

(a) $2hc \times 10^6 J$ (b) $1.5hc \times 10^6 J$ (c) $hc \times 10^6 J$ (d) $0.5hc \times 10^6 J$

Solution : (a) सूत्र $E = W_0 + K_{max} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = W_0 + \frac{1}{2}mv^2$

$$\frac{hc}{400 \times 10^{-9}} = W_0 + \frac{1}{2}mv^2 \quad ......(i) \quad \text{एवं} \quad \frac{hc}{250 \times 10^{-9}} = W_0 + \frac{1}{2}m(2v)^2 \quad ......(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) से, $W_0 = 2hc \times 10^6 J$

Example: 33 धातुओं A तथा B के कार्यफलनों का अनुपात 1 : 2 है। यदि f तथा $2f$ आवृत्तियों का प्रकाश क्रमशः A तथा B पृष्ठों पर आपतित होता है, तो उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम ऊर्जाओं का अनुपात है (f, A की देहली आवृत्ति से अधिक है तथा $2f$, B की देहली आवृत्ति से अधिक है)

(a) 1 : 1 (b) 1 : 2 (c) 1 : 3 (d) 1 : 4

Solution : (b) $E = W_0 + K_{max} \Rightarrow E_A = W = W_A + K_A$ एवं $E_B = h(2f) = W_B + K$

तो, $\frac{1}{2} = \frac{W_A + K_A}{W_B + K_B}$ ......(i) एवं दिया है $\frac{W_A}{W_B} = \frac{1}{2}$ ....(ii)

समीकरण (i) व (ii) से, $\frac{K_A}{K_B} = \frac{1}{2}$

Example: 34 जब एक फोटो-सेल से एकवर्णी बिन्दु प्रकाश स्रोत 0.2*m* दूर स्थित रहता है तो निरोधी विभव (Cut-off voltage) एवं संतृप्त धारा (Saturation current) का मान क्रमशः 0.6 *V* एवं 18 *mA* है। यदि समान स्रोत फोटो-सेल से 0.6 *m* की दूरी पर हो तो [IIT-JEE 1992; MP PMT 1999]

(a) निरोधी विभव 0.2 *V* होगा (b) निरोधी विभव 0.6 *V* होगा

(c) महत्तम धारा (Saturation current) 6 *mA* होगी (d) महत्तम धारा 18 *mA* होगी

Solution : (b) प्रकाश-विद्युत धारा (i) ∝ तीव्रता ∝ $\frac{1}{(\text{दूरी})^2}$ । यदि दूरी का मान 0.6 *m* (अर्थात् तीन गुना) हो तो धारा का मान $\frac{1}{9}$वाँ भाग अर्थात् 2*mA* हो जाती है।

एवं निरोधी विभव का मान प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करता है, अर्थात् निरोधी विभव का मान 0.6 V ही रहेगा।

Example: 35 एक प्रकाश उत्सर्जक सेल को λ तरंगदैर्ध्य के प्रकाश से उत्तेजित करने पर उत्सर्जित तीव्रतम इलेक्ट्रॉन का वेग υ है। यदि उत्तेजित तरंगदैर्ध्य बदलकर $3\lambda/4$ हो जाये तो तीव्रतम इलेक्ट्रॉन का वेग होगा [CBSE 1998]

(a) $\upsilon(3/4)^{1/2}$ (b) $\upsilon(4/3)^{1/2}$ (c) $\upsilon(4/3)^{1/2}$ से कम (d) $\upsilon(4/3)^{1/2}$ से अधिक

Solution : (d) $E = W_0 + \frac{1}{2}m\upsilon_{max}^2$ से, $\Rightarrow \upsilon_{max} = \sqrt{\frac{2E}{m} - \frac{2W_0}{m}}$ (जहाँ $E = \frac{hc}{\lambda}$)

आपतित प्रकाश का तरंगदैर्ध्य λ से परिवर्तित होकर $\frac{3\lambda}{4}$ (घटता है) हो जाता है

माना कि आपतित प्रकाश की ऊर्जा E से परिवर्तित होकर E' हो एवं तीव्रतम इलेक्ट्रॉन का वेग υ से परिवर्तित होकर υ' हो तो

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2E}{m} - \frac{2W_0}{m}} \quad .....(i) \quad \text{एवं} \quad \upsilon' = \sqrt{\frac{2E'}{m} - \frac{2W_0}{m}} \quad ....(ii)$$

चूंकि $E \propto \frac{1}{\lambda} \Rightarrow E' = \frac{4}{3}E$ अतः $\upsilon' = \sqrt{\frac{2\left(\frac{4}{3}E\right)}{m} - \frac{2W_0}{m}} \Rightarrow \upsilon' = \left(\frac{4}{3}\right)^{1/2}\sqrt{\frac{2E}{m} - \frac{2W_0}{m\left(\frac{4}{3}\right)^{1/2}}}$

$$\Rightarrow \upsilon' = \left(\frac{4}{3}\right)^{1/2} X \quad \text{जहाँ } X = \sqrt{\frac{2E}{m} - \frac{2W_0}{m\left(\frac{4}{3}\right)^{1/2}}} > \upsilon \quad \text{अतः } \upsilon' > \left(\frac{4}{3}\right)^{1/2}\upsilon$$

Example: 36 40 kV विभवान्तर पर कूलिज नलिका में उत्पन्न X-किरणों की न्यूनतम तरंगदैर्ध्य है [BCECE 2003]

(a) 0.31 Å (b) 3.1 Å (c) 31 Å (d) 311 Å

Solution : (a) $\lambda_{min} = \frac{12375}{40 \times 10^3} = 0.309 Å \approx 0.31\ Å$

Example: 37 प्लेटीनम (Z = 78) की L_α रेखा की X-किरण तरंगदैर्ध्य 1.30$Å$ है। मॉलिब्डनम (Z = 42) की L_α रेखा की X-किरण तरंगदैर्ध्य है [EAMCET (Engg.) 2000]

(a) 5.41Å (b) 4.20Å (c) 2.70Å (d) 1.35 Å

Solution : (a) L_α रेखा का तरंगदैर्ध्य $\frac{1}{\lambda} = R(z-7.4)^2\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \Rightarrow \lambda \propto \frac{1}{(z-7.4)^2}$

$$\Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{(z_2-7.4)^2}{(z_1-7.4)^2} \Rightarrow \frac{1.30}{\lambda_2} = \frac{(42-7.4)^2}{(78-7.4)^2} \Rightarrow \lambda_2 = 5.41 Å$$

Example: 38 30 kV विभव पर संचालित दो कूलिज नलिकाओं में क्रमशः मॉलीब्डेनम Z = 42 एवं टंगस्टन Z = 74 से बने लक्ष्य प्रयुक्त किये जाते हैं। इनसे उत्पन्न सतत X-किरणों के लिए निरोधी तरंग दैर्ध्य क्रमशः होंगी

(a) 1Å, 3Å (b) 0.3 Å, 0.2 Å (c) 0.414 Å, 0.8 Å (d) 0.414 Å, 0.414 Å

Solution : (a) सतत X-किरण का निरोधी (cut-off) तरंगदैर्ध्य मुख्यतः आरोपित वोल्टेज पर निर्भर करता है, यह लक्ष्य की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता है। इसलिए दोनों नलिका का निरोधी तरंगदैर्ध्य समान होगा

$$Ve = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{या} \quad \lambda = \frac{hc}{Ve} = \frac{6.627 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{30 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19}} m = 414 \times 10^{-10} m = 0.414\ Å$$

Tricky example: 3

एक धात्विक सतह पर एक-साथ 2.5eV ऊर्जा के दो फोटॉन आपतित होते हैं तो धातु की सतह से, (यदि धातु का कार्यफलन 4.5 eV हो)

(a) दो इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होंगे
(b) एक भी इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होगा
(c) एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होगा
(d) दो से अधिक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होंगे

Solution : (b) प्रकाश-विद्युत प्रभाव एक घटना है जिसमें आपतित फोटॉन एवं सतह के एक इलेक्ट्रॉन के बीच प्रत्यास्थ टक्कर होता है। प्रश्न से एक इलेक्ट्रॉन एक फोटॉन अवशोषित करता है एवं 2.5 eV ऊर्जा प्राप्त करता है जिसका मान कार्यफलन 4.5 eV से कम है। अतः फोटो-इलेक्ट्रॉन का उत्सर्जन संभव नहीं है।

Tricky example: 4

X-किरण नलिका में त्वरित वोल्टेज का मान जब आधा किया जाता है तो X-किरण के सतत् स्पेक्ट्रम में K_α रेखा की तरंगदैर्ध्य एवं न्यूनतम तरंगदैर्ध्य के बीच अन्तर

(a) नियत रहेगा
(b) दोगुना से अधिक होगा
(c) आधा होगा
(d) दोगुना से कम होगा

Solution : (c) $\Delta\lambda = \lambda_{K_\alpha} - \lambda_{\min}$ जब V का मान आधा होता है तो $\lambda_{\min}$ दोगुना हो जाता है लेकिन λ_{K_α} नियत रहता है।

$$\therefore \quad \Delta\lambda' = \lambda_{K_\alpha} - 2\lambda_{\min} = 2(\Delta\lambda) - \lambda_{K_\alpha}$$

$$\therefore \quad \Delta\lambda' < 2(\Delta\lambda)$$

Tricky example: 5

मोलिब्डेनम एवं लोहे से उत्पन्न K_α-फोटॉन की ऊर्जा क्रमशः 18.5 keV एवं 34.7 keV है तो 300 m की दूरी तय करने में K_α फोटॉनों को लगा समय होगा

(a) (3 μs, 15 μs)
(b) (15 μs, 3μs)
(c) (1 μs, 1 μs)
(d) (1 μs, 5μs)

Solution : (c) फोटॉन का वेग समान रहता है चाहे इसकी ऊर्जा, आवृत्ति, तरंगदैर्ध्य एवं स्रोत कुछ भी हो

इसलिए प्रत्येक फोटॉन के लिए आवश्यक समय $= \dfrac{300}{3\times10^8} = 10^{-6} s = 1\mu s$