परमाणु संरचना
(Structure of Atom)

2 Chapter

INSIDE......

2.1 ऐतिहासिक
2.2 परमाणु सिद्धांत की आधुनिक अवधारणा
2.3 इलेक्ट्रॉन की खोज
2.3.1 इलेक्ट्रॉन के आवेश द्रव्यमान अनुपात का निर्धारण
2.3.2 इलेक्ट्रॉन पर आवेश की गणना
2.3.3 इलेक्ट्रॉन पर द्रव्यमान की गणना
2.4 प्रोटॉन की खोज
2.5 न्यूट्रॉन की खोज
2.5.1 द्रव्यमान संख्या अथवा परमाणु भार
2.5.2 परमाणु संख्या (Atomic Number)
2.5.3 समस्थानिक
2.5.4 समभारिक
2.6 परमाणु प्रतिरूप (Atomic Models)
2.6.1 थॉमसन प्रतिरूप
2.6.2 रदरफोर्ड का नाभिकीय परमाणु प्रतिरूप
2.7 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की प्रकृति
2.7.1 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की तरंगे प्रकृति
2.7.2 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की कणिय प्रकृति प्लांक का क्वान्टम सिद्धांत
2.8 परमाण्विक स्पेक्ट्रा
2.9 परमाणु का बोर मॉडल
2.10 सोमरफिल्ड द्वारा बोर मॉडल का विस्तार
2.11 दी ब्रॉग्ली सिद्धांत
हाइजैन की अनिश्चितता का सिद्धांत
2.12 परमाणु का क्वाण्टम यांत्रिकी मॉडल
2.13 क्वाण्टम संख्या और कक्षक
2.14 परमाणु कक्षकों की आकृतियाँ
2.15 तत्वों का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास
2.15.1 कक्षकों में इलेक्ट्रॉन भरने के नियम
2.16 पाठ्यपुस्तक के प्रश्न—उत्तर
2.15 प्रमुख प्रश्न—उत्तर

परिचय (Introduction)

- इसमें महर्षि कणाद व डाल्टन के परमाणु सिद्धांत से लेकर आधुनिक क्वाण्टम यांत्रिकी तक परमाणु के मॉडल के विकास का अध्ययन किया जाता है।
- पदार्थ की प्रकृति को समझने के लिये पदार्थ की मूलभूत इकाई–परमाणु की संरचना का ज्ञान आवश्यक है।

2.1 ऐतिहासिक

महर्षि कणाद के परमाणु सिद्धांत की ऐतिहासिक अवधारणा–

- भारतीय एवं यूनानी दार्शनिकों द्वारा बहुत पहले से ही (400 ई.पू.) परमाणुओं के अस्तित्व को प्रस्तावित किया गया था। उनका विचार था कि परमाणु द्रव्य के मूल संरचनात्मक भाग होते हैं, उनके अनुसार पदार्थ के लगातार विभाजन से अन्ततः परमाणु प्राप्त होते हैं, जिसे आगे विभाजित नहीं किया जा सकता।
- भारतीय दर्शन की वैशेषिक शाखा के प्रणेता महर्षि कणाद ने बुद्ध से 800 वर्ष पूर्व इस धारणा का सूत्रपात किया की द्रव्य की रचना सरल व अपरिवर्तनीय कणों से हुई है।
- इन कणों को उन्होंने परमाणु नाम दिया उनके मतानुसार चार शाश्वत तत्वों, अर्थात् पृथ्वी, जल, अग्नि और वायु में से प्रत्येक तत्व एक विशेष गुण वाले परमाणुओं से विरचित है, पार्थव परमाणुओं में गन्ध का, जलीय परमाणुओं में स्वाद का, आग्नेय परमाणुओं में रंग का तथा वायव्य परमाणुओं में स्पर्श का अनुभव होता है।
- यह सभी परमाणु सक्रिय तथा गोलीय होते हैं और उनका विस्तार लगभग ज्यामितिय बिन्दु जितना होता है।
- कणाद के अनुसार प्रत्येक प्रकार के परमाणु अन्य प्रकार के परमाणुओं से संयुक्त होकर यौगिकों की उत्पत्ति करते हैं।
- दो परमाणुओं के संयोग से द्वयणुक अथवा द्विअंगी यौगिक की उत्पत्ति होती है तथा तदोपरांत संयोग के फलस्वरूप त्र्यणुक अथवा तृतीयक और चतुष्णुक अथवा चतुष्क यौगिक बनते हैं।
- कणाद के परमाणु सिद्धांत को बौद्ध व जैन दार्शनिकों ने और आगे विकसित एवं परिभाषित किया।
- जैन दर्शन के अनुसार अनेक द्रव्यात्मक पदार्थो के संलीन होने से एक नया पदार्थ उत्पन्न हो सकता है और एक ही पदार्थ विभक्त होकर अनेक नये पदार्थो के रूप में प्रकट हो सकता है।
- द्रव्य जिसे वे पुद्गल कहते थे परमाणुओं से विरचित है।
- प्रत्येक परमाणु एक बिन्दु स्थान घेरता है। अन्तर्निहित पदार्थ की दृष्टि से परमाणु शाश्वत है तथा स्निग्धता एवं कक्षता की मात्रा में भिन्न दो या दो से अधिक परमाणु परस्पर संयुक्त होकर समुच्च बना सकते है जो स्कन्ध कहलाते हैं।

2.2 परमाणु सिद्धान्त की आधुनिक अवधारणा (Modern Concept of Atomic Theory)

(i) परमाणु संरचना का आधुनिक मॉडल तरंग यांत्रिकी पर आधारित है।

(ii) सर्वप्रथम परमाणु के अविभाज्य कण का मॉडल डाल्टन ने दिया किन्तु उसके बाद परमाणु में इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन आदि कणों की उपस्थिति परमाणु में सिद्ध हुई।

(iii) रदरफोर्ड ने परमाणु संरचना का मॉडल प्रस्तुत किया किन्तु परमाणु स्पेक्ट्रमों की व्याख्या उस मॉडल से नहीं की जा सकी।

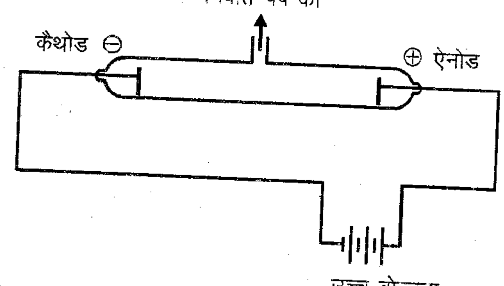
(iv) बोर ने रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल को संशोधित करते हुए विकिरण के क्वाण्टम सिद्धांत पर आधारित परमाणु मॉडल प्रस्तुत किया।

(v) द्रव्य की द्वैत प्रकृति (कण एवं तरंग) तथा अनिश्चितता सिद्धांत तथा इलेक्ट्रॉन के परमाणु कक्षकों में वितरण एवं स्थिति के नियम ज्ञात किये गये।

- परमाणु (atom) ग्रीक शब्द है, जिसका अर्थ है, 'अविभाज्य'। सन् 1808 में जॉन डाल्टन, एक ब्रिटिश स्कूल अध्यापक ने द्रव्य का परमाणु सिद्धांत प्रस्तुत किया तथा इस सिद्धांत से द्रव्यमान के संरक्षण के नियम, स्थिर संघटन के नियम तथा बहुगुणिता अनुपात के नियम की सफलतापूर्वक व्याख्या की जा सकी।
- डाल्टन के सिद्धांत के अनुसार परमाणु प्रत्येक तत्व की मूल इकाई है, किन्तु 19वीं सदी के अंत में यह ज्ञात हुआ कि परमाणु को इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन आदि अवपरमाण्विक कणों में विभाजित किया जा सकता है।
- यह धारणा डाल्टन की धारणा से भिन्न थी।
- इस अध्याय में हम तीन अवपरमाण्विक कण इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन के बारे में पढ़ेंगे।

2.3 इलेक्ट्रॉन की खोज (Discovery of Electron)

- सन् 1830 में माइकेल फैराडे ने दर्शाया कि यदि किसी विलयन में विद्युत् प्रवाहित की जाती है, तो इलेक्ट्रोडों पर रासायनिक अभिक्रियाएँ होती हैं, जिनके परिणामस्वरूप इलेक्ट्रोडों पर पदार्थ का विसर्जन और निक्षेपण (deposition) होता है।
- उसने कुछ नियम बताए, जिनके विषय में आप 12 वीं कक्षा में पढ़ेंगे। इन परिणामों से विद्युत् की कणीय प्रकृति के बारे में पता चलता है।
- गैसों में विद्युत्–विसर्जन आदि प्रयोगों के परिणामों से परमाणु की संरचना के बारे में और जानकारी प्राप्त हुई। इन परिणामों की चर्चा करने से पहले आवेशित कणों के व्यवहार के बारे में हमें यह मूल नियम ध्यान में रखना होगा कि समान आवेश एक–दूसरे को प्रतिकर्षित तथा विपरीत आवेश एक–दूसरे को आकर्षित करते हैं।
- इलेक्ट्रॉन ऋणावेशित कण है, जिसकी खोज वैज्ञानिक **जे. जे. थॉमसन** ने 1897 में की।
- कैथोड किरणों की खोज **विलियम क्रुक्स तथा जे. जे. थॉमसन** ने वर्ष 1880 में विसर्जन नलिका का उपयोग करके की। इसमें अत्यन्त कम दाब (10^{-2} mm Hg से 10^{-3} mm Hg) उच्च विभव (10,000V) पर विद्युत धारा प्रवाह प्रेक्षित की गई।
- कैथोड किरण नलिका काँच की बनी होती है, जिसमें धातु के दो पतले टुकड़े (जिन्हें **इलेक्ट्रोड** कहते हैं) सील किए हुए होते हैं।
- गैसों में विद्युत्–विसर्जन को सिर्फ निम्न दाब एवं उच्च विभव पर प्रेक्षित किया जा सकता है विभिन्न गैसों के दाब को निर्वातन द्वारा नियंत्रित किया गया।
- इस प्रकार जब इलेक्ट्रोडों पर उच्च वोल्टता लागू की गई, तो नलिका में कणों की धारा के द्वारा ऋणात्मक इलेक्ट्रोड (कैथोड) से धनात्मक इलेक्ट्रोड (ऐनोड) की तरफ विद्युत् का प्रवाह आरंभ हो गया। इनको **कैथोड किरणें** अथवा **कैथोड किरण कण** कहते हैं।

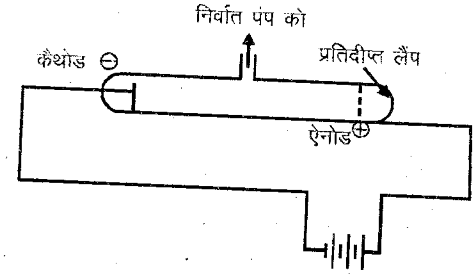


चित्र 2.1 (क) : एक कैथोड किरण विसर्जन नलिका

- कैथोड से ऐनोड तक विद्युत्धारा के प्रवाह की अतिरिक्त जाँच के लिए ऐनोड में छिद्र तथा ऐनोड के पीछे नली पर स्फुरदीप्त पदार्थ (जिंक सल्फाइड) का लेप किया जाता है।
- जब ये किरणें ऐनोड के छिद्र में से गुजरकर जिंक सल्फाइड की परत पर टकराती हैं तथा वहाँ एक चमकिला चिन्ह बन जाता है (TV में भी ऐसा ही होता है), चित्र 2.1 (ख)। इस प्रयोग के परिमाण संक्षेप में निम्नलिखित हैं–

(i) कैथोड किरणें (cathode rays) कैथोड से आरंभ होकर ऐनोड की ओर गमन करती हैं।

(ii) ये किरणें स्वयं दिखाई नहीं देती, परन्तु इनके व्यवहार को गैसों तथा कुछ निश्चित प्रकार के पदार्थों (स्फुरदीप्त तथा प्रतिदीप्त) की उपस्थिति में देखा जा सकता है। ये पदार्थ इनसे टकरा कर चमकते हैं। टेलीविजन चित्र नलिका कैथोड किरण नलिका होती है। टी.वी. पर्दा, जो स्फुरदीप्त एवं प्रतिदीप्त पदार्थों से लेपित होता है, पर चित्र प्रतिदीप्त होते हैं।



चित्र 2.1 (ख) : सछिद्र एनोडयुक्त एक कैथोड-किरण विसर्जन नलिका

(iii) विद्युत् और चुम्बकीय क्षेत्रों की अनुपस्थिति में ये किरणें सीधी दिशा में गमन करती हैं।

(iv) विद्युत् और चुम्बकीय क्षेत्रों की उपस्थिति में कैथोड किरणों का व्यवहार ऋणावेशित कणों के अपेक्षित व्यवहार के समान होता है, जो सिद्ध करता है कि कैथोड में ऋणावेषित कण होते हैं, जिन्हें **इलेक्ट्रॉन** कहते हैं।

(v) कैथोड किरण नलिका के इलेक्ट्रोडों के पदार्थ एवं उपस्थित गैस की प्रकृति पर कैथोड–किरणों (इलेक्ट्रॉन) के लक्षण निर्भर नहीं करते हैं। **उपरोक्त परिणामों से यह निष्कर्ष निकलता है कि इलेक्ट्रॉन सभी परमाणुओं के मूल घटक होते हैं।**

- किसी गति करते हुए इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान आइन्सटीन के सापेक्षिता के सिद्धान्त के अनुसार निम्न समीकरण द्वारा परिकलित किया जा सकता है-

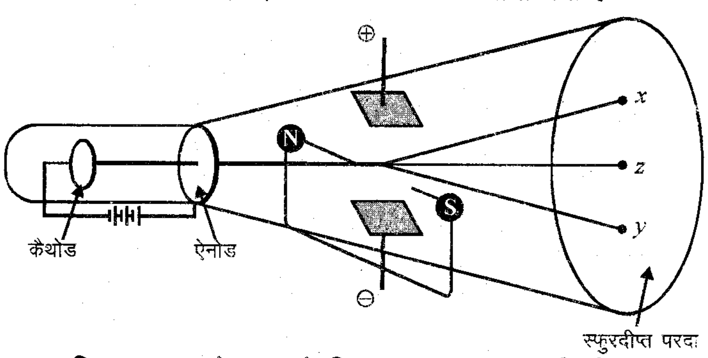
$$m = \frac{(\text{इलेक्ट्रॉन का शेष द्रव्यमान } m^1)}{\sqrt{[1-(u/c)^2]}}$$

यहाँ u = इलेक्ट्रॉन का वेग, c = प्रकाश का वेग

यदि u = c इस स्थिति में इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = ∞

2.3.1. इलेक्ट्रॉन्स के लिए आवेश द्रव्यमान अनुपात (e/m) का निर्धारण (Determination of charge mass ratio (e/m) for electronos)

- वर्ष 1897 ई. में जे.जे. थॉमसन ने पहली बार आवेश/द्रव्यमान अनुपात प्रायोगिक रूप से निर्धारित किया जो इलेक्ट्रॉन्स का e/m अनुपात भी कहलाया।
- इसके लिए उसने विसर्जन नलिका में मुक्त हुए इलेक्ट्रॉन्स का पुञ्ज (कैथोड किरणों) पर विद्युत् तथा चुम्बकीय क्षेत्रों का प्रभाव आरोपित किया ये एक-दूसरे के लम्बवत् एवं इलेक्ट्रॉन द्वारा अनुगमित पथ पर गति कर रहे थे, जैसा कि चित्र में दिखाया गया है-



चित्र 2.2. – इलेक्ट्रॉन के लिए *e/m* अनुपात का निर्धारण

- थॉमसन के अनुसार, आरोपित विद्युत् एवं चुम्बकीय क्षेत्रों के प्रभाव में विचलन की मात्रा निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती है-
  (i) किसी कण पर ऋणावेश का परिमाण जितना अधिक होता है तो आरोपित विद्युत् या चुम्बकीय क्षेत्र के साथ अंतः क्रिया उतनी ही अधिक होगी और इस प्रकार विक्षेपण का परिमाण अधिक होगा।
  (ii) कण का द्रव्यमान जितना कम हो, विक्षेपण का परिमाण उतना ही अधिक होगा।
  (iii) आरोपित विद्युत् या चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता अधिक हो तो कण विक्षेपण अधिक हो जाएगा।

अब अकेले आरोपित विद्युत् क्षेत्र के प्रभाव में इलेक्ट्रॉन अपने पथ से विचलित हो जाते है और प्रतिदीप्त परदे या डिस्क के किसी निश्चित बिन्दु मान लीजिए (x) पर टकराते हैं। इसी प्रकार, मात्र चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित करने पर इलेक्ट्रॉन परदे के किसी बिन्दु मान लीजिए (y) पर टकराते हैं। तब दोनों क्षेत्र इस प्रकार समायोजित किए जाते हैं कि उनके पारस्परिक विक्षेपण निरस्त हो जाएं। इलेक्ट्रॉन पुञ्ज का पथ अविक्षेपित ही रहता है। यह पुञ्ज परदे के किसी बिन्दु मान लीजिए (z) पर टकराता है।

2.3.2 इलेक्ट्रॉन पर आवेश की गणना (Calculation of charge on electron)

इलेक्ट्रॉन पर आवेश का निर्धारण रॉबर्ट ए. मिलीकेन द्वारा 1917 ई. में **मिलीकेन की तेल बिन्दुक विधि** से किया गया। इस विधि में तेल की बूँदों को कुहासे (mist) के रूप में एक सूक्ष्म छिद्र द्वारा कक्ष में प्रवेश कराया गया। एक विद्युत् क्षेत्र आरोपित करके तथा बूँदों के गिरने की दर माप कर मिलीकेन उनके द्रव्यमान ज्ञात करने की स्थिति में था। इसी समय X-किरणों का एक पुञ्ज कक्ष में प्रवाहित किया गया जिसने इसके अन्दर स्थित वायु को आयनित कर दिया, अर्थात् आयन प्राप्त हो गए। तेल की बूँदें इन आयनों से टकराने पर आवेशित हो गईं। उसने बूँदों की गति पर विद्युत् क्षेत्र के प्रभाव का सावधानीपूर्वक निरीक्षण करके इन बूँदों पर विद्युत् आवेश (q) ज्ञात किया। इसके अलावा उसने बताया कि बूँदों पर उपस्थित आवेश 'q' सम्बन्ध $q = ne$ द्वारा दिया जाता है।

यहाँ e = इलेक्ट्रॉन पर आवेश

n = 1, 2, 3, 4,....... आदि (इलेक्ट्रॉन्स की संख्या को प्रदर्शित करता है।)

इलेक्ट्रॉन पर आवेश 1.602×10^{-19} C पाया गया तथा इसका परिमाण ऋणात्मक था।

2.3.3 इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान की गणना (Calculation of mass of the electron)

ऊपर वर्णित प्रयोगों की सहायता से इलेक्ट्रॉन के लिए (e/m) अनुपात तथा आवेश (charge) (e) की गणना सम्भव है। अब इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान (m) की गणना निम्न विधि से की जा सकती है-

$$\text{इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान (m)} = \frac{e}{e/m} = \frac{(1.60\times10^{-19}C)}{(1.76\times10^{8}Cg^{-1})}$$

$$= 9.10 \times 10^{-28} g$$

$$= \mathbf{9.10 \times 10^{-31} kg}$$

यहाँ यह तथ्य ध्यान देने योग्य है कि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान हाइड्रोजन परमाणु के द्रव्यमान का (जो कि ज्ञात तत्वों में सबसे हल्का है।) लगभग $\frac{1}{1837}$ गुना है।

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान इतना कम है कि इसे नगण्य माना जा सकता है। इसी प्रकार, इलेक्ट्रॉन का आवेश भी प्राप्त आवेशों में न्यूनतम है। अतः इसे इकाई ऋणात्मक माना जा सकता है।

इलेक्ट्रॉन को निम्न प्रकार से परिभाषित भी किया जा सकता है-

यह परमाणु में उपस्थित एक मूलभूत कण है जिसमें इकाई ऋण आवेश (1.6×10^{-19}C) होता है तथा जिसका द्रव्यमान नगण्य (9.1×10^{-28} kg) होता है। इसका द्रव्यमान हाइड्रोजन परमाणु के द्रव्यमान का $\frac{1}{1837}$ गुना होता है।

इलेक्ट्रॉन एक सार्वत्रिक कण है (Electron as a universal particle)

इलेक्ट्रॉन्स, कैथोड किरणों के अवयव हैं जो कि विसर्जन नलिका में उत्पन्न होते हैं। इसके अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन्स बहुत से स्त्रोतों से उत्सर्जित होते हैं। उदाहरणार्थ :

(i) धातु के तप्त फिलामेन्ट से।

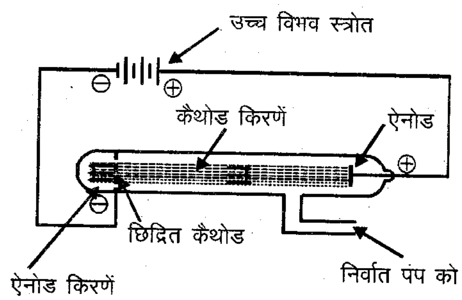
(ii) प्रकाश सुग्राही धातु जैसे-सोडियम और पोटैशियम पर पराबैंगनी तरंगों से।

(iii) β-कणों के रूप में रेडियोधर्मी पदार्थों से।

यहाँ यह तथ्य ध्यान देने योग्य है कि इलेक्ट्रॉन चाहे किसी भी स्त्रोत से उत्सर्जित हो, किन्तु उसके द्रव्यमान, आवेश तथा विशिष्ट आवेश का मान समान ही रहता है। अतः इलेक्ट्रॉन को एक सार्वत्रिक कण माना जाता है।

2.4. प्रोटॉन की खोज (Discovery of Proton)

- हम जानते है कि एक परमाणु विद्युत उदासीन होता है। विसर्जन नलिका में गैसों के परमाणुओं से ऋणावेशित कणों (इलेक्ट्रॉन्स) का उत्सर्जन इस तथ्य को बताता है कि उसमें (परमाणु में) कोई न कोई धनावेशित कण की उपस्थिति होनी चाहिये।
- सन् 1886 में वैज्ञानिक गोल्ड स्टीन ने विसर्जन नलिका को थोड़ा परिवर्तित करके उसमें छिद्रित कैथोड का उपयोग किया।
- जब इस विसर्जन नलिका में प्रयोग किये गये तो दाब कम करने पर एक नई प्रकार की प्रतिदीप्तिशील किरणें प्रेक्षित हुई जो केथोड के छिद्रो से गुजर रही थी तथा इनकी गति कैथोड किरणों के विपरीत दिशा में थी।
- ये किरणें धनावेशित कणों से मिलकर बनी थी और एनोड से आ रही थी इस कारण इन्हें **धन किरणें** या **एनोड किरणें** या **कैनाल किरणें** नाम दिया गया



चित्र : धन किरणों या एनोड किरणों का निर्माण

- एनोड किरणों की उत्पति एनोड से नहीं अपितु एनोड व कैथोड के बीच रिक्त जगह से होती है।

एनोड किरणों के गुणों का अध्ययन कैथोड किरणों की भाँति ही किया गया है। इनके प्रमुख गुण निम्नलिखित हैं :

(i) एनोड किरणें या धन किरणें सीधी रेखा में गति करती हैं।

(ii) एनोड किरणों की कणीय प्रकृति होती है। यदि इनके मार्ग में एक हल्का पंखेनुमा चक्र (Light Paddle wheel) रख दिया जाए तो वह घूमना प्रारम्भ कर देता है।

(iii) एनोड किरणें, विद्युत् एवं चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा विक्षेपित हो जाती हैं, किन्तु यह विक्षेपण कैथोड किरणों के विक्षेपण की विपरीत दिशा में होता है। यह इस तथ्य को प्रदर्शित करता है कि एनोड किरणें धन आवेशित कण हैं।

(iv) एनोड किरणों के अवयवी कणों पर धन आवेश (e) का मान विसर्जन नलिका में भरी गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है। हालाँकि यह पाया गया कि इसका आवेश इलेक्ट्रॉन्स के आवेश का बहु गुणक परन्तु धनात्मक चिन्ह वाला होता है। अतः ऐनोड किरणों के अवयवी कणों में एक, दो, तीन .... इकाई धनावेश हो सकते हैं जो गैसीय परमाणुओं से निष्कासित इलेक्ट्रॉन्स की संख्या पर निर्भर करता है।

(v) e/m का मान नलिका में भरी गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है। जब नलिका में हाइड्रोजन गैस भरी जाती है तो e/m का मान अधिकतम (9.58×10^4 c/g) प्राप्त होता है। यह पूर्वानुमान ही था क्यों कि हाइड्रोजन परमाणु सबसे हल्का है। इस पर धनावेश का परिमाण इलेक्ट्रॉन के आवेश (1.6×10^{-19}C) के बराबर ही है। धनावेशित कण का द्रव्यमान निम्न प्रकार से ज्ञात किया जा सकता है,

$$m = \frac{e}{e/m} = \frac{(1.602 \times 10^{-19} C)}{(9.58 \times 10^4 C/g)} = 1.67 \times 10^{-24} g$$

यह मान हाइड्रोजन परमाणु के द्रव्यमान के तुल्य ही है। अतः हाइड्रोजन परमाणु के धनावेशित कण का आवेश 1.6×10^{-19}C तथा द्रव्यमान 1.67×10^{-24}g (इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान का 1837 गुना) होता है। यह सबसे हल्का कण, **प्रोटॉन** कहलाता है जो हाइड्रोजन परमाणु से एक इलेक्ट्रॉन निष्कासित करने पर बनता है। अतः प्रोटॉन को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जा सकता है–

यह परमाणु का एक मूलभूत कण है जिसमें इकाई धनावेश (1.67×10^{19}C) तथा इकाई द्रव्यमान 1.67×10^{-24}g होता है जो कि हाइड्रोजन परमाणु के द्रव्यमान के बराबर होता है।

यहाँ यह बात ध्यान देने योग्य है कि धनात्मक आवेशित कण का द्रव्यमान 1.67×10^{-24}g या एक मात्रक (one unit) तभी होगा जबकि विसर्जन नलिका में केवल हाइड्रोजन गैस भरी हो। अन्य गैसों के लिए द्रव्यमान इस मान का पूर्ण संख्या गुणज (whole number multiple) पाया गया है कि प्रोटॉन्स सभी परमाणुओं में पाए जाने वाले मूलभूत कण हैं।

- सबसे छोटा ओर हल्का कण धन आयन हाइड्रोजन से प्राप्त हुआ था इसे प्रोटॉन कहते है।

2.5 न्यूट्रोन की खोज (Discovery of Neutron)

- प्रोटॉन की खोज के बाद परमाणु में एक विद्युत उदासीन कण की आवश्यकता महसूस की गई।
- इस कण की खोज सन् 1932 में चैडविक ने Be पर α कणो के प्रहार से की, जब प्रोटॉन से कुछ भार वाले विद्युत उदासीन कण निगर्मित हुए। उन्होंने इन कणों को **न्यूट्रॉन** कहा। इन पर आवेश शून्य तथा द्रव्यमान 1.6749×10^{-27} kg निर्धारित किया गया।

मूल कणों के गुण

सारणी 2.1 मूल कणों के गुण

नाम	चिन्ह	परम आवेश C	सापेक्ष आवेश	द्रव्यमान	द्रव्यमान	लगभग द्रव्यमान /u	विशिष्ठ आवेश C/g
इलेक्ट्रॉन	e	-1.6022×10^{-19}	-1	9.10939×10^{-31}	0.00054	0	-1.76×10^8
प्रोटॉन	p	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1	1.67262×10^{-27}	1.00867	1	9.58×10^4
न्यूट्रॉन	n	0	0	1.67493×10^{-27}	1.00867	1	0

कुछ अन्य परमाण्वीय कण

1. **पोजिट्रॉन**-खोजकर्ता-सी.डी. एन्डरसन् वर्ष 1932 में, इकाई धनावेश तथा द्रव्यमान नगण्य।
2. **मेसॉन**-खोजकर्ता-हाइडेकीयुकावा, कार्लडेविड एन्डरसन, सेसिल पॉवेल। इस पर धन, ऋण अथवा शून्य आवेश हो सकता है तथा द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन से लगभग 200 गुणा होता है।
3. **न्यूट्रिनों**-खोजकर्ता-वॉल्फगैंग पाऊली व फर्मी, सन् 1933 में शून्य आवेश तथा द्रव्यमान अनिश्चित।
4. **एन्टीप्रोटोन**-खोजकर्ता-एमिलियो सैगरे, ऑवेन केम्बरले सन् 1956 में, इकाई ऋणावेश तथा द्रव्यमान प्रोटोन के बराबर।

2.5.1 परमाणु संख्या तथा द्रव्यमान संख्या

- प्रोटॉन पर धनावेश होता है।
- परमाणु की नाभिक में उपस्थित प्रोटॉन की संख्या को **परमाणु संख्या** कहते है।
- परमाणु संख्या को Z से प्रदर्शित करते है।
- परमाणु संख्या (Z) = परमाणु के नाभिक (Nucleus) में प्रोटॉन की संख्या

  = उदासीन परमाणु में इलेक्ट्रॉन की संख्या

क्रं. सं.	तत्व	प्रोटॉन की संख्या	इलेक्ट्रॉन की संख्या	परमाणु संख्या
1.	H	1	1	1
2.	Li	3	3	3
3.	B	5	5	5
4.	N	7	7	7
5.	O	8	8	8
6.	F	9	9	9
7.	Na	11	11	11
8.	K	19	19	19
9.	Cl	35	35	35
10.	Br	80	80	80

- परमाणु भार, परमाणु में स्थित नाभिक के भार के तुल्य होता है।
- नाभिक का भार, नाभिक में उपस्थित प्रोटॉन व न्यूट्रॉन के द्रव्यमान के योग के बराबर होता है।
- नाभिक में उपस्थित प्रोटॉन व न्यूट्रॉनों को सम्मलित रूप से **न्यूक्लिऑनस** (Nucleons) कहते है।
- न्यक्लिऑनस की कुल संख्या को परमाणु की **द्रव्यमान संख्या** कहते है।
- द्रव्यमान संख्या को (A) से प्रदर्शित करते है।
- द्रव्यमान संख्या (A) = प्रोटॉन की संख्या (Z) + न्यूट्रॉन की संख्या (n)

नोट: ***किसी तत्व की द्रव्यमान संख्या उसके परमाणु भार के बराबर होती है। द्रव्यमान संख्या सदैव एक पूर्णाक होता है किन्तु किसी तत्व का परमाणु भार सदैव पूर्णाक होना आवश्यक नहीं।***

- द्रव्यमान संख्या (A) व परमाणु संख्या (Z) के आधार पर हम परमाणु का संगठन ज्ञात कर सकते है।

$$A = Z + n$$
$$P = A - n$$
$$n = A - Z$$

उदा. Al परमाणु की द्रव्यमान संख्या 27 व परमाणु क्रमांक (परमाणु संख्या) 13 है, प्रोटॉन व न्यूटॉनस की संख्या ज्ञात कीजिये।

हल: प्रोटॉन की कुल संख्या = परमाणु क्रमाक = **13** **उत्तर**

न्यूटॉन की कुल संख्या = द्रव्यमान संख्या (A)– परमाणु क्रमांक(Z)

= 27 – 13 = **14** **उत्तर**

- कुछ तत्वों की द्रव्यमान एवं परमाणु संख्या को निम्न प्रकार से व्यक्त करते है।

	$^{14}_{7}N$	$^{24}_{12}Mg$	$^{2}_{1}H$	$^{16}_{8}O$	$^{23}_{11}Na$	$^{12}_{6}C$
p =	7	12	1	8	11	6
e =	7	12	1	8	11	6
n =	7	12	1	8	12	6

नोट: *तत्वों को उनके परमाणु क्रमाकों की सहायता से पहचाना जा सकता है लेकिन द्रव्यमान संख्या से नहीं।*

- कभी भी दो तत्वों की परमाणु संख्या समान नहीं होती।

किसी धनायन पर उपस्थिति आवेश यह प्रदर्शित करता है कि उसमें उपस्थिति इलेक्ट्रॉन की संख्या, प्रोटॉन से उतने ही कम है जितना की धनायन पर आवेश।

Fe^{3+} धनायन में – परमाणु संख्या = प्रोटॉन की संख्या = 26

इलेक्ट्रॉन की संख्या = प्रोटॉन की संख्या – धन आवेश की संख्या = 26 – 3 = 23

- **इसी प्रकार किसी ऋणायन पर उपस्थित आवेश यह प्रदर्शित करता है कि उसमें उपस्थित इलेक्ट्रोन की संख्या, प्रोटॉन से उतने ही अधिक है जितना की आयन पर आवेश**

P^{3-} आयन में – प्रोटॉन की संख्या = परमाणु क्रमाक = 15

इलेक्ट्रॉन की संख्या = परमाणु क्रमांक + ऋण आवेश की संख्या = 15 + 3 = 18

प्र.1. एक परमाणु की नाभिक में 14 प्रोटॉन्स, 13 न्यूट्रांन उपस्थित है। इसकी द्रव्यमान संख्या ज्ञात कीजियें

(उत्तर 14 + 13 = 27)

प्र.2. तत्व $^{40}_{20}Ca$ में इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन व न्यूटॉन की संख्या ज्ञात कीजिये। (20, 20, 20 उत्तर)

प्र.3. एक परमाणु के द्रव्यमान का निर्धारण कोन से कण करते है। (प्रोटॉन व न्यूट्रॉन)

प्र.4. किसी तत्व का परमाणु क्रमाक 32 व द्रव्यमान संख्या 66 है इसके परमाणु मे उपस्थित इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन व न्यूट्रॉन की संख्या ज्ञात कीजिये इस तत्व को कैसे प्रदर्शित करते है।

(उत्तर e = 32, p = 32, n = 34, $^{66}_{32}M$ or $^{66}_{32}Ge$)

प्र.5. M^{7+} धनात्मक का परमाणु क्रमाक 27 है तो बताइयें इस आयन में इलेक्ट्रान व प्रोटॉन की संख्या बताइये।

(उत्तर e = 20, p = 27)

प्र.6. M^{3-} ऋणायन का परमाणु क्रमाक 35 है तो बताइयें इस आयन में इलेक्ट्रॉन व प्रोटॉन की संख्या बताइये।

(उत्तर e = 38, p = 35)

प्र.7. निम्नलिखित सारणी को पूर्ण कीजिये–

क्र. सं.	स्पीशीज	परमाणु क्रमांक (Z)	द्रव्यमान संख्या (A)	इलेक्ट्रोन की संख्या e	प्रोटॉन की संख्या p	न्यूट्रॉन की संख्या n
1.	P^{3-}	...	...	18	...	16
2.	S^{2-}	...	32	...	16	...
3.	Mg^{2+}	...	24	...	12	...
4.	F^{-}	9	...	...	...	10
5.	Na^{+}	...	...	10	...	12

उत्तर: (1) 15, 31, 15 (2) 16, 18, 16
(3) 12, 10, 12 (4) 19, 10, 9
(5) 11, 23, 11

प्र.8. $^{80}_{35}Br$ में प्रोटॉन, न्यूटॉनो व इलेक्ट्रानों की संख्या परिकलन कीजिये।

हल: परमाणु क्रमाक Z = प्रोटॉन की संख्या
= इलेक्ट्रॉनों की संख्या = 35

न्यूट्रॉनों की संख्या (n) = A - Z
= 80 - 35 = 45

प्र.9. किसी स्पीशीज में इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉनो की संख्या क्रमशः 18, 16, तथा 16 है इसका प्रयुक्त प्रतीक लिखिये।

हल: A = Z + n = 16 + 16 = 32

तत्व का परमाणु क्रमाक (Z) = 16 अतः तत्व S है। प्रयुक्त प्रतिक $^{32}_{16}S^{2-}$ है।

प्र.10. निम्नलिखित नाभिको में उपस्थित न्यूट्रॉनों ओर प्रोटॉनों की संख्या बताइये।

$^{13}_{6}C$; $^{16}_{8}O$; $^{24}_{12}Mg$; $^{56}_{26}Fe$; $^{88}_{38}Sr$

हल: (i) $^{13}_{6}C$ - A = 13, Z = 6 अतः प्रोटॉन की संख्या = 6; न्यूटॉनों की संख्या = 13 - 6 = 7

(ii) $^{16}_{8}O$ - A = 16, Z = 8 अतः प्रोटॉन की संख्या = 8; न्यूटॉनों की संख्या = 16 - 8 = 8

(iii) $^{24}_{12}Mg$ - A = 24, Z = 12 अतः प्रोटॉन की संख्या = 12; न्यूटॉनों की संख्या = 24 - 12 = 12

(iv) $^{56}_{26}Fe$ - A = 56, Z = 26 अतः प्रोटॉन की संख्या = 26; न्यूटॉनों की संख्या = 56 - 26 = 30

(v) $^{88}_{38}Fr$ - A = 88, Z = 38 अतः प्रोटॉन की संख्या = 38; न्यूटॉनों की संख्या = 88 - 38 = 50

प्र.11. नीचे दिये गये परमाणु द्रव्यमान (A) ओर परमाणु क्रमाक (Z) वाले परमाणुओं का पूर्ण प्रतीक लिखिये।

(i) Z = 17. A = 35
(ii) Z = 92. A = 233
(iii) Z = 4, A = 9.

हल: (i) Z = 17 पर Cl अतः $^{35}_{17}Cl$

(ii) Z = 92 पर U अतः $^{233}_{92}U$

(iii) Z = 4 पर Be अतः $^{9}_{4}Be$

प्र.12. किसी तत्व के परमाणु में 29 इलेक्ट्रान ओर 35 न्यूट्रॉन है, इसमें (i) प्रोटॉन की संख्या बताइयें (ii) तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास दीजिये।

हल– (i) Z = 29. n = 35

प्रोटॉन की संख्या = इलेक्ट्रॉन की संख्या = 29

(ii) इलेक्ट्रॉनिक विन्यास

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$

प्र.13. H_2^+, H_2 ओर O_2^+ स्पीशीज में उपस्थित इलेक्ट्रोन की संख्या ज्ञात करे

हल– $H_2^+ = H + H^+ = 1 + 0 = 1$ इलेक्ट्रोन

$H_2 = H + H = 1 + 1 = 2$ इलेक्ट्रोन

$O_2^+ = O + O^+ = 8 + 7 = 15$ इलेक्ट्रोन

प्र.14. एक 81 द्रव्यमान संख्या वाले तत्व में प्रोटॉनों की तुलना में 31.7% न्यूट्रॉन अधिक है। इसका परमाणु प्रतीक लिखिये

हल– परमाणु का द्रव्यमान संख्या (A) = प्रोटॉन की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या

- माना परमाणु में प्रोटॉन की संख्या x है
- अतः परमाणु में न्यूटॉन की संख्या $= x + \frac{x \times 31.7}{100}$
- $A = x + x + x \times .317$
- $81 = 2x + .317x = 2.317x$

$x = \frac{81}{2.317} = 35$ प्रोटॉन की संख्या

परमाणु क्रमाक = 35 अतः तत्व Br है।

तत्व का प्रतीक होगा $^{81}_{35}Br$ उत्तर

प्र.15. 37 द्रव्यमान संख्या वाले एक आयन पर ऋणावेश की एक इकाई है। यदि आयन में इलेक्ट्रॉन की तुलना में न्यूट्रॉनों 11.1% अधिक हो तो आयन का प्रतीक लिखिये।

हल– द्रव्यमान संख्या A = 37 = प्रोट्रॉन की संख्या + न्यूट्रॉनों की संख्या

- माना इलेक्ट्रॉन की संख्या x है।

न्यूट्रॉनो की संख्या $= x + x \times \frac{11.1}{100} = x + .111x = 1.111x$

ऋणावेश होने के कारण परमाणु में एक e अधिक है।

प्रोटॉन की संख्या = x - 1

द्रव्यमान संख्या 37 = x -1 + 1.111x

$x = \frac{38}{2.111} = 18$

इलेक्ट्रॉन की संख्या = 18

प्रोटॉन की संख्या = 18 - 1 = 17

परमाणु क्रमाक = 17

तत्व = Cl.

आयन का प्रतीक $^{37}_{17}Cl$ उत्तर

प्र.16. 56 द्रव्यमान संख्या वाले एक आयन पर धनआवेश की 3 इकाई है और इसके इलेक्ट्रॉन की तुलना में 30.4% न्यूट्रान अधिक है। इस आयन का प्रतीक लिखिये।

हल– धनायन का द्रव्यमान संख्या A = 56

A = प्रोटॉन की संख्या + न्यूट्रान की संख्या

माना धनायन में इलेक्ट्रॉन की संख्या x है।

माना धनायन मे न्यूट्रॉनो की संख्या $= x + x \times \frac{30.4}{100}$

$= 1.304x$

प्रोटॉन की संख्या = इलेक्ट्रॉन की संख्या + 3

$= x + 3$

$A = 56 = x + 3 + 1.304x$

$x = \frac{56-3}{2.304} = \frac{53}{2.304} = 23$

अतः परमाणु क्रमाक = x + 3 = 23 + 3 = **26**

अतः तत्व Fe होगा

प्रोटॉन की संख्या = 26

इलेक्ट्रॉन की संख्या = 23

द्रव्यमान की संख्या = 56

धनायन की प्रतीक $^{56}_{26}Fe^{3+}$

2.5.2 समस्थानिक, समभारिक, आइसोटोन (Isotopes, Isobars, Isotones)

(i) समस्थानिक Isotopes-

- एक ही तत्व के वे परमाणु जिनमें परमाणु क्रमाक या इलेक्ट्रान की संख्या, या प्रोटॉन की संख्या समान हो लेकिन द्रव्यमान संख्या भिन्न/या न्यूट्रॉनो की संख्या भिन्न हो, **आइसोटोपस** कहते है।
- es = es, p = p, n ≠ n, A ≠ A [समस्थानिक]
- हाइड्रोजन तत्व के तीन समस्थानिक होते है जिन्हें प्रोटियम ^1_1H, ड्यूटीरियम ^2_1D या ^2_1H, व ट्राइटियम ^3_1T व ^3_1H कहते है;

	^1_1H	^2_1H	^3_1H
e	1	1	1
p	1	1	1
n	0	1	2
A	1	2	3

- Cl तत्व के दो समस्थनिक होते Cl - 35 व Cl - 37

$^{35}_{17}Cl$; $^{37}_{17}Cl$

- C तत्व के तीन समस्थानिक होते है। C -6, C - 7, C - 8 है।

$^{12}_6C$: $^{13}_6C$: $^{14}_6C$

नोटः एक तत्व के सभी समस्थानिक रासायनिक गुणों में समानता प्रदर्शित करते है। क्योंकि सभी समस्थानिकों में परमाणु क्रमाक समान होते हैं।

(ii) समभारिक (Isobars)

- **विभिन्न तत्वों के वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमाक भिन्न हो** लेकिन द्रव्यमान संख्या समान हो, **समभारिक** कहते है।

$A = A$

$Z \neq Z$

- इनमें परमाणु क्रमाक भिन्न होने के कारण इनके रासायनिक गुण भी भिन्न होते है।

• उदाहरण- 1 $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{19}K$, $^{40}_{20}Ca$

उदाहरण-2 $^{14}_6C$, $^{14}_7N$

उदाहरण-3 $^{210}_{82}Pb$ $^{210}_{83}Bi$

समभारिकों के गुण

- समभारिकों में प्रोटॉन की संख्या असमान होने के कारण , इनके परमाणु क्रमांक भी भिन्न होते हैं।
- समभारिकों के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास भिन्न–भिन्न होने के कारण इनके रासायनिक गुण भिन्न–भिन्न होते हैं।
- समभारिकों के द्रव्यमान संख्यायें समान होने के कारण इनके भौतिक गुणों में समानता पाई जाती है।
- आवर्त सारणी में समभारिकों का स्थान भिन्न–भिन्न होता है।
- इनके *p* व *n* की संख्या का योग समान होता है।

(iii) आइसोटोन (Isotones) या समन्यूट्रॉनिक

- विभिन्न तत्वों के वे परमाणु जिनमें न्यूट्रॉनस की संख्या समान हो लेकिन परमाणु संख्या (Z) व द्रव्यमान संख्या भिन्न हो, **समन्यूट्रॉनिक** कहलाते हैं।

$n = n$

$A \neq A$

$Z \neq Z$

- इनमें परमाणु क्रमाक भिन्न होने के कारण, इनके रासायनिक गुण भिन्न होते है।

उदा.1 $^{14}_6C$ $^{15}_7N$ $^{16}_8O$

	$^{14}_6C$	$^{15}_7N$	$^{16}_8O$
p =	6	7	8
es =	6	7	8
n =	8	8	8
A =	14	15	16

उदा.2

	$^{30}_{14}Si$	$^{31}_{15}P$	$^{32}_{16}S$
p =	14	15	16
es =	14	15	16
n =	16	16	16
A =	30	31	32

उदा.3

	$^{37}_{17}Cl$	$^{38}_{18}Ar$	$^{40}_{20}Ca$
P =	17	18	20
es =	17	18	20
n =	20	20	20
A =	37	38	40

(iv) समइलेक्ट्रॉनिक श्रेणी

- परमाणु, धनायन व ऋणायन का वह समूह जिनमें इलेक्ट्रॉन की संख्या समान हो उन्हे **समइलेक्ट्रॉनिक श्रेणी** कहते है।

es = es

$p \neq p$

उदा.1

	H^-	He	Li^+	Be^{2+}
p =	1	2	3	4
es =	2	2	2	2

उदा.2

	N^{3-}	O^{2-}	F^-	Ne	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Si^{4+}
p =	7	8	9	10	11	12	13	14
e =	10	10	10	10	10	10	10	10

उदा.3

	P^{3-}	S^{2-}	Cl^-	Ar	K^+	Ca^{2+}	Sc^{3+}	Ti^{4+}	V^{5+}	Cr^{6+}	Mn^{7+}
p =	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
es =	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

(v) समप्रोट्रॉनिक श्रेणी (Isoprotonic Series)

- एक ही तत्व के परमाणु व धनायन, ऋणायन का वह समूह जिनमें प्रोटॉन की संख्या समान हो उन्हें **समप्रोट्रॉनिक श्रेणी** कहते है।

p = p

es ≠ es

उदा. Mg Mg^{2+}

p = 12 12

e = 12 10

उदा.

	Fe	Fe^{2+}	Fe^{3+}
p =	26	26	26
es=	26	24	23

उदा.

	Cl	Cl^-
p =	17	17
es =	17	18

(vi) आइसोडायफियरस

- स्पीशीज जिनमें न्यूट्रॉन व प्रोटॉन की संख्या में अन्तर समतुल्य हो उन्हे **आइसोडायफियरस** कहते है। ये α कण उत्सर्जन से बनते हैं।

$^{235}_{92}U \rightarrow \alpha + ^{231}_{90}Th$

$^{235}_{92}U$ में न्यूट्रॉन 235 - 92 = 143.

n - Z = 143 - 92 = 51

$^{231}_{90}Th$ में न्यूट्रॉन 231 - 90 = 141

n - Z = 141 - 90 = 51

- अतः $^{235}_{92}U$ एव $^{231}_{90}Th$ **आइसोडायफियरस** कहलाते है। क्योंकि इनमें (n - p) का मान 51 समान है।

(viii) आइसोस्टर

- स्पीशीज जिनमें परमाणुओं की संख्या तथा इलेक्ट्रॉन की संख्या समान हो **आइसोस्टर** कहलाते हैं।

उदाहरण	N_2 एवं	CO	CO_2 एव	N_2O
परमाणु	2	2	3	3
इलेक्ट्रॉन	14	14	22	22

- इसी प्रकार CaO तथा MgS, C_6H_6 तथा $B_3N_3H_6$ परस्पर **आइसोस्टर** है।
- इनके भौतिक एवं रासायनिक गुण असमान होते हैं।

प्र.17. निम्नलिखित नाभिकों में से समस्थानिकों एवं समभारिकों को चुनिये

(a) 9p + 9n

(b) 9p + 10n

(c) 18p + 22n

(d) 20p + 20n

(उत्तर a एवं b समस्थानिक: c व d समभारिक है)

प्र.18. निम्नलिखित स्पीशीज क्या कहलायेगी?

$^{14}_{6}C$ $^{15}_{7}N$ $^{16}_{8}O$

उत्तर– आइसोटोन

प्र.19. निम्नलिखित स्पीशीज को क्या कहेंगे।

$^{40}_{18}Ar$ $^{40}_{19}K$ $^{40}_{20}CU$

उत्तर– समभारिक

प्र.20. निम्न में प्रत्येक के उदाहरण दीजिये

(i) समस्थानिकों के

(ii) समभारिक के

(iii) आइसोटोन के

(iv) समइलेट्रॉनिक श्रेणी के

(v) सम प्रोटॉनिक

हल: स्वयं दीजिये

प्र.21. निम्नलिखित में प्रत्येक के उदाहरण दीजिये

(i) $^{35}_{17}Cl$ के समस्थानिक

(ii) $^{40}_{18}Ar$ के समभारिक

(iii) $^{15}_{7}N$ के आइसोटोन

उत्तर– (i) $^{37}_{17}Cl$

(ii) $^{40}_{18}Ar$ $^{40}_{20}Ca$

(iii) $^{16}_{8}O$

प्र.22. Cl^-, S^{2-} Ar K^+Ca^{2+} किस प्रकार की श्रेणी है।

उत्तर– समइलेक्ट्रॉनिक श्रेणी

प्र.23. हाइड्रोजन के किस समस्थानिक में दो न्यूट्रॉन उपस्थिति है।

उत्तर– टाइट्रियम में $^{3}_{1}H$ व $^{3}_{1}T$

प्र.24. हाइड्रोजन के किस समस्थानिक को प्रोटियम कहते है।

(उत्तर– $^{1}_{1}H$)

2.6 परमाणु मॉडल (Atomic Model)

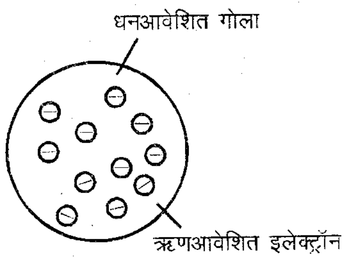
- परमाणु मॉडल के अन्तर्गत डाल्टन के अविभाज्य परमाणु में धनात्मक तथा ऋणात्मक आवेशों वाले अवयवी परमाणु कण [Sub atomic particle] होते हैं।
- इन आवेशित अवयवी परमाणु कणों के वितरण की व्याख्या करने के लिये विभिन्न परमाणु मॉडल प्रदर्शित किये गये लेकिन कोई भी मॉडल इन कणों के स्थायित्व की व्याख्या नहीं कर सका।
- प्रस्तावित मॉडलों में से दो मॉडल जे.जे थामसन ओर अर्नेस्ट रंदरफोर्ड ही इनकी व्याख्या कर पाये।

2.6.1 (a) परमाणु का थॉमसन मॉडल (Thomson's atomic model)

- प्रोटॉन व इलेक्ट्रॉन की खोज के तुरन्त बाद, सर्वप्रथम परमाणु

में उनके स्थान निर्धारित करने की समस्या सामने आयी।

- सन् 1898 ई. में जे. जे. थामसन ने परमाणु को 10^{-8} cm त्रिज्या का एक ठोस गोला माना जिसमें धनावेश (प्रोटॉनस) स्थित है।
- इस धनावेशित ठोस गोले में ऋण आवेशित इलेक्ट्रॉनस धंसे होते है। ये ऋण आवेशित इलेक्ट्रान्स परमाणु के धनावेश को सन्तुलित करते है।
- थामसन के इस मॉडल को **थामसन का प्लमपुडिग मॉडल** भी कहाँ जाता था क्योंकि इसका रूप बूंदी के एक लड्डू से समझा जा सकता हैं जिसमें इलायची के दाने इलेक्ट्रान्स की भांति चारो ओर धंसे रहते है व बूंदी के दाने धनावेशित प्रोटॉनस है।



- इस मॉडल की किसी प्रयोग द्वारा पुष्टि नही हो सकती अतः थामसन मॉडल को अस्वीकार कर दिया गया।

2.6.2. रदरफोर्ड का नाभिकीय परमाणु मॉडल (Rutherford's Scattering Experiment)

- रदरफोर्ड और उसके अपने विद्यार्थियों [हैंसे गीगर व अर्नेस्ट मार्सडेन] ने सोने की बहुत पतली पन्नी पर α-कणों की बोछार की।
- अपने इस प्रयोग में α- कणों को लैड के बाक्स में रखे पदार्थ रेडियम से प्राप्त किया, और इन कणों को सोने की बहुत ही पतली पन्नी पर बौछार की गई।
- α- कणों के टकराने से ये कण प्रकीर्णित हों गयें जिन्हें ZnS से लेपित वर्ताकार स्क्रीन पर आयनित कराया गया।
- स्क्रीन पर टकराने से प्रतिदीप्ति उत्पन्न हुई जो इन कणों को पहचानने में सहायक होती थी।
- रदरफोर्ड ने इस प्रमाण से निम्न निष्कर्ष प्राप्त किये।

(i) अधिकांश α- कण सोने की पत्ती से विक्षेपित हुये बिना निकल गये।

(ii) α- कणों का कम अंश बहुत कम कोण से विक्षेपित हुआ।

(iii) बहुत ही थोडे कण [लगभग 20,000 में से 1] पीछे की ओर लोट गये अर्थात 180° के कोण से उनका विक्षेपण हुआ। उपर्युक्त प्रेक्षणों के आधार पर रदरफोर्ड ने परमाणु की संरचना के बारे में निम्नलिखित निष्कर्ष निकालें।

(i) परमाणु के अन्दर अधिकांश भाग रिक्त है। क्योकि अधिकांश α-कण सोने की पन्नी को पार कर जाते है।

(ii) कुछ α- कण (धनावेशित कण) विक्षेपित होते है। यह विक्षेपण अवश्य ही अत्यधिक प्रतिकर्षण बल के कारण होता होगा। इससे यह पता चलता है कि थार्मसन के विचार के विपरीत परमाणु के अन्दर धनावेश समान रूप से बंटा हुआ नहीं है। धनावेश बहुत कम आयतन के अन्दर संकेन्द्रित होना चाहिये, जिसमें धनावेशित α- कणों का प्रतिकर्षण व विक्षेपण हुआ है।

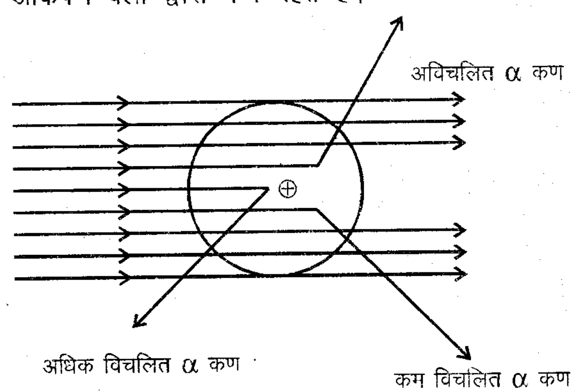
(iii) रदर फोर्ड ने बताया कि नाभिक का आयतन, परमाणु के कुल आयतन की तुलना में अत्यन्त कम होता है। परमाणु की त्रिज्या लगभग 10^{-10} m है। जबकि नाभिक की त्रिज्या लगभग 10^{-15} m है। यदि नाभिक को गेंद माना जाय तो परमाणु की त्रिज्या लगभग 5 km होगी।

उपर्युक्त दिये गये प्रेक्षणों और परिणामों के आधार पर रदरफोर्ड ने परमाणु का नाभिकीय मॉडल प्रस्तुत किया। इस मॉडल के अनुसार–

(i) परमाणु का धनावेश तथा अधिकांश द्रव्यमान एक अति अल्प क्षेत्र में केन्द्रित या परमाणु के इस अति अल्प भाग को इन्होंने **नाभिक** (Nucleus) कहा।

(ii) नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार पथों में चक्कर लगाते है। जिन्हें कक्ष/कक्षा कहा जाता है। अतः इनका परमाणु मॉडल सोरमण्डल से मिलता है।

(iii) इलेक्ट्रान और नाभिक आपस में आकर्षण के स्थिर वैद्युत आकर्षण बलों द्वारा बन्धे रहते है।



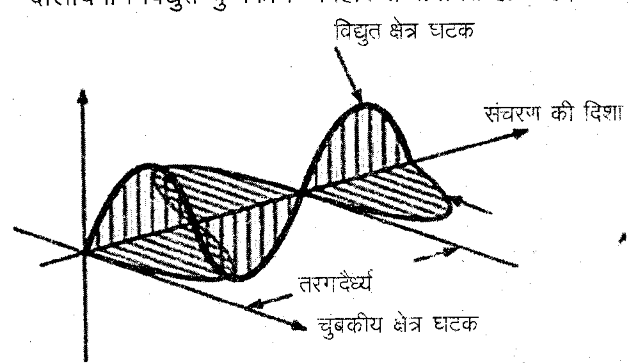
चित्र : रदरफोर्ड का α- कण प्रकीर्णन

2.7 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की प्रकृति (Nature of Electro Magnetic Radiations)

- बोर के परमाणु मॉडल के विकास की महत्त्वपूर्ण पृष्ठभूमि रही–विद्युत चुम्बकीय विकिरण की तरंग एवं कण दोनों प्रकृति का गुण प्रदर्शित करना तथा परमाणु स्पेक्ट्रम की व्याख्या।

2.7.1 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की तरंग प्रकृति

- मैक्सवेल ने सन् 1870 में यह संकल्पना रखी कि विद्युत आवेशित कणों को जब त्वरित किया जाता है, तो एकांतर विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होते हैं, जो तरंगों के रूप में संचरित होते हैं, इन्हें **विद्युत चुम्बकीय तरंग** अथवा **विकिरण** कहते हैं।
- प्रकाश भी विकिरण का ही एक रूप है, पहले (न्यूटन) इसे कणिकाओं का बना माना जाता था। मैक्सवेल ने बताया कि प्रकाश तरंगें दोलायमान विद्युत चुम्बकीय व्यवहार से संबंधित होती है।



चित्र-विद्युत चुम्बकीय तरंग के विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र घटक।

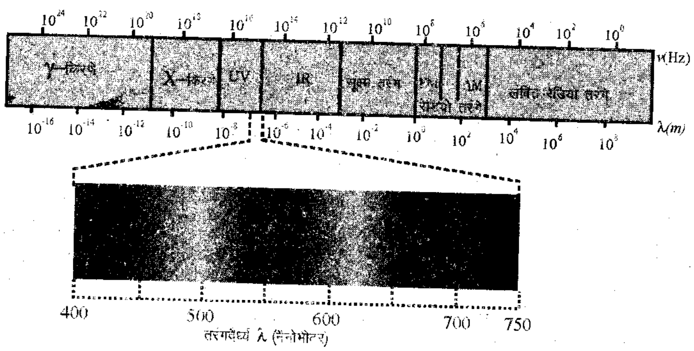
- दोलायमान आवेशित कणों द्वारा उत्पन्न विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र एक दूसरे से लम्बवत् होते हैं। ये दोनों तरंग के संचरण की दिशा के भी लम्बवत् होते हैं।
- ये बिना किसी माध्यम के निर्वात में भी गति कर सकती है। निर्वात् में सभी प्रकार की विद्युत चुम्बकीय विकिरण समान गति अर्थात् $3 \times 10^8\ ms^{-1}$ से चलती है। यह गति **प्रकाश की गति** कहलाती है। इसे निम्न प्रकार व्यक्त करते हैं–

$$C = \nu\lambda$$

यहाँ ν = प्रकाश की आवृत्ति, λ = तरंगदैर्ध्य

तरंगों को व्यक्त करने के लिए,

- तरंग संख्या ($\bar{\nu}$) का भी प्रयोग किया जाता है। प्रति इकाई लम्बाई में, तरंगदैर्ध्य की संख्या को तरंग संख्या (wave number) कहते हैं।
- इसका मात्रक तरंग दैर्ध्य का व्युत्क्रम m^{-1} होता है।



चित्र विद्युत-चुम्बकीय विकिरण का स्पेक्ट्रम (ख) दृश्य स्पेक्ट्रम। पूरे स्पेक्ट्रम का एक छोटा सा भाग दृश्यक्षेत्र होता है।

- भिन्न–भिन्न आवृत्ति व तरंगदैर्ध्य की विद्युत चुम्बकीय विकिरण मिलकर **विद्युत चुम्बकीय स्पैक्ट्रम** बनाती है।
- स्पेक्ट्रम में भिन्न क्षेत्र होते हैं। रेडियो आवृत्ति (10^6 Hz के लगभग), सूक्ष्म तरंग (10^2 Hz के लगभग), अवरक्त (Infrared) (10^3 Hz के लगभग) पराबैंगनी (Ultra violet 10^{16} Hz के लगभग) तथा दृश्य क्षेत्र (Visible 10^{15} Hz पर) प्राप्त होते हैं।

उदाहरण 2.1 : ऑल इण्डिया रेडियो (दिल्ली) का विविध भारती स्टेशन 1368 KHz (किलो हर्ट्ज) की आवृत्ति पर प्रसार करता है। संचारक (transmitter) द्वारा उत्सर्जित विद्युत-चुम्बकीय विकिरण की तरंग-दैर्ध्य ज्ञात कीजिए। यहाँ विद्युत-चुम्बकीय विकिरण स्पेक्ट्रम के किस क्षेत्र से संबंधित है?

[Text Book Example]

हल : $$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

तरंगदैर्ध्य,

जहाँ c निर्वात् में विद्युत चुम्बकीय विकिरण का वेग और ν आवृत्ति है। दिए गए मानों को प्रतिस्थापित करने पर

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

$$= \frac{3.00 \times 10^8 ms^{-1}}{1368 kHz}$$

$$= \frac{3.00 \times 10^8 ms^{-1}}{1368 \times 10^3 s^{-1}}$$

$$= 219.3\ m$$

यह रेडियो तरंग की अभिलाक्षणिक तरंग–दैर्ध्य है।

उदाहरण 2.2 : दृश्य स्पेक्ट्रम के तरंग-दैर्ध्य का परास बैंगनी (400 nm) से लाल (750 nm) तक है। इन तरंगदैर्ध्यो को आवृत्तियों (Hz) में प्रकट कीजिए। (1 nm = 10^{-9} m) **[Text Book Example]**

हल : बैंगनी प्रकाश की आवृत्ति

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 ms^{-1}}{400 \times 10^{-9} m}$$

$$= 7.50 \times 10^{14} Hz$$

लाल प्रकाश की आवृत्ति

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 ms^{-1}}{750 \times 10^{-9} m}$$

$$= 4.00 \times 10^{14} Hz$$

दृश्य स्पेक्ट्रम का परास आवृत्ति के रूप में 4.0×10^{14} से 7.0×10^{14} Hz तक है।

उदाहरण 2.3 : 5800 Å तरंग-दैर्ध्य वाले पीले विकिरण की (क) तरंग-संख्या और (ख) आवृत्ति की गणना कीजिए।

[Text Book Example]

हल : (क) तरंग–संख्या ($\bar{\nu}$) की गणना

$$\lambda = 5800 Å = 5800 \times 10^{-8} cm$$

$$= 5800 \times 10^{-10} m$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5800 \times 10^{-10} m}$$

$$= 1.724 \times 10^6 m^{-1}$$

$$= 1.724 \times 10^4 cm^{-1}$$

(ख) आवृत्ति की गणना कीजिए–

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 ms^{-1}}{5800 \times 10^{-10} m}$$

$$= 5.172 \times 10^{14} s^{-1}$$

2.7.2 विद्युत चुम्बकीय विकिरण की कणीय प्रकृति-प्लांक का क्वाण्टम सिद्धांत

कुछ प्रयोगों जैसे गरम पिण्ड से विकिरण का उत्सर्जन, धातु की सतह से फोटोन द्वारा इलेक्ट्रॉन का निष्कासन, ठोसों में ऊष्माधारिता का परिवर्तन, विशेष कर परमाणुओं के रेखीय स्पेक्ट्रम, इन को विद्युत चुम्बकीय तरंग प्रकृति के आधार पर नहीं समझाया जा सकता।

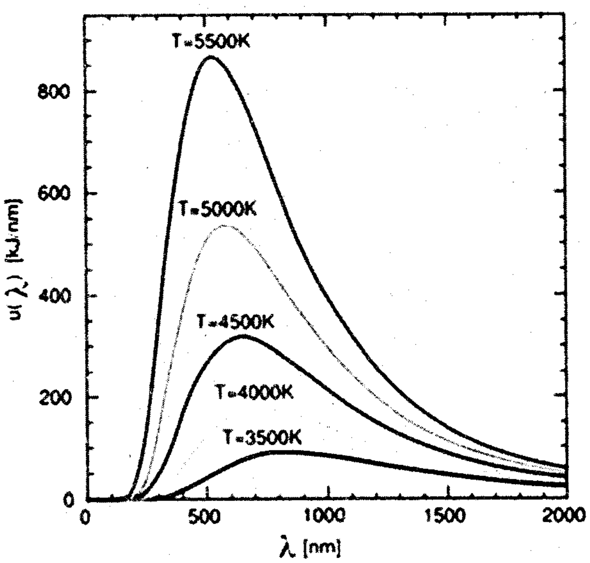
- इन प्रयोगों में से 'कृष्णिका विकिरण' (Black body radiation) की मैक्स प्लांक द्वारा सन् 1900 में व्याख्या की गई।
- किसी ठोस पदार्थ को जब गरम किया जाता है, तब विस्तृत परास वाले तरंगदैर्ध्य के विकिरण उत्सर्जित होते हैं।
- एक ऐसा आदर्श पिण्ड जो हर प्रकार की आवृत्ति के विकिरणों को उत्सर्जित तथा अवशोषित करता है। कृष्णिका (Black body) तथा इस पिण्ड से उत्सर्जित विकिरण को कृष्णिका विकिरण कहते हैं।
- दिए गए तापमान पर उत्सर्जित विकिरण की तीव्रता तरंगदैर्ध्य के

कम होने के साथ बढ़ती है, एक तरंगदैर्ध्य पर अधिकतम होती है, उसके बाद तरंगदैर्ध्य के और कम होने पर कम होना शुरू होती है।

- उपरोक्त प्रेक्षण की व्याख्या के लिए मैक्स प्लांक ने सुझाया कि परमाणु और अणु केवल विविक्त मात्राओं में ऊर्जा उत्सर्जित करते हैं, न कि अनवरत (continuous) रूप में।
- विद्युत चुम्बकीय विकिरण के रूप में ऊर्जा की जिसे न्यूनतम मात्रा में उत्सर्जन या अवशोषण होता है, उसे प्लांक ने 'क्वाण्टम' नाम दिया। विकिरण के एक क्वाण्टम की ऊर्जा E उसकी आवृत्ति (ν) के समानुपाती होती है। इसे निम्न समीकरण से व्यक्त करते हैं–

$$E = h\nu$$

यहाँ h = प्लांक स्थिरांक। इसका मान 6.62×10^{-34} JS



चित्र : कृष्णिका विकिरण

- दूसरे प्रेक्षण जिसकी विद्युत चुम्बकीय तरंग प्रकृति के व्याख्या नहीं की जा सकी, वह है प्रकाश विद्युत प्रभाव।

यहाँ m_e इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान तथा V इसका वेग है।

$$\text{गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}m_e V^2$$

टकराने वाले फोटॉन की ऊर्जा यदि $h\nu$ है और इलेक्ट्रॉन को निष्कासित करने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा $h\nu_0$ अथवा कार्यफलन W_0। दोनों की ऊर्जा में अंतर होगा $(h\nu - h\nu_0)$।

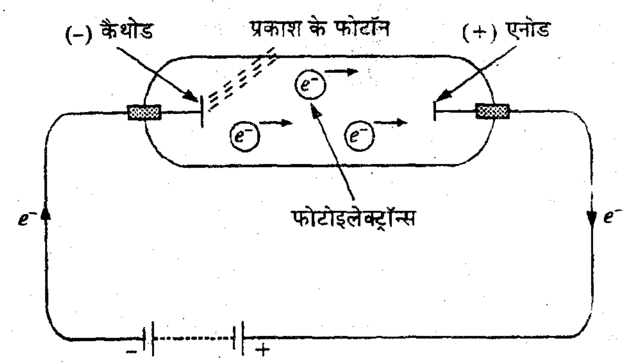
- यह ऊर्जा फोटो इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा में स्थानांतरित हो जाती है। इस प्रकार निष्कासित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा विद्युत चुम्बकीय विकिरण की आवृत्ति के समानुपाती होगी।

विद्युत चुम्बकीय विकिरण का द्वैत व्यवहार

- प्रकाश की तरंग प्रकृति से विवर्तन, व्यतिकरण आदि परिघटनाओं की व्याख्या की जा सकी तथा प्रकाश की कण प्रकृति से कृष्णिका विकिरण तथा प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या की गई।
- प्रकाश के दोनों व्यवहारों की आवश्यकता को स्वीकारते हुए यह माना गया कि प्रकाश में तरंग और कण दोनों प्रकार के गुण होते हैं अर्थात् प्रकाश का द्वैत व्यवहार होता है।
- जब विकिरण का संचरण होता है, तब वे तरंग के गुण प्रदर्शित करते हैं, किन्तु जब कोई विकिरण द्रव्य के साथ अन्योन्य क्रिया करता है तो वह कण प्रकृति दर्शाता है। कुछ सूक्ष्म कण, जैसे इलेक्ट्रॉन भी तरंग तथा कण का द्वैत व्यवहार प्रदर्शित करते हैं।

2.7.3 प्रकाश विद्युत प्रभाव (Phtoelectric Effect and Explaination by Planck's Quantum Theory)

- 1887 में हर्ट्ज् (Hertz) ने खोज की कि जब एक निश्चित आवृत्ति के प्रकाश का पुंज कुछ धातुओं की सतह पर डाला जाता है, तो सतह से इलेक्ट्रॉन्स उत्सर्जित या निर्गत होते हैं। यह घटना **प्रकाश विद्युत् प्रभाव** कहलाती है।
- इस प्रभाव को सीजियम द्वारा शीघ्र दिखाया जाता है चूंकि इलेक्ट्रॉन धातु की आयनन एन्थैल्पी के कारण अधिक शिथिल हो जाते हैं। प्रयोग को एक प्रकाश विद्युत सैल में किया जाता है। यह सेल बाह्य परिपथ से जुड़े हुए दो इलेक्ट्रोडों युक्त निर्वातित कांच नली होती है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। कैथोड पर कम आयनन एन्थैल्पी वाली धातु सीजियम का लेप कर दिया जाता है। एक निश्चित आवृत्ति के प्रकाश विकिरणों के फोटॉनों को कैथोड के विरुद्ध डाला जाता है।



चित्र-प्रकाश विद्युत प्रभाव का प्रायोगिक अध्ययन

- उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन चित्रानुसार एनोड की ओर जाते हैं। इन्हें भी फोटोइलेक्ट्रॉन्स कहा जाता है क्योंकि फोटॉन्स इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन के लिए उत्तरदायी होते हैं।

प्रकाश विद्युत प्रभाव में प्रेक्षण (Observations in Photoelectric effect)

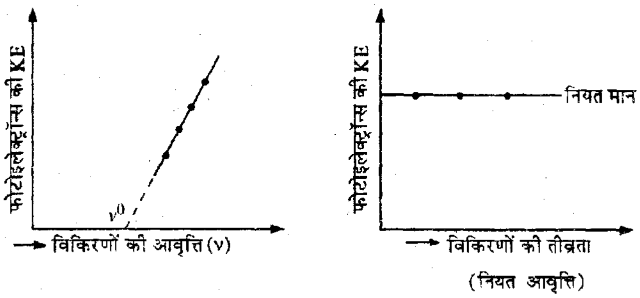
कुछ महत्वपूर्ण प्रेक्षणों का प्रकाश विद्युत प्रभाव के साथ संयोजन किया गया। इन्हें निम्न प्रकार से क्रमबद्ध दिया गया है।

(i) निश्चित न्यूनतम आवृत्ति जिसे देहली आवृत्ति (Threshold frequency) (ν^o) कहते हैं, के प्रकाश फोटॉन ही किसी विशिष्ट धातु की सतह से प्रकाश विद्युत प्रभाव उत्पन्न कर सकते हैं।

(ii) उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन्स की गतिज ऊर्जा टकराने वाले फोटॉन्स की आवृत्ति के समानुपाती होती है तथा यह उनकी तीव्रता पर निर्भर नहीं करती है।

(iii) धातु की सतह से प्रति सेकण्ड निकलने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या फोटॉन्स की तीव्रता पर निर्भर होती है, आवृत्ति पर नहीं।

(iv) धातु की सतह पर फोटॉन के टकराने तथा धातु की सतह से इलेक्ट्रॉन निष्कासन में कोई समय-अंतराल (timelag) नहीं होता है।



चित्र : (a) आवृत्ति और (b) विकिरणों की तीव्रता के सापेक्ष फोटोइलेक्ट्रॉन्स की गतिज ऊर्जा के परिवर्तन का आलेखीय प्रदर्शन

- ऊपर दिये गये प्रेक्षण विकिरण के तरंग सिद्धान्त के अनुसार नहीं हैं चूंकि इस सिद्धान्त के अनुसार विकिरण ऊर्जा तीव्रता के अनुक्रमानुपाती होती है तथा किसी भी आवृत्ति के फोटॉन्स को उनकी तीव्रता में वृद्धि करके प्रकाश विद्युत प्रभाव में लिया जा सकता है अर्थात् टकराने वाले फोटॉन्स की संख्या में वृद्धि कर दी जाती है।

प्रकाश विद्युत प्रभाव के लिए व्याख्या

- प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या प्रकाश की कण प्रकृति से भी की जा सकती है जो फोटॉन्स के प्रवाह में रहते हैं।
- इसे 1905 में आइन्सटीन द्वारा बताया गया था। प्रत्येक फोटॉन ऊर्जा का स्त्रोत हैं ($E \propto \nu$ या $E = h\nu$)। वास्तव में इलेक्ट्रॉन्स परमाणुओं के नाभिक में बन्धन बल द्वारा रोक लिये जाते हैं। इलेक्ट्रॉन्स का धातु की सतह से पलायन करने के लिए कुछ निश्चित ऊर्जा आरोपित की जाती है जिससे कि वह बन्धन ऊर्जा समाप्त हो जाये। यह काम फोटॉन्स द्वारा किया जाता है जिनके पास न्यूनतम ऊर्जा देहली ऊर्जा ($E = h\nu^{\circ}$) के रूप में होती है। यहां ν° देहली आवृत्ति है। देहली ऊर्जा को **कार्य फलन** (Work function) भी कहा जाता है। अब यह पूर्ण सम्भव है कि आपतित फोटॉन्स की ऊर्जा ($h\nu$) देहली आवृत्ति से अधिक हो सकती है जो कि प्रकाश विद्युत् प्रभाव के लिए आवश्यक होती है। कुछ परिस्थितियों में, अतिरिक्त ऊर्जा इलेक्ट्रॉनों द्वारा ले ली जाती है जो कि गतिज ऊर्जा के रूप में निकल जाती है। सामान्यतः

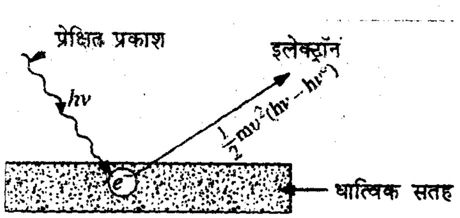
  प्रेक्षित फोटॉन्स की ऊर्जा ($h\nu$) = कार्य फलन ($h\nu^{\circ}$) + उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन गतिज ऊर्जा ($1/2\, mv^2$)

  $$[h\nu = h\nu_0 + \tfrac{1}{2} M_e V^2]$$

  उपरोक्त विवेचना से, यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि–

(i) यदि प्रेक्षित फोटॉन्स की ऊर्जा देहली ऊर्जा से कम हो, तो कोई इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होगा।

(ii) यदि फोटॉन्स की ऊर्जा देहली ऊर्जा के बराबर है, तो इलेक्ट्रॉन्स धातु की सतह से मुक्त हो जायेंगे। परन्तु गतिज अवस्था प्राप्त नहीं होगा।



चित्र-प्रकाश विद्युत प्रभाव में धात्विक सतह उत्सर्जन के लिए व्याख्या

(iii) यदि फोटॉन्स की ऊर्जा देहली ऊर्जा से अधिक है, तो उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन कुछ गतिज ऊर्जा प्राप्त करेगा।

कुछ धातुओं के लिए कार्यफलन (W°) सारणी में दिए गए हैं।

सारणी कुछ धातुओं के कार्यफलन

धातु	Li	Na	K	Mg	Cu
W° (eV में)	2.42	2.3	2.25	3.7	4.8

कृपया ध्यान दें कि बन्धन ऊर्जा या कार्य फलन नाभिक के इलेक्ट्रॉन्स के आकर्षण बल के अनुक्रमानुपाती होता है अर्थात् आकर्षण जितना अधिक हो तो बंधन ऊर्जा या कार्यफलन उतना ही अधिक हो जाएगी।

विकिरणों की द्वैत प्रकृति (Dual Nature of Radiations)

- प्रकाश के तरंग रूप और कण रूप लक्षणों के अध्ययन से वैज्ञानिकों ने निष्कर्ष निकाला कि प्रकाश और अन्य विद्युत चुम्बकीय विकिरणों में द्वैत प्रकृति पाई जाती है। ये तरंग प्रकृति एवं कण प्रकृति होती है। व्यतिकरण और विवर्तन जैसी कुछ घटनाओं को तरंग प्रकृति के आधार पर समझाया जा सकता है तथा कुछ अन्य जैसे कृष्णिका विकिरण और प्रकाश विद्युत प्रभाव को कण प्रकृति द्वारा समझाया जा सकता है। विकिरणों की द्वैत प्रकृति ने ही परमाणु मॉडल की आधुनिक तस्वीर की पृष्ठभूमि बनाई। हम इसकी चर्चा इसी अध्याय में बाद में करेंगे।

2.7.4 विद्युत-चुम्बकीय विकिरण का द्वैत व्यवहार

- प्रकाश की कण समान प्रकृति ने वैज्ञानिकों के सामने असमंजस की स्थिति पैदा कर दी।
- एक तरफ तो इसमें कृष्णिका विकिरण को प्रकाश विद्युत प्रभाव की संतोषजनक व्याख्या की परन्तु दूसरी तरफ यह प्रकाश की तरंग जैसे व्यवहार जिसमें विवर्तन, व्यतिकरण आदि परिघटनाओं की व्याख्या की जा सकती थी के साथ युक्ति संगत नहीं था।
- इस दुविधा को हल करने का ही उपाय था कि यह मान लिया जाए कि प्रकाश के कण और तरंग दोनों गुण होते हैं अर्थात् प्रकाश का द्वैत व्यवहार होता है।
- प्रयोगों के आधार पर हम देखते हैं कि प्रकाश तरंग या कण के समान व्यवहार करता है।
- जब द्रव्य के साथ विकिरण की अन्योन्य क्रिया होती है, तब यह कण जैसे गुण प्रदर्शित करता है।
- तरंग के रूप में कण की ऊर्जा को $E = h\nu$ तथा कण के रूप में इसकी ऊर्जा को $E = mc^2$ के रूप में प्राप्त किया जा सकता है। दोनों स्थितियों में E समान रहेगी।
- जब विकिरण का संचरण होता है, तब यह तरंग जैसे गुण (व्यतिकरण और विवर्तन) दर्शाता है।
- द्रव्य और विकिरण की प्रचलित धाराओं को देखते हुए यह संकल्पना एक दम नयी थी लोगों को इसे स्वीकार करने में काफी समय लगा।

उदा.1. 5×10^{14} Hz आवृत्ति वाले विकिरण के एक मोल फोटॉन की ऊर्जा की गणना कीजिए।

हल– एक फोटॉन की ऊर्जा (E) निम्नलिखित समीकरण द्वारा दी जाती है–

$$E = h\nu$$

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

$\nu = 5 \times 10^{14}\,.\,S^{-1}$ (दिया गया है।)

$E = 6.626 \times 10^{-34} JS \times 5 \times 10^{14} s^{-}$

$E = 3.313 \times 10^{-19}$ J. [1 मोल फोटॉन की ऊर्जा)

$= 3.313 \times 10^{-19} J \times 6.023 \times 10^{23} mol^{-1}$

$= 199.51 KJ mol^{-1}$

उदा.2. 100 वॉट का एक बल्ब 400 *nm* वाली तरंग दैर्ध्य का एकवर्णी प्रकाश उत्सर्जित करता है। बल्ब द्वारा प्रति सैकण्ड उत्सर्जित फोटॉन की संख्या की गणना कीजिए।

हल– बल्ब की विद्युत शक्ति = 100 वॉट = 100 Js^{-1}

एक फोटॉन की ऊर्जा = $E = h\nu = hc/\lambda$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} Js \times 3 \times 10^{8} ms^{-1}}{400 \times 10^{-9} m} = 4.969 \times 10^{-19} J$$

$$\text{उत्सर्जित फोटॉन की संख्या} = \frac{100 Js^{-1}}{4.969 \times 10^{-19} J} = 2.02 \times 10^{20} s^{-1}$$

उदा.3 जब 300 *nm* तरंग दैर्ध्य का विकिरण सोडियम धातु की सतह पर टकराता है, तो 1.68 × 10⁵ J mol⁻¹ गतिज ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। Na के इलेक्ट्रॉन के निष्कासन के लिये कम से कम कितनी ऊर्जा की आवश्यकता होगी? किसी प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन के उत्सर्जन के लिये अधिकतम तरंगदैर्ध्य क्या होगी?

हल– 300 *nm* फोटॉन की ऊर्जा [E] इस प्रकार ज्ञात की जाती है–

$$\frac{h\nu}{\lambda} = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js \times 3.0 \times 10^{8} ms^{-1}}{300 \times 10^{-9} m}$$

$= 6.626 \times 10^{-19} J$

एक मोल फोटॉन की ऊर्जा = $6.626 \times 10^{-19} J \times 6.023 \times 10^{23} mol^{-1}$

$= 3.99 \times 10^{5} J. mol^{-1}$

Na से 1 मोल इलेक्ट्रॉनों के निष्कासन के लिये

आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा = $(3.99 - 1.68) 10^{5} J. mol^{-1}$

$= 2.31 \times 10^{5} J mol^{-1}$

एक इलेक्ट्रॉन के लिये आवश्यक ऊर्जा

$$= \frac{2.31 \times 10^{5} J mol^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{electron } mol^{-1}}$$

$= 3.84 \times 10^{-19} J$

इसकी संगत तरंग दैर्ध्य इस प्रकार होगी–

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js \times 3.0 \times 10^{8} ms^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} J}$$

= 517 *nm* [यह हरे रंग के प्रकाश से सम्बन्धित है]

उदा. 2.4 जब 300 nm तरंग-दैर्ध्य का विकिरण सोडियम धातु की सतह पर टकराता है, तो 1.68 × 10⁵ J mol⁻¹ गतिज ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। सोडियम के इलेक्ट्रॉन के निष्कासन के लिए कम से कम कितनी ऊर्जा आवश्यक होगी? किसी प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन के उत्सर्जन के लिए अधिकतम तरंगदैर्ध्य क्या होगी? **[Text Book Example]**

हल: 300 nm फोटॉन की ऊर्जा (E) इस प्रकार दी जाती है–

$h\nu = hc/\lambda$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} J s \times 3.0 \times 10^{8} m s^{-1}}{300 \times 10^{-9} m}$$

$= 6.626 \times 10^{-19} J$

एक मोल फोटॉन की ऊर्जा

$= 6.626 \times 10^{-19} J \times 6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$

$= 3.99 \times 10^{5} J mol^{-1}$

सोडियम के एक मोल इलेक्ट्रॉनों के निष्कासन के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा

$= (3.99 - 1.68) 10^{5} J mol^{-1}$

$= 2.31 \times 10^{5} J mol^{-1}$

एक इलेक्ट्रॉन के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा

$$= \frac{2.31 \times 10^{5} J mol^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{electrons } mol^{-1}}$$

$= 3.84 \times 10^{-19} J$

इसकी संगत तरंगदैर्ध्य इस प्रकार होगी–

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} J s \times 3.0 \times 10^{8} ms^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} J}$$

= 5.17 nm (यह हरे रंग के प्रकाश से संबंधित है।)

उदा. 2.5 किसी धातु की देहली आवृत्ति ν_0, $7.0 \times 10^{14} s^{-1}$ है। यदि $\nu = 1.0 \times 10^{15} s^{-1}$ आवृत्ति वाला विकिरण धातु की सतह से टकराता है, तो उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा की गणना कीजिए। **[Text Book Example]**

हल : आइन्स्टीन के समीकरण के अनुसार गतिज ऊर्जा

$= \frac{1}{2} m_e v^2 = h(\nu - \nu_o)$

$= (6.626 \times 10^{-34} Js)(1.0 \times 10^{15} s^{-1} - 7.0 \times 10^{14} s^{-1})$

$= (6.626 \times 10^{-34} Js)(10.0 \times 10^{14} s^{-1} - 7.0 \times 10^{14} s^{-1})$

$= (6.626 \times 10^{-34} Js) \times (3.0 \times 10^{14} s^{-1}) + 1.988 \times 10^{-19} J$

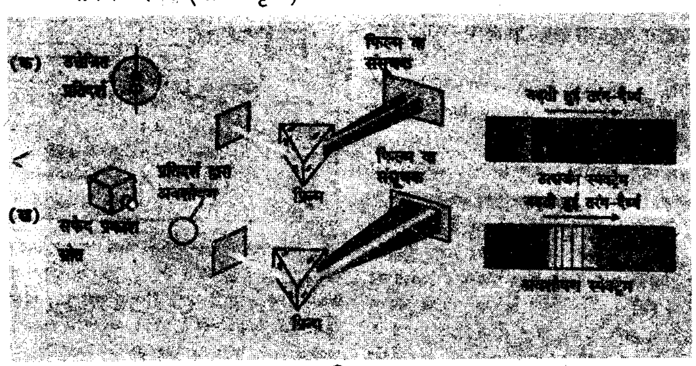
2.8 क्वांटित इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तरों के लिए प्रमाण : परमाण्विक स्पेक्ट्रा

- प्रकाश की गति उस माध्यम की प्रकृति पर निर्भर करती है जिससे यह गुजरती है। एक माध्यम से दूसरे तक जाने पर प्रकाश की किरण अपने मूल पथ से मुड़ जाती है अथवा अपवर्तित (refract) हो जाती है।
- प्रिज़्म में से सफेद प्रकाश की किरण को गुजारने से यह देखा गया कि कम तरंग–दैर्ध्य की तरंग लंबी तरंग–दैर्ध्य की तरंग की तुलना में अधिक झुक जाती हे, क्योंकि साधारण सफेद प्रकाश में दृश्य परास में सभी तरंग–दैर्ध्यों वाली तरंगें होती हैं, सफेद प्रकाश की किरण रंगीन पट्टियों की एक श्रृंखला में फैल जाती है, जिसे **स्पेक्ट्रम** (spectrum) कहते हैं।

- लाल रंग, जिसकी तरंग–दैर्ध्य सबसे अधिक होती है, का विचलन सबसे कम और सबसे कम तरंग–दैर्ध्य वाले बैंगनी रंग का विचलन सबसे अधिक होता है।
- सफेद रंग का प्रकाश, जो हमें दिखाई देता है, के स्पेक्ट्रम का परास 7.50×10^{14} Hz के बैंगनी रंग से लेकर 4.5×10^{14} Hz के लाल रंग तक होता है।
- इस स्पेक्ट्रम को सतत स्पेक्ट्रम (continuous spectrum) कहते हैं–सतत इसलिए, क्योंकि बैंगनी रंग नीले रंग में और नीला रंग हरे रंग में मिलता है।
- जब आकाश में इंद्रधनुष बनता है, तब भी ऐसा ही स्पेक्ट्रम दिखाई देता है। याद रखिए कि दृश्य प्रकाश विद्युत चुंबकीय विकिरण का एक बहुत छोटा भाग होता है। जब विद्युत–चुंबकीय विकिरण द्रव्य के साथ अन्योन्य क्रिया करता है, तो परमाणु और अणु इस ऊर्जा का अवशोषण कर सकते हैं एवं उच्च ऊर्जा स्तर पर पहुंच जाते हैं। उच्च ऊर्जा स्तर पर ये अस्थायी अवस्था में होते हैं। ये जब कम ऊर्जा वाली अधिक स्थायी तलस्थ अवस्था में लौटते हैं, तो वे विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न क्षेत्रों में विकिरण उत्सर्जित करते हैं।

उत्सर्जन तथा अवशोषण स्पेक्ट्रा

- किसी पदार्थ से ऊर्जा अवशोषण के बाद उत्सर्जित विकिरण का स्पेक्ट्रम 'उत्सर्जन स्पेक्ट्रा' कहलाता है।
- परमाणु अणु या आयन विकिरण के अवशोषण पर उत्तेजित हो जाते हैं।
- उत्सर्जन स्पेक्ट्रम प्राप्त करने के लिए किसी प्रतिदर्श को गरम करके अथवा विकिरणति करके ऊर्जा दी जाती है और जब प्रतिदर्श अवशोषित ऊर्जा को निष्कासित करता है, तो उत्सर्जित विकिरण की तरंग–दैर्ध्य (या आवृति) को रिकॉर्ड कर लिया जाता है।



चित्र

- अवशोषण स्पेक्ट्रम उत्सर्जन स्पेक्ट्रम के फोटोग्राफीय निगेटिव की तरह होता है। जब एक सतत विकिरण को प्रतिदर्श पर डाला जाता है, तो वह विकिरण की कुछ तरंग'दैर्ध्य का अवशोषण कर लेता है। द्रव्य द्वारा अवशोषित विकिरण की संगत लुप्त तरंग–दैर्ध्य चमकीले सतत् स्पेक्ट्रम में गहरे रंग की रेखाओं के रूप में प्रदर्शित होती है।
- उत्सर्जन या अवशोषण स्पेक्ट्रम के अध्ययन को **स्पेक्ट्रोमिती** (spectroscopy) कहते हैं। जैसा ऊपर बताया गया है, दृश्य प्रकाश का स्पेक्ट्रम सतत् होता है, क्योंकि उसमें दृश्य प्रकाश की लाल से बैंगनी तक सभी तरंग–दैर्ध्य उपस्थित होती हैं।
- इसके विपरीत गैस अवस्था में परमाणुओं का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम लाल से बैंगनी तरंग–दैर्ध्यों में सतत् रूप से प्रदर्शित नहीं करता है, परंतु उनसे केवल विशेष तरंग–दैर्ध्यों वाला प्रकाश उत्सर्जित होता है, जिनके बीच में काले स्थान रहते हैं। ऐसे स्पेक्ट्रम को **रेखा स्पेक्ट्रम** अथवा **परमाण्वीय स्पेक्ट्रम** कहते हैं, क्योंकि उत्सर्जित विकिरण स्पेक्ट्रम में चमकीली रेखाओं के रूप में प्रदर्शितहोता है।
- इलेक्ट्रॉनिक संरचना के अध्ययन में रेखा–उत्सर्जन स्पेक्ट्रम का विशेष महत्व होता है।
- प्रत्येक तत्व का अपना एक विशेष रेखा–उत्सर्जन स्पेक्ट्रम होता है।
- रासायनिक विश्लेषणों में परमाणु स्पेक्ट्रम की अभिलाक्षणिक रेखाएं अज्ञात परमाणुओं को पहचानने के लिए उसी प्रकार उपयोग में लाई जाती हैं, जिस प्रकार अंगुलियों के निशान मनुष्यों को पहचानने के लिए उपयोग में लाए जाते हैं।
- ज्ञात तत्व के परमाणुओं के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम की रेखाओं का यथार्थ मिलान अज्ञात प्रतिदर्श की रेखाओं से तत्वों को पहचानने के लिए रॉबर्ट बुन्सेन (1811–1899) ने सर्वप्रथम किया।
- रूबीडियम (Rb), सीजियम (Cs), थैलियम (TI), इंडियम (In), गैलियस (Ga), और स्कैंडियम (Sc) आदि तत्वों की खोज तब हुई थी, जब उनके खनिजों का स्पेक्ट्रमी विश्लेषण किया गया था। सूर्य में हीलियम (He) तत्व की उपस्थिति भी स्पेक्ट्रमी विधि द्वारा ज्ञात की गई थी।

हाइड्रोजन का रेखीय स्पेक्ट्रम

- जब हाइड्रोजन गैस में विद्युत विसर्जन प्रवाहित किया जाता है, तब H_2 अणु वियोजित होकर उच्च ऊर्जा वाले हाइड्रोजन परमाणु देते हैं, जो विविक्त आवृत्तियों वाला विद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित करते हैं। हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में रेखाओं की कई श्रेणियां होती हैं, जिन्हें उनके आविष्कारकों के नाम से जाना जाता है। बामर ने सन् 1885 में प्रायोगिक प्रेक्षणों के आधार पर बताया कि यदि स्पेक्ट्रमी रेखाओं को तरंग–संख्या ($\bar{\nu}$) के रूप में से व्यक्त किया जाए, तो हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की दृश्य–क्षेत्र की रेखाओं को निम्नलिखित सूत्र द्वारा दर्शाया जा सकता है–

$$\bar{\nu} = 109,677 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) cm^{-1}$$

जहां n एक पूर्णांक है, जिसका मान 3 या 3 से अधिक होता है, अर्थात् $n = 3, 4, 5, ...$ होता है।

इस सूत्र द्वारा वर्णित रेखाओं को **'बामर श्रेणी'** (Balmer series) कहा जाता है। हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में केवल इसी श्रेणी की रेखाएं विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के दृश्य क्षेत्र में प्राप्त होती हैं।

स्वीडन के एक स्पेक्ट्रमी वैज्ञानिक *जोहान्स रिड्बर्ग* ने बताया कि हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की सभी श्रेणियों की रेखाएं निम्नलिखित सूत्र द्वारा दर्शाई जा सकती हैं–

$$\bar{\nu} = 109,677\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right)cm^{-1}$$

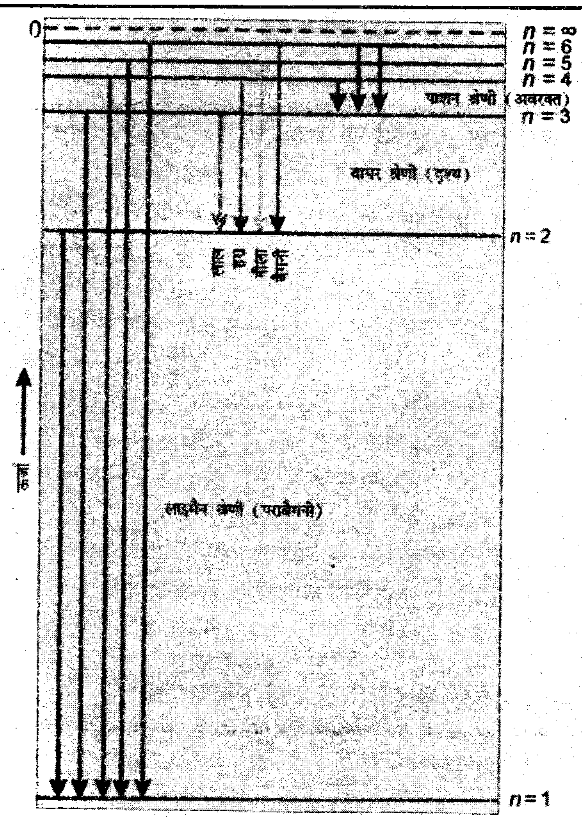
जहां $n_1 = 1.2 ....$ है और $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2....$

109,677 cm^{-1} के मान को हाइड्रोजन का रिड्बर्ग स्थिरांक (Rhydberg constant) कहते हैं $n_1 = 1, 2, 3, 4$ और 5 वाली रेखाओं की पांच श्रेणियां क्रमशः लाइमैन (Lyman), बामर (Balmer), पाशन (Pashen), ब्रेकेट (Bracket) तथा फंड (Fund) श्रेणियां कहलाती हैं।

सारणी में हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की ये श्रेणियां दिखाई गई हैं। चित्र में हाइड्रोजन परमाणु की लाइमैन, बामर और पाशन श्रेणियां के संक्रमणों को दिखाया गया है।

सारणी-परमाणु हाइड्रोजन की स्पेक्ट्रमी रेखाएं

श्रेणी	n_1	n_2	स्पेक्ट्रमी क्षेत्र
लाइमैन	1	2,3...	पराबैंगनी
बामर	2	3,4...	दृश्य
पाशन	3	4,5...	अवरक्त
ब्रेकेट	4	5,6...	अवरक्त
फंड	5	6,7...	अवरक्त
हम्फ्री	6	7,8...	अवरक्त



चित्र-हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के संक्रमण
(यहां संक्रमण की लाइमैन, बामर और पाशन श्रेणियां दिखाई गई हैं)

- हाइड्रोजन का रेखा स्पेक्ट्रम सभी तत्वों के रेखा स्पेक्ट्स की तुलना में सबसे सरल होता है। भारी परमाणुओं का रेखा स्पेक्ट्रम अधिक जटिल होता है, परंतु सभी रेखा स्पेक्ट्रमों के कुछ लक्षण समान होते हैं। जैसे–(i) प्रत्येक तत्व का रेखा स्पेक्ट्रम विशेष प्रकार का होता है। (ii) प्रत्येक तत्व के रेखा स्पेक्ट्रम में नियमितता होती है। अब यह प्रश्न उठता है कि एक जैसे इन लक्षणों का क्या कारण हो सकता है? क्या इनका संबंध इन तत्वों के परमाणुओं की इलेक्ट्रॉनिक संरचना से होता है?

2.9 हाइड्रोजन परमाणु के लिये बोर मॉडल (Bohr's Model of Hydrogenatom)

- वैज्ञानिक बोर ने सन् 1913 मे हाइड्रोजन परमाणु की संरचना तथा इसके स्पेक्ट्रम के सामान्य लक्षणों की व्याख्या की।
- रदरफोर्ड के परमाणु प्रतिरूप की सीमाओं को दूर करने के लिये वैज्ञानिक बोर ने एक नया प्रतिरूप दिया जो कि प्लांक के क्वान्टम सिद्धान्त पर आधारित था।
- इस मॉडल के प्रमुख बिन्दू निम्न हैं।

(i) हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन, नाभिक के चारो ओर निश्चित त्रिज्या व निश्चित ऊर्जा वाले वृताकार पथों में चक्कर लगाता है। इन वृताकार पथों को हम कक्ष/कक्षा/स्थायी अवस्था/अनुमत ऊर्जा स्तर कहते है।

(ii) प्रत्येक वृताकार कक्षा की एक निश्चित ऊर्जा होती है। अतः इन्हे **ऊर्जा स्तर** या ऊर्जा कोश/ऊर्जा कक्ष कहते है। इन्हे 1 2 3 4 अथवा K L M N से प्रदर्शित करते है।

(iii) कक्षा की ऊर्जा समय के साथ परिवर्तित नही होती। लेकिन जब कोई एक e अपनी स्थायी कक्षा से किसी उच्च या निम्न स्थायी कक्षा में जाता है। तो वह आवश्यक उर्जा का अवशोषण या उत्सर्जन करता है। उर्जा परिवर्तन सतत् तरीके से नही होता।

(iv) ΔE के अन्तर वाली दो स्थायी अवस्थाओं के संकमण के समय अवशोषित अथवा उत्सर्जित विकिरण को निम्न प्रकार से व्यक्त करते हैं।

$\Delta E = E_2 - E_1$

$\Delta E = h\nu$

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

जहाँ E_1 व E_2 क्रमशः निम्न व उच्च उर्जा स्तर है।

इस समीकरण को बोर का आवृति का नियम कहाँ जाता है।

(v) किसी इलेक्ट्रान के लिये परमाणु में वे उर्जा स्तर संभव है जिनमें इलेक्ट्रान का कोणिय संवेग (mvr) $\frac{h}{2\pi}$ या इसका सरल गुणाक हो

$$mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

जहाँ n - कक्षा संख्या है।

h - प्लांक स्थिरांक है।

m - इलेक्ट्रान का भार है--

r - नाभिक से e के मध्य दूरी हैं।

v - इलेक्ट्रॉन का वेग है।

उपर्युक्त सूत्र ($mvr = \frac{nh}{2\pi}$) इलेक्ट्रान का कोणीय संवेग क्वान्टीकृत होता है।

(vi) वृत्ताकार पथ में चक्कर लगाते समय e^- पर कार्यरत अपकेन्द्रिय बल अभिकेन्द्री बल के बराबर होता है,

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^1}{r^2}; mv^2 = \frac{Ze^2}{r}$$

नोटः *किसी इलेक्ट्रॉन के संक्रमण की तुलना हम हमारे मकान की सीढ़ियों से कर सकते हैं। जैसे सीढ़ी पर चढ़ते समय दो सीढियों के मध्य स्थान खाली होता है। उसी प्रकार जब इलेक्ट्रान एक उर्जा स्तर से दूसरे उर्जा स्तर में संक्रमण करता है। तों उन दोनों उर्जा स्तरों के बीच का स्थान भी खाली रहता है। अतः परमाणु में e एक निश्चित उर्जा क्वान्टा के रूप में (पैकिट) अवशोषित या उत्सर्जित करता है।*

2.9.1 किसी बोर कक्ष की बोर त्रिज्या (r) सूत्र परिकलन

$V = \frac{2\pi Ze^2}{nh}$ का मान समीकरण (1) में रखने पर

$$m \times \frac{2\pi Ze^2}{nh} \times r = \frac{nh}{2\pi}$$

$$\therefore \quad r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 mZe^2} \quad ....(4)$$

[h, m, e तथा π के मान सूत्र में रखने पर]

$$\frac{h^2}{4\pi^2 me^2} = 0.529$$

$$r = 0.529 \times \frac{n^2}{Z} Å \text{ अथवा } 52.9 \times \frac{n^2}{Z} \text{ pm}$$

(a) हाइड्रोजन के लिए Z = 1 तथा n = 1 हो तो पहली कक्षा के लिए $r_n = n^2 a_0$ । यहाँ r_n किसी n कक्षा में कक्ष की त्रिज्या, n = कक्षा की संख्या a_0 = 52.9 pm

(b) यदि n स्थिर हो तो Z का मान बढ़ाने पर त्रिज्या का मान घटता है अर्थात्

$$r \propto \frac{1}{Z}$$

(c) यदि Z स्थिर हो तो n का मान बढ़ाने पर त्रिज्या का मान बढ़ता है अर्थात् $r \propto n^2$

2.9.2 किसी बोर कक्ष में इलैक्ट्रॉन की ऊर्जा [E] सूत्र परिकलन।

हम जानते हैं कि इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा

E = स्थितिज ऊर्जा (P.E.) + गतिज ऊर्जा (K. E.)

$$= \frac{-Ze^2}{r} + \frac{1}{2}mV^2$$

$$= \frac{-Ze^2}{r} + \frac{1}{2} \times \frac{Ze^2}{r} \quad \text{(क्योंकि KE = –P.E.)}$$

$$= -\frac{1}{2}\frac{Ze^2}{r}$$

समीकरण (4) से r का मान रखने पर

$$= -\frac{1}{2} \times Ze^2 \times \frac{4\pi^2 me^2 Z}{n^2h^2}$$

$$= \frac{-2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2h^2}$$

इसके अनुसार किसी कक्ष में इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा को निम्न सूत्र द्वारा प्रतिपादित किया जा सकता है-

$$E_n = \frac{-2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2h^2} \quad ....(5)$$

E_n = n वें कोश में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा

m = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.109×10^{-28} ग्राम

e = इलेक्ट्रॉन पर आवेश = 4.8029×10^{-10} amu

h = प्लांक स्थिरांक = 6.626×10^{-27} अर्ग सेकण्ड

Z = परमाणु क्रमांक

समीकरण (5) में m, e, h तथा π का मान रखने पर

$$E_n = -2.179 \times 10^{-11} \times \frac{Z^2}{n^2} \text{ अर्ग/परमाणु}$$

या $-56.848 \times \frac{Z^2}{n^2}$ किलो जूल/मोल

या $-2.179 \times 10^{-18} \times \frac{Z^2}{n^2}$ जूल/परमाणु

या $-13.6 \times \frac{Z^2}{n^2}$ eV/ परमाणु

- परमाणुओं में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा के मान ऋणात्मक होते हैं इसका अर्थ यह है कि इलेक्ट्रॉन तथा नाभिक के परस्पर आकर्षण के कारण कुछ ऊर्जा मुक्त होती है तथा तन्त्र स्थायित्व को प्राप्त करता है।
- जब n = 1 हो तो ऊर्जा का मान सबसे अधिक ऋणात्मक होता है और यह कक्षा सबसे अधिक स्थायी होती है। इसे मूल अवस्था (ground state) कहते हैं।
- जब इलेक्ट्रॉन नाभिक के प्रभाव से मुक्त होता है तब ऊर्जा का मान शून्य लिया जाता है। ऐसी स्थिति में इलेक्ट्रॉन मुख्य क्वाण्टम संख्या n = ∞ की स्थायी अवस्था से संबंधित होता है तथा आयनित हाइड्रोजन परमाणु कहलाता है।
- हाइड्रोजन परमाणु में उपस्थित एक इलेक्ट्रॉन के समान उन आयनों, जिनमें केवल एक इलेक्ट्रॉन होता है पर भी बोर सिद्धान्त लागू किया जा सकता है।

उदाहरणार्थ- He^+, Li^{2+}, Be^{3+} आदि। इस प्रकार के आयनों (हाइड्रोजन के समान स्पीशीज) के लिए Z का मान क्रमशः 2, 3 तथा 4 होता है।

$$E_n = -2.18 \times 10^{-18} \times \frac{Z^2}{n^2} J$$

$$r_n = 52.9 \times \frac{n^2}{Z} pm$$

उपरोक्त समीकरण से यह तथ्य स्पष्ट होते हैं कि Z के बढ़ने के साथ ऊर्जा का मान अधिक ऋणात्मक हो जाता है तथा त्रिज्या कम हो जाती है अर्थात् इलेक्ट्रॉन नाभिक से अधिक दृढ़ता पूर्वक बंधा रहता है।

प्र.1. किसी परमाणु में इलेक्ट्रॉन की उर्जा का मान ऋणात्मक होता है। क्यो?

हल: उपर्युक्त प्रश्न को हम दो प्रकार से समझा सकते है।

(a) हम जानते है कि अनन्त दूरी पर (∞) इलेक्ट्रॉन की उर्जा शून्य होती है। अतः इससे पहले सभी परिस्थितियों मे e की उर्जा का मान शून्य से कम अर्थात ऋणात्मक होगा।

(b) इलेक्ट्रान की कुल उर्जा = स्थितिज उर्जा + गतिज उर्जा

$$= -\frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= -\frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{2}\frac{Ze^2}{r} \qquad [mv^2 = \frac{Ze^2}{r}]$$

$$= -\frac{1}{2}\frac{Ze^2}{r}$$

अतः स्थितिज उर्जा का मान हमेशा ऋणात्मक होता है। व स्थितिज उर्जा का मान, गतिज उर्जा से अधिक है अतः परिणामी कुल उर्जा का मान ऋणात्मक होता है।

- एक इलेक्ट्रॉन रखने वाली तमाम स्पीशीज (H, He^+, Li^{2+}, Be^{3+}----) में बोर का सिद्धान्त लागू होता है।

$$E_n = -2.18 \times 10^{-18} [\frac{Z^2}{n^2}] \text{ J.}$$

- त्रिज्या को निम्न समीकरण से लिखतें है।

$$r_n = 52.9 \times (\frac{n^2}{Z}) \text{ p.m.}$$

	H	He^+	Li^{2+}	Be^{3+}	Na^{10+}
Z =	1	2	3	4	11.

- इसी प्रकार हम बोर कक्षा में e का वेग ज्ञात कर सकते है।

$$V_n = 2.18 \times 10^8 \left(\frac{z}{n}\right) \text{ Cm/Sec.}$$

उदा. Li^{2+} की साधारण अवस्था में इलेक्ट्रॉन को बाहर निकालने में आवश्यक ऊर्जा (आयनन ऊर्जा) की गणना कीजिए।

हल- इलेक्ट्रॉन बाहर निकालने अर्थात् अनन्त दूरी वाले कक्ष की ऊर्जा

$$E_\infty = -13.6 \times \frac{Z^2}{n^2}$$

यहाँ Z = 3

n = ∞

$$= \frac{-122.4}{\infty} = 0\ eV$$

प्रथम कक्ष की ऊर्जा $E_1 = \frac{-13.6 \times (3)^2}{(1)^2} = -122.4\ eV$

आवश्यक ऊर्जा $\Delta E = E_\infty - E_1$

$= 0 - (-122.4) = 122.4$ eV

उदा. हीलियम परमाणु के द्वितीय बोर कक्ष की त्रिज्या व उसके e^- वेग का परिकलन कीजिए।

हल- $r = 0.529 \times \frac{n^2}{Z} Å$

यहाँ n = 2

Z = 2

$$r = 0.529 \times \frac{4}{2}$$

$= 1.058$ Å

$$V = 2.186 \times 10^8 \times \frac{Z}{n} cm\ sec^{-1}$$

$$= 2.186 \times 10^8 \times \frac{2}{2}$$

$= 2.186 \times 10^8$ cm sec^{-1}

2.9.3 बोर मॉडल की सीमायें

- बोर का सिद्धान्त हाइड्रोजन परमाणु तथा अन्य एकल इलेक्ट्रॉन स्पीशीज जैसे He^+, Li^{2+}, Be^{3+}-----Na^{10+} आयनस के लिये परमाण्वीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या करने में सफल रहा।
- यह सिद्धान्त उन परमाणुओं के स्पेक्ट्रम की व्याख्या करने में असफल रहा जिनके इलेक्ट्रोनस की संख्या एक से अधिक है।
- इस सिद्धान्त के अनुसार, जब इलेक्ट्रॉन दो ऊर्जा स्तरों के मध्य संक्रमण करता है तो केवल एक स्पेक्ट्रमी रेखा प्राप्त होनी चाहिये, लेकिन यह एक रेखा कई सूक्ष्म रेखाओं में बंटी हुई है, अतः यह सिद्धान्त सूक्ष्म रेखाओं को समझाने में असफल रहा।
- रेखीय स्पेक्ट्रम के निर्माण के समय जब विकिरणें उत्सर्जित करता हुआ स्त्रोत विद्युत या चुम्बकिय क्षेत्र में रख दिया जाता है तो प्रत्येक स्पेक्ट्री रेखा बहुत सी रेखाओं में बंट जाती है। इस प्रभाव को क्रमशः **स्टार्क प्रभाव** व **जीमान प्रभाव** कहते है। बोर का सिद्धान्त इन प्रभावों को समझाने में भी असफल रहा है।
- यह सिद्धान्त परमाणुओं के संयोग से बनने वाले अणुओं की आकृति को भी समझाने में असफल रहा है।
- परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉन एवं वृत्ताकार पथ का अनुसरण करता है व उसकी ऊर्जा निश्चित होती है लेकिन डी–ब्राग्ली तथा हाइजेन बर्ग के अनुसार इलेक्ट्रॉन का पथ निश्चित नहीं होता बल्कि अनुमानित प्रकृति का होता है यह भी निश्चित नहीं होता कि इलेक्ट्रॉन वहां तरंग की भांति व्यवहार कर रहा है या कण की भांति।

2.9.4 हाइड्रोजन के रेखा स्पेक्ट्रम की व्याख्या (Explaination for line spectrum of hydrogen)

- जब इलेक्ट्रोन एक कक्षा से दूसरी कक्षा में जाता है तो वह एक निश्चित ऊर्जा उत्सर्जित या अवशोषित करता है।
- जब इलेक्ट्रोन निम्न से उच्च कक्षा में गमन करता है तो वह विकिरण (ऊर्जा) का अवशोषण करता है जबकि उच्च ऊर्जा से निम्न ऊर्जा स्तर पर जाता है तो वह विकिरण (ऊर्जा) का उत्सर्जन करता है।

- दो कक्षाओं के बीच के ऊर्जा अन्तर को हम निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त करते है।

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

हम जानते है $E_n = -R_H\left[\frac{1}{n^2}\right]$

$$\Delta E = -R_H\left[\frac{1}{n_2^2}\right]+R_H\left[\frac{1}{n_1^2}\right]$$

$$= R_H\left[\frac{1}{n_1^2}\right]-R_H\left[\frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$= R_H\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

यहाँ n_1 = प्रारम्भिक व n_2 = अन्तिम कक्षा

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1$$

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{R_H}{h}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

R_H का मान $= 2.18 \times 10^{-8}$ J

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

$$\nu = \frac{2.18\times10^{-8}\text{J}}{6.626\times10^{-34}\text{Js}}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$\nu = 3.29\times10^{15}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]H_z$$

$$\nu = \frac{C}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} \text{ संगत तरंग संख्या}$$

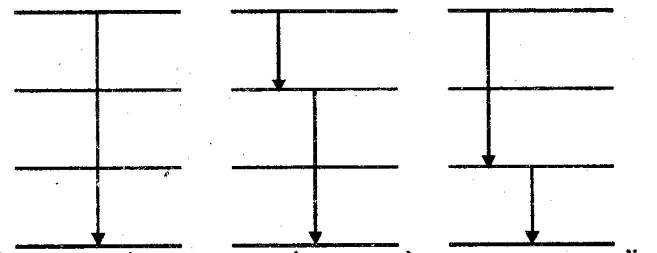
$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{C} = \frac{R_H}{hC}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$\bar{\nu} = \frac{3.29\times10^{15}\text{s}^{-1}}{3\times10^{8}\text{ms}^{-1}}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$= 1.09677\times10^{7}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]\text{m}^{-1}$$

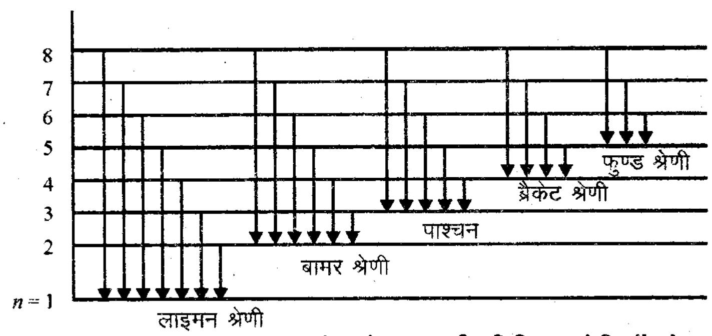
$$\frac{1}{\lambda} = 1.09677\times10^{7}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]\text{m}^{-1}$$

- अवशोषण स्पेक्ट्रम में $n_2 > n_1$ अतः कोष्ठक में दी गई मात्रा में धनात्मक होती है तथा ऊर्जा का अवशोषण होता है।
- उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में $E_1 > E_2$ होता है ΔE ऋणात्मक होता है अतः ऊर्जा मुक्त होती है।



चित्र : हाइड्रोजन परमाणु के n = 4 से आद्यतम अवस्था में जाने से विभिन्न पथ

- जब हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रोन पहली कक्षा से चौथी कक्षा में चला जाता है तो वह अपनी पहली स्थिति में आने के लिये निम्न तीन प्रकार से आ सकता है।
  - (i) 4^{th} से सीधा प्रथम पर
  - (ii) 4^{th} से 3^{rd} पर, फिर 3^{rd} से सीधा प्रथम पर
  - (iii) 4^{th} से 2^{nd} पर, फिर 2^{nd} से सीधा प्रथम पर
- Hydrogen स्पेक्ट्रम की विभिन्न स्पेक्ट्रम श्रेणियो में उत्सर्जन से प्राप्त विभिन्न स्पेक्ट्रम रेखाओं को निम्न चित्र द्वारा प्रदर्शित करते है।



चित्रः हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम की विभिन्न श्रेणियों मे स्पेक्ट्रमी रेखाएँ।

	स्पेक्ट्रमी श्रेणी का नाम	नीचे की और संक्रमण
1.	लाइमन स्पेक्ट्रमी श्रेणी	n_2 = 2, 3, 4, 5, 6 ....∞ से n_1 = 1 पर
2.	बॉमर स्पेक्ट्रमी श्रेणी	n_2 = 3, 4, 5, 6 .... ∞ से n_1 = 2 पर
3.	पाश्चन स्पेक्ट्रमी श्रेणी	n_2 = 4, 5, 6, 7 .... ∞ से n_1 = 3 पर
4.	ब्रैकेट स्पेक्ट्रमी श्रेणी	n_2 = 5, 6, 7, 8 .... ∞ से n_1 = 4 पर
5.	फुण्ड स्पेक्ट्रमी श्रेणी	n_2 = 6, 7, 8 .... ∞ से n_1 = 5 पर

प्रमुख बिन्दु (Important Point)

- $\Delta E = E_2 - E_1$
- $h\nu = E_2 - E_1$
- $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$
- $\nu \propto E_2 - E_1 \quad \because \nu = \frac{C}{\lambda}$
- $\frac{1}{\lambda} = \frac{E_2 - E_1}{Ch}$
- $\frac{1}{\lambda} \propto E_2 - E_1$

- $\nu = 3.29\times10^{15}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]H_z$

- $\bar{\nu} = 1.09677\times10^{7}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]M^{-1}$

- $\frac{1}{\lambda} = 1.09677\times10^{7}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]M^{-1}$

- लाइमन श्रेणी पैराबैंगनी क्षेत्र में प्राप्त होती है।
- बामर श्रेणी दृश्य क्षेत्र में प्राप्त होती है।
- *पाश्चन, ब्रैक्रट व फुण्ड श्रेणी अवरक्त क्षेत्र में प्राप्त होती है।*
- लाइमन श्रेणी में प्राप्त स्पेक्ट्रमी रेखा की तरंग दैर्ध्य [λ] का मान सबसे कम होता है। [दो ऊर्जा का अन्तर अधिकतम होने के कारण]
- जब इलेक्ट्रोन किसी उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर (आद्य अवस्था) में कूदता है तो उसके स्पेक्ट्रम में रेखाओं की अधिकतम संख्या $\frac{n(n-1)}{2}$ होती है

  n = उच्च कक्षा की संख्या
- बामर ने 1885 में परमाण्वीय स्पेक्ट्रम का विस्तृत अध्ययन किया तथा दृश्यक्षेत्र में स्पेक्ट्रम प्राप्त किया। विभिन्न रेखाओं के तरंगदैर्ध्य निम्न सूत्रानुसार ज्ञात किये जा सकते हैं-

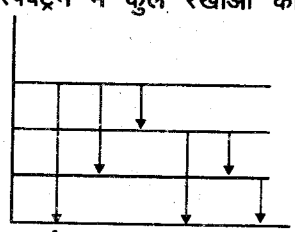
$$\lambda = K\frac{n^2}{n^2+4}$$

यहाँ K एक स्थिरांक है जिसका मान 9×10^9 Nm^2/C^2 होता है और n एक पूर्णांक है जिसके $H_\alpha H_\beta H_r$, H_δ आदि के लिए मान क्रमशः 3, 4, 5 व 6 है।

उदा.1. एक हाइड्रोजन परमाणु से इलेक्ट्रान चौथी कक्षा से प्रथम कक्षा में कूदता है तों इसके स्पेक्ट्रम में कुल रेखाओं की संख्या प्राप्त होगी।

$= \frac{n(n-1)}{2} = \frac{4(4-1)}{2}$

$= \frac{12}{2} = 6$



चित्र : उच्च ऊर्जा स्तर n = 4 से प्रथम पर गिरने पर कुल रेखायें बनेगी

उदा.2. हाइड्रोजन परमाणु में n = 5 अवस्था में n = 2 अवस्था वाले संक्रमण के दौरान उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति और तरंग दैर्ध्य क्या होगी।

हल: $n_2 = 5$, $n_1 = 2$

अतः इस संक्रमण से बॉमर श्रेणी में प्राप्त एक स्पेक्ट्रमी रेखा प्राप्त होती है।

$$\Delta E = 2.18\times10^{-18}J\left[\frac{1}{2^2}-\frac{1}{5^2}\right]$$

$$= 2.18\times10^{-18}J\times\frac{21}{100}$$

$$= 4.58\times10^{-19}J$$

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{4.58\times10^{-19}J}{6.626\times10^{-34}Js}$$

$$= 6.91\times10^{14}Hz$$ **Ans.**

$$\lambda = \frac{C}{\nu} = \frac{3.0\times10^{8}ms^{-1}}{6.91\times10^{14}Hz} = 434\ nm$$

उदा.3. He^+ की प्रथम कक्षा सें सम्बन्धित ऊर्जा की गणना कीजिये और बताइये इस कक्षा की त्रिज्या क्या होगी।

हल: $E_n = -\frac{2.18\times10^{18}J}{n^2}\times z^2$ $atom^{-1}$

He^+ के लिये n = 1, z = 2

$$E_n = -\frac{2.18\times10^{18}J}{1^2}\times2^2$$

$$= -8.72\times10^{-18}J$$

$$r_n = 0.0529nm\times\frac{n^2}{Z}$$

$$= 0.0529nm\times\frac{1^2}{2} = 0.02645\ nm$$ **Ans.**

उदा.4. हाइड्रोजन परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन तृतीय कक्ष से प्रथम कक्ष में कूदता है तो स्पेक्ट्रमी रेखा की आवृति ज्ञात कीजिये।

$$\nu = 3.29\times10^{15}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]Hz$$

$$= 3.29\times10^{15}\left[\frac{1}{1^2}-\frac{1}{3^2}\right]$$

$$= 3.29\times10^{15}\left[\frac{1}{1}-\frac{1}{9}\right]$$

$$= 3.29\times10^{15}\times\frac{8}{9}Hz$$

$= 2.924 \times 10^{15}$ Hz **Ans.**

$= 2.924 \times 10^{15}$ s^{-1} **Ans.**

उदा. 2.6 हाइड्रोजन परमाणु में n = 5 अवस्था में n = 2 अवस्था वाली संक्रमण के दौरान उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति और तरंगदैर्ध्य क्या होगी? **[Text Book Example]**

हल : क्योंकि $n_i = 5$ और $n_f = 2$

अतः इस संक्रमण से बामर श्रेणी में एक स्पेक्ट्रमी रेखा प्राप्त होती है।

$$\Delta E = 2.18\times10^{-18}J\left[\frac{1}{5^2}-\frac{1}{2^2}\right]$$

$$= -4.58\times10^{-19}J$$

यह उत्सर्जन ऊर्जा है।

फोटॉन की आवृत्ति (ऊर्जा को परिमाण के रूप में लेते हुए) इस प्रकार दी जा सकती है–

$$\nu = \frac{\Delta E}{h}$$

$$= \frac{4.58\times10^{-19}J}{6.626\times10^{-34}Js}$$

$$= 6.91\times10^{14}\ Hz$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0\times10^{8}ms^{-1}}{6.91\times10^{14}Hz} = 434\ nm$$

उदा. 2.7 He^+ की प्रथम कक्षा से संबंधित ऊर्जा की गणना कीजिए और बताइए कि इस कक्षा की त्रिज्या क्या होगी?

[Text Book Example]

हल :

$$E_n = -\frac{(2.18\times10^{-18}J)Z^2}{n^2}\ atom^{-1}$$

He^+ के लिए $n = 1, Z = 2$

$$E_n = -\frac{(2.18\times10^{-18}J)(2)^2}{1^2} = -8.72\times10^{-18}J$$

त्रिज्या r_n का मान–

$$r_n = \frac{(0.0529\ nm)n^2}{Z}$$

चूंकि $n = 1$ और $Z = 2$

$$r_n = \frac{(0.0529\ nm)\ 1^2}{2} = 0.02645\ nm$$

2.10 सोमरफिल्ड द्वारा बोर मॉडल का विस्तार (Extension of Bohr Model by Sammerfield)

- स्पेक्ट्रम में सूक्ष्म संरचनाओं को देखते हुए सोमरफिल्ड ने 1915 में बोर के परमाणु मॉडल का विस्तार करते हुए निम्न दो अभिगृहित दिये–

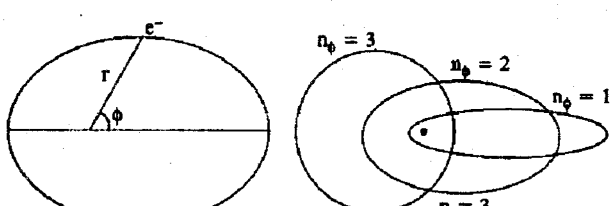
(i) इलेक्ट्रॉन केवल वृत्ताकार कक्ष (बोर मॉडल) में ही नहीं घूमते, बल्कि दीर्घवृत्ताकार कक्षाओं में भी चक्कर लगाते हैं।

- द्वितीय व तृतीय कोशों के लिये बोर की वृत्ताकार कक्षाओं के अतिरिक्त एक व दो दीर्घ वृत्ताकार कक्षाएं भी होती है।
- जब मुख्य क्वाण्टम संख्या n के साथ दो क्वाण्टम अंकों की आवश्यकता है, जिन्हें इस प्रकार प्रस्तुत किया जा सकता है

$n = n_r + n\phi$

n_r = त्रिज्य क्वाण्टम संख्या

$n\phi$ = कोणीय या दिगंशी क्वाण्टम संख्या



चित्र : सोमरफिल्ड की दीर्घवृत्ताकार कक्ष

(ii) दीर्घवृत्ताकार कक्ष में घूमते समय इलेक्ट्रॉन के वेग में परिवर्तन होता रहता है। इसकी वजह से इलेक्ट्रॉन कक्ष पुरस्सरण गति करने लगती है। इस कारण कोणीय संवेग में भी परिवर्तन होता है और n के विभिन्न मान प्राप्त होंगे, जो ऊर्जा स्तरों को दर्शाते हैं।

- इन ऊर्जा स्तरों में इलेक्ट्रॉन का संक्रमण होता है और इनसे स्पेक्ट्रम की सूक्ष्म संरचना प्राप्त होगी।
- स्पेक्ट्रम की बामर शृंखला की रेखाएं निम्न संक्रमण प्रदर्शित करेगी। $(3\rightarrow2), (4\rightarrow2), (5\rightarrow2), (6\rightarrow2)$ और $(7\rightarrow2)$
  यहाँ 2, 3, 4, 5, 6, 7 मुख्य क्वाण्टम संख्या के मान हैं $n = 2$, दो ऊर्जा स्तर से बना होता है। $n = 1$ बोर का वृत्ताकार कक्ष तथा $n\phi = 2$ सोमरफिल्ड की दीर्घवृत्ताकार कक्ष।
- इस प्रकार इलेक्ट्रॉन के $n = 3$ से $n = 2$ में संक्रमण से प्राप्त एकल रेखा, तीन रेखाओं में विभक्त हो जाती है। इस प्रकार सोमरफिल्ड ने स्पेक्ट्रम की सूक्ष्म संरचना को स्पष्ट किया।

2.10.1 सोमरफिल्ड मॉडल की कमियां

(i) यह सिद्धांत भी अधिक इलेक्ट्रॉन वाले परमाणुओं के स्पेक्ट्रम को नहीं समझा सका।

(ii) दिगंशी क्वाण्टम संख्याओं के मान तथा कक्षाओं के आकार, तरंग यांत्रिकी से प्राप्त मानों व आकारों के अनुरूप नहीं है।

- बोर के परमाणु मॉडल के बाद, जटिल परमाणुओं की संरचना की व्याख्या कर सके, ऐसे परमाणु मॉडल की आवश्यकता थी। इस प्रकार के मॉडल के निर्माण में निम्न दो सिद्धांतों का आधारभूत योगदान रहा–
  (i) द्रव्य का द्वैत व्यवहार
  (ii) हाइडजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धांत

2.11 दे ब्रोगली सिद्धांत : द्रव्य की प्रकृति (DeBroglie's : Dual Nature of Matter)

- 1905 में वैज्ञानिक आइन्सटीन ने प्रकाश की द्वैत प्रकृति का अध्ययन किया और बताया कि–

(i) विवर्तन, व्यतिकरण आदि घटनाये प्रकाश की तरंग प्रकृति के द्वारा ही समझाये जा सकते हैं।

(ii) कृष्णिका विकिरण, प्रकाश विद्युत प्रभाव, आदि घटनायें, प्रकाश की कणीय प्रकृति द्वारा ही समझाये जा सकते है।

- वर्ष 1924 में फ्रांस के भौतिक वैज्ञानिक, लुइस –द–ब्रॉग्ली ने प्रस्ताव किया कि यदि प्रकाश की प्रकृति कण और तरंग दोनों की तरह होती है तो उसी प्रकार यह द्वैत प्रकृति, द्रव्य के लिये भी सत्य होनी चाहिये।
- इस प्रकार द्रव्य की द्वैत प्रकृति को अतिसूक्ष्म पिण्डों जैसे इलैक्ट्रॉन, प्रोटॉन, परमाणुओं, अणुओं, सूक्ष्म द्रव्यकणों आदि पर भी लागू किया जा सकता है।

दे-ब्रॉग्ली सम्बन्ध-

- डी ब्राग्ली के अनुसार द्रव्य के कण, तरंग रूप में बहते है और द्रव्य तरंग का तरंगदैर्ध्य, द्रव्य कण के संवेग के विलोमानुपाती होता है।
- डी ब्राग्ली ने प्लांक व आइन्सटीन समीकरण की सहायता से द्रव्य तरंग का तरंगदैर्ध्य ज्ञात करने हेतु समीकरण की स्थापना की–
- प्लांक समीकरण से– $E = h\nu$ ...(1)
- आइन्सटीन समीकरण– $E = mc^2$ ...(2)

समी. (1) व सभी (2) से

$$h\nu = mc^2 \quad \because \nu = c/\lambda$$

$$h\frac{c}{\lambda} = mc^2$$

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad ...(3)$$

- यहाँ m फोटोन का द्रव्यमान और c प्रकाश का वेग है।
- डी ब्राग्ली ने समीकरण (3) को द्रव्य तरंग का तरंगदैर्ध्य ज्ञात करने के लिए c के स्थान पर द्रव्य कण का वेग v रखते हुए निम्न

सूत्र दिया– $\lambda = \frac{h}{mv}$

और $\lambda = \frac{h}{p}$ ...(1)

अर्थात $\lambda \propto \frac{1}{p}$ $\because mv = p$ (संवेग)

$\therefore \lambda \propto \frac{1}{mv}$

- अतः गतिशील द्रव्य कण के द्रव्य तरंग की तरंगदैर्ध्य, उसके संवेग के विलोमानुपाती होती है।

यह समीकरण इलेक्ट्रॉन तथा इसके बराबर के अन्य द्रव्य कणों के लिए सत्य पाया गया तथा इनसे सम्बद्ध तरंगों को द्रव्य तरंगें (Matter waves) कहते हैं। बड़े कणों के लिए संहति अधिक होने से तरंगदैर्ध्य का मान नगण्य हो जाता है और इसकी उपेक्षा की जा सकती है।

- **द्रव्य तरंगों के निम्न गुण होते हैं-**
  - (i) इन तरंगों के संचरण के लिये माध्यम आवश्यक है। ये निर्वात् में गति नहीं कर सकती है।
  - (ii) ये गतिमान पिण्डो से अलग नहीं होती।
  - (iii) ये विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रो से सम्बन्धित नहीं होती है।

विद्युत चुम्बकीय तरंग व द्रव्य तरंग में अन्तर

	विद्युत चुम्बकीय तरंग	द्रव्य तरंग
1.	विद्युत चुम्बकीय तरंग के लम्बवत् विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र होता है, जो परस्पर भी लम्बवत् होते है।	द्रव्य तरंग, चुम्बकीय एवं विद्युत क्षेत्र से सम्बन्धित नहीं होती है।
2.	विद्युत चुम्बकीय तरंग के संचरण हेतु किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती। यह निर्वात् में भी संचरित हो सकती है।	द्रव्य तरंग निर्वात् में संचरित नहीं होती है। इसके लिये माध्यम की आवश्यकता होती है।
3.	सभी विद्युत चुम्बकीय तरंग प्रकाश के वेग से संचरित होती है।	इनका वेग प्रकाश के वेग से कम होता है तथा विभिन्न द्रव्य तरंगों का वेग भिन्न–भिन्न होता है।
4.	इनका तरंग दैर्ध्य $\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{c}{v}$	इनका तरंगदैर्ध्य $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{P}$
5.	इनकी ऊर्जा क्वांटीकृत होती है।	इनकी ऊर्जा क्वांटीकृत नहीं होती है।

डी ब्राग्ली सिद्धान्त की सार्थकता– डी–ब्राग्ली सिद्धान्त सभी प्रकार के कणों जैसे–e^-, प्रोट्रॉन, परमाणु, अणु, न्यूट्रॉन आदि के लिए डी. ब्राग्ली सिद्धान्त की सार्थकता है, परन्तु बड़े द्रव्य कणों के तरंग गुण नगण्य होते है व इनका λ का मान इतना कम होता है कि जिसका मापन सम्भव नहीं है जैसे. 1 kg द्रव्यमान वाली गेंद 10^5m/sec वेग से गतिशील है तो डी–ब्राग्ली के अनुसार इसका λ निम्न होगा–

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.62\times10^{-34}\,kg\,m^2\,sec^{-1}}{0.1kg\times10^5\,m\,sec^{-1}}$$
$$= 6.62 \times 10^{-38}\,m$$

यह मान नगण्य है। अतः बड़े कणों जैसे–गेद में तरंग गुण नगण्य है।

जबकि सूक्ष्म द्रव्य कण जैसे e^- के लिए–

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.62\times10^{-34}\,kg\,m^2\,sec^{-1}}{9.11\times10^{-31}\,kg\times10^5\,m\,sec^{-1}}$$
$$= 7.27 \times 10^{-9}\,m$$

अतः बड़े द्रव्य कण जैसे गेद का तरंगदैर्ध्य बहुत कम होने से इसका मापन सम्भव नही है। जबकि सूक्ष्म कण जैसे e का तरंगदैर्ध्य विद्युत चुम्बकीय तरंग के लगभग समान है अतः इसका मापन सम्भव है।

कण और तरंग में अन्तर–

	कण	तरंग
1.	कण स्थानीकृत होता है तथा इसकी अन्तरिक्ष मेंएक निश्चित स्थिति होती है	तरंग अस्थानीकृत होती है व अन्तरिक्ष में फैली रहती है।
2.	किसी एक कण द्वारा अन्तरिक्ष में एक निश्चित स्थान घेरा होता तथा कोई दूसरा कण यह स्थान प्राप्त नहीं कर सकता।	अन्तरिक्ष में दो तरंगे एक ही स्थान पर साथ–साथ रह सकती है।
3.	एक ही क्षेत्र में दो कणों में व्यतिकरण नहीं है।	एक ही क्षेत्र में तरंगो में व्यतिकरण हो जाता है, जिससे प्राप्त परिणामी तरंग छोटी या बड़ी होती है।
4.	इन्हें गिना जा सकता है।	इन्हें गिना नहीं जा सकता है।

बोर का सिद्धान्त व डी-ब्राग्ली धारणा-

1. डी–ब्रॉग्ली के अनुसार नाभिक के चारों ओर चक्कर काटने वाले इलैक्ट्रॉन का तरंग रूप है, जो नाभिक के चारों ओर वृत्ताकार कोशों में प्रवाहित होता है।
2. यदि इलैक्ट्रॉन को तरंग माने, तब बोर की क्वान्टम शर्त जो उसने अपने सिद्धान्त में दी है, उसे आसानी से प्राप्त कर सकते हैं।

3. यदि वृत्ताकार कोश की त्रिज्या r है तो इसकी परिधि $2\pi r$ होगी।

4. बोर की परिकल्पना के अनुसार हम जानते हैं कि $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

or $2\pi r = \frac{nh}{mv}$ {∵ mv = P संवेग}

or $2\pi r = \frac{nh}{P}$ {∵ $\frac{h}{P} = \lambda$ डी–ब्रॉग्ली समीकरण}

∴ $2\pi r = n\lambda$

{यहां n = कुल तरंगो की संख्या 1, 2, 3, 4, 5......∞}

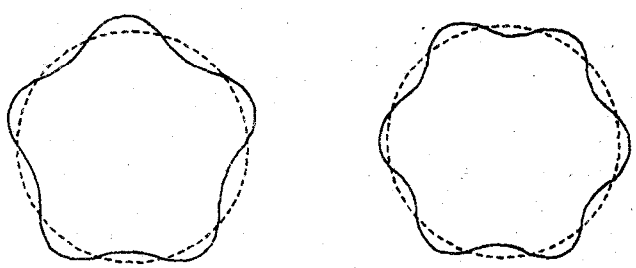
λ = तरंग दैर्ध्य

5. ∵ $2\pi r = \frac{nh}{mv}$

या $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ ∵ mvr = कोणीय संवेग है।

अतः mvr = कोणीय संवेग, $\frac{h}{2\pi}$ का पूर्ण गुणांक होता है।

6. उपरोक्त विवरण से स्पष्ट है कि डी ब्रॉग्ली के अनुसार तरंग संकल्पना तथा बोर की परिकल्पना में समानता है।



चित्र : डी-ब्रॉग्ली तरंगों तथा बोर के कक्ष में समानता

उदा.1. एक अवपरमाणुक (subatomic) कण की गतिज ऊर्जा 5.85 × 10^{-25} जूल है। द्रव्य तरंग की आवृति की गणना कीजिए (प्लांक स्थिरांक h = 6.66 × 10^{-34} kg m^2s^{-1})

हल: गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2$

$\frac{1}{2}mv^2 = 5.85 \times 10^{-25}$ kg m^2 sec^{-2}

$mv^2 = 2 \times 5.85 \times 10^{-25}$ kg m^2 sec^{-2}

दे–ब्रॉग्ली समीकरण से,

$\lambda = \frac{h}{mv}$

तथा $\lambda = \frac{V}{\nu}$ $\left(\because \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{V}{\lambda} \therefore \lambda = \frac{V}{\nu}\right)$

∴ $\frac{\text{वेग}}{\text{आवृत्ति}} = \frac{V}{\nu} = \frac{h}{mV}$

या $\nu = \frac{mv^2}{h}$

$= \frac{2 \times 5.85 \times 10^{-25} \text{ जूल}}{6.66 \times 10^{-34}\, kg\, m^2\, s^{-1}}$

$= \frac{2 \times 5.85 \times 10^{-25}\, kg\, m^2\, s^{-2}}{6.66 \times 10^{-34}\, kg\, m^2\, s^{-1}}$

$= 1.76 \times 10^9\ s^{-1}$

उदा. 2.8 : 0.1 kg द्रव्यमान और 10 ms^{-1} वेग से गति कर रही एक गेंद की तरंग-दैर्ध्य क्या होगी? **[Text Book Example]**

हल : दे ब्रॉग्ली समीकरण

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{(6.626 \times 10^{-34}\ Js)}{(0.1 kg)(10\, ms^{-1})}$$

$= 6.626 \times 10^{-34}$ m $(J = kg\, m^2 s^{-2})$

उदा. 2.9 : एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान 9.1 × 10^{-25} Kg है। यदि इसकी गतिज ऊर्जा 3.0 × 10^{-25} J है, तो इसका तरंग-दैर्ध्य क्या होगा? **[Text Book Example]**

हल : चूंकि गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2$

$$v = \left\{\frac{2 \times \text{गतिज ऊर्जा}}{m}\right\}^{1/2}$$

$$= \left(\frac{2 \times 3.0 \times 10^{-25} Kg\, m^2 s^{-2}}{9.1 \times 10^{-31} Kg}\right)^{1/2} = 812\ ms^{-1}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} Js}{(9.1 \times 10^{-31} Kg)(812\, ms^{-1})}$$

$= 8967 \times 10^{-10}$ m

$= 896.7$ nm

उदा. 2.10 : 3.6 Å तरंगदैर्ध्य लम्बाई वाले एक फोटॉन के द्रव्यमान की गणना कीजिए। **[Text Book Example]**

हल : $\lambda = 3.6$ Å $= 3.6 \times 10^{-10}$ m.

फोटॉन का वेग = प्रकाश का वेग

$$m = \frac{h}{\lambda \nu} = \frac{6.626 \times 10^{-34} Js}{(3.6 \times 10^{-10} m)(3 \times 10^8\ ms^{-1})}$$

$= 6.135 \times 10^{-29}$ kg

उदा.2. एक कण जिसका द्रव्यमान एक मिलिग्राम है तथा जो 4.5 × 10^5 सेमी प्रति सैकण्ड के वेग से घूम रहा है, का तरंगदैर्ध्य होगा- (h = 6.625 × 10^{-27} अर्ग सेकण्ड)

हल: दिया हुआ है।

m = 1 मिलीग्राम = 1 × 10^{-3} ग्राम

c = 4.5 × 10^5 सेमी/सेकण्ड

h = 6.6252 × 10^{-27} अर्ग सेकण्ड

अर्ग सेकण्ड = ग्राम सेमी^{2} sec^{-1}

$$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{mc}$$

$$= \frac{6.6252 \times 10^{-27} \text{ग्राम. सेमी}^2 \sec^{-1}}{1 \times 10^{-3} \text{ग्राम} \times 4.5 \times 10^5 \text{सेमी} \sec^{-1}}$$

या $$= \frac{6.252 \times 10^{-29}}{4.5} \text{ सेमी}$$

या **= 1.4722 × 10^{-29} सेमी**

उदा.3. यदि एक इलैक्ट्रान का द्रव्यमान 9.1 × 10^{-31} कि. ग्राम है तथा उसका वेग प्रकाश के वेग का 1/10 वाँ भाग है तो उसका तरंगदैर्ध्य होगा- (h = 6.6252 × 10^{-34} जूल सेकण्ड)

हल: दिया हुआ है।

m = 9.1 × 10^{-31} किग्रा.

$c = \frac{1}{10}$ प्रकाश का वेग

या $c = \frac{1}{10} \times 3 \times 10^8$ मीटर/से.

अर्थात 3 × 10^7 मीटर. से.$^{-1}$

h = 6.652 × 10^{-34} kg m^2 s^{-1}

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

or $$= \frac{6.6252 \times 10^{-34} \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}}{9.1 \times 10^{-31} \text{kg} \times 3 \times 10^7 \text{ms}^{-1}}$$

$$= \frac{6.6252}{9.1 \times 3} \times 10^{-10} \text{ मीटर}$$

या 0.2426 × 10^{-10} मीटर

या **2.426 × 10^{-11} मीटर**

उदा.4. यदि किसी कण का डी ब्राग्ली तरंग दैर्ध्य 1 Å हो तो उसका सवेंग ग्राम. से.मी. प्रति सेकण्ड मे क्या होगा (h = 6.6252 × 10^{-27} अर्ग सेकण्ड)

हल: दिया हुआ है।

λ = 1Å = 1 × 10^{-8} से.मी.

h = 6.6252 × 10^{-27} अर्ग सेकण्ड

$$\therefore \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

या $$p = \frac{6.6252 \times 10^{-27} \text{g cm}^2 \sec^{-1}}{1 \times 10^{-8} \text{cm}}$$

= 6.6252 × 10^{-19} ग्राम से.मी. /सेकण्ड

उदा.5. सोडियम रोशनी के फोटॉन का द्रव्यमान क्या होगा, यदि तरंग दैर्ध्य 5894 Å प्रकाश का वेग 3 × 10^8 मीटर/सेकण्ड h = 6.6252 × 10^{-34} कि. ग्राम m^2/sec. हो?

हल: $$\lambda = \frac{h}{m \times c} \text{ or } m = \frac{h}{c\lambda}$$

[∵ λ = 5894 Å or 5894 × 10^{-10} m]

$$m = \frac{6.6252 \times 10^{-34} \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ms}^{-1} \times 5894 \times 10^{-10} \text{m}}$$

या $$= \frac{6.6252}{17682} \times 10^{-32} \text{kg}$$

$$= 0.0003746 \times 10^{-32} \text{kg}$$

या **= 3.746 × 10^{-36} कि. ग्राम**

उदा.6. एक इलैक्ट्रॉन से सम्बद्ध तरंग दैर्ध्य का मान 7.2 × 10^{-7} मीटर है। इसकी गतिज ऊर्जा की गणना कीजिए (इलैक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.1 × 10^{-31} किग्रा)।

हल: दे–ब्रॉग्ली समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$v = \frac{h}{m\lambda} = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}}{9.1 \times 10^{-31} \text{kg} \times 7.2 \times 10^{-7} \text{m}}$$

$$= \frac{66 \times 10^3}{65.52} \text{m/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \text{kg} \times \left(\frac{66}{65.52} \times 10^3\right)^2 \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$= 4.55 \times 10^{-25} \text{kg m}^2/\text{s}^2$$

या **= 4.55 × 10^{-25} जूल**

अभ्यास 2.1

प्र.1. प्रकाश की द्वैती प्रकृति का किस वैज्ञानिक ने अध्ययन किया?

प्र.2. विवर्तन, व्यतिकरण घटनायें प्रकाश की कौनसी प्रकृति के आधार पर समझायी जा सकती है?

प्र.3. कृष्णिका विकिरण एवं प्रकाश विद्युत प्रभाव प्रकाश को कौनसी प्रकृति के आधार पर समझाया जा सकता है?

प्र.4. द्रव्य की द्वैत प्रकृति को किन पर लागू किया जा सकता है?

प्र.5. दे–ब्राग्ली सम्बन्ध को समझाये।

प्र.6. प्लांक के क्वान्टम सिद्धान्त का सूत्र लिखिये।

प्र.7. आइन्सटीन समीकरण दीजिये।

प्र.8. दे–ब्राग्ली सम्बन्ध को प्रदर्शित कीजिये।

प्र.9. विद्युत चुम्बकीय तरंगे व द्रव्य तरंगो में अन्तर स्पष्ट कीजिये।

प्र.10. दे–ब्राग्ली सिद्धान्त की सार्थकता को समझाइये।

प्र.11. कण व तरंग में अन्तर स्पष्ट कीजिये।

उत्तर 2.1

1. वैज्ञानिक आइन्सटीन ने।
2. प्रकाश की तरंग प्रकृति के आधार पर।
3. प्रकाश की कणीय प्रकृति पर।
4. अति सूक्ष्म पिण्डों जैसे– इलैक्ट्रॉन, प्रोटॉन, परमाणुओं, अणुओं आदि।
5. बिन्दु 2.5 देखें।
6. $E = h\nu$
7. $E = mc^2$
8. $\lambda = \frac{h}{mv}$ or $\frac{h}{p}$
9. पृष्ठ सं. 2.21 देखें।
10. पृष्ठ सं. 2.21 देखें।
11. पृष्ठ सं. 2.22 देखें।

2.11.1 अनिश्चितता सिद्धान्त

परमाणु का क्वांटम यान्त्रिकीय सिद्धान्त (Quantum Mechanical Theory of Atom)

1. इलैक्ट्रॉन की द्वैत प्रकृति (कण व तरंग) से यान्त्रिकी की एक नई पद्धति का प्रचलन हुआ, जो क्वान्टम यान्त्रिकी कहलाती है, जिसका सूत्रपात आस्ट्रेलिया के भौतिक वैज्ञानिक ई. श्रोडिन्जर और जर्मन भौतिक वैज्ञानिक डब्लू. हाइजेनबर्ग ने किया।
2. क्वान्टम यान्त्रिकी के दो आधार भूत सिद्धान्त निम्नलिखित है–
   (i) हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त और
   (ii) श्रोडिन्जर का तरंग समीकरण।

हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धान्त (Heisenberg's Uncertainty Principle)

- इस सिद्धान्त के अनुसार अत्यन्त सूक्ष्म कण जैसे– इलैक्ट्रॉन की यथार्थ स्थिति (Position) तथा यथार्थ संवेग (Momentum) दोनों को एक साथ ज्ञात करना असम्भव है।
- अतः किसी क्षण इलैक्ट्रॉन की स्थिति जितनी अधिक परिशुद्धता के साथ ज्ञात की जायेगी, उसके संवेग को ज्ञात करने में परिशुद्धता उतनी ही कम होगी।
- इस सिद्धान्त के अनुसार कण की स्थिति में अनिश्चितता (Δx) तथा संवेग में अनिश्चितता Δp ($\Delta p = m\,\Delta v$) का गुणनफल हमेशा स्थिर रहता है तथा $\frac{h}{4\pi}$ के बराबर या इससे अधिक होता है।

$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

यहाँ h = प्लांक स्थिरांक है।
Δx = कण की स्थिति में अनिश्चितता
Δp = कण के संवेग में अनिश्चितता
∴ $\Delta p = m \times \Delta v$ होता है।

- अतः वेग की अनिश्चितता भी ज्ञात की जा सकती है।

$$\Delta x \times m \times \Delta v \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta v \geq \frac{h}{4\pi \times m \times \Delta x}$$

- यहाँ Δx को कम किया जाये तो Δp बढ़ जाता है और इसका विपरीत भी। अतः हम कह सकते हैं कि इलैक्ट्रॉन जैसे छोटे कण के लिये उसकी स्थिति और वेग एक साथ ज्ञात नहीं किये जा सकते।
- उपरोक्त सिद्धान्त से यह स्पष्ट है कि यदि इलैक्ट्रॉन कण की स्थिति का बिल्कुल ठीक ठीक निर्धारण किया जाये तो उसके वेग में अनिश्चितता होगी तथा यदि इलैक्ट्रॉन तरंग का वेग बिल्कुल ठीक ठीक निर्धारित किया जाता है तो उसकी स्थिति में अनिश्चितता होगी।

उदा. 2.11 : एक सूक्ष्मदर्शी उपयुक्त फोटॉनों का उपयोग करके किसी परमाणु में इलेक्ट्रॉन को 0.1Å दूरी के अंतर्गत उसकी स्थिति जानने के लिए प्रयुक्त होता है। इसके वेग मापन में अंतर्निहित अनिश्चितता क्या है? **[Text Book Example]**

हल :

$$\Delta x.\Delta p = \frac{h}{4\pi} \text{ or } \Delta x.m\Delta v = \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta v = \frac{h}{4\pi.\Delta x.m}$$

$$\Delta v = \frac{6.626\times10^{-34}\,\text{Js}}{4\times3.14\times0.1\times10^{-10}\,\text{m}\times9.11\times10^{-31}\,\text{Kg}}$$

$$= 0.579\times10^{7}\ \text{m s}^{-1}\left(1\text{J} = 1\,\text{kg m}^2\text{s}^{-2}\right)$$

$$= 5.79\times10^{6}\ \text{m s}^{-1}$$

उदा. 2.12 : एक गोल्फ की गेंद का द्रव्यमान 40 ग्रा. तथा गति 45 m/s है। यदि गति को 2 प्रतिशत यथार्थता के अंदर मापा जा सकता हो, तो स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए। **[Text Book Example]**

हल : गति में 2 प्रतिशत की अनिश्चितता है, अर्थात्

$$45\times\frac{2}{100} = 0.9\,\text{ms}^{-1}$$

$$\Delta x = \frac{h}{4\pi m}$$

$$= \frac{6.626\times10^{-34}\,\text{Js}}{4\times3.14\times40\,\text{g}\times10^{-31}\,\text{Kg g}^{-1}(0.9\,\text{ms}^{-1})}$$

$$= 1.48\times10^{-3}\ \text{m}$$

उदा.7. यदि इलैक्ट्रॉन की स्थिति में 0.005 nm की अनिश्चितता हो तथा इलैक्ट्रॉन का द्रव्यमान 9.109×10^{-31} Kg हो तो वेग की अनिश्चितता क्या होगी $h = 6.6252\times10^{-34}$ जूल सेकण्ड हो?

हल: स्थिति में अनिश्चितता

$$(\Delta x) = 0.005\ \text{nm} = 0.005\times10^{-9}\ \text{m} = 5\times10^{-12}\ \text{m}$$

इलैक्ट्रॉन का द्रव्यमान (m) = 9.109×10^{-31} Kg

$$\therefore \quad \Delta v = \frac{h}{4\pi m\times\Delta x}$$

या

$$= \frac{6.6252\times10^{-34}\,\text{kg m}^2\,\text{sec}^{-1}}{4\times3.14\times5\times10^{-12}\times9.109\times10^{-31}\text{kg}}$$

या $\Delta v = \dfrac{6.6252\times10^{-34}}{4\times3.14\times5\times9.109\times10^{-43}} m\,sec^{-1}$

$\Delta v = 0.0231632 \times 10^3 m\,sec^{-1}$

$= \mathbf{.0115816 \times 10^3\ m\ sec^{-1}}$

उदा.8. एक किलोग्राम संहति वाले कण के वेग में अनिश्चितता क्या होगी, यदि स्थिति में अनिश्चितता 1 Å हो? ($h = 6.6252 \times 10^{-34}$ Js)

हलः दिया हुआ–

$\Delta x = 1\ Å = 1 \times 10^{-10}$ m

m = 1 Kgm

$h = 6.6252 \times 10^{-34}$ Js

$$\Delta v = \frac{h}{4\pi\times m\times\Delta x}$$

या $= \dfrac{6.6252\times10^{-34}\,kg\ m^2\ s^{-1}}{4\times3.14\times1kg\times1\times10^{-10}m}$

या $\Delta v = \dfrac{6.6252\times10^{-34}}{12.56\times10^{-10}}$

$= \mathbf{0.527 \times 10^{-24}\ m/sec}$

उदा.9. यदि संवेग में अनिश्चितता 1×10^{-2} gm cm/sec. हो तो स्थिति में अनिश्चितता क्या होगी? ($h = 6.6252 \times 10^{-34}$ Js)

हलः दिया हुआ–

$\Delta p = 1 \times 10^{-2}$ gm cm/sec $= 1 \times 10^{-7}$ Kg m/sec

$h = 6.6252 \times 10^{-34}$ Js.

$$\Delta x\times\Delta p = \frac{h}{4\pi}$$

$\therefore$ $\Delta x = \dfrac{h}{4\pi\times\Delta p}$

or $\Delta x = \dfrac{6.6252\times10^{-34}\,kg\,m^2\,s^{-1}}{4\times3.14\times10^{-7}\,kg\,m\,s^{-1}}$

$= \mathbf{0.527 \times 10^{-27}\ m}$

उदा.10. एक इलेक्ट्रॉन की स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए, यदि उसके वेग में अनिश्चितता 5.7×10^5 मीटर प्रति सेकण्ड है। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $= 9.1 \times 10^{-31}$ किग्रा. $h = 6.6 \times 10^{-34}$ किग्रा मी^{2} से$^{-1}$)

हलः हाइजेनबर्ग के अनिश्यितता सिद्धान्त के अनुसार

$$\Delta x \times \Delta p = \frac{h}{4\pi}$$

या $\Delta x \times m \times \Delta v = \dfrac{h}{4\pi}$

$$\Delta x = \frac{h}{4\pi\times m\times\Delta v}$$

$$= \frac{6.6\times10^{-34}\times kg\,m^2\,s^{-1}}{4\times\frac{22}{7}\times9.1\times10^{-31}\,kg\times5.7\times10^5\,m/s}$$

$= 1.0 \times 10^{-10}$ m

इसका अर्थ है, कि स्थिति की अनिश्चितता $\pm10^{-10}$ m है।

उदा.11. एक इलैक्ट्रॉन के वेग में अनिश्चितता की गणना कीजिए यदि उसकी स्थिति में अनिश्चितता 10^{-10} m है।

हलः हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता के अनुसार,

$$\Delta x\times(m\times\Delta v) = \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta v = \frac{h}{4\pi\times m\times\Delta x}$$

$$= \frac{6.6\times10^{-34}kg\,m^2\,s^{-1}}{4\times\frac{22}{7}\times9.1\times10^{-31}kg\times10^{-10}m}$$

$= \mathbf{5.77 \times 10^5\ m/sec}$

श्रोडिंगर का तरंग समीकरण–

डी–ब्रॉग्ली सिद्धान्त तथा हाइजेनबर्ग अनिश्चितता सिद्धान्त के आधार पर वैज्ञानिक श्रोडिंगर ने क्वाण्टम यांत्रिक मॉडल दिया। इस परिकल्पना में इलेक्ट्रॉन के व्यवहार को एक तरंग समीकरण के रूप में प्रदर्शित किया, इसे श्रोडिगर समीकरण कहते हैं।

$$\frac{\delta^2\psi}{\delta x^2}+\frac{\delta^2\psi}{\delta y^2}+\frac{\delta^2\psi}{\delta z^2}+\frac{8\pi^2m}{n^2}[E-V]\psi=0$$

यहाँ x, y, z तीनों निर्देशांक है। h = प्लांक स्थिरांक

m = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान V = इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा

E = इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा ψ = तरंग फलन

ψ^2 का मान इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की संभावना को प्रदर्शित करता है। ψ^2 का मान जितना अधिक होगा, इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की संभावना भी उतनी ही अधिक होगी। वह क्षेत्र जहाँ इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की संभाववना अधिक है, कक्षक कहलाता है।

अभ्यास 2.2

प्र.1. अनिश्चितता सिद्धान्त के बारे में बताइये।

प्र.2. वेग की अनिश्चितता ज्ञात करने का सूत्र दीजिये।

प्र.3. e की स्थिति में अनिश्चितता का सूत्र दीजिये।

प्र.4. यदि इलेक्ट्रॉन की स्थिति में 0.005 nm की अनिश्चितता हो तथा इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान 9.109×10^{-31} Kg हो तो वेग की अनिश्चितता क्या होगी $h = 6.6252 \times 10^{-34}$ जूल सेकण्ड हो?

प्र.5. एक किलाग्राम संहति वाले कण के वेग में अनिश्चितता क्या होगी, यदि स्थिति में अनिश्चितता 1Å हो? ($h = 6.6252 \times 10^{-34}$ Js)

प्र.6. यदि संवेग में अनिश्चितता 1×10^{-2} gm cm/sec. हो तो स्थिति में अनिश्चितता क्या होगी? ($h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js)

प्र.7. एक इलेक्ट्रॉन की स्थिति में अनिश्चितता की गणना कीजिए, यदि उसके वेग में अनिश्चितता 5.7×10^5 मीटर प्रति सेकण्ड है। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $= 9.1 \times 10^{-31}$ किग्रा, ($h = 6.6 \times 10^{-34}$ किग्रा मी^{2} से$^{-1}$)

प्र.8. एक इलैक्ट्रॉन के वेग में अनिश्चितता की गणना कीजिए यदि उसकी स्थिति में अनिश्चितता 10^{-10}m है।

उत्तर 2.2

1. पृष्ठ संख्या 2.23 पर बिन्दु 2.2.3 देखें।

2. $\Delta v = \frac{h}{4\pi \times m \times \Delta x}$

3. $\Delta x = \frac{h}{4\pi \times \Delta p}$

4. पृष्ठ संख्या 2.23 पर उदाहरण 7 देखें।
5. पृष्ठ संख्या 2.24 पर उदाहरण 8 देखें।
6. पृष्ठ संख्या 2.24 पर उदाहरण 9 देखें।
7. पृष्ठ संख्या 2.24 पर उदाहरण 10 देखें।
8. पृष्ठ संख्या 2.24 पर उदाहरण 11 देखें।

2.12 परमाणु का क्वाण्टम यांत्रिकी मॉडल (Quantum Mechanical Model of Atom)

- न्यूटन के गति सिद्धांत पर आधारित चिरसम्मत यांत्रिकी (Classical mechanics) अत्यंत सूक्ष्म अवपरमाण्वीय द्रव्यों पर लागू नहीं होती तथा द्रव्य की द्वैत प्रकृति को भी स्पष्ट नहीं करती।
- अतः क्वाण्टम यांत्रिकी मॉडल विकसित किया गया। क्वाण्टम यांत्रिकी एक सैद्धांतिक विज्ञान है, जिसमें उन अति सूक्ष्म वस्तुओं की गतियों का अध्ययन किया जाता है, जो तरंग और कण दोनों के गुण दर्शाती है।
- क्वाण्टम यांत्रिकी का मूल समीकरण श्रोडिंजर द्वारा प्रतिपादित किया गया। ऐसे परमाणु या अणु जिनकी ऊर्जा समय के साथ परिवर्तित नहीं होती, ऐसे तंत्र के लिये श्रोडिंजर समीकरण इस प्रकार लिखा जाता है–

$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$

- यहाँ $\hat{H}$ एक गणितीय संकारक (operator) है, जिसे हेमिल्टोनियन ऑपरेटर कहते हैं। श्रोडिंजर समीकरण के उपयोग से परमाणु या अणु की कुल ऊर्जा (E) द्वारा $\hat{H}$ संकारक को व्यक्त किया जा सकता है।
- किसी निकाय की कुल ऊर्जा उसके अवपरमाविक कणों की गतिज ऊर्जा, इलेक्ट्रॉन तथा नाभिक के बीच आकर्षण व प्रतिकर्षण विभव से संबंधित होती है।
- हाइड्रोजन परमाणु के लिये श्रोडिंजर समीकरण के हल द्वारा इलेक्ट्रॉन के संभव क्वांटित ऊर्जा–स्तर और उसके संगत तरंग फलन (Ψ) प्राप्त होते हैं।
- श्रोडिंजर समीकरण के प्राकृतिक हल से प्राप्त n, ℓ तथा m तीनों क्वाण्टम संख्याओं द्वारा ψ तरंगफलन को निर्दिष्ट किया जाता है।
- इलेक्ट्रॉन के बारे में जानकारी, उसके ऊर्जा स्तर के संगत तरंग फलन (Ψ) से मिलती है। ψ का मान इलेक्ट्रॉन के निर्देशांकों (x, y, z) पर निर्भर करता है।
- तरंग फलन ψ का कोई भौतिक अर्थ नहीं होता। इलेक्ट्रॉन के तरंग फलन को 'परमाणु कक्षक' (atomic orbital) कहते है। किन्तु $|\Psi^2|$ किसी बिन्दु पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता (Probability) दर्शाता है।
- हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम की पूर्ण व्याख्या क्वाण्टम यांत्रिकी द्वारा संभव है।
- श्रोडिंजर समीकरण द्वारा बहु इलेक्ट्रॉन (Multi-electron) परमाणुओं का यथार्थ (exact) हल नहीं दिया जा सकता था। अतः इसके लिये सन्निकटन (approximation) विधि का उपयोग किया गया।
- इनमें नाभिक में आवेश बढ़ने के कारण कक्षक कुछ छोटे हो जाते हैं।
- बहु इलेक्ट्रॉन परमाणुओं के कक्षकों की ऊर्जाएं n व ℓ क्वाण्टम संख्याओं पर निर्भर करती है, जबकि हाइड्रोजन परमाणु के कक्षकों की ऊर्जा केवल n मुख्य क्वाण्टम संख्या पर निर्भर करती है।
- क्वाण्टम यांत्रिकी मॉडल, श्रोडिंजर समीकरण द्वारा परमाणु संरचना का स्वरूप प्रदान करता है।
- परमाणु के क्वाण्टम यांत्रिकी मॉडल के प्रमुख लक्षण निम्न है–

(i) परमाणुओं में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा के निश्चित मान ही संभव है। इसे 'ऊर्जा का क्वांटिकरण' (Quantisation of energy) कहते हैं।
(ii) क्वांटित इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तर के अनुमत हल (allowed value), श्रोडिंजर समीकरण से प्राप्त होते हैं।
(iii) यह मॉडल इलेक्ट्रॉन के सुनिश्चित पथ की अपेक्षा, अनेक बिन्दुओं पर इलेक्ट्रॉन के होने की प्रायिकता (Probability) व्यक्त करता है।
(iv) क्वाण्टम यांत्रिकी में तरंग फलन 'ψ' निश्चित ऊर्जा के कक्षक का अभिलाक्षणिक होता है, जिसमें इलेक्ट्रॉन उपस्थित होता है।
(v) तरंग फलन का वर्ग $|\Psi^2|$ का मान परमाणु में नाभिक के चारों ओर का वह क्षेत्र बताता है, जहां इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की संभावना अधिक होगी। $|\Psi^2|$ 'प्रायिकता घनत्व' (Probability density) कहलाता है।

2.13 क्वॉन्टम संख्यायें (Quantum Numbers)

- किसी परमाणु में इलेक्ट्रॉन की सही स्थिति, इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा व बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन की प्रकृति ज्ञात करने के लिए चार इन्डेक्स संख्याओं की अवाश्यकता होती है, जिन्हें **क्वाटम संख्यायें** कहते हैं।

(i) प्रमुख क्वान्टम संख्या (*n*)
(ii) दिगंशी क्वान्टम संख्या (*l*)
(iii) चुम्बकीय क्वान्टम संख्या (*m*)
(iv) चक्रण क्वान्टम संख्या (*s*)

अतः क्वान्टम संख्याएं चार संख्याओं का समूह है जो परमाणु में उपस्थित इलेक्ट्रॉन के बारे में जानकारी देता है। जैसे- उसकी ऊर्जा, आकृति, अभिविन्साय एवं चक्रण आदि।

2.13.1 प्रमुख क्वान्टम संख्या (Principal Quantum number)

- इस क्वान्टम संख्या को छोटे अक्षर *n* से प्रदर्शित करते है।
- यह क्वान्टम संख्या परमाणु में कोश, कक्षा व ऊर्जा, के बारे में बताता है।
- इस क्वान्टम संख्या को वैज्ञानिक बोर ने खोजा था।
- *n* का मान 1 से प्रारम्भ होता है व अनन्त (∞) तक चलता है। लेकिन शून्य नही होता है।

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \ldots\ldots\infty$$

- *n* के मानों को क्रमशः K L M N O P कोश के द्वारा प्रदर्शित करता है।

$n =$ 1, 2, 3, 4, 5, 6
K, L, M, N, O, P कोश /कक्षा

- किसी कोश में अधिकतम इलेक्ट्रॉनस की संख्या $2n^2$ के तुल्य होती है।

K, L, M, N, O, P कोश
$n =$ 1, 2, 3, 4, 5, 6
इलेक्ट्रॉनस = $2n^2$ = 2, 8, 18, 32, 50, 72

- इस क्वान्टम संख्या की सहायता से परमाणु का आकार या इलेक्ट्रॉन की केन्द्र से दूरी ज्ञात करते है।

$$r = 0.529 \times \frac{n^2}{Z} \text{Å}$$

- इस क्वान्टम संख्या की सहायता से परमाणु में स्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा ज्ञात की जाती है।

$$E = -13.6 \times \frac{Z^2}{n^2} eV$$

- यह क्वान्टम संख्या चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ज्ञात की जाती है।
- जैसे–जैसे नाभिक से दूरी बढ़ती है ऊर्जा का मान बढ़ता है।

K < L < M < N

2.13.2 दिगंशी क्वान्टम संख्या (Azimuthal Quantum Number)

- इस क्वान्टम संख्या की खोज करने वाले वैज्ञानिक समरफिल्ड थे।
- इस क्वान्टम संख्या को कोणिय संवेग क्वान्टम संख्या भी कहते है।
- इस क्वान्टम संख्या को l से प्रदर्शित करते है।
- यह क्वान्टम संख्या परमाणु में इलेक्ट्रॉन अभ्र अथवा उपकोश की आकृति उपकक्षा व उप ऊर्जा के बारे में बताते हैं।
- यह क्वान्टम संख्या इलेक्ट्रॉन के कोणिय संवेग को ज्ञात करने में मदद करती है।

कक्षीय कोणीय संवेग की गणना निम्न सूत्र द्वारा कर सकते हैं-

$$\text{कक्षीय कोणीय संवेग} = \frac{h\sqrt{l(l+1)}}{2\pi}$$

h = प्लांक स्थिरांक l = द्विगंशी क्वाण्टम संख्या

- l का मान 0 से प्रारम्भ होकर $(n-1)$ तक चलता है। अतः l का अन्तिम मान हमेशा n से एक (1) कम होगा।

l = 0, 1, 2, 3, 4 ......(n-1)

- l के मानों को क्रमशः s, p, d, f उपकोशों द्वारा प्रदर्शित करते है।

l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... $(n-1)$
s p d f g h उपकोश

- यहां s, p, d, f का अर्थ sharp, principal, diffuse व fundamental से है ये चारों शब्द वैज्ञानिकों द्वारा रेखीय स्पेक्ट्रम में प्रयोग में लिये गये थे।
- किसी उपकोश में अधिकतम इलेक्ट्रॉनस की संख्या $2(2l+1)$ के तुल्य होते है।

	s	p	d	f	g	h	उपकोश
$l =$	0	1	2	3	4	5	
इलेक्ट्रॉनस = $2(2l+1)$ =	2	6	10	14	18	22	

अतः एक ही कोश के दो निकटतम उपकोशों में इलैक्ट्रॉनस की संख्या का अन्तर चार इलेक्ट्रॉनस का है।

- s- उपकोश में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम संख्या = 2
- p- उपकोश में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम संख्या = 6
- d- उपकोश में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम संख्या = 10
- f- उपकोश में इलेक्ट्रॉन की अधिकतम संख्या = 14
- हाइड्रोजन के अलावा, अन्य तत्वों में एक ही कोश के विभिन्न उपकोशों की ऊर्जा, l के मान बढ़ने पर बढ़ती है।

4s < 4p < 4d < 4f

- किसी कोश में अधिकतम उपकोशों की संख्या = l के कुलमान = n का मान

उदाहरण के लिये–

(i) K-कोश में, n का मान = एक है।
अतः उपकोश की संभावित संख्या = एक होगी
l के कुल मान = 1 होगा
l का मान = 0 होगा
उपकोश का नाम = 1s होगा

(ii) L-कोश में, n का मान = 2 है।
अतः उपकोशों की संभावित संख्या = दो होगी
l के कुलमान = 2 होंगे
l के मान क्रमशः = 0, 1 होंगे
उपकोश के नाम होंगे 2s, 2p

(iii) M-कोश के लिये, $n = 3$ है।
अतः उपकोशों की संभावित संख्या = तीन होगी
l के कुलमान = 3 होंगे
l के मान है = 0, 1, 2
उपकोशों के नाम होंगे = 3s, 3p व 3d होंगे

- इस क्वान्टम संख्या की सहायता से उपकोश की आकृति ज्ञात की जाती है।

s- उपकोश = गोलाकार
p- उपकोश = डम्बल आकृति
d- उपकोश = द्वि डम्बल आकृति
f- उपकोश = जटील आकृति

- s उपकोश प्रथम कोश से प्रारम्भ हो जाता है। $1s$ में $n = 1, l = 0$
- p उपकोश द्वितीय कोश से प्रारम्भ हो जाता है। $2p$ में $n = 2, l = 1$
- d उपकोश तृतीय कोश से प्रारम्भ हो जाता है। $3d$ में $n = 3, l = 2$
- f उपकोश चतुर्थ कोश से प्रारम्भ हो जाता है। $4f$ में $n = 4, l = 3$
- यदि l का मान n के तुल्य हो या n के मान से अधिक हो तो ऐसा उपकोश संभव नहीं।

1p, 2d, 3f, 4g व 5h उपकोश संभव नहीं
(क्योंकि इनमें n व l के मान समतुल्य है)
1d, 2f, 3g उपकोश संभव नहीं है
(क्योंकि यहां l का मान n से अधिक हो जाता है)

- यह क्वान्टम संख्या चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ज्ञात की जाती है।

• संक्षिप्त रूप में हम निम्न सारणी द्वारा समझ सकते हैं-

मुख्य क्वाण्टम संख्या (n)	उपकोशों की संख्या	द्विगंशी क्वाण्टम संख्या (l) (0 से n–1)	उपकोशों के नाम	कक्षकों की संख्या (21 + 1)	इलेक्ट्रॉनों की संख्या 2(21 + 1)	कोश में कुल इलेक्ट्रॉन
1	1	0	s	1	2	2
2	2	0	s	1	2	
		1	p	3	6	8
3	3	0	s	1	2	
		1	p	3	6	
		2	d	5	10	18
4	4	0	s	1	2	
		1	p	3	6	
		2	d	5	10	
		3	f	7	14	32

प्रमुख क्वान्टम संख्या व दिंगशीक्वान्टम संख्याओं पर प्रश्न

उदा.1. n - के निम्न मानों के लिये कोश के नाम बताइये

$n = 3, 1, 5, 2, 6, 4$

हल: $n = 3$ के लिये कोश का नाम M कोश होगा

$n = 1$ के लिये कोश का नाम K कोश होगा

$n = 5$ के लिये कोश का नाम O कोश होगा

$n = 2$ के लिये कोश का नाम L कोश होगा

$n = 6$ के लिये कोश का नाम P कोश होगा

$n = 4$ के लिये कोश का नाम N कोश होगा

उदा2. l- के निम्न मानों के लिये उपकोश के नाम बताइये।

$l = 2, 0, 3, 1, 4$

हल: $l = 2$ के लिये कोश का नाम d उपकोश होगा

$l = 0$ के लिये कोश का नाम s उपकोश होगा

$l = 3$ के लिये कोश का नाम f उपकोश होगा

$l = 1$ के लिये कोश का नाम p उपकोश होगा

$l = 4$ के लिये कोश का नाम g उपकोश होगा

उदा.3. n व l के निम्न मानों के लिये उपकोश के नाम बताइये।

(i) $n = 3; l = 2$ (ii) $n = 6 ; l = 0$

(i) $n = 4; l = 1$ (iv) $n = 5 ; l = 3$

हल: (i) $n = 3; l = 2$ के लिये उपकोश का नाम $3d$ होगा

(ii) $n = 6; l = 0$ के लिये उपकोश का नाम $6s$ होगा

(iii) $n = 4; l = 1$ के लिये उपकोश का नाम $4p$ होगा

(iv) $n = 5; l = 3$ के लिये उपकोश का नाम $5f$ होगा

उदा.4. निम्न में इलैक्ट्रॉनस की कुल संख्या क्या होगी-

(i) किसी कक्षा में (ii) किसी उपकोश में

(iii) N कक्षा में (iv) f उपकोश में

(v) $5d$ उपकोश में (vi) पांचवी ऊर्जा स्तर में .

हल: (i) किसी कक्षा में इलेक्ट्रॉनस की संख्या $= 2n^2$

(ii) किसी उपकोश में इलेक्ट्रॉनस की संख्या $= 2(2l + 1)$

(iii) N कक्षा में इलेक्ट्रॉनस की संख्या $= 2n^2 = 2\times4^2 = 32$

(iv) f उपकोश में इलेक्ट्रॉनस की संख्या $= 2(l + 1)$

$= 2(2\times3+1) = 14$

(v) $5d$ उपकोश में इलेक्ट्रॉनस की संख्या $= 2(l + 1)$

$= 2(2\times2+1) = 10$

(vi) पांचवी ऊर्जा स्तर में इलेक्ट्रॉनस की संख्या

$= 2n^2 = 2\times5^2 = 50$

उदा.5. यदि $n + l = 6$ हो तो निम्न प्रश्नों के उत्तर दीजिये

(i) संभावित उपकोशों की संख्या क्या होगी

(ii) उपकोशों के नाम क्या होंगे।

(iii) इलेक्ट्रॉनस की कुल संख्या क्या होगी।

हल: $n - l = 6$

$6 + 0 = 6$ = 6s√

$5 + 1 = 6$ = 5p√

$4 + 2 = 6$ = 4d√

$3 + 3 = 6$ × = 3f ×

(i) अतः उपकोशों की संभावित संख्या 3 होगी।

(ii) उपकोशों के नाम 6s, 5p व 4d होंगे।

(iii) इलेक्ट्रॉनस की कुल संख्या 6s में 2; 5p उपकोश में 6 व 4d उपकोशों में 10 इलेक्ट्रॉनस, अतः कुल इलेक्ट्रॉनस = 2 + 6 + 10 = 18 होंगे।

उदा.6. 2d उपकोश संभव नहीं क्यों?

हल: हम जानते है कि l का मान हमेशा n के मान से कम होता है। $2d$ उपकोश में n का मान $[n = 2]$ व l का मान $[l = 2]$ समान है जो कि संभव नहीं अतः 2d उपकोश संभव नहीं।

2.13.3 चुम्बकीय क्वान्टम संख्या (Magnetic Qunatum Number)

• इस क्वांटम संख्या को m से इंगित करते है।

• यह क्वान्टम संख्या परमाणु में कक्षक के बारे में बताता है।

• इस क्वान्टम संख्या का आविष्कार वैज्ञानिक लेन्डे (Lande) ने किया था।

• यह क्वान्टम संख्या बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र मे इलेक्ट्रॉन की प्रकृति समझाता है।

- जब किसी परमाणु को बाह्य चुम्बीकय क्षेत्र में रखते है। तो गति करने वाले इलेक्ट्रॉन, कोणिय संवेग प्रदर्शित कर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। इस पर बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव से, एक परमाणु में उपस्थित उपकोश एक या एक से अधिक भागों से विभक्त हो जाते है। जिसे **कक्षकों का अभिविन्यास** कहते है। व इस प्रभाव को **जीमॉन प्रभाव** कहते है।
- यदि परमाणु को विद्युत क्षेत्र में रखा जाये जो इस प्रभाव को **स्टॉक प्रभाव** कहते है।
- [अभिविन्यासों की कुल संख्या] = [कक्षकों की कुल संख्या] = m के कुल मान
- m का माना $-l$ से प्रारम्भ होकर $+l$ तक चलता है।

$$m = -l \ldots\ldots 0 \ldots\ldots +l$$

(i) यदि $l = 0$ हो तो m का मान सिर्फ = 0 होगा

(ii) यदि $l = 1$ हो तो m के मान क्रमशः = −1, 0, +1 होंगे

(iii) यदि $l = 2$ हो तो m के मान क्रमशः = −2, −1, 0, +1 व +2 होंगे

(iv) अतः s उपकोश में एक कक्षक होता है जिसे s कक्षक कहते है।

(iv) p उपकोश में तीन p कक्षक होते है। जिन्हें p_x, p_y व p_z कक्षक कहते हैं। इनमें m के मान क्रमशः −1, +1 व 0 है।

$p_x \quad p_z \quad p_y$ कक्षक

$m = \; -1 \quad 0 \quad +1$

(vi) d- उपकोश में पाँच d कक्षक होते है जिन्हें d_{xy}, d_{xz}, d_z^2, d_{yz} व $d_{x^2-y^2}$ कक्षक कहते है। इनमें m के मान क्रमशः −2, −1, 0 +1 व +2 है।

$l = 2$

$m =$	−2	−1	0	+1	+2	
	d_{xy}	d_{xz}	d_{z^2}	d_{yz}	$d_{x^2-y^2}$	कक्षक
	or	or		or	or	
	$d_{x^2-y^2}$	d_{yz}		d_{xz}	d_{xy}	कक्षक

(iv) यदि $n = 1$

कुल कक्षकों की संभावित संख्या = $n^2 = 1^2 = 1$

1s कक्षक

(v) यदि $n = 2$

कुल कक्षकों की संभावित संख्या = $n^2 = 2^2 = 4$

$2s$, $2p_x$ $2p_z$ $2p_y$

(vi) यदि $n = 3$

कुल कक्षकों की संभावित संख्या = $n^2 = 3^2 = 9$

$3s$, $3p_x$ $3p_z$ $3p_y$, $3d_{xy}$ $3d_{xz}$ $3d_{z^2}$ $3d_{yz}$ $3d_{x^2-y^2}$ कक्षक

ऊर्जा स्तर	मुख्य क्वा. संख्या (n)	l के संभावित मान	उपकोश का संकेत	m के संभावित मान	कक्षकों की संख्या: उप ऊर्जा स्तर में	कक्षकों की संख्या: मुख्य ऊर्जा स्तर में (n^2)	इलेक्ट्रॉनों की कुल संख्या ($2n^2$)
K	1	0	1s	0	1	1	2
L	2	0	2s	0	1	4	8
		1	2p	+1, 0, −1	3		
M	3	0	3s	0	1	9	18
		1	3p	+1, 0, −1	3		
		2	3d	+2, +1, 0, −1, −2	5		
N	4	0	4s	0	1	16	32
		1	4p	+1, 0, −1	3		
		2	4d	+2, +1, 0, −1, −2	5		
		3	4f	+3, +2, +1, 0, −1 −2, −3	7		

उदा.7. n , l व m के निम्न मानों के लिये कक्षक का मान बताइये।

(i) $n = 3$; $l = 1$, $m = 0$

(ii) $n = 5$; $l = 0$; $m = 0$

(iii) $n = 4$; $l = 2$; $m = 0$

(iv) $n = 6$; $l = 2$; $m = -2$

हल: (i) $n = 3$, $l = 1$, $m = 0$ मानों के लिये कक्षक का नाम $3p_z$ होगा

(ii) $n = 5$, $l = 0$, $m = 0$ मानों के लिये कक्षक का नाम 5s होगा

(iii) $n = 4$, $l = 2$, $m = 0$ मानों के लिये कक्षक का नाम $4d_{z^2}$ होंगे

(iv) $n = 6$, $l = 2$, $m = -2$ मानों के लिये कक्षक का नाम $6d_{xy}$ या $6d_{x^2-y^2}$ होंगे

उदा.8. किसी उपकोश में अभिविन्यासों की कुल संख्या क्या होंगी

हल: किसी उपकोश में अभिविन्यासों की कुल संख्या = $(2l + 1)$

उदा.9. किसी कोश में अभिविन्यासों की कुल संख्या क्या होंगी

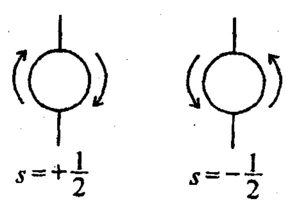
हल: किसी कोश में अभिविन्यासों की कुल संख्या = n^2 होगी

उदा.10.यदि l का मान x हो तो m के माना क्या होंगे

हल: $-x, -x+1, -x+2, -x+3$ ......0...... $x-3, x-2, x-1+x$ होंगे।

(iv) चक्रण क्वान्टम संख्या (Spin Quantum Number)

- इस क्वान्टम संख्या को s से प्रदर्शित करते है।
- परमाणु में इलेक्ट्रॉन अपनी अक्ष के चारों ओर भी चक्कर लगाता है। इस गति को इलेक्ट्रॉन की **चक्रण गति** कहते है।
- यह क्वान्टम संख्या इलेक्ट्रॉन के चक्रण को समझाती है।
- इलेक्ट्रॉन का चक्रण सिर्फ दो प्रकार का होता है, क्लोकवाइज व एन्टीक्लोकवांइज चक्रण, अतः चक्रण क्वान्टम संख्या के मान क्रमशः $+\frac{1}{2}$ व $-\frac{1}{2}$ होता है।
- इस क्वान्टम संख्या के मान किसी पर निर्भर नहीं करता बल्कि अन्य क्वांटम संख्याओं के मान एक दूसरे पर निर्भर करते है।
- चक्रण क्वान्टम संख्या का मान $s = +\frac{1}{2}$ या $-\frac{1}{2}$ ये इलेक्ट्रॉन के चक्रण को ↑ व ↓ से प्रदर्शित करते हैं।



- किसी इलेक्ट्रॉन का चक्रण कोणिय संवेग $\frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)}$
- एक कक्षक में अधिकतम दो इलेक्ट्रॉन रह सकते है जिनके चक्रण क्वांटम संख्या के मान भिन्न हो।
- किसी भी कक्षक में तीसरा इलेक्ट्रॉन कभी भी प्रवेश नहीं कर पाता। क्योंकि दो इलेक्ट्रॉनस की चक्रण समतुल्य हो जाती है।
- इस क्वान्टम संख्या की खोज वैज्ञानिक *Unlenbeck* या *Goudsmet* ने की।

उदा. 2.13. मुख्य क्वांटम संख्या (n = 3) से संबंधित कक्षकों की कुल संख्या क्या होती है ? **[Text Book Example]**

हल- n = 3 के लिए, l के 0,1 तथा 2 मान संभव है। इसलिए एक 3s कक्षक होता है, जिसके लिए n = 3, l = 0 और m_t = 0) होते हैं, तीन 3p कक्षक होते हैं, जिनके लिए (n =3, l = 1 और $m_t = -1, 0 + 1$) होते हैं। इसी प्रकार पाँच 3d कक्षक होते हैं, जिनके लिए n = 3, l = 2 और $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ हो सकता है। इसलिए कक्षकों की कुल संख्या = 1 + 3 + 5 = 9 कक्षकों की संख्या = n^2 अर्थात् $3^2 = 9$ संबंध का उपयोग करके भी समान मान प्राप्त किए जा सकते हैं।

उदा.2.11. s,p,d,f संकेतन का प्रयोग करके निम्नलिखित क्वांटम संख्याओं वाले कक्षक के बारे में बताइए-

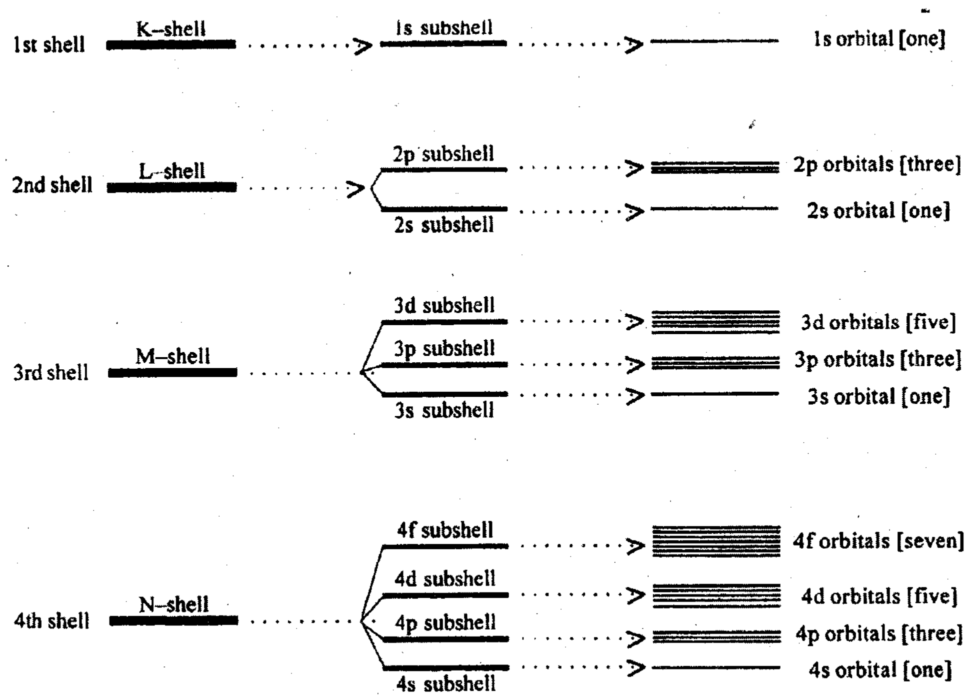
(क) n = 2, l = 1 **(ख) n = 4, l = 0,**

(ग) n = 5, l = 3, **(ग) n = 3, l = 2**

हल-	n	l	कक्षक
(क)	2	1	2p
(ख)	4	0	4s
(ग)	5	3	5f
(घ)	3	2	3d

2.13.5 प्रमुख बिन्दु (Important Points)

1. चौथे कोश में उपकोशों, कक्षकों की संख्या को निम्न प्रकार प्रदर्शित करते है।
   चौथे कोश में चार उपकोश होंगे – 4s, 4p, 4d, 4f
   चौथे कोश में 16 कक्षक होंगे
2. प्रमुख क्वान्टम संख्या (n) परमाणु का आकार इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा बताता है।
3. दिगंशी क्वान्टम संख्या (l) कक्षक की आकृति बताता है।
4. चुम्बकीय क्वान्टम संख्या (m) बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में कक्षकों के विन्यास को निरूपित करता है।
5. चक्रण क्वान्टम संख्या (s) कक्षक में इलेक्ट्रॉन के चक्रण को दर्शाती है।
6. किसी कोश में उपकोशों की कुल संख्या = n का मान
7. किसी कोश में कक्षकों की कुल संख्या = n^2
8. किसी उपकोश में कक्षकों की कुल संख्या = $(2l + 1)$
9. n का मान कभी भी शून्य नहीं होता
   (इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का मान अनन्त हो जाने के कारण)
10. परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा का मान हमेशा ऋणात्मक होता है (स्थितिज ऊर्जा > गतिज ऊर्जा)
11. l का मान हमेशा n से कम होता है।
12. 1p, 2d, 3f, 4g व 5h उपकोश परमाणु में संभव नहीं
13. 1d, 2f, 3g, 4h उपकोश परमाणु में संभव नहीं



चित्र : विभिन्न कोशों में उपकोशों, कक्षकों की संख्या को प्रदर्शित करता रेखाचित्र

14. इलेक्ट्रॉन का कोणिया संवेग = $\frac{h}{2\pi}\sqrt{l(l+1)}$

15. इलेक्ट्रॉन का चक्रण कोणिय संवेग = $\frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)}$

16. यदि $n = 1$ हो तो l का प्रथम व अन्तिम मान समान होगा ओर यह $l = 0$ होगा।

19. नोडल सतह (Nodal Surface)

- दो s उपकोश के मध्य का वह स्थान जहां इलेक्ट्रान के पाये जाने की संभावना शून्य हो, **नोडल सतह** कहते है।

कक्षक	**नोडल सतह**
1s	0
2s	1
3s	2
4s	3
ns	$(n-1)$
2p	0
3p	1
4p	2
np	$(n-2)$
3d	0
4d	1
nd	(n – 3)

20. नॉडल तल (Nodal plane)

- वह तल जहां इलेक्ट्रॉन का घनत्व शून्य हो **नॉडल तल** कहलाता है।

(a) ***np* कक्षक के लिये नॉडल तल**

(i) p_x कक्षक के लिये नॉडल तल = 1 i.e. (yz तल)
(i) p_y कक्षक के लिये नॉडल तल = 1 i.e. (xz तल)
(i) p_z कक्षक के लिये नॉडल तल = 1 i.e. (xy तल)

(b) d कक्षक के लिये नॉडल तल

	कक्षक		नॉडल तल	
(i)	d_{xy}	→	2	i.e. zx व zy तल
(ii)	d_{yz}	→	2	i.e. xy व xz तल
(iii)	d_{xz}	→	2	i.e. yx व yz तल
(iv)	$d_{x^2-y^2}$	→	शून्य कोई नॉडल तल नही होता	
(v)	d_{z^2}	→	शून्य	

21. F_2 अणु के लिये नॉडल तल = 2

नॉडल तल **नॉडल तल**

22. t_{2g} सैट (इनमें तीन d कक्षकों का समूह है)
d_{xy} d_{xz} d_{yz}

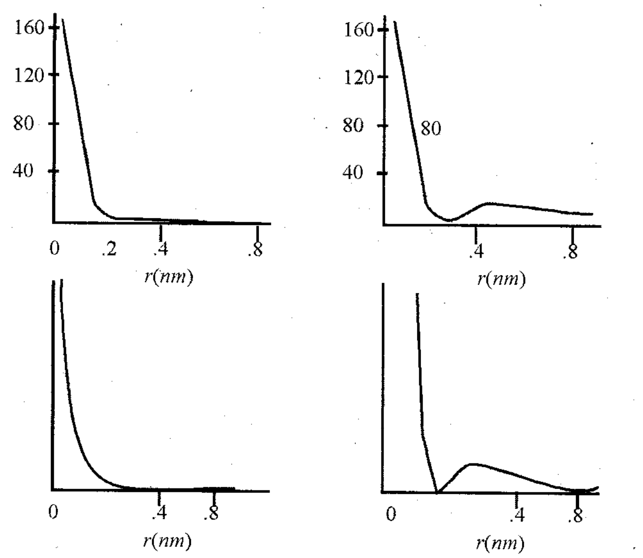
23. e_g सैट (दो d कक्षकों का समूह है।)
$d_{x^2-y^2}$ व d_{z^2}

> **नोट**–*अधिकतम नोडीय तल = l का मान
> s उपकोश में नोडीय तल $l = 0$
> p उपकोश में नोडीय तल $l = 1$
> d उपकोश में नोडीय तल $l = 2$
> f उपकोश में नोडीय तल $l = 3$
> * रेडियन नोड $= n - l - 1$
> 4s उपकोश में $= 4 - 0 - 1 = 3$
> 4p उपकोश में $= 4 - 1 - 1 = 2.$

2.14 परमाणु कक्षकों की आकृतियाँ (Shape of atomic orbitals)

- किसी परमाणु में इलेक्ट्रॉन के कक्षक तरंग फलन (Ψ) का अपने आपमें कोई भौतिक अर्थ नहीं है।

- यह केवल इलेक्ट्रॉन के निर्देशांकों का गणितीय फलन होता है।
- विभिन्न कक्षकों के लिये r (नाभिक से दूरी) के फलन के रूप में संगत तरंग फलन आरेख भिन्न होते है।



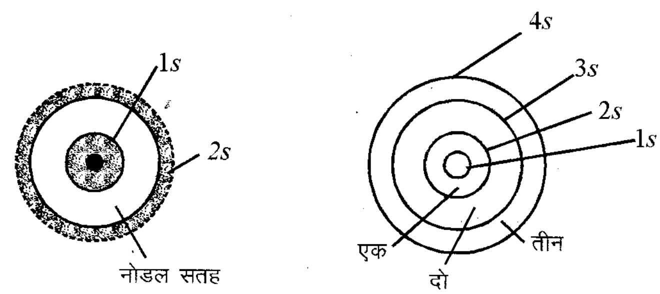
- जर्मन वैज्ञानिक मेक्स बोर्न ने बताया कि किसी बिन्दु पर तरंग फलन का वर्ग (Ψ^2) उस बिन्दु पर इलेक्ट्रान के घनत्व की प्राथमिकता को दर्शाता है।
- उपरोक्त चित्र की सहायता से पता चलता है कि 1s कक्षक के लिय प्राथमिकता घनत्व नाभिक पर अधिकतम है जो नाभिक से दूरी जाने पर घटता है। 2s कक्षक के लिये प्राथिमकता घनत्व पहले तेजी से शून्य तक घटता है फिर बढना प्रारम्भ होता है।

s- कक्षकों की आकृतियाँ (Shape of s-orbitals)

- s कक्षक, s उपकोश में उपस्थित होता है। इस s कक्षक के लिये $l = 0$ व $m = 0$ है।
- s कक्षक का केवल एक अभिविन्यास है।
- s कक्षक गोलाकार प्रकृति का होता है।
- s कक्षक में तीनों अक्षो के सापेक्ष e का घनत्व समान पाया जाता है।
- विभिन्न ऊर्जा स्तरों में पाये जाने वाले s कक्षकों की आकृति (गोलाकर) समान होती है लेकिन आकार भिन्न होते हैं।

$$1s < 2s < 3s < 4s$$

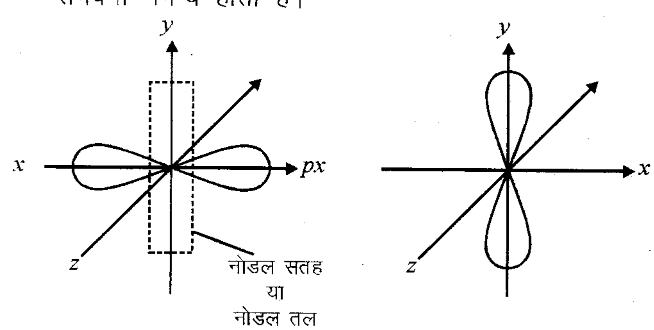
- $1s$ कक्षक में इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की सम्भावना नाभिक के समीप अधिकतम हैं इसी प्रकार $2s$ कक्षक में भी इलेक्ट्रान के पाये जाने की सम्भावना नाभिक के समीप अधिकतम होती है।
- दो विमाओं में यह गोला एक वृत्त की तरह दिखाई देता है। इस गोले की परिसीमा के अन्दर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायकिता 90% होती है।
- वह स्थान (त्रिविमिय का) जहाँ इलेक्ट्रॉन का घनत्व शून्य होता है, **नोडल सतह** या **नोड** कहते है। सामान्यतः ns कक्षक के लिये (n –1) नोडल सतह होते है। $2s$ कक्षक के लिये एक, $3s$ कक्षक के लिये दो, $6s$ कक्षक के लिये पांच नोडल सतह होंगे।



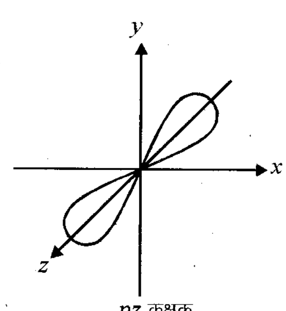
कुल नोडल सतह–तीन

p- कक्षकों की आकृतियां (Shape of p-orbitals)

- p- कक्षक, p- उपकोश में उपस्थित होता है।
- p- उपकोश में तीन p- कक्षक उपस्थित होते है।
- इन कक्षकों में l का मान 1 होता है जब कि m के मान −1, 0 व +1
- p- कक्षक अक्ष के सापेक्ष p_x, p_y तथा p_z कक्षकों में विभक्त होते है।
- p- कक्षक की आकृति डम्बलाकार होती है।
- प्रत्येक p कक्षक में दो पॉलियाँ होती है।
- p- कक्षक की दो पॉलियों के बीच में नोडल तल होता हैं जो कि नाभिक में से होकर गुजरता है। यहां e के पाये जाने की संभवना नगन्य होती है।



px कक्षक   py कक्षक



pz कक्षक

- किसी p कक्षक के लिये एक नोडल तल होते है।
  जैसे– p_x कक्षक के लिये yz तल है।
  p_y कक्षक के लिये xz तल है।
  p_z कक्षक के लिये xy तल है।
- p- कक्षक की आकृति डम्बलाकार होने के कारण ये प्रकृति में दिशात्मक होते है।
- एक ही p उपकोश के सभी तीनों p कक्षको की ऊर्जा समान होती हैं अतः इन्हें समभ्रंश कक्षक (Degenerate orbitals) कहते है।

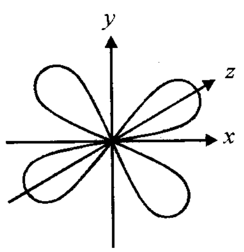
- p- उपकोशों में नोडों की संख्या $(n-2)$ के तुल्य होती है। $3p$ उपकोश के लिये 1 त्रिज्य नोड, $4p$ के लिये दो त्रिज्य नोड होते है।
- विभिन्न ऊर्जा स्तरों के p कक्षकों का आकार, n के बढ़ने पर बढती है।

  4p > 3p > 2p (आकार)

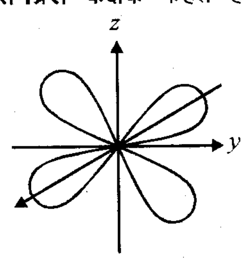
d- कक्षकों की आकृतियां (Shape of d-orbitals)

- d- कक्षक, d उपकोश में उपस्थित होता है।
- d उपकोश में पांच अभिविन्यास अर्थात पांच d कक्षक उपस्थित होते है।
- d कक्षक के लिये l का मान 2 होता है जबकि m के मान −2, −1, 0, +1, +2 होते है।
- पांचों d कक्षकों को $d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, d_{x^2-y^2}$ व d_z^2 होते हैं।
- इन्में प्रथम चार d कक्षकों की आकृति समान (द्विडम्बल आकृति) लेकिन आखरी d कक्षक (d_{z^2}) की आकृति भिन्न होती है।
- विभिन्न ऊर्जा स्तरों के d कक्षकों की आकृति समान होती है लेकिन आकार भिन्न होता है।

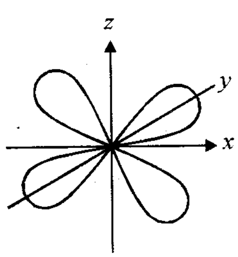
  5d > 4d > 3d (आकार)
- एक ही ऊर्जा स्तर में उपस्थित सभी पांचों d कक्षकों की ऊर्जा समान होती है। अतः इन्हें भी **समभ्रंश कक्षक** कहते है।



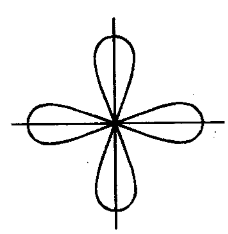
dxy कक्षक



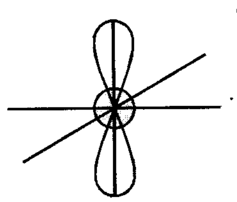
dyz कक्षक



dxz कक्षक



dx^2-y^2 कक्षक



dz^2 कक्षक

- प्रत्येक d कक्षक के लिये दो नोडल तल होते है।

  d_{xy} कक्षक के लिये xz व yz दो तल होंगे

  d_{xz} कक्षक के लिये xy व yz दो तल होंगे

  d_{yz} कक्षक के लिये xy व xz दो तल होंगे

  d_z^2 व $d_{x^2-y^2}$ कक्षकों के लिये कोई तल नहीं होते है।

2.15 तत्वों का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास Electronic configuration of Elements

- किसी तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास, उसके परमाणुओं में उपस्थित विभिन्न कक्षकों में इलेक्ट्रॉन का विवरण ही **इलेक्ट्रॉनिक विन्यास कहते हैं।**
- कुछ मूल नियमों के आधार पर कक्षकों के इलेक्ट्रॉन भरे जाते हैं। ये निम्न हैं–

1. आफबो नियम

2. $n + l$ नियम

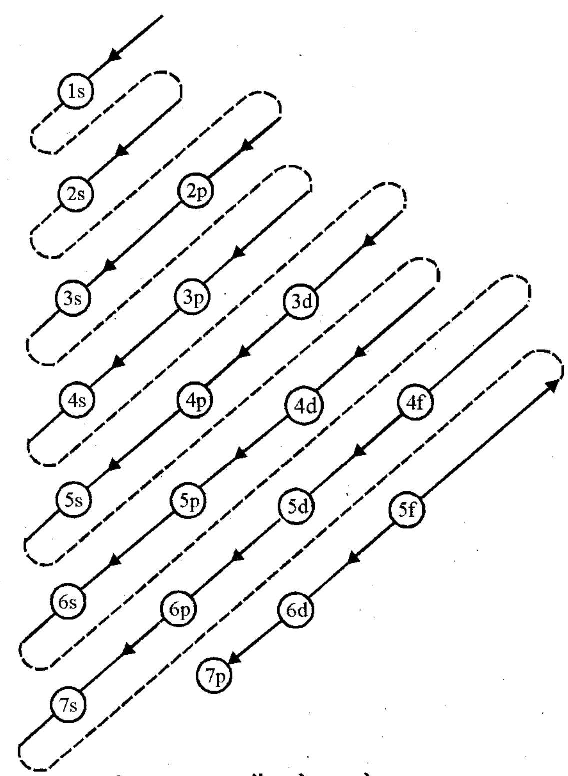
3. पाउली का अपवर्जन नियम

4. हुण्ड का अधिकतम बहुलता नियम

5. अर्धपूरित एवं पूर्ण कक्षकों का स्थायित्व

2.15.1 ऑफबो सिद्धान्त (Auffbu's Rule)

- ऑफबो एक जर्मन शब्द है जिसका अर्थ होता है–निर्माण होना। इसका तात्पर्य है कि कक्षकों के इलेक्ट्रॉनों द्वारा भरते हुए कक्षकों का निर्माण करना।
- इस नियम के अनुसार इलेक्ट्रॉन पहले सबसे कम ऊर्जा वाले कक्षक में जाते हैं, इसके पश्चात् उच्च उर्जा कक्षकों में भरे जाते हैं। अतः परमाणु की **तलस्थ अवस्था (ground state)** में कक्षकों को उनकी ऊर्जा के बढ़ते क्रम में भरा जाता है।
- विभिन्न कक्षकों की ऊर्जा के बढते क्रम निम्न चित्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है, सबसे ऊपर से शुरू करते हुऐ तीर की दिशा कक्षकों के भरने का क्रम दर्शाती है।



चित्र : कक्षकों को भरने का क्रम

- अतः उपरोक्त चित्र की सहायता से विभिन्न कक्षकों की ऊर्जा

का निम्न क्रम होगा–

$$1s^2, 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2 = 20$$

$$3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2 = 18$$

$$4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2 = 18$$

$$4f^{14}\ 5d^{10}\ 6p^6\ 7s^2 = 32$$

$$5f^{14}\ 6d^{10}\ 7p^6\ 8s^2 = 32$$

कुल इलेक्ट्रॉन = 120

- इस नियम के अन्तर्गत निम्न नियम कार्यरत हैं।

2.15.2 $n + l$ का नियम (ऊर्जा का नियम)

- इस नियम की सहायता से हम विभित्र कक्षकों में किसकी ऊर्जा अधिक है या किस की कम है, ज्ञात कर सकते है।
- जिस उपकोश के लिए $n+l$ का मान न्यूनतम होगा, उसकी ऊर्जा भी निम्नतम होगी। अतः उपकोशों की ऊर्जा क्रम है

$1s < 2s < 3s < 4s < 5s$

$n+l$ 1 2 3 4 5

(1) उस कक्षक की ऊर्जा कम होगी जिसके $n + l$(n = मुख्य क्वान्टम संख्या व l= द्विगंशी क्वान्टम संख्या) का मान कम हों। जैसे $3d$ व $4s$ कक्षकों में $4s$ कक्षक की ऊर्जा कम है, क्योंकि $4s$ कक्षक के $n + l$ का मान $(4 + 0 = 4)$, 3d के $n + l$ मान $(3 + 2 = 5)$ से कम है। अतः $4s$ कक्षक की ऊर्जा $3d$ से कम है। इसी प्रकार $5s$ कक्षक की ऊर्जा $4d$ से कम है।

अतः ऊर्जा क्रम होगा– $6s < 5d$; $5s < 4f$; $6s < 4f$

(2) यदि दो या दो से अधिक कक्षकों के $n + l$ मान समान हो तो उस कक्षक की ऊर्जा कम होगी जिसके n का मान कम हो। जैसे $3d$ में n का मान $(n = 3)$ $4p$ से कम है।

इसी प्रकार $3d$ कक्षक की ऊर्जा $5s$ से कम होगी।

अतः कक्षकों का ऊर्जा क्रम इसी प्रकार होगाः

$4d < 5p$; $4d < 6s$; $5p < 6s$ और

$4p < 5s$ ($n + l$ का मान समान होने पर)

	3d	4p	5s
n =	3	4	5
l =	2	1	0
$n + l$ =	5	5	5

- उपरोक्त तीनों कक्षकों में $n + l$ का मान समान है लेकिन n के मान भिन्न–भिन्न है अतः $3d$ की ऊर्जा सबसे कम व $5s$ की ऊर्जा सबसे अधिक है।

इस नियम के आधार पर उपकोशो का ऊर्जा क्रम हैः

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d$ आदि

नोटः *अतः $n + l$ नियम के आधार पर विभित्र उपकोशों की ऊर्जाऐं क्रम निम्न है–*

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < 6d < 7P < 8s$

नोटः *एक इलेक्ट्रॉन निकाय के लिये एक ही कोश के विभिन्न उपकोशों की ऊर्जाऐं समान होती है।*

$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d$

उदा.1. $4d$ कक्षक की ऊर्जा $5s$ कक्षक से अधिक क्यों होगी?

उत्तरः क्योकि $4d$ कक्षक में $n + l$ का मान $(4 + 2 = 6)$, $5s$ कक्षक के $n + l$ $(5 + 0 = 5)$ से अधिक है।

उदा.2. पौटेशियम के परमाणु में कक्षकों का ऊर्जा क्रम होगा-

(a) $4s > 3d$
(b) $4s < 3d$
(c) $4s < 2p$
(d) $4s > 4p$

उत्तरः (b) सही है, क्योकि $n + l$ के नियमानुसार, $4s$ कक्षक के $n + l$ का मान $(4 = 0 = 4)$, $3d$ कक्षक के $n + l$ मान $(3 + 2 = 5)$ से कम है।

उदा.3. किसकी ऊर्जा कम होगी, $4f$ कक्षक की अथवा $7s$ कक्षक की

उत्तरः $(n + l)$ के नियमानुसार, $4f$ कक्षक के $n + l$ का मान $(4 + 3 = 7)$ व $7s$ कक्षक का मान $(7 + 0 = 7)$ बराबर है। चूंकि उस कक्षक की ऊर्जा कम होती है। जिसके n का मान कम हो, अतः $4f$ कक्षक की ऊर्जा कम होगी।

उदा.4. निम्न ऊर्जा स्तरों को देखकर निम्न प्रश्नों के उत्तर दे-

$4p, 2s, 3d, 6p, 4f, 7s, 5d, 1s, 3p$

(i) किसकी ऊर्जा सबसे कम है?
(ii) किसकी ऊर्जा सबसे अधिक है?
(iii) उपरोक्त ऊर्जा स्तरों को ऊर्जा के घटते हुए क्रम में व्यवस्थित करें।

उत्तरः (i) ऊर्जा स्तरों के n, l व $n + l$ का मान लिखने पर

	4p	2s	3d	6p	4f	7s	5d	1s	3p
n =	4	2	3	6	4	7	5	1	3
l =	1	0	2	1	3	0	2	0	1
$(n + l)$ =	5	2	5	7	7	7	7	1	4

अतः 1s कक्षक की ऊर्जा का मान सबसे कम है क्योकि उपरोक्त कक्षको में इसके $n + l$ का मान सबसे कम है।

(ii) $7s$ कक्षक की ऊर्जा सबसे अधिक है।

(iii) $7s, 6p, 5d, 4f, 4p, 3d, 3p, 2s, 1s$
(ऊर्जा का घटता क्रम)

Special Points

- जब किसी तत्व में 1s, 2s व 2p कक्षकों के पूर्ण भरे कक्षकों की तत्व Ne (चिन्ह) से निरूपित करती है।
  $[Ne] = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
  जैसे परमाणु क्रमांक 11 वाले तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास
  $Na_{11} = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ होता है।
  $Na_{11} = [Ne]\ 3s^1$ भी लिख सकते हैं।
- इसी प्रकार 1s, 2s, 2p, 3s व 3p कक्षकों के पूर्ण भरे कक्षकों को तत्व Ar चिन्ह से निरूपित करते हैं।
  $[Ar]$ — $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$
  जैसे–परमाणु क्रमांक 20 वाले तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास–
  Ca_{20}—$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$ होता है।
  Ca_{28}—$[Ar]\ 4s^2$ भी लिख सकते हैं।
- हमने देखा है कि 4s कक्षक की उर्जा 3d से कम होती है। अतः 2 इलेक्ट्रॉन पहले 4s कक्षक में जाते हैं।
- Sc से 3d कक्षकों में इलेक्ट्रॉन भरते समय क्रोमियम (Cr) तथा कॉपर (Cu) में इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्रमशः $3d^4$ तथा $3d^9$ होने की अपेक्षा

$3d^5$ तथा $3d^{10}$ होता है। इसका कारण अर्ध एवं पूर्ण भरे कक्षकों का अधिक स्थायित्व होता है।

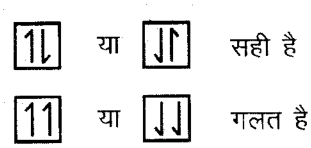
- Ga गैलियम से क्रिप्टॉन (Kr) तक 4p कक्षक में इलेक्ट्रॉन भरते है।
- इसके पश्चात् (Rb) रूबीडियम से जीनॉन (Xe) तक 18 तत्वों के इलेक्ट्रॉनों को 5s, 4d तथा 5p के क्रम में कक्षकों में भरा जाता है।
- 6s में Cs सीजियम के तथा (Ba) बेरियम के इलेक्ट्रॉन होते हैं।
- 6s के बाद 4f तथा 5d कक्षकों में, लैंथेनम (La) से मर्करी (Hg) तक के तत्वों के इलेक्ट्रॉन भरे जाते हैं।
- इसी क्रम में 6p, 7s कक्षकों में इलेक्ट्रॉन भरते हैं।
- अन्त में 5f तथा 6d कक्षक भरे जाते हैं। (U) यूरेनियम के बाद के कम स्थायी तत्वों को कृत्रिम रूप से प्राप्त किया जाता है।
- तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के लिए कक्षकों को भरने का क्रम उनकी ऊर्जा के आधार पर निर्धारित किया जाता है।
- दो समान ऊर्जा वाले कक्षकों को समभ्रंश (degenerate orbitals) कक्षक कहते हैं।
- बहुइलेक्ट्रॉन परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा मुख्य (n) क्वांटम संख्या के साथ दिगंशी (*l*) क्वांटम संख्या पर भी निर्भर करती है। इलेक्ट्रॉन की संख्या बढ़ने के साथ नाभिक पर धनावेश भी बढ़ता है। किन्तु आंतरिक इलेक्ट्रॉनों के आवरण के कारण बाहरी इलेक्ट्रॉनों पर इस आवेश का पूरा प्रभाव नहीं पड़ता, इसे **परिरक्षण प्रभाव** (Shielding effect) कहते हैं तथा इलेक्ट्रॉन पर प्रभावी नाभिक के कुल आवेश को **प्रभावी नाभिकीय आवेश** Z_{eff} कहते हैं।

2.15.3 पाउली का अपवर्जन सिद्धान्त (Pauli's exclusion principle)

(i) **किसी परमाणु के किन्ही दो इलेक्ट्रॉन्स की चारों क्वान्टम संख्याओं का मान समान नही होता।**

(2) दो इलेक्ट्रॉन्स की कोई भी तीन क्वान्टम संख्याओं (*n, l, m,s*) के मान समान हो सकते हैं लेकिन किसी एक क्वान्टम संख्या का मान अवश्य भिन्न होगा।

(3) अतः इस नियमानुसार, एक कक्षक में अधिकतम इलेक्ट्रॉन्स की संख्या दो हो सकती है, विपरीत चक्रण में।



(4) यह नियम H परमाणु में नहीं समझाया जा सकता है, क्योकि हाइड्रोजन में एक ही इलेक्ट्रॉन उपस्थित होता है।

(5) He-दो इलेक्ट्रॉनीय परमाणु है, अतः इस नियम के अनुसार, He के पहले व दूसरे इलेक्ट्रॉन के लिये चारो क्वान्टम संख्याओं के मान इस प्रकार होंगे:–

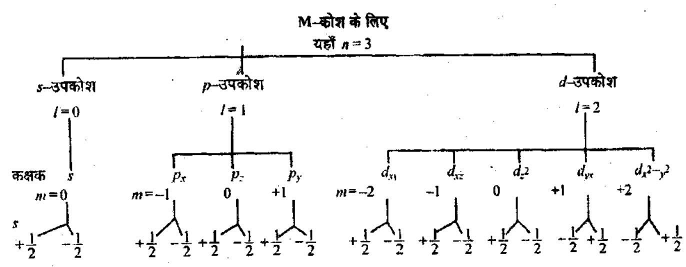
n = 1, *l* = 0, m = 0, s = + 1/2;

n = 1, *l* = 0, m = 0, s = - 1/2

(6) इस नियम की सहायता से किसी कोश में अधिकतम इलेक्ट्रॉन्स की संख्या ज्ञात कर सकते है।

उदाहरण के लिये-

नोट: अतः M कोश में कुल 18 इलेक्ट्रॉन्स उपस्थित होगें उपरोक्त 18 इलेक्ट्रॉन्स में से कोई भी दो इलेक्ट्रॉन्स की चारों क्वान्टम संख्यायें समान नही होगी।



जैसे–	n	l	m	s
1st इलेक्ट्रॉन	3	0	0	+1/2
7th इलेक्ट्रॉन	3	1	+1	+1/2

यहा प्रथम व सातवे Electrons की *n* व *s* क्वान्टम संख्याओं के मान समान है लेकिन *l* व *m* विपरीत है।

उदा.1. निम्न में कौनसे इलेक्ट्रॉनिक विन्यास सम्भव नही।

$2s^2, 2px^3, 1s^3, 3d^2{}_{z^2}, 3dxy^3$

उत्तर: $-2px^3, 1s^3, 3dxy^3$ इलेक्ट्रॉनिक विन्यास संभव नही।

उदा.2. $1s^3$ **इलेक्ट्रॉनिक विन्यास संभव नही क्यों?**

उत्तर: दो इलेक्ट्रॉनस की चारों क्वान्टम संख्याओं के मान समान हो जाने के कारण।

उदा.3. पाउली के अपवर्जन का नियम किस तत्व पर लागू नहीं होता।

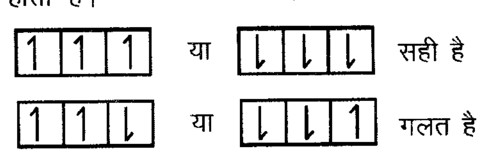
उत्तर: हाइड्रोजन तत्व पर, क्योकि इसमें एक ही इलेक्ट्रॉन उपस्थित होता है।

2.15.4 हुण्ड के अधिकतम बहुलकता का नियम

(1) इस नियम के अनुसार "जब समान ऊर्जा के विभिन्न कक्षको में इलेक्ट्रॉन्स भरे जाते है (जैसे p_x, p_y, p_z कक्षकों में या $d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, d_{z^2}, d_{x^2-y^2}$ कक्षकों मे) तो वे तब तक युग्मित नही होते, जब तक सभी में एक–एक इलेक्ट्रॉन नही चला जाता।"

(2) अतः युग्मित होने से पहले, इलेक्ट्रॉन अयुग्मित रहना पसन्द करते है, क्योकि यह व्यवस्था अधिक स्थाई होती है। इस व्यवस्था में अन्तः इलेक्ट्रानिक प्रतिकर्षण नही होता।

(3) सभी अयुग्मित इलेक्ट्रॉन्स का चक्रण समान होता है, जैसे p_x p_y p_z, इनमे उपस्थित सभी अयुग्मित इलेक्ट्रान्स का चक्रण समान होता है।



(4) इस नियम के अनुसार अर्धपूर्ण (p^3, d^5 व f^7) व पूर्ण भरे कक्षक (p^6, d^{10} व f^{14}) अन्य आंशिक भरे कक्षकों की अपेक्षाकृत अधिक स्थाई होते है। क्योकि इनमें एक सममिती (Symmetry) पाई जाती है। अतः d^4, s^2 के स्थान पर d^5, s^1 व d^9, s^2 के स्थान पर d^{10}, s^1 अधिक स्थाई होगे।

(5) यह नियम s कक्षक पर लागू नही होता क्योकि इसमें एक ही कक्षक है।

(6) इनमें भरने वाले इलेक्ट्रॉन्स की संख्या एक से अधिक होनी चाहिये, अतः यह नियम p^1, d^1 व f^1 इलेक्ट्रॉनिक विन्यास पर लागू नही होता है।

(7) इस नियम को H, He, Li, Be व B तत्वों पर या 1A, 2A 3A वर्ग के तत्वों में भी नही समझाया जा सकता है।

2.15.5 अर्द्धपूर्ण व पूर्ण भरे कक्षकों का स्थायित्व

अर्द्धपूर्ण व पूर्ण पूरित कक्षकों की स्थायीकरण ऊर्जा अन्य विन्यास की अपेक्षा अधिक होती है। इस कारण स्थायित्व अन्य से अधिक होता है।

स्थायीकरण ऊर्जा = विनिमय ऊर्जा - युग्मन ऊर्जा

यहाँ विनिमय ऊर्जा = NK, युग्मन ऊर्जा = $x\pi$

$N = \frac{n(n-1)}{2}$ (n = समान्तर चक्रण वाले e^- की संख्या) $x = e^-$ युग्मों की संख्या

K = प्रति N विनिमय ऊर्जा ; π = प्रति n युग्मन ऊर्जा

उदाहरण-

d^4	d^5 (अर्द्धपूरित)	d^6
↑ ↑ ↑ ↑ ◻	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑
$n = 4$	$n = 5$	c.w e^- के लिये $n = 5$
$N = \frac{4(4-1)}{2} = 6$	$N = \frac{5(5-1)}{2} = 10$	वि. ऊर्जा = $\frac{5(5-1)}{2} = 10K$
विनिमय ऊर्जा = 6K	वि. ऊर्जा = 10K	A, C, W, e^- के लिये
$x = 0$	$x = 0$	$x = 1$
युग्मन ऊर्जा = 0	युग्मन ऊर्जा = 0	वि. ऊर्जा = $\frac{1(1-1)}{2} = 0$
स्था. ऊर्जा = 6K	स्था. ऊर्जा = 10K स्था. ऊर्जा = 10 K$-\pi$	युग्मक ऊर्जा = $1\pi = \pi$

यहाँ स्था. ऊर्जा (d^4) = 6K, (d^5) = 10K, (d^6) = 10K - π

अतः d^5 विन्याश का स्थायित्व d^4 या d^6 से अधिक है।

उदा.1. $_7N$ इलेक्ट्रोनीय विन्यास $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$

	1s	2s	2p
(A)	↑↓	↑↑	↑ ↑ ↑
(B)	↑↓	↑↓	↑↓ ↑ ◻
(C)	↑↓	↑↑	↑↓ ↑ ◻
(D)	↑↓	↑↓	↑ ↑ ↑

(a) किसमें हुण्ड का नियम तो लागू है परन्तु पाउली का नहीं।

उत्तरः (A)समान चक्रण।

(b) किसमें पाउली का नियम तो लागू है परन्तु हुण्ड का नही।

उत्तरः (B)

(c) किसमें पाउली व हुण्ड दोनो का नियम लागू नही।

उत्तरः (C)

(d) किसमें पाउली व हुण्ड दोनो का नियम लागू है।

उत्तरः (D)

> **नोटः** अतः अर्धपूर्ण भरे व पूर्ण भरे कक्षक, अन्य आंशिक भरे कक्षकों की तुलना में अधिक स्थाई होते है। क्योकि
> - इनके इलेक्ट्रॉन के वितरण में सममिति है।
> - इनकी विनिमय ऊर्जा का मान अधिक है।

उदा.2. हुण्ड नियम किन इलेक्ट्रॉनिक विन्यासों पर लागू नही होता।

उत्तरः s^1, s^2, p^1, d^1 व f^1 इलेक्ट्रॉनिक विन्यासों पर

उदा.3. हुण्ड का नियम आवर्त सारणी के किन वर्गो पर लागू नही होते।

उत्तरः 1A, 2A, 3A, वर्गो के तत्वों पर

उदा.4. निम्न इलेक्ट्रॉनिक विन्यासों को देखकर, बताइये कि किसमें अयुग्मित इलेक्ट्रॉनस की संख्या अधिकतम होगी।

उत्तरः $p^4\ d^6\ f^8$.

p^4 ↑↓ ↑ ↑ — दो अयुग्मित इलेक्ट्रॉनस

d^6 ↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ — चार अयुग्मित इलेक्ट्रॉनस

f^8 ↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ — छः अयुग्मित इलेक्ट्रॉनस

अतः f^8 में अयुग्मित इलेक्ट्रॉनस की संख्या अधिकतम है।

उदा.5. हुण्ड का नियम किन कक्षकों पर लागू नही होगा।

उत्तरः s कक्षक पर

उदा.6. निम्न में कोनसा इलेक्ट्रॉनिक विन्यास हुण्ड के अनुसार गलत है।

(i) ↑↓   ↑↓   ↑ ↑ ↑

(ii) ↑↓   ↑↓   ↑↓ ↑ ◻

(iii) ↑↓   ↓↑   ↓ ↓ ↓

उत्तरः (ii) गलत है।

2.15.6 इलेक्ट्रॉनिक विन्यास (Electronic configuaration)

- विभिन्न परमाणुओं के कक्षकों की आपेक्षिक ऊर्जा में बहुधा अन्तर होता है। परमाणु व उसके आयन की ऊर्जा में भी अन्तर होता है। यह अन्तर नाभिकीय आवेश और इलेक्ट्रॉन से भरे कक्षकों की संख्या पर निर्भर करता है।
- जैसे–जैसे परमाणु क्रमाकं बढ़ता है, सभी कक्षकों की ऊर्जा बढ़ती है।
- हाइड्रोजन परमाणु में किसी एक कोश के सभी उपकक्षों की ऊर्जा समान होती है, पर अन्य तत्वों के परमाणुओं में ऐसा नही होता है।

$2s = 2p$, $3s = 3p = 3d$ व $4s = 4p = 4d = 4f$

- Ne से Ca तक के तत्वों में ऊर्जा का क्रम होता है।

$4s < 3d$

- Sc से आगे के तत्वों में ऊर्जा क्रम हो जाता है।

  3d < 4s

उदा.1. Sc से आगे आने वाले तत्वों में ऊर्जा का कौनसा क्रम गलत है।

(1) $4s > 3d$
(2) $4s < 3d$
(3) $4s < 4p$
(4) $3p < 3d$

उत्तर– (1)

तत्वों का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास

- ऑफबाऊ सिद्धान्त के आधार पर इलेक्ट्रॉन निम्नतम ऊर्जा तल से भरा जाता है
- किसी भी परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास निम्न ऊर्जा क्रम की सहायता से आसानी से ज्ञात किया जा सकता है।

  $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < 6d < 7p < 8s$
- इलेक्ट्रॉन को निम्न चार्ट की सहायता से भर सकते है।

$$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2 = 20$$
$$3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2 = 18$$
$$4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2 = 18$$
$$4f^{14}\ 5d^{10}\ 6p^6\ 7s^2 = 32$$
$$5f^{14}\ 6d^{10}\ 7p^6\ 8s^2 = 32$$

- इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के लिये संकेतन nl^x जैसे–

  $1s^2$ or $3p^1$ or $4d^3$

उदा.2. उदाहरण के लिए 32 परमाणु क्रमांक वाले तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या होगा?

हल– इलेक्टॉन को भरने का क्रम चार्ट की सहायता से होगा–

$$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^2$$

इसको सही तरीके से लिखने पर

$$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^2\ 4p^2$$

> **नोट- इलेक्ट्रॉन भरने का क्रम हमेशा उपरोक्त ऊर्जा क्रम की सहायता से करते है, लेकिन परीक्षा में लिखने का क्रम हमेशा प्रमुख क्वान्टम संख्या के क्रमबद्ध होगा–**

- यदि किसी तत्व के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के अन्त में d^4s^2 आ रहा हो तो हम हमेशा d^5s^1 कर देंगे। अर्द्धपूर्ण भरे कक्षकों के अधिक स्थायित्व के कारण होता है।

उदा.3. परमाणु क्रमांक 24 वाले तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या होगा?

हल– इलेक्टॉन को भरने का क्रम होगा–

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^4$ पर यह गलत हो रहा है। इसे सही तरह से लिखने पर हमें Cr (AtNo.24) का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास मिलता है।

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^5, 4s^1$ (सही है)

अन्य उदाहरण– At. No. **42 व 74**

- यदि किसी तत्व के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के अन्त में d^9s^2 आ रहा हो तो हमेशा $d^{10}s^1$ कर देंगे।

  कारण– यह पूर्ण भरे कक्षकों के अधिक स्थायित्व के कारण होता है।

उदा.4. परमाणु क्रमांक 29 वाले तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या होगा?

हल– $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^9$ (गलत है)

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1, 3d^{10}$ (गलत है)

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^1$ (सही है)

- इलेक्ट्रॉनिक विन्यास को सुविधा के लिये निम्न प्रकार से प्रदर्शित करते है।
- Mg (At. No. 12) का इलेक्ट्रॉनिक **विन्यास होगा–**

  $1s^2, 2s^2\ 2p^6, 3s^2$ इसको लिख **सकते है– [Ne] $3s^2$**

  क्योंकि Ne का इलेक्ट्रॉनिक **विन्यास होता है– $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$**
- इसी प्रकार – Sc (At. No 21) का **इलेक्ट्रॉनिक विन्यास होगा–**

$$1s^2, 2s^2\ 2p^6, 3s^2\ 3p^6\ 3d^1, 4s^2$$

अतः इसको लिख सकते है– [Ar] $3d^1\ 4s^2$

जब हम इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखते हैं, जैसे–

$1s^2, 2s^2, 2p^5$ इनमें s कक्षक व p कक्षक (आदि) के आगे की संख्या, मुख्य क्वान्टम संख्या होती है, तथा s, तथा p (आदि) कक्षक के ऊपर की संख्या इलेक्ट्रोन्स की संख्या बतलाती है–

निम्न ब्लाक तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास होंगे–

s– ब्लॉक तत्वों का सामान्य विन्यास होता है – ns^{1-2}

p– ब्लॉक तत्वों का सामान्य विन्यास होता है –$ns^2\ np^{1-6}$

d– ब्लॉक तत्वों का सामान्य विन्यास है–$(n-1)d^{1-10}, ns^{1-2}$

f– ब्लॉक तत्वों का सामान्य विन्यास होता है–

$$(n-2)f^{2-14}, (n-1)d^{0-1}, ns^2$$

- La का इलेक्ट्रॉनिक **विन्यास निम्न है–**

  $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ \mathbf{3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2\ 5d^1}$

  भरने का क्रम

  $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ 5s^2\ 5p^6\ 5d^1\ 6s^2$ (सही)

आवर्त व वर्ग की पहचान

[A] आवर्त की पहचान

- दिये गये इलेक्ट्रॉनिक विन्यास में उपस्थित उच्चतम प्रमुख क्वान्टम संख्या ही आवर्त संख्या कहलाती है। जैसे–

(i) $1s^2 2s^2 2p^2$ - आवर्त संख्या 2 है।

(ii) $1s^2 2s^2 2p^6, 3s^2 3p^6 3d^1, 4s^2$ - आवर्त संख्या 4 है।

(iii) $1s^2 2s^2 2p^6, 3s^2 3p^1$ - आवर्त संख्या 3 है।

[B] वर्ग की पहचान

- दिये गये इलेक्ट्रॉनिक विन्यास से हम वर्ग की पहचान कर सकते है।

(a) 1A व 2A वर्ग या 1 व 2 वर्ग की पहचान

- अन्त में s कक्षक उपस्थित होगा लेकिन उससे पहले d कक्षक अनुपस्थित होना चाहिये।
- यदि अन्त मे s^1 हो तो तत्व 1A वर्ग या 1 वर्ग में रखा जायेगा।
- यदि अन्त में s^2 हो तो तत्व 2A वर्ग या 2 वर्ग में रखा जायेगा।

उदाहरण-

$1s^2,2s^1$ –1Aवर्ग का तत्व है

$1s^2,2s^22p^6,3s^2$ –2Aवर्ग का तत्व है

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^54s^1 - 1A$ वर्ग का तत्व है (गलत है)

- अन्तिम उदाहरण में वैसे तो अन्त में s कक्षक है लेकिन उससे पहले d कक्षक आ जाने के कारण तत्व को 1A वर्ग में नही रख सकते।
- अपवाद– H व He_2

$H^1 - 1s^1$

- H को 1A (1 वर्ग), 4A (14 वर्ग), व 7A (17 वर्ग), वर्गो में रखा जा सकता है। अतः इसका सही उत्तर होगा– किसी भी वर्ग में नही।
- He - $1s^2$
- He को शून्य वर्ग (18 वर्ग), मे रखा जायेगा, 2A वर्ग में नहीं।

(b) 3A से 7A वर्गो या 13 से 17 वर्गो की पहचान

- अन्त में s व p कक्षकों में उपस्थित इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या, वर्ग संख्या के तुल्य होगी। यदि s व p कक्षकों में इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या क्रमशः 3, 4, 5, 6, 7 व 8 हो तो, तत्व क्रमशः 3A, 4A, 5A, 6A, 7A व शून्य वर्ग या क्रमशः 13, 14, 15, 16, 17 व 18 वर्ग के तत्व होगे–

$1s^2,2s^22p^4$ $(2 + 4 = 6)$ (6A वर्ग या 16 वर्ग है)

$1s^2,2s^22p^2$ $(2 + 2 = 4)$ (4A वर्ग, या 14 वर्ग सही है)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^1$ (3A वर्ग या 13 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^4$ (6A वर्ग या 16 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^{10},4s^24p^5$ (7A वर्ग या 17 वर्ग)

(c) शून्य वर्ग या 18 वर्ग की पहचान

- अन्त में हमेशा ns^2np^6 इलेक्ट्रॉनिक विन्यास होगा।

उदाहरण-

$1s^2,2s^22p^6$ (शून्य वर्ग या 18 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6$ (शून्य वर्ग या 18 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^{10},4s^24p^6$ (शून्य वर्ग या 18 वर्ग)

अपवाद-

$He_2 = 1s^2$ इसे शून्य वर्ग में रखा गया है।

(d) B वर्ग या 3 से 12 वर्ग की पहचान

- अन्त में d व s कक्षक उपस्थित होगे।
- d व s कक्षकों में उपस्थित इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या वर्ग संख्या के तुल्य होगी।
- यदि इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या 3 से 7 हो तो वर्ग 3B से 7B (या 3 से 7 वर्ग) कहलायेगे।

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^1,4s^2$ (III या 3 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^3,4s^2$ (VB या 5 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^5,4s^2$ (VIIB या 7 वर्ग)

- यदि इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या 8, 9 या 10 हो तो ये VIII वर्ग या 8, 9, 10 वर्ग में रखे जायेगे।

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^6,4s^2$ (VIII वर्ग या 8 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^7,4s^2$ (VIII वर्ग या 9 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^8,4s^2$ (VIII वर्ग या 10 वर्ग)

- यदि इलेक्ट्रॉन्स की कुल संख्या 11 व 12 हो तो व IB व IIB वर्ग या 11 वे 12 वर्ग के तत्व होंगे।

जैसे– $1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^{10},4s^1$ (I B वर्ग या 11 वर्ग)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^63d^{10},4s^2$ (IIB वर्ग या 12 वर्ग)

उदा.5. कक्षकों में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा किसके मान पर निर्भर करती है-

(i) n (ii) l

(iii) n व l (iv) n व m

उत्तर: (iii) n व l के मान पर

उदा.6. La (लैन्थम) (At. No. 57) का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या होगा-

उत्तर: $1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,4s^5,3d^{10},4p^6,5s^2,4d^{10}5p^6,6s^2,5d^1$ (गलत है)

$1s^2,2s^22p^6,3s^23p^6,3d^{10},4s^2,4p^6,4d^{10},5s^25p^65d^1,6s^2$ (सही है)

यहां पर इलेक्ट्रॉन $4f$ में ना जाकर, $5d$ में जाता है, क्योंकि $4f$ व $5d$ कक्षकों की ऊर्जा लगभग बराबर है।

अतः La एक सक्रमण तत्व है (Transition metal) अर्थात् d-ब्लॉक का सदस्य है।

उदा.7. यदि एक परमाणु की K कक्षा में 2 इलेक्ट्रॉन्स, L कक्षा में 8 इलेक्ट्रॉन्स व M कक्षा में 4 इलेक्ट्रॉन्स हो तो निम्न प्रश्नों के उत्तर दो-

(i) परमाणु का परमाणु क्रमांक है?
उत्तर: $2 + 8 + 4 = 14$

(ii) परमाणु का नाम क्या है?
उत्तर: Silicon

(iii) परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या है?
उत्तर: $1s^22s^22p^63s^23p^2$

(iv) परमाणु में प्रोटोन्स की संख्या क्या है?
उत्तर: 14

(v) परमाणु में कितने s कक्षक है?
उत्तर: 3

(vi) परमाणु मे कितने p व d कक्षक है?
उत्तर: 5 व शून्य

(vii) परमाणु में कितने s इलेक्ट्रॉन्स है?
उत्तर: 6

(viii) परमाणु में कितने p इलेक्ट्रॉन्स है?
उत्तर: 8

(ix) परमाणु किस वर्ग का सदस्य है?
उत्तर: (IV) A या 14^{th} समूह

(x) परमाणु किस आवर्त का सदस्य है?
उत्तर: 3^{rd} आवर्त का

तत्वों के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास

Element		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f
1	H	1													
2	He	2													
3	Li	2	1												
4	Be	2	2												
5	B	2	2	1											
6	C	2	2	2											
7	N	2	2	3											
8	O	2	2	4											
9	F	2	2	5											
10	Ne	2	2	6	1										
11	Na	2	2	6	2										
12	Mg	2	2	6	2										
13	Al	2	2	6	2	1									
14	Si	2	2	6	2	2									
15	P	2	2	6	2	3									
16	S	2	2	6	2	4									
17	Cl	2	2	6	2	5									
18	Ar	2	2	6	2	6									
19	K	2	2	6	2	6		1							
20	Ca	2	2	6	2	6		2							
21	Sc	2	2	6	2	6	1	2							
22	Ti	2	2	6	2	6	2	2							
23	V	2	2	6	2	6	3	2							
24	Cr	2	2	6	2	6	5	1							
25	Mn	2	2	6	2	6	5	2							
26	Fe	2	2	6	2	6	6	2							
27	Co	2	2	6	2	6	7	2							
28	Ni	2	2	6	2	6	8	2							
29	Cu	2	2	6	2	6	10	1							
30	Zn	2	2	6	2	6	10	2							
31	Ga	2	2	6	2	6	10	2	1						
32	Ge	2	2	6	2	6	10	2	2						
33	As	2	2	6	2	6	10	2	3						
34	Se	2	2	6	2	6	10	2	4						
35	Br	2	2	6	2	6	10	2	5						
36	Kr	2	2	6	2	6	10	2	6						
37	Rb	2	2	6	2	6	10	2	6			1			
38	Sr	2	2	6	2	6	10	2	6			2			
39	Y	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2			
40	Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2			
41	Nb	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1			
42	Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1			
43	Tc	2	2	6	2	6	10	2	6	5		2			
44	Ru	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1			
45	Rh	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1			
46	Pd	2	2	6	2	6	10	2	6	10		0			
47	Ag	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1			
48	Cd	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2			
49	In	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1		
50	Sn	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2		
51	Sb	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3		
52	Te	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4		
53	I	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5		
54	Xe	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6		

Element		K	L	M	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
55	Cs	2	8	18	2	6	10		2	6			1				
56	Ba	2	8	18	2	6	10		2	6			2				
57	La	2	8	18	2	6	10		2	6	1		2				
58	Ce	2	8	18	2	6	10	1	2	6	1		2				
59	Pr	2	8	18	2	6	10	3	2	6			2				
60	Nd	2	8	18	2	6	10	4	2	6			2				
61	Pm	2	8	18	2	6	10	5	2	6			2				
62	Sm	2	8	18	2	6	10	6	2	6			2				
63	Eu	2	8	18	2	6	10	7	2	6			2				
64	Gd	2	8	18	2	6	10	7	2	6	1		2				
65	Tb	2	8	18	2	6	10	9	2	6			2				
66	Dy	2	8	18	2	6	10	10	2	6			2				
67	Ho	2	8	18	2	6	10	11	2	6			2				
68	Er	2	8	18	2	6	10	12	2	6			2				
69	Tm	2	8	18	2	6	10	13	2	6			2				
70	Yb	2	8	18	2	6	10	14	2	6			2				
71	Lu	2	8	18	2	6	10	14	2	6	1		2				
72	Hf	2	8	18	2	6	10	14	2	6	2		2				
73	Ta	2	8	18	2	6	10	14	2	6	3		2				
74	W	2	8	18	2	6	10	14	2	6	4		2				
75	Re	2	8	18	2	6	10	14	2	6	5		2				
76	Os	2	8	18	2	6	10	14	2	6	6		2				
77	Ir	2	8	18	2	6	10	14	2	6	7		2				
78	Pt	2	8	18	2	6	10	14	2	6	9		1				
79	Au	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		1				
80	Hg	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2				
81	Tl	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	1			
82	Pb	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	2			
83	Bi	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	3			
84	Po	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	4			
85	At	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	5			
86	Rn	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	6			
87	Fr	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	6			1
88	Ra	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	6			2
89	Ac	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1		2
90	Th	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2		2
91	Pa	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1		2
92	U	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1		2
93	Np	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	5	2	6			2
94	Pu	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6			2
95	Am	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6			2
96	Cm	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1		2
97	Bk	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1		2
98	Cf	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6			2
99	Es	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6			2
100	Fm	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6			2
101	Md	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6			2
102	No	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6			2
103	Lr	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1		2
*104	Rf	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	2		2
105	Ha	2	8	18	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	3		2

* तत्व 104 को रदरफोर्डियम (Rf) या कुर्चेटोवियम (Ku) कहते हैं।

** तत्व 105 को हेहनियम (Ha) या नील्सबोरियम (Ns) कहते हैं।

उदा.8. यदि x^{-2} का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास निम्न है

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2 3p^6$

तो उपरोक्त सभी प्रश्नों को स्वयं हल करें

(i) परमाणु x क्या है?

उत्तर: Sulphur (सल्फर)

(ii) परमाणु x का क्या परमाणु क्रमांक है?

उत्तर: 18 - 2 = 16

(iii) x^{+2} का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या होगी है?

उत्तर: x^{-2} में से 4 इलेक्ट्रॉन्स निकालने पर

$x^{+2} = 1s^2 . 2s^2 . 2p^6 . 3s^2 3p^2$

(iv) x^{-2} का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास, किस तत्व के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास के बिल्कुल समान है?

उत्तर: आर्गन Ar

उदा.9. निम्न के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास दें (स्वयं हल करे)

(i) $_{24}Cr$ (ii) $_{29}Cu$

(iii) $_{42}Mo$ (iv) $_{46}Pd$

(v) $_{47}Ag$ (vi) $_{78}Pt$

(vii) $_{79}Au$

उत्तर: (i) $[Ar]3d^5 4s^1$ (ii) $[Ar]3d^{10} 4s^1$

(iii) $[Kr]4d^5 5s^1$ (iv) $[Kr]4d^{10} 5s^0$

(v) $[Kr]4d^{10} 5s^1$ (vi) $[Xe]5d^{10} 6s^0$

(vii) $[Xe]5d^{10} 6s^1$

उदा.10. यदि एक परमाणु का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास निम्न है-

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$ तब तत्व कौन से आर्वत का सदस्य होगा?

उत्तर: 3rd

पाठ्यपुस्तक के प्रश्नोत्तर

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. ***तत्व के परमाणु क्रमांक 25 तथा परमाणु भार 55 है, तो उसके नाभिक में होंगे-***

(अ) 25 प्रोटॉन और 30 न्यूट्रॉन (ब) 55 प्रोटॉन

(स) 25 न्यूट्रॉन और 30 प्रोटॉन (द) 55 न्यूट्रॉन उत्तर (अ)

2. H-स्पेक्ट्रम क्या दर्शाता है-

(अ) विवर्तन (ब) ध्रुवण

(स) क्वांटीकृत ऊर्जा स्तर

(द) हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धांत उत्तर (स)

3. ***एक फोटॉन की ऊर्जा की गणना किसके द्वारा करते हैं-***

(अ) E = hν (ब) h = Eν

(स) h = (द) $E = \frac{h\nu}{c}$ उत्तर (अ)

4. ***यदि n = 3 हो, तो 1 के लिए कौनसा मान गलत है-***

(अ) 0 (ब) 1

(स) 2 (द) 3 उत्तर (द)

5. ***किसी परमाणु के उपकोश में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या का निर्धारण निम्न के द्वारा किया जाता है-***

(अ) $4\ell + 2$ (ब) $2\ell + 1$

(स) n^2 (द) $2n^2$ उत्तर (अ)

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

6. मानक ताप और दाब पर 34mg NH_3 में प्रोटॉन की कुल संख्या बताइए।

Ans. 12×10^{20}

उत्तर- NH_3 में स्थित N में प्रोटॉन की संख्या 7 व तीन H परमाणुओं में 3 प्रोटोन है।

- अत: NH_3 के एक अणु में प्रोटॉन की संख्या = 7 + 3 = 10 है।
- 1 मोल NH_3 में प्रोटॉन की संख्या = $6.022 \times 10^{23} \times 10$ होगा।
- $34\ mg\ NH_3 = \frac{NH_3 \text{ की मात्रा ग्राम में}}{NH_3 \text{ का अणुभार}}$

$= \frac{34}{1000 \times 17}$ मोल = 2×10^{-3} मोल

- अत: 34 mg NH_3 में प्रोटॉनों की संख्या

$= 2 \times 10^{-3} \times 6.022 \times 10^{23} \times 10$

$= 12.04 \times 10^{20}$ प्रोटॉन्स

7. ***मेथेन के एक मोल में उपस्थित इलेक्ट्रॉन्स की संख्या ज्ञात कीजिए-***

Ans. (6.023×10^{22} इलेक्ट्रॉन्स)

उत्तर- CH_4 के 1 मोल में CH_4 के अणुओं की संख्या = 6.022×10^{23}

CH_4 के 1 मोल में es की संख्या = $6.022 \times 10^{23} \times 10$

$= 6.022 \times 10^{22}$ इलेक्ट्रॉन

8. 4d और 4f में से कौनसा कक्षक उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश अनुभव करेगा?

उत्तर- उस कक्षक पर प्रभावी नाभिकीय आवेश अधिक होगा जिसकी ऊर्जा कम होगी।

अत: 4d कक्षक की ऊर्जा कम होने के कारण इस पर प्रभावी नाभिकीय आवेश अधिक अनुभव करेगा।

9. n = 4 तथा $m_s = -1/2$ वाले कोश में कितने इलेक्ट्रॉन उपस्थित होंगे।

नोट-प्रश्न में उपकोश दे रखा है जो गलत है। अत: उपकोश के स्थान पर कोश होगा।

उत्तर- ms = – 1/2 का अर्थ चक्रण क्वान्टम संख्या का मान है, एक कक्षक में –1/2 वाले इलेक्ट्रॉन की संख्या एक ही होती है।

अत: n = 4 वाले मान में कक्षकों की कुल संख्या = $n^2 = 4^2 = 16$

अत: ms = –1/2 वाले इलेक्ट्रानों की संख्या = 16 होगी।

10. Fe तथा Cr में अयुग्मित इलेक्ट्रॉनों की संख्या बताइए।

उत्तर Fe व Cr में es की संख्या क्रमश: 26 व 24 है।

Fe_{26} $3d^6 4s^2$ विन्यास है। d^6 में अयुगमित चार es उपस्थित होंगे।

d^6

⇅	↑	↑	↑	↑

Cr_{24} $3d^5 4s^1$ विन्यास में अयुगमित es की संख्या 6 है।

d^5 $4s^1$

↑	↑	↑	↑	↑		↑

11. ***कक्षकों में es की ऊर्जा, कौनसी क्वाण्टम संख्याओं के मान पर निर्भर करती है।***

उत्तर- *n* व *l* के मानों पर

12. निम्न इलेक्ट्रॉनिक विन्यास का प्रभाव कौनसे आवर्त का सदस्य है-

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

उत्तर- किसी दिए गए इलेक्ट्रॉनिक विन्यास में उपस्थित उच्चतम प्रभाव क्वाण्टम संख्या आवर्त संख्या के बराबर होती है।

अत: यह 3rd आवर्त का सदस्य है।

13. एक ग्राम भार में इलेक्ट्रॉन की संख्या ज्ञात कीजिए।

उत्तर- 1.098×10^{27} electron

उत्तर- हम जानते हैं कि 1 इलेक्ट्रॉन का भार = 9.1094×10^{-31} kg

अत: 9.1094×10^{-28}g में 1e उपस्थित है।

$\therefore$ 1 ग्राम में = $\dfrac{1}{9.1094 \times 10^{-28}} = 1.098 \times 10^{27}$ electron

14. एक मोल इलेक्ट्रॉन में आवेश का परिकलन कीजिए-

Ans. 9.65×10^4

उत्तर- e पर आवेश = 1.6022×10^{-19}e

1 मोल e पर आवेश = $1.6022 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23}$

$= 9.65 \times 10^4$C

15. सोडियम लेम्प द्वारा उत्सर्जित पीले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य Å 580 nm है इसकी आवृत्ति ज्ञात कीजिए। Ans. $\nu = 5.17 \times 10^{14}$

उत्तर- $\lambda = 580$ nm $= 580 \times 10^{-9}$ m, V = ?

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 ms^{-1}}{580 \times 10^{-9} m} = 5.17 \times 10^{14} sec^{-1}$$

16. निम्नलिखित नाभिकों में e व p की संख्या बताइए।

$^{13}_{6}C,\ ^{16}_{8}O,\ ^{24}_{12}Mg\ \&\ ^{56}_{26}Fe$

उत्तर $^{13}_{6}C$ में 6e व 6p होते हैं।

$^{16}_{8}O$ में 8e व 8p होते हैं।

$^{24}_{12}Mg$ में 12e व 12p होते हैं।

$^{56}_{26}Fe$ में 26e व 26p होते हैं।

17. निम्न क्वाण्टम संख्याओं के समबद्ध कक्षक कौनसे हैं-

(i) n = 1, *l* = O,
(ii) n = 2, *l* = 2
(iii) n = 4, *l* = 3,
(iv) n = 3, *l* = 2

Ans. (i) *n* = 1, *l* = 0 के लिए 1s कक्षक होगा।

(ii) *n* = 2, *l* = 2 के लिए 2d कक्षक होगा लेकिन यह प्रश्न गलत है। 2d कक्षक कभी भी नहीं होता है।

(iii) *n* = 4, *l* = 3, के लिए, 4f कक्षक होगा।

(iv) *n* = 3, *l* = 2 के लिए 3d कक्षक होगा।

18. H_2^+, O_2^+ तथा H_2 में इलेक्ट्रॉन्स की संख्या बताइए।

Ans. H_2^+ में es की कुल संख्या = 1 + 1 – 1 = 1e

O_2^+ में es की कुल संख्या = 8 + 8 – 1 = 15 es

H_2 में es की कुल संख्या = 1 + 1 = 2es

19. प्रोटॉन व न्यूट्रॉन की खोज किन वैज्ञानिकों ने की।

उत्तर- प्रोटॉन की खोज-गोल्डस्टीन ने

न्यूट्रॉन की खोज-चेडविक नें

20. मूलभूत कण कौनसे हैं-

उत्तर- प्रोटॉन, न्यूट्रॉन एवं इलेक्ट्रॉन हैं।

लघुत्तरात्मक प्रश्न-

21. हाइड्रोजन परमाणु के पांचवें बोर कक्षक की त्रिज्या ज्ञात कीजिए।

उत्तर $r_5 = .529 \times \dfrac{n^2}{Z} A^0$

$= .529 \times 5 \times 5 A^0$

$= 25 \times .529 A^0$

22. यदि इलेक्ट्रॉन n = 3 से n = 2 में जाता है। तब विसर्जित ऊर्जा, कितनी होगी-

उत्तर $E = -13.6 \times \dfrac{z^2}{n^2} eV$

$E_3 = -13.6 \times \dfrac{1^2}{3^2} eV = -1.5eV$

$E_2 = -13.6 \dfrac{2}{1^2} eV = -3.4eV$

अत: विसर्जित ऊर्जा $= E_3 - E_2$

$= -1.5 - (-3.4)$

$= 3.4 - 1.5$

$= 1.9eV$ उत्तर

23. बोर सिद्धान्त के अनुसार 5वें ऊर्जा स्तर में इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग क्या होगा?

उत्तर कोणीय संवेग = $\dfrac{nh}{2\pi}$

5वें ऊर्जा में कोणीय संवेग $= \dfrac{5h}{2\pi}$

26. Cr परमाणु की मूल अवस्था में इलेक्ट्रॉनिक विन्यास क्या है?

उत्तर: $Cr_{24}\ 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$

27. रूबीडियम (z = 37) के संयोजी इलेक्ट्रॉन के लिये चारों क्वाण्टम संख्या के मान लिखिये।

उत्तर: $Rb_{37}\ 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 5s^1$

$5s^1$ संयोजकता इलेक्ट्रॉन

n = 5, *l* = 0, m = 0, s = $-\dfrac{1}{2}$ अथवा $+\dfrac{1}{2}$

28. तीन क्वाण्टम संख्या n, l, m मुख्य रूप से परमाणु के किस गुण को दर्शाती है?

उत्तर : कक्षक को।

29. हुण्ड नियम के अनुसार किस तत्व में छ: अयुग्मित इलेक्ट्रॉन उपस्थित होता है?

उत्तर: Cr तत्व में छ: अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होते हैं।

$Cr_{24}\ 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^1$

30. *d-इलेक्ट्रॉन के लिये कक्षक कोणीय संवेग का होगा?*

उत्तर : किसी कक्षक में स्थित e का कोणीय संवेग = $\frac{h}{2\pi}\sqrt{l(l+1)}$

d कक्षक में स्थित e का कोणीय संवेग = $\frac{h}{2\pi}\sqrt{2(2+1)} = \frac{h}{2\pi}\sqrt{6}$

31. *तत्व $^{231}_{89}Y$ में प्रोटॉन, न्यूट्रॉन तथा इलेक्ट्रॉन की संख्या कितनी होगी?*

उत्तर : $^{231}_{89}Y$, प्रोटॉन की संख्या = 89

इलेक्ट्रॉन की संख्या = 89

न्यूट्रॉन की संख्या = 231 − 89 = 142

32. *द्वितीय कक्षा ओर प्रथम कक्षा द्वारा घेरे गये क्षेत्रफल का अनुपात ज्ञात कीजिये।*

उत्तर : क्षेत्रफल $= \pi r^2$

द्वितीय कक्षा का क्षेत्रफल $= \pi r_2^2$

प्रथम कक्षा का क्षेत्रफल $= \pi r_1^2$

$$r_2 : r_1 = r_2^2 : r_1^2$$
$$= .529 \times 4^2 : .529 \times 1^2$$
$$= 16 : 1$$

33. *N परमाणु में तीन अयुग्मित इलेक्ट्रॉन की उपस्थिति का क्या कारण है?*

उत्तर : अधिक स्थायित्वता का।

34. *3s व 2p कक्षकों के रेडियल (त्रिज्या) नोडो की संख्या बताइये।*

उत्तर : 3s कक्ष में रेडियल नोडो की संख्या = (n − 1) = 3 − 1 = 2

2p कक्ष में रेडियल नोडो की संख्या = (n − 2) = zero

35. *यदि n + 1 = 6 हो, तो उपकोशों की संभावित संख्या क्या होगी?*

उत्तर : n + l = 6

6 + 0

5 + 1 — उपकोशों की संभावित संख्या 3 होगी।

4 + 2 — 6s.5p व 4d

3 + 3X

निबंधात्मक प्रश्न

36. बोर के परमाणु मॉडल के मुख्य आधार एवं अभिगृहित समझाइये? बोर प्रतिरूप की कमियां क्या थी?

हल : *बिन्दु 2.9 देखें।*

37. प्लांक के क्वाण्टम सिद्धांत की विस्तृत व्याख्या कीजिये।

हल : *बिन्दु 2.7.2 देखें।*

38. रदरफोर्ड परमाणु मॉडल क्या है, इसकी असफलता के कारण दीजिये।

हल : *बिन्दु 2.6.2 देखें।*

39. निम्न पर टिप्पणी लिखिये-

(a) द-ब्राग्ली का द्रव्य का द्वैत व्यवहार

(b) हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता का सिद्धांत

(c) क्वाण्टम संख्याऐं तथा कक्षक

(d) कक्षकों की आवृत्ति

हल : **(a) बिन्दु 2.11 देखें।**

(b) बिन्दु 2.11.1 देखें।

(c) बिन्दु 2.13 देखें।

(d) बिन्दु 2.14 देखें।

आंकिक प्रश्न

40. सोडियम लैम्प द्वारा उत्सर्जित पीले प्रकाश की तरंगदैर्ध्य 580 nm है। इसकी आवृत्ति (ν) तथा तरंग संख्या (ν) तथा तरंग संख्या ($\bar{\nu}$) का परिकलन कीजिए।

उत्तर: पद.I. पीले प्रकाश की आवृति की गणना

हम जानते हैं कि $\nu = \frac{c}{\lambda}$

$$c = 3\times10^8 ms^{-1}; \lambda = 580\,nm = 580\times10^{-9} m$$

$$\therefore \quad \nu = \frac{(3\times10^8 ms^{-1})}{(580\times10^{-9} m)} = 5.17\times10^{14} S^{-1}$$

पद.II. पीले प्रकाश की तरंग संख्या की गणना

तरंग संख्या $(\bar{\nu}) = \frac{1}{\lambda}$

$$= \frac{1}{(580\times10^{-9} m)}$$

$$= 1.724\times10^6 m^{-1}$$

41. 3×10^5 Hz आवृत्ति वाले प्रकाश के संगत फोटॉन की ऊर्जा ज्ञात कीजिए। यदि प्रकाश की तरंगदैर्ध्य λ (0.50Å) हो, तो उसकी ऊर्जा E ज्ञात कीजिये।

हल : फोटॉन की ऊर्जा = hν

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

$\nu = 3 \times 10^5 s^{-1}$ (Hz)

h.ν का मान रखने पर

$$E = 6.626 \times 10^{-34} Js \times 3\times10^5 s^{-1}$$
$$= 1.987 \times 10^{-28} J \quad \text{Ans.}$$

प्रकाश की ऊर्जा $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$

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

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

$\lambda = 0.5 \times 10^{-10}$ m.

मान रखने पर $E = \frac{6.626\times10^{-34} Js\times3\times10^8 ms^{-1}}{0.5\times10^{-10} m.}$

$= 3.975 \times 10^{-15}$ J Ans.

42. यदि 4×10^{-7} m तरंग-दैर्ध्य वाला एक फोटॉन 2.13 eV कार्यफलन वाली धातु की सतह से टकराता है, तो

(i) फोटॉन की ऊर्जा (eV में)

(ii) उत्सर्जन की गतिज ऊर्जा और

(iii) प्रकाशीय इलेक्ट्रॉन के वेग का परिकलन कीजिए ($1\ eV = 1.6020 \times 10^{-19}$ J)।

उत्तर: (i) फोटॉन की ऊर्जा

$$\text{ऊर्जा (E)} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.62\times10^{-34} Js)\times(3\times10^{8} ms^{-1})}{(4\times10^{-7} m)}$$

$$= 4.97\times10^{-19} J$$

$$= \frac{(1eV)}{(1.602\times10^{-19} J)}\times(4.97\times10^{-19} J)$$

= 3.1 eV

(ii) उत्सर्जन की गतिज ऊर्जा

उत्सर्जन की गतिज = E – कार्य फलन

(अर्थात् उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन्स की गतिज ऊर्जा)

= (3.1 – 2.13) = **0.97 eV**

(iii) फोटोइलेक्ट्रॉन का वेग

$$\text{उत्सर्जन की KE} = \frac{1}{2}mv^2 = 0.97 \text{ eV}$$

$$= 0.97\times1.602\times10^{-19} J$$

$$= 0.97\times1.602\times10^{-19} kg\, m^2 s^{-2}$$

या $$v^2 = \frac{2\times0.97\times1.602\times10^{-19}(k\, m^2 s^{-2})}{(9.1\times10^{-31} kg)}$$

$$= 0.34\times10^{12} m^2 s^{-2}$$

$$v = (0.34\times10^{12} m^2 s^{-2})^{1/2}$$

$$= 0.583\times10^{6} ms^{-1} = 5.83\times10^{5} ms^{-1}.$$

43. 25 वॉट का एक बल्ब 0.57 μm तरंग-दैर्ध्य वाले पीले रंग का एकवर्णी प्रकाश उत्पन्न करता है। प्रति सेकंड क्वांटा के उत्सर्जन की दर ज्ञात कीजिए।

उत्तर: एक फोटॉन की ऊर्जा $(E) = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

$$h = 6.626\times10^{-34} Js; c = 3\times10^{8} ms^{-1}; \lambda = 0.57\times10^{-6} m$$

$$E = \frac{(6.626\times10^{-34} Js)\times(3\times10^{8} ms^{-1})}{(0.57\times10^{-6} m)}$$

$$= 34.84\times10^{-20} J$$

$$\text{प्रति सेकण्ड की उत्सर्जन दर} = \frac{\text{सामर्थ्य}}{\text{ऊर्जा}}$$

सामर्थ्य (P) = 25 वाट = 25 Js^{-1}; E = 3.48 × 10^{-19} J

$$= \frac{(25W)}{(3.48\times10^{-19} J)}$$

$$= \frac{(25Js^{-1})}{(3.48\times10^{-19} J)}$$

$$= 7.18\times10^{19} s^{-1}.$$

44. किसी धातु की सतह पर 6800 Å तरंग-दैर्ध्य वाली विकिरण डालने से शून्य वेग वाले इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते है। धातु की देहली आवृति (ν_0) और कार्यफलन (W_0) ज्ञात कीजिए।

उत्तर: $$\text{देहली आवृति } (\nu_0) = \frac{c}{\lambda} = \frac{(3\times10^{8} ms^{-1})}{(68\times10^{-8} m)}$$

$$= 4.41\times10^{14} s^{-1}$$

कार्यफलन $(W_0) = h\nu_0$

$$= (6.626\times10^{-34} Js)\times(4.41\times10^{14} s^{-1})$$

$$= 2.92\times10^{-19} J.$$

45. जब हाइड्रोजन परमाणु के n = 4 ऊर्जा स्तर से n = 2 ऊर्जा स्तर में इलेक्ट्रॉन जाता है, तो किस तरंग-दैर्ध्य का प्रकाश उत्सर्जित होगा?

उत्तर: बामर सूत्र के अनुसार

$$\text{तरंग संख्या } (\bar{\nu}) = R_H\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right] cm^{-1}$$

$n_1 = 2, n_2 = 4, R_H = 109678\ cm^{-1}$

$$\therefore \quad \bar{\nu} = 109678\left[\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right] cm^{-1}$$

$$= \frac{109678\times3}{16} cm^{-1}$$

$$\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{16}{109678\times3} cm$$

$$= \frac{16\times10^{7}}{109678\times3} nm$$

= 486 nm

46. हाइड्रोजन के प्रथम कक्षक से संबंधित ऊर्जा –2.18 × 10^{-18} J $atom^{-1}$ है। पाँचवें कक्षक से संबंधित ऊर्जा बताइए।

उत्तर: एक इलेक्ट्रॉन के लिए, दो कक्षों में ऊर्जाओं की तुलना इस प्रकार की जा सकती है।

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \qquad \left[\because E_n \propto \frac{1}{n^2}\right]$$

प्राप्त आँकड़ों के अनुसार : $n_1 = 1, E_1 = -2.17\times10^{-18}$ J $atom^{-1}$, $n_2 = 5$

$$\therefore \quad \frac{(-2.17\times10^{-18} J\, atom^{-1})}{E_2} = \left(\frac{5}{1}\right)^2 = 25$$

या $$E_2 = \frac{(-2.17\times10^{-18} J\, atom^{-1})}{25}$$

= –8.68 × 10^{-20} J $atom^{-1}$

47. 2.05 × 10^{7} ms^{-1} वेग से गति कर रहे किसी इलेक्ट्रॉन का तरंग-दैर्ध्य क्या होगा?

उत्तर: डी ब्रोगली समीकरण के अनुसार, $\lambda = \frac{h}{mv}$

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (m) = 9.1×10^{-31} kg

इलेक्ट्रॉन का वेग (v) = 2.05×10^{7} ms^{-1}

प्लांक नियतांक (h) = 6.626×10^{-34} kg m^2 s^{-1}

$$\therefore \quad \lambda = \frac{(6.626\times10^{-34} kg\, m^2 s^{-1})}{(9.1\times10^{-31}kg)\times(2.05\times10^7 ms^{-1})}$$

= 3.55×10^{-11} m

48. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा $E_n = (-2.18 \times 10^{-18})/n^2J$ द्वारा दी जाती है। n = 2 कक्षा से इलैट्रॉन को पूरी तरह निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा की गणना कीजिए। प्रकाश की सबसे लंबी तरंग-दैर्ध्य (cm में) क्या होगी, जिसका उपयोग इस संक्रमण में किया जा सके।

उत्तर: **पद I.** वांछित ऊर्जा की गणना–

वांछित ऊर्जा में अन्तर है जब इलेक्ट्रॉन $n = \infty$ से $n = 2$ वाली कक्षा में कूदता है।

वांछित ऊर्जा (ΔE) = $E_\infty - E_2$

$$= 0 - \left(-\frac{2.18\times10^{-18}}{4}J\right)$$

$= 0.545 \times 10^{-18}$ J

पद II. संक्रमण हेतु प्रयुक्त प्रकाश के तरंगदैर्ध्य की cm में गणना

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

$$= \frac{(6.626\times10^{-34} J-s)\times(3\times10^8 ms^{-1})}{(0.545\times10^{-18}J)}$$

= 3.644×10^{-7} m

= $3.644 \times 10^{-7} \times 10^{2} = 3.644 \times 10^{-5}$ cm

अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न-उत्तर

प्र.1 ऐसा प्रकाश, जिसकी तरंग-दैर्ध्य 4000 pm हो और जो I J ऊर्जा दे, के फोटॉनों की संख्या बताइए।

उत्तर: फोटॉन की ऊर्जा (E) = $\frac{hc}{\lambda}$

$h = 6.626\times10^{-34} Js, c = 3\times10^8 ms^{-1}$,

$\lambda = 4000 pm = 4000\times10^{-12} = 4\times10^{-9} m$

$$\therefore \quad \text{फोटॉन की ऊर्जा (E)} = \frac{(6.626\times10^{-34} Js)\times(3\times10^8 ms^{-1})}{(4\times10^{-9} m)}$$

$= 4.965\times10^{-17} J$

अब, 4.965×10^{-17} J ऊर्जा है = 1 फोटॉन की

$\therefore$ 1J ऊर्जा होगी = $\frac{1}{4.965\times10^{-17}}$

= 2.014×10^{16} **फोटॉन्स की**

प्र.2 यदि 4×10^{-7} m तरंग-दैर्ध्य वाला एक फोटॉन 2.13 eV कार्यफलन वाली धातु की सतह से टकराता है, तो

(i) फोटॉन की ऊर्जा (eV में)

(ii) उत्सर्जन की गतिज ऊर्जा और

(iii) प्रकाशीय इलेक्ट्रॉन के वेग का परिकलन कीजिए ($1 eV = 1.6020 \times 10^{-19}$ J)।

उत्तर: (i) फोटॉन की ऊर्जा

$$\text{ऊर्जा (E)} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.62\times10^{-34} Js)\times(3\times10^8 ms^{-1})}{(4\times10^{-7}m)}$$

$= 4.97\times10^{-19} J$

$$= \frac{(1eV)}{(1.602\times10^{-19}J)}\times(4.97\times10^{-19}J)$$

= 3.1 eV

(ii) उत्सर्जन की गतिज ऊर्जा

उत्सर्जन की गतिज = E – कार्य फलन

(अर्थात् उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन्स की गतिज ऊर्जा)

= (3.1 – 2.13) = **0.97 eV**

(iii) फोटोइलेक्ट्रॉन का वेग

उत्सर्जन की KE = $\frac{1}{2}mv^2 = 0.97$ eV

$= 0.97\times1.602\times10^{-19} J$

$= 0.97\times1.602\times10^{-19} kg\, m^2 s^{-2}$

$$\text{या} \quad v^2 = \frac{2\times0.97\times1.602\times10^{-19}(k\,m^2 s^{-2})}{(9.1\times10^{-31}kg)}$$

$= 0.34\times10^{12} m^2 s^{-2}$

$v = (0.34\times10^{12} m^2 s^{-2})^{1/2}$

$= 0.583\times10^6 ms^{-1} = 5.83\times10^5 ms^{-1}$.

प्र.3 सोडियम परमाणु के आयनन के लिए 242 nm तरंग-दैर्ध्य की विद्युत-चुंबकीय विकिरण पर्याप्त होती है। सोडियम की आयनन ऊर्जा kJ mol^{-1} में ज्ञात कीजिए।

उत्तर: E = $\frac{hc}{\lambda}$

$\lambda = 242 nm = 242\times10^{-9} m$,

c = $3\times10^8 ms^{-1}, h = 6.626\times10^{-34} Js$

$$\therefore \quad E = \frac{(6.626\times10^{-34} Js)\times(3\times10^8 ms^{-1})}{(242\times10^{-9} m)}$$

$= 0.0821 \times 10^{-17} J\,atom^{-1}$

$$E = \frac{0.0821 \times 10^{-17} \times 6.022 \times 10^{23})}{1000}$$

$= 494 kJ\,mol^{-1}$

प्र.4 जब हाइड्रोजन परमाणु में उत्तेजित इलेक्ट्रॉन n = 6 से मूल अवस्था में जाता है, तो प्राप्त उत्सर्जित रेखाओं की अधिकतम संख्या क्या होगी?

उत्तर: उत्सर्जित रेखाओं की अधिकतम संख्या

$$= \frac{n(n-1)}{2} = \frac{6(6-1)}{2}$$

$= 3 \times 5 = 15$

वास्तविक परिवर्तन निम्न प्रकार से होता है

n = 6 से n =1	n = 5 से n =1	n = 4 से n =1	n = 3 से n =1	n = 2 से n =1
$6 \to 5$	$5 \to 4$	$4 \to 3$	$3 \to 2$	$2 \to 1$
$6 \to 4$	$5 \to 3$	$4 \to 2$	$3 \to 1$	
$6 \to 3$	$5 \to 2$	$4 \to 1$		
$6 \to 2$	$5 \to 1$			
$6 \to 1$				
(5 रेखाएँ)	(4 रेखाएँ)	(3 रेखाएँ)	(2 रेखाएँ)	(1 रेखाएँ)

= 15 रेखाएँ

प्र.5. हाइड्रोजन परमाणु की बामर श्रेणी में अधिकतम तरंग-दैर्ध्य वाले संक्रमण की तरंग-संख्या की गणना कीजिए।

उत्तर: बामर श्रेणी के लिए, $n_1 = 2$ जब इलेक्ट्रॉन ऊर्जा स्तर $n_2 = 3$ से $n_1 = 2$ में जाता है तो उसकी तरंगदैर्ध्य (λ) अधिकतम होगी। बामर सूत्र के अनुसार,

$$\therefore \quad \bar{v} = \frac{1}{\lambda} = R_H\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$= 109677\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right]$$

$$= \frac{109677 \times 5}{36} cm^{-1}$$

$= 1.523 \times 10^4\ cm^{-1}$ = $\mathbf{1.523 \times 10^6\ m^{-1}}$

प्र.6. इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान 9.1×10^{-31} kg हैं। यदि इसकी गतिज ऊर्जा 3.0×10^{-25} J हो, तो इसकी तरंग-दैर्ध्य की गणना कीजिए।

उत्तर: पद I. इलेक्ट्रॉन के वेग की गणना

गतिज ऊर्जा $= 1/2\ mv^2 = 3.0 \times 10^{-25}$ J

$= 3.0 \times 10^{-25}\ kg\ m^2\ s^{-2}$

$$v^2 = \frac{2 \times K.E.}{m}$$

$$= \frac{2 \times (3.0 \times 10^{-25} kg\,m^2\,s^{-2})}{(9.1 \times 10^{-31} kg)}$$

$= \mathbf{65.9 \times 10^4\ m^2\ s^{-2}}$

$v = (65.9 \times 10^4\ m^2\ s^{-2})^{1/2}$

$= \mathbf{8.12 \times 10^2\ ms^{-1}}$

पद II. इलेक्ट्रॉन के तरंगदैर्ध्य की गणना

डी ब्रोगली समीकरण के अनुसार,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{(6.62 \times 10^{-34} kg\,m^2\,s^{-1})}{(9.1 \times 10^{-31} kg) \times (8.12 \times 10^2\,ms^{-1})}$$

$= 0.08967 \times 10^{-5}$ m $= 8967 \times 10^{-10}$ m

$= \mathbf{8967\ Å}$ $\quad (\because 1Å = 10^{-10} m)$

प्र.7. निम्नलिखित में से कौन सम-आयनी स्पीशीज हैं, अर्थात् किनमें इलेक्ट्रॉनों की समान संख्या है,

$Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, S^{2-}$, Ar

उत्तर: Na^+ और Mg^{2+} समइलेक्ट्रॉनिक (10 इलेक्ट्रॉन रखते हैं) है। तथा K^+, Ca^{2+}, S^{2-} सम इलेक्ट्रॉनिक (18 इलेक्ट्रॉन रखते हैं)।

प्र.8.(i) निम्नलिखित आयनों का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास लिखिए-

(क) H^- (ख) Na^+

(ग) O^{2-} (घ) F^-

(ii) उन तत्वों की परमाणु संख्या बताइए, जिनके सबसे बाहरी इलेक्ट्रॉनों को निम्नलिखित रूप में दर्शाया जाता है :

(क) $3s^1$ (ख) $2p^3$ तथा (ग) $3d^6$

(iii) निम्नलिखित विन्यासों वाले परमाणुओं के नाम बताइए–

(क) [He] $2s^1$ (ख) [Ne] $3s^2\ 3p^3$ (ग) [Ar] $4s^2\ 3d^1$.

उत्तर: (i) (a) $1s^2$ (b) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ (c) $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ (d) $1s^2\ 2s^6\ 2p^6$

(ii) (a) Na (Z = 11) का बाह्य इलेक्ट्रॉनिक विन्यास = $3s^1$

(b) N (Z = 7) का बाह्य इलेक्ट्रॉनिक विन्यास = $2p^3$

(c) Fe (Z = 26) का बाह्य इलेक्ट्रॉनिक विन्यास = $3d^6$

(iii) (a) Li (b) P (c) Sc

प्र.9. *n* का न्यूनतम मान क्या होगा जो '*g*' कक्षक को अस्तित्व प्रदान करती है?

उत्तर: *l* का न्यूतम मान जहाँ '*g*' कक्षक उपस्थित हो सकता है= 4

n का न्यूतम मान जहाँ '*g*' कक्षक उपस्थित हो सकता है = 4 + 1=5

प्र.10. एक इलेक्ट्रॉन 3d कक्षकों के एक कक्षक में हैं इलेक्ट्रॉन के लिए, *n* , *l* और *m* के सम्भावित मान दीजिए।

उत्तर: 3d कक्षक में इलेक्ट्रॉन के लिए, $n = 3, l = 2, m = -2, -1, 0, +1, +2$

प्र.11. किसी तत्व के एक परमाणु में 29 इलेक्ट्रॉन्स और 35 न्यूट्रॉनस हैं। निकालिए (i) प्रोटॉन्स की संख्या (ii) तत्व का इलेक्ट्रॉनिक विन्यास।

उत्तर: उदासीन परमाणु में प्रोटॉन्स की संख्या = इलेक्ट्रॉन्स की संख्या =29

इलेक्ट्रॉनिक विन्यास = $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^1$

प्र.12. स्पीशीज : H_2^+, H_2 और O^+_2 में इलेक्ट्रॉन्स की संख्या दीजिए।

उत्तर: H_2^+ = एक, H_2 = दो, $O_2^+ = 15$

प्र.13. (i) एक परमाणु कक्षक में *n* = 3 है। *l* और *m* के सम्भावित मान क्या हैं?

(ii) तीसरे कक्षक में इलेक्ट्रॉन की क्वाण्टम संख्या *m* और *l* की सूची बनाएँ।

(iii) कौन-से कक्षक संभावित हैं? 1s, 2s, 3p, 3f.

उत्तर: (i) $n = 3$ के लिए; $l = 0, 1$ और 2.

$l = 0$ के लिए; $m = 0$

$l = 1$ के लिए; $m = -1, 0, +1$

$l = 2$ के लिए; $m = -2, -1, 0, +1, +2$

(ii) तीसरे कक्षक में इलेक्ट्रॉन के लिए; $n = 3$; $l = 2$; m के मान $-2, -1, 0, +1, +2$ हो सकते हैं।

(iii) 1p और 3f कक्षक संभावित नहीं है।

प्र.14. *s, p* और *d* संकेतों को प्रयुक्त करते हुए, निम्नलिखित क्वान्टम संख्याओं युक्त कक्षकों को बताइए।

(a) $n = 1, l = 0$ (b) $n = 2, l = 0$

(c) $n = 3, l = 1$ (d) $n = 4, l = 2$

(e) $n = 4, l = 3$

उत्तर: (a) 1s कक्षक (b) 2s कक्षक (c) 3p कक्षक (d) 4d कक्षक

(e) 4f कक्षक

प्र.15. निम्न क्वान्टम संख्याओं के समूहों से बताइए कौन से सम्भव हैं। व्याख्या कीजिए दूसरे सम्भव क्यों नहीं हैं।

(i) $n = 0, l = 0, m = 0, s = +1/2$

(ii) $n = 1, l = 0, m = 0, s = -1/2$

(iii) $n = 1, l = 1, m = 0, s = +1/2$

(iv) $n = 2, l = 1, m = +1, s = -1/2$

(v) $n = 3, l = 3, m = -3, s = +\frac{1}{2}$

(vi) $n = 3, l = 1, m = 0, s = +1/2$

उत्तर: (i) क्वान्टम संख्याओं का समूह सम्भव नहीं है क्योंकि n का न्यूनतम मान 1 हो सकता है, शून्य नहीं।

(ii) क्वान्टम संख्यओं का समूह सम्भव है।

(iii) क्वान्टम संख्यओं का समूह सम्भव नहीं है क्योंकि $n = 1$ के लिए, $l = 1$ के बराबर नही हो सकता। यह 0 मान रख सकता है।

(iv) क्वान्टम संख्यओं का समूह सम्भव है।

(v) क्वान्टम संख्यओं का समूह सम्भव नहीं है क्योंकि $n = 3$ के लिए, l का मान 3 नहीं हो सकता।

(vi) क्वान्टम संख्यओं का मान सम्भव है।

प्र.16. एक परमाणु में कितने इलेक्ट्रॉन्स निम्नलिखित क्वान्टम संख्याओं को रख सकते हैं?

(a) $n = 4; m_s = -1/2$

(b) $n = 3; l = 0$

उत्तर: (a) **$n = 4$ के लिए,**

$l = 0; m_l = 0, m_s = -1/2$ (एक e^-)

$l = 1; m_l = -1, 0, +1\ m_s = -1/2$ (तीन e^-)

$l = 2; m_l = -2, -1, 0, +1, +2, +\ m_s = -1/2$ (पाँच e)

$l = 3; m_l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\ m_s = -1/2$ (सात e^-)

कुल es = 1 + 3 + 5 + 7 = 16es

(b) **$n = 3$ के लिए**

$l = 0; m_l = 0, m_s = +1/2, -1/2$ (दो e^-)

प्र.17. He^+ स्पेक्ट्रम के $n = 4$ से $n = 2$ बामर संक्रमण से प्राप्त तरंग-दैर्ध्य के बराबर वाला संक्रमण हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में क्या होगा?

उत्तर: परमाणु के लिए, $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H Z^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

He^+ स्पेक्ट्रम के लिए :

$Z = 2, n_2 = 4, n_1 = 2.$

$$\therefore \quad \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \times 4\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

$$= \frac{3R_H}{4}$$

हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम के लिए,

$$\bar{\nu} = \frac{3R_H}{4} \text{ और } Z = 1$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \times 1\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

या $$R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = \frac{3R_H}{4}$$

या $$\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} = \frac{3}{4}$$

इसका अर्थ है कि $n_1 = 1$ और $n_2 = 2$.

अतः हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम की स्थिति में संक्रमण n_2 से n_1 में होगा।

प्र.18. यदि कार्बन परमाणु का व्यास 0.15 nm है, तो उन कार्बन परमाणुओं की संख्या की गणना कीजिए, जिन्हे 20 cm स्केल की लंबाई में एक-एक करके व्यवस्थित किया जा सकता है।

उत्तर: पैमाने की लम्बाई = 20 cm

$= 20 \times 10^7$ nm

$= 2 \times 10^8$ nm

कार्बन परमाणु का व्यास = 0.15 nm

∴ कार्बन परमाणुओं की संख्या जिनको पैमाने में पास पास रखा जा सके

$$= \frac{(2 \times 10^8 nm)}{0 \times 15nm} = \mathbf{1.33 \times 10^9}$$

प्र.19. रदरफोर्ड के प्रयोग में प्रायः भारी परमाणुओं जैसे सोना, प्लेटिनम आदि की पतली पन्नी α– कणों द्वारा बमबारी के लिए प्रयुक्त की जाती है। यदि हल्के परमाणुओं जैसे एलुमिनियम आदि की पतली पन्नी को प्रयुक्त किया जाए तो उपरोक्त परिणामों से क्या अन्तर प्रेक्षित किया जाएगा?

उत्तर: यदि हल्के परमाणु जैसे एलुमिनियम आदि की पतली पन्नी का उपयोग रदरफोर्ड के प्रयोग में किया जाता है। इसका तात्पर्य है कि तीव्रगामी स्कणों के पथ में रखी गई बाधा अपेक्षाकृत काफी

कम होगी। परिणामस्वरूप विक्षेपित $\alpha-$ कणों की संख्या काफी कम होगी और पीछे की ओर विक्षेपित हुए इलेक्ट्रान्स की संख्या नगण्य होगी।

प्र.20. प्रतीक $^{79}_{35}Br$ और ^{79}Br को लिखा जा सकता है जबकि $^{35}_{79}Br$ और $_{35}Br$ को ग्रहण नहीं किया जाता है। संक्षेप में उत्तर दो।

उत्तर: **तत्व के प्रतीक** $^{B}_{A}X$ में: A तत्व के परमाणु क्रमांक को निरूपित करता है।

B तत्व की द्रव्यमान संख्या को निरूपित करता है।

तत्व का परमाणु क्रमांक इसके प्रतीक से पहचाना जा सकता है क्योंकि किन्हीं दो तत्वों में परमाणु क्रमांक समान नही हो सकते।

किसी तत्वो को पहचानने के लिए द्रव्यमान संख्याओं को ध्यान में रखना पड़ता है। इस प्रकार,

प्रतीक $^{79}_{35}Br$ और ^{79}Br ग्रहण कर लिए जाते है, प्रतीक $^{35}_{79}Br$ और $_{35}Br$ ग्रहण करने योग्य नही है क्योकि $_{35}Br$ में द्रव्यमान संख्या निश्चित नही होती है।

प्र.21. द्रव्यमान संख्या 81 वाले तत्व में प्रोटॉन्स की अपेक्षा 31.7% अधिक न्यूट्रॉन्स है। तत्व का प्रतीक ज्ञात कीजिए।

उत्तर: किसी तत्व को मात्र इसके परमाणु क्रमांक द्वारा पहचाना जा सकता है। अब हम परमाणु क्रमांक ज्ञात करें।

माना प्रोटॉन्स की संख्या $= x$

$$\therefore \quad \text{न्यूट्रॉन्स की संख्या} = x + \frac{x+31.7}{100}$$

$$= (x + 0.317x)$$

अब तत्व की द्रव्यमान संख्या = प्रोटॉन्स की संख्या + न्यूट्रॉन्स की संख्या

$$81 = x + x + 0.317x$$
$$= 2.317\,x$$

$$\therefore \quad x = \frac{81}{2.317} = 35$$

$\therefore$ प्रोटॉन्स की संख्या = 35

न्यूट्रॉन्स की संख्या = 81 – 35 = 46

तत्व का परमाणु क्रमांक (Z) = प्रोटॉन्स की संख्या = 35

परमाणु क्रमांक (Z) 35 वाला तत्व ब्रोमीन $^{81}_{35}Br$ है।

प्र.22. द्रव्यमान संख्या 37 वाला एक आयन एक इकाई ऋणावेश प्राप्त करता है। यदि आयन में इलेक्ट्रॉन्स की अपेक्षा 11.1% अधिक न्यूट्रान्स होते है, आयन का प्रतीक ज्ञात कीजिए।

उत्तर: माना आयन में इलेक्ट्रान की संख्या $= x$

$\therefore$ प्रोटॉन्स की संख्या $= x - 1$

और न्यूट्रॉन्स की संख्या $= 1.111x$

आयन का द्रव्यमान = प्रोटॉन्स की संख्या + न्यूट्रॉन्स की संख्या $= (x - 1 + 1.111x)$

दिया है

आयन का द्रव्यमान = 37

$$\therefore \quad x - 1 + 1.111x = 37$$
$$2.111x = 37 + 1 = 38$$

$$x = \frac{38}{2.111} = 18$$

इलेक्ट्रान्स की संख्या = 18

प्रोटॉन्स की संख्या = 18 – 1 = 17

आयन का परमाणु क्रमांक = 17

आयन के संगत परमाणु = Cl

आयन का प्रतीक = $^{37}_{17}Cl^{-1}$

प्र.23. द्रव्यमान संख्या 56 वाले आयन पर 3 इकाई धनावेश है और इसमें इलेक्ट्रान्स से 30.4% अधिक न्यूट्रॉन्स है। आयन का प्रतीक निर्दिष्ट कीजिए।

उत्तर: माना आयन मे इलेक्ट्रॉन्स की संख्या $= x$

$\therefore$ प्रोटॉन्स की संख्या $= x + 3$

$$\text{और} \quad \text{न्यूट्रॉन्स की संख्या} = x + \frac{30.4x}{100}$$

$$= x + 0.304\,x$$

अब, आयन का द्रव्यमान = प्रोटॉन्स की संख्या + न्यूट्रॉन्स की संख्या

$$= (x + 3) + (x + 0.304\,x)$$

$$\therefore \quad 56 = (x + 3) + (x + 0.304\,x)$$

$$\text{या} \quad 2.304\,x = 56 - 3 = 53$$

$$x = \frac{53}{2.304} = \mathbf{23}$$

आयन (या तत्व) का परमाणु क्रमांक = 23 + 3 = **26**

परमाणु क्रमांक 26 वाला तत्व लोहा (Fe) है और संगत आयन Fe^{3+} है।