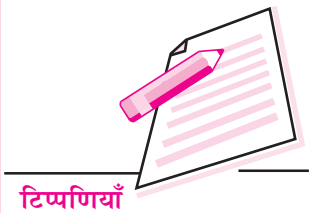


टिप्पणियाँ

24

परमाणु की संरचना

अब तक आप, पदार्थ के यांत्रिक, तापीय, वैद्युत एवम् चुम्बकीय गुणों के विषय में पढ़ चुके हैं। क्या आपने कभी सोचा है कि अलग-अलग पदार्थों में अलग-अलग गुण क्यों होते हैं? ब्लेक बोर्ड पर लिखने वाली चॉक स्टिक, जरा सा दबाने में क्यों टूट जाता है, जबकि अल्युमिनियम की पतीली या कोई भी बर्तन या टुकड़ा ठोकने में पिचक कर फैल जाता है; क्यों कुछ ध ातुओं (जैसे सोना तांबा इत्यादि) पर प्रकाश की किरणें पड़ने पर उनमें धारा प्रवाहित होने लगती है इत्यादि, ऐसे अनेकों प्रसंग हैं। पदार्थों मे ऐसी विभिन्न एवं विचित्र गुण-धार्मिता को समझने के लिए हमें याद करना चाहिए कि परमाणु किसी पदार्थ की संरचना उसकी बनावट का निर्माणात्मक अवयव होता है। तात्पर्य यह है कि पदार्थ देखने में चाहे जैसी भी आकृति या अवस्था में हो, उनके परमाणुओं की आंतरिक संरचना, जिसे सूक्ष्मदर्शी साधनों से ही देखा जा सकता है, निश्चित तरीके (पैटर्न) से निर्मित होती है। परमाणु की आतंरिक-संरचना ही विभिन्न पदार्थों के अलग-अलग गुणों एवम् अन्य भौतिक प्रभावों के लिए उत्तरदायी है।

परमाणु की संरचना संबंधी हमारी समझ का उद्‌बोध-विकास समय के एक लम्बे अंतराल में हुआ। इस पाठ में हमने परमाणु संरचना के प्रस्तावित कई प्रारूपों (मॉडलों) की चर्चा की है। रदरफार्ड मॉडल से प्रारंभ करते हुए, जो कि चिर-प्रतिष्ठित विकीर्णन प्रयोग पर आध ारित था, बोहर-मॉडल की विशेष चर्चा की गई है। क्योंकि बोहर द्वारा प्रस्तावित एवम् प्रतिष्ठित परमाणु की आंतरिक संरचना का प्रारुप (मॉडल) इलेक्ट्रॉनिक संरचना को अच्छी तरह से उजागर करता है। बोहर का सिद्धांत हाइड्रोजन परमाणु के इलेक्ट्रॉनिकी स्पेक्ट्रम को भलीभाँति समझा सकता है।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात आप:

- रदरफोर्ड के प्रकीर्णन-प्रयोग (स्केटरिग एक्सपेरीमेट) तथा इससे मिली जानकारियों की भली-भांति व्याख्या कर सकेंगे;
- रदरफोर्ड द्वारा प्रस्तावित परमाणु-संरचना के प्रारूप को विधिवत समझाते हुए इस प्रस्तावित मॉडल की त्रुटि या कमियों की व्याख्या कर सकेंगे;

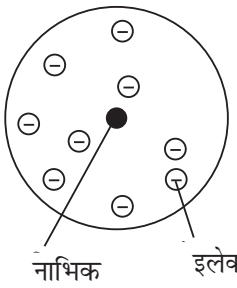
- बोहर द्वारा प्रस्तावित परमाणु की आंतरिक संरचना मॉडल के सबसे प्रथम कक्षा में विद्यमान इलेक्ट्रॉन का कक्षा में घूमने का वेग तथा कक्षा की त्रिज्या का अभिकलन कर सकेंगे;
- हाइड्रोजन परमाणु संरचना में उपस्थित इलेक्ट्रॉन में व्याप्त ऊर्जा के लिए आवश्यक गणितीय समीकरण या व्यंजक स्थापित कर सकेंगे, जिससे इलेक्ट्रॉन का आवेश एवं द्रव्यमान ज्ञात हो सकेगा;
- हाइड्रोजन की परमाणु-संरचना में विद्यमान ऊर्जा के आवेशीय स्तर का रेखीय चित्र बनाकर उसके स्पेक्ट्रम को समझा सकेंगे;
- x-किरणों के उत्पादन, गुणों, प्रकार और उपयोगों की व्याख्या कर सकेंगे;
- मोजले का नियम और डुआने हंट नियम को परिभाषित कर सकेंगे।

परमाणु की अवधारणा

जितनी पुरानी मानवीय सभ्यता है लगभग उतनी ही पुरानी परमाणु की अवधारणा है। प्राचीन काल में ग्रीस में डेमोक्रिटस तथा भारत में कणाद ने हमारे परिवेश के चारों ओर होने वाले परिवर्तनों में कणों की भूमिका को समझाने का प्रयास किया था। परंतु जान डाल्टन जो एक अंग्रेज रसायनज्ञ थे, ने 1808 में सही मायने में सटीक सिद्धांत प्रतिपादित किया था। परमाणु की व्याख्या करते हुए डाल्टन ने कहा कि परमाणु किसी तत्व का सभी गुणधर्म लिए हुए वह सूक्ष्मतम अविभाज्य कण है जो रासायनिक क्रिया में भाग लेता है। इस व्याख्या से स्पष्ट है कि डाल्टन द्वारा प्रतिपादित परमाणु, तत्व का वह सूक्ष्मतम अन्तिम अविभाज्य कण है जिसकी कोई संरचना नहीं हो सकती। इस अवधारणा की स्वीकृति 19वीं शताब्दी के सभी वैज्ञानिकों ने दी थी। इस शताब्दी में इन लोगों को परमाणु संरचना के बारे में कुछ भी ज्ञान नहीं था। जे.जे. थॉमसन 1897 में एक प्रयोग कर रहे थे जिसमें गैसीय माध्यम में कम दवाब पर, विद्युत का विसर्जन एक विसर्जन-नालिका के भीतर हो रहा था, इसी दौरान उन्होंने इलेक्ट्रॉन की खोज की। यही वह क्रांतिकारी खोज थी जिससे परमाणु की संरचना की झलक दिखाई दी। उन्होंने कहा कि प्रत्येक तत्व के परमाणु की संरचना में ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन का होना अनिवार्य है। चूँकि परमाणु वैसे तो समग्र रूप से उदासीन (न्यूट्रल) होता है, तब यह आवश्यक और तर्कसंगत है कि ऋणात्मक इलेक्ट्रॉन को प्रभावहीन करने के लिए किसी धनात्मक अंश का अस्तित्व हो और चूँकि इलेक्ट्रॉन का भार परमाणु के भार से कई हजार गुना कम होता है तब निष्कर्ष यह निकलता है कि धनात्मक अंश ही परमाणु के अंदर रहता होगा जो परमाणुभार को धारण करता होगा। इन सभी तथ्यों की तर्क-युक्त व्याख्या के संदर्भ में जे.जे. टॉमसन ने परमाणु की संरचना का एक प्रारूप प्रतिपादित किया जिसे 'प्लम पुडिंग मॉडल' के नाम से जाना जाता है। इसे चित्र (24.1) में दर्शाया गया है।

इस मॉडल के अनुसार परमाणु एक सूक्ष्म तथा समान रूप से धनावेशित (पुडिंग) गेंद की आकृति का कण है जिसके अंदर ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन इस प्रकार वितरित रहते हैं कि परमाणु उदासीन बना रहे। इस संरचना से तब सभी वैज्ञानिक सहमत रहे।

टॉमसन के समय से लेकर अब परमाणु संरचना के बारे में जानकारियों की एक से बढ़कर एक खोज हुई। लॉर्ड रदरफोर्ड, नील्सबोहर, जेम्स चाडविक, पॉली, श्रॉडिंजर एवं अन्य लोगों द्वारा किए गए पथ-प्रदर्शक प्रयोगात्मक कार्यों द्वारा परमाणु संरचना के रहस्यात्मक

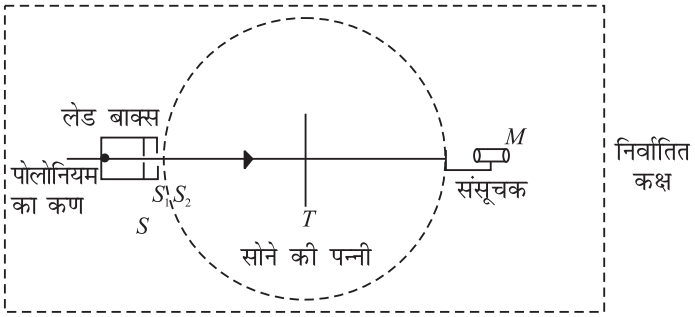


चित्र 24.1 : प्लम-पुडिंग मॉडल

तथ्य उजागर होते गए और आज की सच्चाई यह है कि परमाणु के अभ्यंतर में विद्यमान सूक्ष्मातिसूक्ष्म अंश के अस्तित्व एवं गुणधर्मों की जानकारियों ने एक ऐसी विस्मयकारी सृष्टि कर दी है जिन्होंने नवयुगान्तकारी प्रविधियों जैसे माइक्रो-इलेक्ट्रॉनिक्स, नैनो टेक्नोलॉजी को जन्म दिया है।

24.1 रदरफोर्ड का अल्फा α-कणों के प्रकीर्णन पर प्रयोग

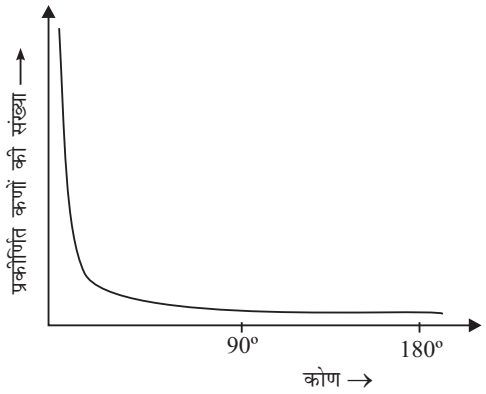
लॉर्ड रदरफोर्ड के परामर्श पर उनके दो शोधकर्ताओं (जीगर एवं मार्सडेन) ने एक प्रयोग का आयोजन किया जिसमें एक लेड-बॉक्स में पोलोनियम स्रोत का कण रखा जाता है। इस स्रोत से उत्सर्जित किरण-पुंज (बीम ऑफ α-पार्टिकल) को सोने की बहुत पतली परत पर बम्बार्ड (आघात) किया जाता है। इससे उत्पन्न प्रकीर्णन द्वारा α कणों को जिन्क सल्फाइड के प्रदीप्त परदे पर डाला जाता है। परिणामस्वरूप परदे से प्रकाश की चमक दिखाई देती है, जिसे कम पावर लेन्स वाले सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखा जाता है। जिन्क सल्फाइड का प्रदीप्त परदा (स्क्रीन) एक डिटेक्टर के समान कार्य करता है। यह गोल घूम सकता है इसमें गोलाकार स्केल 'T' के चारो तरफ अंकित रहता है। पूरा उपकरण एक निर्वातित कक्ष (इव्हेकुवेटेड चैम्बर) में इसलिए रखा जाता है ताकि प्रकीर्णन के α अल्फा कण वायु के अणुओं से टकरा न सकें।



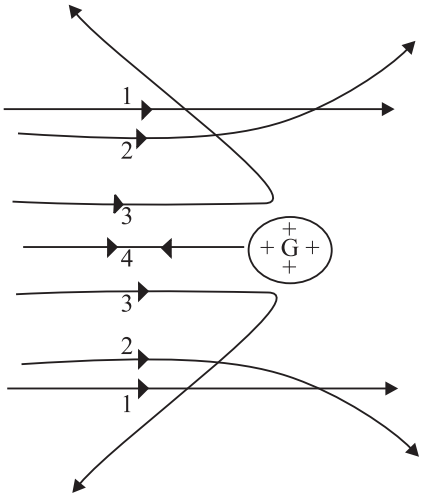
चित्र 24.2 : रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग में प्रयुक्त उपकरणों की विधिवत जमावट

प्रयोग में इस तर्क को सिद्ध करना था कि यदि थॉमसन का परमाणु संरचना मॉडल सही है तो α कणों की अधिक से अधिक संख्या सीधे सोने की परत पर से गुजरते हुए स्क्रीन पर आपतित होगी। **प्रेक्षण**- प्रयोग में किए गए प्रकीर्णन से उत्पन्न α-किरणों के अधिकांश कण, सोने की परत से सीधे गुजर कर स्क्रीन पर आपतित होते हैं जिससे प्रदीप्त स्क्रीन प्रकाश से दीप्त हो उठता है। जीगर एवं मार्स्डन ने देखा कि कुछ α-कण अधिक कोण (90° से अधि

क) बनाते हुए विक्षेपित (चित्र 24.3) होते पाए गए। कुछ α-कण, जो 180° कोण बनाते हुए विक्षेपित हुए, वे ऐसे प्रतीत हुए जैसे वे स्रोत की ओर वापस आ रहे हों। (पथ 4) यह प्रेक्षण आश्चर्यजनक और चौंकाने वाला था जिसकी कल्पना रदरफोर्ड ने नहीं की थी।



चित्र 24. 3 : रदरफोर्ड के प्रयोग का परिणाम

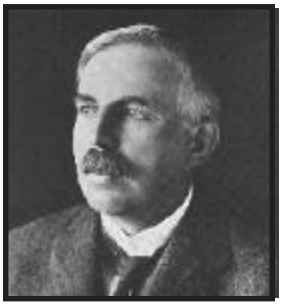


चित्र 24.4 : सोने की पन्नी द्वारा प्रकीर्णन; α-कणों द्वारा अपनाए गए 1,2,3,4 पथों का चित्रण।

व्याख्या एवं निष्कर्ष– उपरोक्त 180° अंश पर विक्षेपित α-कणों की ऐसी अवस्था को समझाने के लिए लॉर्ड रदर फोर्ड ने परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल प्रस्तुत किया। उन्होंने तर्क देते हुए कहा कि α-कण जो न्यूक्लियस से काफी दूरी से गुजरते हैं उन पर बहुत हलका सा कूलॉमी *प्रतिकर्षण बल* लगता है, इसलिए ये कण बिना विक्षेपित हुए गुजर जाते हैं। परंतु जो प्रकीर्णित α-कण, न्यूक्लियस के समीप से गुजरते हैं उन पर प्रतिकर्षण बल ज्यादा लगता है। अत: वे अधिक, अंश का कोण बनाते हुए विक्षेपित होते हैं। जो α-कण सीधे जाकर न्यूक्लियस पर टकराते हैं उन पर लगने वाला प्रतिकर्षण बल तीव्रतम होता है और वे 180° अंश का कोण बनाते हुए पुन: आपतित पथ में परावर्तित होते दिखाई देते हैं। (पथ 4, चित्र 24.4)

लार्ड रदर फोर्ड

(1871–1937)



न्यूजीलैन्ड में जन्में रदर फोर्ड ने जे.जे. टॉमसन के अधिगत होकर इंग्लैंड के केवेंडिश लेबोरेटरी में अध्ययन किया। उनके द्वारा किए गए प्रयोग कार्य न केवल भविष्य के लिए पथ-प्रदर्शक बने अपितु वैज्ञानिक जगत में मील के पत्थर साबित हुए। बेकेरल के रेडियोधर्मिता अविष्कार को परिष्कृत एवं परिमार्जित करते हुए उसे एक सम्पूर्ण विज्ञान के रूप में निरुपित किया। रदरफोर्ड से पहले के वैज्ञानिक मानते थे कि भारी तत्वों के परमाणु अविभाज्य एवम् अपरिवर्तनशील होते हैं किंतु रदरफोर्ड ने प्रमाणों को लिपिबद्ध करते हुए प्रतिपादित किया कि भारी तत्वों के परमाणु स्वत: विनिष्ट होकर अनेक प्रकार के विकिरण वातावरण में बिखरते हैं। सन् 1898 में रदरफोर्ड ने एक नये अन्वेषण के आधार पर बताया कि रेडियोधर्मी परमाणुओं से दो अलग प्रकार के उत्सर्जन होते हैं जिन्हें रदरफोर्ड ने अल्फा, बीटा किरणों की संज्ञा दी। बाद में बीटा किरणों की तीव्र-गामी इलेक्ट्रॉनों के रूप में दर्शाया गया। रदरफोर्ड एवम् उनके सहायक वैज्ञानिक हैंस जीगर ने मिलकर रदरफोर्ड जीगर डिटेक्टर उपकरण को विकसित किया जो रेडियो एक्टिव परमाणुओं से उत्सर्जित किरणों का वैद्युतीय विधि से पता लगा सकता था। इस उपकरण से वे तत्वों के मौलिक भौतिक स्थिरांक जैसे एवोग्रेडोज नम्बर (किसी पदार्थ के एक ग्राम मोल में अणु या परमाणुओं की संख्या) इत्यादि को नाप सकते थे।

सन् 1911 में रदर फोर्ड ने परमाणु के न्यूक्लियर मॉडल की प्रस्तुति की और व्याख्या की कि परमाणु का लगभग सम्पूर्ण भार न्यूक्लियस में ही संकेन्द्रित रहता है और इलेक्ट्रॉन इसके चारों ओर घूमते रहते हैं। न्यूक्लियस का साइज परमाणु के साइज से 10^{-5} गुना छोटा होता है।

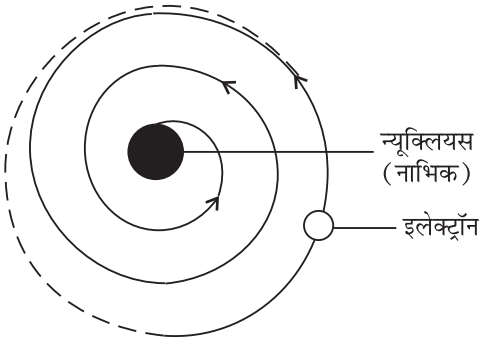
भारत वर्ष के उत्कृष्ट एवं प्रतिष्ठित वैज्ञानिक दार्शनिक डा. डी.एस. कोठारी रदरफोर्ड के विद्यार्थियों में से एक थे, जिन्होंने रदरफोर्ड के मार्ग-दर्शन में तारों (स्टार्स) में होने वाले दाबीय आयनीकरण पर शोध कार्य किया था।

24.1.1 परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल

रदरफोर्ड ने तर्क देते हुए कहा कि α-कणों द्वारा अधिक कोण से प्रकीर्णत होने को, परमाणु में कठोर व धनात्मक क्रोड की उपस्थिति की स्थिति के आधार पर ही समझाया जा सकता है और इस प्रकार, उन्होंने परमाणु के नए मॉडल को निम्न विशेषताओं के साथ प्रस्तावित किया-

- परमाणु का पूरा आवेश एवम् द्रव्यमान का अधिकतम भाग केन्द्रीय क्रोड, जो बहुत ही छोटा ($\sim 10^{-15}$ m) में स्थित होता है।
- ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन एक खास दूरी पर न्यूक्लियस के चारों ओर घूमते रहते हैं। इससे परमाणु विद्युतीय तौर पर उदासीन (न्यूट्रल) रहता है, साथ ही स्थिर भी रहता है। रदरफोर्ड

के इस प्रस्तावित मॉडल में कुछ कमियाँ दिखाई दीं। रदरफोर्ड के मॉडल से प्राप्त निष्कर्ष उनके द्वारा स्वयं किए गए प्रयोग के निष्कर्षों के विरुद्ध हो गए।



चित्र 24.5: रदरफोर्ड के परमाणु के मॉडल में इलेक्ट्रॉनों की गति

(i) **परमाणु का स्थायित्व :** हम जानते हैं कि इलेक्ट्रॉन ऋणावेशित होते हैं। ये सब न्यूक्लियस (धनात्मक आवेश) की ओर आकर्षण बल से खिचे रहते हैं तथा त्वरित होते रहते हैं। त्वरित आवेशित कण में से, स्थापित तरंग सिद्धांत के अनुसार विद्युत चुम्बकीय विकिरण विसर्जित होते हैं। इसलिए कक्ष में घूमता हुआ गतिशील इलेक्ट्रॉन ऊर्जा उत्सर्जित करता हुआ अंत में सर्पिल चक्र में गतिमान होते-होते (चित्र 24.5) न्युक्लियस में गिरकर समाविष्ट हो जाना चाहिए। पर ऐसा होता नहीं क्योंकि ऐसे में परमाणु समाप्ति के कगार पर आ जाएंगे। हम सब जानते है कि परमाणु में स्थायित्व होता है और इसलिए पदार्थ भी स्थिर होते हैं।

(ii) **वैद्युत-चुम्बकीय विकिरण की आवृत्ति:** इलेक्ट्रॉन सर्पिल पथ में घूमते-घूमते अंत में न्युक्लियस पर आऐंगे और इस परिभ्रमण में वे सभी प्रकार की आवृत्तियों वाले वैद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित करेंगे। परिणामस्वरूप, संतत और अविच्छिन्न स्पेक्ट्रम बनना चाहिए। परंतु रदरफोर्ड का प्रकीर्णन प्रयोग दर्शाता है कि परमाणु से उत्सर्जित विकिरण एक निश्चित स्पष्ट आवृत्तियों वाले होते हैं जो रेखीय (लाइन) स्पेक्ट्रम बनाते हैं।

उपरोक्त विचार-विमर्श एवम् समालोचना से आप इस निष्कर्ष पर पहुँचने के लिए आतुर होंगे कि परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल प्रायोगिक सत्य को स्थापित करने में सक्षम नहीं है। कोई बात नहीं, परंतु यह अवधारणा अपने आप में बहुत महत्वपूर्ण है। क्योंकि इसने हमारी सोच और समझ को एक सही दिशा दी। इस प्रकार रदरफोर्ड का प्रयोग एवं परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल दोनो वैज्ञानिक प्रगति पथ के मील के पत्थर साबित होते हैं।

पाठगत प्रश्न 24.1

1. सही उत्तर चुनिए-

   (a) रदर फोड के प्रकीर्णन प्रयोग के अंतर्गत लक्ष्य (टारगेट) पर किन किरणों की बमबारी की गई? (i) β-किरणें (ii) γ-किरणें (iii) α-किरणें

(b) न्यूक्लियस घिरा होता है–

(i) इलेक्ट्रॉनों द्वारा (ii) प्रोटॉनों द्वारा (iii) α-कणों द्वारा

(c) α-कणों का वृहद कोण में प्रकीर्णित होना दर्शाता है (i) परमाणु के अभ्यंतर में ध नावेशित कठोर क्रोड का होना (ii) परमाणु के अभ्यंतर में सरंध्र(पोरस) क्रोड (कोर) का होना। (iii) ऋण–आवेशित क्रोड का होना

2. किन्हीं दो प्रायोगिक प्रेक्षणों का उल्लेख कीजिए, जिन्हें रदर फोर्ड के प्रस्तावित मॉडल द्वारा समझाया नहीं जा सका।

24.2 बोहर का हाइड्रोजन परमाणु मॉडल

रदरफोर्ड के प्रस्तावित मॉडल में विद्यमान त्रुटियों के निराकरण हेतु 1913 में नील्स बोहर ने परमाणु का नया मॉडल प्रस्तुत किया जो मैक्स प्लांक द्वारा प्रस्तावित क्वांटम अवधारणाओं पर आधारित था। बोहर का परमाणु मॉडल, परमाणु संरचना का वर्णन तो करता ही है साथ ही साथ परमाणु के स्थायित्व को भी ध्यान में रखता है। बोहर का परमाणु मॉडल, बडी सफलता के साथ हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम को समझा सका। आइए इसके बारे में जानें।

बोहर की अभिधारणाएँ

बोहर ने सौरमण्डल में ग्रहों के सूर्य के चारो ओर की कक्षाओं (आरबिट्स) में परिक्रमण को ध्यान में रखते हुए परमाणु मॉडल की अवधारणा का प्रारंभ किया। रदरफोर्ड के मॉडल में जिस प्रकार से दिक्कते आई, उन्हें भी पुनः न आने देने की सावधानी को ध्यान में रखते हुए बोहर ने कई पूर्वधारणाओं से युक्त चार मान्यताएँ अपनाईं–

(i) *परमाणु के अंदर इलेक्ट्रॉन, वृत्ताकार कक्षाओं (ऑरबिट्स) में न्यूक्लियस के चारों ओर अपकेन्द्रीय बल (सेन्ट्रीपीटल फोर्स), के कारण जो इलेक्ट्रॉन तथा न्यूक्लियस के बीच के कूलॉम आकर्षण बल के द्वारा उत्पन्न होता है, परिभ्रमण करते रहते है। गणितीय सूत्रों द्वारा इसे इस प्रकार लिख सकते हैं–*

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r^2} \qquad (24.1)$$

Z यह दर्शाता है कि न्यूक्लिस पर कितना धनात्मक आवेश है।

उपर्युक्त समीकरण यह बताता है कि प्रोटॉन के आवेश का परिमाण इलेक्ट्रॉन के आवेश के समतुल्य होता है।

(ii) *वृत्ताकार कक्षाओं की असंख्य संभावनाओं के उपरान्त भी केवल वे ही कक्षाएं संभव या कार्यकारी सिद्ध होंगे, जिनके लिए इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग का मान $h/2\pi$ का पूर्ण गुणांक होता है:*

$$|\mathbf{L}| = mvr = \frac{nh}{2\pi} \qquad (24.2)$$

यहाँ $\mathbf{L}$ वृत्ताकार पथ का कोणीय संवेग है, और वृत्ताकार पथ के लिए यह mvr के बराबर होता है। यहाँ h प्लैंक स्थिरांक एवं n एक पूर्णांक है।

(iii) *कोई एक इलेक्ट्रॉन जो स्वीकृत वृत्त में परिभ्रमण करता है उससे किसी प्रकार की ऊर्जा उत्सर्जित नहीं होती।*इन वृत्ताकार पथों में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा स्थिर रहती है और ऐसी वृत्ताकार कक्षाओं को *स्थाई अवस्थाएं* कहते हैं। ध्यान रहे कि इन स्थाई अवस्थाओं में इलेक्ट्रॉन परिभ्रमण करेगा ही किंतु उसमें उसकी ऊर्जा स्थाई बनी रहेगी।

(iv) *परमाणु से ऊर्जा का उत्सर्जन तभी हो सकता है जब किसी अधिक ऊर्जा स्तर वाले कक्ष E_f से, उसका इलेक्ट्रॉन अन्य कम ऊर्जा स्तर वाले कक्ष E_i. में गिरता है। ऊर्जा में परिवर्तन, उत्पन्न फोटॉन की ऊर्जा है। इसी प्रकार एक इलेक्ट्रॉन, विकिरण को तभी अवशोषित करता है जब वह निम्न ऊर्जा स्तर कक्ष से उच्च ऊर्जा स्तर कक्ष में ''छलांग'' लगाता है (प्रवेश करता है) इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में परिवर्तन को, उत्सर्जित या अवशोषित फोटॉन की आवृत्ति या तरंगदैर्ध्य के साथ निम्न प्रकार से संबंधित किया जा सकता है:*

उत्सर्जन के लिए,

$$\Delta E = E_i - E_f = h\nu \qquad (24.3a)$$

अवशोषण के लिए,

$$\Delta E = E_f - E_i = h\nu \qquad (24.3b)$$

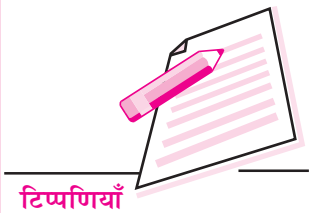
जहाँ ν उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति है।

नील हेनरिक डेविड बोहर

(1885-1962)

नील बोहर का जन्म डेन्मार्क के कोपनहेगन में हुआ था। उनका लालन-पालन तथा विकास ऐसे माहौल में हुआ था जो उनके अंदर विद्यमान प्रतिभा को विकसित कर सका था। इनके पिता एक जाने-माने प्रतिष्ठित शरीर क्रिया विज्ञानी (फिज़ियोलाजिस्ट) थे जो बालक नील की अभिरूचि भौतिकशास्त्र में जागृत तबसे ही करते रहे जब वे स्कूली शिक्षा प्राप्त करते थे। सन् 1912 के (मार्च से जून माह के बीच) में नील बोहर को इंग्लैंड के मैन्चेस्टर स्थित रदरफोर्ड प्रयोगशाला में कार्य करने का अवसर प्राप्त हुआ। इन्होंने रदरफोर्ड के प्रस्तावित परमाणु मॉडल के आधार पर परमाणुओं की आंतरिक संरचना पर गहन अध्ययन किया। अंत में सफलता उनके हाथ लगी। नील हेनरिक डेविड बोहर ने अपने अभीष्ट लक्ष्य को प्राप्त किया जिसमें उन्होंने हाइड्रोजन परमाणु के परमाण्विक स्पेक्ट्रम को समझाने के प्रयास में परमाणु संरचना का अद्वितीय चित्र प्रस्तुत किया।

1916 में इन्हें कोपनहेगन विश्वविद्यालय में सैद्धांतिक भौतिकी के प्राध्यापक के रूप में नियुक्त किया गया। वे 1920 में सैद्धांतिक भौतिकी संस्थान के विभागाध्यक्ष बनाए गए जहां मृत्युपर्यन्त 1962 तक वह कार्यरत रहे। परमाणु संरचना पर उनके शोध कार्य को सम्मानित करते हुए 1962 में उन्हें भौतिकी में नोबल पुरस्कार प्रदान किया गया।



24.2.1 ऊर्जा-स्तर

nth कक्ष में, जिसकी त्रिज्या r_n, है, उपस्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा की गणना करने के लिए हम समीकरण 24.1 को इस प्रकार पुनः लिख सकते हैं-

$$\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n^2}$$

यहाँ v_n वृत्ताकार कक्षा में इलेक्ट्रॉन की चाल दर्शाता है।

समीकरण के दोनों पक्षों को mr_n^3 से गुणा करने पर:

$$m^2 v_n^2 r_n^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} m Z e^2 r_n$$

इसमें समीकरण (24.2) का प्रयोग करने पर निम्न परिणाम प्राप्त होगा-

$$m^2 v_n^2 r_n^2 = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2} = \frac{m}{4\pi\varepsilon_0} Ze^2 r_n \qquad (24.4)$$

उपरोक्त समीकरण में उपस्थित विभिन्न पदों को पुनः व्यवस्थित करने पर हमें n^{th} कक्षा की त्रिज्या के लिए समीकरण प्राप्त हो जाएगा:

$$r_n = 4\pi\varepsilon_0 \frac{n^2h^2}{4\pi^2 mZe^2}$$

$$= \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{Ze^2 m\pi} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \quad (24.5)$$

आप ध्यान से समझें कि किसी अनुमत वृत्तीय कक्षा की त्रिज्या उस कक्षा की संख्या के वर्ग के समानुपाती होती है। इसका मतलब यह है कि उच्च क्रम श्रेणी की कक्षा की त्रिज्या भी अधिक होगी। इसके साथ-साथ अनुमत वृत्तीय कक्षाओं की त्रिज्याओं के सापेक्ष मानों का अनुपात $1^2, 2^2, 3^2, 4^2, \ldots$, अर्थात $1 : 4 : 9 : 16 : 25$ इत्यादि होंगे। हाइड्रोजन परमाणु के लिए $(Z = 1)$, उसके सबसे अंदर की वृत्ताकार कक्षा की त्रिज्या बोहर त्रिज्या कहलाती है। इसे a_0 से दर्शाते हैं तथा उसका मान 5.3×10^{-11}m होता है। दूसरी कक्षाओं की त्रिज्याएँ भी निम्नाँकित समीकरण से ज्ञात कर सकते हैं

$$r_n = n^2 a_0$$

उपरोक्त संबंध यह दर्शाता है कि अंदर से बाहरी वृत्ताकार कक्षाओं के बीच की दूरियाँ क्रमशः बढ़ती जाती हैं। समीकरण (24.2) में r_n के मान को समीकरण (24.5) से प्रविष्ट कराने पर एक नया समीकरण प्राप्त होता है जिसके द्वारा किसी विशेष पथ में परिभ्रमणशील इलेक्ट्रॉन की चाल को ज्ञात किया जा सकता है:

$$v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n} = \frac{nh}{2\pi m} \cdot \frac{Ze^2 m\pi}{n^2h^2\varepsilon_0}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{Ze^2}{\varepsilon_0 nh} \qquad (24.6)$$

पाठ 16 में बताया गया है कि किसी ऋणात्मक आवेश (यहाँ इसे इलेक्ट्रॉन मान लें) को अनंत से किसी धनात्मक आवेश (यहाँ इसे न्यूक्लियस मान लें) के क्षेत्र में उस आवेश से r दूरी पर लाने में लगने वाली स्थितिज ऊर्जा को ज्ञात करने के लिये हमें कूलॉम बल और दूरी के गुणनफल का समाकलन (इन्टिग्रेशन) करना पड़ता है:

$$U = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_n}^{\infty}\frac{Ze^2}{r^2}dr$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}\Big]_{r_n}^{\infty}$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n} \qquad (24.7)$$

चूँकि इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा अनन्त दूरी पर शून्य होगी, (समीकरण 24.1) के अनुसार

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n} = mv_n^2$$

इसलिए, n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा होगी

$$U = -mv_n^2 \qquad (24.8)$$

चूँकि गतिज ऊर्जा

$$K.E = \frac{1}{2}mv_n^2 \qquad (24.9)$$

अत: n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा E होनी चाहिए

$$E = K.E + U$$

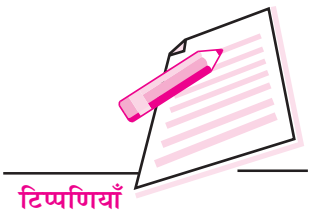
$$= \frac{1}{2}mv_n^2 - mv_n^2$$

$$= -\frac{1}{2}mv_n^2$$

उपरोक्त संबंध तथा समीकरण (24.6) को मिलाकर हम एक नया संबंध बना सकते हैं

$$E = -\frac{m}{2}\left(\frac{2\pi Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 nh}\right)^2$$

$$= -\frac{m}{8\varepsilon_0^2}\frac{Z^2e^4}{n^2h^2} \qquad (24.10)$$



$$= -\frac{RZ^2}{n^2} \quad (n = 1 \text{या } 2, 3, 4) \qquad (24.11)$$

यहाँ

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \qquad (24.12)$$

उपरोक्त समीकरण में R को *रिडबर्ग नियताँक* कहते हैं। समीकरण (24.1) को ध्यान से समझें तो आप पायेंगे कि

- विभिन्न अनुमत कक्षाओं में स्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा उसकी कक्षा क्रम संख्या के वर्ग की व्युत्क्रमानुपाती होती है।
- चूँकि अनुमत कक्ष में ऋणात्मक आवेश रहता है, इसका तात्पर्य यह हुआ कि इलेक्ट्रॉन अब न्यूक्लियस (नाभिक) में बंध गया है।

अब मानक मान $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $\varepsilon_0 = 0.85 \times 10^{-11}$ $C^2 N^1 m^{-2}$, और $h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js को समीकरण (24.12) में रखने पर हमें प्राप्त होता है– $R = 2.17 \times 10^{-18}$ J = 13.6eV, क्योंकि 1eV = 1.6×10^{-19} J अब इन मानों को समीकरण 24.11 में रखने पर n^{th} कक्षा के इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (ev में)

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \qquad (24.13)$$

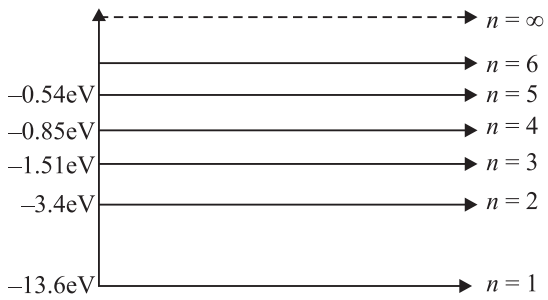
इस प्रकार से प्रत्येक कक्षा की विशिष्ट ऊर्जा को अलग-अलग करके बता सकते हैं, इसमें सबसे पहली कक्षा की ऊर्जा सबसे कम होगी:

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

और सबसे अधिक ऊर्जा अवस्था

$$E_\infty = 0$$

उपरोक्त तथ्यों से यह मतलब निकलता है कि विभिन्न कक्षाओं में विभिन्न ऊर्जा स्तर होंगे जो– 13.6eV से लेकर 0 तक होंगे। इसे चित्र 24.6 में दर्शाया गया है। $E = 0$ का तात्पर्य हुआ कि इलेक्ट्रोन मुक्त हो जाता है:



चित्र 24.6: हाइड्रोजन परमाणु में ऊर्जा-स्तर

बोहर के चौथे अभिगृहीत के अनुसार जब कोई इलेक्ट्रॉन–n^{th} कक्षा से m^{th} कक्षा में आता है तो उत्सर्जित विकिरण की आवृत्ति होती है–

$$\nu_{mn} = \frac{RZ^2}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (24.14)$$

फ्राउनहोफर रेखाएँ

अधिक शक्तिशाली स्पेक्ट्रोस्कोप में यदि सूर्य प्रकाश द्वारा निर्मित स्पेक्ट्रम का ध्यानपूर्वक अध्ययन करें तो इस पूरे स्पेक्ट्रम पर बहुत सी गाढ़ी रेखायें खिंची हुई दृष्टिगत होती हैं। वॉलेस्टन ने सबसे पहले सन् 1802 में इन गाढ़ी रेखाओं को देखा था। परन्तु इनके स्पेक्ट्रम में आने का समुचित अध्ययन फ्राउनहोफर ने किरखौफ के नियमों के अन्तर्गत किया था, और इन्हें *फ्राउनहोफर रेखाओं* का नाम दिया। सूर्य से निकलने वाली किरणें सतत स्पेक्ट्रम को ही उत्सर्जित करती हैं। परंतु इन किरणों को सूर्य की तापीय स्थिति की तुलना में बहुत कम ताप वाले वाष्प एवं गैसों से निर्मित परिवेश से होकर गुजरना पड़ता है जो सूर्य के वातावरण को आच्छादित किए रहता है। इसे क्रोमोस्फियर (~6000°C), कहते हैं। यह कुछ तरंगदैर्घ्य के संगत प्रकाश को अवघोषित कर लेता है। यही अवशोषित भाग गाढ़ी रेखाओं के रूप में सूर्य के सतत स्पेक्ट्रम पर दिखाई पड़ते हैं। किरखोफ ने अवशोषित प्रकाश तरंगों की तुलना पृथ्वी में पाए जाने वाले तत्वों द्वारा उत्सर्जित प्रकाश तरंगों से की तथा 60 प्रकार के पार्थिव (टेरेस्ट्रियल) तत्वों की पहचान की जो सूर्य के बाहरी वातावरण में विद्यमान रहते हैं। ये तत्व आक्सीजन हाइड्रोजन, सोडियम, लोहा, कैलशियम इत्यादि हैं।

पाठगत प्रश्न 24.2

1. बोहर के अभीगृहीतों में से कौन सा भौतिकी के चिरसम्मत सिद्धांत से तालमेल रखता है तथा कौन सी मान्यता क्वांटम भौतिकी की धारणाओं को बल प्रदान करता है?

2. बोहर के अनुसार कोई भी परमाणु नष्ट क्यों नहीं हो जाता जबकि उसके इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारो ओर परिक्रमा करते हैं?

3. बोहर के अनुसार परमाणु के भीतर क्या होता रहता है जब प्रकाश के फोटान का (i) उत्सर्जन होता है (ii) अवशोषण होता है?

4. बोहर के परमाणु मॉडल के अनुरूप हाइड्रोजन परमाणु के अंदर पहले की तीन कक्षाओं में ऊर्जा का उल्लेख करें।

5. किसी एक परमाणु को उसकी न्यूनतम ऊर्जा स्तर E_0 से उत्तेजित होकर E_1 स्तर की ऊर्जा तक आने पर उत्सर्जित विकिरण का तरंग-दैर्घ्य कितना होगा?

6. हाइड्रोजन परमाणु से nth कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉनों की त्रिज्या समानुपाती होती है–

(i) $1/n$ के (ii) $1/n^2$ के (iii) n के (iv) n^2 के

7. हाइड्रोजन परमाणु की कक्षा में nth मौजूद इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा E_n समानुपाती होता है–

(i) e^4 के (ii) e^3 के (iii) e^2 के (iv) e के

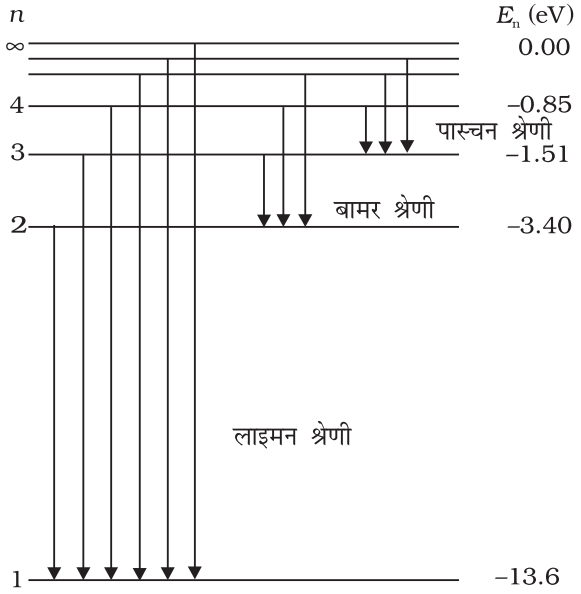
24.3 हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम

नीचे दिए गए चित्र 24.7 को ध्यान से देखिए। यह चित्र दर्शाता है कि हाइड्रोजन परमाणु का आवृत्ति स्पेक्ट्रम कैसा होता है। जैसा कि आप स्वंय भी अवलोकन कर सकते हैं कि लाइन स्पेक्ट्रम में अलग-अलग भागों में कई लाइने हैं। हर भाग में लाइनों का एक खास विन्यास क्रम (पैटर्न) है जिनमें एम सामान्य सूत्र द्वारा प्रकट किया जा सकता है। अत: इन्हें एक श्रेणी क्रम में रखा जा सकता है।

लाइमेन श्रेणी : इसकी खोज एवं पहचान लाइमन ने सन् 1906 में की। बोहर के अनुसार इस श्रेणी की उत्पत्ति तब होती है जब एक इलेक्ट्रॉन छलाँग (जम्प) लगाकर उच्च कक्षाओं ($n = 2, 3, 4...$) से प्रथम क्रम की कक्षा ($m = 1$) में पहुँचता है। इसलिए स्पेक्ट्रम की विभिन्न लाइनों की श्रेणी बनती है जिनकी आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा बताया जा सकता है–

$$\nu_{1n} = \frac{R}{h}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

यहां पर n एक सामान्य मूल या स्वाभाविक नम्बर है जिसका मान 1 से अधिक होगा। इस श्रेणी की रेखाएँ स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी क्षेत्र में पड़ती हैं।



चित्र 24.7 : हाइड्रोजन परमाणु के ऊर्जा स्तर

बामर श्रेणी : इसकी खोज 1885 में हुई। इसे स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग में पाया गया। इस श्रेणी के अस्तित्व में आने के पीछे जो कारण है उसे इस परिकल्पना द्वारा समझा जा सकता है। यदि इलेक्ट्रॉन उच्च कक्षाओं या ऊर्जा स्तरों में $(n = 3, 4, 5...)$ से ऊर्जा स्तर 2 $(m = 2)$ के कक्ष में छलांग लगाता है तो स्पेक्ट्रमी रेखाओं की एक अलग श्रेणी का विकास होता है। इन स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है

$$\nu_{2n} = \frac{R}{h} \quad \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 2$$

पाश्चन श्रेणी: इसकी खोज 1908 में हुई तथा इसे स्पेक्ट्रम के अवरक्त भाग (इन्फ्रारेड) में पाया गया। इसके अस्तित्व में आने का कारण इस प्रकार समझाया जा सकता है कि जब इलेक्ट्रॉन ऊर्जा स्तर $(n = 4, 5, 6...)$ से छलांग लगाकर ऊर्जा स्तर 3 $(m = 3)$ पर पहुँचता है तो उससे प्राप्त स्पेक्ट्रमी रेखाओं की श्रेणी को पाश्चन श्रेणी कहते हैं। स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$\nu_{3n} = \frac{R}{h} \quad \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 3$$

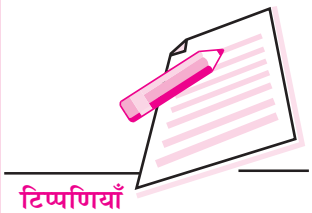
ब्रेकेट श्रेणी इस श्रेणी के स्पेक्ट्रल रेखाओं को स्पेक्ट्रम के मध्य अवरक्त (मिड इन्फ्रारेड रीजन) भाग में पाया गया। इनकी उत्पत्ति तब होती है जब इलेक्ट्रान ऊर्जा स्तर $(n = 5, 6...)$ से छलांग लगाकर ऊर्जा स्तर 4 $(m = 4)$ पर आता है। विभिन्न स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को इस प्रकार दर्शा सकते हैं–

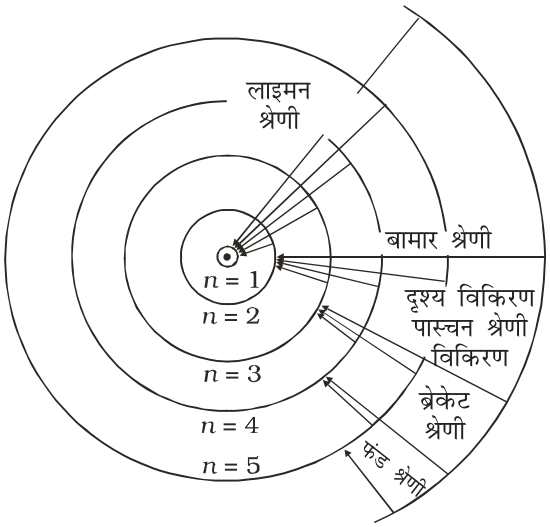
$$\nu_{4n} = \frac{R}{h} \quad \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 4$$

फंड श्रेणी: इस श्रेणी के रेखाओं को स्पेक्ट्रम के सुदूर अवरक्त क्षेत्र में पाया गया। बोहर के अनुसार इस श्रेणी का विकास तब होता है जब इलेक्ट्रॉन $(n = 6, 7,...)$ से छलांग लगाकर नीचे क्रम की कक्षा 5 $(m_1 = 5)$ में आ जाता है। इस श्रेणी की विभिन्न स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियाँ हैं–

$$\nu_{5n} = \frac{R}{h} \quad \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 5$$

बोहर माडल की अद्भुत प्रवीणता या सार्थकता इस तथ्य पर आधारित है कि इसके अनुसार स्पेक्ट्रम की श्रेणियों की उत्पत्ति को तो समझाया जाता ही है, इससे एक कदम और आगे इसके द्वारा संभाव्य श्रेणियों के अस्तित्व की भी पूर्व घोषणा की गई थी जिन्हें बाद में सत्य पाया गया। इससे वास्तव में भौतिकी की एक नई विधा का जन्म हुआ। इलेक्ट्रॉनों के उच्च कक्षाओं से नीचे स्तर के कक्ष में पारगमन (ट्रॉन्जीशन) से उत्सर्जित भाँति-भाँति की स्पेक्ट्रल रेखाओं को चित्र 24.8 में नीचे दर्शाया गया है।





चित्र. 24.8 : हाइड्रोजन परमाणु स्पेक्ट्रम की अनुमत कक्षाएँ और इलेक्ट्रॉन के कक्षीय पारगमन (ट्रान्जीशन) से उत्पन्न कई श्रेणियों की स्पेक्ट्रम रेखाएँ

पाठगत प्रश्न 24.3

1. किसी कक्षीय इलेक्ट्रॉन की कुल ऋणात्मक ऊर्जा का अर्थ है: (a) उसने फोटान का उत्सर्जन किया है। (b) न्यूक्लियस का इलेक्ट्रॉन से आबद्ध हो जाना, (c) वह स्थाई संतुलन में आ गया है। (d) वह बोहर की मान्यता $L = \frac{nh}{2\pi}$ को संतुष्ट करता है।

2. एक इलेक्ट्रॉन कक्षा 4 में छलांग लगाकर पहुँचता है, जब यही इलेक्ट्रोन वापस छलांग लगाकर कम ऊर्जा वाली कक्षा में पहुँचता है तो उत्सर्जित स्पेक्ट्रल लाइनों की संख्या होगी-

   अ) 6, ब) 8, ब) 5, द) 3.

3. लाइमन श्रेणी की स्पेक्ट्रम लाइनों का उत्सर्जन होता है जब इलेक्ट्रॉन उच्च क्रम की कक्ष से ..... कक्ष में छलांग लगाता है।

   अ) पहली, ब) दूसरी, स) तीसरी, द) चौथी।

4. बोहर ने इलेक्ट्रॉन के कौन से भौतिक गुणधर्म को क्वांटित किया था।

5. एक इलेक्ट्रॉन तीसरे कक्ष से प्रथम कक्ष में छलाँग लगाकर पहुँचता है। इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग की गणना कीजिए।

24.4 एक्स-किरणें

जब किसी कांच की नलिका में अत्यंत निम्न दाब पर द्रुत गति से चलते हुए इलेक्ट्रॉन अचानक किसी भारी धातु द्वारा रोके जाते हैं तो एक्स-किरणें उत्पन्न होती हैं।

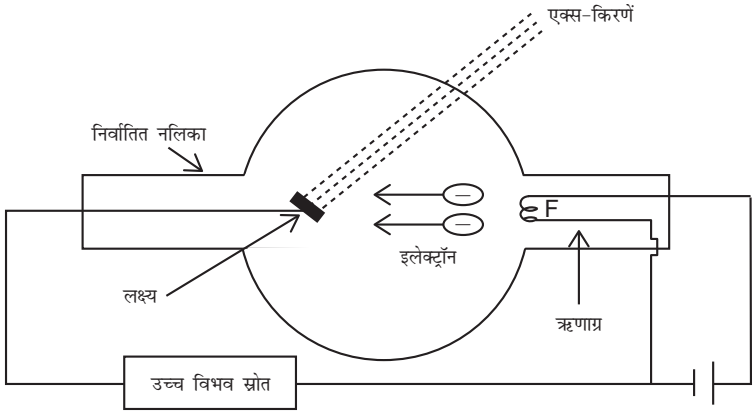


Fig. 24.4

जैसा चित्र 24.4 में दर्शाया गया है तप्त फिलामेंट द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन उच्च गलनांक और उच्च परमाणु क्रमांक के धातु से बने टार्गेट पर फोकसित किए जाते हैं। टार्गेट से टकराने पर उनकी 5% ऊर्जा एक्स-किरणों में और शेष ऊष्मा में बदल जाती है। इसलिए टार्गेट में जल-प्रवाहित कर इसे ठंडा रखा जाता है। नलिका के अंदर अत्यंत निम्न दाब रखा जाता है ताकि तप्त तंतु से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा बीच में गैस कणों के साथ संघट्ट से नष्ट न हो और वे सीधे टार्गेट पर पहुंच सकें।

एक्स-किरणों की तीव्रता का नियंत्रण तंतु धारा के समंजन द्वारा तथा गुणवत्ता का नियंत्रण तंतु और टार्गेट के बीच त्वरक वोल्टता के समंजन द्वारा किया जाता है। यह वोल्टता प्रायः 10 kV एवं 1 MV के परिसर में होती है।

एक्स-किरणों के गुण

एक्स-किरणें निम्नलिखित गुण प्रदर्शित करती हैं:

(i) वे फोटोग्राफी प्लेट को प्रभावित करती हैं।

(ii) वे कुछ रासायनिक यौगिकों में स्फुरदीप्ति प्रेरित करती हैं।

(iii) वे गैसों को आयनीकृत करती हैं।

(iv) वे साधारण दर्पणों से परावर्तन, कांच में अपवर्तन, पारंपरिक ग्रेटिंग से विवर्तन प्रदर्शित नहीं करती, परंतु विशिष्ट परिष्कृत तकनीकों से क्रिस्टलों की परमाणु परतों पर ये प्रकाश के सभी सुपरिचित गुण दर्शाती हैं।

(v) वे चुंबकीय या विद्युत क्षेत्रों द्वारा विचलित नहीं होतीं।

एक्स-किरण स्पेक्ट्रम : जिस तत्व के एक्स-किरण स्पेक्ट्रम का अध्ययन करना हो उसको एक्स-किरण नलिका में टार्गेट के स्थान पर रखते हैं और उत्सर्जित एक्स-किरणों के तरंगदैर्ध्य ब्रैग स्पेक्ट्रम मापी द्वारा ज्ञात करते हैं।

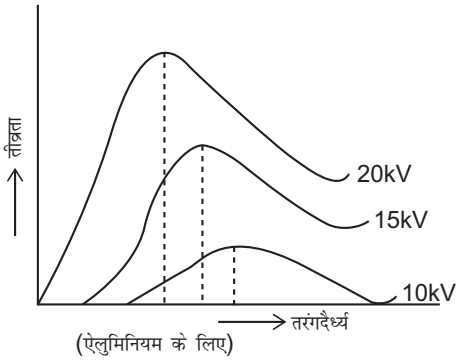
एक्स-किरणें दो प्रकार की होती हैं-

1. **संतत एक्स-किरणें :** सभी एक्स-किरण नलिकाएं एक न्यूनतम तरंगदैर्ध्य से अधिक तरंगदैर्ध्य की सभी एक्स-किरणें उत्सर्जित करती हैं। संतत एक्स-किरणों के स्पेक्ट्रम के कुछ महत्वपूर्ण लक्षण नीचे दिए गए हैं।

   (i) नलिका के सिरों के बीच वोल्टता बढ़ाने पर सभी तरंगदैर्ध्यों की एक्स-किरणों की तीव्रता बढ़ जाती है।

   (ii) उत्सर्जित होने वाली न्यूनतम तरंगदैर्ध्य सुस्पष्टता से परिभाषित होती है और इसका मान लगाई गई वोल्टता पर निर्भर करता है।

   (iii) जैसे-जैसे वोल्टता में वृद्धि होती है, सर्वाधिक उत्सर्जन के संगत तरंगदैर्ध्य का मान कम होता जाता है। देखिए चित्र 24.5



चित्र 24.5

इलेक्ट्रॉन जब परमाणु से संघट्ट करता है तो आपतित इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा विद्युत चुंबकीय तरंगों के संतत एक्स-किरण रूप में परिवर्तित हो जाती है। विराम में आने से पहले इलेक्ट्रॉन अनेक संघट्ट करते हैं और सभी आवृत्तियों के फोटॉन उत्पन्न करते हैं।

जब इलेक्ट्रॉन का परमाणु से आमने-सामने का संघट्ट होता है और यह अपनी पूरी ऊर्जा खो देता है तो अधिकतम आवृत्ति का फोटॉन उत्पन्न होता है। इस प्रकार के संघट्ट के लिए फोटॉन आवृत्ति अधिकतम एवं संगत तरंगदैर्ध्य न्यूनतम होता है।

अत: $eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$

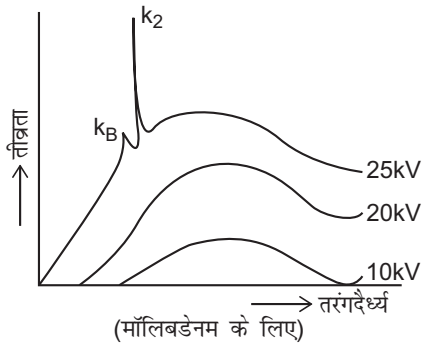
यह डुआने-हंट नियम कहलाता है।

2. अभिलाक्षणिक एक्स-किरणें :

संतत एक्स-किरणों के अतिरिक्त एक्स-किरण नलिकाएं ऐसे विकिरण भी उत्सर्जित करती हैं, जो प्रयुक्त टार्गेट के संगत अभिलाक्षणिक रेखाएं होती हैं। यह देखा गया है कि संतत स्पेक्ट्रम पर कुछ आवृत्तियों के संगत अत्यधिक बड़े परिमाण में ऊर्जा उत्सर्जित होती है। इन रेखाओं की स्थिति लगाई गई वोल्टता पर निर्भर नहीं करती, बल्कि टार्गेट की प्रकृति पर निर्भर करती है।

मोस्ले का नियम

मोस्ले ने अनेक तत्वों की अभिलाक्षणिक एक्स-किरणों का अध्ययन किया। उसने पाया कि कुछ विशिष्ट अभिलाक्षणिक रेखाएं सभी तत्वों के स्पेक्ट्रमों में प्रकट होती हैं परंतु इनके तरंगदैर्ध्य में मामूली अंतर होता है (चित्र 24.6)। प्रत्येक अभिलाक्षणिक रेखा एक विशिष्ट समीकरण का अनुसरण करती है। उदाहरणार्थ, K_2 रेखाएं निम्नलिखित संबंध का अनुसरण करती हैं।

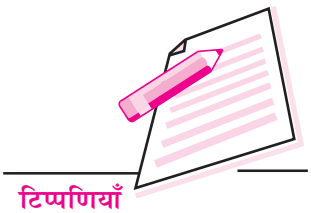


चित्र 24.6

$$\bar{\nu} = R\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right](Z-1)^2$$

आपने क्या सीखा

- रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग ने परमाणु के अंदर छोटे से केन्द्रीय क्षेत्र की उपस्थिति को इंगित किया जहां पर उसके सभी धनावेशित कण और परमाणु का अधिकाँश द्रव्यमान केन्द्रित होता है। इस क्षेत्र को न्यूक्लियस (नाभिक) नाम दिया गया।
- इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस के चारो ओर घूमता रहता है तथा कुल ऋणात्मक आवेश का समायोजन कुल धनात्मक आवेश, जो न्यूक्लियस में रहता है, द्वारा बना रहता है।
- रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल द्वारा परमाणु का प्रेक्षित स्थायित्व तथा परमाणु द्वारा उत्सर्जित विद्युत चुम्बकीय विकिरण का संतोषजनक स्पष्टीकरण नहीं दिया जा सका।
- परमाणु का संतोषजनक मॉडल नील बोहर द्वारा प्रस्तुत किया गया जो कि चार अभिगृहीतों (पास्चुलेट्स) पर आधारित था।
- इलेक्ट्रॉन की अनुमत कक्षाएँ वे होती हैं जिनका कोणीय संवेग $(I\omega) = nh/2\pi$ होता है।
- कोई इलेक्ट्रॉन जब उच्चक्रम की अनुमत कक्ष से निम्न क्रम की कक्षा में छलांग लगाता है तो ऊर्जा का उत्सर्जन होता है और ठीक इसके विपरीत निम्न अनुमत कक्ष से उच्चक्रम की अनुमत कक्ष में जाने पर ऊर्जा का अवशोषण होता है।



- अनुमत कक्षा जिसमें इलेक्ट्रॉन उन्मुक्त न्यूक्लियस के चारों ओर घूमता है, उसकी त्रिज्या को निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है- $a_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2\, mke^2} = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{Ze^2m\pi}$

  हाइड्रोजन परमाणु की प्रथम अनुमत कक्षी की त्रिज्या का मान $a = 0.53\text{Å}$ है।
- हाइड्रोजन परमाणु की n^{th} कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा होती है

$$E_n = -\frac{e^4m}{8h^2\varepsilon_0^2n^2}$$

  कुल ऊर्जा के ऋणात्मक चिन्ह से पता चलता है कि इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस से बँधा रहता है।
- इलेक्ट्रॉन के एक ऊर्जा स्तर E_i से दूसरे ऊर्जास्तर E_f में पारगमन करने से उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति को निम्न प्रकार से दर्शाते हैं-

$$\nu_{mn} = \frac{R}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

- जब द्रुतगामी इलेक्ट्रान अचानक किसी भारी धातु द्वारा रोके जाते हैं तो x-किरणें उत्पन्न होती हैं।
- एक्स किरणें दो प्रकार की होती हैं- (i) संतत एवं (ii) अभिलाक्षणिक
- डुआने-हंट के नियमानुसार $eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$
- मोसले नियम $\bar{\nu} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)(z-1)^2$

पाठांत प्रश्न

1. रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग में अधिकांश α-कण लक्ष्य पन्नी (टारगेट फॉएल) से सीधे क्यों गुजरते हैं?
2. रदरफोर्ड के α-किरणों के प्रकीर्णन प्रयोग में कौन सा प्रेक्षण न्यूक्लियस (नाभिक) के अस्तित्व की संभावना के भविष्यकथन में सहायक रहा?
3. रदरफोर्ड ने यह कैसे मान लिया कि इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस (नाभिक) के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं (आरबिट) में परिक्रमा करता है?
4. हाइड्रोजन परमाणु की अपनी पहली कक्षा और दूसरी कक्ष की उत्तेजित अवस्थाओं की ऊर्जाओं का अनुपात क्या होता है?

5. रिडबर्ग नियतांक (कान्सटेंट) का SI मात्रक क्या है?

6. हाइड्रोजन परमाणु का रिडबर्ग नियतांक $1096700\ m^{-1}$ है। लाइमन श्रेणी की छोटी व बड़ी तरंगदैर्घ्य की सीमाओं का परिकलन कीजिए।

7. हाइड्रोजन परमाणु का इलेक्ट्रॉन एक सेकंड में प्रथम कक्षा की कितनी बार परिक्रमा करता है?

8. बोहर के परमाणु माडल के अभिगृहीतों की चर्चा कीजिए।

9. रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग का वर्णन कीजिए। इसके निष्कर्षों एवम् कमियों पर चर्चा कीजिए।

10. हाइड्रोजन परमाणु की n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रोन ऊर्जा का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

11. सही उत्तर चुनिए:

(अ) किसी इलेक्ट्रॉन की nth कक्षा की कुल ऊर्जा E_n समानुपाती होता है–

(i) $1/n^4$ के (ii) $1/n^2$ के (iii) $1/n^2$ के (iv) $1/n$ के

(ब) हाइड्रोजन परमाणु की $n = 1$ कक्ष से $n = \infty$ तक इलेक्ट्रॉन को हटाने (विस्थापित करने) में जितनी ऊर्जा की आवश्यकता है वह बराबर होती है

(i) 13.6 V के (ii) 13.6 eV के (iii) 13.6 MeV के (iv) 13. 6 KeV

(स) हाइड्रोजन परमाणु में जब इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर की कक्षा $n = 5, 6, 7,...$ से कम ऊर्जा स्तर की कक्ष $n = 4$ पर छलांग लगाता है तो स्पेक्ट्रल लाइनों का जो समुच्चय (सेट) प्राप्त होता है उसे कहते हैं–

(i) बामर श्रेणी (ii) ब्रेकेट श्रेणी (iii) पाश्चन श्रेणी (iv) लाइमन श्रेणी

12. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के तीसरे और चौथे अनुमत कक्षाओं की त्रिज्या का परिकलन कीजिए?

13. हाइड्रोजन परमाणु में ऊर्जा का संक्रमण (ट्रान्जीशन) ऊर्जा स्तर $n = 3$ से $n = 2$पर होता है। दिया हुआ है कि $R = 1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ तब–

(i) उत्सर्जित विकिरणों की तरंगदैर्घ्य कितनी होती है?

(ii) क्या ये विकरण स्पेक्ट्रम के दृश्य प्रकाश के परिसर में होंगे?

(iii) यह संक्रमण (ट्रांजीशन) स्पेक्ट्रमी श्रेणी में किससे संबंधित होगा?

14. हाइड्रोजन का आयनन (आयोनाइजेशन) विभव 13.6 वोल्ट है। परमाणु की ऊर्जा $n = 2$ अवस्था में कितनी होगी?

15. एक्स किरणें कैसे उत्पन्न की जाती हैं? एक नामांकित चित्र बना कर स्पष्ट कीजिए।

16. एक्स किरणों के गुणें को सूचीबद्ध कीजिए और उनकी दृष्य प्रकाश के साथ तुलना कीजिए।

17. संतत एक्स किरणें कैसे उत्पन्न की जाती हैं? उच्चतम आवृत्ति के फोटॉन उत्पादन की क्या शर्तें हैं?

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

24.1

1. (a) (iii) (b) (ii) (c) (i) (d) (i)
2. यह रदरफोर्ड के प्रयोग में प्राप्त प्रेक्षण की व्याख्या नहीं कर सका जिसके अनुसार α (अल्फ)कण का अधिक कोण से प्रकीर्णन होता है।

24.2

1. बोहर का पहला अभिगृहित चिरसम्मत भौतिकी (क्लासिकल फिजिक्स) से किया गया, बाकी तीनों क्वांटम भौतिकी से लिए गए हैं।
2. क्योंकि कक्षाएं स्थाई हैं।
3. (i) इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर पर गिरता है।

   (ii) इलेक्ट्रॉन किसी उच्च ऊर्जा की स्थिति में उत्तेजित हो जाता है।
4. $E_1 = -13.6\text{eV}; E_2 = 3.4\text{ eV}, E_3 = -1.51\text{eV}$
5. $\lambda = \dfrac{hc}{E_i - E_0}$
6. (iv)

24.3

1. (ब)
2. (अ) उत्सर्जित स्पेक्ट्रल लाइनों की संख्या $= \dfrac{1}{2} n\,(n-1) = \dfrac{1}{2} \times 4\,(4-1) = 6$
3. (अ)
4. परिभ्रमणशील (रिव्होल्विंग) इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग।
5. प्रमुख क्वांटम संख्या n के साथ, nth कक्षा की स्थिति से उन तरंग-दैर्ध्यों की संख्या का परिकलन कीजिये जिनका हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम में अवलोकन किया जाता है।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

4. यह अनुपात 9 : 4 होगा
6. $\lambda_s = 9114\,\text{Å}$, $\lambda_e = 1215\,\text{Å}$
7. 6.57×10^{15} Hz.
11. (a) (i), (b) (ii), (c) (iii), (d) (i), (e) (v)
13. (i) 6563 Å, (ii) दृश्य (iii) बामर श्रेणी
14. –3.4 eV.