1. मॉड्यूल और इसकी संरचना का विवरण

मॉड्यूल विस्तार	
विषय का नाम	रसायन विज्ञान
पाठ्यक्रम का नाम	रसायन विज्ञान 01 (कक्षा XI, सेमेस्टर 01)
मॉड्यूल का नाम / शीर्षक	परमाणु की संरचना: भाग 3
मॉड्यूल आईडी	kech_10203
आवश्यक पूर्व ज्ञान:	इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, रदरफोर्ड के मॉडल, हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम
उद्देश्य	इस मॉड्यूल के अध्ययन के बाद आप सक्षम हो जायेंगे: 1. हाइड्रोजन परमाणु के लिए बोर के मॉडल का वर्णन कर पाएंगे। 2. हाइड्रोजन के रेखीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या कर पाएंगे। 3. पदार्थ के द्वैत व्यवहार को समझ पाएंगे। 4. हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता का सिद्धांत को समझ पाएंगे। 5. बोर के परमाणु मॉडल की विफलता के कारण को समझ पाएंगे।
प्रमुख शब्द (की वर्ड्स)	कक्षा, स्पेक्ट्रम की रेखाएँ, कोणीय गति, क्वांटम संख्या, रिडबर्ग स्थिरांक, बोर त्रिज्या, द्वैत व्यवहार, अनिश्चितता सिद्धांत

2. विकास दल

भूमिका	नाम	संबद्धता
राष्ट्रीय एमओओसी समन्वयक (एनएमसी)	प्रो. अमरेन्द्र पी. बेहरा	CIET, NCERT, नई दिल्ली
कार्यक्रम समन्वयक	डॉ. मो. मामूर अली	CIET, NCERT, नई दिल्ली
पाठ्यक्रम समन्वयक (CC) / पी.आई.	प्रो. आर. के. पराशर	DESM, NCERT, नई दिल्ली
पाठ्यक्रम समन्वयक / सह-पी.आई.	डॉ. एरुम खान	CIET, NCERT, नई दिल्ली
विषय-वस्तु विशेषज्ञ (SME)	डॉ. के. के. अरोड़ा डॉ. के. के. शर्मा	जाकिर हुसैन दिल्ली कॉलेज (दिल्ली विश्वविद्यालय), दिल्ली राजकीय कॉलेज अजमेर, राजस्थान

समीक्षा टीम	डॉ. नीती मिश्रा डॉ. एरुम खान	आचार्य नरेंद्र देव कॉलेज, नई दिल्ली CIET, NCERT, नई दिल्ली
अनुवादक	डॉ अमर श्रीवास्तव	एसोशिएट प्रोफेसर रसायन विज्ञान विभाग, डी.ए.वी. कॉलेज, कानपुर 208001, उत्तर प्रदेश

विषय सूची

1. परिचय

पिछले मॉड्यूल में आपने विद्युत चुम्बकीय विकिरणों के द्वैत व्यवहार, प्रकाश वैदुत प्रभाव और हाइड्रोजन परमाणु के रेखीय स्पेक्ट्रम के बारे में सीखा है। इन प्रेछ्णों के आधार पर, बोर ने परमाणु की संरचना के लिए एक मॉडल का प्रस्ताव दिया, जो हाइड्रोजन जैसे स्पीशीस के रेखीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या कर सकता है जिसका आप इस मॉड्यूल में अध्ययन करेंगे।

2. हाइड्रोजन परमाणु के लिए बोर मॉडल

हाइड्रोजन परमाणु की संरचना तथा इसके स्पेक्ट्रम के सामान्य लक्षणों की पहली मात्रात्मक व्याख्या नील्स बोर ने सन् 1913 में की। उन्होंने प्लांक के उर्जा के क्वांटीकरण की अवधरणा का उपयोग किया। यद्यपि बोर सिद्धांत आधुनिक क्वांटम यांत्रिकी नहीं था, तथापि परमाणु संरचना तथा स्पेक्ट्रा में कई बातों को तर्कसंगत रूप से समझाने में इसका उपयोग किया जा सकता है। बोर का मॉडल निम्नलिखित अभिगृहीतों पर आधारित है,

1. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन, नाभिक के चारों तरफ निश्चित त्रिज्या और ऊर्जा वाले वृत्ताकार पथ में घूम सकता है। इन वृत्ताकार पथों को हम कक्षा (orbit) या स्थायी अवस्था (stationary state) या अनुमत ऊर्जा स्तर (allowed energy states) कहते हैं। ये कक्षाएँ नाभिक के चारों ओर सकेंद्रीय रूप में व्यवस्थित होती हैं
2. कक्षा में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा समय के साथ नहीं परिवर्तित होती है, तथापि कोई इलेक्ट्रॉन निम्न स्थायी स्तर से उच्च स्थायी स्तर पर तब जाएगा, जब वह आवश्यक ऊर्जा का अवशोषण करेगा अथवा इलेक्ट्रॉन के उच्च स्थायी स्तर से निम्न स्तर पर आने के बाद ऊर्जा का उत्सर्जन होगा। ऊर्जा-परिवर्तन सतत् तरीके से नहीं होता है।
3. ΔE के अंतर वाली दो स्थायी अवस्थाओं के संक्रमण के समय अवशोषित अथवा उत्सर्जित विकिरण को निम्नलिखित रूप में दिया जा सकता है:

$v = \Delta E/h = E_2 - E_1/h$ (1)

जहाँ E_1 तथा E_2 क्रमशः निम्न और उच्च अनुमत ऊर्जा अवस्थाएँ हैं। इस समीकरण को बोर का आवृत्ति का नियम (Bohr's frequency rule) कहा जाता है।

इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग दी हुई स्थायी अवस्था में निम्नलिखित समीकरण के द्वारा दर्शाया जा सकता है, $m_e vr = nh/2\pi$ $n = 1, 2, 3\ldots..$

जहाँ me इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान, v वेग तथा r उस कक्षा की त्रिज्या है जिसमें इलेक्ट्रॉन घूमता है। अतः एक इलेक्ट्रॉन केवल उन्हीं कक्षों में घूम सकता है, जिनमें कोणीय संवेग का मान $h/2\pi$ का पूर्णांक गुणक होगा। इसका अर्थ है कोणीय संवेग क्वांटित होता है। जब इलेक्ट्रॉन कोणीय संवेग के किसी एक क्वांटित मान को छोड़कर दूसरा मान प्राप्त करता है तो विकिरण का अवशोषण अथवा उत्सर्जन होता है। अतः मैक्सवेल का विद्युत चुंम्बकीय सिद्धांत यहां लागू नहीं होता। यही कारण है कि कुछ निश्चित कक्ष ही अनुमत होते हैं। बोर की स्थायी अवस्थाओं की ऊर्जाओं के विचलन के विषय में दी गई विस्तृत जानकारी काफी जटिल है। अतः उसे आगे की कक्षाओं में समझाया जाएगा। बोर सिद्धांत के अनुसार हाइड्रोजन परमाणु के लिए-

(क) इलेक्ट्रॉन के लिए स्थायी अवस्थाओं को n = 1, 2, 3….के द्वारा व्यक्त किया गया है। इन पूर्णांकों को मुख्य क्वांटम संख्या (principal quantum number) कहा जाता है।

(ख) स्थायी अवस्थाओं की त्रिज्याओं को निम्नलिखित रूप में प्रदर्शित किया जाता है:

$r_a = n^2 a_o$

जहाँ $a_o = 52.9$ pm इस प्रकार पहली स्थायी अवस्था, जिसे 'बोर कक्षा' कहा जाता है की त्रिज्या 52.9 pm होती है। साधारणतया हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन इसी कक्षा (n = 1) में पाया जाता है। n के बढ़ने के साथ r का मान बढ़ता है। दूसरे शब्दों में, इलेक्ट्रॉन नाभिक से दूर उपस्थित होता है।

(ग) इलेक्ट्रॉन से संबंधित सबसे महत्त्वपूर्ण गुण स्थायी अवस्था की ऊर्जा है। इसे निम्नलिखित सूत्र

द्वारा दिया जाता है-

$E_n = R_H (1/n^2)$

जहाँ RH को रिड़बर्ग स्थिरांक (Rydberg constant) कहते हैं। इसका मान 2.18 x 10^{-18} J होता है। निम्नतम अवस्था, जिसे ‘तलस्थ अवस्था’ (ground state) भी कहते हैं, की ऊर्जा E1 = -2.18 x 10^{-18} J $(1/1^2)$ है। n = 2 वाली स्थायी

अवस्था के लिए ऊर्जा E_2 = -2.18 x 10^{-18} $(1/2^2)$ = -0.545 x 10^{-18} J होगी। चित्र 1 में हाइड्रोजन परमाणु की विभिन्न स्थायी अवस्थाओं में ऊर्जा-स्तरों की ऊर्जाओं को दिखाया गया है। इसको ‘ऊर्जा स्तर आरेख’ कहा जाता है।

(घ) हाइड्रोजन परमाणु में उपस्थित एक इलेक्ट्रॉन के समान, उन आयनों, जिनमें केवल एक इलेक्ट्रॉन होता है, पर भी बोर के सिद्धांत को लागू किया जा सकता है। उदाहरण के लिये He^+, Li^{2+}, Be^{3+} इत्यादि। इस प्रकार के आयनों (हाइड्रोजन के समान स्पीशीश कहलाते हैं) से संबंधित स्थानीय अवस्थाओं की ऊर्जाएँ निम्नलिखित समीकरण द्वारा दी जा सकती हैं:

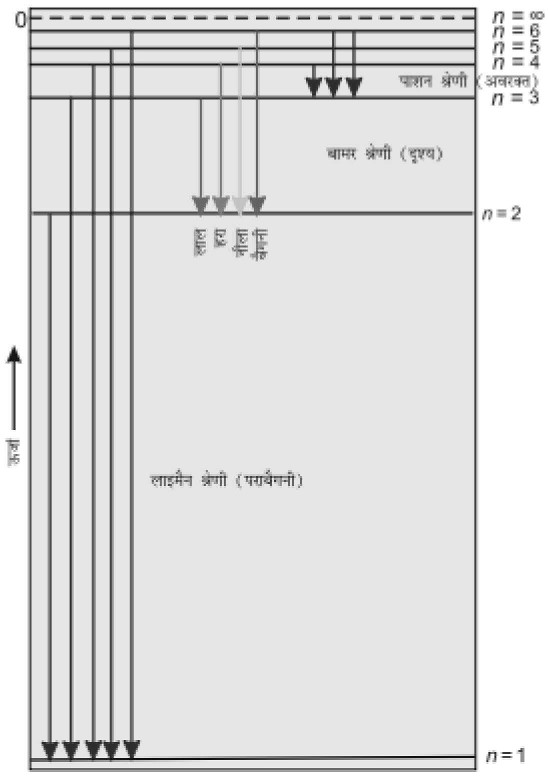
E_n = -2.18 x 10^{-18} (Z^2/n^2) J (5)

त्रिज्या को निम्नलिखित समीकरण द्वारा दिया जाता है:

$r_n = 52.9(n^2)/Z$ pm (6)

जहाँ Z परमाणु संख्या है। हीलियम और लीथियम परमाणुओं के लिए इसका मान क्रमशः 2 और 3 है। उपरोक्त समीकरणों से यह विदित है कि Z के बढ़ने के साथ ऊर्जा का मान अधिक ऋणात्मक हो जाता है तथा त्रिज्या कम हो जाती है। इसका अर्थ यह है कि इलेक्ट्रॉन नाभिक से दृढ़तापूर्वक बँधा होता है।

(ङ) इन कक्षाओं में गति करते हुए इलेक्ट्रॉनों के वेगों की गणना करना भी संभव है, यद्यपि इसके लिए एक सटीक समीकरण यहा नहीं दिया गया है। गुणात्मक रूप से नाभिक पर धनावेश के बढ़ने के साथ इलेक्ट्रॉन का वेग बढ़ता है तथा मुख्य क्वांटम संख्या के बढ़ने के साथ यह घटता है।



चित्र 1: हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के संक्रमण। (इस आरेख में संक्रमण के लाईमैन, बामर और पासन श्रृंखला को दिखाया गया है)

कोणीय संवेग

जिस प्रकार द्रव्यमान (m) और रैखिक वेग (v) का गुणनफल रैखिक संवेग (linear momentum) होता है, उसी प्रकार कोणीय संवेग (angular momentum) जडत्व आघूर्ण (I) और कोणीय संवेग (ω) का गुणनफल होता है। m_e द्रव्यमान वाले इलेक्ट्रॉन के लिए, जो नाभिक के चारों ओर r त्रिज्या की वृत्ताकार कक्षा में घूम रहा है। कोणीय संवेग = I × ω क्योंकि I = mer2 और ω = v/r जहाँ v रैखिक वेग है अतः कोणीय संवेग = mer x v/r = $m_e vr$

हाइड्रोजन परमाणु के लिए ऋणात्मक इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा (E_n) का क्या अर्थ है?

हाइड्रोजन परमाणु में हर संभव कक्षा में इलेक्ट्रॉन के मान में ऋण चिन्ह होता है। यह ऋण चिन्ह क्या दर्शाता है? इस ऋण चिन्ह का अर्थ यह है कि परमाणु में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा स्थिर अवस्था में स्वतंत्र

इलेक्ट्रॉन से कम है। स्थिर अवस्था में स्वतंत्र इलेक्ट्रॉन वह इलेक्ट्रॉन होता है, जो नाभिक से अनंत दूरी पर हो। इसकी ऊर्जा को शून्य मान लिया जाता है। गणित में इसका अर्थ यह है कि समीकरण 4 में $n = \infty$ रखा जाए, जिससे $n_{\infty} = 0$ प्राप्त होता है। जैसे ही इलेक्ट्रॉन नाभिक के पास आता है, (जैसे n घटता है, वैसे ही En का निरपेक्ष मान बढ़ता जाता है और यह अधिक ऋणात्मक होता जाता है। जब $n = 1$ हो, तब ऊर्जा का मान सबसे अधिक ऋणात्मक होता है और यह कक्षा सबसे अधिक स्थायी होती है। हम इसे 'तलस्थ अवस्था' कहते हैं।

जब इलेक्ट्रॉन नाभिक के प्रभाव से मुक्त होता है, तब ऊर्जा का मान शून्य लिया जाता है। ऐसी स्थिति में इलेक्ट्रॉन मुख्य संख्या $n = \infty$ की स्थायी अवस्था से संबंधित होता है तथा आयनित हाइड्रोजन परमाणु कहलाता है। जब इलेक्ट्रॉन नाभिक द्वारा आकर्षित होता है तथा n कक्षा में उपस्थित होता है, तब ऊर्जा का उत्सर्जन होता है और इसकी ऊर्जा निम्न हो जाती है। समीकरण 4 में ऋण चिन्ह इसी कारण होता है और इसकी शून्य ऊर्जा की संदर्भ अवस्था तथा $n = \infty$ के संबंध में इसके स्थायित्व को दर्शाता है।

2.1 हाइड्रोजन के रेखा स्पेक्ट्रम की व्याख्या

बोर के मार्डल का उपयोग करके हाइड्रोजन परमाणु के रेखीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या मात्रात्मक रूप में की जा सकती है। बोर के अभिगृहीत 2 के अनसुार, निम्न से उच्च मुख्य क्वांटम संख्या की कक्षा में गमन करने पर विकिरण (ऊर्जा) का अवशोषण होता है, जबकि विकिरण (ऊर्जा) का उत्सजर्न इलेक्ट्रॉन के उच्च से निम्न कक्षा की ओर इलेक्ट्रॉन का गमन करने पर होता है। दो कक्षाओं के बीच के ऊर्जा के अंतर को इस समीकरण (7) द्वारा दिया जा सकता है। $\Delta E = E_f - E_i$ (7)

समीकरण 4 और 7 को जोड़ने पर $\Delta E = (-R_H/n_f^2) - (-R_H/n_i^2)$ जहाँ n_i तथा n_f क्रमशः आरम्भिक और अंतिम कक्षा को प्रदर्शित करते हैं

$$\Delta E = R_H(1/ n_i^2 - 1/ n_f^2) = 2.18 \times 10-18 \text{ J } (1 /n_i^2 - 1 /n_f^2) \quad (8)$$

समीकरण 9 का उपयोग करके फोटौन के अवशोषण तथा उत्सर्जन से संबंधित आवृत्ति (ν) का मूल्यांकन

किया जा सकता है।

$\nu = \Delta E\ /h = R_H/h\ (1/n_i^2 - 1/n_f^2)$ (9)

$= 2.18\times10^{-18}$ J/ 6.626×10^{-34}J s $(1/n_i^2 - 1/n_f^2) = 3.29\times10^{15}\ (1/n_i^2 - 1/n_f^2)$ Hz (10)

और संगत तरंग-संख्या (ν) $\nu = \nu/c = R_H/hc\ (1/n_i^2 - 1/n_f^2)$ (11)

$= 3.29\times1015\ s^{-1}/3\times10^8\ m\ s^{-1}\ (1/n_i^2 - 1/n_f^2)$

$= 1.09677\times10^7\ (1/n_i^2 - 1/n_f^2)\ m^{-1}$ (12)

अवशोषण स्पेक्ट्रम में $n_f > n_i$ और कोष्ठक में दी गईं मात्राएँ धनात्मक होती हैं तथा ऊर्जा का अवशोषण होता है। दूसरी ओर उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में $n_i > n_f$, होता है, ΔE ऋणात्मक होता है तथा ऊर्जा मुक्त होती है। समीकरण 8 रिड़बर्ग समीकरण जैसा है, जिसे उस समय पर उपलब्ध प्रायोगिक आँकड़ों द्वारा प्राप्त किया गया था। इसके अलावा हाइड्रोजन परमाणु के अवशोषण तथा उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में प्रत्येक स्पेक्ट्रमी रेखा एक विशेष संक्रमण के संगत होती है। कई हाइड्रोजन परमाणुओं के स्पेक्ट्रमी अध्ययन में कई संभव संक्रमण देखे जा सकते हैं और उनसे कई स्पेक्ट्रमी रेखाएँ प्राप्त होती हैं। किसी स्पेक्ट्रमी रेखा की तीव्रता इस बात पर निर्भर करती है कि एक समान तरंग-दैघ्र्य या आवृत्ति वाले कितने फोटौन अवशोषित या उत्सर्जित होते हैं।

प्रश्न 1:

हाइड्रोजन परमाणु में n = 5 अवस्था से n = 2 अवस्था में संक्रमण के दौरान उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति और तरंग दैर्ध्य क्या हैं?

हल:

चूंकि $n_i = 5$ और $n_f = 2$, अतः यह संक्रमण बामर श्रृंखला के दृश्य क्षेत्र में एक स्पेक्ट्रमी रेखा को जन्म

देता है। समीकरण (8) के अनुसार, $\Delta E = 2.18 \times 10^{-18} J \times (1/5^2 - 1/2^2) = -4.58 \times 10^{-19}$ J.

ऋणात्मक संकेत इंगित करता है कि ऊर्जा संक्रमण के दौरान निर्मुक्त हुई है।

फोटॉन की आवृत्ति (ऊर्जा के परिमाण के रूप में लेते हुए) $\nu = \Delta E/h = 4.58 \times 10^{-19} J / 6.626 \times 10^{-34}$ J s $= 6.91 \times 10^{14}$ Hz

$\lambda = c/\nu$

$= 3.0 \times 10^8$ m s^{-1} $/6.91 \times 10^{14}$ Hz

= 434 nm

प्रश्न 2: He^+ की पहली कक्षा से जुड़ी ऊर्जा की गणना करें। इस कक्षा की त्रिज्या क्या है?

हल: He^+ के लिए, n = 1, Z = 2

$E_n = -(2.18 \times 10^{-18} J)(2^2)/(1^2)$ परमाणु^{1}

$= -8.72 \times 10^{-18}$ J परमाणु^{1}

कक्षा की त्रिज्या समीकरण (6) द्वारा दी गई है

$r_n = 0.0529$ nm n^2/Z

Since n = 1 and Z = 2

$r_n = 0.0529$ nm $1^2/2$

= 0.02645 nm

2.2 बोर माडॅल की सीमाएँ

इसमें कोई संदेह नहीं कि हाइड्रोजन परमाणु का बोर माडॅल रदरफोर्ड के नाभिकीय माडॅल से बेहतर था। हाइड्रोजन परमाणु तथा इसके जैसे अन्य आयनों, (जैसे He^{+}, Li^{2+}, Be^{3+} इत्यादि) के रेखीय स्पेक्ट्रम और स्थायित्व की व्याख्या कर सकता था, लेकिन बोर का माडॅल निम्नलिखित बिंदुओं की व्याख्या नहीं कर सका।

(i) परिष्कृत स्पेक्ट्रमी तकनीकों द्वारा प्राप्त हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में सूक्ष्म संरचना [(द्विक (doublet)] अर्थात् पास-पास स्थित दो रेखाएँ, की व्याख्या करने में विफल रहा।

(ii) यह माडॅल हाइड्रोजन के अलावा अन्य परमाणुओं के स्पेक्ट्रम की व्याख्या करने में असमर्थ रहा। उदाहरण के लिए, हीलियम परमाणु जिसमें केवल दो इलेक्ट्रॉन हाते हैं

(iii) बोर का सिद्धांत चुम्बकीय क्षत्रों में स्पेक्ट्रमी रेखाओं के विपाटन (जीमन प्रभाव) या विद्युत् क्षेत्र की उपस्थिति में स्पेक्ट्रमी रेखाओं के विपाटन (स्टार्क-प्रभाव) को स्पष्ट करने में भी विफल रहा। (iv) अंत में, यह परमाणुओं के रासायनिक आबंधों द्वारा अणु बनाने की योग्यता की व्याख्या नहीं कर सका।

दूसरे शब्दों में, उपरोक्त सारी सीमाओं को ध्यान में रखते हुए एक ऐसे सिद्धांत की आवश्यकता है, जो जटिल परमाणुओं की संरचना के मुख्य लक्षणों की व्याख्या कर सके।

3. परमाणु के क्वांटम यांत्रिकी मॉडल की ओर

बोर के मॉडल की कमियों को देखते हुए, परमाणुओं के लिए एक अधिक उपयुक्त और सामान्य मॉडल विकसित करने का प्रयास किया गया। इस तरह के मॉडल के निर्माण में दो महत्वपूर्ण घटनाओं का महत्वपूर्ण योगदान था: 1. पदार्थ का द्वैत दोहरा व्यवहार, 2. हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता सिद्धांत।

3.1 द्रव्य का द्वैत व्यवहार

फ्रांसीसी भौतिक वैज्ञानिक दे ब्रॉग्ली ने सन् 1924 में प्रतिपादित किया कि विकिरण की तरह द्रव्य को भी द्वैत व्यवहार प्रदर्शित करना चाहिए, अर्थात् द्रव्य में कण तथा तरंग, दोनों तरह के गुण होने चाहिए। इसका अर्थ यह है कि जिस तरह फोटॉन

का संवेग एवं तरंग-दैध्र्य होते हैं, उसी तरह इलेक्ट्रॉनों का भी संवेग और तरंग-दैध्र्य होना चाहिए। ब्रॉग्ली ने इस तर्क के आधार पर किसी पदार्थ के कण के लिए तरंग-दैध्र्य (λ) तथा संवेग (p) के बीच निम्नलिखित संबंध बताया:

$$\lambda = h/mv = h/p \qquad (13)$$

जहाँ m कण का द्रव्यमान, v उसका वेग और p उसका संवेग है। दे ब्रॉग्ली के इन विचारों की पुष्टि प्रयोगों द्वारा तब हुई, जब यह देखा गया कि इलेक्ट्रॉनों के पुंज का विवर्तन होता है, जो तरंगों का लक्षण है। इस सिद्धांत के आधार पर इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की रचना की गई जो इलेक्ट्रॉनों के तरगं जैसे व्यवहार पर उसी प्रकार आधारित है, जिस प्रकार साधारण सूक्ष्मदर्शी की रचना प्रकाश की तरंग प्रकृति पर आधारित है। आधुनिक वैज्ञानिक शोध-कार्यों में इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी एक महत्त्वपूर्ण उपकरण है, क्योंकि इससे किसी अतिसूक्ष्म वस्तु को 150 लाख गुना बड़ा करके देखा जा सकता है। यह ध्यान देने योग्य बात है कि दे ब्रॉग्ली के अनुसार प्रत्येक गतिशील वस्तु में तरंग के लक्षण होते हैं। साधारण वस्तुओं का अधिक द्रव्यमान होने के कारण उनसे संबंधित तरंग दैर्ध्य इतनी कम हार्ती है कि उनके तरगं जैसे गुणों का पता नहीं चल पाता, परंतु इलेक्ट्रॉनों और अन्य अव-परमाणुविक कणों, जिनका द्रव्यमान बहुत कम होता है, से संबंधित तरंग-दैध्र्यों को प्रयोगों द्वारा पहचाना जाता है। प्रश्नों में दिए गए परिणाम इसे गुणात्मक रूप से सिद्ध करते हैं।

प्रश्न 3: 0.1 किग्रा द्रव्यमान और 10 मीटर s^{-1} वेग के साथ गति कर रही गेंद की तरंग दैर्ध्य क्या होगी?

हल:

दे ब्रॉग्ली समीकरण (13) के अनुसार

$\lambda = h/mv$

$= 6.626 \times 10^{-34}\ \text{J s} / 0.1\ \text{kg} \times 10\ \text{ms}^{-1}$

$= 6.626 \times 10^{-34}\ \text{m} \quad (1\ \text{J} = 1\ \text{kg m}^2\ \text{s}^{-2})$

प्रश्न 4:

एक इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान 9.1×10^{-31} किलोग्राम है। यदि इसके गतिज उर्जा (K. E.) 3.0×10^{-25} J है, इसकी तरंग दैर्ध्य की गणना करें।

हल:

K. E. = $1/2\ mv^2$

$v = (2\ K.E./\ m)^{1/2}$

$= 2\times3.0\times10^{-25}\ kg\ m^2\ s^{-2} / 9.1\times10^{-31}\ kg$

$= 812\ m\ s^{-1}$

$\lambda = h\ /mv$

$= 6.626 \times10^{-34}\ J\ s / 9.1\times10^{-31}\ kg \times 812\ m\ s^{-1}$

$= 8967 \times 10^{-10}\ m = 896.7\ nm$

प्रश्न 5: 3.6 Å तरंग दैर्ध्य की लंबाई वाले एक फोटॉन के द्रव्यमान की गणना करें।

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

फोटॉन का वेग = प्रकाश का वेग

$m = h\ /\lambda v$

$= 6.626 \times10^{-34}\ J\ s / 3.6\times10^{-10}\ m \times 3\times10^{8}\ ms^{-1}$

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

3.2 हाइजेनबर्ग का अनिश्चितता सिद्धांत

द्रव्य और विकिरण के दोहरे व्यवहार के फलस्वरूप एक जर्मन भौतिक वज्ञैानिक वनर्र हाइजेनबर्ग ने 1927 में अनिश्चितता का सिद्धांत दिया। इसके अनुसार, किसी इलेक्ट्रॉन की सही स्थिति और सही संवेग (या वेग) का निर्धारण एक साथ करना असंभव है। गणितीय रूप से, इसे समीकरण (14) के रूप में दिया जा सकता है।

$\Delta x \times \Delta P_x \geq h/4\pi$ (14)

या $\Delta x \times \Delta m v_x \geq h/4\pi$ या $\Delta x \times \Delta v_x \geq h/4\pi m$

जहाँ Δx कण की स्थिति में अनिश्चितता और Δp_x संवेग (अथवा Δv_x वेग) में अनिश्चितता है। इसके अनुसार, किसी इलेक्ट्रॉन की यथार्थ स्थिति और यथार्थ वेग का निर्धारण एक साथ करना असंभव है। दूसरे शब्दों में, यदि इलेक्ट्रॉन की बिल्कुल सही स्थिति ज्ञात है (Δx कम है), तब इलेक्ट्रॉन के वेग में अनिश्चितता (Δv_x) अधिक होगी। दूसरी तरफ, यदि इलेक्ट्रॉन का वेग बिल्कुल सही ज्ञात है (Δv_x कम है) तो इलेक्ट्रॉन की स्थिति (Δx आधिक) सही-सही ज्ञात नहीं होगी। इस प्रकार, यदि इलेक्ट्रॉन की स्थिति अथवा वेग पर कुछ भौतिक माप लिए जाएं तो इसके परिणाम हमेशा कुछ अस्पष्ट ही प्राप्त होंगे। अनिश्चितता सिद्धांत को एक उदाहरण के द्वारा बहुत अच्छी तरह समझा जा सकता है। मान लीजिए कि मीटर के किसी अचिन्हित पैमाने से किसी कागज की मोटाई मापने के लिए आपसे कहा जाता है। तब प्राप्त परिणाम सही नहीं होगा कागज की मोटाई को सही-सही मापने के लिए आपको कागज की मोटाई से कम इकाई वाले चिन्हित उपकरण का उपयोग करना होगा। इसी प्रकार इलेक्ट्रॉन की स्थिति को निर्धारित करने के लिए आपको एक ऐसे पैमाने की आवश्यकता होगी, जिसका अंशाकन इलेक्ट्रॉन की विमाओं से छोटे मात्राकों में हो। इलेक्ट्रॉन की स्थिति ज्ञात करने के लिए हमें इसे प्रकाश या विद्युत्-चुम्बकीय विकिरण द्वारा प्रदीप्त करना होगा। प्रयुक्त प्रकाश की तरगं- दैर्ध्य इलेक्ट्रॉन की विमाओं से कम हानेी चाहिए, परंतु ऐसे प्रकाश के फोटॉन की ऊर्जा बहुत अधिक होगी। ऐसे प्रकाश का उच्च संवेग ($p = h/x$) वाला फोटॉन इलेक्ट्रॉन से टकराने पर उसकी ऊर्जा में परिवर्तन कर देगा। निस्संदेह इस प्रक्रिया से हम इलेक्ट्रॉन की स्थिति तो ठीक-ठीक निर्धारित कर लेंगे, परंतु टकराने की प्रक्रिया के पश्चात् हमें उसके वेग के बारे में बहुत कम जानकारी होगी।

3.3 अनिश्चितता सिद्धांत का महत्त्व

हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता नियम का एक महत्त्वपूर्ण निहितार्थ यह है कि यह नियम निश्चित मार्ग या प्रक्षेप पथ (trajectories) के अस्तितव का खंडन करता है। किसी पिंड का प्रक्षेप पथ भिन्न-भिन्न कोणों पर उसकी स्थिति एवं वेग से निर्धारित किया जाता है। यदि हमें किसी विशेष क्षण पर एक पिंड की स्थिति एवं वेग तथा उस पर उस क्षण कार्य कर रहे बलों की जानकारी हो, तो यह बता सकते हैं कि बाद के किसी समय में पिंड कहाँ पर होगा। अतः हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि किसी पिंड की स्थिति एवं वेग से उसका प्रक्षेप-पथ निश्चित हो जाता है। चूँकि इलेक्ट्रॉन जैसे किसी अव-परमाणुविक पिंड के लिए एक साथ उसकी स्थिति एवं वेग का निर्धारण किसी क्षण यथार्थता के किसी वांछित हद तक संभव नहीं है। इसलिए इलेक्ट्रॉन के प्रक्षेप-पथ के बारे में बात

करना संभव नहीं है। हाइजेनबर्ग अनिश्चितता सिद्धांत का प्रभाव केवल सूक्ष्म पिंड की गति के लिए है, स्थूल पिंड के लिए यह प्रभाव अतिन्यून होता है। इस उदाहरण से यह समझा जा सकता है-

यदि एक मिलीग्राम (10^{-6} kg) द्रव्यमान वाले पिंड पर अनिश्चितता सिद्धांत लागू किया जाए, तो

$\Delta x \times \Delta v_x = h / 4\pi m = 6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\ s} / 4 \times 3.1416 \times 10^{-6}\mathrm{kg} \approx 10^{-28}\ \mathrm{m^2\ s^{-1}}$

प्राप्त $\Delta v \Delta x$ का मान अत्यधिक कम एवं नगण्य है। इसलिए यह कहा जा सकता है कि मिलीग्राम आकार के पिंडों या उससे बड़े पिंडों के लिए विचार करते समय संबध (अनिश्चितताएँ किसी वास्तविक परिणाम की नहीं होती। दूसरी तरफ इलेक्ट्रॉन के समान सूक्ष्म पिंड के लिए प्राप्त मान काफी अधिक होता है। ऐसी अनिश्चितताएँ वास्तविक परिणाम की होती हैं। उदाहरणार्थ, एक 9.11×10^{-31} kg,

द्रव्यमान वाले इलेक्ट्रॉन के लिए हाइजेनबर्ग अनिश्चितता सिद्धांत के अनुसार,

$\Delta x \times \Delta v_x = h / 4\pi m$

$= 6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\ s} / 4 \times 3.1416 \times 9.1 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg} = 10^{-4}\ \mathrm{m^2\ s^{-1}}$

इसका अभिप्राय यह है कि यदि इलेक्ट्रॉन की सही स्थिति 10^{-8} m, की अनिश्चितता तक जानने का प्रयास कोई करता है, तो वेग में अनिश्चितता Δv का मान होगा। ≈

$10^{-4}\ \mathrm{m^2 s^{-1}} / 10^{-8}\mathrm{m}$

$\approx 10^4\ \mathrm{m\ s^{-1}}$

यह अनिश्चितता इतनी अधिक है कि इलेक्ट्रॉन को बोर कक्षाआ में गति करता हुआ मानने की चिरसम्मत अवधारणा को अप्रामाणिक साबित कर सके। अतः इसका अर्थ यह है कि इलेक्ट्रॉन की स्थिति एवं संवेग के परिशुद्ध कथन को प्रायिकता कथन से प्रतिस्थापित करना होगा, जो एक इलेक्ट्रॉन दिए गए स्थान एवं संवेग पर रखता है। ऐसा ही परमाणु के क्वांटम यांत्रिकी माडँल में होता है।

समस्या 6:

एक सूछ्मदर्शी (माइक्रोस्कोप) उपयुक्त फोटॉनों का उपयोग करके किसी परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन को 0.1 Å दूरी के अंतर्गत उसकी स्थिति जानने के लिए प्रयुक्त होता है। इसके वेग मापन में अंतर्निहित अनिश्चितता क्या है?

हल:

$\Delta x \times \Delta v_x = h/4\pi m$ or $\Delta v = h/4\pi\Delta x m$

$\Delta v = 6.626 \times 10^{-34}$ J s $/4\times 3.14 \times 0.1\times 10^{-10}$m $\times$ 9.11 $\times 10^{-31}$ kg

$= 0.579\times 10^{7}$ m s^{-1} (1 J = 1 kg m^{2} s^{-2})

$= 5.79\times 10^{6}$ m s^{-1}

प्रश्न 7:

एक गोल्फ की गेंद का द्रव्यमान 40 g है और 45 m / s की गति है। यदि गति को 2% की सटीकता के भीतर मापा जा सकता है, तो स्थिति में अनिश्चितता की गणना करें।

हल: गति में अनिश्चितता 2% है, अर्थात्, $45 \times 2/100 = 0.9$ m^{-1}

$\Delta x = h/4\pi m\Delta v$ समीकरण का उपयोग करके

$= 6.626\times 10^{-34}$ J s $/4\times 3.14\times 40$ g $\times 10^{-3}$ kg g^{-1} $\times$ 0.9m s−1 $= 1.46\times 10^{-33}$ m

यह एक विशिष्ट परमाणु नाभिक के व्यास से लगभग ~ 10^{18} गुना छोटा है। जैसा कि पहले बड़े कणों के लिए उल्लेख किया गया है, अनिश्चितता सिद्धांत माप की शुद्धता के लिए कोई सार्थक सीमा निर्धारित नहीं करता है।

3.4 बोर माडॅल की विफलता के कारण

अब बोर माडॅल की विफलता के कारण को आप समझ सकते हैं। बोर माडॅल में एक इलेक्ट्रॉन को एक आवेशित कण के रूप में नाभिक के चारों ओर निश्चित वृत्ताकार कक्षाओं में घूमता हुआ माना जाता है। इस माडॅल में इलेक्ट्रॉन के तरंग-लक्षण पर कोई विचार नहीं किया गया है। इस पथ को पूरी तरह तभी परिभाषित किया जा सकता है, जब इलेक्ट्रॉन की सही स्थिति और सही वेग, दोनों एक साथ ज्ञात हों। हाइशेनबर्ग के सिद्धांत के अनुसार, ऐसा संभव नहीं है। इस प्रकार हाइड्रोजन परमाणु का बोर माडॅल न केवल द्रव्य के दोहरे व्यवहार की अनदेखी करता है, बल्कि हाइजेनबर्ग अनिश्चितता सिद्धांत के विपरीत भी है। इस प्रकार की सहज कमजोरियों के कारण बोर माडॅल को अन्य परमाणुओं पर लागू नहीं किया जा सका। अतः परमाणु संरचना के बारे में ऐसे विचारों की आवश्यकता थी, जिनसे प्राप्त परमाणु माडॅल द्रव्य के तरंग-कण वाले दोहरे व्यवहार और हाइजेनबर्ग अनिश्चितता सिद्धांत के अनुरूप हों। ऐसा क्वांटम यांत्रिकी के उद्गम द्वारा संभव हुआ।

4. सारांश

● बोर ने माना कि इलेक्ट्रॉन एक परमाणु में वृत्ताकार कक्षाओं में नाभिक के चारों ओर घूमता है।

● एक परमाणु के लिए, केवल कुछ कक्षाएँ ही मौजूद हो सकती हैं और प्रत्येक कक्षा एक विशिष्ट ऊर्जा से मेल खाती है।

● बोर हाइड्रोजन परमाणु या हाइड्रोजन जैसे स्पीशीस के रेखीय स्पेक्ट्रम की व्याख्या तो कर सके लेकिन बहु-इलेक्ट्रॉन परमाणुओं के स्पेक्ट्रा की व्याख्या नहीं कर सके।

● स्पेक्ट्रम में प्रत्येक स्पेक्ट्रम रेखा एक कक्षा से दूसरी कक्षा में इलेक्ट्रॉन के संक्रमण से जुड़ी हो सकती है।

● दे ब्रॉग्ली ने सुझाव दिया कि पदार्थ कण और तरंग दोनों के गुणों को प्रदर्शित करता है और तरंग दैर्ध्य की गणना के लिए एक संबंध भी देता है, जिसे दे ब्रॉग्ली तरंग समीकरण कहा जाता है।

● हाइजेनबर्ग के अनिश्चितता सिद्धांत में कहा गया है कि एक इलेक्ट्रॉन की सटीक स्थिति और सटीक वेग एक साथ निर्धारित करना असंभव है।